ENGCON RMUTP
การประชุมวิชาการ
วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี

The 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology 2023

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

“การวิจัยเชิงนวัตกรรมเพื่อการพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานและสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืน”

INNOVATION RESEARCH FOR DEVELOPMENT IN SUSTAINABLE ENERGY AND ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY

19 พฤษภาคม 2566
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

www.engcon-rmutp.org

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ ๗

The 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology 2023

การประชุมวิชาการ
วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี

The 7th ENGCON - RMUTP 2023

INNOVATION RESEARCH FOR DEVELOPMENT IN SUSTAINABLE ENERGY
AND ENVIRONMENTAL TECHNOLOTY
"การวิจัยเชิงนวัตกรรมเพื่อการพัฒนาเทคโนโลยี พลังงาน และสิ่งแวดล้อม"



Proceedings of

The 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology 2023

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

19 พฤษภาคม 2566
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

พิมพ์ครั้งที่ 1 เดือนพฤษภาคม 2566

เจ้าของ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ที่อยู่ 1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของหอสมุดแห่งชาติ

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7
Proceedings of The 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology 2023.-- พิมพ์ครั้งที่ 7.-- กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, 2566.
450 หน้า.

1. วิศวกรรมศาสตร์. I. ชื่อเรื่อง.

620
ISBN 978-974-625-991-0

พิมพ์ที่ ร้านเอ็มบีก๊อปปี้
ที่อยู่ 17 ถนนวงศ์สว่าง แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ
กรุงเทพมหานคร 10800
โทร 02-586-9885



สารจากอธิการบดี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ดร. ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล

ยินดีต้อนรับสู่งานประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ ๗ The 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology 2023 ในวันที่ ๑๙ พฤษภาคม ๒๕๖๖ ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

โดยในปี พ.ศ. ๒๕๖๖ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ได้ตระหนักถึงความสำคัญในการพัฒนาผลงานวิจัยให้เกิดนวัตกรรม พร้อมทั้งสนับสนุน ส่งเสริม บุคลากรสายวิชาการและนักศึกษา ในการสร้างองค์ความรู้ใหม่ ๆ ที่สามารถจะนำไปประยุกต์ใช้ เพื่อให้เกิดประโยชน์ในด้านการพัฒนาชุมชนและสังคม ซึ่งจะส่งผลต่อการพัฒนาคุณภาพงานวิชาการ และงานวิจัยทั้งในระดับชาติและนานาชาติ ดังนั้นการประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ ๗ จึงจัดขึ้นเพื่อให้อาจารย์ นักวิจัย นิสิตและนักศึกษา ในสาขาวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี จากสถาบันการศึกษาต่าง ๆ ร่วมส่งบทความนำเสนอผลงานวิจัยและแลกเปลี่ยนความคิดเห็นในผลงานวิจัยด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี ซึ่งจะทำให้เกิดองค์ความรู้ใหม่ ๆ

สุดท้ายนี้ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร โดยคณะวิศวกรรมศาสตร์ ขอต้อนรับทุกท่านสู่งานประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ ๗ The 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology 2023 กระผมหวังเป็นอย่างยิ่งว่า งานประชุมวิชาการในครั้งนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อผู้สนใจทุกท่าน ถือเป็นการแลกเปลี่ยนเรียนรู้งานวิจัยร่วมกัน ทำให้เกิดประสิทธิผลในองค์กร ชุมชน สังคม และประเทศชาติในอนาคต ซึ่งถือเป็นความสำเร็จสูงสุดของการประชุมวิชาการในครั้งนี้

ดร. ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล
อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร



สารจากคณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ พันธุนะ

ในนามของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร รู้สึกเป็นเกียรติอย่างยิ่งและมีความภูมิใจในการจัดโครงการประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ ๗ (The 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology 2023 ซึ่งเป็นงานที่จัดขึ้นเป็นประจำทุกปี ซึ่งในปีนี้จัดภายใต้แนวคิด “การวิจัยเชิงนวัตกรรมเพื่อการพัฒนาเทคโนโลยี พลังงาน และสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืน” Innovation Research for Development in Sustainable Energy and Environmental Technology โดยจัดขึ้นในวันที่ ๑๙ พฤษภาคม พ.ศ.๒๕๖๖ ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ด้วยสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสภาพแวดล้อมของโลกได้เปลี่ยนแปลงไปมากอย่างเห็นได้ชัดในปัจจุบัน พลังงานถูกใช้ไปอย่างสิ้นเปลืองในยุคที่ราคาพลังงานเชื้อเพลิงต่าง ๆ พุ่งสูงขึ้น ซึ่งเป็นเหตุทำให้นักวิจัยจากทั่วโลกรวมถึงประเทศไทยหันมาทำงานวิจัยในเรื่องการหาพลังงานเชื้อเพลิงใหม่ ๆ มาทดแทนทรัพยากรต่าง ๆ ที่จะหมดไปและมีราคาสูงขึ้น ยกตัวอย่าง คนไทยเริ่มยอมรับและใช้ยานยนต์พลังงานไฟฟ้ามากขึ้น ทำให้เทคโนโลยีด้านพลังงานขยายตัวไปอย่างรวดเร็ว เช่น ตามสถานที่สาธารณะ หรือหน่วยงานของรัฐ จะเห็นสถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้ามากขึ้น ระบบนวัตกรรมด้านยานยนต์จะปรับเปลี่ยนไปอย่างมาก ดังนั้นการประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ ๗ จึงจัดขึ้นเพื่อให้อาจารย์ นักวิจัย นิสิตและนักศึกษา ในสาขาวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี จากสถาบันการศึกษาต่าง ๆ ร่วมส่งบทความนำเสนอผลงานวิจัยและแลกเปลี่ยนความคิดเห็นในผลงานวิจัย ด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี ซึ่งจะทำให้เกิดองค์ความรู้ใหม่ ๆ กระผมหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานประชุมวิชาการในครั้งนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อผู้สนใจทุกท่าน ถือเป็นการแลกเปลี่ยนเรียนรู้งานวิจัยร่วมกัน ทำให้เกิดประสิทธิผลในองค์กร ชุมชน สังคม และประเทศชาติในอนาคต ซึ่งถือเป็นความสำเร็จสูงสุดของการประชุมวิชาการในครั้งนี้

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ พันธุนะ
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

ประวัติคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ปี 2501 กรมอาชีวศึกษา ได้ทำการติดต่อกระทรวงศึกษาธิการขอเปิดโรงเรียนช่างกลขึ้นอีก 2 แห่ง คือ ช่างกลนนทบุรี และช่างกลพระนครเหนือ

เมื่อวันที่ 17 พฤษภาคม 2501 สำนักนายกรัฐมนตรี ได้อนุมัติให้กระทรวงศึกษาธิการใช้สถานที่เดิมของกรมโยธาธิการ ให้เปิดเป็นโรงเรียนช่างกลพระนครเหนือ

เมื่อวันที่ 14 กรกฎาคม 2501 ถือเป็นวันสถาปนาโรงเรียนช่างกลพระนครเหนือ โดยการเรียนการสอนในรุ่นแรกนี้ มีนักเรียนจำนวน 803 คน แบ่งเป็น 2 รอบ คือ รอบเช้า 400 คน รอบบ่าย 403 คน

ปี 2502 โรงเรียนช่างกลพระนครเหนือแยกออกจากโรงเรียนช่างกลปทุมวัน ซึ่งแต่เดิมนั้นรวมกิจการและอาจารย์ใหญ่คนเดียวกันกับโรงเรียนช่างกลปทุมวัน

ปี 2520 มีพระราชบัญญัติจัดตั้งวิทยาลัยเทคโนโลยีและอาชีวศึกษาขึ้น โดยมีฐานะเป็นกรมหนึ่งในกระทรวงศึกษาธิการ ให้มีการจัดการศึกษาในระดับปริญญาตรี จึงมีการรวมสถานศึกษาระดับอาชีวศึกษาจำนวน28 แห่งเข้าด้วยกัน โดยเรียกชื่อว่า วิทยาลัยเทคโนโลยีและอาชีวศึกษา วิทยาเขตพระนครเหนือ

ปี 2531 เมื่อวันที่ 15 กันยายน 2531 พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ ยกระดับจากวิทยาลัยเป็นสถาบัน และพระราชทานชื่อใหม่เป็น สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ทำให้วิทยาลัยเทคโนโลยี และอาชีวศึกษา วิทยาเขตพระนครเหนือ ได้ยกระดับเป็น สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตพระนครเหนือ

ปี 2537 ร่วมมือกับสถานประกอบการ ได้แก่ หอการค้าไทย – เยอรมัน บริษัท ไทยฮีโนมอเตอร์เซลส์ จำกัด บริษัท กรุงไทยแทรคเตอร์ จำกัด และสมาคมผู้ค้าอัญมณีไทยและเครื่องประดับ

ปี 2548 สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลได้รับการสถาปนา และแบ่งออกเป็นมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล 9 มหาวิทยาลัย และวิทยาเขตพระนครเหนือ เข้าสังกัดในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ปี 2549 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ประกาศจัดตั้ง คณะวิศวกรรมศาสตร์ และคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยจัดการเรียนการสอนที่ศูนย์พระนครเหนือ

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

(The 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology 2023

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7 (The 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology 2023 เป็นการประชุมวิชาการระดับชาติ ที่จัดขึ้นโดย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร **ภายใต้แนวคิด "Innovation Research for Development in Sustainable Energy and Environmental Technology" "การวิจัยเชิงนวัตกรรมเพื่อการพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานและสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืน"** โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อส่งเสริมการผลิตบทความวิจัยทางด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี อันเป็นประโยชน์ต่อการจัดการเรียนการสอน, การพัฒนา และการเผยแพร่ผลงานทางด้านวิชาการสู่สังคมภายนอก อีกทั้งยังเป็นการสนับสนุนให้อาจารย์ นักวิจัย นิสิตและนักศึกษา จากสถาบันการศึกษาต่าง ๆ ร่วมส่งบทความ เพื่อนำเสนอผลงานวิจัย และแลกเปลี่ยนความคิดเห็นในงานวิจัยด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี ซึ่งมีกำหนดการจัดงานดังกล่าว ในวันศุกร์ที่ 19 พฤษภาคม 2566 ในรูปแบบการบรรยาย โดยบทความที่ผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิจะได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่บทความวิชาการฉบับสมบูรณ์ ในรายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ (Proceedings ระดับชาติ ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

สาขาบทความในการประชุมวิชาการ ประกอบด้วย

- ไฟฟ้า (EE
- อิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม (ET
- เครื่องกลและพลังงาน (ME
- โยธาและสิ่งแวดล้อม (CE
- อุตสาหการ (IE
- คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (CP
- การจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน (IM
- การผลิตเครื่องประดับ (JM
- เมคคาทรอนิกส์ (MT

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

(The 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology 2023

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเป็นเวทีให้แก่ คณาจารย์ นักศึกษา นักวิจัย นักวิชาการ และผู้ปฏิบัติงานทั้งภาครัฐและเอกชน ในการแสดงและนำเสนอผลงานวิชาการ เป็นการเผยแพร่ผลงานอันจะเป็นประโยชน์ต่อแวดวงวิชาการและสาธารณชน
2. เพื่อสร้างบรรยากาศทางวิชาการและเป็นโอกาสอันดีที่นักวิชาการจากสถาบันต่าง ๆ ได้แลกเปลี่ยนเรียนรู้ประสบการณ์ทางด้านการวิจัย อันจะก่อให้เกิดการรวมกลุ่มกันเพื่อดำเนินการวิจัยเพื่อยกระดับคุณภาพผลงานวิจัยในระดับชาติ
3. เพื่อส่งเสริมให้เกิดกิจกรรมทางการวิจัยอันจะสนับสนุนให้เกิดการผลิตผลงานวิจัย การสร้างองค์ความรู้ การพัฒนาเทคโนโลยี และนวัตกรรมต่าง ๆ

ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ผลงานวิจัยของนักวิศวกรรม นักวิจัยในเครือข่ายและสถาบันอุดมศึกษา หน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ทั้งภาครัฐและภาคเอกชน เป็นการเผยแพร่ผลงานอันจะเป็นประโยชน์ต่อแวดวงวิชาการและสาธารณชน
2. ก่อให้เกิดการรวมกลุ่มและสร้างเครือข่ายความร่วมมือระดับนักธุรกิจ นักวิจัย สถาบัน หน่วยงานหรือองค์กรในการวิจัยเพื่อยกระดับคุณภาพผลงานวิจัยในระดับชาติ
3. ส่งเสริมให้เกิดกิจกรรมทางการวิจัยอันจะสนับสนุนให้เกิดการผลิตผลงานวิจัย การสร้างองค์ความรู้ การพัฒนาเทคโนโลยี และนวัตกรรมต่าง ๆ
4. กระตุ้นและส่งเสริมให้คณาจารย์ในมหาวิทยาลัยได้ตระหนักและเห็นถึงความสำคัญของงานวิจัยในการผลิตและเผยแพร่ผลงานวิชาการงานวิจัย
5. ผลงานวิจัยที่นำเสนอ ได้รับการสนับสนุนให้มีการตีพิมพ์เผยแพร่ในรูปแบบที่เป็นเอกสารทางวิชาการเป็นที่ยอมรับ
6. ผลงานวิจัยถูกนำไปใช้ในการต่อยอดเชิงพาณิชย์ในระบบอุตสาหกรรม และภาคธุรกิจต่าง ๆ เพื่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศอย่างยั่งยืนต่อไป

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

The 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology 2023

THE 7th ENGCON-RMUTP 2023

CALL FOR PAPERS

“การวิจัยเชิงนวัตกรรมเพื่อการพัฒนาเทคโนโลยี พลังงาน และสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืน”

INNOVATION RESEARCH FOR DEVELOPMENT IN SUSTAINABLE ENERGY AND ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY

19 พฤษภาคม 2566 ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

สาขาบทความ

- ไฟฟ้า
- อิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม
- เครื่องกลและพลังงาน
- โยธาและสิ่งแวดล้อม
- อุตสาหการ
- คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ
- เครื่องมือและแม่พิมพ์
- การจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน
- การผลิตเครื่องประดับ
- เมคคาทรอนิกส์

อัตราค่าลงทะเบียน

นักวิจัยและบุคคลทั่วไป : 2,500 บาท
นิสิตและนักศึกษา : 1,500 บาท

กำหนดการ

วันสุดท้ายของการส่งบทความ	3 เมษายน 2566
ประกาศผลการพิจารณาบทความ	10 เมษายน 2566
วันสุดท้ายของการส่งบทความฉบับสมบูรณ์	20 เมษายน 2566
วันสุดท้ายของการลงทะเบียน	21 เมษายน 2566
วันประชุมวิชาการ	19 พฤษภาคม 2566

รูปแบบบทความ : ภาษาไทย ความยาวไม่เกิน 6 หน้า กระดาษขนาด A4

การส่งบทความ : ลงทะเบียนการส่งบทความ และเลือกสาขาบทความและหัวข้อบทความผ่านระบบได้ที่เว็บไซต์ www.engcon-rmutp.org โดยเลือกที่หัวข้อการส่งบทความ

การเผยแพร่ : รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ (Proceedings)

รูปแบบการนำเสนอบทความ : นำเสนอโดยการบรรยาย (Onsite)

ติดต่อสอบถามกำหนดการและรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่

ฝ่ายวิชาการและวิจัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800
โทรศัพท์ 02-836-3000 ต่อ 4112, 4113 , 4118 E-mail : engcon7.rmutp@gmail.com

www.engcon-rmutp.org

ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ (Peer Review)

เครื่องกลและพลังงาน

1.	ผศ.ดร.ภูภูมิ	พ่วงเจริญชัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
2.	ผศ.ดร.ประเสริฐ	วิโรจน์ชีวัน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
3.	ผศ.ดร.ปฏิภาณ	ถิ่นพระบาท	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
4.	ผศ.ว่าที่เรือตรี ดร.ทรงวุฒิ	มงคลเลิศมณี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
5.	ผศ.ดร.จันทิมา	ริ้วลายเงิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
6.	ผศ.กุลยศ	สุวันทโรจน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
7.	อ.ดร.ปฏิวัติ	คมวชิรกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
8.	อ.ดร.ศุภชัย	หลักคำ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
9.	อ.ดร.ณทพร	จินดาประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
10.	อ.ดร.อนันต์	เต็มเปี่ยม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
11.	อ.ดร.ประกอบ	ชาติภุกต์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
12.	อ.ดร.กฤษณ์	อภิญญาวิศิษฐ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
13.	อ.ดร.ฐณพล	เวียงทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

อุตสาหการ

1.	ผศ.ดร.นุชรินทร์	ทิพยวรรณากร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
2.	ผศ.ดร.พิษณุ	ทองขาว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
3.	อ.ดร.อิทธิพล	เนคมานรักษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
4.	อ.ดร.กชกร	วิรัชกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
5.	อ.ดร.วัชรพันธ์	สุขเกิด	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
6.	อ.ดร.สถาพร	สุริยันต์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
7.	อ.ดร.ดาราวรรณ	วีรานันต์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
8.	อ.ดวงรัตน์	หิรัญญะสิริ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
9.	อ.วรุตม์	บุญภักดี	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ไฟฟ้า

1.	รศ.ดร.นัฐโชติ	รักไทยเจริญชีพ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
2.	รศ.ดร.ศุภวุฒิ	เนตรโพธิ์แก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ (Peer Review)

ไฟฟ้า (ต่อ)

3.	ผศ.ดร.ณัฐพงศ์	พันธุนะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
4.	ผศ.ดร.สาคร	วุฒิพัฒนพันธุ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
5.	ผศ.ดร.สุรเชษฐ	เดชฟุ้ง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
6.	ผศ.ดร.พูนศรี	วรรณการ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
7.	ผศ.ดร.พนา	ดุสิตากร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
8.	ผศ.ดร.มนัส	บุญเทียรทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
9.	ผศ.ดร.ธนารัตน์	ตันมณีประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
10.	ผศ.ดร.อานนท์	สิงห์เสถียร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
11.	ผศ.ว่าที่ร้อยตรีสุรสิทธิ์	ประกอบกิจ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
12.	ผศ.เวทรินทร์	ธัญสิประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
13.	อ.ดร.พสิษฐ์	สุวรรณภิงคาร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
14.	อ.นเรศ	ชลังสุทธิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

อิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม

1.	ผศ.ดร.นรินทร์	จีระนันตสิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
2.	ผศ.ดร.ยุทธนา	กันทะพะเยา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
3.	ผศ.ดร.อภิชฎา	ทองรักษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
4.	ผศ.ดร.ณัฏฐ์ชยธร	วัทธิกรสิริกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
5.	ผศ.กมลทิพย์	วัฒกีกำธร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
6.	ผศ.เฉลิมพล	เรืองพัฒนาวิวัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
7.	ผศ.ธนะกิจ	วัฒกีกำธร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
8.	อ.ดร.คชพงศ์	สุมานนท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
9.	อ.ดร.อัญชลี	มโนสืบ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
10.	อ.ดร.ฉัตรแก้ว	จริยตันติเวทย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
11.	อ.ร.ต.ดร.พลกฤษณ์	จริยตันติเวทย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
12.	อ.อรรถพล	ช่วยค้ำชู	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ (Peer Review)

คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ

1.	รศ.ดร.วรินทร์	สุดคนึง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
2.	ผศ.ดร.วีระยุทธ	คุณรัตนสิริ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
3.	ผศ.ดร.บุรัสกร	อยู่สุข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
4.	ผศ.ดร.กร	พวงนาค	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
5.	ผศ.กมลพรรณ	จารุวาระกูล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
6.	ผศ.สิทธิศักดิ์	วรดิษฐ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
7.	อ.ดร.เกรียงไกร	เหลืองอำพล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
8.	อ.ดร.ยุทธนา	สรวลสรรค์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
9.	อ.ดร.พรภัทร์	ศิริธรรมกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
10.	อ.ดร.ณัฐวัฒน์	จันทะเสน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
11.	อ.ดร.มัณฑนา	เตี๋ยวงษ์สุวรรณ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
12.	อ.นิลมิต	นิลาศ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

เมคคาทรอนิกส์

1.	รศ.ดร.นที	ทองอุ่น	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
2.	อ.ดร.ณัฏฐ์	สิริวรรธนานนท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
3.	อ.ดร.สิงห์แก้ว	ป๊อกเที่ง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
4.	อ.ดร.สุกัญญา	เชิดชูงาม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
5.	อ.ชลากร	อุดมรักษาสกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
6.	อ.รุ่งโรจน์	สุพงษ์วิบูลพันธ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

โยธาและสิ่งแวดล้อม

1.	ผศ.ดร.กฤษดา	เสือเอี่ยม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
2.	ผศ.ดร.สิทธิศักดิ์	แจ่มนาม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
3.	ผศ.กฤษณ์	เจ็ดวรรณะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
4.	ผศ.จักรพันธ์	แสงสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
5.	ผศ.สุนันท์	มนต์แก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ (Peer Review)

โยธาและสิ่งแวดล้อม (ต่อ)

6.	อ.ดร.ขวัญชนก	อุนทะอ่อน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
7.	อ.ดร.บูชิต	มาโห้	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
8.	อ.ดร.พรศกร	พรมสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยรามคำแหง
9.	อ.นิโรจน์	เงินพรหม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
10.	อ.สัจจะชาญ	พรัดมะลิ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
11.	อ.ณัชพงศ์พล	คงชะสิงห์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
12.	อ.ธนพัฒน์	น้ำจันทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
13.	ดร.อรรครัฐ	ขุนวิทยา	กรมโยธาธิการและผังเมือง

ผลิตเครื่องมือและแม่พิมพ์

1.	ผศ.ดร.พัตร์พิมล	สุวรรณกาญจน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
2.	อ.ดร.ประเสริฐ	ชุมปัญญา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
3.	อ.อัครเวช	ศุภาคม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
4.	ดร.โชคชัย	สิงหธรรม	ศูนย์ฝึกอบรมและทดสอบงานเชื่อม

การผลิตเครื่องประดับ

1.	ศ.ว่าที่ร้อยโท ดร.พิชัย	สดภิบาล	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2.	ศ.เกียรติคุณสุชาติ	เถาทอง	มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี
3.	รศ.ดร.ทรงวุฒิ	เอกวุฒิวงศา	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
4.	ผศ.ปริศนา	บุญศักดิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
5.	อ.อาวุธ	ฉายศิริ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
6.	อ.วรัญชลีย์	ทวีชัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

การจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน

1.	ผศ.ดร.เทอดพงษ์	แดงสี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
2.	ผศ.ดร.สุวิทย์	แพงกันยา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
3.	ผศ.สหรัตน์	วงษ์ศรีษะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
4.	อ.ดร.ณัฐวรพล	รัชสิริวัชรบุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ (Peer Review)

การจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน (ต่อ)

5.	อ.ดร.ปริญญ์	บุญกนิษฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
6.	อ.ดร.สรสุธี	บัวพูล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
7.	อ.ดร.สะคราญ	สิชฌรังษี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
8.	อ.ดร.เชาน์วัศ	อรรถนิทธิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
9.	อ.สุวัสส์	แพ่งธีระสุขมัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
10.	อ.ศิวรุตม์	จุลพรหม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
11.	อ.ประภาพร	พลอยยอด	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

คณะกรรมการจัดงาน

1. คณะกรรมการอำนวยการ

1.1 คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ (ผศ.ดร.ณัฐพงศ์ พันธุนะ)	ประธานกรรมการ
1.2 รองคณบดีฝ่ายวิชาการและวิจัย (ผศ.ดร.ภูภูมิ พ่วงเจริญชัย)	กรรมการ
1.3 รองคณบดีฝ่ายวางแผน (ผศ.เวทรินทร์ ธัญสิประเสริฐ)	กรรมการ
1.4 รองคณบดีฝ่ายกิจการนักศึกษา (อ.สุทธิพงษ์ จำรูญรัตน์)	กรรมการ
1.5 รองคณบดีฝ่ายบริหาร (อ.ดร.อัญชลี มโนสืบ)	กรรมการ
1.6 ผู้ช่วยคณบดีด้านกิจการนักศึกษา (อ.อรรถพล ช่วยค้ำชู)	กรรมการ
1.7 ผู้ช่วยคณบดีด้านวางแผน (ผศ.ดร.อานนท์ สิงห์เสถียร)	กรรมการ
1.8 ผู้ช่วยคณบดีด้านบริหาร (ผศ.ดร.วีระยุทธ คุณรัตนสิริ)	กรรมการ
1.9 ผู้ช่วยคณบดีด้านวิชาการและวิจัย (อ.ดร.ณทพร จินดาประเสริฐ)	กรรมการและเลขานุการ

2. คณะกรรมการดำเนินงาน

2.1 ผศ.ดร.ภูภูมิ	พ่วงเจริญชัย	ประธานกรรมการ
2.2 ผศ.ว่าที่ ร.ต.สุรสิทธิ์	ประกอบกิจ	กรรมการ
2.3 ผศ.สหรัตน์	วงษ์ศรีษะ	กรรมการ
2.4 อ.ดร.เกรียงไกร	เหลืองอำพล	กรรมการ
2.5 อ.ดร.สุกัญญา	เชิดชูงาม	กรรมการ
2.6 อ.ดร.คชพงศ์	สุมานนท์	กรรมการ
2.7 อ.ดร.กฤษณ์	อภิญญาวิศิษฐ์	กรรมการ
2.8 อ.ดร.ขวัญชนก	อุนทะอ่อน	กรรมการ
2.9 อ.อัครเวช	ศุภาคม	กรรมการ
2.10 อ.สมพงษ์	เชื้อพระคา	กรรมการ
2.11 อ.อาวุธ	ฉายศิริ	กรรมการ
2.12 อ.ดร.ณทพร	จินดาประเสริฐ	กรรมการและเลขานุการ

3. คณะกรรมการด้านประชาสัมพันธ์ บันทึกภาพ จัดทำเว็บไซต์และป้ายประกาศ

3.1 อ.ดร.อัญชลี	มโนสืบ	ประธานกรรมการ
3.2 น.ส.อภิญญา	ชุมนุมมณี	กรรมการ
3.3 นายโกวิท	พลีบูรณ์	กรรมการ
3.4 นางสาวกชรัตน์	ฉิมคล้าย	กรรมการ

คณะกรรมการจัดงาน

3. คณะกรรมการด้านประชาสัมพันธ์ บันทึกภาพ จัดทำเว็บไซต์และป้ายประกาศ (ต่อ)

3.5 นายสมยศ	แสงจันทร์	กรรมการ
3.6 ผศ.ดร.วีระยุทธ	คุณรัตนสิริ	กรรมการและเลขานุการ

4. คณะกรรมการดำเนินงานด้านตรวจรูปแบบบทความและพิจารณาบทความ

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

4.1 ผศ.ดร.ภูภูมิ	พ่วงเจริญชัย
4.2 ผศ.ดร.ประเสริฐ	วิโรจน์ชีวัน
4.3 ผศ.ดร.ปฏิภาณ	ถิ่นพระบาท
4.4 ผศ.ดร.จันทิมา	ริ้วลายเงิน
4.5 ผศ.ว่าที่เรือตรี ดร.ทรงวุฒิ	มงคลเลิศมณี
4.6 ผศ.กุลยศ	สุวันทโรจน์
4.7 อ.ดร.ปฏิวัติ	คมวชิรกุล
4.8 อ.ดร.ศุภชัย	หลักคำ
4.9 อ.ดร.ณทพร	จินดาประเสริฐ
4.10 อ.ดร.อนันต์	เต็มเปี่ยม
4.11 อ.ดร.ประกอบ	ชาติภุกต์
4.12 อ.ดร.กฤษณ์	อภิญญาวิศิษฐ์
4.13 อ.ดร.ฐณพล	เวียงทอง

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

4.14 ผศ.ดร.พิษณุ	ทองขาว
4.15 อ.ดร.อิทธิพล	เนคมานรักษ์
4.16 อ.ดร.กชกร	วิรัชกุล
4.17 อ.ดร.วัชรพันธ์	สุขเกิด
4.18 อ.ดร.สถาพร	สุริยันต์
4.19 อ.ดร.ดาราวรรณ	วีรานันต์

คณะกรรมการจัดงาน

4. คณะกรรมการดำเนินงานด้านตรวจรูปแบบบทความและพิจารณาบทความ (ต่อ)

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

4.20 รศ.ดร.นัฐโชติ	รักไทยเจริญชีพ
4.21 รศ.ดร.ศุภวุฒิ	เนตรโพธิ์แก้ว
4.22 ผศ.ดร.ณัฐพงศ์	พันธุนะ
4.23 ผศ.ดร.สาคร	วุฒิพัฒนพันธุ์
4.24 ผศ.ดร.สุรเชษฐ	เดชฟุ้ง
4.25 ผศ.ดร.พูนศรี	วรรณการ
4.26 ผศ.ดร.พนา	ดุสิตากร
4.27 ผศ.ดร.มนัส	บุญเทียรทอง
4.28 ผศ.ดร.ธนารัตน์	ตันมณีประเสริฐ
4.29 ผศ.ดร.อานนท์	สิงห์เสถียร
4.30 ผศ.ว่าที่ร้อยตรีสุรสิทธิ์	ประกอบกิจ
4.31 ผศ.เวทรินทร์	ธัญสิประเสริฐ
4.32 อ.ดร.พสิษฐ์	สุวรรณภิงคาร
4.33 อ.นเรศ	ชลังสุทธิ์

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม

4.34 ผศ.ดร.อภิชฎา	ทองรักษ์
4.35 ผศ.ดร.ณัฏฐ์ชยธร	วัทธิกรสิริกุล
4.36 ผศ.กมลทิพย์	วัฒกีกำธร
4.37 ผศ.ธนะกิจ	วัฒกีกำธร
4.38 อ.ดร.คชพงศ์	สุมานนท์
4.39 อ.ดร.อัญชลี	มโนสืบ
4.40 อ.ดร.ฉัตรแก้ว	จริยตันติเวทย์
4.41 อ.ร.ต.ดร.พลกฤษณ์	จริยตันติเวทย์
4.42 อ.อรรถพล	ช่วยค้ำชู

คณะกรรมการจัดงาน

4. คณะกรรมการดำเนินงานด้านตรวจรูปแบบบทความและพิจารณาบทความ (ต่อ)

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

4.43 รศ.ดร.วรินทร์	สุดคนึง
4.44 ผศ.ดร.วีระยุทธ	คุณรัตนสิริ
4.45 ผศ.ดร.บุรัสกร	อยู่สุข
4.46 ผศ.ดร.กร	พวงนาค
4.47 ผศ.กมลพรรณ	จารุวาระกูล
4.48 ผศ.สิทธิศักดิ์	วรดิษฐ์
4.49 อ.ดร.เกรียงไกร	เหลืองอำพล
4.50 อ.ดร.ยุทธนา	สรวลสรรค์
4.51 อ.ดร.พรภัทร์	ศิริธรรมกุล
4.52 อ.ดร.ณัฐวัฒน์	จันทะเสน
4.53 อ.ดร.มัณฑนา	เตี๋ยวงษ์สุวรรณ์
4.54 อ.นิลมิต	นิลาศ

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์

4.55 อ.ดร.สิงห์แก้ว	ป๊อกเที่ง
4.56 อ.ดร.สุกัญญา	เชิดชูงาม
4.57 อ.ชลากร	อุดมรักษาสกุล
4.58 อ.รุ่งโรจน์	สุพงษ์วิบูลพันธ์

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

4.59 ผศ.ดร.กฤษดา	เสือเอี่ยม
4.60 ผศ.กฤษณ์	เจ็ดวรรณะ
4.61 ผศ.จักรพันธ์	แสงสุวรรณ
4.62 ผศ.สุนันท์	มนต์แก้ว
4.63 อ.ดร.ขวัญชนก	อุนทะอ่อน
4.64 อ.ดร.บูชิต	มาโห้
4.65 อ.นิโรจน์	เงินพรหม

คณะกรรมการจัดงาน

4. คณะกรรมการดำเนินงานด้านตรวจรูปแบบบทความและพิจารณาบทความ (ต่อ)

4.66 อ.สัจจะชาญ พรัดมะลิ
4.67 อ.ณัชพงศ์พล คงชะสิงห์
4.68 อ.ธนพัฒน์ น้ำจันทร์

สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตเครื่องมือและแม่พิมพ์

4.69 อ.ดร.ประเสริฐ ชุมปัญญา
4.70 อ.อัครเวช ศุภาคม

สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตเครื่องประดับ

4.71 ผศ.ปริศนา บุญศักดิ์
4.72 อ.อาวุธ ฉายศิริ
4.73 อ.วรัญชลีย์ ทวีชัย

สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการเพื่อความยั่งยืน

4.74 ผศ.ดร.เทอดพงษ์ แดงสี
4.75 ผศ.ดร.สุวิทย์ แพงกันยา
4.76 ผศ.สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ
4.77 อ.ดร.ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล
4.78 อ.ดร.ปริญญ์ บุญกนิษฐ
4.79 อ.ดร.สรสุธี บัวพูล
4.80 อ.ดร.สะคราญ สิชฌรังษี
4.81 อ.ดร.เชาน์วัศ อรรถนิทธิ์
4.82 อ.สุวัสส์ แพ่งธีระสุขมัย
4.83 อ.ศิวรุตม์ จุลพรหม
4.84 อ.ประภาพร พลอยยอด

5. คณะกรรมการจัดทำเล่มบทความ และประกาศนียบัตร

5.1 อ.ดร.ยุทธนา	สรวลสรรค์	ประธานกรรมการ
5.2 นางวรรณรัฐ	คงสมบูรณ์	กรรมการ
5.3 น.ส.สาวิตรี	อยู่อ่วม	กรรมการ

คณะกรรมการจัดงาน

5. คณะกรรมการจัดทำเล่มบทความ และประกาศนียบัตร (ต่อ)		
5.4 นายอานนท์	จำเริญพัฒน์	กรรมการ
5.5 นายสมยศ	แสงจันทร์	กรรมการ
5.6 นายธนพล	สวนลำไย	กรรมการและเลขานุการ
6. คณะกรรมการด้านสื่อโสตทัศนูปกรณ์		
6.1 ผศ.ธนะกิจ	วัฒกีกำธร	ประธานกรรมการ
6.2 ผศ.กมลทิพย์	วัฒกีกำธร	กรรมการและเลขานุการ
7. คณะกรรมการด้านอาหารและของที่ระลึก		
7.1 น.ส.สุภาภรณ์	ลาทุม	ประธานกรรมการ
7.2 น.ส.พรศิริ	ยงสวัสดิ์	กรรมการ
7.3 น.ส.ศิริกุล	ภู่จำนงค์	กรรมการ
7.4 น.ส.เบญจพร	แสงเงิน	กรรมการ
7.5 นางวรรณรัฐ	คงสมบูรณ์	กรรมการและเลขานุการ
8. คณะกรรมการด้านงานลงทะเบียน		
8.1 อ.ประสิทธิ์	แพงเพชร	ประธานกรรมการ
8.2 นายอานนท์	จำเริญพัฒน์	กรรมการ
8.3 น.ส.สิริขวัญ	ชาวบัวใหญ่	กรรมการ
8.4 นางสุกัญญา	พินิจเวชการ	กรรมการ
8.5 น.ส.อังคณา	เผ่าชูศักดิ์	กรรมการ
8.6 นางสาวเนตรนภา	แสงเงิน	กรรมการ
8.7 นางกัญญ์ชิสา	ธัญสิประเสริฐ	กรรมการ
8.8 น.ส.จันทร์เพ็ญ	คำภูมี	กรรมการและเลขานุการ
9. คณะกรรมการด้านต้อนรับและปฐมพยาบาล		
9.1 อ.สุทธิพงษ์	จำรูญรัตน์	ประธานกรรมการ
9.2 น.ส.ศศิชานันท์	ฤกษ์เรืองชัย	กรรมการ
9.3 น.ส.เพ็ญผกา	เกิดแก่น	กรรมการ

คณะกรรมการจัดงาน

9. คณะกรรมการด้านต้อนรับและปฐมพยาบาล (ต่อ)		
9.4 น.ส.กนิษฐา	ปิ่นวนิช	กรรมการ
9.5 นางปาริชาติ	คำกองแก้ว	กรรมการ
9.6 ปิยะภรณ์	มีศิริ	กรรมการ
9.7 น.ส.สุดารัตน์	ดวงประทุม	กรรมการ
9.8 น.ส.ทิพรดา	มุ่งดี	กรรมการและเลขานุการ
10. คณะกรรมการด้านการเงินและพัสดุ		
10.1 อ.ดร.อัญชลี	มโนสืบ	ประธานกรรมการ
10.2 น.ส.วนรัตน์	มุกนนท์	กรรมการ
10.3 น.ส.ธีร์นานา	การุณย์นวสิริ	กรรมการ
10.4 น.ส.กมลวรรณ	อาชวอาชานกุล	กรรมการ
10.5 น.ส.ปลื้มจิตต์	นราภิรมย์ขวัญ	กรรมการ
10.6 นางธัชมนตร์	พินิจเวชการ	กรรมการ
10.7 นางศรัญญา	พิริยประเสริฐ	กรรมการ
10.8 นายอัคคพงศ์	อภิรักษ์สันติ	กรรมการ
10.9 น.ส.สกาวรัตน์	นิ่มอนงค์	กรรมการ
10.10 นางจุไรภรณ์	กิริติยกุลย์	กรรมการและเลขานุการ
11. คณะกรรมการด้านพิธีกร พิธีการ		
11.1 อ.สุวัสส์	แพ่งธีระสุขมัย	กรรมการ
11.2 น.ส.สาวิตรี	อยู่อ่วม	กรรมการ
12. คณะกรรมการด้านจัดทำหนังสือราชการ		
12.1 น.ส.ภาพร	มีสาตร์	กรรมการ
12.2 น.ส.ณชนันท์	ขำทัศน์	กรรมการ
12.3 น.ส.จิตเกษม	ใจแก้ว	กรรมการ
12.4 น.ส.วรวิณัฏฐา	จารุเมธ	กรรมการ

คณะกรรมการจัดงาน

13. คณะกรรมการด้านประเมินผลและสถานที่		
13.1 ผศ.เวทรินทร์	ธัญสิประเสริฐ	ประธานกรรมการ
13.2 นายเสกสรร	กันธรส	กรรมการ
13.3 นางกุสุมา	ระงับภัย	กรรมการ
13.4 น.ส.รจนา	สร้อยแก้ว	กรรมการ
13.5 นายปิยะ	พิทักษ์โกมลเสน	กรรมการ
13.6 นางนงนภัส	ทองวิจิตร์	กรรมการและเลขานุการ
14. คณะกรรมการด้านยานพาหนะ		
14.1 ผศ.ดร.อานนท์	สิงห์เสถียร	ประธานกรรมการ
14.2 นายไพฑูรย์	อาราเบีย	กรรมการ
14.3 นายปิยะพันธ์	บำเรอจิตร	กรรมการ

หน่วยงานที่ส่งบทความเข้าร่วมในการประชุมวิชาการ

ลำดับ	ชื่อหน่วยงาน	จำนวนบทความ
1	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	26
2	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	9
3	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	3
4	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	4
5	มหาวิทยาลัยรามคำแหง	6
6	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ	1
7	มหาวิทยาลัยศิลปากร	3
8	มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี	1
9	มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์	1
10	มหาวิทยาลัยทักษิณ	1
11	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ	1
12	มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต	4
13	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น	1

หน่วยงานที่ส่งบทความเข้าร่วมในการประชุมวิชาการ

ลำดับ	ชื่อหน่วยงาน	จำนวนบทความ
14	มหาวิทยาลัยพะเยา	1
15	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์	2
16	มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต	3
17	มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย	1
18	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	1
19	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	1
20	มหาวิทยาลัยศรีปทุม	3
21	มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์	1
22	วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม	1
23	สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน	1
	รวม	76 บทความ

จำนวนบทความวิจัย

บทความวิจัย	76 บทความ
เครื่องกลและพลังงาน (ME)	16 บทความ
ไฟฟ้า (EE)	9 บทความ
อุตสาหการ (IE)	9 บทความ
อิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม (ET)	6 บทความ
คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (CP)	12 บทความ
เมคคาทรอนิกส์ (MT)	4 บทความ
โยธาและสิ่งแวดล้อม (CE)	9 บทความ
การจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน (IM)	8 บทความ
การผลิตเครื่องประดับ (JM)	3 บทความ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
RMUTP FACULTY OF ENGINEERING

กำหนดการประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

(The 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology 2023)

ณ ห้องประชุมเฟืองเหนือ ชั้น 7 อาคารอเนกประสงค์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

วันศุกร์ ที่ 19 พฤษภาคม พ.ศ. 2566							
08.00 - 08.30 น.	ลงทะเบียนเข้าร่วมงานประชุมวิชาการ						
08.30 - 09.00 น.	พิธีเปิดการประชุมวิชาการ โดยรองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและพัฒนาคณาจารย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ณ ห้องประชุมเฟืองเหนือ ชั้น 7 อาคารกิจการนักศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์						
09.00 - 09.30 น.	ผู้บรรยาย : 1. คุณเฉลิมวุฒิ สงวนญาติ บริษัท ซีแพค คอนสตรัคชั่นโซลูชั่น (CPAC)						
09.30 - 10.00 น.	ผู้บรรยาย : 2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิรวดี ผลประเสริฐ สมาคมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า (ประเทศไทย) EEAAT						
10.00 - 10.15 น.	พัก - รับประทานอาหารว่าง						
10.15 - 10.45 น.	ผู้บรรยาย : 3. คุณอนุสรณ์ ทนหมื่นไวย รองผู้อำนวยการ สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ						
10.45 - 11.15 น.	ผู้บรรยาย : 4. คุณคุณวิทยา พลเพชร นายกสมาคมผู้ผลิตเครื่องมือตัดไทย						
หมายเลขห้อง	ห้องประชุมเฟืองเหนือ ชั้น 7	1958	1951	1952	1953	1954	1955
กลุ่มสาขาบทความ	ME	MT	ET	CP	CE	JM	EE
11.15 - 12.00 น.	ME103 - ME104	MT701 - MT703	ET401 - ET403	CP501 - CP503	CE802 - CE804	JM1001 - JM1003	EE202 - EE205
ประธาน	ผศ.ดร.จันทิมา ริ้วลายเงิน	ดร.สิงห์แก้ว ป๊อกเพิ่ง	ดร.ฉัตรแก้ว จริยตันติเวทย์	ผศ.ดร.วีระยุทธ คุณรัตนสิริ	ดร.บูชิต มาโห้	อาจารย์อาวุธ ฉายศิริ	ผศ.ดร.ธนารัตน์ ต้นมณีประเสริฐ
รองประธาน	ดร.ฐณพล เวียงทอง	ดร.คมพันธ์ ชมสมุทร	ร.ต.ดร.พลกฤษณ์ จริยตันติเวทย์	ผศ.ดร.บุรัสกร อยู่สุข	ดร.ภัทรชัย พงศ์โสภา	อาจารย์วรัญชลีย์ ทวีชัย	อาจารย์นเรศ ชลังสุทธิ์
12.00 - 13.00 น.	พัก - รับประทานอาหารกลางวัน						
หมายเลขห้อง	ห้องประชุมเฟืองเหนือ ชั้น 7	1958	1951	1952	1953	1954	1955
กลุ่มสาขาบทความ	ME	MT , IE	ET , ME	CP	CE	IM	EE
13.00 - 14.30 น.	ME107 - ME113	MT704 , IE304 - IE309	ET404 - ET406 , ME121-128	CP504 - CP510	CE805 - CE811	IM901 - IM912	EE207 - EE214
ประธาน	ผศ.ดร.จันทิมา ริ้วลายเงิน	ดร.สิงห์แก้ว ป๊อกเพิ่ง , ดร. อิทธิพล เนคมานุรักษ์	ดร.ฉัตรแก้ว จริยตันติเวทย์ , ผศ.ดร.ภูภูมิ พ่วงเจริญชัย	ผศ.ดร.วีระยุทธ คุณรัตนสิริ	ดร.บูชิต มาโห้	ผศ.ดร.เทอดพงษ์ แดงสี	ผศ.ดร.ธนารัตน์ ต้นมณีประเสริฐ
รองประธาน	ดร.ฐณพล เวียงทอง	ดร.คมพันธ์ ชมสมุทร , ผศ.ดร.พิษณุ ทองขาว	ร.ต.ดร.พลกฤษณ์ จริยตันติเวทย์ , ดร.ณทพร จินดาประเสริฐ	ผศ.ดร.บุรัสกร อยู่สุข	ดร.ภัทรชัย พงศ์โสภา	ผศ.ดร.สุวิทย์ แพงก้นยา	อาจารย์นเรศ ชลังสุทธิ์
14.30 - 14.45 น.	พัก - รับประทานอาหารว่าง						
หมายเลขห้อง	ห้องประชุมเฟืองเหนือ ชั้น 7	1958	1951	1952	1953	1954	1955
กลุ่มสาขาบทความ	ME	IE	ME	CP		IM	
14.45 - 17.00 น.	ME114 - ME120	IE310 - IE313	ME129	CP511 - CP513		IM913 - IM914	
ประธาน	ผศ.ดร.จันทิมา ริ้วลายเงิน	ดร. อิทธิพล เนคมานุรักษ์	ผศ.ดร.ภูภูมิ พ่วงเจริญชัย	ผศ.ดร.วีระยุทธ คุณรัตนสิริ		ผศ.ดร.เทอดพงษ์ แดงสี	
รองประธาน	ดร.ฐณพล เวียงทอง	ผศ.ดร.พิษณุ ทองขาว	ดร.ณทพร จินดาประเสริฐ	ผศ.ดร.บุรัสกร อยู่สุข		ผศ.ดร.สุวิทย์ แพงก้นยา	

หมายเหตุ : การนำเสนอบทความ นำเสนอ 10 นาที สอบถาม 5 นาที (รวม 15 นาที/บทความ)

กำหนดการต่างๆ อาจเปลี่ยนแปลงได้ตามความเหมาะสม

สารบัญ

รหัสบทความ	ชื่อเรื่อง	หน้า
เครื่องกลและพลังงาน		
ME-103	การศึกษาแนวคิดทฤษฎีและปัจจัยหลักสำคัญตามแนวทางอาคารโรงพยาบาลมุ่งสู่การใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ *ปิติ อนนตพันธ์ วรานนท์ คงสง ชัยวัฒน์ ภู่วรชัยกุล และ ธีรเดช สมยงทวีพร*	1
ME-104	ปัจจัยด้านขอใบอนุญาตและเทคนิควิศวกรรมเพื่อความสำเร็จของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย *โชคชัย จำปีเรือง วรานนท์ คงสง ชัยวัฒน์ ภู่วรชัยกุล ธีรเดช สนองทวีพร และ ทรงกฤต ตรีรัตน์พิจารณ์*	7
ME-107	การทดสอบประสิทธิภาพชุดเทอร์โมอิเล็กทริกระบายความร้อนด้วยน้ำหล่อเย็น *ธนพัต ว่องธัญกิจ และ ภูภูมิ พ่วงเจริญชัย*	13
ME-109	การศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้เชื้อเพลิงทะลายปาล์มในเตาเผาไหม้ตะกรับแบบขั้นบันได *ชายชาตรี ศรีโท ฐานทัพ สุจิพงศ์ กัลติญา จีนจรรยา ภาคภูมิ ทิพย์ประเสริฐ เตวิช มั่นใจ พงศกร สิงหปรีชา กาญจนา สันติปาตี ปริญญา ตากรวด และ ปรีดา จันทวงษ์ ติกะ บุนนาค*	20
ME-110	การศึกษาสมรรถนะและมลพิษของเครื่องยนต์เบนซินใช้น้ำมันเบนซิน 95 และ น้ำมันเบนซิน95 ผสม สารเทิร์ท-บิวทานอล10% เป็นเชื้อเพลิง *กาญจนา สันติปาตี ชัยยศ ดำรงกิจโกศล และ ปรีดา จันทวงษ์*	24
ME-111	แนวทางการตรวจสอบและบำรุงรักษาเพื่อควบคุมปัจจัยเสี่ยงของการเกิดเหตุเครื่องจักรหม้อน้ำระเบิด *สุรัตน์ อินทรเพชร นันท์นภัสร อินยิ้ม เลิศเลขา ศรีรัตนะ และ บุญธรรม หาญพาณิชย์*	30
ME-112	รูปแบบที่เหมาะสมของระบบปรับอากาศภายในห้องเซิร์ฟเวอร์ : กรณีศึกษา *แพรวพฐู เพียรชูชัย*	36
ME-113	การประเมินความคุ้มค่าของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา กรณีศึกษา : บริษัท เบอร์ลิน ฟาร์มาซูติคอล อินดัสตรี้ จำกัด *วิภวา อัศวโนดม และ พิชญ รัชฎาวงศ์*	41
ME-114	การศึกษาเครื่องทดสอบแรงเฉือน *ประเสริฐ วิโรจน์ชีวัน ปฏิภาณ ถิ่นพระบาท ฐณพล เวียงทอง พีรสิชณ์ ชฎาธร กันตภณ รมเยศ ณัฐดนัย อ้อมมูล วสันต์ สุธาชีวิสิทธิ์ และ ณทพร จินดาประเสริฐ*	46

รหัสบทความ	ชื่อเรื่อง	หน้า
เครื่องกลและพลังงาน		
ME-116	การวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานและความสูญเสียของการไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดไอน้ำจากความร้อนทิ้ง *กฤษณะ เศวตโพธิทอง และ ปูมยศ วัลลิกุล*	51
ME-117	การจำลองการถ่ายเทความร้อนของฮีทซิงค์สำหรับหลอดไฟ LED กำลังสูง: แบบที่มีและไม่มีโดเมนของของไหล *ไชยา สุภัคเจริญศรี และ พิสิฐ ยงยิ่งศักดิ์ถาวร*	55
ME-120	การวิเคราะห์และการจัดการความร้อนโมดูลแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนโดยใช้ชุดทำความเย็นเธอร์โมอิเล็กทริก *อานนท์ เหมมัน และ เจริญพร เลิศสถิตธนกร*	61
ME-121	การผลิตเชื้อเพลิงไบโอเอทานอลจากกากส้มเหลือทิ้งสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงเอทานอลป้อนตรง *เบญญาภา ธันวารชร และ ณาวดี ศรีศิริวัฒน์*	65
ME-122	A Study of Performance Evaluation and the Payback of Investment with Carbon Credit of Three PV Panel Types in the Utility-Scale: The Installations in Ayutthaya, Lop Buri, and Prachuap Khiri Khan in Thailand. *Prachuab Peerapong*	70
ME-128	ผลกระทบของอัตราการไหลเชิงมวลและการจัดวางหัวจ่ายอากาศต่อการกระจายตัวของอากาศร้อนภายในเตาอบแห้ง *รัฐนันท์ ราษฎรปราณี และ พิสิฐ ยงยิ่งศักดิ์ถาวร*	75
ME-129	การวัดขนาดหยดของหัวฉีดแอร์บลาสต์ที่ออกแบบสำหรับเครื่องพ่นสเปรย์หมอก *อัญญาณี อ้นวงษ์ ทรงฤทธิ์ ตันชัชวาล และ พิสิฐ ยงยิ่งศักดิ์ถาวร*	81
ไฟฟ้า		
EE-202	แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าแบบพกพาเพื่อการเกษตร *ณัฐพร แซ่ผ้าง และ สุนิศา พิมสีกล่ำ*	87
EE-203	การพัฒนาแบบจำลองทางเภสัชจลนศาสตร์ของยาซาบูทามอลในอาสาสมัครเพื่อทำนายระดับความเข้นข้นในเลือดด้วยแบบจำลองแบบแบ่งส่วน *ต้าย บัณฑิศักดิ์ และ นันทพันธ์ นภัทรานันทน์*	91
EE-205	การพัฒนาเว็บแอพพลิเคชั่นสำหรับทำรายงานการตรวจสอบระบบไฟฟ้า *วัชระ สมจิตต์ นันทวรรณ อ่ำเอี่ยม และ กุลวลัญช์ วรุณสิน*	95

รหัสบทความ	ชื่อเรื่อง	หน้า
ไฟฟ้า		
EE-207	การพัฒนาระบบบำบัดน้ำด้วยเทคนิคพลาสมาที่สภาวะบรรยากาศ *ณัฐกิตติ์ กาบุตร ณัฐริกา บุญชุบ พงศ์ภัค สมวี สุพัตรา หวังเกษม สุธิดา ทีปรักษพันธ์ และ คณิศร์ มาตรา*	99
EE-208	A Numerical Study of Temperature in the Medium-voltage Electrical XLPE Cable in Heating Cycle Tests *Latdavone Phothilack and Boonchai Techaumnat*	103
EE-210	การวางแผนเพิ่มประสิทธิภาพของระบบจำหน่ายไฟฟ้าด้วยการเลือกขนาดการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ *นเรศ ชลังสุทธิ์ จักรกฤษ คงดำ วราภรณ์ รินทา ณัชพล เรืองทรัพย์ และ นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ*	108
EE-211	ระบบคัดกรองผู้ป่วยเบื้องต้นควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ *กันยารัตน์ เอกเอี่ยม และ องอาจ ทับบุรี*	112
EE-213	การออกแบบระบบแสงสว่างในห้องประชุมขนาดใหญ่เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน *ณัฐพงศ์ พันธุนะ กัญญารัตน์ ศรีอ่อน ไอรดา ตั้งสกุลยิ่งเจริญ และ ปิยธิดา พันธุนะ*	118
EE-214	การศึกษาลักษณะการวางและระยะห่างระหว่างตัวส่งสัญญาณกับตัวรับสัญญาณที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการอัดประจุแบตเตอรี่แบบไร้สายขนาด 300 วัตต์ *อุดมศักดิ์ โชติมงคล และ จิรวัตน์ กรุณา*	122
อุตสาหการ		
IE-304	กระถางเพาะชำชีวภาพจากฟางข้าว *อติศักดิ์ ไสวอมร วิทฤทธิ์ โคตรมณี และ สุประวิทย์ เมืองเจริญ*	126
IE-306	แชทบอทประชาสัมพันธ์ข้อมูลสายรถโดยสาร: กรณีศึกษาโรงงานผลิตระบบส่งกำลัง *ปณัฐ มณีพงษ์เศรษฐ กุลวลัญช์ วรุณสิน และ นันทวรรณ อ่ำเอี่ยม*	130
IE-307	การวิเคราะห์พฤติกรรมลูกค้าด้วยการเรียนรู้ของเครื่องจักรเพื่อการคัดเลือกสินค้าและให้บริการ กรณีศึกษาบริษัทวางระบบรักษาความปลอดภัย *เกรียงวุฒิ วรุณสิน เลิศเลขา ศรีรัตนะ นันทวรรณ อ่ำเอี่ยม และ บุญธรรม หาญพาณิชย์*	136
IE-308	การเพิ่มประสิทธิภาพสายการผลิต โดยเทคนิคการผลิตแบบลีน กรณีศึกษา: กระบวนการเย็บกางเกง *ประภัสรา ว่องวัฒนกูล และ ประจวบ กล่อมจิตร*	142
IE-309	การลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนประกอบขดลวดนำโดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง *ธวัชชัย ภัทรดนัย และ ประจวบ กล่อมจิตร*	148

รหัสบทความ	ชื่อเรื่อง	หน้า
อุตสาหการ		
IE-310	การบริหารจัดการลดข้อร้องเรียนเกี่ยวกับคุณภาพสินค้าประเภทอาหารแปรรูป กรณีศึกษา บริษัท ผู้ผลิตสินค้าอาหารแปรรูป *นพพล รุ่งเรือง ศักดิ์ชาย รักการ อิงอร ตั้นพันธ์ และ พจนีย์ ศรีวิเชียร*	154
IE-311	การคงอยู่ในองค์กรของพนักงานโรงงานอุตสาหกรรม : กรณีศึกษากลุ่มโรงงานนิคมอุตสาหกรรมบางปู *สมพงษ์ เชื้อพระคา กระสุน จุลพันธ์ อภิวัฒน์ เพ็งพันธ์ พรพิศ ศิริมา และ พิษณุ ทองขาว*	160
IE-312	การปรับปรุงสายการประกอบสปริงเช็ควาล์ว SCV15 กรณีศึกษา : บริษัทผลิตอุปกรณ์ประปา *พรพิศ ศิริมา อารวี กูใหญ่ ถิรเดช ฤกษ์วิธี พิษณุ ทองขาว และ สมพงษ์ เชื้อพระคา*	166
IE-313	การลดของเสียในกระบวนการฉีดแก้วกาแฟ: กรณีศึกษา บริษัท ตัวอย่าง *พิษณุ ทองขาว ศุภวิชญ์ ตั้งพรโชติช่วง อัฐสนัย ขุนไชยรักษ์ พรพิศ ศิริมา และ สมพงษ์ เชื้อพระคา*	172
อิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม		
ET-401	การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับปัญหากระจัดกระจายของคลื่นระนาบสม่ำเสมอบนไดอิเล็กตริกทรงกระบอกหน้าตัดรูปวงกลมที่ไม่มีการสูญเสีย *พลกฤษณ์ จริยตันติเวทย์ และ ฉัตรแก้ว จริยตันติเวทย์*	176
ET-402	สายอากาศโมโนโพลที่มีเรโซเนเตอร์วงแหวนแยกสำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดิน *มานะชัย พรมดี และ ประชา โอษคลัง*	181
ET-403	แหล่งจ่ายไฟฟ้าไฮบริดเซลล์เชื้อเพลิงและตัวเก็บประจุแบบยิ่งยวดที่ใช้วงจรแปลงผันแบบบูสต์เพียงวงจรเดียว *ณัฏฐกิตติ์ พลเมืองดี ไชยนรินทร์ อัครวโรดม และ เมธีพจน์ พัฒนศักดิ์*	187
ET-404	ระบบป้องกันและควบคุมเหตุเพลิงไหม้ภายในบ้าน *ธนะกิจ วัฒกีกำธร กมลทิพย์ วัฒกีกำธร โชติรส แซ่ลิ้ม และ สหัสวรรษ วังทอง*	193
ET-405	เครื่องเพาะเห็ดนางฟ้าควบคุมด้วยระบบเสียงแบบ IOT *คชพงศ์ สุมานนท์ พลกฤษณ์ จริยตันติเวทย์ อานนท์ สิงห์เสถียร และ เวทรินทร์ ธัญสิประเสริฐ*	199
ET-406	การประเมินความเป็นไปได้ในการใช้งานร่วมกันระหว่าง 5G และกิจการดาวเทียมสำหรับย่านความถี่ 28 GHz ในประเทศไทย *ญาตินันท์ ทองเนียม และ จิรศิลป์ จยาวรรณ*	203

รหัสบทความ	ชื่อเรื่อง	หน้า
คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ		
CP-501	การแสดงผลข้อมูลด้วยภาพสำหรับวัดไทยในจังหวัดนนทบุรี *วีรวรรณ จันทนะทรัพย์ นริศรา นาคเมธี และ สยาม ลางคุลเสน*	208
CP-502	ระบบสืบค้นผ้าซิ่นสำหรับศูนย์วัฒนธรรมศึกษาจังหวัดน่าน *สุขสวรรค์ คำวงศ์ เกวรินทร์ จันทร์ดำ และสิทธิเดช วชิราศรีศิริกุล*	214
CP-503	ระบบจัดการต้นทุนสำหรับเช่ารถทัวร์ *ธนพันธ์ นววงศานันต์ และ นันทิกา ปริญญาพล*	222
CP-504	“Dischool” บอทดิสคอร์ดสำหรับช่วยจัดการการเรียนการสอนออนไลน์ *ศุวิล ชมชัยยา บุรัสกร อยู่สุข กิตติศักดิ์ สังฆะรักษ์ และ ธีรพงษ์ เอี่ยมอาษา*	227
CP-505	การพัฒนาเว็บไซต์เผยแพร่ทวิตสัตว์เลี้ยงที่ต้องการการอุปถัมภ์ *ศิวกร ดีชูศร ศิรภัสสร สุขขนาน และ ณสิทธิ์ เหล่าเส็น*	233
CP-506	การศึกษาเปรียบเทียบความเร็วของอินเทอร์เน็ตที่ให้บริการโดยโครงข่าย 5G : กรณีแหล่งท่องเที่ยวสำคัญในเขตอำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี *จุฑารัตน์ อินทรีย์นันทน์ พงษ์พิสิฐ วุฒิดิษฐโชติ และ เทอดพงษ์ แดงสี*	238
CP-507	การศึกษาชุดคำสั่งสำหรับค้นหาแฮชแท็กแรกในทวิตเตอร์ *สิริพงศ์ วรประชา และ พงษ์พิสิฐ วุฒิดิษฐโชติ*	243
CP-508	การพัฒนาระบบสารสนเทศการให้บริการรถโดยสารสาธารณะในจังหวัดภูเก็ตด้วยเทคโนโลยีเสมือนจริง *หัสวรรษ ศิริลักษณ์ อนาวิน บุญเทียม และ อุไรรัตน์ มากจันทร์*	249
CP-510	การพยากรณ์การตัดสินใจในใช้ e-wallet ด้วยเหมืองข้อมูล *วรมันต์ เจริญรักษา และ สุวรรณี อัศวกุลชัย*	253
CP-511	การพัฒนาแอปพลิเคชันแนะนำแหล่งท่องเที่ยววิสาหกิจชุมชนใน 3 จังหวัดฝั่งอันดามัน *ศักดิ์ชัย ไตรศรี วสิษฐ์พล ศิริตัน อรรถพล ปิลไลย์ และ อุไรรัตน์ มากจันทร์*	258
CP-512	สหกิจศึกษาบนแพลตฟอร์มออนไลน์ *นริศรา นาคเมธี ชาญวิทย์ ปราบพยัคฆ์ สยาม ลางคุลเสน และ วีรวรรณ จันทนะทรัพย์*	262
CP-513	การศึกษาประสิทธิภาพการพยากรณ์ฝุ่น PM2.5 ในเขตกรุงเทพมหานครโดยแบบจำลองไฮบริดร่วมกับค่าถ่วงน้ำหนัก *ธัชกร พลเสนา และ ดวงใจ จิตคงชื่น*	268

รหัสบทความ	ชื่อเรื่อง	หน้า
เมคคาทรอนิกส์		
MT-701	พัฒนาระบบติดตามเวลาสูญเสียการบรรจุภัณฑ์กาวยาแนวด้วยอินเตอร์เน็ตของสรรพสิ่ง *จักรพันธ์ นันทพันธุ์กุล และ ภุมรินทร์ ทวิชศรี*	273
MT-702	การออกแบบและพัฒนาชุดต้นแบบการจำลองระบบการผลิตอัตโนมัติเพื่อฝึกทักษะด้านเมคคาทรอนิกส์ *สุกัญญา เชิดชูงาม วัชร ส่งเสริม ดุลยวัต เสนาะกรรณ์ สุรเดช โอสถเสถียร และ ธนภัทร วงษ์ไพบูลย์*	277
MT-703	การออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ต้นแบบการปลูกต้นกล้าไม้แบบกึ่งอัตโนมัติ *รุ่งโรจน์ สุพงษ์วิบูลพันธ์ วัชร ส่งเสริม วีรชัย แซ่เล่า ปิยวดี นาคคง และ ฟาฮิม มูซอ*	283
MT-704	การศึกษาและออกแบบอุปกรณ์เชื่อมต่อชุดจำลองระบบอุตสาหกรรมอัตโนมัติกับชุดพีแอลซี *สิงห์แก้ว ป๊อกเที่ง คมพันธ์ ชมสมุทร ชลากร อุดมรักษาสกุล วันวลิต นามวงศ์ และ ศศิธร บีดขุนทด*	288
โยธาและสิ่งแวดล้อม		
CE-802	สมบัติทางกลและพฤติกรรมการดัดของคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็ก *กฤษดา เสือเอี่ยม ชนนฐ์ยวัส รัตนวิเชียร ฐานันดร ศรีอาภรณ์ วัชรพงศ์ พรพงศ์รัตน์ สุวัฒน์ ถิรเศรษฐ์ พิชญ์ธิดา จิตตมาโร ณัชพงศ์พล คงชะสิงห์ ธนพัฒน์ น้ำจันทร์ และ สถาพร ลือรุ่งรัตน์วุฒิ*	293
CE-803	การพัฒนาผลิตภัณฑ์พื้นจากวัสดุคอมโพสิทเส้นใยสบู่ดำผสมพลาสติกในอุตสาหกรรมก่อสร้าง *นิโรจน์ เงินพรหม*	299
CE-804	การศึกษาแบบจำลองสารสนเทศอาคารในงานบริหารทรัพยากรอาคาร : กรณีศึกษาอาคารสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร *ธนพัฒน์ น้ำจันทร์ ขวัญชนก อุนทะอ่อน กฤษดา เสือเอี่ยม บูชิต มาโห้ ณัชพงศ์พล คงชะสิงห์ และ ภัทรชัย พงศ์โสภา*	305
CE-805	การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเศษไม้อัดทางวิศวกรรมเหลือทิ้งมาใช้เป็นมวลรวมผสมคอนกรีต *บูชิต มาโห้ ภัทรชัย พงศ์โสภา ธนพัฒน์ น้ำจันทร์ กฤษดา เสือเอี่ยม ณัชพงศ์พล คงชะสิงห์ ขวัญชนก อุนทะอ่อน และ จักรพันธ์ แสงสุวรรณ*	309

รหัสบทความ	ชื่อเรื่อง	หน้า
โยธาและสิ่งแวดล้อม		
CE-807	การศึกษาคุณสมบัติด้านอุณหภูมิของมอร์ต้าผสมเม็ดโฟม *ภัทรชัย พงศ์โสภา บูชิต มาโห้ ธนพัฒน์ น้ำจันทร์ กฤษดา เสือเอี่ยม ขวัญชนก อุนทะอ่อน จักรพันธ์ แสงสุวรรณ และ ณัชพงศ์พล คงชะสิงห์*	315
CE-808	ผลกระทบจากความเค็มของน้ำเกลือต่อคุณสมบัติทางกลศาสตร์ของคอนกรีต *บุรินทร์ ทองเกลี้ยง เดโช เผือกภูมิ และ กิตติเทพ เฟื่องขจร*	320
CE-809	การปรับปรุงคุณภาพชั้นพื้นทางด้วยมวลรวมจากพื้นทางเดิมผสมปูนซีเมนต์ กรณีศึกษาทางหลวงชนบท ปท.3028 *ชิษณุ อัมพรายน์ และ ไพจิตร ผาวัน*	326
CE-810	การประยุกต์ใช้เศษวัสดุก่อสร้างทดแทนทรายธรรมชาติสำหรับอิฐดินดิบที่ใช้ก่อสร้างบ้านดิน *ชัยภัทร ถาวรโลหะ สุพิชญ์ชญา ตันสุเมธ พัชรี เอียดสีทอง และ วริสรา เลิศไพฑูรย์พันธ์*	332
CE-811	การประยุกต์ใช้แบบจำลองการถดถอยเพื่อพัฒนาการถอดปริมาณงานโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยซอฟท์แวร์บิม *ไพจิตร ผาวัน และ ภาสกร เมฆอากาศ*	337
การจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน		
IM-901	การปรับปรุงสมบัติของเชื้อเพลิงกะลาปาล์มด้วยกระบวนการทอร์รีแฟกชัน *ธเนศ อุ่นชัยศรี ปวีณ ชัยวัฒมเสฏฐ์ และ วราภรณ์ เมธาวิริยะศิลป์*	343
IM-905	การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิลมร้อนและเวลาในขั้นตอนแรกของกระบวนการอบแห้งที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์มะม่วงน้ำดอกไม้อบแห้งโดยใช้เทคนิคอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน *สุธินนท์ พัชรัชต์วิรากุล และ สุวิทย์ แพงกันยา*	348
IM-908	การอบแห้งมะม่วงน้ำดอกไม้สุกโดยปราศจากการเติมสารละลายน้ำตาลด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนโดยใช้เทคนิคปรับลดอุณหภูมิลมร้อน *สุธินนท์ พัชรัชต์วิรากุล และ สุวิทย์ แพงกันยา*	353
IM-909	การจัดการบำรุงรักษาเชิงรุกของเครื่องจักรซีเอ็นซีในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูป *ธนวัฒน์ แข็งแรง ศักดิ์ชาย รักการ และ จีรวัฒน์ ปล้องใหม่*	359

รหัสบทความ	ชื่อเรื่อง	หน้า
การจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน		
IM-911	การลดปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตเส้นบะหมี่ กรณีศึกษา บริษัท ผู้ผลิตอาหารประเภทแป้ง จำกัด *ศักดิ์ชาย รักการ พจนีย์ ศรีวิเชียร ธรรม์ณชาติ วันแต่ง และ อนุพงศ์ วันแต่ง*	365
IM-912	การจัดการเศษวัสดุที่เกิดจากการก่อสร้างในโครงการก่อสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่งริมแม่น้ำลพบุรี ต. โก่งธนู อ. เมือง จ. ลพบุรี *รชต ชัยเมือง ศักดิ์ชาย รักการ และ พจนีย์ ศรีวิเชียร*	371
IM-913	การจัดการโลจิสติกส์ข้าวหอมมะลิดินภูเขาไฟเพื่อเพิ่มมูลค่าเศรษฐกิจหมุนเวียนที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ของบ้านโคกเมือง ตำบลจรเข้มาก อำเภอประโคนชัย จังหวัดบุรีรัมย์ *อุดมพงษ์ เกศศรีพงษ์ศา*	377
IM-914	การออกแบบบรรจุภัณฑ์พลาสติกโดยประยุกต์ใช้แนวทางอุตสาหกรรมสีเขียว กรณีศึกษา: ขวดบรรจุภัณฑ์พลาสติก 3,000 มิลลิลิตร *เศรษฐการ สุริโย และ ประจวบ กล่อมจิตร*	383
การผลิตเครื่องประดับ		
JM-1001	การศึกษาลวดลายงานตอกกระดาษช่างสิบหมู่เมืองเพชรเพื่อออกแบบเครื่องประดับ “ลูกแก้วล้อมลาย” *ปริศนา บุญศักดิ์ จินต์จิ สหรัตนพันธ์ และ ปุญญพัฒน์ ดอนไพรวัลย์*	389
JM-1002	การศึกษาลวดลายและสีงานเบญจรงค์เพื่อประยุกต์ใช้ในการออกแบบเครื่องประดับสมัยใหม่ *ธีรวัฒน์ แม้นด้วง ณัฐศรา ใจดี และ กรกช สัมฤทธิ์*	394
JM-1003	การออกแบบเครื่องประดับร่วมสมัย กรณีศึกษาลวดลายกระติบข้าวจังหวัดสุรินทร์ *วรัญชลีย์ ทวีชัย นครินทร์ บุญเกิด และ รัตนภรณ์ ใจปันธิ*	398

บทความวิจัย

เครื่องกลและพลังงาน

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

การศึกษาแนวคิดทฤษฎีและปัจจัยหลักสำคัญตามแนวทางอาคารโรงพยาบาลมุ่งสู่การใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

Theoretical Concepts and Key Factors Study toward Net Zero Energy Building for Hospital

ปิติ อนนตพันธ์[1]*, วรานนท์ คงสง [2], ชัยวัฒน์ ภู่วรชัยกุล[3], ธีรเดช สมยงทวีพร[4]

Piti Anontapant[1], Waranon Kongsong[2], Chaiwat Phuworachaikul, Teeradej Somyomthaveeporn

[1,2,3]สาขาวิชาการตรวจสอบและกฎหมายวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยรามคำแหง

[4]รองคณบดี คณะบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยนอร์ทกรุงเทพ

[1]6419770008@rumail.ru.ac.th , [2]waranon.k@rumail.ru.ac.th, [3]chaiwat.p@rumail.ru.ac.th, [4]Teeradej@nbk.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ศึกษาแนวคิดทฤษฎีและ (2) ศึกษาปัจจัยหลักสำคัญตามแนวทางการจัดการพลังงานสุทธิเป็นศูนย์สำหรับอาคารโรงพยาบาลโดยใช้วิธีวิจัยเชิงคุณภาพตามรูปแบบการวิจัยเชิงเอกสารด้วยการสังเคราะห์บทความที่เกี่ยวกับแนวคิด ทฤษฎี และตัวอย่างแนวปฏิบัติที่ดีของการจัดการพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ของอาคารประเภทสถานพยาบาล ในช่วงปี 2553 - 2565 โดยใช้คำสำคัญ ได้แก่ nZEB, SEC, Air Conditioning Systems, Building Energy, health care, และ Academic buildings จากวารสาร รายงานการวิจัย และนำมาสรุป ผลการดำเนินการวิจัยพบว่าปัจจัยหลักที่มีผลต่อกลยุทธ์การจัดการพลังงานสุทธิเป็นศูนย์มี 3 ปัจจัย ดังนี้ (1) ปัจจัยด้านวิศวกรรม ได้แก่ ชนิดของพลังงาน ระบบปรับอากาศ (2) ปัจจัยด้านสถาปัตยกรรม ได้แก่ ขนาดของพื้นที่รับแสงทั้งจากด้านหลังคา ด้านผนังอาคารและหน้าต่าง, แหล่งกำเนิดพลังงานทดแทนจากเซลแสงอาทิตย์ และ (3) ปัจจัยด้านการจัดการสิ่งอำนวยความสะดวก เป็นตัวแปรที่สำคัญ

คำสำคัญ: อาคารที่มีพลังงานสุทธิเป็นศูนย์, อาคารสถานพยาบาล ระบบปรับอากาศ การใช้พลังงานในอาคาร

Abstract

This article aims to (1) Study concepts and theories, and (2) study the key factors of net-zero energy management in public service buildings. This qualitative research methodology to synthesize selected articles on concepts, theories, and good practice examples of net zero energy management of health care buildings during the B.E. 2553-2565. Using keywords from the research journal reports and summarized according to the nZEB, SEC, air conditioning systems, building energy, health care buildings. The results showed that the main factor that affects net zero energy management strategies are three factors as follows: (1) Engineering factors, namely types of energy, and air-conditioning system, (2) Architectural factors namely the size of the area receiving light from the roof, building walls and windows, renewable energy sources from solar cells, and (3) Facilities Management factors are an important variable.

Keywords: nZEB (Nearly Zero Energy Building), Healthcare buildings, Hospital, Air Conditioning Systems, Building Energy.

1. บทนำ

สภาวะโลกร้อนก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศที่มีแนวโน้มความรุนแรง และความถี่เพิ่มสูงขึ้น นำมาสู่ความร่วมมือกันระหว่างประเทศต่าง ๆ ในโลก เพื่อที่จะป้องกันหายนะภัยทางด้านสภาพภูมิอากาศ จึงเกิดจากการประชุม Earth Summit ปี 1992 (พ.ศ. 2535) ซึ่งเป็นการริเริ่มดำเนินความสัมพันธ์ระหว่างประเทศเพื่อรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเพื่อชะลอการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ต่อมาเกิดข้อตกลงปารีสปี 2015 (COP No. 21) ที่กำหนดเป้าหมายให้รักษาอุณหภูมิของโลกไม่ให้เพิ่มเกิน 2 องศาเซลเซียส และให้พยายามตั้งเป้าไว้ที่ 1.5 องศาเซลเซียส ภายในสิ้นศตวรรษ 21 อย่างไรก็ตาม จากที่ผ่านมาหลังจากความตกลงปารีสมีผลบังคับใช้ พบว่าประเทศภาคีสมาชิกยังดำเนินการไม่เพียงพอที่จะควบคุมอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกให้เป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ และถ้าไม่มีการดำเนินงานเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างจริงจัง จะไม่สามารถ

บรรลุเป้าหมายดังกล่าวได้ ดังนั้นในการประชุมสมัชชาประเทศภาคีอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Conference of Parties, COP No. 26) ครั้งที่ 26 [1] ในปี 2564 ที่เมืองกลาสโกว์ ประเทศสกอตแลนด์ มีจุดประสงค์เพื่อกำหนดแนวทางการดำเนินการแก้ไขปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงสุดร่วมกันในกลุ่มประเทศสมาชิก

ประเทศไทยเป็นหนึ่งใน 197 ประเทศภาคีสมาชิก,[2]. มีสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม (สผ.) เป็นหน่วยประสานงานกลาง ทางรัฐบาลไทย โดยคณะกรรมการปฏิรูปพลังงาน ได้รับมอบหมายให้ทำการศึกษา แนวทางในการปรับแผนกลยุทธ์ด้านการจัดการพลังงาน เพื่อให้เกิดการใช้พลังงานของประเทศที่ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในอนาคต โดยจะต้องดำเนินการตามแผนยุทธศาสตร์ชาติเพื่อให้ประเทศและประชาชนได้รับประโยชน์ รวมทั้งเอกชนที่ร่วมมือกับรัฐบาลก็ต้องได้ผลประโยชน์อย่างเป็นธรรมโดยมีคณะทำงานคือ คณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ (กพช.) ได้ร่างกรอบที่สำคัญ [3] คือ กรอบความร่วมมือเพื่อการจัดการพลังงานเป็นศูนย์ ซึ่งได้กำหนดแนวนโยบายภาคพลังงาน โดยมีเป้าหมายสนับสนุนให้ประเทศไทย มุ่งสู่การลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก และ ลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิเป็นศูนย์ (Carbon Neutrality) ภายในปี ค.ศ. 2065 - 2070 (พ.ศ. 2608 – 2613) หรืออีกประมาณ 50 ปีข้างหน้า และกำหนดให้กระทรวงพลังงาน เป็นผู้รับดำเนินการในฐานะกรรมการ สำหรับประเทศไทยในปัจจุบันอาคารที่ใช้กลยุทธ์ด้านการจัดการพลังงาน เพื่อการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ยังมีจำนวนไม่เกิน 10 อาคาร ซึ่งส่วนใหญ่เป็นอาคารภาครัฐ หรือรัฐวิสาหกิจที่เกี่ยวข้องด้านพลังงาน เช่น การไฟฟ้าฝ่ายผลิต ดังนั้น การศึกษาทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับแนวคิด ทฤษฎี และตัวอย่างแนวปฏิบัติที่ดีของการจัดการพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ของอาคารประเภทสถานพยาบาล และอาคารสถานศึกษา ซึ่งนับเป็นอาคารบริการสาธารณะ ทั้งในระดับชาติและระดับนานาชาติ เพื่อเป็นแนวทางให้การจัดการพลังงานของประเทศไทยเกิดขึ้นอย่างเป็นรูปธรรม

2. วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ศึกษาแนวคิด ทฤษฎี และตัวอย่างแนวปฏิบัติที่ดีของการจัดการพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ของอาคารประเภทสถานพยาบาลในช่วงปี 2553 - 2565 โดยใช้คำสำคัญ ได้แก่ nZEB, SEC (Specific Energy Consumption), และ healthcare buildings, Hospital, Greenhouse gases, Air Conditioning Systems, Building Energy (2) ศึกษาปัจจัยหลักสำคัญตามแนวทางการจัดการพลังงานสุทธิเป็นศูนย์สำหรับอาคารประเภทบริการสาธารณะ เช่น โรงพยาบาลและสถานศึกษา

3. วิธีการวิจัย

ผู้วิจัยได้ใช้ระเบียบวิธีวิจัยเชิงคุณภาพ ด้วยการใช้หลักการวิจัยเชิงเอกสาร ทำการสืบค้นเอกสารทั้งในและต่างประเทศในช่วงปี 2010 - 2022 และได้นำมาเรียบเรียงให้เป็นลำดับ โดย แยกปัจจัยเชิงนโยบาย คำจำกัดความ สมการที่เกี่ยวข้อง กลุ่มประเทศที่ให้ความสนใจด้านการจัดการพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ และกลุ่มอุตสาหกรรมบริการที่สามารถตอบสนองต่อนโยบายการจัดการพลังงานภาครัฐได้ เพื่อนำมาวิเคราะห์และแยกปัจจัยที่มีผลต่อการจัดการเป็นหมวดหมู่ เพื่อทำการตรวจวัดและศึกษาวิจัยได้อย่างต่อเนื่อง ในการดำเนินการวิจัย มีขั้นตอนดังนี้ (1) ผู้วิจัยได้คัดกรองเฉพาะจากเอกสารทั้งในและต่างประเทศ การจัดการอาคารบริการสาธารณะเฉพาะอาคารสถานพยาบาลในประเทศกลุ่มยุโรปและเอเชีย(2) ปัจจัยทางด้านวิศวกรรม ได้แก่ ชนิดของพลังงาน ระบบปรับอากาศ และ ปัจจัยด้านสถาปัตยกรรม ได้แก่ ขนาดของพื้นที่รับแสง ทั้งจากด้านหลังคา ด้านผนังอาคารและจากหน้าต่าง, แหล่งกำเนิดพลังงานทดแทนจากเซลแสงอาทิตย์ และ ปัจจัยด้านการจัดการสิ่งอำนวยความสะดวก เป็นตัวแปรที่สำคัญ

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการวิเคราะห์และสังเคราะห์แนวคิดทฤษฎีจากบทความ

พบว่ากลุ่มประเทศยุโรป มีแนวทางปฏิบัติที่ชัดเจนในการศึกษากลยุทธ์ด้านการจัดการที่ทำให้อาคาร มุ่งสู่การดำเนินการด้านกลยุทธ์เพื่อการจัดการพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ ซึ่งเป็นแนวทางการจัดการพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ในระดับสากล จากแนวคิดที่เกิดจากการประชุม COP ครั้งที่ 21 (COP21) และครั้งที่ 26 (COP26) และมีความสำคัญที่ประเทศภาคีสมาชิกตั้งใจร่วมกันที่จะดำเนินการกิจกรรมต่างๆ ในการใช้พลังงานในหน่วยของตนเอง มีความสมดุล คือมีการใช้และมีการสร้างพลังงานทดแทนให้สมดุลกัน

นอกจากนี้ ยังพบว่า แนวคิดมาตรฐาน มาตรฐาน “SEC” Specific Energy Consumption เป็นมาตรฐานที่ใช้เป็นหลักในประเทศไทย ในการจัดการพลังงาน ถูกนำมาใช้ดำเนินการอย่างจริงจังในปี 2535 โดยกระทรวงพลังงานมีหน่วยงานที่รับผิดชอบโดยตรง จัดตั้งพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 และพัฒนาแนวทางการจัดการพลังงานมา เป็นระยะ ๆ จากรายงานของกระทรวงพลังงาน เมื่อปี 2548 ได้นิยามค่า SEC ไว้ดังนี้ การประมาณค่าพลังงานของอาคารต่างๆ โดยได้ใช้ค่ามาตรฐานที่เรียกว่า “SEC” ซึ่งเป็นคำย่อของ Specific Energy Consumption ซึ่งเป็นการหาค่าพลังงานที่ใช้ไปต่อหน่วยชี้วัดของอาคารประเภทนั้น ตัวอย่างเช่น อาคารประเภทโรงพยาบาลหน่วยชี้วัด คือ สัดส่วนจำนวนคนไข้ในต่อปี เปรียบเทียบกับผลผลิต จากการบริการที่เกิดขึ้นจากโรงงานอุตสาหกรรม ทำให้สามารถบ่งชี้ถึงศักยภาพในการใช้พลังงานเพื่อการบริการได้อย่างชัดเจน เป็นแนวทางที่ขาดความเป็นสากล

จากเอกสารวรรณกรรม [4] กำหนดเกณฑ์มาตรฐานค่า SEC ของอาคารบริการสาธารณะ มีความเกี่ยวข้องกับตัวแปร 3 ตัว ได้แก่ (1) ปริมาณการใช้พลังงานของอาคาร , (2) ปริมาณพื้นที่ปรับอากาศ และ (3) จำนวนปริมาณผู้ใช้ในพื้นที่ จากการพิจารณาข้อมูลทุติยภูมิทั้งหมดที่ได้จาก แบบส่งข้อมูลการใช้งานของอาคารการใช้พลังงานและการอนุรักษ์พลังงาน (สำหรับอาคารควบคุม) พบว่าการใช้พลังงานของอาคารขึ้นอยู่กับการใช้พลังงานภายในพื้นที่ปรับอากาศเป็นหลัก จากข้อมูลอ้างอิงจากรายงาน SEC ของอาคาร_มาตรฐาน “SEC” ในประเทศไทย จากการกำหนดแนวคิดของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนฯ สำหรับอาคารประเภทโรงพยาบาล พื้นที่ภายในอาคารกว่าร้อยละ 80 เป็นส่วนปรับอากาศ โดยเฉพาะพื้นที่ในส่วนทางการแพทย์ต่างๆ โดยพื้นที่ ส่วนบริหารต่างๆ ของอาคาร มีแนวทางการคำนวณ เป็นค่าพลังงานที่ใช้เป็นพลังงานต่อคน /วัน (เตียง-วัน) หน่วย MJ/ Bed-Day (ต่อปี) สมการที่ (1)

SEC = ปริมาณการใช้พลังงานต่อปี / จำนวนคนไข้ในต่อปี (1)

รูปแบบของสมการใช้เพื่อการสะท้อนถึงค่าพลังงานต่อหน่วยเตียงต่อปี เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพิจารณาความสัมพันธ์ของโรงพยาบาลที่มีขนาดต่างๆกัน ในด้านขนาด ลักษณะของการบริการโดยใช้ดัชนี จำนวนคนไข้ในต่อปี ซึ่งในข้อมูลนี้ จะสามารถนำมาเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงาน ทำให้เห็นแนวโน้มการใช้พลังงาน ของจำนวนคนไข้ที่ใกล้เคียงกันได้ จากการพิจารณาข้อมูลของโรงพยาบาลรวม 198 แห่งจาก แบบสรุปข้อมูลในเล่มรายงานพบว่าค่า SEC ในปัจจุบันสามารถทำการเฉลี่ยจากข้อมูลในช่วงปี 2548 - 2548 มีรูปแบบดังนี้

ตารางที่ 1 ค่าพลังงานในกลุ่มอาคาร โรงพยาบาล

	ค่ารวม (MJ/Bed-Day)	**โรงพยาบาลรัฐ (MJ/Bed-Day)**	**โรงพยาบาลเอกชน (MJ/Bed-Day)**
ค่าเฉลี่ย	441	262	625
ค่าสูงสุด	4,064	2,481	4,064
ค่าต่ำสุด	17	17	138
ค่าStandard Deviation	0.482	0.340	0.557

ที่มา รายงานของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนฯ (พพ.) (2550) [4]

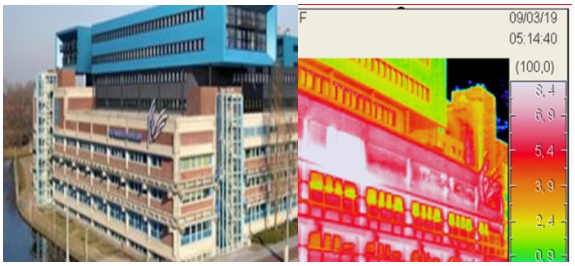
เมื่อนำข้อมูลที่ได้วิเคราะห์แล้วจาก โรงพยาบาล 198 แห่งจาก แหล่งข้อมูล พบว่า ค่าเฉลี่ย มีค่าเท่ากัน 441 MJ/Bed-Day ขณะที่โรงพยาบาล รัฐมีค่าเฉลี่ย 262 MJ-Bed-Day และ โรงพยาบาลเอกชน มีค่าเฉลี่ย 625 MJ-Bed-Day พบว่าแนวคิดการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานของ พพ. การให้ความสำคัญกับสามเสาหลัก คือ H- Hardware (อาคารและงานระบบ) P- Peopleware (ผู้ใช้อาคาร) และ S –System ware คือ การบริหารจัดการพลังงาน อย่างไรก็ตาม สามารถทำการคำนวณอัตราการใช้พลังงานจาก MJ-Bed-Day ในหน่วย กิโลวัตต์-ชม ได้เช่นกัน(1 MJ = 0.2777777778 kW*h หรือ 1 kW-h = 3.6 MJ ตัวอย่างเช่น การเปลี่ยน15 MJ เป็น กิโลวัตต์-ชม (Kw-h หากมีค่าการใช้พลังงาน 15 MJ จะได้ 15 × 0.278 kWh = 4.167 kW*h เป็นหน่วยที่สามารถคำนวณได้ จะเห็นได้ว่ามีค่าความแตกต่างในการใช้พลังงานเปรียบเทียบระหว่างโรงพยาบาลของรัฐและโรงพยาบาลของเอกชน ประมาณ 2.4 เท่า จึงทำให้ความสนใจในการประหยัดพลังงานอาจมุ่งไปที่ โรงพยาบาลภาคเอกชน เป็นกลุ่มเป้าหมาย โดยมี โรงพยาบาลภาครัฐเป็นข้อมูลฐาน

4.2.ผลการวิเคราะห์ปัจจัยหลักสำคัญตามแนวทางการจัดการพลังงานสุทธิเป็นศูนย์สำหรับอาคารประเภทบริการสาธารณะ

ปรากฏว่า แนวทางในการศึกษาและนำมาปฏิบัติคล้ายคลึงกันทั่วโลกโดยใช้แนวทาง 3 ด้านประกอบด้วย (1) ด้านสถาปัตยกรรมศาสตร์ คือแนวทางการตรวจวัดความร้อนที่ตกกระทบอาคารด้วยเครื่องมือวัดวิศวกรรม คือกล้องถ่ายภาพความร้อน และทิศทางของแสงที่ตกกระทบอาคาร การพิจารณาเปลือกอาคาร ค่า OTTV ซึ่งผู้วิจัยจะได้นำมาใช้ในการวิจัยนี้ (2) ด้านวิศวกรรมศาสตร์ คือการศึกษาค่าการใช้พลังงานในอาคาร ตามแนวทางสากล และ (3) ด้านการศึกษาพฤติกรรมการใช้งาน จำนวนผู้ป่วยในของโรงพยาบาล การเก็บข้อมูลความถี่ในการใช้งาน พื้นที่ตามลักษณะของการใช้งานแต่ละลักษณะของสถานประกอบการทั้งโรงพยาบาล

4.2.1. กรณีศึกษาแนวปฏิบัติที่ดีของการจัดการพลังงานสุทธิเป็นศูนย์

(1) กรณีศึกษาที่ 1 กรณีศึกษาจากประเทศเนเธอแลนด์,[5]อาคารโรงพยาบาล VUmc Policlinic, VU Medisch Centrum (Medical Center) เป็นอาคารมหาวิทยาลัยด้านการแพทย์ (University of Medical Center), Amsterdam UMC เป็นหนึ่งในศูนย์การแพทย์ของมหาวิทยาลัย (UMC) ในประเทศเนเธอร์แลนด์ ก่อตั้งในปี 1880 และในปี 1964 ได้ยกฐานะเป็นโรงเรียนแพทย์ของ Vrije Universiteit ลักษณะทางกายภาพของกรณีศึกษานี้ ใช้เป็นกรณีศึกษาแบบเฉพาะเจาะจง โดยใช้ปริมาณพื้นที่คือ 80,000 ตรม. อายุตั้งแต่ 10- 30 ปี เป็นกรอบในการศึกษา แสดงอาคารดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 Amsterdam UMC, Location VUmc เปรียบเทียบ กับการถ่ายภาพความร้อน **[6]**

โดยพบว่า ปัจจัยสำคัญ ในกรณีศึกษาที่ 1 คือ ระบบปรับอากาศซึ่งจัดเป็นตัวแปรหลักที่เกี่ยวข้องกับงานวิศวกรรม คือการวางตำแหน่งของหัวจ่ายระบบปรับอากาศและระบายอากาศ มีผลต่อการจัดการพลังงาน ข้อมูลการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ปริมาณการใช้พลังงานรวมในวงรอบของอาคาร คือ วัน เดือน และปี เนื่องจากในประเทศที่มีภูมิอากาศหนาว ปัจจัยด้านอุณหภูมิความชื้นจากภายนอกเป็นปัจจัยที่มีผลต่อค่าการใช้พลังงาน เช่นกัน

จากกรณีศึกษาข้างต้น สามารถกำหนดตัวแปรสำคัญได้ ดังนี้ (1) ปริมาณการใช้พลังงานของอาคารโรงพยาบาลโดยรวม โดยการศึกษาค่าการใช้พลังงานในพื้นที่ต่างๆ รวมถึงองค์รวมของโรงพยาบาล ตลอดทั้งช่วงปีเป็นเวลา 1-2 ปี (2) ชนิดและจำนวนของเครื่องปรับอากาศ ที่ใช้การควบคุมในระบบ CAV หรือ VRF/VRV , จำนวน และชนิดของหัวจ่ายประเภทต่างๆ ในพื้นที่ อาคาร โรงพยาบาล และความเชื่อมโยงในการปรับอากาศ รวมถึงเทคโนโลยีที่ใช้ในการควบคุม (3) ลักษณะของกรอบอาคาร พื้นที่ และ ค่า U-Value เป็นเกณฑ์บันทึก โดยการเก็บข้อมูล ศึกษาลักษณะของกรอบอาคาร และ คำนวณค่า U-Value ของกรอบแต่ละประเภทในอาคาร (4) ลักษณะการใช้พื้นที่ โดยใช้จำนวนผู้ใช้พื้นที่ เป็นตัวแปร ทำการศึกษาและเก็บข้อมูลลักษณะการใช้พื้นที่ โดยบันทึกจำนวนผู้ใช้พื้นที่ในแต่ละแผนก (5) ตัวแปรที่ใช้ศึกษาในโครงการ VU คือ ปริมาณพลังงานรวมที่ใช้ในแต่ละวงรอบ วัน /เดือน /ปี ของโรงพยาบาล ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) สู่ชั้นบรรยากาศ ศึกษาข้อมูลชนิดหรือลักษณะของระบบปรับอากาศปัจจุบัน และตำแหน่งในการติดตั้งซึ่งทางโรงพยาบาลใช้ ชนิด CAV (Cavity Air Volume) เพื่อนำแนวคิดด้านการกำหนดตัวแปรมาศึกษาเพิ่มเติมสำหรับงานวิจัยในประเทศไทย และ (6) ปัจจัยสำคัญคือ ระบบปรับอากาศเป็นตัวแปรหลักโดยการวางตำแหน่งของหัวจ่ายระบบปรับอากาศนำมาใช้เป็นกลยุทธ์การจัดการที่สำคัญ ปริมาณการใช้พลังงานรวมของอาคาร คือ วัน หรือ เดือน และปี เนื่องจากในประเทศที่มีภูมิอากาศหนาว ปัจจัยด้านอุณหภูมิความชื้นจากภายนอกเป็นปัจจัยที่มีผลต่อค่าการใช้พลังงาน เช่นกัน

(2) กรณีศึกษาที่ 2 กรณีศึกษาในประเทศไทย , [7]
การศึกษานี้ทำการปรับปรุงอาคารที่กำลังใช้งานสู่อาคารใช้พลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์ โดยใช้กรณีศึกษาอาคารเรียน 3 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์สูง 10 ชั้นประกอบด้วยพื้นที่ ห้องสำนักงาน ห้องเรียน ห้องน้ำ ห้องเก็บของ อาคารมีพื้นที่ใช้สอยทั้งหมด 7,260 ตารางเมตร มีพื้นที่ปรับอากาศ 386.75 ตารางเมตร โดยผลการจำลองค่าพลังงานสำหรับอาคารกรณีศึกษาด้วยโปรแกรม Energy Plus มีค่าดัชนีการใช้ไฟฟ้ารวมเท่ากับ 52.93 kWh/m²/year ค่าพลังงานรวมที่ใช้ตลอดทั้งปี 384,471

kWh/year ค่าจากแบบจำลอง PVsyst เพื่อหาพลังงานไฟฟ้าในการติดตั้งเซลล์ แสงอาทิตย์ได้ค่าพลังงานเท่ากับ 231,780 kWh/year การศึกษานี้มีมาตรการปรับปรุงอาคาร 5 มาตรการ คือ (1) วางแผนและทำการปรับเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศให้มีประสิทธิภาพสูง Inverter (2) ตั้งตั้งผนัง Gypsum หนา 25 mm ที่ผนังเพิ่ม 1 ชั้น (3) เปลี่ยนหลอดไฟให้มีประสิทธิภาพสูง LED (4) เปลี่ยนกระจกให้มี ประสิทธิภาพสูง Low-E และ (5) การจัดหาพลังงานด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ สำหรับกรณีนี้ นำมาวิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยทางวิศวกรรม ที่ลักษณะโดยเฉพาะของอาคาร เช่น ระบบปรับอากาศ แสงสว่าง การใช้แหล่งพลังงานทดแทน เป็นต้น

ตารางที่ 2 ปัจจัยทางสถาปัตยกรรม และวิศวกรรม

ปัจจัยทางสถาปัตยกรรม	**ปัจจัยทางวิศวกรรม**
1.ขนาดของโครงการ ประกอบด้วย	1.ชนิดของพลังงานที่ใช้ในปัจจุบัน
1.1 จำนวนเตียงใช้งานในโรงพยาบาล	1.1 น้ำมัน (จำนวนตัว หรือชุด.)
1.2 พื้นที่ใช้สอยทั้งหมด (ตารางเมตร)	1.2 ไฟฟ้า (จำนวนตัว หรือหลอด.)
1.3 พื้นที่จอดรถ (จำนวนคัน)	1.3 ลม (จำนวนตัว หรือชุด.)
1.4 พื้นทีปรับอากาศ (ตรม.)	1.4 พลังงานแสงอาทิตย์ (จำนวนตัว หรือแผง หรือ ผลผลิต MJ/ปี)
1.5 พื้นที่ไม่มีการปรับอากาศ (ตรม.)	2.ระบบปรับอากาศ แยกส่วน/รวม ศูนย์ / VRF (จำนวนตัว หรือชุด.)
2. อายุโครงการ (ปี)	3.อุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง (จำนวนตัว หรือชุด)
3.พลังงานในระบบปรับอากาศ (MJ/ปี)	4.อุปกรณ์สำนักงานต่างๆ (จำนวนตัว หรือชุด)
3.1 ภาระการทำความเย็นจากเปลือกอาคาร (MJ/ปี)	5.อุปกรณ์ไฟฟ้าทางการแพทย์ (จำนวนตัว หรือชุด)
3.2 ขนาดช่องเปิดของอาคาร (ตรม.)	6.อุปกรณ์หรือเครื่องจักรทางกลเช่น ลิฟต์, บันได (จำนวนตัว หรือชุด)
4.สภาพภูมิอากาศและกายภาพทางพื้นที่ (อุณหภูมิ , ความชื้น %RH)	

ผลการศึกษาพบว่า ทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด คือทางเลือกที่ 2 โดยใช้ทุกมาตรการตั้งแต่มาตรการที่ 1 ถึง 5 มีค่า พลังงานรวมที่ใช้ตลอดทั้งปีจากแบบจำลอง 175,745 kWh/year, ค่าพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์จัดหาได้ 231,780 kWh/year, ค่าดัชนีการใช้ไฟฟ้ารวมเท่ากับ 24.21 kWh/m²/year ค่าพลังงานสุทธิที่ลดลงได้ 265,065.96 kWh/year งบลงทุนประมาณ 8,011,599.00 บาท Payback Period เท่ากับ 11 ปี ค่า NPV เท่ากับ 9,311,169.61 บาท และ IRR เท่ากับ 9.52 % จากข้อมูลพบว่าได้ค่า NPV สูงกว่าทุกทางเลือกทำให้ได้มูลค่าในการลงทุนสูงสุดเป็นอาคารใช้พลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์ จึงกล่าวได้ว่าปัจจัยทางสถาปัตยกรรมและวิศวกรรมมีความสำคัญดังตารางที่ 2 **และ** ปัจจัยด้านสิ่งอำนวยความสะดวก (Facility Management) ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปัจจัยด้านสิ่งอำนวยความสะดวก (Facility Management)

ปัจจัยด้านสิ่งอำนวยความสะดวก
1.จำนวนชั่วโมงในการใช้งานในแต่ละพื้นที่
2. ปริมาณการใช้บริการ
2.1 จำนวนผู้ใช้พื้นที่เป็นประจำ (คน)
2.2 จำนวนผู้ใช้พื้นที่เป็นครั้งคราว (คน)
3. งบประมาณในกลยุทธ์ด้านการจัดการ
3.1 ค่าไฟฟ้า (บาท หรือ หน่วยการใช้ไฟฟ้า)
3.2 ค่าน้ำประปา (บาท หรือ หน่วยการใช้น้ำ)
3.3 ค่าซ่อมแซมบำรุงรักษา (บาท ต่อปีงบประมาณ)
4.รูปแบบและเทคโนโลยีในการให้บริการ
5.รูปแบบการให้บริการ เช่น การให้บริการในลักษณะห้องผ่าตัด หรือห้องคลอด หรือ ห้องทันตกรรม เป็นต้น

(3) กรณีศึกษาที่ 3 กรณีศึกษาจากประเทศมาเลเซีย [8].

สำหรับกรณีประเทศมาเลเซีย ได้กำหนด นโยบายแผนยุทธศาสตร์ด้านพลังงานเป็นศูนย์ในประเทศมาเลเซีย จากแผนพัฒนาพลังงานของมาเลเซีย ตัวอย่างเช่นภายใต้แผนพัฒนาเศรษฐกิจฉบับที่ 11 ของประเทศมาเลเซียแผน (พ.ศ. 2559-2563) รัฐบาลมาเลเซียได้กำหนดประเด็นสำคัญไว้ 4 ด้าน คือ 1) เสริมสร้างความเข้มแข็งของสิ่งแวดล้อมที่เอื้อต่อการเติบโตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม 2) การนำการบริโภคและการผลิตที่ยั่งยืนมาใช้ 3) แนวคิดการอนุรักษ์ทรัพยากร ธรรมชาติเพื่อคนรุ่นปัจจุบันและอนาคต 4) เสริมสร้างความเข้มแข็ง ความยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและภัยธรรมชาติ รัฐบาลมาเลเซียมุ่งมั่นสู่ความยั่งยืน นอกจากนั้นยังมีนโยบายด้านพลังงานต่างๆ ที่รัฐบาลได้นำเสนอ เช่น นโยบายเทคโนโลยีสีเขียวแห่งชาติ (NGTP) ในปี 2552 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อรับรองการพัฒนาอย่างยั่งยืนและอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมสำหรับอนาคต ดัชนีชี้วัดแนวโน้ม การเป็นอาคารพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ของประเทศมาเลเซียใช้ดัชนี GBI ซึ่งเป็นดัชนี

ภายในประเทศ ดัชนี GBI เป็นระบบการให้คะแนนด้านสิ่งแวดล้อมที่ครอบคลุมระบบแรกของมาเลเซีย เครื่องมือการให้คะแนนนี้พัฒนาโดย Pertubuhan Akitek มาเลเซีย (PAM) และสมาคมวิศวกรที่ปรึกษามาเลเซีย (ACEM) ผนวกกับ เครื่องมือที่ได้มาจากมาตรฐานประเทศสิงค์โปร์ คือ Singapore Green Mark, Australian Green Star นำมาเป็นเครื่องมือให้คะแนนที่มีอยู่เพื่อให้แน่ใจว่าเครื่องมือนี้ใช้งานได้จริง นอกจากนี้ GBI เป็นเครื่องมือที่สามารถใช้ในการประเมินอาคารทั้งแบบ ก่อสร้างใหม่และอาคารที่ก่อสร้างเดิม

5. สรุปผลการวิจัย

แนวทางการบริหารจัดการอาคารเพื่อมุ่งสู่การจัดการพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ สำหรับอาคารโรงพยาบาลดำเนินการได้โดยศึกษาตัวแปรและกรอบในการดำเนินงานด้านการจัดการ ตามเทคโนโลยีที่เอื้ออำนวย เช่นการใช้ IoT .ในการเก็บข้อมูล และระบบเซนเซอร์ต่างๆในการตรวจวัดค่า ตามตารางที่ 2 เพื่อประมวล ปัจจัยทั้งด้าน Static เช่น กรอบอาคาร, ทิศทางของอาคาร และ ปัจจัย Dynamic เช่น อุณหภูมิในการใช้งาน สำหรับแผนกต่างๆ , ค่าพลังงานที่ใช้ รวมถึงพฤติกรรมหรือจำนวนผู้เข้ารับบริการในแต่ละแผนก ที่มีความแตกต่างกัน ทั้งด้านปริมาณ และระยะเวลาในการเข้าใช้บริการ ในช่วงเวลาที่ทำการศึกษา เพื่อเปรียบเทียบความสอดคล้องด้านนโยบาย ระดับชาติและนานาชาติ โดยอาจนำเทคโนโลยีการควบคุมอุปกรณ์ที่ใช้ระบบการใช้สัญญาณควบคุม ตรวจวัดระยะไกล มาใช้ในการพัฒนากระบวนการปรับปรุง หรือการดำเนินการเพื่อสร้างโอกาสในการเข้าถึง โดยสามารถแบ่งได้เป็นปัจจัยทางสถาปัตยกรรม ได้แก่ ขนาดของพื้นที่รับแสง ทั้งจากด้านหลังคา ด้านผนังอาคาร และจากหน้าต่าง, การวิเคราะห์ค่า OTTV และ RTTV เพื่อค้นหาปัจจัยทีมีผลต่อความร้อนที่ เข้าสู่อาคารทั้งด้านผนังและจากหลังคา ซึ่งเป็นแนวทางที่ใช้ในการพัฒนาอาคาร ตามแนวทางอาคารเขียว, ภาพสามมิติของอาคาร และ แหล่งกำเนิดพลังงานทดแทนจากเซลแสงอาทิตย์ และปัจจัยทางวิศวกรรม ชนิดของพลังงานระบบปรับอากาศ เครื่องจักรประกอบอาคาร และนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้งสองด้าน รวมถึงปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์หรือการจัดการด้านทรัพยากรอาคาร ความถี่ในการใช้พื้นที่ จำนวนบุคลากรที่ใช้ประจำและใช้เป็นครั้งคราว เป็นต้น ข้อจำกัดในการวิจัยครั้งนี้ เป็นปัจจัยด้านระยะเวลาที่สั้นในการเก็บข้อมูล หากจะดำเนินการให้สมบูรณ์ จะต้องใช้ระยะเวลา นานปี และ จำนวนผู้ใช้อาคารในแต่ละช่วงเวลาไม่เท่ากัน จึงทำให้ เกิดค่าความเบี่ยงเบนได้ อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาทำให้ได้แนวทางในการเก็บรวบรวมข้อมูลและแนวทางในการดำเนินการ เพื่อกำหนดปัจจัยที่สำคัญจำนวน 3 กลุ่ม คือ สถาปัตยกรรม. วิศวกรรมและ การจัดการทรัพยากรอาคาร เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ ในการวิจัย คือ อาคารพลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่สาขาวิชาการตรวจสอบและกฎหมายวิศวกรรมทุกท่านที่ให้ความกรุณาแนะนำและให้การสนับสนุนผู้เขียนบทความมีกำลังใจในการส่งบทความเข้ารับการพิจารณาเพื่อเข้าร่วมในการประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Lorenz Moosmann, Anna Wissner, Felix Fallasch, Lambert Schneider, Cristina Urrutia, (Oct 2021). *The COP26 Climate Change Conference Paper*.

[2] นโยบายลดภาวะโลกร้อนกับประเทศไทย. (กันยายน 2015). สืบค้นจาก https://ipf.or.th/?p=315

[3] คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงานและสำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน. (มีนาคม 2565). *สรุปผลการดำเนินงานสำคัญประจำปีงบประมาณ 2564*, หน้า 3-8.

[4] สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน. (2555). *คู่มือพัฒนาบุคลากรด้านการอนุรักษ์พลังงานในอาคารประเภทโรงพยาบาล.*

[5] Enrico Dainese, Shalika S.W. Walker (January 2019). Towards zero energy hospital buildings: a polyclinic building as case study. *E3S*, DOI:10.1051/e3sconf/201911104021.

[6] Dobbelsteen, A.v.d. (2020). The Amsterdam energy transition roadmap – introducing the City-zen methodology. *Smart and Sustainable Built Environment*, Vol. 9 No. 3, pp. 307-320.

[7] เอกพงศ์ แสนหะวานนท์. (2561). *การปรับปรุงอาคารสู่อาคารใช้พลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์* กรณีศึกษา: อาคารเรียน 3 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์.

[8] Mohamed S *, Abdellah R H, Masrom M A N, Chen G K, Manap N , (November, 2020). A Systematic Investigation on the Potential of Net Zero Energy Buildings (NZEBs) *Design Approach Implementation in Healthcare Buildings* , Faculty of Technology Management, UTHM, Batu Pahat, Johor, Malaysia.

บทความวิจัย
การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7
Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

ปัจจัยด้านขอใบอนุญาตและเทคนิควิศวกรรมเพื่อความสำเร็จของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย

Factor of Permit and Engineering for Business of Solar Power Plant in Thailand

โชคชัย จำปีเรือง[1*], วรานนท์ คงสง [2], ชัยวัฒน์ ภู่วรชัยกุล[3], ธีรเดช สนองทวีพร[4], ทรงกฤต ตรีรัตน์พิจารณ์[5]
Chokchai Jumpeeruang[1*], Waranon Kongsong[2], Chaiwat Phuworachaikul[3], Teeradej Sanongthaveebhorn[4], Songkrit Trerutpicharn[5]
[1,2,3] สาขาวิชาการตรวจสอบและกฎหมายวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง
[4]รองคณบดี คณะบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยนอร์ทกรุงเทพ
[5]อาจารย์พิเศษสาขาวิชาการตรวจสอบและกฎหมายวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง
[1]chokkumbesrc@gmail.com , [2]waranon.k@rumail.ru.ac.th, [3]chaiwat.p@rumail.ru.ac.th, [4]teeradej@nbk.ac.th, [5]Songkrit.tre@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการขอใบอนุญาตผลิตพลังงานไฟฟ้าของผู้ประกอบการธุรกิจโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ได้สำเร็จตามกำหนดระยะเวลาการขายไฟฟ้า และ (2) ศึกษาเทคนิควิศวกรรมประกอบการตัดสินใจเลือกลงทุนธุรกิจโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมกับศักยภาพของผู้ประกอบการและนำไปสู่การเพิ่มศักยภาพด้านความมั่นคงทางพลังงานภายในประเทศ โดยการวิจัยนี้จะใช้ระเบียบวิจัยเชิงคุณภาพเป็นไปตามแนวทางการวิจัยเชิงเอกสารที่อาศัยวิธีเชิงพรรณนาปัจจัยภาพรวมของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในลักษณะเดียวและประเด็นปัญหาเฉพาะแต่ละประเภทของการก่อสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ผลการวิจัยปรากฏว่าปัจจัยโดยภาพรวมที่ทุกโครงการประสบในประเด็นสำคัญเหมือนกันดังนี้ (1) ปัจจัยด้านการขอใบอนุญาต (2) ปัจจัยด้านเทคนิควิศวกรรมมีประเด็นปัญหาของโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่จำแนกแต่ละประเภท รูปแบบการติดตั้งที่ปรากฏ ความสำเร็จของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทยจึงขึ้นกับปัจจัยหลักทั้งสองและมีปัจจัยรองคือ (1) ปัจจัยทางด้านขนาดพื้นที่ติดตั้งแผงผลิตกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมกับกำลังการผลิตกระแสของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (2) ปัจจัยทางด้านทำเลที่ตั้งสำหรับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

Abstract

This paper aims to (1) study the approach of permit and engineering technique in the establishment of a solar power plant in Thailand for the investors who want to do business in solar power plants within Commercial Operation Date (COD), and (2) to make investment decisions in the solar power plant business that are suitable for the potential of the operator and lead to increasing the potential of energy security in the country. Qualitative research is based on documentary research approach by descriptive methods, overview of solar power plant construction, and specific issues of each type of solar power plant.

The results show that the overall factor at all solar power plant projects is following: (1) the process of obtaining all permits is complicated and takes a long time. (2) for the engineering technique factor that is lack of experience. Technical problems and additional problems come from criteria of each type of solar power plant project. Because of the capacity of the solar power plant, the first factor is area. The Second factor is location, due to is due to the solar power plant.

1. บทนำ

ปัจจุบันการใช้พลังงานเป็นประเด็นสำคัญที่ทุกภาคส่วนของประเทศต้องให้ความสำคัญทั้งเรื่องการใช้พลังงานและการจัดหาให้เพียงพอต้องความต้องการ โดยเฉพาะพลังงานไฟฟ้าที่ยังมีความต้องการเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นภาครัฐ จึงมีการสนับสนุนทางด้านการลงทุนพลังงานหมุนเวียน แก่หน่วยงานภาครัฐ จึงมีการพัฒนาความมั่งคงทางพลังงานของประเทศและส่งเสริมการใช้พลังงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม [1] และ ให้เป็นไปตามแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2561-2580 ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 1 (PDP 2018 Revision1) และแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579 (AEDP 2018) [2] โดยภาครัฐมีนโยบาย ในภาพรวมการส่งเสริมและกำหนดกำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก อย่างต่อเนื่องโดยตั้งเป้าหมายกำหนดกำลังการผลิตใหม่ ในช่วงปี พ.ศ. 2561-2580 รวมทั้งสิ้นเท่ากับ 18,696 เมกะวัตต์ดังข้อมูลในตารางที่ 1 โดยเพิ่มสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนประเภท พลังงานแสงอาทิตย์เท่ากับ 9,290 เมกะวัตต์ และพลังงานแสงอาทิตย์ทุ่นลอยน้ำร่วมกับโรงไฟฟ้าพลังน้ำ 2,725 เมกะวัตต์ รวม 12,015 เมกะวัตต์ คิดเป็นร้อยละ 49.7 ของพลังงานทางทดแทนและพลังงานทางเลือกทั้งหมด

ตารางที่ 1 เป้าหมายกำลังการผลิตใหม่ของโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกตาม PDP2018 (Revision 1)

พลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก	กำลังผลิตตามสัญญา (เมกะวัตต์)
พลังงานแสงอาทิตย์	9,290
พลังงานแสงอาทิตย์ทุ่นลอยน้ำร่วมกับโรงไฟฟ้าพลังน้ำ	2,725
ชีวมวล	3,380
โรงไฟฟ้าชีวมวลประชารัฐที่ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้	120
พลังงานลม	1,485
ก๊าซชีวภาพ (น้ำเสีย/ของเสีย/พืชพลังงาน)	1,183
ขยะชุมชน	400
ขยะอุตสาหกรรม	44
พลังงานน้ำขนาดเล็ก	69
รวม	18,696

ที่มา แผนพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ.2561-2580 (AEDP2018) ตารางที่ 5.2 หน้าที่ 16

จากข้อมูลข้างต้นแม้ภาครัฐจะมีการส่งเสริมผู้ประกอบการ ให้สามารถประกอบธุรกิจโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนประเภทต่างๆ รวมทั้งโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ด้วย ซึ่งผู้ประกอบการจำเป็นจะต้องทราบรายละเอียดและต้องศึกษาปัจจัยด้านใบอนุญาตที่มีผลกระทบต่อการดำเนินธุรกิจโดยอ้างอิงจากพระราชบัญญัติประกอบกิจการพลังงาน พ.ศ. 2550 และปัจจัยทางด้านเทคนิควิศวกรรม ที่มีผลกระทบต่อความสำเร็จของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ผู้วิจัยจึงทำการรวบรวมเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อ วิเคราะห์สังเคราะห์ เอกสารแล้วนำมาสรุปผลเพื่อเป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจของผู้ประกอบการในการทำธุรกิจต่อไป

แนวทางความต้องการใช้พลังงานหมุนเวียนของประเทศ (National demand for renewable energy) จากแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย ปี 2561 – 2580 ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 1 (Thailand Power Development Plan: PDP2018 Revision 1) [1] และความต้องการกำลังการผลิตไฟฟ้าตามแผน PDP2018 (Revision 1) สามารถสรุปเป็นกำลังผลิตทั้งสิ้น ณ สิ้นปีกำลังไฟฟ้า 2580 จำนวน 77,211 เมกะวัตต์ ซึ่งประกอบด้วยกำลังไฟฟ้า ในสิ้นเดือนธันวาคม 2560 จำนวน 46,090 เมกะวัตต์ กำลังไฟฟ้าใหม่ในช่วงปี 2561-2580 จำนวน 56,431 เมกะวัตต์ และกำลังไฟฟ้าที่ปลดออกจากระบบในช่วงปี 2561-2580 จำนวน -25,310 เมกะวัตต์ อันเป็นความต้องการกำลังผลิตไฟฟ้าตามแผนงานและนโยบายของประเทศ

ตารางที่ 2 ความต้องการกำลังการผลิตไฟฟ้าแยกประเภทของโรงไฟฟ้าของประเทศไทยตามแผน PDP2018(Revision1)

กำลังผลิตไฟฟ้าในช่วงปี 2561-2580 เท่ากับ 56,431 เมกะวัตต์ แยกตามประเภทโรงไฟฟ้าดังนี้		
โรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน	18,833	เมกะวัตต์
โรงไฟฟ้าชุมชน	1,933	เมกะวัตต์
โรงไฟฟ้าชุมชนพลังน้ำสูบกลับ	500	เมกะวัตต์
โรงไฟฟ้าโคเจนเนอเรชั่น	2,112	เมกะวัตต์
โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม	15,096	เมกะวัตต์
โรงไฟฟ้าถ่านหิน/ลิกไนต์	1,200	เมกะวัตต์
ซื้อไฟฟ้าต่างประเทศ	5,857	เมกะวัตต์
โรงไฟฟ้าใหม่/ทดแทน	6,900	เมกะวัตต์
มาตรการอนุรักษ์พลังงาน	4,000	เมกะวัตต์
รวม	56,431	เมกะวัตต์

ที่มา แผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ.2561-2580 ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 1 (PDP2018Revion1) หน้าที่ 21

จากที่กล่าวข้างต้น และข้อมูลในตารางที่ 2 ทำให้ทราบว่าการจัดทำแผน PDP2018 Revision 1 นั้นได้ให้ความสำคัญกับความมั่นคงทางพลังงานของประเทศ โดยครอบคลุมระบบการผลิตไฟฟ้า ระบบการส่งจ่ายไฟฟ้า รวมทั้งระบบจำหน่ายไฟฟ้า เพื่อให้สอดคล้องครอบคลุมกับปริมาณความต้องการ การใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งภาครัฐและภาคเอกชน ซึ่งได้มีการผลิตหรือจัดหาเพิ่มเติมให้เพียงพอกับความต้องการรวมทั้งสนับสนุนการเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจและสังคมของประเทศเป็นหลัก

ตารางที่ 3 ค่าเป้าหมายตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2561-2580

ประเภทพลังงาน	เป้าหมาย ปี 2580	
ไฟฟ้า	พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ	7,298
	เมกะวัตต์	19,411
1.พลังงานแสงอาทิตย์	เมกะวัตต์	12,139
2.พลังงานแสงอาทิตย์ทุ่นลอยน้ำ	เมกะวัตต์	2,725
3.ชีวมวล	เมกะวัตต์	5,790
4.พลังงานลม	เมกะวัตต์	2,989
5.ก๊าซชีวภาพ(น้ำเสีย/ของเสีย/พืชพลัง	เมกะวัตต์	1,565
6.ขยะชุมชน	เมกะวัตต์	900
7.ขยะอุตสาหกรรม	เมกะวัตต์	75
8.พลังน้ำขนาดเล็ก	เมกะวัตต์	308
9.พลังน้ำขนาดใหญ่	เมกะวัตต์	2,920
ความร้อน	พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ	26,901
1.ชีวมวล	พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ	23,000
2.ก๊าซชีวภาพ	พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ	1,283
3.พลังงานขยะ	พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ	495
4.พลังงานแสงอาทิตย์	พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ	100
5.ไบโอมีเทน	พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ	2,023
เชื้อเพลิงชีวภาพ	พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ	4,085
1.เอทานอล	ล้านลิตร/วัน	7.50
2.ไบโอดีเซล	ล้านลิตร/วัน	8.00
3.น้ำมันไพโรไลซิล	ล้านลิตร/วัน	0.53
การใช้พลังงานทดแทน (พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ)		38,284
การใช้พลังงานขั้นสุดท้าย (พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ)		12,6867
สัดส่วนพลังงานทดแทนต่อการใช้พลังงานขั้นสุดท้าย (%)		30

ที่มา แผนพลังงานพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ.2561-2580 (AEDP2018) ตารางที่ 5.7 หน้าที่ 22

ในขณะเดียวนั้นจากแผนพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2561 – 2580 (Alternative Energy Development Plan: AEDP 2018) [3] ประเด็นหลักคือมีความต้องการที่จะลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลภายในประเทศไทย ให้ได้ร้อยละ 30 ภายในปี 2580 ตามข้อมูลในตารางที่ 3 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าในปริมาณความต้องการพลังงานไฟฟ้าแยกตามประเภทพลังงานทดแทนนั้นพบว่าโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีความต้องการสูงที่สุด ผู้วิจัยจึงศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความสำเร็จโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เป็นหลัก

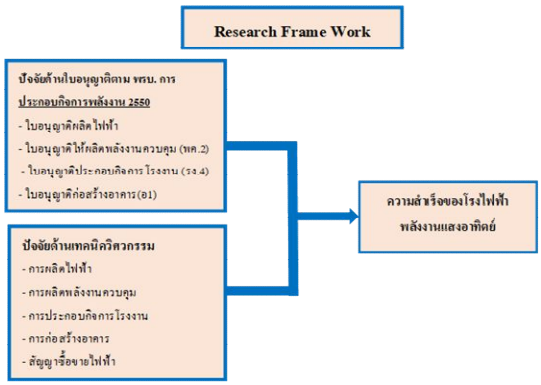
2. วัตถุประสงค์

1) เพื่อศึกษาปัจจัยด้านการขอรับใบอนุญาตผลิตพลังงานไฟฟ้าของผู้ประกอบการธุรกิจโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ให้สามารถวางแผนงานโครงการดำเนินงานและสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าจำหน่ายได้สำเร็จตามกำหนดระยะเวลาขายไฟฟ้า (Commercial Operation Date: COD)

2) เพื่อศึกษาปัจจัยด้านเทคนิควิศวกรรมในการประกอบการตัดสินใจเลือกลงทุนธุรกิจโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมกับศักยภาพของผู้ประกอบการและนำไปสู่การเพิ่มศักยภาพทางด้านความมั่นคงทางพลังงานภายในประเทศ

3. วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงคุณภาพโดยใช้วิธีวิจัยเชิงเอกสารอาศัยการพรรณนาด้วยการกำหนดปัจจัยและนำมาวิเคราะห์สังเคราะห์ตามข้อมูลเอกสารบทความวิจัยและข้อกำหนดของหน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้องกับการขอรับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่จำเป็นมาประกอบกันพิจารณารวมทั้งข้อมูลเทคนิควิศวกรรมจากผู้ประกอบการโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่จำหน่ายไฟฟ้าเข้าสู่ระบบในปัจจุบันซึ่งศึกษาข้อมูลจากบริษัทที่ได้รับสิทธิ์ในการประกอบธุรกิจโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์โดยกำหนดกรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย ตามรูปที่ 1 ดังนี้



รูปที่ 1 กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

4. ผลการวิเคราะห์

จากการวิเคราะห์และสังเคราะห์ความสำเร็จของการประกอบธุรกิจโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์พบว่ามี 2 ปัจจัยหลักคือ ปัจจัยด้านการขอรับใบอนุญาต และ ปัจจัยด้านเทคนิควิศวกรรม ที่มีผลต่อความสำเร็จของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์โดยแยกแยะได้ดังนี้

4.1 ปัจจัยด้านการขอรับใบอนุญาต (Applying for permits)

4.1.1 เอกสารสำหรับผู้ประกอบการ โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (Documents for Solar Power Plant Businesses)

จากข้อมูลที่กล่าวมาแล้วนั้น เมื่อผู้ประกอบการที่มีความสนในลงทุนในธุรกิจโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สิ่งที่จำเป็นในการดำเนินธุรกิจจะต้องมีใบอนุญาตและปฏิบัติตามความในพระราชบัญญัติการประกอบกิจการพลังงาน พ.ศ. 2550 มาตรา 47, 48, 50, 51 [4] โดยสรุปนั้น คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (กกพ.) สามารถออกใบอนุญาตได้แต่ต้องขอความเห็นประกอบจากเจ้าของกฎหมายหน่วยงานที่เกี่ยวข้องพิจาจารณาร่วมด้วย โดยแยกประเภทใบอนุญาติไว้ ดังนี้

ใบอนุญาต 4 ประเภท (4 Permits Type)

1) ใบอนุญาตประกอบกิจการผลิตไฟฟ้าคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน ไม่ต้องขอความเห็น (หน่วยงาน กกพ.) ใช้ระยะเวลา 75 วัน

2) ใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน (รง.4) ตามมาตรา 13[5] ขอความเห็นจาก กรมโรงงานอุตสาหกรรมใช้ระยะเวลา 90 วัน

3) ใบอนุญาตก่อสร้างอาคารควบคุม (อ.1) และใบรับรองการก่อสร้าง (อ.6) ตามมาตรา 21 [6] โดยขอความเห็นจากองค์การปกครองส่วนท้องถิ่นด้วย อ.1 ใช้ เวลา 45 วัน, อ.6 ใช้เวลา 30 วัน

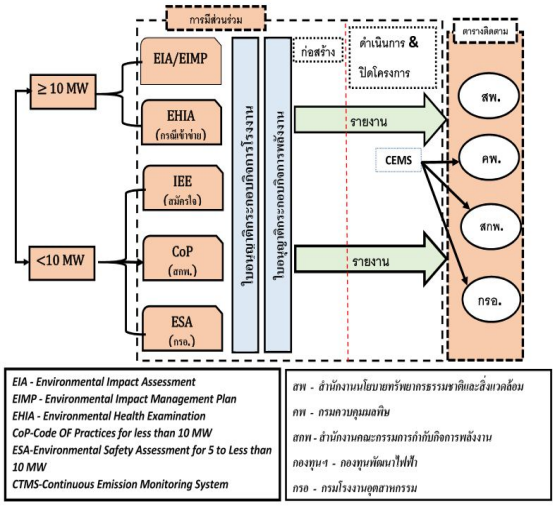
4) ใบอนุญาตให้ผลิตพลังงานควบคุม (พ.ค.2) ตามมาตรา 48 [4] โดยขอความเห็นจากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ใช้ระยะเวลา 120 วัน

สัญญาซื้อขายไฟฟ้า (Power Purchase Agreement: PPA)

การไฟฟ้าฝ่ายผลิต, การไฟฟ้าภูมิภาค และการไฟฟ้านครหลวง ทำหน้าที่ ตอบรับด้านเทคนิค /สิทธิ์ในการซื้อขายไฟฟ้า

การกำกับดูแลด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Supervision)

จากการวิเคราะห์การกำกับดูแลด้านสิ่งแวดล้อม พบว่า มีกระบวนการด้านสิ่งแวดล้อม ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 กระบวนการด้านสิ่งแวดล้อม

4.1.2 บรูณาการเอกสารหลักฐานที่ต้องใช้ประกอบการยื่น (Documentation Integration That Requires)

- ใบขอความเห็นชอบให้ใช้พื้นที่จากท้องถิ่น
- สิทธิ์การใช้ประโยชน์พื้นที่

การจัดทำประมวลหลักการปฏิบัติ (Code of Practice: COP)

-ข้อเสนอโครงการ และรายชื่อผู้ถือหุ้น
-ทะเบียนนิติบุคคล และ ศักยภาพทางการเงิน
-ศักยภาพทางการเงิน และ กระบวนการผลิต
-ขนาดการผลิต และ วัตถุประสงค์การผลิต

สัญญาซื้อขายไฟฟ้า (Power Purchase Agreement: PPA)

-แปลนอาคาร / เครื่องจักร และ ผังวงจรเส้นเดี่ยว
-แปลนระบบควบคุม มลพิษ
-สำเนาใบประกอบวิชาชีพวิศวกรรมไฟฟ้า ไฟฟ้ากำลัง
-ระบบดับเพลิง และ แผน ฉุกเฉิน

ตามมาตรา 47, 48, 50, 51 [4] จะเห็นได้ว่า การดำเนินโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีเอกสารหลายรายการที่ต้องดำเนินการให้แล้วเสร็จ เพื่อยื่นขอมีใบอนุญาตในหลายหน่วยงานที่จะต้องดำเนินการเพื่อให้ได้มาก่อนถึงวันที่จะขายพลังงานไฟฟ้า (Commercial Operation Date: COD) ซึ่งใบอนุญาตทั้งหมดมีช่วงเวลากำหนดอยู่ซึ่งหลายบริษัทมักติดปัญหาในเรื่องของการเตรียมเอกสารและปัญหาขั้นตอนการดำเนินการขอใบอนุญาตแต่ละหน่วยงานทำให้ไม่สามารถขายพลังงานไฟฟ้าได้ทันกำหนดโครงการจึงถูกปรับหรือถูกระงับโครงการจากหน่วยงานรัฐ สุดท้าย

ถ้าการดำเนินการขายพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบยังล่าช้ามากกว่า ที่กำหนดในสัญญาขายพลังงานไฟฟ้า ก็จะถูกดำเนินการถอดถอนใบอนุญาตในขั้นตอนต่อไปทำให้โครงการได้รับความเสียหาย

ข้อจำกัดงานวิจัยนี้ไม่รวมถึงปัญหาการได้มาซึ่งสิทธิ์ในการประกอบธุรกิจโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เพราะสิทธิ์แต่ละครั้งจะขึ้นอยู่กับนโยบายของรัฐบาลในแต่ละช่วงและงานวิจัยนี้ไม่ได้รวมถึงปัญหาขั้นตอนความไม่สำเร็จเนื่องจากการดำเนินนโยบายลงทุนโดยใช้โครงการทำสัญญากับธนาคารพาณิชย์ในการกู้ยืมลงทุน เพราะจะมีรายละเอียดปลีกย่อย อีกหลายขั้นตอนของธนาคารก่อนที่จะสามารถเซ็นสัญญา ระหว่างธนาคารและนักลงทุนได้

4.2 ปัจจัยด้านเทคนิควิศวกรรม (Engineering Technique)

การประกอบธุรกิจด้านโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์หลายแห่งประสบปัญหาในเรื่องการขาดวิศวกรออกแบบที่ดีทำให้เกิดงานแก้ไขการออกแบบหลายครั้ง ทำให้การอนุมัติแบบการยื่นขอใบอนุญาตล่าช้ากว่ากำหนด ทำโครงการประสบปัญหาล่าช้ากว่าแผนงาน

รวมถึงงานวิศวกรรมที่ไม่มีประสบการณ์และความเชี่ยวชาญในด้านการติดตั้งทำให้ประสบปัญหาในการติดตั้งไม่สามารถดำเนินการตามแบบที่ออกแบบ และตามใบอนุญาตที่ได้รับ รวมถึงการจัดซื้ออุปกรณ์ที่ผิดประเภทนำมาใช้โครงการ ทำให้เสียเวลาในการเปลี่ยนอุปกรณ์ หรือเสียเวลาแก้ไขในภาคสนาม พิจารณาจากผู้ประกอบการในเขตกรุงเทพและปริมณฑลที่จดทะเบียนนิติบุคคลกับกรมพัฒนาธุรกิจการค้า จำนวน 416,403 ราย โดยใช้สูตร Taro Yamane (Taro Yamane,1967:258) กำหนดให้ความคลาดเคลื่อนของกลุ่มตัวอย่างที่ยอมให้เกิดขึ้นได้เท่ากับ 0.05 หรือร้อยละ 5 จากการคำนวณได้ขนาดของกลุ่มตัวอย่างเท่ากับ 400 ตัวอย่าง [7]

จากการวิจัยพบว่าการทดสอบโรงไฟฟ้าหลังการติดตั้งโรงไฟฟ้าเรียบร้อยถ้าผู้ทดสอบขาดประสบการณ์ ขาดความรู้ทางด้านวิศวกรรม ก็จะทำให้การทดสอบ ล่าช้ากว่าแผนที่วางไว้และอาจไม่ได้ผลการทดสอบที่ถูกต้องตามการออกแบบ เป็นผลให้ไม่สามารถขายไฟฟ้าได้ตามกำหนดระยะเวลา

ซึ่งสุดท้ายปัญหาด้านวิศวกรรมและปัญหาการบริหารโครงการในช่วงโครงการก่อสร้างโรงไฟฟ้ามีความสำคัญต่อความสำเร็จของโครงการเช่นกันโดยความยากง่ายของวิศวกรรมที่จะมาใช้ในโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะแตกต่างกันตามประเภทโรงไฟฟ้าโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

4.2.1 ปัจจัยโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จำแนกตามการติดตั้ง (The factor of Solar Power Plant Projects Classified by Type) สามารถแยกได้เป็น 3 ลักษณะการติดตั้งดังนี้

1) โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบฟาร์ม (Solar Farm Power Plant) หลักการคือการติดตั้งแผงผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (Photovoltaic: PV) ที่ได้จากกระบวนการผลิตมาจากองค์ประกอบสารกึ่งตัวนำใช้ในการรับพลังงานแสงอาทิตย์และเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ไปผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยลักษณะติดตั้งแผงผลิตพลังงานไฟฟ้าจะติดตั้งบนพื้นดินโดยใช้พื้นที่ค่อนข้างเยอะในการตั้งโรงไฟฟ้าประเภทนี้

2) โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบทุ่นลอยน้ำ (Solar Floating Power Plant) หลักการคือการติดตั้งแผงผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (Photovoltaic: PV) ที่ได้จากกระบวนการผลิตมาจากองค์ประกอบสารกึ่งตัวนำเช่นเดียวกันแต่วิธีการติดตั้งแผงผลิตพลังงานไฟฟ้าจะติดตั้งและใช้พื้นที่บนพื้นผิวน้ำโดยยึดติดกับทุ่นลอยน้ำแต่ยังมีต้นทุนการติดตั้งค่อนข้างสูง

3) โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา (Solar Roof Top Power Plant) หลักการคือการติดตั้งแผงผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (Photovoltaic: PV) ก็เช่นเดียวกับ 2 แบบแรก แต่จะใช้พื้นที่ว่างบนหลังคาของอาคารมาใช้ประโยชน์ในการติดตั้งแผงผลิตพลังงานไฟฟ้าแต่ต้องใช้พื้นที่บนหลังคามากพอสมควรและยังต้องตรวจสอบการรับน้ำหนักของโครงสร้างหลังคาเพิ่มเติมด้วย

ประเด็นปัจจัยของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีสองประการ ประการที่หนึ่ง คือเรื่องบริเวณพื้นที่ใช้สำหรับการติดตั้งโครงการปัจจุบันพื้นที่ใช้ในการก่อสร้างต่อหนึ่งเมกะวัตต์ ประมาณ 10-12 ไร่ ด้วยเทคโนโลยีที่พัฒนาดีขึ้น (จากเดิมใช้พื้น 15-20ไร่) ในช่วงแรกที่มีโครงการขายไฟฟ้าโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์) แต่ก็ยังเป็นปัญหาในประเด็นการใช้พื้นที่ขนาดใหญ่เพื่อทำโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เพราะการจะหาที่ดินให้เพียงพอกับการผลิตพลังงานไฟฟ้าตามสัญญาซื้อขาย และควรจะเป็นที่ดินที่ไม่ไกลจากสายส่ง ที่จะต่อเชื่อมเข้าระบบเพื่อทำการผลิตพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบเพื่อความคุ้มค่าของในแง่การลงทุนโครงการและบริเวณรอบๆ ประการที่สอง พื้นที่โครงการ ไม่ควรมีสิ่งปลูกสร้างสูง หรือต้นไม้

สูง ที่จะบดบังแผงผลิตพลังงานไฟฟ้าเพราะจะทำให้ประสิทธิภาพกำลังการผลิตลดลงและโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์นี้เป็นโรงไฟฟ้าอีกประเภทหนึ่งซึ่งต้องอาศัยพึ่งพาธรรมชาติและฤดูกาล เพราะทำเลที่ตั้งโครงการภายในประเทศแต่ละพื้นที่ความเข้มของแสงอาทิตย์ที่รับมาเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าไม่เท่าเทียมกัน รวมถึงฤดูหนาว ฤดูร้อน ช่วงเวลาในการรับแสงอาทิตย์ เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าก็ไม่เท่ากันด้วยเช่นกัน

5. สรุปผลการวิจัย

ความสำเร็จที่เกิดจากธุรกิจโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถสรุป ประเด็นได้ดังนี้

5.1 ปัจจัยด้านการขอใบอนุญาต

มีเอกสารหลายรายการที่ต้องดำเนินการให้แล้วเสร็จเพื่อยื่นขอมีใบอนุญาตในหลายหน่วยงานที่จะให้ได้มาก่อนถึงวันที่จะขายพลังงานไฟฟ้า

ใบอนุญาตที่ใช้ในการติดตั้งได้แก่ ใบอนุญาตก่อสร้างอาคารควบคุม (อ.1) และใบรับรองการก่อสร้าง (อ.6)

ใบอนุญาตเพื่อใช้งานได้แก่ ใบอนุญาตประกอบกิจการผลิตไฟฟ้าคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน,ใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน (รง.4),ใบอนุญาตให้ผลิตพลังงานควบคุม (พ.ค.2) [8]

5.2 ปัจจัยด้านเทคนิควิศวกรรม

ปัจจัยทางด้านขนาดพื้นที่การติดตั้งและความเหมาะสมกับขนาดกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้า หาก ถ้าต้องการผลิตไฟฟ้า หนึ่งเมกะวัตต์จะต้องใช้พื้นที่ประมาณไม่ต่ำกว่า 10-12 ไร่ขึ้นไป ดังนั้นผู้ประกอบการต้องมีพื้นที่ที่เพียงพอและสอดคล้องกับกำลังการผลิตไฟฟ้าของผู้ประกอบการโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์นั้น

ปัจจัยเรื่องทำเลที่ตั้งที่เหมาะสมเนื่องจากการพึ่งพาธรรมชาติของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ปัจจัยความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ และทิศทางการรับแสงอาทิตย์ ตามบริเวณต่างๆในแต่ละเดือนของประเทศไทยจึงมีความสำคัญ โดยพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศได้รับรังสีแสงอาทิตย์สูงสุดระหว่างเดือนเมษายน และพฤษภาคม โดยมีค่าอยู่ในช่วง 20 ถึง 24 MJ/m2 - day เมื่อพิจารณาแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปี พบว่าบริเวณที่ได้รับรังสีแสงอาทิตย์สูงสุดเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยครอบคลุมบางส่วนของจังหวัดนครราชสีมา บุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีษะเกษ ร้อยเอ็ด ยโสธร อุบลราชธานี และอุดรธานี และบางส่วนของภาคกลางที่จังหวัดสุพรรณบุรี ชัยนาท อยุธยา และลพบุรี โดยได้รับรังสีแสงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปี 19 ถึง 20 MJ/m2 – day ทำให้ปัจจัยดังกล่าวจะต้องนำมาพิจารณารวมทั้งทิศทางการรับแสงอาทิตย์สำหรับประเทศไทยควร หันทิศรับแสงไปทางทิศใต้ทำมุม 13-15 องศา กับแนวระนาบพื้น จึงจะมีประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าสูงสุด เพื่อความสำเร็จในการลงทุน โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของผู้ประกอบการ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบผู้ให้ข้อมูลทุกๆ หน่วยงานที่ให้การสนับสนุนด้านข้อมูลที่ใช้นำเสนอและขอขอบคุณท่านคณาจารย์ทุกท่านในสาขาวิชาการตรวจสอบและกฎหมายวิศวกรรมให้คำปรึกษาจนงานวิจัยครั้งนี้สำเร็จเสร็จสิ้นได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] บุญร่วม เทียมจันทร์, ศรัญญา วิชชาธรรม “ยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี (พ.ศ.2561-2580), พ.ศ 2561, สำนักพิมพ์ THE LAW GROUP, หน้า 188-189

[2] สำนักนโยบายแผนงาน “แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย ปี 2561 – 2580” (Thailand Power Development Plan: PDP2018 Revision1), 20 ตุลาคม 2563.

[3] แผนพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ .ศ.2561 - 2580 (Alternative Energy and Alternative Energy Development Plan: AEDP2018)

[4] “พระราชบัญญัติการประกอบกิจการพลังงาน พ.ศ. 2550”

[5] “พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535”

[6] “พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522”

[7] ทรงกฤต ตรีรัตน์พิจารณ์ “ตัวแบบการตัดสินใจที่มีอิทธิพลต่อการเลือกใช้พลังงานแสงอาทิตย์ของสถานประกอบการในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล, พ.ศ 2561, มหาวิทยาลัยเวสเทิร์น, หน้า 74

[8] Songkrit Trerutpicharn, Waranon Kongsong, Kijbodi Kongbenjapuch, “The problem of Renewable Power Plant Constriction Affective the Energy security of Thailand” Indonesia Journal of Electrical Engineering and Informatics(IJEEI), Vol.10, No.11, March 2022, pp.25-42

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

การทดสอบประสิทธิภาพชุดเทอร์โมอิเล็กทริกระบายความร้อนด้วยน้ำหล่อเย็น

THERMOELECTRIC EFFICIENCY WITH COOLING OF THE COOLANT TESTING

ธนพัต ว่องธัญกิจ[1*] และ ภูภูมิ พ่วงเจริญชัย[2]

[1]นักศึกษาสาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

E-mail: tanapatengineering@gmail.com

[2]อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

โทรศัพท์ 02-836-3000 ต่อ 4138 E-mail: phupoom.p@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

โครงงานนี้วัตถุประสงค์เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริกในการผลิตไฟฟ้า เปรียบเทียบผลต่างความร้อนระหว่างด้านร้อนและด้านเย็น โดยใช้แผ่นเพลเทียร์ Thermoelectric Peltier Module เบอร์ TEP1-142T300 โดยใช้ชุดควบคุมความร้อนป้อนความร้อนที่อุณหภูมิตั้งแต่ 50 °C ถึง 150 °C ด้านร้อนและด้านเย็นใช้การระบายความร้อนน้ำกับน้ำหล่อเย็นที่ปริมาตร 0.5 Lและ 1.0 L

จากการทดลองอุณหภูมิด้านร้อนระหว่าง 50 °C ถึง 150 °C ค่าอุณหภูมิชุดเทอร์โมอิเล็กทริกอุณหภูมิด้านร้อนที่ 150 °C ซึ่งได้ประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปพลังงานของเทอร์โมอิเล็กทริกสูงสุดที่ปริมาตรน้ำ 0.5 L (ηe= 1.92 %) , 1.0 L (ηe =1.99 %) ที่ปริมาตรน้ำหล่อเย็น 0.5 L (ηe = 1.74 %), 1.0 L (ηe =1.85 %) ผลต่างความร้อนระหว่างด้านร้อนและด้านเย็นสูงสุดที่ปริมาตรน้ำ 0.5 L (ผลต่างอุณหภูมิเท่ากับ 80.40 °C), 1.0 L (ผลต่างอุณหภูมิเท่ากับ 83.10 °C) ที่ปริมาตรน้ำหล่อเย็น 0.5 L (ผลต่างอุณหภูมิเท่ากับ 72.90 °C), 1.0 L (ผลต่างอุณหภูมิเท่า 77.30 °C) และกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ปริมาตรน้ำ 0.5 L (กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 1.18 W), 1.0 L (กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 1.09 W) ที่ปริมาตรน้ำหล่อเย็น 0.5 L (กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 0.84 W), 1.0 L (กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 0.94 W) การทดลองพบว่า การระบายความร้อนด้านเย็นเปรียบเทียบน้ำกับน้ำหล่อเย็นที่ปริมาตร 0.5 L และ 1.0 L ผลที่ได้น้ำระบายความร้อนด้านเย็นดีกว่าน้ำหล่อเย็น

คำสำคัญ : เทอร์โมอิเล็กทริก; ทดสอบประสิทธิภาพเทอร์โมอิเล็กทริก ; การระบายความร้อน

Abstract

The purpose of this project is to test the efficiency of thermoelectric in power generation and to compare the thermal difference between the hot side and the cold side by using Peltier plates Thermoelectric Peltier Module No. TEP1-142T300 by using a heat controller that feeds heat at a temperature of 50 °C – 150 °C on the hot side and cold side used in dissipating heat of water and coolant at 0.5 and 1.0 L.

From the experimentation of the temperature at hot side between 50 °C – 150°C, the temperature of thermoelectric set at hot side was 150 °C which had the highest energy conversion efficiency of thermoelectric at water volume of 0.5 L (ηe = 1.92 %), 1.0 L (ηe =1.99 %) at the coolant volume of 0.5 L (ηe =1.74 %), 1.0 L (ηe =1.85 %). The maximum difference between hot side and cold side at water volume at 0.5 L (temperature difference = 80.40 °C), 1.0 L (temperature difference =83.10 °C) coolant water volume 0.5 L (temperature difference =72.90 °C), 1.0 L (temperature difference =77.30 °C).and the maximum power at water volume 0.5 L (power=1.18 W), 1.0 L (power=1.09 W) at coolant water volume 0.5 L (power=0.84 W), 1.0 L (power=0.94 W). From the experiment, it was found that the heat dissipation at cold side comparing with water and coolant water at volumes of 0.5 L and 1.0 L. The result was that water could dissipate heat at cold side better than coolant water.

Keywords: Thermoelectric; Thermoelectric Performance Test; Cooling

1. บทนำ

ปัจจุบันการดำรงชีวิตของมนุษย์ต้องการพลังงานไฟฟ้าใช้กันมากขึ้นทุกวันมีความจำเป็นในการใช้พลังงานไฟฟ้าตลอดเวลาแบบต่อเนื่องไฟฟ้ามีความจำเป็นมากในการดำรงชีพ พลังงานไฟฟ้าสามารถเปลี่ยนรูปพลังงานได้ง่ายทางตรงกันข้ามพลังงานความร้อนที่มีอยู่ในปัจจุบันมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นทุกวันมาจากสภาวะโลกร้อนจากมนุษย์ใช้พลังงานกันมากขึ้น การเปลี่ยนรูปพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าเป็นทางเลือกหนึ่งของการผลิตไฟฟ้าให้ในสภาวะที่เราต้องการใช้ไฟฟ้าในสภาวะฉุกเฉินสถานที่ไฟฟ้าเข้าไม่ถึงอาทิเช่น ป่า ภูเขา สามารถหาพลังงานความร้อนจากธรรมชาติได้ง่าย เช่น เศษไม้ ใบไม้ ถ่านไม้ และอื่น ๆ มาเป็นแหล่งงานความร้อนได้

การพัฒนาการในการใช้การผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกซึ่งเป็นอุปกรณ์โซลิดสเตตประเภทหนึ่งที่เปลี่ยนความร้อนโดยตรงเป็นไฟฟ้า การทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (n-type) และชนิดพี (p-type) มาเรียงสลับกัน มีโลหะนำไฟฟ้ามาเชื่อมเป็นจุดต่อให้มีลักษณะสลับกันไปเป็นคู่ ๆ เมื่อนำไปต่อกับโหลดก็จะครบวงจร วิธีการเพื่อให้ได้พลังงานทางไฟฟ้าและมีการศึกษาหาประสิทธิภาพการระบายความร้อนแฝงให้เทอร์โมอิเล็กทริกผ่านแผ่นระบายความร้อนจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการระบายความร้อนแฝงเพื่อให้เกิดผลต่างของอุณหภูมิทั้งสองด้านจะสามารถเพิ่มการผลิตกำลังไฟฟ้าได้มากขึ้น [6]

ดังนั้นโครงงานนี้มีแนวคิดที่จะศึกษาเพื่อวัดประสิทธิภาพการระบายความร้อนให้เทอร์โมอิเล็กทริกผ่านแผ่นระบายความร้อนเปรียบเทียบระหว่างปริมาตรน้ำที่ 0.5 L , 1.0 L กับปริมาตรน้ำหล่อเย็นที่ 0.5 L , 1.0 L ทดสอบโดยใช้แผ่นเพลเทียร์ Thermoelectric Peltier Module เบอร์ TEP1-142T300 เพื่อเปรียบเทียบผลต่างความร้อนระหว่างด้านร้อนและด้านเย็นซึ่งโดยใช้ผลต่างของอุณหภูมิของแผ่นชุดเทอร์โมอิเล็กทริกในความสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้า

1.1 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนรูปพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก

2 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพชุดเทอร์โมอิเล็กทริกด้วยน้ำหล่อเย็นปริมาตรต่าง ๆ

3 เพื่อเปรียบเทียบผลต่างความร้อนระหว่างด้านร้อนและด้านเย็นของชุดเทอร์โมอิเล็กทริก

1.2 ขอบเขตของโครงงาน

1 ทดสอบชุดเทอร์โมอิเล็กทริกป้อนความร้อนที่อุณหภูมิตั้งแต่ 50 °C ถึง 150 °C

2 ทดสอบชุดเทอร์โมอิเล็กทริกด้วยระบายความร้อนด้วยน้ำและน้ำหล่อเย็นปริมาตรที่ 0.5 L และ 1.0 L

3 ทดสอบโดยใช้แผ่นเพลเทียร์ Thermoelectric Peltier Module เบอร์ TEP1-142T300

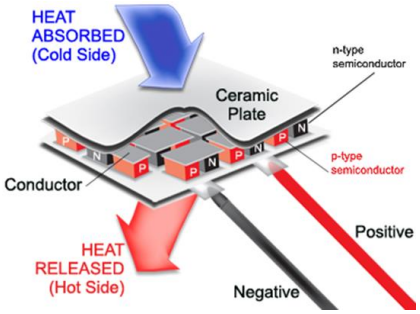
4 ทดสอบระบายความร้อนด้วยน้ำประปา

5 ทดสอบระบายความร้อนด้วยน้ำหล่อเย็นใช้กับการระบายความร้อนคอมพิวเตอร์ที่จำหน่ายในท้องตลาด

2.ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 แผ่นเพลเทียร์ [1]

หลักการทำงานของแผ่นเพลเทียร์นั้น เป็นหลักการที่มีชื่อว่า “เทอร์โมอิเล็กทริก” (Thermoelectric) หลักการทำความเย็นแบบนี้เกิดขึ้นได้ โดยการใช้สารกึ่งตัวนำแบบ (P-N) ซึ่งสารกึ่งตัวนำแบบ (P-N) คือส่วนประกอบหลักของแผ่นเพลเทียร์ โดยการทำความเย็นจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อ มีการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ให้กับแผ่นเพลเทียร์ เพราะเมื่อมีกระแสไฟฟ้าเดินทางผ่านวัสดุที่มีคุณสมบัติสารกึ่งตัวนำแล้วก็จะเกิดการทำปฏิกิริยาขึ้นในสารกึ่งตัวนำ แบบ (P-N) เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านก็จะมีการดูดกลืนกันของอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่จากพลังงานต่ำ ไปสู่ระดับพลังงานที่สูงกว่า กระบวนการดังกล่าวส่งผลให้ที่ผิวด้านหนึ่งของแผ่นเพลเทียร์มีการดูดพลังงานความร้อนซึ่งก็ได้จากความร้อนที่อยู่โดยรอบนั่นเองเมื่อความร้อนในบริเวณรอบ ๆ ถูกดูดเข้ามา ก็จะทำให้ในนั้นมีอุณหภูมิต่ำลง ซึ่งด้านนี้ก็คือด้านเย็นนั้นเองและในขณะเดียวกันก็จะเกิดการดูดกลืนของอิเล็กตรอนจากพลังงานสูง ไปสู่พลังงานต่ำในสารกึ่งตัวนำแบบ (P-N) ส่งผลให้เกิดการคายความร้อนออกมาที่บริเวณของอีกด้านหนึ่ง แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แผ่นเพลเทียร์ [1]

2.1.1 ปรากฏการณ์ซีเบกใน ค.ศ. 1821 โทมัส โจแฮนน์ ซีเบก (Thomas johann seebeck, German physicist, 1770 - 1831) กล่าวว่า “เมื่อให้ความร้อนที่รอยต่อของตัวนำ 2 ชนิดจะเกิดกระแส ไฟฟ้าไหลในวงจรปิด” แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงความต่างศักย์ซีเบกและการไหลของกระแสไฟฟ้า [1]

ค้นพบว่าเข็มของเข็มทิศจะถูกเบี่ยงเบนโดยวงปิดที่เกิดจากการรวมกันของสองโลหะในสองจุดเกิด ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างทางแยก การตอบสนองของโลหะที่แตกต่างกัน – ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของอุณหภูมิทำให้เกิดกระแสวนและแม่เหล็กซีเบคมีกระแสไฟฟ้าอยู่เรียกปรากฏการณ์นี้ว่าเทอร์โมแมกเนติกเอฟเฟกต์ แรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ปรากฏการณ์ซีเบคแปรผันตามอุณหภูมิความแตกต่างระหว่างสองทางแยก ยิ่งความแตกต่างของอุณหภูมิ แรงดันไฟฟ้าระหว่างทางแยก จากปรากฏการณ์นี้เราสามารถระบุได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์ Seebeck สมการ 2.1 [2]

$$S = -(\Delta V / \Delta T) = [\,(Vhot - Vcold) / (Thot - Tcold)\,] \quad (2.1)$$

เมื่อ S คือ ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค

ΔV คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้า

ΔT คือ อุณหภูมิที่แตกต่าง

Vhot คือ แรงดันไฟฟ้าที่ทางแยกร้อน

Vcold คือ แรงดันไฟฟ้าที่ทางแยกเย็น

Thot คือ อุณหภูมิที่จุดเชื่อมต่อร้อน

Tcold คือ อุณหภูมิที่จุดต่อความเย็น

2.1.2 การหาผลค่า ZT

สรายุธ ทองกุลภัทร กิติพจน์ งามสมโสตรและคณะ, 2563 [3] การหาความสัมพันธ์ด้วยหลักทางฟิสิกส์ในวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกเป็นไปตามสมการดังนี้

$$ZT = (\sigma S^2 / K)T \qquad (2.2)$$

เมื่อ Z คือ ค่าคุณสมบัติของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก

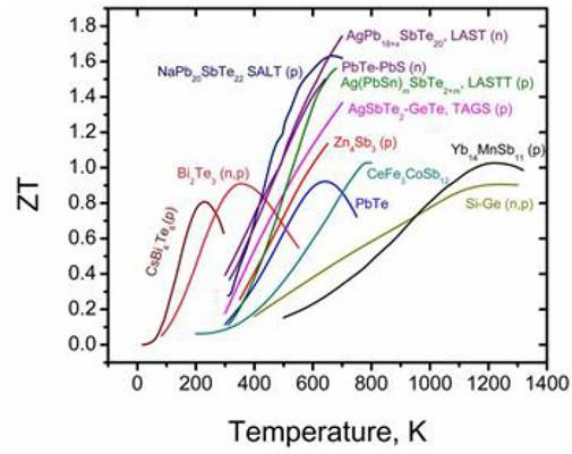
S คือ สัมประสิทธิ์ซีเบค ($V K^{-1}$)

σ คือ สภาพการนำไฟฟ้าของวัสดุ(S/cm)

K คือ การนำความร้อนของวัสดุ (W/mK)

T คือ อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)

2.1.3 ผลค่า ZT จะผันแปรตามวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก



รูปที่ 2.5 แสดง ZT จะผันแปรตามวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก [2]

2.1.4 การหาค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงาน

สรายุธ ทองกุลภัทร กิติพจน์ งามสมโสตรและคณะ, 2563 [3] ประสิทธิภาพของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกประเภทสารกึ่งตัวนำต้องมีคุณลักษณะ 3 อย่างดังนี้

1 สามารถนำไฟฟ้าได้สูงมีความร้อนเกิดขึ้นจากความต้านทานการไหลของกระแสต่ำ

2 สามารถเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าหรือเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความเย็นได้

3 มีสภาพการนำความร้อนต่ำเพื่อป้องกันการนำความร้อนผ่านวัสดุ

2.1.5 ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทรอทริก

มติ นรารมย์และปวัตวงศ์ บำรุงขันท์ , 2561 [4] ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทรอทริกโดยใช้ผลต่างของอุณหภูมิสามารถคำนวณได้จากสมการเชิงทฤษฎีซึ่งมีความความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2.3

$$\eta e = \eta c \times [(M - 1) / (M + (Tc / Th))] \qquad (2.3)$$

โดย M สามารถหาได้จากสมการที่ 2.4

$$M = (1 + ZTm)^{1/2} \qquad (2.4)$$

โดยค่า Tm หาได้จากสมการที่ 2.5

$$Tm = 0.5 (Th + Tc) \qquad (2.5)$$

ประสิทธิภาพทางคาร์โนต์หาจากสมการที่ 2.6

$$\eta c = (Th - Tc) / Th \qquad (2.6)$$

เมื่อ ηc คือ ประสิทธิภาพทางความร้อนของวัฏจักรคาร์ในต์

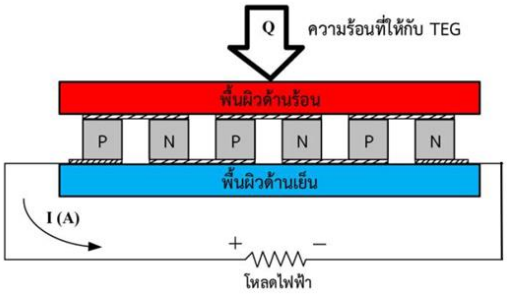
ηe คือ ประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริกในการผลิตไฟฟ้า

Tc คือ อุณหภูมิทางด้านความเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก,K

Th คือ อุณหภูมิทางด้านความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก,K

Tm คือ ค่าเฉลี่ยระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็น,K

Z คือ คุณสมบัติของเทอร์โมอิเล็กทริกจะมีค่าเท่ากับ $1.175 \times 10^{-3} K^{-1}$



รูปที่ 2.6 เทอร์โมอิเล็กทริกแบบผลิตไฟฟ้า [2]

2.2 การหาค่ากำลังไฟฟ้า [1]

กำลังไฟฟ้าเมื่อถูกนำมาใช้งานร่วมกับกฎของโอห์ม สามารถสรุปผลได้ดังนี้ กำลังไฟฟ้า (P) วัตต์ (W) คือ อัตราของงานที่ถูกกระทำในวงจรซึ่งเกิดกระแส (I) 1 แอมแปร์ (A) เมื่อแรงดันไฟฟ้า (E) จ่ายให้วงจร 1 โวลต์ (V) กำลังไฟฟ้าหาได้จากผลคูณของแรงดันมีหน่วยเป็นโวลต์คูณด้วยกระแสมีหน่วยเป็นแอมแปร์เขียนเป็นสมการออกมาได้ดังสมการที่ 2.7

$$P = EI \qquad (2.7)$$

เมื่อ P คือ กำลังไฟฟ้า (W)

E คือ แรงดันไฟฟ้า (V)

I คือ กระแส (A)

3.วิธีการทดลอง

ในการทดสอบชุดวัดประสิทธิภาพเทอร์โมอิเล็กทริก ชุดเตาความร้อนควบคุมอุณหภูมิ ชุดภาชนะใส่สารทดสอบ ตำแหน่งการติดตั้งชุดวัดอุณหภูมิ ซึ่งมีดังนี้

3.1 การออกแบบชุดวัดประสิทธิภาพเทอร์โมอิเล็กทริก

1 เตาไฟฟ้าปรับค่าอุณหภูมิตั้งแต่ 50 °C – 150 °C



รูปที่ 3.1 การเตรียมชุดเตาไฟฟ้า

2 ชุดภาชนะใส่สารทดสอบ



รูปที่ 3.2 การเตรียมชุดภาชนะใส่สารทดสอบ

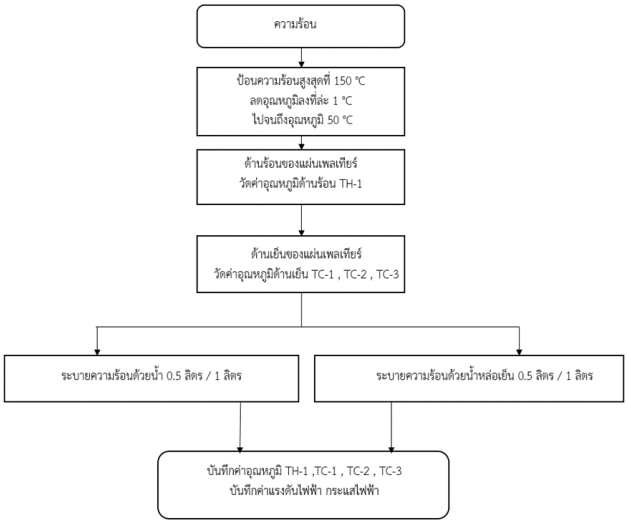
3 ชุดเครื่องวัดอุณหภูมิ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและทำการทดสอบด้วยโหลดความต้านทาน 10 โอห์มในการทดลองนี้



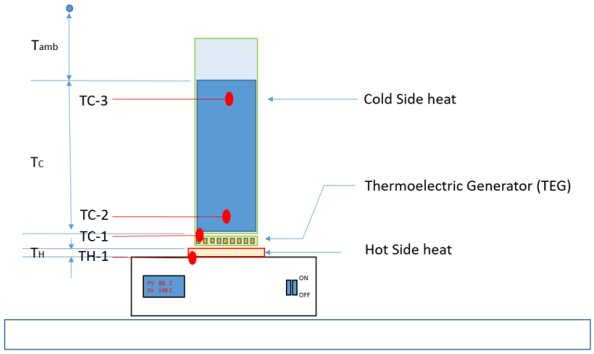
รูปที่ 3.3 การเตรียมชุดเครื่องวัดอุณหภูมิ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า

ขั้นตอนการทดลอง

ในการทดลองทางผู้จัดทำได้ใช้ชุดทดสอบวัดหาประสทธิภาพเทอร์โมอิเล็กทริก โดยใช้สารหล่อเย็นด้วยน้ำและสารหล่อเย็น ที่ปริมาตร 0.5 L และ 1.0 L



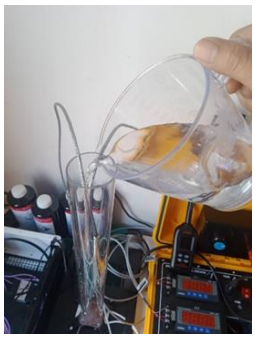
รูปที่ 3.4 ผังทำการทดสอบชุดเทอร์โมอิเล็กทริกการระบายความร้อนด้วยน้ำและน้ำหล่อเย็น



รูปที่ 3.5 ชุดทดสอบวัดหาประสทธิภาพเทอร์โมอิเล็กทริก



รูปที่ 3.6 กระบอกตวงใช้สำหรับตวงปริมาตรน้ำและน้ำหล่อเย็นในการทดลอง





รูปที่ 3.7 ดำเนินการตวงปริมาตรน้ำและน้ำหล่อเย็นไว้ในระดับที่ปริมาตร 0.5 L และ 1.0 L

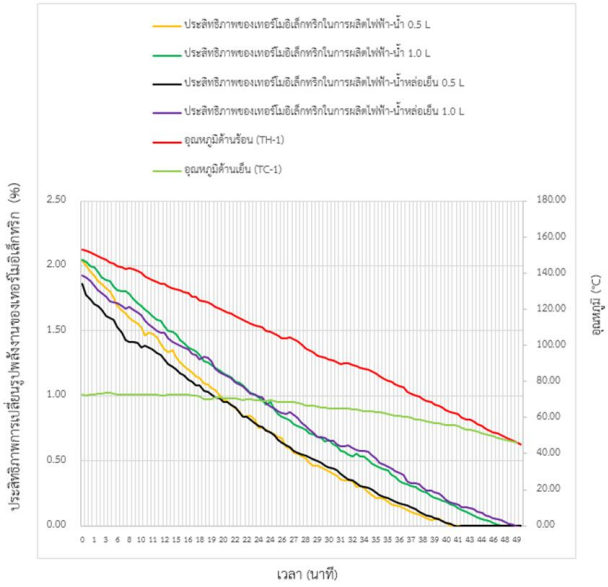


รูปที่ 3.8 บันทึกจากชุดเครื่องวัดอุณหภูมิ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าลงในเครื่องคอมพิวเตอร์

4.ผลการทดสอบ

จากการทดลองชุดเทอร์โมอิเล็กทริกด้วยระบายความร้อนด้วยน้ำและน้ำหล่อเย็น ป้อนความร้อนที่อุณหภูมิตั้งแต่ 50 °C ถึง 150 °C ที่ปริมาตรที่ 0.5 Lและ 1.0 L

4.1 ประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปพลังงานของเทอร์โมอิเล็กทริก



รูปที่ 4.1 แสดงประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปพลังงานของเทอร์โมอิเล็กทริกด้วยน้ำกับน้ำหล่อเย็นที่ 0.5 L และ 1.0 L

จากรูปที่ 4.1 กราฟแสดงประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปพลังงานของเทอร์โมอิเล็กทริกด้วยน้ำกับน้ำหล่อเย็นที่ 0.5 L และ 1.0 L มีแสดงผลอุณหภูมิด้านร้อน(TH-1) อยู่ระหว่าง 50 °C –150 °C ใช้ค่าอุณหภูมิชุดเทอร์โมอิเล็กทริกอุณหภูมิด้านร้อน (TH-1) ที่ 150 °C ผลประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปพลังงานของเทอร์โมอิเล็กทริกค่าที่ได้ดังนี้

1 ปริมาตรน้ำที่ 0.5 L ผลประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปพลังงานของเทอร์โมอิเล็กทริกได้ร้อยล่ะ 1.92

2 ปริมาตรน้ำที่ 1.0 L ผลประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปพลังงานของเทอร์โมอิเล็กทริกได้ร้อยล่ะ 1.99

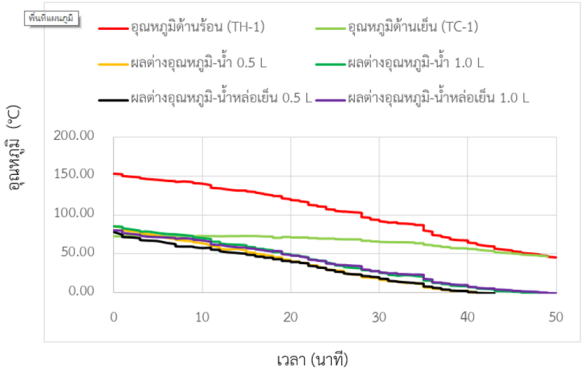
3 ปริมาตรน้ำหล่อเย็นที่ 0.5 L ผลประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปพลังงานของเทอร์โมอิเล็กทริกได้ร้อยล่ะ 1.74

4 ปริมาตรน้ำหล่อเย็นที่ 1.0 L ผลประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปพลังงานของเทอร์โมอิเล็กทริกได้ร้อยล่ะ 1.85

การทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปพลังงานของเทอร์โมอิเล็กทริกของชุดเทอร์โมอิเล็กทริกด้วยน้ำกับน้ำหล่อเย็นที่ 0.5 L ซึ่งน้ำดีกว่าน้ำหล่อเย็น

การทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปพลังงานของเทอร์โมอิเล็กทริกของชุดเทอร์โมอิเล็กทริกด้วยน้ำกับน้ำหล่อเย็นที่ 1.0 L ซึ่งน้ำดีกว่าน้ำหล่อเย็น

4.2 เปรียบเทียบผลต่างความร้อนระหว่างด้านร้อน TH-1 กับด้านเย็น TC-1 ของชุดเทอร์โมอิเล็กทริก



รูปที่ 4.2 แสดงเปรียบเทียบผลต่างความร้อนระหว่างด้านร้อนและด้านเย็นของชุดเทอร์โมอิเล็กทริก ด้วยน้ำกับน้ำหล่อเย็นที่ 0.5 L และ 1.0 L

จากรูปที่ 4.2 แสดงเปรียบเทียบผลต่างความร้อนระหว่างด้านร้อน (TH-1) และด้านเย็น (TC-1) ของชุดเทอร์โมอิเล็กทริกด้วยน้ำกับน้ำหล่อเย็นที่ 0.5 L และ 1.0 L มีแสดงผลอุณหภูมิด้านร้อน (TH-1) อยู่ระหว่าง 50 °C ถึง 150 °C ใช้อุณหภูมิด้านร้อน (TH-1) ชุดเทอร์โมอิเล็กทริก อุณหภูมิที่ 150 °C เปรียบเทียบผลต่างความร้อนระหว่างด้านร้อน TH-1 กับด้านเย็น TC-1 ของชุดเทอร์โมอิเล็กทริกค่าที่ได้ดังนี้

1 ปริมาตรน้ำที่ 0.5 L ได้ผลต่างอุณหภูมิ 80.40 °C

2 ปริมาตรน้ำที่ 1.0 L ได้ผลต่างอุณหภูมิ 83.10 °C

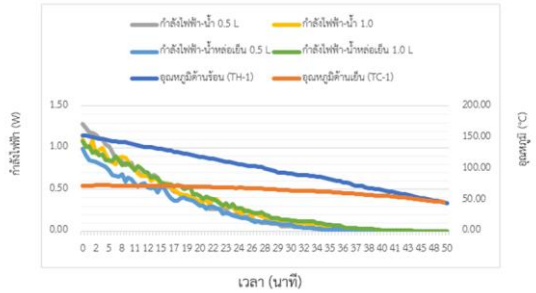
3 ปริมาตรน้ำหล่อเย็นที่ 0.5 L ได้ผลต่างอุณหภูมิ 72.90 °C

4 ปริมาตรน้ำหล่อเย็นที่ 1.0 L ได้ผลต่างอุณหภูมิ 77.30 °C

การทดลองเปรียบเทียบผลต่างความร้อนระหว่างด้านร้อนและด้านเย็นของชุดเทอร์โมอิเล็กทริกด้วยน้ำกับน้ำหล่อเย็นที่ 0.5 L ซึ่งน้ำดีกว่าน้ำหล่อเย็น

การทดลองเปรียบเทียบผลต่างความร้อนระหว่างด้านร้อนและด้านเย็นของชุดเทอร์โมอิเล็กทริกด้วยน้ำกับน้ำหล่อเย็นที่ 1.0 L ซึ่งน้ำดีกว่าน้ำหล่อเย็น

4.3 เปรียบเทียบผลต่างความร้อนระหว่างด้านร้อน (TH-1) ของชุดเทอร์โมอิเล็กทริกกับกำลังไฟฟ้า (Electric power)



รูปที่ 4.3 แสดงเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้า (Electric power) ระหว่างน้ำกับน้ำหล่อเย็นที่ 0.5 Lและ 1.0 L

จากรูปที่ 4.3 แสดงเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้า (Electric power) ด้วยน้ำกับน้ำหล่อเย็นที่ 0.5 L และ 1.0 อุณหภูมิด้านร้อน (TH-1) ชุดเทอร์โมอิเล็กทริก ที่อุณหภูมิสูงสุด 150 °C

1 ปริมาตรน้ำที่ 0.5 L ได้กำลังไฟฟ้า (Electric power) 1.18 W

2 ปริมาตรน้ำที่ 1.0 L ได้กำลังไฟฟ้า (Electric power) 1.09 W

3 ปริมาตรน้ำหล่อเย็นที่ 0.5 L ได้กำลังไฟฟ้า (Electric power) 0.84 W

4 ปริมาตรน้ำหล่อเย็น ที่ 1.0 L ได้กำลังไฟฟ้า (Electric power) 0.94 W

จากการทดลองเปรียบเทียบผลต่างความร้อนระหว่างด้านร้อน (TH-1) ของชุดเทอร์โมอิเล็กทริกกับกำลังไฟฟ้า (Electric power) ด้วยน้ำกับน้ำหล่อเย็นที่ 0.5 L ซึ่งน้ำดีกว่าน้ำหล่อเย็น

จากการทดลองเปรียบเทียบผลต่างความร้อนระหว่างด้านร้อน (TH-1) ของชุดเทอร์โมอิเล็กทริกกับกำลังไฟฟ้า (Electric power) ด้วยน้ำกับน้ำหล่อเย็นที่ 1.0 L ซึ่งน้ำดีกว่าน้ำหล่อเย็น

5.สรุปผลการทดลอง

1 ประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปพลังงานของเทอร์โมอิเล็กทริก ที่อุณหภูมิด้านร้อน (TH-1) 150 °C ที่ปริมาตรน้ำที่ 0.5 L (ηe = 1.92 %) ที่ปริมาตรน้ำ 1.0 L (ηe =1.99 %) ที่ปริมาตรน้ำหล่อเย็น 0.5 L (ηe = 1.74 %) ที่ปริมาตรน้ำหล่อเย็น 1.0 L (ηe =1.85 %) ซึ่งน้ำดีกว่าน้ำหล่อเย็น

2 เปรียบเทียบผลต่างความร้อนระหว่างด้านร้อน TH-1 กับด้านเย็น TC-1 ของชุดเทอร์โม อิเล็กทริก ที่อุณหภูมิด้านร้อน (TH-1) 150 °C ที่ปริมาตรน้ำที่ 0.5 L (ผลต่างอุณหภูมิ = 80.40 °C) ที่ปริมาตรน้ำ 1.0 L (ผลต่างอุณหภูมิ =83.10 °C) ที่ปริมาตรน้ำหล่อเย็น 0.5 L (ผลต่างอุณหภูมิ =72.90 °C) ที่ปริมาตรน้ำหล่อเย็น 1.0 L (ผลต่างอุณหภูมิ =77.30 °C) ซึ่งน้ำดีกว่าน้ำหล่อเย็น

3 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้า (Electric power) อุณหภูมิด้านร้อน (TH-1) 150 °C ที่ปริมาตรน้ำที่ 0.5 L (กำลังไฟฟ้า=1.18 W) ที่ปริมาตรน้ำที่ 1.0 L (กำลังไฟฟ้า=1.09 W) ที่ปริมาตรน้ำหล่อเย็นที่ 0.5 L (กำลังไฟฟ้า=0.84 W) ที่ปริมาตรน้ำหล่อเย็นที่ 1.0 L (กำลังไฟฟ้า=0.94 W) ซึ่งน้ำดีกว่าน้ำหล่อเย็น

4. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนได้รับการสนับสนุนและได้รับคำปรึกษาจากท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภูภูมิ พ่วงเจริญชัย ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ และอาจารย์ที่ให้คำแนะนำและถ่ายทอดความรู้ตลอดจนควบคุมการทำโครงงานจนประสบความสำเร็จด้วยดี คณะผู้จัดทำโครงงาน ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

[1] ชญานนท์ เหมเพ็ชรและคณะ, 2561, หมวกกันน็อคปรับอากาศ, ปริญญานิพนธ์คณะวิศวกรรม ศาสตร์, สาขาวิศวกรรมเครื่องกล, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

[2] เทอร์โมอิเล็กทริก, 2566, [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.ijstr.org/final-print/sep2016/ Model-Thermoelectric-Generator-teg-Small-Modular-As-Micro-Electricity-Plant-At-Indonesia-Part-1-Design-And-Material.pdf [16/02/2566].

[3] สรายุธ ทองกุลภัทร และคณะ, 2563, การผลิตกำลังไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกจากความร้อนแสงอาทิตย์, ปริญานิพนธ์คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิศูนย์นนทบุรี.

[4] มตินรารมย์ และปวัตวงศ์ บำรุงขันท์, 2561, “การศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกจากเตาย่าง”, วารสารวิจัย, ปีที่ 11, ฉบับที่ 2, หน้า 100-108.

[5] เทอร์โมอิเล็กทริก, 2565, [ออนไลน์]. แหล่งที่มา https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B9%80%E0%B8%84%E0%B8%A3%E0%B8%B7%E0%B9%88%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B8%88%E0%B8%B1%E0%B8%81%E0%B8%A3%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B8%A3%E0%B9%89%E0%B8%AD%E0%B8%99 [18/12/2565].

[6] พีรวัจน์ มีสุข กวินชัย ต้องตรงทรัพย์และคณะ, 2561, “การทดสอบการผลิตพลังงานไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล”, วารสารวิจัย, ปีที่ 11, ฉบับที่ 1, หน้า 62-88.



ว่าที่ร้อยโทธนพัต ว่องธัญกิจ นักศึกษาปริญญาตรี
สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
E-mail : tanapatengineering@gmail.com



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภูภูมิ พ่วงเจริญชัย
อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
02-836-3000 ต่อ 4138
E-mail: phupoom.p@rmutp.ac.th

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

การศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้เชื้อเพลิงทะลายปาล์มในเตาเผาไหม้ตะกรับแบบขั้นบันได

Study Features of Empty Fruit Branch Fuel Combustion in Step Grate-Fired Combustor

ชายชาตรี ศรีโท[1*], ฐานทัพ สุจิพงศ์[2], กัลติญา จีนจรรยา[3], ภาคภูมิ ทิพย์ประเสริฐ[4], เตวิช มั่นใจ[5], พงศกร สิงหปรีชา[6], กาญจนา สันติปาตี[7], ปริญญา ตากรวด[8], ปรีดา จันทวงษ์[9], ติกะ บุนนาค[10]

[1]สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรมพลังงาน ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลัง วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1518 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800 Chaychatree.s@gmail.com

[2]สาขาวิศวกรรมหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติ ภาควิชาแมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์ 85/1 หมู่ 2 ถ.แจ้งวัฒนะ ต.บางตลาด อ.ปากเกร็ด จังหวัด นนทบุรี 11120

บทคัดย่อ

การศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้เชื้อเพลิงทะลายปาล์มในเตาเผาไหม้ตะกรับแบบขั้นบันได โดยใช้วัสดุพืชผลทางการเกษตร ที่เหลือใช้มาเป็นพลังงานทดแทนเรียกว่า พลังงานทะลายปาล์ม มีการศึกษาถึง 2 กรณี คือ กรณีแรกศึกษาลักษณะการเผาไหม้เชื้อเพลิงทะลายปาล์ม (EFB) 100% EA 70 ที่ใช้ใบตีเชื้อเพลิงและไม่ใช้ใบตีเชื้อเพลิงในเตาตะกรับแบบขั้นบันได และกรณีที่สองศึกษาการกระจายอุณหภูมิการเผาไหม้ ผลการทดลองพบว่า การเผาไหม้เชื้อเพลิงทะลายปาล์ม (EFB) 100% ที่ใช้ใบตีเชื้อเพลิงการเผาไหม้ เชื้อเพลิงมีความเบาบางและไม่จับตัวกัน ส่วนที่ไม่ใช้ใบตีเชื้อเพลิงการเผาไหม้ เชื้อเพลิงมีความหนาและจับตัวกันเป็นก้อน จึงอาจทำให้ส่งต่ออากาศในการแพร่เข้าสู่เชื้อเพลิง การกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาไหม้ส่วนที่ไม่ใช้ใบตีเชื้อเพลิงอุณหภูมิมีความเสถียร เนื่องจากการเคลื่อนตัวของเชื้อเพลิงเป็นไปตามการขับเคลื่อนของตะกรับ

คำสำคัญ : ทะลายปาล์ม; การกระจายอุณหภูมิ; คุณลักษณะการเผาไหม้

Abstract

Study on the combustion characteristics of empty fruit bunch fuel in a step grate-fired combustor using material agricultural crops the remainder is used as renewable energy called empty fruit bunch energy was studied in 2 cases. The first case was to study the combustion characteristics of 100% EFB EA 70 using blade beaters and without blades in a step grate-fired combustor and the second case studies the combustion temperature distribution. The experimental results showed 100% EFB combustion using fuel blades, combustion and grinding for the fuel is light and does not clump together. In the part that does not use the fuel blade, the combustion fuel is thick and clumped together, so it may cause the air to diffuse into the fuel. The temperature distribution inside the combustion chamber is stable because the movement of the fuel follows the propulsion of the basket.

Keywords: Empty fruits branch; The temperature distribution; The characteristics of combustion

1. บทนำ

ปัจจุบันมนุษย์มีความต้องการใช้พลังงานมากขึ้นเพื่อพัฒนาและสร้างความเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศ พลังงานส่วนใหญ่ที่ใช้ในปัจจุบันเป็นพลังงานที่ได้มาจากเชื้อเพลิงฟอสซิล น้ำมันดีเซล น้ำมันเตา หรือถ่านหินที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งมีราคาสูงอย่างต่อเนื่องจึงได้คิดหาหนทางแก้ไขทำการศึกษา ค้นคว้า และทดลองติดตามเทคโนโลยีอย่างจริงจังต่อเนื่องมาโดยตลอดโดยได้ค้นพบพลังงานทดแทนต่างๆ ที่นำไปใช้ทดแทนพลังงาน เพื่อลดต้นทุนการนำเข้าพลังงานกับประเทศ เป็นสังคมเกษตรกรรมที่สำคัญ ซึ่งภายหลังจากการเก็บเกี่ยวและการแปรรูปพืชผลทางการเกษตรจะมีชีวมวลเหลือทิ้งอยู่บริเวณพื้นที่เพาะปลูก หรือบริเวณสถานที่แปรรูปพืชผลทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก ได้แก่ กากใยปาล์ม กะลาปาล์ม 1.149 ล้านเมกะจูล กากเมล็ดในปาล์ม 0.568 ล้านเมกะจูล ลำต้นปาล์ม 0.116 ล้านเมกะจูล และทางใบปาล์ม 0.040 ล้านเมกะจูล **[1]** เป็นต้น ซึ่งวัสดุเหลือใช้ดังกล่าวมีคุณสมบัติเป็นเชื้อเพลิงที่ดี ประกอบกับราคาเชื้อเพลิงฟอสซิลได้ปรับตัวสูงขึ้นอย่างมากในปัจจุบันส่งผลให้โรงงานอุตสาหกรรมและโรงไฟฟ้าหลายแห่งได้นำเอาวัสดุเหลือใช้มาทำเชื้อเพลิงทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งเป็นวิธีการกำจัดเศษวัสดุเหลือใช้และช่วยลดค่าใช้จ่ายในด้านพลังงาน ปัญหาการเผาไหม้ฟางข้าวซึ่งมีการสร้างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โครงสร้างดินถูกทำลาย สูญเสียแร่ธาตุอาหารในดิน พื้นที่ป่าถูกทำลาย เกิดมลพิษทางอากาศทำลายทั้งชีวิตมนุษย์และเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ประเทศไทยมีความพยายามในการนำฟางข้าวมาใช้ประโยชน์ในรูป พลังงานมาก แต่ยังประสบความสำเร็จไม่มากนัก เนื่องจากฟางข้าวเป็นชีวมวลที่มีค่าความร้อนต่ำเทคโนโลยีการแปรรูปชีวมวล โดยอาศัยกระบวนการทางเคมี ความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในสภาวะจำกัดปริมาณอากาศ เมื่อให้ความร้อนแก่ชีวมวลร่วมกับเทคนิคการจำกัดปริมาณอากาศ (Air) หรือออกซิเจน (Oxygen, O_2) หรือไอน้ำ (Steam) เพื่อให้เกิดสภาวะที่มีการควบคุมปริมาณออกซิเจนในสัดส่วนที่ต่ำกว่าปริมาณที่ทำให้เกิดการเผาไหม้เชื้อเพลิงอย่างสมบูรณ์ (หรือทำให้เกิดสภาวะการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ที่มีการควบคุม) ทำให้ชีวมวลเกิดการแตกตัวเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) ในรูปของแข็งและก๊าซ

ในการศึกษาคุณลักษณะของการเผาไหม้เชื้อเพลิงทะลายปาล์มในเตาเผาไหม้ตะกรับแบบขั้น เพื่อให้ได้ทราบปริมาณของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงทะลายปาล์มอย่างสมบูรณ์และศึกษาผลของการใช้ใบตีและไม่ใช้ใบตีเชื้อเพลิงในการเผาไหม้เชื้อเพลิงทะลายปาล์มในเตาเผาไหม้ตะกรับแบบขั้น ในด้านของคุณลักษณะการเผาไหม้ ผลของการกระจายอุณหภูมิในตำแหน่งๆ ภายในเตาเผาไหม้

2. ทฤษฎีการเผาไหม้เชื้อเพลิง

มีลักษณะกากปาล์มเป็นเศษเหลือจากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบจากทะลายปาล์มสด มี 3 แบบ คือ ไฟเบอร์มีลักษณะเป็นขุย กะลามีลักษณะเป็นคล้ายกะลามะพร้าวแต่มีขนาดเล็กกว่ามาก กากปาล์มจะได้จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบมาตรฐาน อย่างไรก็ตามยังโรงงานสกัดอีกประเภทหนึ่งคือ นำเฉพาะผลปาล์มสดไม่รวมทะลายมาสกัด เศษที่ได้จะนำมาเป็นอาหารสัตว์

การนำไปใช้งาน ไฟเบอร์นำมาเป็นเชื้อเพลิง ในขบวนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ จึงมีเหลือไม่มาก ส่วนทะลายเปล่านำไปเพาะเห็ด กะลาปาล์มมีค่าความร้อนสูงสุด เหมาะนำมาเป็นเชื้อเพลิง แต่ต้องระวังเศษ น้ำมันที่ตกค้างอยู่ ส่วนทะลายปาล์มเปล่ามีเหลืออีกมากที่ยังไม่ได้นำมาใช้ และถ้านำมาเผา จะได้ขี้เถ้าที่มีแร่ธาตุโพแทสเซียมสูงมาก อย่างไรก็ตาม การที่จะนำทะลายปาล์มเปล่ามา เป็นเชื้อเพลิง ต้องนำมาผ่านขบวนการย่อย หรือตัดก่อน เพราะมีขนาดใหญ่

ในการทดลองเตาเผาไหม้ตะกรับแบบขั้นนี้จะต้องมีการคำนวณซึ่งเป็นไปตามค่าขององค์ประกอบทางเคมีของทะลายปาล์ม (EFB) ดังแสดงในตารางที่ 1 และในการหาปริมาณของอากาศเพื่อใช้ในการเผาไหม้มีองค์ประกอบเคมี **[4]** ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของเชื้อเพลิงทะลายปาล์ม (EFB)

ทะลายปาล์มเปล่า (EFB) 100%		
องค์ประกอบเชื้อเพลิง	**องค์ประกอบโดยประมาณ (% โดยน้ำหนักแห้ง)**	**องค์ประกอบโดยละเอียด (% โดยน้ำหนักแห้ง)**
C	40.7	38.665
H	5.4	5.13
N	0.3	0.285
O	47	44.65
S	1.1	1.045
ความชื้น (Moisture)	0	5
เถ้า (Ash)	5.5	5.225

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีโดยละเอียดของทะลายปาล์ม (EFB)

Carbon, (C)	Hydrogen, (H)	Sulfur, (S)	Oxygen, (O_2)	Moisture	Ash
38.665	5.13	1.045	44.65	5	5.225

ในการหาประสิทธิภาพในการเปลี่ยนแปลงสภาพคาร์บอนและการหาความร้อนสัมพัทธ์ สามารถหาได้ ดังแสดงในสมการที่ (1-2) **[5]** โดยผลการคำนวณ **[3]** ดังแสดงในตารางที่ 3

$$\eta_c = \left[1 - \frac{C_{unburn}}{C_{fuel}}\right] \times 100\% \quad (1)$$

กำหนดให้

η_c = ประสิทธิภาพการเผาไหม้คาร์บอน (%)

C_{unburn} = สัดส่วนคาร์บอนที่ไม่ถูกเผาไหม้ต่อหนึ่งหน่วยกิโลกรัมเชื้อเพลิง ($kg_{C_{unburn}} / kg_{C_{fuel}}$)

C_{fuel} = สัดส่วนคาร์บอนต่อหนึ่งกิโลกรัมเชื้อเพลิง ($kg_{C_{unburn}} / kg_{C_{fuel}}$)

$$\text{Relative heat uptake (\%)} = \left[\frac{Q(t)}{Q(t_0)}\right] \times 100\% \quad (2)$$

กำหนดให้

$Q(t)$ = อัตราการถ่ายเทความร้อนรวมที่เวลาใดๆ (W)

$Q(t_0)$ = อัตราการถ่ายเทความร้อนรวมที่เวลาเริ่มต้นการทดลอง (W)

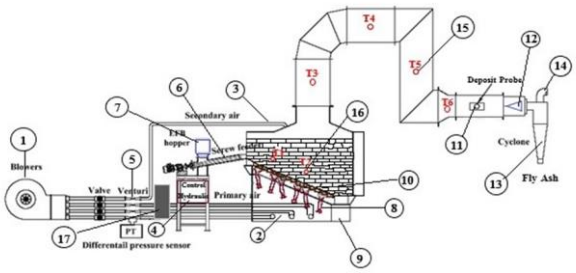
ตารางที่ 3 เงื่อนไขการทดลอง

รายการ	**เงื่อนไขการทดลอง**	
	เชื้อเพลิงทะลายปาล์ม (EFB) 100%	
	ใช้ใบตีเชื้อเพลิง	**ไม่ใช้ใบตีเชื้อเพลิง**
ปริมาณอากาศส่วนเกิน EA (%)	70	70
ปริมาณอากาศทางทฤษฎี (kg.da./kg.fuel.)	4.47	4.33
ปริมาณอากาศต่อเชื้อเพลิงจริง (kg.da./kg.fuel.)	7.61	7.38
อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (kg/hr)	38.22	39.69
ปริมาณอากาศปฐมภูมิ λ_{PA}	1.139	1.139
อัตราการไหลอากาศปฐมภูมิ (m^3/min)	2.9	2.9
ปริมาณอากาศทุติยภูมิ λ_{SA}	0.561	0.561
อัตราการการไหลอากาศทุติภูมิ (m^3/min)	1.4	1.4
ระยะเวลาทำการทดลอง (hr)	10	8
องค์ประกอบแก๊สไอเสีย		
แก๊สไอเสียที่ท่อทางออก O_2 (%)	9.0 ± 1.2	10.3 ± 0.4
แก๊สไอเสียที่ท่อทางออก CO_2 (%)	10.4 ± 1.0	9.3 ± 0.4
แก๊สไอเสียที่ท่อทางออก CO (ppm)	53.4 ± 89.3	20.3 ± 6.7
แก๊สไอเสียที่ท่อทางออก CO (ppm) 6% O_2	40.4 ± 98.9	19.0 ± 15.3
แก๊สไอเสียที่ท่อทางออก NO_X (ppm)	160.2 ± 19.6	149.2 ± 9.5
แก๊สไอเสียที่ท่อทางออก NO_X (ppm) 6% O_2	121.2 ± 104.5	140.3 ± 101.3
แก๊สไอเสียที่ท่อทางออก SO_2 (ppm)	1.0 ± 3.1	0
แก๊สไอเสียที่ท่อทางออก SO_2 (ppm) 6% O_2	0.7 ± 2.7	0

3. การดำเนินงานและผลการดำเนินการ

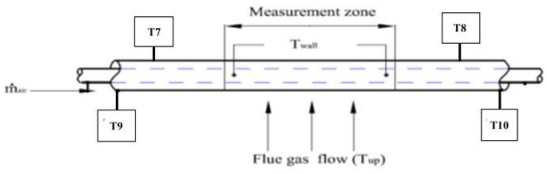
3.1 การดำเนินการ

ส่วนประกอบของเตาเผาไหม้ตะกรับแบบขั้นบันได รวมถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิและจอแสดงผลอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆ อุปกรณ์ที่ใช้วัดแก๊สไอเสียที่มาจากการเผาไหม้และขั้นตอนการเตรียมเชื้อเพลิงตลอดจนอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนภาพเตาเผาไหม้ตะกรับแบบขั้นบันได

เตาเผาไหม้ตะกรับแบบขั้นมีขนาด กว้าง×ยาว×สูง ประมาณ 1.15×2.35×4.40 เมตร โดยมีลักษณะเป็นแบบขั้นบันได ซึ่งใบตีจะทำหน้าที่กวาดเชื้อเพลิงให้ตกไปยังบันไดขั้นถัดไป ซึ่งอยู่ในระดับที่ต่ำกว่า สำหรับการป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่เตาเผาไหม้จะใช้สกรูลำเลียงจำนวน 2 ชุด สามารถควบคุมอัตราการป้อนเชื้อเพลิงโดยใช้อินเวอร์เตอร์ การจ่ายอากาศแบ่งอากาศเป็น 2 ส่วน อากาศส่วนที่ 1 (Primary air) เป็นอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงบนบันได ซึ่งจะทำการแบ่งเป็น 3 ท่อ เพื่อที่จะให้ลักษณะการกระจายอากาศ เต็มพื้นที่หน้าตัดของบันไดและใบตี โดยอากาศเข้าห้องเผาไหม้ทางช่องระหว่างบันไดและใบตี และอากาศส่วนที่ 2 (Secondary air) เป็นอากาศที่เข้าไปช่วยเผาไหม้สารระเหยที่ออกจากเชื้อเพลิง ซึ่งการทำการจ่ายอากาศส่วนที่ 2 เข้าทางหลังคาห้องเผาไหม้ ส่วนการวัดอุณหภูมิในการทดลองจะใช้เทอร์โมคับเปิลชนิด K คู่กับอุปกรณ์แสดงผลซึ่งมีความละเอียด ±1% ซึ่งทำการวัด 5 ตำแหน่ง ดังแสดงในรูปที่ 2



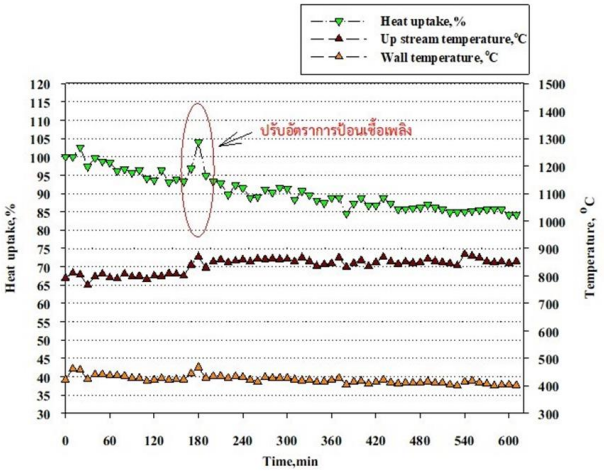
รูปที่ 2 ตำแหน่งที่วัดอุณหภูมิบนท่อไอน้ำร้อนจำลอง

เริ่มการทดลองในแต่ละเงื่อนไขจึงจำเป็นต้องทำการอุ่นระบบด้วยเชื้อเพลิงแกลบจนถึงอุณหภูมิประมาณ 800-900 °C วิธีการอุ่นระบบในทุกเงื่อนไขการทดลองจะมีความคล้ายคลึงกันโดยมีขั้นตอนดังนี้ ทำการปรับปริมาณอากาศส่วนที่ 1 และส่วนที่ 2 ให้เพียงพอที่เชื้อเพลิงแกลบสามารถลุกไหม้ได้ดี หลังจากนั้นจึงทำการติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆในการอุ่นระบบใช้เวลาประมาณ 5 ชั่วโมง อุณหภูมิในเบดอยู่ในช่วงอุณหภูมิถึง 800-900 °C เมื่ออุ่นเตาด้วยแกลบและให้อุณหภูมิแก๊สเผาไหม้เข้าปะทะท่อไอน้ำร้อนจำลอง มีค่าอุณหภูมิอยู่ในช่วง 750-800 °C แล้วทำการเปลี่ยนเชื้อเพลิงตามเงื่อนไขทดลอง หลังจากการเปลี่ยนเชื้อเพลิงเรียบร้อย เดินระบบต่อไปอีกประมาณ 1-2 ชั่วโมง เพื่อให้อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้เข้าสู่สภาวะคงที่

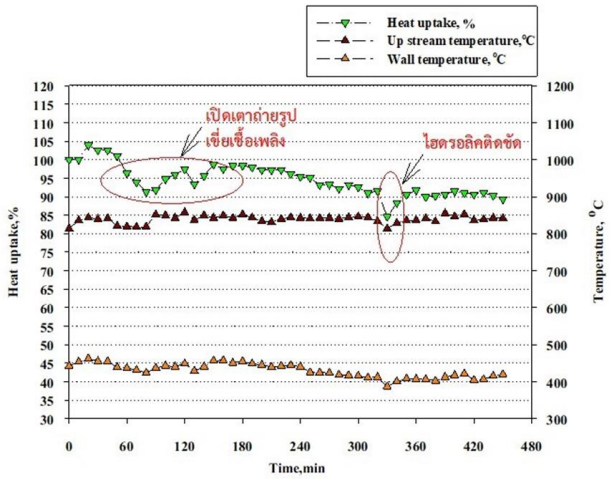
บันทึกผลการทดลอง คือ อุณหภูมิตำแหน่งต่างๆ และน้ำหนักของอนุภาค ทุกๆ 10 นาที ลงตารางบันทึกผลและข้อมูลลงคอมพิวเตอร์ และคำนวณหาค่าต่างๆ แล้วนำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ เพื่อให้สามารถทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความเป็นไปได้ของอัตราการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนท่อจำลอง

3.2 ผลการดำเนินการ

การศึกษาการเผาไหม้เชื้อเพลิงทะลายปาล์ม พิจารณาถึงผลการทดลองคือ การเปรียบเทียบการกระจายอุณหภูมิแต่ละช่วงของการเผาไหม้เชื้อเพลิงทะลายปาล์ม (EFB) 100% EA70 โดยใช้ใบตีเชื้อเพลิงและไม่ใช้ใบตีเชื้อเพลิง ดังแสดงในรูปที่ 3-4



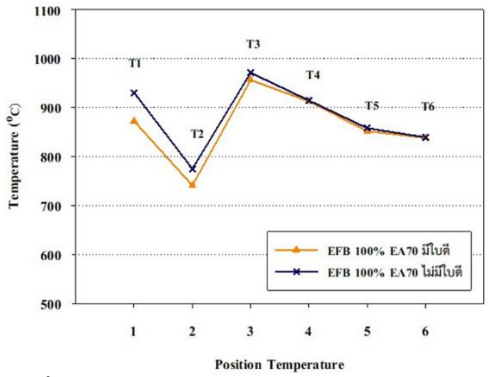
รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์การรับความร้อนเชื้อเพลิงทะลายปาล์ม (EFB) 100% EA 70 ใช้ใบตีเชื้อเพลิง



รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์การรับความร้อนเชื้อเพลิงทะลายปาล์ม (EFB) 100% EA 70 ไม่ใช้ใบตีเชื้อเพลิง

การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นสัมประสิทธิ์การรับความร้อนเทียบกับค่าเริ่มต้นของการทดลองเทียบกับอุณหภูมิแก๊สเผาไหม้และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ผลการทดลอง พบว่าอุณหภูมิของแก๊สเผาไหม้ที่เข้าปะทะกับท่อไอน้ำร้อนตลอดเวลาในการทดลองทั้งหมด 8 ชั่วโมง และ 10 ชั่วโมง ที่ผิวท่อไอน้ำร้อนมีการเกาะตัวของเดโพสิตมาก ซึ่งผลต่อความสามารถในการถ่ายเทความร้อน

อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้บริเวณตำแหน่ง 1 (T1) และตำแหน่งที่ 2 (T2) มีอุณหภูมิใกล้เคียงกัน ส่วนบริเวณตำแหน่งที่ 3 (T3) นั้นมีอุณหภูมิสูงใกล้เคียงกันทั้งสองผลการทดลอง และบริเวณตำแหน่งที่ 4 (T4) ตำแหน่งที่ 5 (T5) และตำแหน่งที่ 6 (T6) ของทั้งสองการทดลองอุณหภูมิใกล้เคียงกันมาก (รูปที่ 5) สามารถประมาณได้ว่าเท่ากัน ซึ่งการเผาไหม้ช่วงเริ่มต้นที่ตำแหน่งที่ 1 (T1) ของการทดลองที่ไม่ใช้ใบตีเชื้อเพลิงนั้นเผาไหม้รุนแรงกว่าการทดลองที่ใช้ใบตีเชื้อเพลิง ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 การเปรียบเทียบการกระจายอุณหภูมิแต่ละช่วงเวลา

4. สรุปผลการทดลอง

การศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้และผลของการกระจายอุณหภูมิการเผาไหม้เชื้อเพลิงทะลายปาล์ม (EFB) 100% EA70 ที่มีใบตีและไม่ใช้ใบตีในเตาเผาไหม้ สามารถสรุปได้ตามปัจจัย ดังนี้

คุณลักษณะการเผาไหม้ ที่มีใบตีการเผาไหม้เชื้อเพลิงค่อนข้างดีและเชื้อเพลิงจับตัวเป็นก้อนมีความหนาน้อย ส่วนที่ไม่ใช้ใบตีการเผาไหม้เชื้อเพลิงมีความหนาและเชื้อเพลิงจับตัวกันเป็นก้อนจึงอาจทำให้ส่งต่ออากาศในการแพร่เข้าสู่เชื้อเพลิง

การกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาไหม้ที่มีใบตีค่อนข้างไม่เสถียรที่บางจุดวัดอุณหภูมิ ส่วนที่ไม่มีใบตีอุณหภูมิค่อนข้างเสถียร เนื่องจากการเคลื่อนตัวของเชื้อเพลิงเป็นไปตามการขับเคลื่อนของตะกรับ

เอกสารอ้างอิง

[1] ประสาน สถิตย์เรืองศักดิ์, “วิศวกรรมโรงจักรต้นกำลัง,” พิมพ์ครั้งที่ 4 เอกสารประกอบการสอนในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, 2553.

[2] ฐานิตย์ เมธิยานนท์ และคณะ “ผลกระทบของการใช้ทะลายปาล์มเปล่าเป็นเชื้อเพลิงในเตาเผาไหม้ตะกรับแบบขั้นต่อการแลกเปลี่ยนความร้อนของท่อผลิตไอน้ำร้อนยวดยิ่ง” ในการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23 วันที่ 4–7 พฤศจิกายน 2552 จังหวัดเชียงใหม่

[3] ชนิดของเตาเผาไหม้. [เอกสารอิเล็กทรอนิกส์ออนไลน์] สืบค้นได้จาก :<https://www.boilerthailand.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=538971777> 7 กันยายน 2560

[4] สศก. โชว์ผลศึกษาการใช้ชีวมวลจากปาล์มน้ำมันเพื่อผลิตไฟฟ้า แนะเกษตรกรใช้ทางใบปาล์ม-ลำต้นปาล์ม คลุมดินเป็นปุ๋ย เพื่อลดต้นทุน ส่วนประชาสัมพันธ์ / ข้อมูล : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (Office of Agricultural Economics) ข่าวที่ 118/2565 วันที่ 11 พฤศจิกายน 2565 สืบค้นได้จาก :< https://www.oae.go.th/>

[5] บทที่ 3 ทฤษฎีการเผาไหม้ ตำราฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (ผชพ) ด้านความร้อน หน้า 54 http://www2 .dede.go.th/bhrd/old/Download/file_handbook/Pre_Heat/pre_heat_3.pdf

[6] Priatna Suheria , Vladimir I. Kuprianova, “Co-Firing of Oil Palm Empty Fruit Bunch and Kernel Shell in a Fluidized-Bed Combustor: Optimization of Operating Variables”, Energy Procedia Volume 79, November 2015, Pages 956-962



นายชายชาตรี ศรีโท สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี วศ.บ.วิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร กำลังศึกษาปริญญาโท วศ.ม.เทคโนโลยีวิศกรรมพลังงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปัจจุบันทำงาน วิศวกรซ่อมบำรุง บริษัท ปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด



นายเตวิช มั่นใจ สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี วศ.บ. วิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยศรีกำลังศึกษาปริญญาโท วศ.ม.เทคโนโลยีวิศกรรมพลังงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปัจจุบันทำงาน สถาบันบันการแพทย์จักรีนฤบดินทร์ คณะแพทย์ศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล

การศึกษาสมรรถนะและมลพิษของเครื่องยนต์เบนซินใช้น้ำมันเบนซิน 95 และ น้ำมันเบนซิน95 ผสม สารเทิร์ท-บิวทานอล10% เป็นเชื้อเพลิง

A study on performance and emissions of gasoline engines using 95 gasoline and 95 gasoline mixed with 10% tert-butanol as fuel.

กาญจนา สันติปาตี, ชัยยศ ดำรงกิจโกศล, ปรีดา จันทวงษ์

สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรมพลังงาน ภาควิชาวิศวกรรมต้นกำลัง มหาวิทยายาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1518 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800 kanchanasantiapatee@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมรรถนะและมลพิษของเครื่องยนต์เบนซินขนาดเล็กที่ใช้ น้ำมันเบนซิน 95 และน้ำมันเบนซิน 95 ผสมเทิร์ท-บิวทานอล 10% เป็นเชื้อเพลิง โดยนำเครื่องยนต์เบนซินขนาดเล็กไปติดตั้งกับเครื่องไดนาโมมิเตอร์ เพื่อทำการทดสอบเครื่องยนต์ที่ภาระ50% ที่รอบของเครื่องยนต์ 2,500 รอบต่อนาที ผลการวิจัยพบว่า เครื่องยนต์เบนซินขนาดเล็กที่ใช้น้ำมันเบนซิน มีแรงบิดและกำลังเบรกของเครื่องยนต์สูงกว่าการใช้น้ำมันเบนซิน 95 ผสมเทิร์ท-บิวทานอล 10% เป็นเชื้อเพลิง เท่ากับ 37.50% เนื่องจากสาร เทิร์ท-บิวทานอลมีค่าความร้อนน้อยกว่าน้ำมันเบนซิน 95 ในด้านปริมาณสารมลพิษ COและ HC เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซิน 95 ผสมสารเทิร์ท-บิวทานอล 10% เป็นเชื้อเพลิง ปล่อย ก๊าซ CO และ HC ต่ำกว่าการใช้น้ำมันเบนซิน 95 เป็นเชื้อเพลิง เท่ากับ 32.88% และ 13.79% ตามลำดับ เนื่องจากสารเทิร์ท-บิวทานอลมีออกซิเจนเป็นส่วนประกอบจึงช่วยให้มีการสันดาปที่สมบูรณ์มากขึ้น และสารเทิร์ท-บิวทานอลมีองค์ประกอบของสารไฮโดรคาร์บอนที่ต่ำกว่าน้ำมันเบนซิน 95

คำสำคัญ : สมรรถนะเครื่องยนต์ มลพิษ สารเทิร์ท-บิวทานอล

Abstract

The research aimed to study the performance and emission of a small gasoline engine using gasoline 95 and gasoline 95 blended with 10% tert-butanol as fuel. The gasoline engine was installed with an engine dynamometer. The engine was tested at 2,500 rpm and half load condition (50% engine load). The results showed that the small gasoline engine using gasoline 95 as fuel had higher engine torque and power than the gasoline-tert-butanol blended fuel, around 37.50% due to the low heating value of tert-butanol. For the emission, the amount of CO and HC, emitted from the engine using blended fuel, had lower emissions than gasoline 95 at 32.88% and 13.79% respectively, because tert-butanol had lower carbon than gasoline 95 and oxygen content in its molecule, improving the combustion process.

Keywords: engine performance, emission, tert-butanol

1. บทนำ

ปัจจุบันพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลในประเทศมีปริมาณน้อยลงเนื่องจากมีการใช้พลังงานเชื้อเพลิงเพิ่มมากขึ้นจากการเจริญเติบโตของเศรษฐกิจและความเป็นอยู่ในประเทศ มีความจำเป็นที่ต้องใช้เชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ เพื่ออำนวยความสะดวกในการเดินทางสำหรับใช้ในชีวิตประจำวัน การขนส่ง และเกษตรกรรม เช่น เครื่องยนต์เบนซิน และใช้น้ำมันกลุ่มเบนซินเป็นเชื้อเพลิงในการขับเคลื่อน ประชากรส่วนมากใช้น้ำมันแก๊สโซฮอล์เป็นเชื้อเพลิงในการขับเคลื่อน เพราะมีราคาที่ถูกลง และสามารถลดการใช้เชื้อเพลิงอย่างน้ำมันได้มากขึ้น น้ำมันแก๊สโซฮอล์นั้นเป็นน้ำมันเบนซินที่ผสมกับสารเอทานอลในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ซึ่งเอทานอล เป็นแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ สามารถผลิตได้จากพืชที่ปลูกในประเทศไทยได้ เช่น อ้อย บีชรูท มันสำปะหลัง ข้าว และข้าวโพด เป็นต้น [1]

จากการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้เลือกสารเทิร์ท-บิวทานอล มาทำการวิจัยเนื่องจาก สารเทิร์ท-บิวทานอล มีคุณสมบัติค่าจุดเดือดและจุดติดไฟด้วยตัวเองคล้ายกับเอทานอล มีสูตรทางเคมี $C_4H_{10}O$ โดยสารมีจุดเดือด 83 °C [2]

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษา ทดสอบโดยการนำสารเทิร์ท-บิวทานอล มาผสมกับน้ำมันเบนซิน95 แทนสารเอทานอล เพื่อทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์เบนซินโดยทดลองน้ำมันเบนซิน95 และ น้ำมันเบนซิน95 สารเทิร์ท-บิวทานอล เพื่อศึกษาค่าสมรรถนะเครื่องยนต์และค่ามลพิษของเครื่องยนต์โดยใช้เครื่องยนต์เบนซิน 1สูบ 4 จังหวะ ยี่ห้อ BYZON รุ่น BZ 5.5

HP ไปติดตั้งกับเครื่องทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ยี่ห้อ ANAKA-STYLE DYNAMOMETER รุ่นP-1.5 เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาข้อมูลผลกระทบ ของการใช้สาร สารเทิร์ท-บิวทานอล ผสมกับน้ำมันเบนซิน และนำมาเป็นแนวทางในการใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน

1.1 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์เบนซินขนาดเล็กที่เกิดจากการใช้น้ำมันเบนซิน 95 และ น้ำมันเบนซิน 95 ผสมกับสารเทิร์ท-บิวทานอล 10 %

1.2.2 เพื่อทดสอบมลพิษจากเครื่องยนต์เบนซินขนาดเล็กที่เกิดจากการใช้น้ำมันเบนซิน 95 และ น้ำมันเบนซิน 95 ผสมกับสารเทิร์ท-บิวทานอล 10 %

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 กลุ่มสารแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำวิจัย ได้แก่ สารเทิร์ท-บิวทานอล ในอัตราส่วนที่ 10%

1.3.2 เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ใช้เครื่องยนต์เบนซิน 1สูบ 4 จังหวะ ยี่ห้อ BYZON รุ่น BZ 5.5 HP

1.3.3 ทำการทดลองเพื่อหาค่าแรงม้า ค่าแรงบิด และมลพิษของเครื่องยนต์เบนซิน ที่ภาระโหลด 50% ที่รอบสูงสุดของเครื่องยนต์ 2500 RPM

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาเรื่องการเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์เบนซินขนาดเล็กที่ใช้น้ำมันเบนซิน 95 และ น้ำมันเบนซิน 95 ผสมกับสารเทิร์ท-บิวทานอล 10 % เป็นเชื้อเพลิง มีทฤษฎีและเนื้อหาที่เกี่ยวข้องที่นำมาปรับใช้ในการศึกษาโดยครอบคลุมเนื้อหาภายใต้หัวข้อดังต่อไปนี้

2.1 น้ำมันเบนซิน (GASOLINE)

น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิงที่ระเหยได้ง่าย ได้มาจากการกลั่นน้ำมันดิบในโรงกลั่น โดย กลั่นแล้วเอามาผสมกันและปรุงแต่งด้วยสารเพิ่มคุณภาพต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น แนฟธา (Naphtha),Isomerate, Reformate และสารเติมแต่ง (Additives) เช่น MTBE (Methyl Tertiary Butyl Ether), เอทานอล เป็นต้น เพื่อให้เหมาะสมแก่การใช้เป็นเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์เบนซินชนิดสันดาปภายในโดยมีหัวเทียนเป็นเครื่องจุดระเบิด (Spark Ignition Internal Combustion Engine) ความสามารถในการระเหยน้ำมันต้องพอเหมาะกับการเผาไหม้ในกระบอกสูบและต้องเป็นไปอย่างสม่ำเสมอต่อเนื่อง [3]

2.2. สารเทิร์ท-บิวทานอล (TERT-BUTANOL)

เทิร์ท-บิวทานอล (TERT-BUTANOL) เป็นหนึ่งในไอโซเมอร์ของบิวทานอล[4] โดยมีสูตรของ $C_4H_{10}O$ เทิร์ท-บิวทานอล เป็นของแข็งไม่มีสี ซึ่งละลายใกล้อุณหภูมิห้องและมีกลิ่นคล้ายการบูร สามารถผสมกับน้ำ เอทานอล และไดเอทิลอีเทอร์ โดยสารมีจุดเดือด 83 องศาเซลเซียส [2]

2.3. การทดลองสมรรถนะเครื่องยนต์[5]

เครื่องยนต์เบนซินเป็นเครื่องจักรกลต้นกำลังที่ให้กำลังงานออกมาในรูปของแรงบิดและความเร็วในการหมุนเพื่อนำไปใช้ในการขับเคลื่อนอุปกรณ์ต่อพวงต่างๆ เครื่องยนต์มีความแตกต่างตามความต้องการใช้งาน ซึ่งปัจจัยที่มีความสำคัญ คือ สมรรถนะเครื่องยนต์ การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ และมลพิษ

2.3.1 แรงบิด (Torque) คือ แรงหมุนของเพลาเครื่องยนต์ เป็นแรงที่ใช้เพื่อส่งกำลังของเครื่องยนต์ไปหมุนเกียร์เพลา และล้อรถ เพื่อให้รถเคลื่อนที่ไปได้แรงบิดจะมีค่าแตกต่างกันไปที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่าง แรงบิดมีหน่วย เป็น Nm สูตรการหาค่าแรงบิด (Torque) ถูกแสดงไว้ ดังสมการที่ 1

$$T = W \times L \quad (1)$$

T คือ แรงบิดที่ได้จากเพลาเครื่องยนต์ (Nm)
W คือ แรงที่เบรกของไดนาโมมิเตอร์ (N)
L คือ ความยาวของไดนาโมมิเตอร์ (m)

2.3.2 กำลังเบรก (Brake Power) คือกำลังม้าของเครื่องยนต์ที่วัดได้จากเพลาข้อเหวี่ยงโดยตรง และเป็นกำลังที่นำไปใช้งาน ซึ่งเป็นกำลังที่เหลือจากการเอาชนะความฝืดหรือความเสียดทานต่าง ๆ คำนวณหากำลังม้าเบรกอีกครั้งหนึ่งมีหน่วยเป็น kW

สูตรคำนวณหาค่ากำลังเบรก (Brake Power) ถูกแสดงไว้ ดังสมการที่ 2

$$BP = \frac{2 \times \pi \times T \times N}{60 \times 1000} \quad (2)$$

BP คือ กำลังงานเบรก (kW)
T คือ แรงบิดที่ได้จากเพลาเครื่องยนต์ (Nm)
N คือ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (rpm)

3. วิธีดำเนินการวิจัย

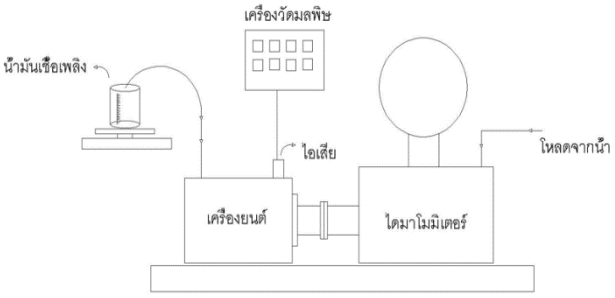
เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลองที่ใช้ในการทำวิจัยเรื่องการศึกษาสมรรถนะและมลพิษของเครื่องยนต์เบนซิน 95 ผสมสาร เทิร์ท-บิวทานอลผสมน้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิง ได้ติดตั้งอยู่ที่สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมยานยนต์ คณะวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดลองเป็นเครื่องยนต์เบนซิน 1 สูบ ยี่ห้อ BYZON 5.5 HP มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 การทดสอบสมรรถนะและมลพิษของเครื่องยนต์เบนซินขนาดเล็ก

น้ำมันเบนเบนซิน 95 จะถูกนำไปทดสอบ และเปรียบเทียบ กับน้ำมันเบนเบนซิน 95 ผสมสาร เทิร์ท-บิวทานอล 10% โดยเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบเป็นเครื่องยนต์เบนซิน 1 สูบ ยี่ห้อ BYZON 5.5 HP โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 1 โดยเครื่องยนต์ดังกล่าวถูกนำไปติดตั้งกับอุปกรณ์ในการทดสอบต่างๆ เช่น เครื่องทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ (Engine Dynamometer) ประเภท water brake เครื่องทดสอบมลพิษ (Exhaust Gas Analyzer) และอุปกรณ์อื่นๆ ในรูปที่ 1

ตารางที่ 1 รายละเอียดเครื่องยนต์เบนซินยี่ห้อ BYZON 5.5 HP

เครื่องยนต์	BYZON 5.5 HP	หน่วย
แบบ	เครื่องยนต์เบนซิน 4 จังหวะ ขนาด 5.5HP 1 สูบ วาล์วเหนือลูกสูบ (OHV) วางเอียง	
ปริมาตรกระบอกสูบ	163	CC
ขนาดเพลา	3/4"	inch
กระบอกสูบสูบ x ระยะชัก	68x54	mm
ระบบระบายความร้อน	อากาศ	
ความจุเชื้อเพลิง	3.6	L
แรงม้าสูงสุด	5.5	HP
	3,600	RPM
แรงบิดสูงสุด	10.8	Nm
	2,500	RPM
การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง	290	g
น้ำหนักเครื่อง	14	kg
คาร์บูเรเตอร์	ลูกลอย	



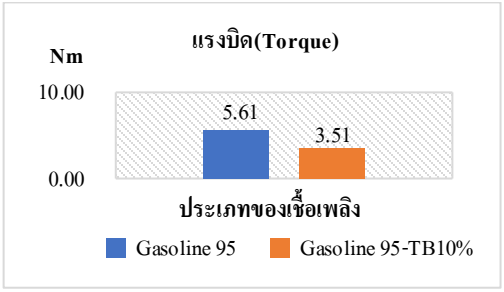
รูปที่ 1 ไดอะแกรมของเครื่องทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ขนาดเล็ก

4. ผลการวิจัย

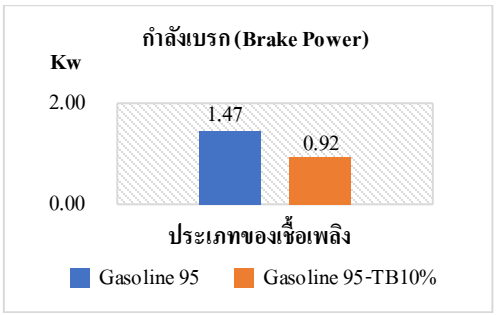
ผลการวิจัยเรื่องการเปรียบเทียบสมรรถนะและมลพิษของเครื่องยนต์เบนซินขนาดเล็กที่น้ำมันเบนเบนซิน95 และน้ำมันเบนซิน 95 ผสมสาร เทิร์ท-บิวทานอล 10% เป็นเชื้อเพลิงสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักดังนี้

4.1 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์

แรงบิดและกำลังของเครื่องยนต์เบนซินขนาดเล็กที่ใช้น้ำมันเบนเบนซิน 95 และน้ำมันเบนซิน 95 ผสมสาร เทิร์ท-บิวทานอล 10% ได้ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 2 และ 3



รูปที่ 2 แรงบิดของเครื่องยนต์เบนซินขนาดเล็ก

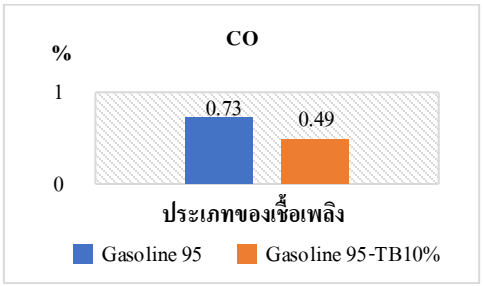


รูปที่ 3 กำลังเบรกของเครื่องยนต์เบนซินขนาดเล็ก

รูปที่ 2 และ 3 พบว่า แรงบิด และกำลังเบรกของเครื่องยนต์เบนซินที่ใช้น้ำมันเบนเบนซิน 95 เป็นเชื้อเพลิง สูงกว่าการใช้น้ำมันเบนซิน95 ผสมสาร เทิร์ท-บิวทานอล 10% ต่างกันที่ 37.50% เนื่องจากสาร เทิร์ท-บิวทานอล มีค่าความร้อนน้อยกว่าน้ำมันเบนซิน 95 เมื่อนำสาร เทิร์ท-บิวทานอล ผสม กับน้ำมันเบนซิน 95 จึงทำให้ค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงลดลง[6] แรงบิด และกำลังเบรกของเครื่องยนต์เบนซิน ก็จะลดลงเช่นกัน

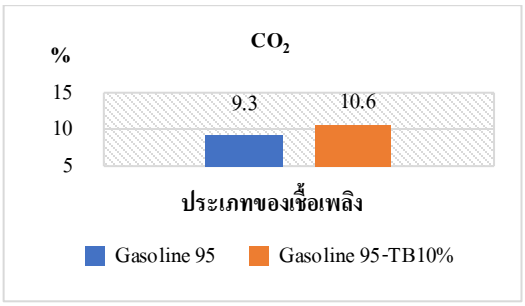
4.2 ผลการทดสอบมลพิษของเครื่องยนต์

ปริมาณสารมลพิษ CO, CO_2 และHC ปล่อยจากเครื่องยนต์เบนซินที่ใช้น้ำมันเบนเบนซิน 95 และน้ำมันเบนซิน 95 ผสมสาร เทิร์ท-บิวทานอล 10% ได้ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 4 ถึงรูปที่ 6 ตามลำดับ



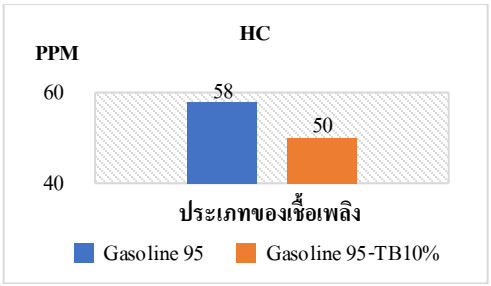
รูปที่ 4 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)

จากรูปที่ 4 พบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซิน 95 และน้ำมันเบนซิน 95 ผสมสารเทิร์ท-บิวทานอล 10% เป็นเชื้อเพลิง ปล่อย ก๊าซ CO ต่างกันที่ 32.88% โดยน้ำมันเบนซิน 95 ผสมสารเทิร์ท-บิวทานอล มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ [6] ทำให้เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซิน 95 ผสมสารเทิร์ท-บิวทานอล มีการปล่อย CO ออกมาต่ำกว่า เนื่องจากมีการสันดาปที่สมบูรณ์มากกว่าการใช้น้ำมันเบนซิน 95 เป็นเชื้อเพลิง



รูปที่ 5 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

จากรูปที่ 5 พบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซิน 95 เป็นเชื้อเพลิง จะปล่อย ก๊าซ CO_2 น้อยกว่าการที่ใช้ น้ำมันเบนซิน 95 ผสมสารเทิร์ท-บิวทานอล 10% อยู่ 13.98% เมื่อมีการสันดาป หรือเผาไหม้เกิดขึ้น เครื่องยนต์จะปล่อย CO_2 ออกมา



รูป 6 ปริมาณก๊าซไฮโดรคาร์บอน (HC)

จากรูปที่ 6 พบว่า เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซิน 95 ผสมสารเทิร์ท-บิวทานอล 10% เป็นเชื้อเพลิง มีการปล่อย ก๊าซ HC น้อยกว่าการใช้น้ำมันเบนซิน 95 เป็นเชื้อเพลิง มีการปล่อยก๊าซ HC น้อยกว่าการใช้น้ำมันเบนซิน 95 เป็นเชื้อเพลิง เท่ากับ 13.79% เนื่องจากสารเทิร์ท-บิวทานอล มีองค์ประกอบของสารไฮโดรคาร์บอนที่ต่ำกว่าน้ำมันเบนซิน 95 และมีออกซิเจนผสมอยู่ ทำให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์กว่าน้ำมันเชื้อเพลิงที่ไม่ผสมสารเทิร์ท-บิวทานอล [6]

5. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลอง เครื่องยนต์เบนซินขนาดเล็กที่ใช้ใช้น้ำมันเบนเบนซิน 95 เป็นเชื้อเพลิง มีค่าแรงบิด และ กำลังเบรกของเครื่องยนต์ สูงกว่าการใช้ที่น้ำมันเบนซิน 95 ผสมสารเทิร์ท-บิวทานอล 10% เป็นเชื้อเพลิง ต่างกันที่ 37.50% เนื่องจากสารเทิร์ท-บิวทานอล มีค่าความร้อนน้อยกว่าน้ำมันเบนซิน 95 เมื่อนำสารเทิร์ท-บิวทานอล ผสม กับน้ำมันเบนซิน 95 จึงทำให้ค่าความร้อน

ของน้ำมันเชื้อเพลิงลดลง แรงบิด และกำลังเบรกของเครื่องยนต์เบนซินจึงลดลงเช่นกัน

ในด้านปริมาณสารมลพิษ CO, CO_2 และ HC ที่ปล่อยจากเครื่องยนต์เบนซินที่ใช้น้ำมันเบนเบนซิน 95 และน้ำมันเบนซิน 95 ผสมสารเทิร์ท-บิวทานอล 10% พบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซิน 95 เป็นเชื้อเพลิง ปล่อย ก๊าซ CO_2 น้อยกว่าการที่ใช้น้ำมันเบนซิน 95 ผสมสารเทิร์ท-บิวทานอล 10% เท่ากับ 13.98% เมื่อมีการสันดาป หรือเผาไหม้เกิดขึ้นเครื่องยนต์จะปล่อย CO_2 ออกมา ในสารเทิร์ท-บิวทานอลมีออกซิเจนผสมอยู่ทำให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์กว่าน้ำมันเบนซิน 95 เพราะออซิเจนเป็นเป็นสิ่งที่ทำให้การเผาไหม้ เผาไหม้ได้สมบูรณ์ขึ้น ส่วนปริมาณสารมลพิษก๊าซ CO และ HC เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซิน 95 ผสมสารเทิร์ท-บิวทานอล 10% เป็นเชื้อเพลิง ปล่อย ก๊าซ CO และ HC น้อยกว่าการใช้น้ำมันเบนซิน 95 เป็นเชื้อเพลิง ต่างกันที่ 32.88% และ 13.79% ตามลำดับ โดยน้ำมันเบนซิน 95 ผสมสารเทิร์ท-บิวทานอล มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ ทำให้เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซิน 95 ผสมสารเทิร์ท-บิวทานอล มีการปล่อย CO และ HC ออกมาต่ำกว่า เนื่องจากมีการสันดาปที่สมบรณ์มากกว่าการใช้น้ำมันเบนซิน 95 เป็นเชื้อเพลิง สารเทิร์ท-บิวทานอลมีองค์ประกอบของสารไฮโดรคาร์บอนที่ต่ำกว่าน้ำมันเบนซิน 95 และมีออกซิเจนผสมอยู่ทำให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์กว่าน้ำมันเชื้อเพลิงที่ไม่ผสมสารเทิร์ท-บิวทานอล

ดังนั้น น้ำมันเบนซิน 95 ผสมสารเทิร์ท-บิวทานอล 10% จึงเป็นอีกหนึ่งแนวทางเลือกที่อาจนำมาผลิต หรือปรับปรุงเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันเบนซิน 95 ในเครื่องยนต์เบนซินขนาดเล็ก

เอกสารอ้างอิง

[1] เบญจวรรณ ถวิลรักษ์ **การผลิตเอทานอลด้วยการหมักด้วยเชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* และ Zymomonas mobilis โดยใช้น้ำตาลที่ได้จากชานอ้อย** วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิตสาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตรอาหารและสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 2556

[2] Panreac Applichem ITW Reagents .(2021). Safety Data Sheetbscc. To OSHA HCS

[3] ปัทมพร พงวาเรศ. (2554). **การจำแนกเครื่องหมายการค่าของน้ำมันเบนซินโดยใช้ขั้นตอนการปรับแนวแบบพีซไวส์ร่วมกับการวิเคราะห์ส่วนประกอบแกนมุขสำคัญและจำแนกกลุ่มเชิงเส้น.** วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาสถิติประยุกต์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

[4] Saeid Aghahossein. **C3-C4 Alcohols Blending Effect on Motor Gasoline Properties and Performance of Spark Ignition.** Department of Chemical and Biological Engineering, Colorado State University

[5] นายพิจิตร ดุเจโต๊ะ. **การศึกษาผลกระทบของไบโอดีเซลผสมสารออกซิเจนเนตที่มีต่อสมรรถนะและมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก.** วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิตสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมพลังงาน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องต้นกำลัง บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 2561

[6] Tan Tien Huynh. Minh Duc Le. Dinh Nghia Duong. **Effects of butanol–gasoline blends on SI engine performance, fuel consumption, and emission characteristics at partial engine speeds.** International Journal of Energy and Environmental Engineering (2019)



ประวัติผู้เขียนบทความ
ชื่อ นางสาวกาญจนา สันติปาตี
ตำแหน่ง นักศึกษาปริญญาโท
สาขาวิชา เทคโนโลยีวิศกรรมพลังงาน
ภาควิชา เทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลัง
วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ



ประวัติผู้เขียนบทความ
ชื่อ ผศ. ว่าที่ร้อยตรี ดร. ชัยยศ ดำรงกิจโกศล
ตำแหน่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์
สาขาวิชา เทคโนโลยีวิศวกรรมพลังงาน
ภาควิชา เทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลัง
วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
งานวิจัยที่สนใจ การทดสอบยานยนต์ พลังงานทางเลือกสำหรับยานยนต์



ประวัติผู้เขียนบทความ
ชื่อ รศ. ดร. ปรีดา จันทวงษ์
ตำแหน่ง รองศาสตราจารย์
สาขาวิชา เทคโนโลยีวิศวกรรมพลังงาน
ภาควิชา เทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลัง
วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
งานวิจัยที่สนใจ พลังงานทางเลือก

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

แนวทางการตรวจสอบและบำรุงรักษาเพื่อควบคุมปัจจัยเสี่ยงของการเกิดเหตุเครื่องจักรหม้อน้ำระเบิด

Guidelines for inspection and maintenance to control the risk factors of boiler explosion

สุรัตน์ อินทรเพชร* นันท์นภัสร อินยิ้ม เลิศเลขา ศรีรัตนะ และบุญธรรม หาญพาณิชย์

สาขาวิชาการตรวจสอบและกฎหมายวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง 10240

อีเมล 6314770003@rumail.ru.ac.th*

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์สาเหตุการระเบิดของเครื่องจักรหม้อน้ำ และกำหนดแนวทางการควบคุมปัจจัยที่มีความเสี่ยงสูงสุดต่อการเกิดเหตุเครื่องจักรหม้อน้ำระเบิด โดยอาศัยข้อมูลสถิติการระเบิดของเครื่องจักรหม้อน้ำในประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ.2557 ถึง พ.ศ. 2564 นำมาวิเคราะห์หาสาเหตุของการระเบิดด้วยแผนผังก้างปลา และจัดลำดับความเสี่ยงด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น ผลจากการศึกษาพบว่าปัจจัยที่มีบทบาทมากที่สุดต่อการเกิดเหตุเครื่องจักรหม้อน้ำระเบิด ได้แก่ ปัจจัยด้านเครื่องจักรโดยคิดเป็นร้อยละ 38.83 ของสาเหตุการระเบิดทั้งหมด ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่าแนวทางสำคัญที่สุดในการป้องกันการเกิดเหตุเครื่องจักรหม้อน้ำระเบิด ได้แก่ การตรวจสอบและบำรุงรักษาเครื่องจักรหม้อน้ำ ซึ่งควรให้ความสำคัญใน 3 ส่วน ได้แก่ 1) อุปกรณ์ส่วนควบของเครื่องจักรหม้อน้ำ 2) โครงสร้างของหม้อน้ำส่วนที่สัมผัสกับน้ำและไฟ และ 3) อุปกรณ์ในการเฝ้าระวังตรวจวัดและควบคุมเครื่องจักรหม้อน้ำแบบออนไลน์ เช่น เครื่องวัดอุณหภูมิของไอเสียและอุปกรณ์ตัดการทำงานของระบบจ่ายเชื้อเพลิงแบบทันทีเมื่ออุณหภูมิของไอเสียสูงเกิน

คำสำคัญ : เครื่องจักรหม้อน้ำระเบิด ปัจจัยป้องกันการระเบิด การตรวจสอบเครื่องจักรหม้อน้ำ แนวทางการบำรุงรักษา

Abstract

This study aimed to analyze the causes of boiler explosions and determine guidelines for controlling the factor causing the highest risk of explosion. Fishbone diagram and analytic hierarchy process were applied for the risk analysis based on the occurrence of boiler explosions in Thailand during the years 2014 to 2021. The study found that the major factor of boiler explosions was machine, accounting for 38.83% of all cases of explosions. Therefore, the most important way of preventing boiler explosions was the inspection and maintenance of machine which the emphasis should be on 3 parts: 1) the equipment of boiler machinery; 2) the parts of boiler exposing to water and fire; and 3) on-line measurement and control equipment such as thermometer and interlock to cut off immediately in case of excessive temperature.

Keywords: Boiler explosion; Factors of explosion; Boiler inspection; Maintenance guideline

1. บทนำ

ระบบไอน้ำเป็นระบบผลิตพลังงานความร้อนที่ถูกนำมาใช้แพร่หลายในภาคอุตสาหกรรม โดยในระบบดังกล่าวจะอาศัยเครื่องจักรหม้อน้ำเป็นแหล่งกำเนิดของไอน้ำ ซึ่งต้องทำงานภายใต้สภาวะที่มีอุณหภูมิและความดันสูง จึงนับเป็นเครื่องจักรที่มีความเสี่ยงสูงต่อการเกิดเหตุระเบิด ทั้งนี้ ในการกำกับดูแลและติดตามการใช้งานเครื่องจักรหม้อน้ำในโรงงานอุตสาหกรรมของประเทศไทยอยู่ในความรับผิดชอบของหน่วยงานของรัฐ ได้แก่ กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน กระทรวงแรงงาน โดยมีกฎหมายที่บังคับใช้กับโรงงานที่มีการใช้งานเครื่องจักรหม้อน้ำ ได้แก่ พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ.2535 ประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม พ.ศ.2548 เรื่อง หลักเกณฑ์การตรวจทดสอบความปลอดภัยหม้อไอน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนที่มีความดันต่างจากบรรยากาศ กฎกระทรวงกำหนดมาตรฐานในการบริหารและการจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับเครื่องจักร ปั้นจั่น และหม้อน้ำ พ.ศ.2564[1] รวมถึงมีการกำหนดมาตรฐานในการใช้งานและการตรวจสอบ เช่น มาตรฐานการตรวจสอบหม้อน้ำชนิดท่อไฟของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย เป็นต้น อย่างไรก็ตาม แม้จะมีข้อกำหนดตามกฎหมายและมาตรฐานเฉพาะเกี่ยวกับการใช้งานเครื่องจักรหม้อน้ำเพื่อให้โรงงานยึดถือปฏิบัติ แต่ที่ผ่านมายังพบรายงานการเกิดอุบัติเหตุจากเครื่องจักรหม้อน้ำ โดยเฉพาะการระเบิดซึ่งมักสร้างความเสียหายรุนแรง ดังจะเห็นได้จากข้อมูลที่ปรากฏในเอกสารประกอบการบรรยายของกองส่งเสริมเทคโนโลยีความปลอดภัยในโรงงานซึ่งเผยแพร่ในงานเสวนาประจำปีของสมาคมหม้อน้ำและภาชนะรับความดันไทย เมื่อวันศุกร์ที่ 19 พฤศจิกายน พ.ศ.2564[2] แสดงตัวเลขอุบัติเหตุที่เกิดจากเครื่องจักรหม้อน้ำในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2521 ถึง พ.ศ. 2564 มีจำนวนทั้งสิ้น 59 ครั้ง มีผู้ได้รับบาดเจ็บและเสียชีวิตรวม 240 ราย และมีมูลค่าความเสียหายของทรัพย์สินประมาณ 356 ล้านบาท โดยมีลักษณะของอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งที่สุดได้แก่การระเบิดของหม้อน้ำประเภทท่อไฟ

ทั้งนี้ โดยทั่วไป การควบคุมระบบการผลิตให้มีประสิทธิภาพได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตามเป้าหมาย รวมถึงการป้องกันการเกิดอุบัติเหตุและความสูญเสียจะต้องควบคุมปัจจัยหลักที่สำคัญในขั้นตอนการผลิต ได้แก่ คนงาน (Man) เครื่องจักร (Machine) วัตถุดิบ (Material) วิธีการ (Method) และสิ่งแวดล้อม (Environment) หรือที่เรียกว่า “4M1E” ดังนั้น ในกรณีของเครื่องจักรหม้อน้ำซึ่งต้องการความมีประสิทธิภาพและความปลอดภัยในการทำงานเช่นกันจึงเกี่ยวข้องกับปัจจัยทั้ง 5 ด้านข้างต้นด้วย

ในการศึกษาเพื่อกำหนดแนวทางป้องกันการเกิดเหตุหม้อน้ำระเบิดครั้งนี้จึงเริ่มจากการค้นหาสาเหตุของเครื่องจักรหม้อน้ำระเบิดภายใต้ปัจจัย 4M1E เพื่อนำมาวิเคราะห์ปัจจัยเสี่ยงในการระเบิดของหม้อน้ำ โดยอ้างอิงข้อมูลจากเอกสารประกอบการบรรยายในงานเสวนาประจำปี พ.ศ.2564 ของกองส่งเสริมเทคโนโลยีความปลอดภัยในโรงงาน และกรณีศึกษาเครื่องจักรหม้อน้ำระเบิดที่เกิดขึ้นในประเทศไทยในช่วงเวลา 7 ปี (ปี พ.ศ.2557 – พ.ศ.2564) โดยในการกำหนดแนวทางการป้องกันการเกิดเหตุหม้อน้ำระเบิดจะเน้นการควบคุมปัจจัยที่มีความเสี่ยงสูงสุด และนำข้อกำหนดในกฎหมายและมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับเครื่องจักรหม้อน้ำมาใช้เป็นกรอบในการกำหนดแนวทางต่อไป

1.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเหตุเครื่องจักรหม้อน้ำระเบิด และจัดลำดับความเสี่ยง

2. เพื่อกำหนดแนวทางการป้องกันการเกิดเหตุเครื่องจักรหม้อน้ำระเบิด ตามลำดับความเสี่ยง

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการ 4E หลักการ 4M1E และการวิเคราะห์งานเพื่อความปลอดภัย (Job Safety Analysis)

การควบคุมระบบผลิตให้มีประสิทธิภาพและมีความปลอดภัยในการทำงาน มีหลักการที่เกี่ยวข้องที่นำมาพิจารณาในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ คือ หลัก 4E ที่มีองค์ประกอบคือ Engineering (หลักวิศวกรรม) Education (การศึกษา) Enforcement (กฎข้อบังคับ) และ Encouragement (การสนับสนุนกระตุ้นเตือน) เมื่อนำหลัก 4E มาพิจารณาในประเด็นปัจจัยนำเข้าของกระบวนการผลิตพบว่าโดยทั่วไปจะมีปัจจัยที่ต้องควบคุมจัดการอยู่ 5 ปัจจัยหลัก แบ่งเป็น คนงาน (Man) เครื่องจักร (Machine) วัตถุดิบ (Material) วิธีการทำงาน (Method) และสภาพแวดล้อม (Environment) หรือที่เรียกว่า 4M1E ซึ่งในที่นี้ให้นิยามของแต่ละปัจจัยดังนี้

M_1- Man หมายถึง คนงาน พนักงานหรือบุคลากรทั้งจากภายในและภายนอกที่เกี่ยวข้องกับเครื่องจักรหม้อน้ำ

M_2- Machine หมายถึง เครื่องจักรหม้อน้ำและอุปกรณ์อำนวยความสะดวก อุปกรณ์ส่วนควบเครื่องจักรหม้อน้ำ

M_3- Material หมายถึง วัตถุดิบ วัสดุและอะไหล่อุปกรณ์อื่นๆของเครื่องจักรหม้อน้ำ

M_4- Method หมายถึง กระบวนการทำงาน วิธีการใช้งานและการบำรุงรักษาตรวจสอบ เครื่องจักรหม้อน้ำ

E-Environment หมายถึง องค์ประกอบด้านสภาพแวดล้อม เช่น อากาศ ความสว่าง สถานที่ และบรรยากาศในการทำงาน

ทั้งนี้ ในการทำงานที่เกี่ยวข้องกับเครื่องจักรหม้อน้ำอาจแบ่งเป็น 3 กิจกรรมหลัก คือ กิจกรรมการใช้งาน กิจกรรมการตรวจสอบและบำรุงรักษา และกิจกรรมการตรวจทดสอบภายหลังจากที่มีการซ่อมแซม พบว่า การวิเคราะห์หาอันตรายเพื่อควบคุมความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุต้องกระทำตั้งแต่ก่อนกิจกรรมการใช้งาน กล่าวคือ ต้องมีการวิเคราะห์งานเพื่อความปลอดภัย (Job Safety Analysis) โดยเน้นวิเคราะห์หาอันตรายที่ยังไม่ถูกควบคุมจากปัจจัย 4M1E เพื่อนำไปสู่การขจัดหรือลดความเสี่ยงของอุบัติเหตุในการทำงาน ทำให้เกิดสภาพการทำงานที่ปลอดภัยที่สุด

2.2 แผนผังก้างปลา (Cause & Effect Diagram)

แผนผังก้างปลาเป็นเครื่องมือหนึ่งในการค้นหาและประเมินสาเหตุที่เป็นไปได้ของปัญหา มีลักษณะเป็นแผนภาพที่เลียนแบบกระดูกของปลา เริ่มจากด้านขวาคือหัวของปลา แสดงถึงปัญหาและความผิดพลาดหลัก ขยายออกไปด้านข้างทางซ้ายคล้ายลักษณะของก้างปลาที่แตกแขนงออกมาเพื่อแสดงถึงสาเหตุหลักต่าง ๆ ของปัญหา แต่ละชิ้นของก้างปลาจะแตกแขนงย่อยออกไปอีกเพื่อแสดงสาเหตุย่อยของสาเหตุหลักนั้น วิธีนี้คิดค้นขึ้นโดย ดร.คาโอรุ อิชิกาว่า เพื่อใช้ในการค้นหาปัญหาย่อย ๆ ในการทำงาน ซึ่งจะทำให้พนักงานสามารถแก้ปัญหาได้อย่างตรงจุด

2.3 กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (Analysis Hierarchy Process: AHP)

เป็นเทคนิคที่ใช้แบ่งองค์ประกอบของปัญหาออกเป็นส่วน ๆ ในรูปของแผนภูมิตามลำดับชั้นแล้วนำข้อคิดเห็นที่เป็นนามธรรมมาให้ค่าน้ำหนักของแต่ละองค์ประกอบด้วยตัวเลข จากนั้นจึงคำนวณค่าน้ำหนักเพื่อนำไปสู่การจัดลำดับความสำคัญของแต่ละองค์ประกอบ โดยการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ (Pair wise comparison) ในรูปแบบตารางเมตริกซึ่งสามารถใช้ประโยชน์ในการอธิบายการปรียบเทียบและใช้ทดสอบความสอดคล้องกันของเหตุผลและความอ่อนไหวของลำดับความสำคัญด้วยรูปแบบทางคณิตศาสตร์

2.4 การบำรุงรักษา

เป็นการดำเนินการใด ๆ โดยมีแผนงานเป็นกรอบกำหนดทิศทางในการทำงานเพื่อให้เกิดผลในการดำรงรักษาสภาพของสิ่งนั้น ๆ เช่น อาคาร เครื่องมือ เครื่องมือกล เครื่องจักร อุปกรณ์ และเครื่องใช้ต่าง ๆ ให้พร้อมใช้งานตลอดเวลาและสามารถใช้งานได้ดีเช่นเดียวกับตอนเริ่มต้น ประโยชน์ของการบำรุงรักษา (Maintenance) และการซ่อมบำรุง (Repair) คือ ช่วยยืดอายุการใช้งานของเครื่องจักรให้ทำงานได้เต็มสมรรถนะ ขจัดหรือลดโอกาสในการเกิดอุบัติเหตุ ทำให้มีความปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน เครื่องมือเครื่องจักรที่ทำงานได้เป็นปกติและเต็มกำลังยังช่วยลดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมและประหยัดพลังงาน ส่งผลให้สามารถลดต้นทุนและการสูญเสียทั้งทางตรงและทางอ้อมได้

2.5 เครื่องจักรหม้อน้ำ

หมายถึง เครื่องกำเนิดไอน้ำชนิดภาชนะปิดทำด้วยเหล็กกล้าหรือวัสดุอื่นที่มีคุณสมบัติคล้ายกันซึ่งได้รับการออกแบบและสร้างให้มีความแข็งแรงตามหลักวิศวกรรม ภายในภาชนะปิดดังกล่าวมีพื้นที่บรรจุน้ำและไอน้ำ พบคำเรียกเครื่องจักรหม้อน้ำแตกต่างกันบ้าง เช่น กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานใช้คำว่า “หม้อไอน้ำ” (Steam Boiler) สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมใช้คำว่า “หม้อไอน้ำ” (Boiler) หรือพระราชบัญญัติวิศวกร พ.ศ.2542 ข้อบังคับสภาวิศวกรใช้คำว่า “เครื่องกำเนิดไอน้ำ” (Steam Generator) เป็นต้น ในบทความนี้ใช้คำว่า “เครื่องจักรหม้อน้ำ” (Boiler Machinery) เครื่องจักรหม้อน้ำที่มีใช้ในประเทศไทยสามารถแบ่งเป็น 3 ประเภทหลักตามลักษณะโครงสร้าง คือ เครื่องจักรหม้อน้ำแบบท่อไฟ เครื่องจักรหม้อน้ำแบบท่อน้ำ และเครื่องจักรหม้อน้ำแบบไฟฟ้า ซึ่งประเภทที่มีการใช้งานและเกิดการระบิดมากสุด คือ แบบท่อไฟ[3]

2.6 กฎหมายและมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับเครื่องจักรหม้อน้ำ

ในประเทศไทยมีกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานเครื่องจักรหม้อน้ำ ได้แก่ กฎหมายผังเมือง กฎหมายควบคุมอาคาร พระราชบัญญัติโรงงาน กฎหมายสิ่งแวดล้อม ประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม และกฎกระทรวงกำหนดมาตรฐานในการบริหารและการจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับเครื่องจักร ปั้นจั่น และหม้อน้ำ โดยปัจจุบันการใช้งานเครื่องจักรหม้อน้ำในภาคอุตสาหกรรมอยู่ภายใต้การกำกับดูแลเพื่อความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับเครื่องจักรหม้อน้ำ ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม และกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน กระทรวงแรงงาน

2.7 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศุภวัฒน์ ธาดาจารุมงคล (2564) [4] กล่าวถึงกรณีศึกษาของการเกิดอุบัติเหตุจากหม้อน้ำและภาชนะรับความดันซึ่งเป็นเหตุการณ์ระเบิดของหม้อน้ำท่อไฟ ในช่วงปี พ.ศ.2546 ถึง พ.ศ.2557 ในโรงงานหลายประเภท เช่น โรงงานฟอก ย้อม และพิมพ์ผ้า โรงงานอาหารทะเลแช่แข็งและบรรจุกระป๋อง โรงงานผลิตถุงมือยางถุงมือแพทย์ โรงงานซักแห้ง โรงกลั่นสุรา เป็นต้น พบว่ามีสาเหตุของการระเบิดแตกต่างกันไปตามปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น 1) สาเหตุ น้ำแห้ง เนื่องจากการชำรุดของระบบควบคุมระดับน้ำแบบอีเลคโทรด 2)โครงสร้างรับความดันของหม้อน้ำไม่ได้มาตรฐาน 3) ท่อไฟใหญ่มีการผุกร่อน 4) มีตะกรันสะสมหนาและมีโคลนตะกอนสะสมอยู่ใต้ท่อไฟใหญ่มาก 5) ความบกพร่องในการออกแบบและการตรวจสอบความปลอดภัยโดยวิศวกร 6) เครื่องควบคุมความดันชำรุด 7) การควบคุมการใช้งานหม้อน้ำ บันทึกรายงานไม่เป็นจริง 8) ท่อไฟใหญ่ทนแรงกดดันจากไอน้ำได้ไม่เพียงพอ 9) การซ่อมแซมท่อไฟใหญ่โดยผู้ซ่อมที่ขาดมาตรฐานการซ่อมและขาดการตรวจสอบ 10) การใช้วัสดุในการซ่อมท่อไฟใหญ่ผิดประเภทและติดตั้งไม่ถูกต้องตามหลักวิศวกรรม 11) ผู้ประกอบการไม่ได้จัดให้มีการตรวจหม้อน้ำอย่างถูกต้องตามหลักวิศวกรรม ซึ่งผลกระทบจากการระเบิดดังกล่าวสามารถประเมินค่าเสียหายสูงสุดถึงประมาณ 30 ล้านบาท รวมถึงมีผลกระทบทางอ้อม เช่น ภาพลักษณ์ของธุรกิจ และความรู้สึกของผู้ได้รับการสูญเสีย ด้วย

ในงานวิจัยของมานพ นิลรัตน์ และคณะ(2560) [6] ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบและบำรุงรักษาหม้อไอน้ำ ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์ค่าการสูญเสียความร้อนของหม้อไอน้ำของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน ขนาด 340 เมกะวัตต์ โดยเปรียบเทียบระหว่างการใช้งานหม้อไอน้ำที่ใช้ฉนวนเสื่อมสภาพ กับสภาวะภายหลังจากที่มีการเปลี่ยนฉนวนใหม่ พบว่าการเปลี่ยนฉนวนของหม้อไอน้ำช่วยลดค่าการสูญเสียความร้อนได้สูงสุดถึงร้อยละ 85.15 ที่สภาวะตัวประกอบใช้งาน 100% จากงานวิจัยดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของงานตรวจสอบและบำรุงรักษา รวมถึงการนำหลักการวิศวกรรมคุณค่ามาช่วยในการวางแผนการดำเนินงานเพื่อนำไปสู่การปฏิบัติที่เป็นระบบและช่วยให้ผู้เกี่ยวข้องปฏิบัติงานได้ง่ายขึ้น

3.วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้อาศัยข้อมูล 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 เป็นข้อมูลทุติยภูมิที่ได้จากเอกสารประกอบการบรรยายในงานเสวนาประจำปี พ.ศ.2564 ของกองส่งเสริมเทคโนโลยีความปลอดภัยในโรงงาน และข้อมูลเหตุการณ์ระเบิดของเครื่องจักรหม้อน้ำในประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ.2557 ถึง พ.ศ. 2564 นำมาวิเคราะห์หาสาเหตุของการระเบิดตามหลักปัจจัย 4M1E โดยใช้แผนผังก้างปลา และส่วนที่ 2 เป็นข้อมูลปฐมภูมิที่ได้จากแบบสอบถามในการรวบรวมความคิดเห็นจากคณะผู้เชี่ยวชาญด้านเครื่องจักรหม้อน้ำ ซึ่งเป็นวิศวกรเครื่องกลในระดับวุฒิวิศวกร จำนวน 3 ท่าน ผ่านแบบประเมินAHP ในการตอบแบบสอบถาม แล้วนำผลการประเมินจากแบบสอบถามมาวิเคราะห์จัดลำดับปัจจัยเสี่ยงในการเกิดเหตุหม้อน้ำระเบิดด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น เพื่อพิจารณากำหนดแนวทางการควบคุมปัจจัยเสี่ยงตามมาตรฐานและกฎหมายที่บังคับใช้ในประเทศไทย สามารถสรุปขั้นตอนของการดำเนินการวิจัยได้ดังนี้

1. ศึกษาทฤษฎี หลักการและเอกสารที่เกี่ยวข้อง

2. เก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ด้วยแผนผังก้างปลา

3. สร้างเครื่องมือแบบสอบถามและรวบรวมข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญ

4. จัดลำดับปัจจัยเสี่ยงในการเกิดเหตุหม้อน้ำระเบิดด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น

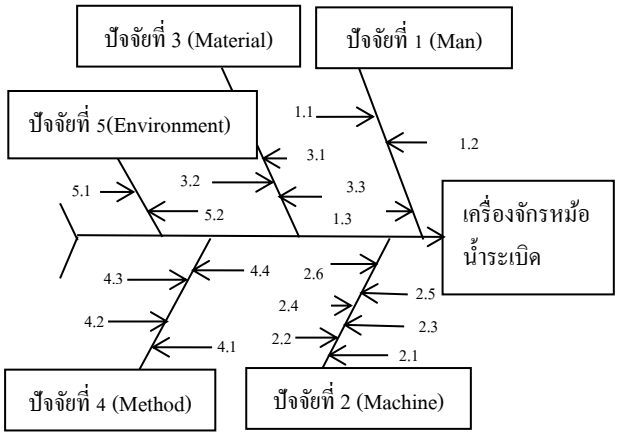
5. กำหนดแนวทางการควบคุมปัจจัยเสี่ยงเพื่อป้องกันการเกิดเหตุหม้อน้ำระเบิด

4. ผลการวิจัย

การนำเสนอผลการวิจัยจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 เป็นผลการวิเคราะห์หาสาเหตุของการระเบิดของหม้อน้ำตามหลัก 4M1E ส่วนที่ 2 เป็นผลการจัดลำดับปัจจัยเสี่ยง และส่วนที่ 3 เป็นการนำเสนอแนวทางการควบคุมปัจจัยเสี่ยง มีรายละเอียดดังนี้

4.1 สาเหตุของการระเบิดของหม้อน้ำตามปัจจัย 4M1E

จากการวิเคราะห์เหตุการณ์หม้อน้ำระเบิดตามปัจจัย 4M1E จากเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริงจำนวน 9 เหตุการณ์ และ 4 กรณีศึกษา[4] นำมาวิเคราะห์สาเหตุและผลด้วยแผนผังก้างปลา ได้ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การวิเคราะห์สาเหตุ ตามปัจจัย 4M1E ด้วยแผนผังก้างปลา

จากภาพที่ 1 สามารถสรุปสาเหตุของหม้อน้ำระเบิดจำแนกตามปัจจัย 4M1E ได้ 18 สาเหตุ ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับแต่ละปัจจัย ดังนี้

ปัจจัยที่ 1 (M_1- Man) มี 3 สาเหตุ คือ 1.1) ผู้ประกอบการไม่จัดให้มีการตรวจสอบเครื่องจักรหม้อน้ำ 1.2) ผู้ปฏิบัติงานขาดความรู้ ทักษะในการทำงาน 1.3) วิศวกรตรวจรับรองความปลอดภัยมีความบกพร่องในการทำงานตามหลักวิศวกรรม สาเหตุจากปัจจัยที่ 1 คิดเป็นร้อยละ 16.67

ปัจจัยที่ 2 (M_2- Machine) มี 6 สาเหตุ คือ 2.1) หัวเผาทำงานในตำแหน่ง High Fire เนื่องจากเกจวัดความดันแสดงความดันต่ำตลอดเวลา 2.2) ท่อไฟใหญ่มีอุณหภูมิสูงผิดปกติ 2.3) ท่อไฟใหญ่ทนแรงดันจากไอน้ำไม่เพียงพอ 2.4) อุปกรณ์ชุดวาล์วควบคุมการจ่ายน้ำมัน (Solenoid Valve) สกปรก 2.5) เกจวัดความดันและสวิตช์ควบคุมความดันไม่ทำงาน 2.6) ความดันสูงเกิน (Over Pressure) เนื่องจากลิ้นนิรภัยไม่เปิดระบายไอเมื่อความดันเกิน สาเหตุจากปัจจัยที่ 2 นี้ คิดเป็นร้อยละ 38.83

ปัจจัยที่ 3 (M_3- Material) มี 3 สาเหตุ คือ 3.1) การใช้วัสดุในการซ่อมแซมท่อไฟใหญ่ผิดประเภท 3.2) มีเชื้อเพลิงที่ติดไฟง่ายสะสมอยู่ในห้องเผาไหม้ 3.3) น้ำมีคุณภาพไม่ดี สาเหตุจากปัจจัยที่ 3 คิดเป็นร้อยละ 16.67

ปัจจัยที่ 4 (M_4- Method) มี 4 สาเหตุ คือ 4.1) มีตะกรันหนาในท่อไฟใหญ่ 4.2) การควบคุมและปรับปรุงคุณภาพน้ำไม่ดีพอ 4.3) ท่อเข้าเกจวัดความดันและสวิตช์ควบคุมความดันอุดตันเนื่องจากตะกอน 4.4) กระแสไฟฟ้าตก เกิดการกระพริบและเครื่องจักรหม้อน้ำหยุดการทำงาน สาเหตุจากปัจจัยที่ 4 คิดเป็นร้อยละ22.22

ปัจจัยที่ 5 (Environment) มี 2 สาเหตุ คือ 5.1) มีแสงจากสปอร์ตไลท์ที่ใช้ส่องดูตะกรันที่เกิดจากปฏิกิริยาของกรดเกลือกับเหล็ก 5.2) ห้องเผาไหม้อยู่ในสภาวะอับอากาศ สาเหตุจากปัจจัยที่ 5 คิดเป็นร้อยละ 11.11

จากการวิเคราะห์ข้อมูลส่วนที่ 1 พบว่าปัจจัยที่มีความเสี่ยงสูงสุด คือ ปัจจัยที่ 2 ได้แก่ ส่วนของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์อำนวยความสะดวก อุปกรณ์ส่วนควบเครื่องจักรหม้อน้ำ แสดงให้เห็นว่าสาเหตุส่วนใหญ่ของอุบัติเหตุเครื่องจักรหม้อน้ำระเบิดเกิดจากความบกพร่องในส่วนของอุปกรณ์ของเครื่องจักรที่ซ่อนอยู่ในปัจจัยหลักของเครื่องจักร

4.2 การจัดลำดับปัจจัยเสี่ยง

เมื่อนำปัจจัย 4M1E มาจัดลำดับความเสี่ยงโดยอาศัยผลประเมินจากผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ใช้วิธีการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (AHP) หาค่าเฉลี่ยน้ำหนักการเปรียบเทียบของปัจจัยหลัก (ตารางที่ 1) ค่าเฉลี่ยน้ำหนักการเปรียบเทียบของกิจกรรม (ตารางที่ 2) และสรุปข้อมูลผลการวิเคราะห์ได้ดังแสดงในภาพที่ 2

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักการเปรียบเทียบของปัจจัยหลัก

ผู้เชี่ยวชาญ	ค่าน้ำหนักของปัจจัยจาก AHP					ค่าน้ำหนักรวม (%)	ค่าความสอดคล้องกันของเหตุผล
	M_1	M_2	M_3	M_4	E		
ท่านที่ 1	36.24	18.36	12.95	22.81	9.64	100.00	0.097
ท่านที่ 2	24.64	46.32	15.34	9.00	4.70	100.00	0.069
ท่านที่ 3	27.94	51.80	9.91	6.30	4.05	100.00	0.094
รวมค่าน้ำหนักของปัจจัย	**88.82**	**116.48**	**38.20**	**38.11**	**18.39**	**300.00**	**0.260**
ค่าน้ำหนักเฉลี่ย	**29.61**	**38.83**	**12.73**	**12.70**	**6.13**	**100.00**	**0.087**

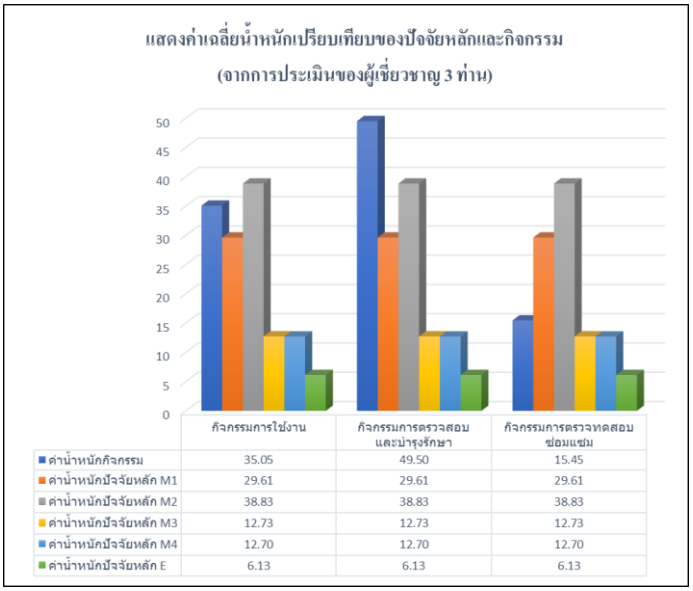
ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักการเปรียบเทียบของกิจกรรม

ผู้เชี่ยวชาญ	ค่าน้ำหนักของกิจกรรมจาก AHP			ค่าน้ำหนักรวม (%)	ค่าความสอดคล้องกันของเหตุผล
	กิจกรรมที่ 1	กิจกรรมที่ 2	กิจกรรมที่ 3		
ท่านที่ 1	49.05	31.19	19.76	100.00	0.046
ท่านที่ 2	30.00	54.00	16.00	100.00	0.008
ท่านที่ 3	26.10	63.30	10.60	100.00	0.033
รวมค่าน้ำหนักของปัจจัย	**105.15**	**148.49**	**46.36**	**300.00**	**0.087**
ค่าน้ำหนักเฉลี่ย	**35.05**	**49.50**	**15.45**	**100.00**	**0.029**

กิจกรรมที่ 1 คือ กิจกรรมการใช้งานเครื่องจักรหม้อน้ำ

กิจกรรมที่ 2 คือ กิจกรรมการตรวจสอบและบำรุงรักษา

กิจกรรมที่ 3 คือ กิจกรรมการตรวจทดสอบซ่อมแซม



ภาพที่ 2 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักเปรียบเทียบปัจจัยหลักและกิจกรรม

จากภาพที่ 2 แสดงให้เห็นว่าปัจจัย 4M1E มีความเกี่ยวข้องกับกิจกรรมทั้ง 3 กิจกรรมซึ่งมีผลทำให้เกิดความเสี่ยงทั้งสิ้น และเมื่อพิจารณาความสำคัญของปัจจัยเสี่ยง พบว่า ในการจัดการความเสี่ยงจะต้องให้ความสำคัญกับกิจกรรมการตรวจสอบและบำรุงรักษาเครื่องจักรหม้อน้ำเป็นลำดับแรก โดยเน้นที่ปัจจัยด้านเครื่องจักรหม้อน้ำ (M_2- Machine) เป็นหลัก

4.3 แนวทางการควบคุมปัจจัยเสี่ยง

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนที่ 1 และ 2 นำมากำหนดแนวทางในการควบคุมปัจจัยเสี่ยงในส่วนของปัจจัยที่มีความเสี่ยงสูงสุดได้แก่ ปัจจัยที่ 2 เครื่องจักรหม้อน้ำ โดยสามารถกำหนดแนวทางการแก้ไขและป้องกันการเกิดเหตุเครื่องจักรหม้อน้ำระเบิดจากเครื่องจักร ได้เป็น 3 แนวทาง คือ

แนวทางที่ 1 การตรวจสอบและบำรุงรักษาที่รายการอุปกรณ์ส่วนควบของเครื่องจักรหม้อน้ำ

ตามมาตรฐานการตรวจสอบหม้อน้ำชนิดท่อไฟ ของ วสท. (มาตรฐาน วสท.32005-19)[5] ได้ให้รายละเอียดและความสำคัญของอุปกรณ์ส่วนควบของเครื่องจักรหม้อน้ำไว้อย่างชัดเจน ได้แก่ อุปกรณ์ด้านความปลอดภัย (Safety Devices) ประเด็นสำคัญ คือ อุปกรณ์แต่ละส่วนดังกล่าวเปรียบเสมือนอวัยวะต่าง ๆ ภายในร่างกายที่ทำหน้าที่สัมพันธ์กัน ความผิดพลาดที่เกิดจากอุปกรณ์ส่วนหนึ่งย่อมส่งผลต่ออุปกรณ์ส่วนต่อเนื่องอื่น ๆ ดังนั้น การรับรู้สภาวะภายในเครื่องจักรหม้อน้ำ เช่น การสะสมความร้อนภายในท่อและหม้อไอน้ำ จึงเป็นสิ่งจำเป็นการตรวจสอบและบำรุงรักษาอุปกรณ์ส่วนควบของเครื่องจักรหม้อน้ำเป็นสิ่งสำคัญลำดับแรกเพื่อให้อุปกรณ์ทุกรายการรับรู้ แจ้งผล ทำตามหน้าที่ และพร้อมใช้งาน หากมีจุดบกพร่องต้องได้รับการแก้ไขให้พร้อมใช้งาน

แนวทางที่ 2 การตรวจสอบและบำรุงรักษาที่ตัวเครื่องจักรหม้อน้ำ เช่น โครงสร้างภายนอก โครงสร้างภายในทั้งส่วนที่สัมผัสน้ำและสัมผัสไฟ ผนังหน้า-หลัง

ตามประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดให้มีการบันทึกภาพถ่ายในการตรวจทดสอบเครื่องจักรหม้อน้ำไว้ การพิจารณาตรวจสอบและบำรุงรักษาที่ตัวเครื่องจักรหม้อน้ำ เช่น โครงสร้างภายนอก โครงสร้างภายในทั้งส่วนที่สัมผัสน้ำและสัมผัสไฟ ผนังหน้า-หลัง จึงเป็นแนวทางรองลงมาจากแนวทางที่ 1 ถึงแม้ตัวเครื่องจักรหม้อน้ำจะเป็นตัวหลักที่เป็นส่วนรับความดัน ก็ยังมีเหตุผลหนึ่งที่สามารถอธิบายถึงที่มาของแนวทางที่ 2 คือ วงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์เครื่องจักรหม้อน้ำก่อนจะมาถึงส่วนการเริ่มใช้งาน ได้มีกระบวนการดำเนินงานตามหลักวิศวกรรมทุกขั้นตอน และมีกฎหมายกำกับ อีกทั้งอายุการใช้งานของตัวเครื่องจักรหม้อน้ำจะมีมากกว่ารายการอุปกรณ์ส่วนควบของเครื่องจักรหม้อน้ำ แนวทางที่ 2 จึงเป็นการควบคุมและจัดการกับความเสี่ยงในลำดับรองลงมา เพื่อให้เครื่องจักรส่วนที่รับความดันโดยตรงได้ทำตามหน้าที่ที่พร้อมใช้งาน หากมีจุดบกพร่องต้องได้รับการตรวจเชิงลึกจากผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทางเพื่อให้ได้รับการแก้ไขจนเครื่องจักรหม้อน้ำมีสภาพที่ดี และเป็นไปตามมาตรฐาน

แนวทางที่ 3 การเพิ่มเติมอุปกรณ์เฝ้าระวังเครื่องจักรหม้อน้ำในส่วนพารามิเตอร์ที่สำคัญแบบออนไลน์

แนวทางที่ 3 เป็นส่วนที่เพิ่มเติมจากแนวทางที่ 1 และแนวทางที่ 2 เพื่อส่งเสริมการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้ได้รับการแก้ไขข้อบกพร่องได้รวดเร็วขึ้น เช่น ติดตั้งกล้องวงจรปิดไว้ดูค่าอุณหภูมิที่ปล่องไอเสีย เพิ่มเติมจากเครื่องวัดที่ไม่สามารถบอกค่าได้แบบเรียลไทม์ ติดตั้งอุปกรณ์อินเตอร์ล็อคเมื่ออุณหภูมิสูงผิดปกติให้สั่งตัดการทำงานทันที การเพิ่มเติมอุปกรณ์ในการเฝ้าระวังให้กับเครื่องจักรหม้อน้ำในส่วนพารามิเตอร์ที่สำคัญแบบออนไลน์ เช่น คุณภาพน้ำ ความดัน ค่าความร้อนของปล่องไอเสีย เป็นต้น จะช่วยป้องกันการทำงานเกินกำลังของเครื่องจักรหม้อน้ำและอุปกรณ์ส่วนควบเครื่องจักรหม้อน้ำ เป็นการลดความเสี่ยงและป้องกันการเกิดเหตุระเบิดได้ในอีกชั้นหนึ่ง

5. สรุป

ผลจากการวิจัยสามารถสรุป ได้ดังนี้

1. ปัจจัยที่ทำให้เกิดความเสี่ยงสูงสุดต่อการเกิดเหตุเครื่องจักรหม้อน้ำระเบิด ได้แก่ ปัจจัยที่ 2 คือ ส่วนของเครื่องจักรหม้อน้ำหรืออุปกรณ์อำนวยความสะดวก อุปกรณ์ส่วนควบเครื่องจักรหม้อน้ำ โดยมีจุดที่ต้องให้ความสำคัญเป็นพิเศษเนื่องจากเป็นสาเหตุหลักของการระเบิด คือ การทำงานของหัวเผา ท่อไฟใหญ่ อุปกรณ์ชุดวาล์วควบคุมการจ่าย

น้ำมัน เกจวัดความดันและสวิตช์ควบคุมความดัน และลิ้นนิรภัยระบายไอน้ำ สาเหตุของการระเบิดที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยที่ 2 นี้ คิดเป็นร้อยละ 38.83

2. กิจกรรมที่สามารถลดความเสี่ยงของการเกิดเหตุเครื่องจักรหม้อน้ำระเบิด ได้แก่ กิจกรรมการตรวจสอบและบำรุงรักษา คิดเป็นร้อยละ 49.50

3. การกำหนดแนวทางเพื่อควบคุมปัจจัยเสี่ยงของการเกิดเหตุเครื่องจักรหม้อน้ำระเบิดพิจารณาให้ความสำคัญกับกิจกรรมและปัจจัยที่ทำให้เกิดความเสี่ยงสูงที่สุด ได้แก่ การบำรุงรักษาและตรวจสอบเครื่องจักร โดยประกอบด้วย 3 แนวทาง คือ แนวทางที่ 1 การตรวจสอบและบำรุงรักษาที่รายการอุปกรณ์ส่วนควบของเครื่องจักรหม้อน้ำ แนวทางที่ 2 การตรวจสอบและบำรุงรักษาตัวเครื่องจักรหม้อน้ำ เช่น โครงสร้างภายนอก โครงสร้างภายในทั้งส่วนที่สัมผัสน้ำและสัมผัสไฟ ผนังหน้า-หลัง และแนวทางที่ 3 การเพิ่มอุปกรณ์เฝ้าระวังเครื่องจักรหม้อน้ำในส่วนพารามิเตอร์ที่สำคัญ แบบออนไลน์ เช่น กล้องวงจรปิด อุปกรณ์ INTER LOCK ที่สามารถสั่งตัดระบบได้ทันทีแบบเรียลไทม์ (Real time)

ผลจากการศึกษาวิจัยนี้สามารถนำไปปรับใช้ในงานตรวจสอบและบำรุงรักษาโดยให้ความสำคัญกับเครื่องจักรหม้อน้ำและกิจกรรมที่มีความเสี่ยงสูงที่จะเกิดการระเบิด เช่น การปรับปรุงแผนงานและแบบฟอร์มการตรวจสอบและบำรุงรักษา ซึ่งรวมถึงระยะเวลาและความถี่ในการตรวจสอบและบำรุงรักษาด้วย เพื่อให้สามารถลดความเสี่ยงและช่วยป้องกันความเสียหายรุนแรงทั้งทางตรงและทางอ้อม การนำเทคโนโลยีและเครื่องมือตรวจสอบการทำงานมาประยุกต์ใช้เพื่อควบคุมและขจัดปัจจัยที่มีความเสี่ยงให้ได้รับการแจ้งเตือนและรับการแก้ไขอย่างทันท่วงทีจะช่วยให้การป้องกันอุบัติเหตุจากเครื่องจักรหม้อน้ำมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] กฎกระทรวง กำหนดมาตรฐานในการบริหารและจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับเครื่องจักร ปั้นจั่น และหม้อ น้ำ พ.ศ.2564

[2] เอกสารประกอบการบรรยายของกองส่งเสริมเทคโนโลยีความปลอดภัยในโรงงานซึ่งเผยแพร่ในงานเสวนาประจำปีของสมาคมหม้อน้ำและภาชนะรับความดันไทย เมื่อวันศุกร์ที่ 19 พฤศจิกายน พ.ศ.2564

[3] โครงการถ่ายทอดเทคโนโลยีด้านความปลอดภัยแก่สถานประกอบการ,ความปลอดภัยในการใช้งานหม้อน้ำ,คู่มือการใช้งานและดูแลบำรุงรักษาหม้อน้ำ,กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ.2553

[4] ศุภวัฒน์ ธาดาจารุมงคล (2564).*สัมมนาเรื่องกรณีศึกษาอุบัติเหตุจากหม้อน้ำ และภาชนะรับความดัน*.อาคาร วสท.20 พฤศจิกายน 2564

[5] วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ สมาคมหม้อน้ำและภาชนะรับความดันไทย.2562.*มาตรฐานการตรวจสอบหม้อน้ำชนิดท่อไฟ*.พิมพ์ครั้งที่1.กรุงเทพฯ.

[6] มานพ นิลรัตน์ และคณะ(2560).*การวิเคราะห์การสูญเสียความร้อนจากฉนวนเสื่อมสภาพโดยประยุกต์ใช้เทคนิควิศวกรรมคุณค่าสำหรับหม้อไอน้ำของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน*.วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



ชื่อสกุล นายสุรัตน์ อินทรเพชร
รหัสนักศึกษา 6314770003
ประวัติการศึกษา
สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง แผนกวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา ปีการศึกษา 2544
สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยศรีปทุม ปีการศึกษา 2547
ตำแหน่งและสถานที่ทำงาน
วิศวกรเครื่องกล แผนกวิศวกรรม บริษัท ไดนามิค เอ็นยิเนียริ่ง คอนซัลแตนทส์ จำกัด
งานวิจัยที่สนใจนำเสนอ
บทความวิจัย ME-111: แนวทางการตรวจสอบและบำรุงรักษาเพื่อควบคุมปัจจัยเสี่ยงของการเกิดเหตุเครื่องจักรหม้อน้ำระเบิด (Guidelines for inspection and maintenance to control the risk factors of boiler explosion)

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

รูปแบบที่เหมาะสมของระบบปรับอากาศภายในห้องเซิร์ฟเวอร์ : กรณีศึกษา

Appropriated Air Conditioning System in Server Room : A Case Study

แพรวพธู เพียรชูชัย

ภาควิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน สหสาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 10330

อีเมล: phraewpatu@gmail.com

บทคัดย่อ

บริษัทในปัจจุบันมักจะมีห้องที่เรียกว่าห้องเซิร์ฟเวอร์เพื่อเก็บรักษาเซิร์ฟเวอร์ของโครงการ ดังนั้นจะมีการออกแบบห้องนี้ให้มีมาตรฐาน ในระดับ TIER4 ซึ่งเป็นมาตรฐานของห้องเซิร์ฟเวอร์ในปัจจุบัน โดยงานวิจัยฉบับนี้ได้มีการออกแบบ วิเคราะห์ เปรียบเทียบระหว่างระบบปรับอากาศแบบ Split Type และ ระบบปรับอากาศประเภท Variable Refrigerant Flow (VRF) โดยภาระความร้อนที่เกิดขึ้นและนำมาเลือกเครื่องปรับอากาศจากการคำนวณผ่านโปรแกรม Heat Load Calculation คือ 751,288 Btu./Hr. ซึ่งจะนำค่า Heat Load Calculation นี้มีคำนวณภาระทำความเย็นใน และเลือกเครื่องปรับอากาศสำหรับระบบ Split Type และ ระบบ Variable Refrigerant Flow เมื่อสามารถเลือกเครื่องปรับอากาศได้ และนำข้อมูลเหล่านี้มาวางแบบพิจารณาค่าติดตั้ง และคำนวณค่าไฟฟ้า จะเห็นว่าระบบปรับ Variable Refrigerant Flow มีค่าติดตั้งสูงกว่า แต่มีค่าไฟฟ้าที่ถูกกว่า ระบบปรับอากาศ Split Type ซึ่งในระยาว ระบบปรับ Variable Refrigerant Flow จะมีความคุ้มค่ามากกว่า และมีระยะเวลาคืนทุนได้ในระยะเวลา 1.92 ปี และประหยัดพลังงานมากกว่าถึง 24.8%

คำสำคัญ : ห้องเซิร์ฟเวอร์; ระบบปรับอากาศแบบ ;ระยะเวลาคืนทุน ; การประหยัดพลังงาน

Abstract

Nowadays many companies have a room called a Server Room to store a computers and rack servers. Therefore, this room will be designed to be TIER4 standard, which is the standard of server room. This research are design, analysis, comparison between split type air conditioning system and variable refrigerant flow (VRF) air conditioning system. The heat load generated and used to select the air conditioner from the calculation through the Heat Load Calculation program is 751,288 Btu/Hr. for choosing air conditioners for Split Type and Variable Refrigerant Flow system. When can choose air conditioner and put these data into a model consider the machine and installation cost and calculate the electricity bill . It can be seen that the Variable Refrigerant Flow system has a higher installation and machine cost but with cheaper electricity bill than Split type air conditioning system, which in the long term, the Variable Refrigerant Flow system will be more cost-effective and has a payback period of 1.92 years and saves up to 24.8% more energy

Keywords: Server Room ; Air Conditioning System ; Payback Period ;Saving Energy

1.บทนำ

ในปัจจุบันบริษัทหลายแห่งมักมีห้องคอมพิวเตอร์ หรือเรียกอีกชื่อว่าห้องเซิร์ฟเวอร์ เพื่อเก็บข้อมูลของบริษัท รวมถึงระบบเครือข่ายและเซิร์ฟเวอร์ของบริษัทนั้น ดังนั้นในการออกแบบห้องนี้จะต้องตระหนักถึงมาตรฐานความปลอดภัยของระบบต่างๆ เพื่อป้องกันไม่ให้ระบบเซิร์ฟเวอร์ล่ม หรือไม่สามารถใช้งานได้ เช่น ระบบไฟฟ้า ระบบปรับอากาศเป็นต้น โดยที่ผ่านมามีนักวิจัยหลายท่านได้ศึกษาการออกแบบระบบต่างๆภายในห้องเซิร์ฟเวอร์ เช่น [1]สมชาย พาณิชเจริญ ได้ทำการศึกษาการพัฒนาระบบระบายความร้อนในห้องคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก และหาวิธีการประหยัดพลังงานต่างๆภาบในห้องเซิร์ฟเวอร์ ผู้วิจัยจึงได้นำความรู้เหล่านี้มาศึกษาต่อ และได้ศึกษาและเปรียบเทียบหารูปแบบที่เหมาะสมของระบบปรับอากาศภายในห้องเซิร์ฟเวอร์ จึงเป็นเหตุผลที่ก่อให้เกิดงานวิจัยฉบับนี้ขึ้น

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ห้องเซิร์ฟเวอร์ (server room) จะต้องมีการควบคุมและรักษาสภาพที่เหมาะสมสำหรับระบบคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น Rack Server ที่ใช้สำหรับการจัดเก็บหรือการสื่อสารโทรคมนาคม

เครื่อง Server เหล่านี้ โดยปกติจะถูกเปิดไว้ตลอดเวลา เพื่อทำงานตลอด 24 ชั่วโมง จึงทำให้เครื่อง Server ทำงานหนัก และเกิดปริมาณความร้อนออกจากระบบเป็นจำนวนมาก ดังนั้น หากระบบควบคุมอุณหภูมิ ไม่มีประสิทธิภาพพอที่จะระบายความร้อนออกจากระบบ และใส่ลมเย็นเข้าสู่ระบบได้อย่างเพียงพอแล้ว จะทำให้เกิดความร้อนสะสมขึ้นที่ตัวเครื่อง Server ซึ่งจะมีผลทำให้อายุการใช้งานสั้นลงกว่าที่ควรจะเป็น และทำให้เกิดการล่มของระบบได้

ในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาการออกแบบระบบปรับอากาศของห้องเซิร์ฟเวอร์ซึ่งมีขนาดพื้นที่ 320 ตารางเมตร และบรรจุตู้ Rack Server จำนวน 63 ตู้ โดยออกแบบให้อยู่ในมาตรฐาน ISO 27001 และออกแบบระบบปรับอากาศภายในห้องเซิฟเวอร์ให้อยู่ในมาตรฐาน Data Center Tier 4

ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการเปรียบเทียบระบบปรับอากาศทั้งระบบ Sprit Type และ VRF ว่าระบบใดมีความเหมาะสมกับการใช้งาน

ของห้องเซิร์ฟเวอร์ และศึกษาหาประเภทเครื่องปรับอากาศให้เหมาะสมกับห้อง Server และมีการประหยัดพลังงานและค่าไฟมากที่สุด รวมถึงทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์ เช่นระยะเวลาคืนทุน

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อวิเคราะห์การใช้พลังงาน และเลือกประเภทของระบบปรับอากาศให้สอดคล้องกับภาระความร้อนที่เกิดขึ้นและการใช้งานภายในห้องเซิร์ฟเวอร์

1.2.2 เพื่อวิเคราะห์ และ เลือกชนิดของเครื่องปรับอากาศให้เหมาะสมกับพื้นที่ติดตั้งและการใช้งาน

1.2.3 เพื่อวิเคราะห์ต้นทุน ค่าติดตั้ง ค่าดูแลรักษา และค่าไฟของเครื่องปรับอากาศทั้งสองประเภท เพื่อหาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ว่าควรเลือกติดตั้งเครื่องปรับอากาศประเภทใด

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 หาข้อมูลด้านโครงสร้างของอาคารและพื้นที่ภายในห้องและการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ และภาระความร้อน (Heat Load) ในพื้นที่ปรับอากาศของห้องเซิร์ฟเวอร์ใน Data Center แห่งหนึ่ง ซึ่งมีขนาดพื้นที่ 320 ตารางเมตร และประกอบด้วยตู้Rack Server จำนวน 63 ตู้

1.3.2 ออกแบบระบบปรับอากาศให้สอดคล้องกับการใช้งานและภาระการทำความร้อน ซึ่งอยู่ในมาตรฐาน ISO 27001 หรือมาตรฐานสากลสำหรับระบบการจัดการความปลอดภัยของข้อมูล และออกแบบระบบปรับอากาศภายในห้องเซิฟเวอร์ให้อยู่ในมาตรฐาน Data Center Tier 4

1.3.3 เปรียบเทียบการเลือกใช้งานเครื่องปรับอากาศแบบ Split Type และเครื่องปรับอากาศ แบบ VRF และหาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ว่าควรเลือกติดตั้งเครื่องปรับอากาศประเภทใด

1.3.4 เลือกชนิดของเครื่องปรับอากาศให้เหมาะสมโดยเปรียบเทียบระหว่างเครื่องปรับอากาศชนิด Wall Mount , Cassette Type , Duct Type , AHU , ตู้ตั้งพื้น หาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ว่าควรเลือกติดตั้งเครื่องปรับอากาศประเภทใด

2.เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 มาตรฐาน Data Center

มาตรฐาน Data Center นั้นถูกแบ่งเป็นหลายระดับ โดยเริ่มต้นที่ระดับ TIER1 ไปจนถึง TIER4 ซึ่งในปัจจุบันมักจะใช้ระดับ TIER4 โดยมีมาตรฐานความปลอดภัยสูงที่สุด ดังนี้ Tier 4 (Fault Tolerance) เป็นระดับสูงสุด มีอุปกรณ์ทุกอย่างแยกเป็น 2 ชุด ไม่ว่าจะเป็นระบบไฟฟ้า และระบบทำความเย็น ซึ่งหากมีตัวใดตัวหนึ่งเสียก็ไม่มีผลกระทบใดๆ กับ Data Center Uptime 99.982% สามารถ “ล่ม” หรือ “ไม่สามารถใช้งานได้” ไม่เกิน 24 นาที [3]

2.2 ระบบการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ

ระบบปรับอากาศ คือ กระบวนการรักษาสภาวะอากาศโดยการควบคุม อุณหภูมิ ความชื้น ความสะอาด การกระจายลมและเสียง ให้เกิดความรู้สึกสบายต่อผู้อยู่อาศัยและเพื่อให้เกิดสภาวะอากาศตามความต้องการ

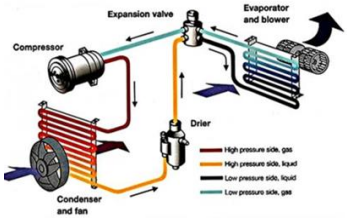
2.3 ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Spilt Type)

อุปกรณ์ในระบบปรับอากาศประเภทนี้จะถูกแยกเป็นสองส่วนคือ

1.แฟนคอยล์ยูนิต (Fan Coil Unit) จะเป็นส่วนที่อยู่ภายในห้องซึ่งภายในประกอบด้วยอีวาพอเรเตอร์ (Evaporator Coil) และอุปกรณ์ลดความดัน

2.คอนเด็นซิ่งยูนิต (Condensing Unit) จะตั้งอยู่ภายนอกประกอบด้วยคอนเด็นเซอร์คอยล์(Condensor Coil) และ คอมเพรสเซอร์ (Compressor) ทั้งสองส่วนนี้จะต่อถึงกันโดยระบบท่อน้ำยา

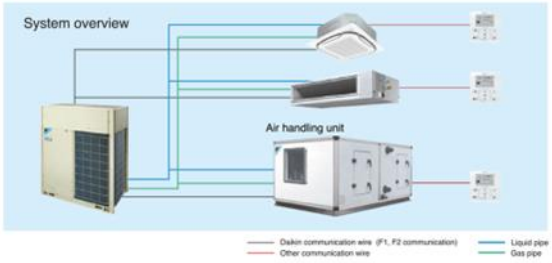
ดังนั้นเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน จะมี แฟนคอยล์ยูนิต 1 ชุด ต่อกับ คอนเด็นซิ่งยูนิต 1 ชุด



รูปที่ 1 รูปแสดงการทำงานระบบปรับอากาศ Split Type [5]

2.4 ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ (VRF)

ระบบปรับอากาศที่ชุดภายนอกหรือคอนเดนซิ่งหนึ่งชุดสามารถเชื่อมต่อชุดภายในหรือแฟนคอยล์ได้สูงสุดไม่เกิน 64 ชุด ใน 1 System หรือ 1 CDU



รูปที่ 2 แสดงการเชื่อมต่อของระบบอากาศแบบ VRF [6]

2.5 ประสิทธิภาพการทำความเย็น

EER (Energy Efficiency Ratio) หรืออัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศ คือค่าที่ใช้วัดประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศว่าดีหรือไม่ อย่างไร มีหน่วยเป็น (Btu/hr.)/W ค่า EER นั้นคืออัตราส่วนของความเย็นที่เครื่องปรับอากาศสามารถทำได้จริง (Output) กับกำลังไฟฟ้าที่เครื่องปรับอากาศนั้นต้องใช้ในการทำความเย็น (Input) เครื่องปรับอากาศที่มีค่า EER ยิ่งสูงก็แสดงว่าเครื่องปรับอากาศเครื่องนั้นยิ่งมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานที่ดียิ่งขึ้น [7]

$$EER = \frac{Output}{Input} = \frac{Btu/Hr}{Watt} \quad (1)$$

EER คือประสิทธิภาพการทำความเย็น

Output คืออัตราส่วนของความเย็นที่เครื่องปรับอากาศสามารถทำได้จริง

Input คือกำลังไฟฟ้าที่เครื่องปรับอากาศนั้นต้องใช้ในการทำความเย็นนั้น

2.6 งวดเวลาคืนทุน (Payback Period: PB)

งวดเวลาตืนทุน หรือ Payback Period คือ ระยะเวลา (เป็นจำนวนปี /เดือน หรือวัน) ที่กระแส เงินสด รับจากโครงการ สามารถชดเชย กระแสเงินสดจ่าย ลงทุนสุทธิตอนเริ่มโครงการ พอดี

$$\text{งวดเวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินสดจ่ายลงทุนสุทธิ}(Total\ Investment)}{\text{ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้ต่อปี}(Annual\ Energy\ Cost\ Saving)} \quad (2)$$

3. ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 การเก็บรวมรวบข้อมูล

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการเก็บข้อมูลพื้นฐาน รวมถึงโครงสร้าง อุปกรณ์ภายในห้องเซิร์ฟเวอร์ รวมถึงเวลาการเปิดปิดอุปกรณ์ไฟฟ้า เพื่อไปคำนวณ Heat Load ที่เกิดขึ้นภายในห้อง เช่น วัสดุภายในห้อง อุปกรณ์ไฟฟ้า เวลาการทำงานของระบบเซิร์ฟเวอร์ เป็นต้น

3.2 การคำนวณ Heat Load

สิ่งที่จำเป็นสำหรับการคำนวณค่า Heat Load ภายในห้องคือข้อมูลทั่วไป และแหล่งที่มาของความร้อนภายในห้อง [2]

1) โครงสร้างพื้นฐานภายในห้องเซิร์ฟเวอร์ และพื้นที่สำหรับปรับอากาศ โดยศึกษาวัสดุที่นำมาใช้เป็นโครงสร้างภายในห้อง Server

2) ข้อมูลโหลดภาระความร้อนของห้อง เช่น

-การนำความร้อนผ่านโครงสร้างด้านนอกอาคาร

-การนำความร้อนผ่านโครงสร้างด้านในอาคาร

-การแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ผ่านกระจก

-ปริมาณความร้อนที่เกิดจากความส่องสว่าง

-ปริมาณความร้อนจากคน

-ปริมาณความร้อนจากเครื่องมือและอุปกรณ์

-การแทรกซึมของอากาศจากภายนอกห้องเข้าสู่ภายในห้อง

-ปริมาณความร้อนที่เกิดจากการหมุนเวียนของอากาศ

เมื่อรวมรวบข้อมูลพื้นฐานและโหลดภาระความร้อนข้างต้นได้ จะทำการคำนวณ Heat Load ที่เกิดขึ้นภายในห้อง ผ่านโปรแกรม Heat Load Calculation [4]



รูปที่ 3 ตัวอย่างโปรแกรม Heat Load Calculation

3.3การเลือกเครื่องและระบบปรับอากาศ

การเปรียบเทียบระบบปรับอากาศระหว่างระบบปรับอากาศแบบ Sprit Type และ ระบบปรับอากาศแบบ VRV (Variable Refrigerant Volume) หรือ ระบบ VRF (Variable Refrigerant Flow) ว่าระบบปรับอากาศแบบใดเหมาะสมกับการใช้งานของห้องเซิร์ฟเวอร์ และสามารถประหยัดพลังงานได้มากที่สุด และเลือกประเภทของเครื่องปรับอากาศให้สอดคล้องกับการติดตั้ง

3.4 คำนวณค่าเครื่องปรับอากาศ ค่าติดตั้ง ค่าไฟฟ้า และระยะเวลาคืนทุน

การวิเคราะห์ข้อมูล โดยจะคำนวณค่าการติดตั้ง ค่าเครื่องปรับอากาศ ค่าการดูแลรักษา ค่าไฟ ของระบบปรับอากาศทั้งสองแบบ เพื่อนำไปคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ เช่น ระยะเวลคืนทุน เพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจว่าควรเลือกใช้ระบบปรับอากาศแบบใดมากที่สุด

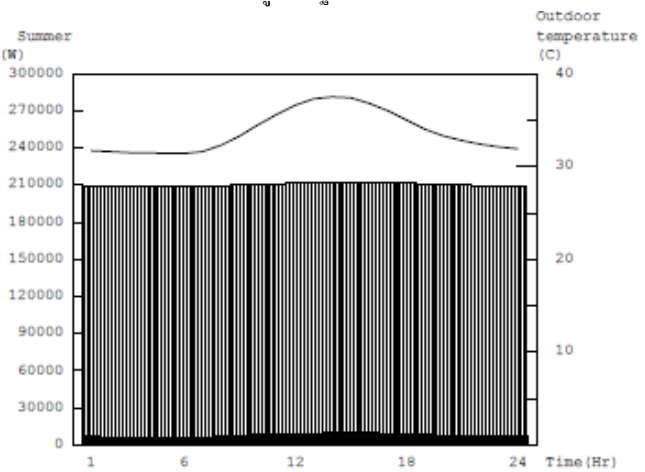
3.5 ตรวจสอบเงื่อนไขการออกแบบหลังจากงานติดตั้งเสร็จสมบูรณ์

หลังจากการติดตั้งระบบปรับอากาศเสร็จสมบูรณ์จึงวัดค่าอุณหภูมิห้อง และความชื้นสัมพัทธ์ว่าและอัตราการใช้พลังงานว่าเป็นไปตามการออกแบบ และอยู่ในมาตรฐานความปลอดภัยสารสนเทศ ISO 27001 มาตรฐาน Data Center ระดับ Tier 4

4. ผลการวิจัย

4.1ผลการคำนวณค่า Heat Load ในแต่ละช่วงเวลา

จากการรวบรวมข้อมูลพื้นฐานภายในห้องเซิร์ฟเวอร์ และ



นำมาคำนวณค่า Heat Load ผ่านโปรแกรม Heat Load Calculation ซึ่งแสดงผลในรูปที่4

รูปที่4 กราฟแสดงค่า Heat Load ในแต่ละช่วงเวลา

จากภาพข้างต้นจะเห็นว่า Heat Load สูงสุดที่เกิดภายในห้อง Server คือ 209,582 W (โดยคิดเฉพาะ Sensible Heat เพราะ โหลดความร้อนที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่ภายในห้องเซิร์ฟเวอร์มักเกิดจากโหลดความของ Rack และคิดค่า Safety Factor 1.05 จะได้ค่า Heat Load เป็น 206,601 W หรือเท่ากับ 751,288 Btu./Hr.) ดังนั้นค่า Heat Load นี้จะเป็นค่าที่ใช้ในการออกแบบเครื่องปรับอากาศให้เหมาะสม คือ 751,288 Btu./Hr.

4.2การเลือกเครื่องและระบบปรับอากาศแบบ Split Type และ VRF .

4.2.1 การเลือกชนิดของเครื่องปรับอากาศ

งานวิจัยฉบับนี้เลือกที่จะใช้เครื่องปรับอากาศประเภทต่อท่อลม เนื่องจากเครื่องปรับอากาศประเภทนี้ จะติดตั้งไว้ในฝ้า และสามารถต่อท่อลม (Duct Type) เพื่อไปยังตำแหน่งที่ต้องการทำความเย็นได้

4.2.2 การเลือกระบบปรับอากาศประเภท Split Type

ระบบปรับอากาศประเภท Split Type เป็นระบบปรับอากาศที่เป็นการเชื่อมต่อระหว่าง คอยล์ร้อนหนึ่งชุด กับ คอยล์เย็นเพียงหนึ่งชุด ซึ่งในงานวิจัยฉบับนี้ได้เลือกเครื่องปรับอากาศชนิด Duct Type จำนวน 16 เครื่อง โดยเปิดใช้งานจริง 12 เครื่อง และ สำรอง 4 เครื่อง ซึ่งจะมี Cooling Capacity 756,648 BTU. /Hr. (Sensible Heat)

4.2.3 การเลือกระบบปรับอากาศประเภท VRF

ระบบปรับอากาศประเภท VRF เป็นระบบปรับอากาศที่เป็นการเชื่อมต่อระหว่าง คอยล์ร้อนหนึ่งชุด กับ คอยล์เย็นมากกว่าหนึ่งชุด ซึ่งในงานวิจัยฉบับนี้ได้ออกแบบเครื่องปรับอากาศให้อยู่ในรูปแบบคอยล์ร้อนหนึ่งชุด กับ คอยล์เย็นสองชุดและ เป็นเครื่องปรับอากาศชนิด Duct Type จำนวน 16 เครื่อง โดยเปิดใช้งานจริง 12 เครื่อง และ สำรอง 4 เครื่อง (8 คอยล์ร้อน 16 คอยล์เย็น) ซึ่งจะมี Cooling Capacity 786,984 BTU. /Hr. (Sensible Heat)

4.3 การคำนวณค่าเครื่องปรับอากาศรวมค่าติดตั้ง และค่าไฟฟ้าของระบบปรับอากาศ Split Type และ VRF

4.3.1 การคำนวณค่าเครื่องปรับอากาศรวมค่าติดตั้ง และค่าไฟฟ้าของระบบปรับอากาศ Split Type

ตารางที่ 1 ตารางแสดงค่าเครื่องปรับอากาศ ค่าติดตั้ง และค่าไฟฟ้ารายปีของระบบปรับอากาศแบบ Split Type

รายการ	บาท
ค่าเครื่องปรับอากาศ	3,233,600
ค่าติดตั้ง	2,673,600
ค่าไฟฟ้า	4,402,460 /ปี

จากข้อมูลที่แสดงในตารางที่1 จะเห็นว่าค่าใช้จ่ายในการพิจารณาเลือกระบบปรับอากาศแบบ Split Type จะแบ่งเป็น 3 ส่วนดังนี้

1)ค่าเครื่องปรับอากาศ 3,233,600 บาท โดยเป็นเครื่องปรับอากาศแบบ Split Type ขนาด 90,000 Btu/Hr. จำนวน 16 เครื่อง (ใช้งานจริง 12 เครื่อง , สำรอง 4 เครื่อง)

2)ค่าติดตั้งเครื่องปรับอากาศ 2,673,600 โดยพิจารณา ค่าติดตั้งเครื่องและค่าเดินท่อน้ำยาสำหรับ R410a ราคา 860,000 บาท และค่าท่อลม 1,833,600 บาท

3)ค่าไฟฟ้าสำหรับการใช้งานเครื่องปรับอากาศจำนวน 12 เครื่อง 4,402,460 บาท /ปี

4.3.2 การคำนวณค่าเครื่องปรับอากาศรวมค่าติดตั้ง และค่าไฟฟ้าของระบบปรับอากาศ VRF

ตารางที่ 2 ตารางแสดงค่าเครื่องปรับอากาศ ค่าติดตั้ง และค่าไฟฟ้ารายปีของระบบปรับอากาศแบบ VRF

รายการ	บาท
ค่าเครื่องปรับอากาศ	5,451,200
ค่าติดตั้ง	2,553,600
ค่าไฟฟ้า	3,311,643 /ปี

จากข้อมูลที่แสดงในตารางที่2 จะเห็นว่าค่าใช้จ่ายในการพิจารณาเลือกระบบปรับอากาศแบบ VRF. จะแบ่งเป็น 3 ส่วนดังนี้

1)ค่าเครื่องปรับอากาศ 5,451,200บาท โดยเป็นเครื่องปรับอากาศแบบ VRF. ขนาด 95,500 Btu/Hr. จำนวน 16 เครื่อง (ใช้งานจริง 12 เครื่อง , สำรอง 4 เครื่อง) และใช้งานคอยล์ร้อนเพียงแค่ 8 เครื่อง (1 CDU. :2FCUs)

2)ค่าติดตั้งเครื่องปรับอากาศ 2,553,600โดยพิจารณา ค่าติดตั้งเครื่องและค่าเดินท่อน้ำยาสำหรับ R410a ราคา 720,00 บาท และค่าท่อลม 1,833,600 บาท

3)ค่าไฟฟ้าสำหรับการใช้งานเครื่องปรับอากาศจำนวน 12 เครื่อง 3,311,643 บาท /ปี

4.4 การคำนวณการประหยัดพลังงาน และระยะเวลาคืนทุน

จากตารางที่แสดงในหัวข้อ 4.3.1 และ 4.3.2 พบว่า ในการพิจารณาค่าเครื่องปรับอากาศ ค่าเครื่องปรับอากาศของระบบปรับอากาศแบบ Split Type มีราคาที่ถูกกว่าค่าเครื่องปรับอากาศของระบบปรับอากาศ VRF. 40.68 % ในส่วนของค่าติดตั้ง ระบบปรับอากาศแบบ VRF. มีค่าติดตั้งที่ถูกกว่าเครื่องปรับอากาศของระบบปรับอากาศแบบ Split Type 4.48% และในส่วนของค่าไฟฟ้านั้น ระบบปรับอากาศแบบ VRF. มีค่าไฟฟ้าถูกกว่าค่าไฟฟ้าเครื่องปรับอากาศของระบบปรับอากาศแบบ Split Type 24.78% และในส่วนของค่าไฟฟ้านั้น ดังนั้นหากพิจารณาในระยะยาวระบบปรับอากาศ VRF สามารถประหยัดค่าไฟฟ้าได้ มากกว่าระบบปรับอากาศ Split Type และมีระยะเวลาคืนทุนเพียง 1.9 ปี (หากเลือกที่จะติดตั้งระบบ VRF. แทนระบบ Split Type ซึ่งเพิ่มค่าใช้จ่ายเพียง 2,097,600 บาท)

5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลระบบปรับอากาศ งานวิจัยฉบับนี้เลือกที่จะใช้เครื่องปรับอากาศประเภทต่อท่อลม เนื่องจากเครื่องปรับอากาศประเภทนี้ จะติดตั้งไว้ในฝ้า และสามารถต่อท่อลม (Duct Type) เพื่อไปยังตำแหน่งที่ต้องการทำความเย็นได้ และ เมื่อพิจารณาระบบปรับอากาศประเภท VRF เมื่อติดตั้งภายในห้องเซิร์ฟเวอร์ที่มีการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าตลอด24ชั่วโมง และมีมาตรฐานในระดับ TIER4 จะมีค่าเครื่องปรับอากาศ และค่าการติดตั้ง ที่สูงกว่าระบบปรับอากาศ Split Type แต่จะมีค่าไฟฟ้าต่อปีที่สามารถประหยัดได้มากกว่าถึงเดือนละ24.78% ดังนั้นในระยะยาวการติดตั้งระบบปรับอากาศแบบ VRF. จะมีค่าความคุ้มค่าและประหยัดได้มากกว่า ซึ่งเมื่อคิด

ระยะเวลาคืนทุน จะมีระยะเวลาคืนทุนเพียง 1.9 ปี เมื่อเลือกที่จะติดตั้งระบบ VRF. แทนระบบ Split Type หากผู้อ่านท่านใดได้อ่านวิจัยฉบับนี้สามารถนำข้อมูลในวิจัยฉบับนี้ไปประยุกต์ใช้กับการออกแบบห้องเซิร์ฟเวอร์เพื่อความเหมาะสมได้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] สมชาย พาณิชเจริญ (2019) , การพัฒนาระบบระบายความร้อนของศูนย์ข้อมูลขนาดเล็ก , บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

[2] Best Practices to Improve Cooling Efficiency in Your Data Center , Prasit Puapatarakul , September 2020

[3] HVAC System for Data Center , สมจินต์ ดิสวัสดิ์ , กันยายน 2564

[4] Cooling Load Calculation , Daikin Thailand , October 2021

[5] ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (ออนไลน์) . Available : https://ienergyguru.com/2015/019asplit-type/

[6] ภาพรวมระบบแอร์ VRV โดย Daikin (ออนไลน์) . Available : https://www.networkaircool.com/-VRF

[7] EER คืออะไร(ออนไลน์) . Available : https://www.carrier.co.th/news2015/knowledge/knowledge_2.asp



ประวัติผู้เขียนบทความ

นางสาว แพรวพฐู เพียรชูชัย

ประวัติการศึกษา

- 2566 : ภาควิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน สหสาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย(กำลังศึกษา)

-2563 : วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

งานวิจัยที่สนใจ

-งานวิจัยด้านเครื่องกล , เทอร์โมไดนามิค และด้านการประหยัดพลังงานในอาคาร

การประเมินความคุ้มค่าของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา กรณีศึกษา : บริษัท เบอร์ลิน ฟาร์มาซูติคอล อินดัสตรี้ จำกัด

The Feasibility of Study of Installing Rooftop PV system Case study : Berlinpharmaceutical Co.,Ltd.

วิภวา อัศวโนดม[1*] และ พิชญ รัชฎาวงศ์[2*]

[1]ภาควิชา เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน, บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
อาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา (จามจุรี 10) ชั้น 14 ซอยจุฬาลงกรณ์ 12 ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กทม. 10330
,Vipavaausavanodom@gmail.com

[2]ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท แขวงวังใหม่เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330, pichaya.r@chula.ac.th

บทคัดย่อ

สถานการณ์การใช้พลังงานไฟฟ้าภายในโรงงานกรณีศึกษาเพิ่มสูงขึ้นทุกปี การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา เป็นหนึ่งทางเลือกที่สามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายพลังงานจากสายส่งของการไฟฟ้าลงได้ จึงเป็นที่มาของการวิจัยโดยทำการศึกษาความคุ้มค่าของการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาของอาคาร โรงงานกรณีศึกษา ทั้งหมด 3 อาคารรวมพื้นที่ทั้งหมด 2,380 ตรม. โดยจำลองการติดตั้งระบบ ด้วยโปรแกรม PVSyst ด้วยแผง 3 ชนิด และทำการเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ผลิตได้ เพื่อหาชนิดที่เหมาะสมและคุ้มค่าในการลงทุนผ่านตัวชี้วัดทางการเงิน พบว่า กรณีที่ 1 มีความคุ้มค่าในการลงทุนมากที่สุดและกรณีที่3 มีประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้ามากที่สุด จากนั้นทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหวผ่านปัจจัยนำเข้า ผลที่ได้คือมูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการอ่อนไหวต่ออัตราการเพิ่ม-ลดลดของอัตราค่าไฟฟ้าและประสิทธิภาพของแผงมากที่สุดในทุกกรณี อีกทั้งหลังคาที่ติดตั้งโซล่าเซลล์สามารถช่วยสกัดกั้นความร้อนได้ดีกว่าหลังคาที่ไม่ทำการติดตั้ง จากการประเมินผ่านโปรแกรมBEC

คำสำคัญ : ความคุ้มค่า; พลังงานแสงอาทิตย์; แบบจำลองกระแสเงินสดคิดลด; การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา

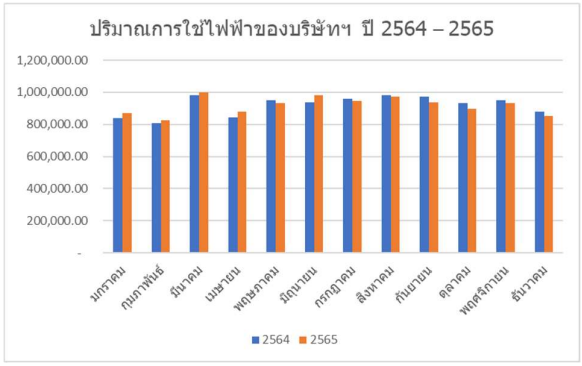
Abstract

Electric energy consumption of : a case study of Berlinpharmaceutical Co.,Ltd. has increased every year. As rooftop solar power is an interesting option to reduce electric energy cost, this research aimed to study the cost-effectiveness of rooftop solar power system installation on top of 3 factory buildings in the studied factory, for the total area of 2,380 m^2. At first, the PVSyst program was used to simulate an installation with 3 different types of panels in order to identify the most cost-effective panel type. It was found that the first type was the most cost- effective, while the third type could generate the most electric power.Then, sensitivity analysis was conducted through input factors, and found that the net project value was most affected by the power fee rate and panel efficiency.Furthermore, the roof with solar panels was found by the BEC assessment program to deflect heat better than the roof without the panels.

Keywords: Feasibility, Solar, Electric energy consumption,Discounted Cash Flow Model, Roof Thermal Transfer Value

1. บทนำ

การใช้พลังงานภายใน บริษัท เบอร์ลิน ฟาร์มาซูติคอล อินดัสตรี้ จำกัด มีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อเดือนอยู่ในเกณฑ์สูง ซึ่งภาระโหลดการใช้ไฟฟ้าส่วนใหญ่มาจากเครื่องจักร (วันจันทร์ ถึง วันเสาร์ ทำงาน 24ชั่วโมง) และเดินเครื่อง Chiller (ทุกวันอาทิตย์ ทำงาน24 ชั่วโมง) ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับติดตั้งบนหลังคา[1] เพื่อเป็นแนวทางหนึ่งในการช่วยลดต้นทุนและค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า ซึ่งรูปที่ 1 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของบริษัทฯ ปี 2564 – 2565



รูปที่ 1 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของบริษัทฯ ปี 2564 – 2565

โดยจะทำการศึกษาเปรียบเทียบการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าฯ และวิเคราะห์ผลผลิตปริมาณไฟฟ้า ด้วยโปรแกรม PVSyst แบ่งออกเป็น 3 กรณี คือ กรณีที่ 1. ติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ชนิด Mono crystalline (Full cell), กรณีที่2. ติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ชนิด Poly crystalline (Full cell) และกรณีที่3. ติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ชนิด Mono crystalline (Half cell) บนพื้นที่หลังคาอาคาร(อาคาร1,2,4) ทั้งหมด 2,380 ตรม. หลังจากนั้นนำผลที่ได้เข้าสู่แบบจำลองกระแสเงินสด เพื่อหากรณีที่เหมาะสมและแนวทางการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสมในการลงทุนที่สุด นอกจากนี้ได้ทำการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคาระหว่าง หลังคาที่ไม่ทำการติดตั้งแผงฯกับหลังคาที่ทำการติดตั้งแผงฯ ด้วยโปรแกรมBEC

ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะทำให้ทราบว่าในแต่ละกรณีสามารถลดค่าความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคารผ่านหลังคาตามข้อกำหนดของกระทรวงพลังงานหรือไม่ เพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าฯ และประหยัดพลังงานภายในโครงการได้

1.1 ทฤษฎีวิจัยที่เกี่ยวข้อง

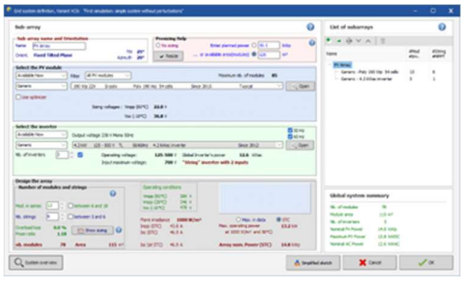
1.1.1 ชนิดของแผงโซลาร์เซลล์

ตารางที่ 1 ชนิดของแผงโซลาร์เซลล์ [2] [3] [4]

รายละเอียด	Mono Crystalline : Full- cell	Poly Crystalline : Full-cell	Mono Crystalline : Half-cell
ประสิทธิภาพ	17-22%	13-17%	25-30%
ความสามารถในการผลิตไฟฟ้า	ปานกลาง	น้อยสุด	มากสุด
ความร้อนสะสม	มากสุด	ปานกลาง	น้อยสุด
อายุการใช้งาน	ปานกลาง	น้อยสุด	มากสุด
ราคา	10-11 บาท/วัตต์	10-11 บาท/วัตต์	12-13 บาท/วัตต์

1.1.2 การจำลองเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ผลิตได้ด้วยโปรแกรม PVsyst

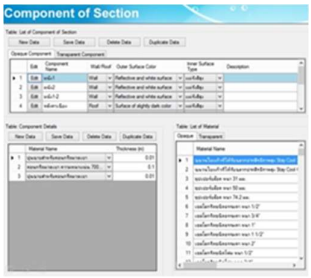
จำลองค่าพลังงานที่ผลิตได้ด้วยโปรแกรม PVsyst [5] ซึ่งเป็นโปรแกรมที่นิยมใช้และได้รับการยอมรับในการประมาณค่าพลังงาน โดยจะจำลองระบบผลิตไฟฟ้าทั้ง 3 กรณี ในพื้นที่เดียวกัน



รูปที่ 2 ตัวอย่างโปรแกรม PVsyst

1.1.3 การจำลองเปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาด้วยโปรแกรม BEC

จำลองค่าการถ่ายเทความร้อนของหลังคาด้วยโปรแกรม BEC [6] ซึ่งได้รับการยอมรับและเป็นไปตามประกาศของกระทรวงพลังงาน เรื่อง กำหนดค่ามาตรฐานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2564 โดยวิจัยนี้ทำการจำลองระบบผลิตไฟฟ้า 2 กรณี คือ กรณีมีแผง Solar Cell ติดตั้งอยู่ด้านบนหลังคา และกรณีที่ไม่มีแผงSolar Cell ติดตั้งอยู่ด้านบนหลังคา



รูปที่ 3 ตัวอย่างโปรแกรม BEC

1.1.4 ต้นทุนในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าฯ

ข้อมูลที่ได้มาจากบริษัทผู้ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าฯ โดยจะขอราคาเปรียบเทียบทั้ง 3 กรณี

1.1.5 วิเคราะห์ความคุ้มค่าด้วยเครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์ทั้งหมด 4 วิธี คือ NPR, IRR, PB และ LCOE

1. มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) [7] คำนวณได้ตามสมการที่ 1

$$NPV = \sum_{i=0}^{n} \mathrm{x} \frac{Bt-Ct}{(1+i)} - C_0 \qquad (1)$$

โดยมีเกณฑ์ในการวิเคราะห์ NPV < 0 ไม่ควรลงทุนสำหรับโครงการนี้, NPV = 0 ตัดสินใจลงทุนหรือไม่ลงทุนก็ได้, NPV > 0 ควรลงทุนสำหรับโครงการนี้

2. อัตราผลตอบแทนภายในซึ่งได้จากการลงทุนในโครงการ (Internal Rate Return : IRR) [7] คำนวณได้ตามสมการที่ 2

$$NPV = \sum_{i=0}^{n} \mathrm{x} \frac{Bt-Ct}{(1+i)} - C_0 = 0 \qquad (2)$$

โดยมีเกณฑ์ในการวิเคราะห์ถ้า IRR < ต้นทุนของเงินลงทุน : ไม่ควรลงทุนสำหรับโครงการนี้ , IRR = ต้นทุนของเงินทุน : ตัดสินใจลงทุนหรือไม่ลงทุนก็ได้, IRR > ต้นทุนของเงินทุน : ควรลงทุนในโครงการนี้

3. ระยะคืนทุน (Payback period :PB) [7] เนื่องจากกระแสเงินสดรับสุทธิในโครงการนี้ไม่เท่ากันจึงทำการคำนวณกระแสเงินสดสะสม (Cumulative cash flow) ก่อนแทนค่าในสมการที่ 3

$$\mathrm{PB} = \text{จำนวนปีก่อนที่จะได้คืนทุน} + \frac{\text{เงินส่วนที่ยังไม่ได้คืนทุน}}{\text{กระแสเงินสดรับสุทธิ ในปีที่คืนทุน } (Cash\ inflow)} \qquad (3)$$

การที่โครงระยะเวลาคืนทุนที่สั้นที่สุด ดีกว่าโครงการที่มีระยะเวลาคืนทุนที่ยาวและระยะเวลาคืนทุนจะต้องไม่นานกว่าอายุการใช้งานของโครงการ

4. ต้นทุนต่อหน่วยไฟฟ้าตลอดอายุโครงการ (Levelized Cost of Electricity : LCOE) [8] คำนวณได้ตามสมการที่ 4

$$LCOE = \frac{\sum_{t-1}^{n} x \frac{It+M}{(1+\frac{r}{100})t}}{\sum_{t-1}^{n} x \frac{Et}{(1+\frac{r}{100})t}} \quad (4)$$

เมื่อได้ค่า LCOE ออกมาก็จะมาเปรียบเทียบกับ ค่าไฟฟ้าจากการไฟฟ้านครหลวง

1.1.6 ประเมินความอ่อนไหวของโครงการ

ในการศึกษาครั้งนี้ได้เพิ่มการประเมินความเสี่ยงด้วยวิธีวิเคราะห์ความอ่อนไหว ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงไปของปัจจัยที่จะส่งผลต่อผลที่จะได้จากการคำนวณในแบบจำลองกระแสเงินสด โดยกำหนดการเปลี่ยงแปลงที่เพิ่มขึ้น (2%,5%,10%) และการลดลง (2%,5%,10%) โดยพิจารณาตัวแปร 3 ตัวได้แก่ 1.ต้นทุนของระบบ, 2. อัตราการเพิ่ม-ลดของอัตราค่าไฟฟ้า , 3. ประสิทธิภาพของแผงผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ [5] [9]

2. วิธีการวิจัย

2.1 เก็บรวบรวมข้อมูล

ตารางที่ 2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย	แหล่งที่มาของข้อมูล
ปริมาณการใช้ไฟฟ้า 24 เดือน ของบริษัทกรณีศึกษา	บันทึกสถิติค่าไฟประจำเดือน
พื้นที่และทิศทางในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้า	เอกสาร As-build drawing
ข้อมูลจำเพาะและประสิทธิภาพของแผงโซลาร์ที่ใช้	Datasheet
จำนวนแผงโซลาร์และประมาณการค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง	ใบเสนอราคา จากบริษัทรับติดตั้ง
ประมาณการ ค่าพลังงาน, รายรับ , ผลประหยัด	โปรแกรม PV syst
ประมาณการค่าการถ่ายเทความร้อนของหลังคา	โปรแกรม BEC

2.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

2.2.1 ใช้แบบจำลองค่าพลังงานที่ผลิตได้ เข้ามาประเมินตามข้อ 1.1.2 โดยเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ผลิตได้แต่ละกรณี

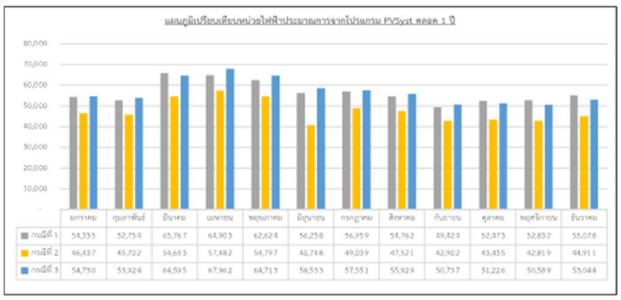
2.2.2 ใช้แบบจำลองค่าพลังงานที่ผลิตได้ เข้ามาประเมินตามข้อ 1.1.3 โดยเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนของหลังคาได้แต่ละกรณี

2.2.3 ใช้แบบจำลองกระแสเงินสดคิดลด เข้ามาประเมินตามข้อ 1.1.5 โดยประกอบด้วยเกณฑ์ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ, อัตราผลตอบแทนภายในที่ได้รับของโครงการ, ระยะเวลาคืนทุน และมูลค่าปัจจุบันสุทธิของต้นทุนต่อหน่วยของการผลิตไฟฟ้าตลอดอายุการใช้งาน

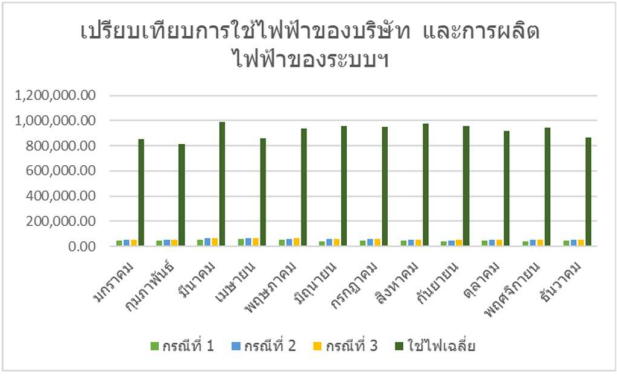
2.2.4 ทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการที่เพิ่มขึ้น (2%,5%,10%) และการลดลง(2%,5%,10%) โดยพิจารณาตัวแปร 3 ตัว ได้แก่ 1.ต้นทุนของระบบ 2. อัตราการเพิ่ม-ลดของอัตราค่าไฟฟ้า 3. ประสิทธิภาพของแผงผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ [5] [9]

3. สรุป

จากการเก็บข้อมูลค่าไฟฟ้าของโรงงานกรณีศึกษา ปี 2564,2565 จากการไฟฟ้านครหลวง ประเภทผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่ ข้อ 4.2 [10] และจากการประมวลผลด้วยโปรแกรม PVSyst เพื่อจำลองหากำลังการผลิตไฟฟ้า โดยจะทำการศึกษาเปรียบเทียบการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าฯ 3 กรณี จากนั้นนำไปประเมินความคุ้มค่าผ่านตัวชี้วัดทางเศรษฐศาสตร์ ตามข้อ 1.1.5 ดังตารางที่ 3



รูปที่ 4 ค่าพลังงานที่ผลิตได้จากโปรแกรม PVSyst



รูปที่ 5 เปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้าของบริษัทฯ ต่อเดือน และการผลิตไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าแต่ละกรณี

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบค่าด้วยตัวชี้วัดทางเศรษฐศาสตร์ในทุกกรณี

ดัชนีชี้วัดทางเศรษฐศาสตร์	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (บาท)	23,416,127.36	15,781,069.89	23,376,574.79
ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	4.7	6.39	4.77
อัตราผลตอบแทนภายใน(%)	21.08%	15.36%	20.76%
กำลังการผลิตที่ติดตั้ง (kWp)	465.76	473.28	495.6
จำนวนแผง	1,120	1,392	840
ต้นทุนเฉลี่ยต่อหน่วยไฟฟ้าตลอดอายุโครงการ (บาท/หน่วย)	3.8	4.27	3.88

สรุปได้ว่า งานวิจัยนี้มีความคุ้มค่าในการลงทุนทั้ง 3 กรณี โดยจากการทดสอบความอ่อนไหวของตัวแปรนำเข้าพบว่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการอ่อนไหวต่ออัตราการเพิ่ม-ลดของอัตราค่าไฟฟ้าและประสิทธิภาพของแผงผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคามากที่สุด ซึ่งผลการประมาณการปัจจัยดังกล่าวต้องมีความถูกต้องใกล้เคียงกับผลดำเนินการมากที่สุด

หากวิเคราะห์ในมุมมองของความคุ้มค่าในการติดตั้ง กรณีที่1 การติดตั้งด้วยแผงโซลาร์เซลล์ชนิด Mono crystalline (Full cell) [2] เป็นแนวทางที่คุ้มค่าในการลงทุนที่สุด ซึ่งมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ , ผลตอบแทนภายในที่สูงที่สุด นอกจากนี้ ค่าต้นทุนเฉลี่ยต่อหน่วยไฟฟ้าตลอดอายุโครงการ ยังมีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยต้นทุนเฉลี่ยต่อหน่วยไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวงที่โรงงานใช้อยู่ในปัจจุบัน โดยกรณีที่3 และกรณีที่2 มีความคุ้มค่าในการลงทุนรองลงมาตามลำดับ

ในส่วนมุมมองของประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้า กรณีที่ 3 การติดตั้งด้วยแผงโซลาร์เซลล์ชนิด Mono crystalline(Half cell) ซึ่งเป็นชนิดที่ให้ประสิทธิภาพมากที่สุด [4] จากกราฟที่ 1 ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประมาณการได้จากโปรแกรม PVSyst มีค่ามากที่สุด หากผู้ลงทุนท่านใดที่สนใจมีเงินลงทุนที่เพียงพอ กรณีที่3 ถือเป็นตัวเลือกที่น่าสนใจรองลงมากรณีที่ 1 และกรณีที่2 ตามลำดับ

ซึ่งจากการเปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้าของบริษัทฯ ต่อเดือน และการผลิตไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าแต่ละกรณี ดังรูปที่ 5 สามารถสรุปได้ว่าทุกรูปแบบในการติดตั้งทั้ง 3 กรณี สามารถช่วยลดการซื้อพลังงานจากการไฟฟ้านครหลวง โดยบริษัทฯ ใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยวันละ 8 MWh ซึ่งเป็นความต้องการที่สูงกว่าการผลิตไฟฟ้าของระบบโซลาร์เซลล์บนหลังคาในแต่ละกรณี

นอกจากนี้ ทางผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและสอบถามข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องในเรื่องการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคา (RTTV) ของกรณีศึกษา ด้วยโปรแกรม BEC ซึ่งเป็นโปรแกรมสำหรับในการคำนวณการถ่ายเทพลังงานภายในอาคารและหลังคา ผลที่ได้คือหลังคาที่ทำการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ มีค่า RTTV= 7.675 W/m^2 ผ่านเกณฑ์ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง กำหนดค่ามาตรฐานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2564 ซึ่งต้องไม่เกิน RTTV=10 W/m^2 ส่วนหลังคาที่ไม่มีการติดตั้งแผง ค่า RTTV เกินที่กำหนด ดังนั้นการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังของกรณีศึกษานี้สามารถช่วยบดบังความร้อน (RTTV) เข้าสู่หลังคาได้อย่างมาก ถือเป็นการช่วยลดพลังงานและภาระของเครื่องปรับอากาศได้อย่างดีเยี่ยม นอกจากนี้ข้อมูลดังกล่าวถือว่าเป็นประโยชน์ในนการตัดสินใจเลือกการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาได้

4. กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยเรื่อง การประเมินความคุ้มค่าของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา กรณีศึกษา : บริษัท เบอร์ลินฟาร์มาซูติคอลอินดัสตรี้ จำกัด สามารถดำเนินการจนประสบความสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์และสนับสนุนเป็นอย่างดียิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร. พิชญ รัชฎาวงศ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและชี้แนวทางในการวิจัย และปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ จนกระทั่งการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วง ผู้วิจัยขอกราบของพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณ บริษัท กรณีศึกษาที่ สนับสนุนข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

ขอขอบคุณ บริษัทที่รับติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าฯ ผู้เชี่ยวชาญทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการทำแบบสอบถามเพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการวิจัย

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยหวังว่าการวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและผู้ที่สนใจศึกษาต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] น.ริมพล, “คู่มือการออกแบบระบบไฟฟ้า พลังงานแสงอาทิตย์เบื้องต้น,” เล่มที่ 1, 2563.

[2] L. E. Inc., “Solar Business Division,” [ออนไลน์]. Available: https://www.lg.com/jp/images/solar/download/DS_NeON2_72cells_silver.pdf, 2023.

[3] S. Corporation, “Home solar panel system,” [ออนไลน์]. Available: https://us.sunpower.com/sites/default/files/media-library/data-sheets/ds-sunpower-p17-355-commercial-solar-panels.pdf, 2023.

[4] L. Trina Solar Co., "Module," [ออนไลน์]. Available: https://www.trinasolar.com/en-glb/product,2023.

[5] R. K. M. R. R. P. a. M. M. N. M. Kumar, "Performance analysis of 100 kWp grid connected Si-Poly Photovoltaic system using PVsyst simulation tool," Energy Procedia, No.117, pp. 180-189, 2017.

[6] ก. (. กระทรวงพลังงาน, "เกณฑ์ Building Energy Code (BEC) และเกณฑ์การออกแบบ อาคารอนุรักษ์พลังงานประสิทธิภาพสูง," แนวทางเบื้องต้นในการออกแบบ อาคารอนุรักษ์พลังงานประสิทธิภาพสูง เชิงสถาปัตยกรรม, 2559.

[7] อ.ภู่นันทพงษ์, "การศึกษาความเป็นไปได้ขององระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตยแบบติดตั้งบนหลงัคาตามนโยบายการรับซื้อไฟฟ้าสำหรับภาคประชาชนประเภทบ้านอยู่อาศัย" ,2562.

[8] ธ.ตันติสัตยกุล, "การวิเคราะห์เปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาระหว่างการเป็นเจ้าของกับการทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าจากเอกชน กรณีศึกษา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต", 2019.

[9] R. S. a. S. R.Kumar, "Design and simulation of standalone solar PV system using PVsyst Software:A case study," Materials Today : Proceedings, 2020.

[10] การไฟฟ้านครหลวง, "อัตราค่าไฟฟ้า ประเภทกิจการขนาดใหญ่ของการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.)," [ออนไลน์]. Available: https://www.mea.or.th/profile/109/114, 2023.

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

การศึกษาเครื่องทดสอบแรงเฉือน

A Study of a Shearing Testing Machine

ประเสริฐ วิโรจน์ชีวัน[1] ปฏิภาณ ถิ่นพระบาท ฐณพล เวียงทอง พีรสิชณ์ ชฎาธร กันตภณ รมเยศ ณัฐดนัย อ้อมมูล วสันต์ สุธาชีวิสิทธิ์ และ ณทพร จินดาประเสริฐ*

[1] คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร 1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กทม. 10800

prsertwirot@rmutp.ac.th, nataporn.c@rmutp.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบแรงเฉือน โดยทำการศึกษา ออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบแรงเฉือนขึ้นใหม่ เพื่อใช้ทดสอบชิ้นวัสดุให้ตรงตามมาตรฐานที่กำหนด มีความสะดวกในการปฏิบัติการทดสอบ เครื่องทดสอบแรงเฉือนมีต้นกำลังเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 3 แรงม้า ใช้ระบบส่งกำลังไปยังส่วนต่าง ๆ ด้วยระบบไฮดรอลิกส์ ชิ้นงานทดสอบเป็นเหล็กเพลาขาว SS400 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 mm และ 8 mm ยาว 110 mm ทำการทดสอบและเปรียบเทียบผลกับเครื่องทดสอบมาตรฐาน NRI รุ่น TS501-100B

เมื่อนำเครื่องที่สร้างขึ้นไปใช้งานจริง ผลการทดสอบวัสดุที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องมาตรฐาน NRI รุ่น TS501-100B พบว่า ค่าที่ได้มีค่าความคลาดเคลื่อนของแรงเฉือนเท่ากับ ร้อยละ 6.45 เมื่อใช้เหล็กขนาด 6 mm และร้อยละ 2.65 เมื่อใช้เหล็กขนาด 8 mm โดยที่เหล็กถูกเฉือนขาดออกจากกันทุกรอบในแรงที่ใกล้เคียงกันของแต่ละขนาด จึงแสดงให้เห็นได้ว่าเครื่องทดสอบแรงเฉือนที่สร้างขึ้นสามารถใช้งานได้จริงตามมาตรฐาน NASM 1312-13

คำสำคัญ : เครื่องทดสอบแรงเฉือน เหล็กเพลาขาว ระบบไฮดรอลิกส์

Abstract

This research has been conducted with the objectives that is to design and build the shearing testing machine by using an iron with cold drawn bar SS400 which has diameter 6 mm and 8 mm and length 110 mm. The machine has been evaluated from the standard testing machine NRI, MODEL TS501-100B. This purpose in designing the shearing testing machine is to be able to work effectively and meet the standard, have convenient in perform. The shearing testing machine has a source of power which is electrical motor 3 HP for sending power to various parts of hydraulic system. The results show that it can actually be used when compared to the standard NRI TS501-100B standard machine with a tolerance of 6.45% at 6 mm steel and 2.65% at 8 mm of steel and shear steel being torn apart every round. This show that the build machine has the similar result with the standard shearing testing machine at reliable, it can be concluded that the built shearing testing machine can be used according to the NASM 1312-13 standard.

Keywords: shearing testing machine; cold drawn bar; hydraulic system

1. บทนำ

ในภาคอุตสาหกรรมการผลิต การวิเคราะห์แรงเฉือนของวัสดุยังคงมีความต้องการเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ตราบเท่าที่บริษัทต่าง ๆ ยังต้องการเพิ่มประสิทธิภาพของวัสดุให้ได้มากยิ่งขึ้น เพื่อทำให้สามารถประหยัดเรื่องการใช้วัสดุให้น้อยลง ลดค่าใช้จ่าย และถึงแม้ว่าการลดความหนาของวัสดุลงเพียงนิดเดียว อาจทำให้บริษัทมีเงินเพิ่มขึ้นอย่างมากจากการผลิตเป็นจำนวนมาก ๆ แต่สิ่งที่ไม่ควรละเลยก็คือ การป้องกันการฉีกขาดของวัสดุที่จะเกิดขึ้น ก็มีความสำคัญมากขึ้นตามปริมาณการผลิตด้วยเช่นเดียวกัน ไม่เช่นนั้นหากเกิดความเสียหายในระหว่างการใช้งานและอยู่ในการรับประกันสินค้า บริษัทอาจจะต้องสูญเสียเงินในการซ่อมบำรุงเป็นจำนวนมากเช่นเดียวกัน และอาจส่งผลให้มีความเสียหายในชีวิตและทรัพย์สินเกิดขึ้นด้วย ในปัจจุบันมีเครื่องมือและเทคนิคที่สามารถช่วยแก้ไขเรื่องที่มีความซับซ้อนแบบนี้ได้ และสามารถทำได้ค่อนข้างเร็ว หนึ่งในนั้นก็คือ เครื่องทดสอบแรงเฉือน ซึ่งเป็นเครื่องมือที่สามารถทำงานได้รวดเร็ว เชื่อถือได้และช่วยประหยัดเรื่องค่าใช้จ่ายได้ช่วยให้วิศวกรสามารถคาดการณ์และแก้ไขปัญหาที่จะเกิดขึ้นได้

กลุ่มผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาและสร้างเครื่องทดสอบแรงเฉือนขึ้น เนื่องจากทางสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร มีความจำเป็นจะต้องใช้ในการเรียนและศึกษาเกี่ยวกับแรงเฉือนของวัสดุ แต่ปัจจุบันทางสาขาวิชา ฯ ยังไม่มีเครื่องที่ใช้ทดสอบ ทางกลุ่มผู้วิจัยจึงมีความคิดที่จะศึกษาและสร้างเครื่องทดสอบแรงเฉือนขึ้นมาเพื่อให้นักศึกษาสาขาวิศวกรรมเครื่องกลได้มีไว้ใช้ในการศึกษาและวิจัย

2. วัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย

2.1 วัตถุประสงค์ในการวิจัย

1. เพื่อศึกษาและออกแบบเครื่องทดสอบแรงเฉือน
2. เพื่อสร้างเครื่องทดสอบแรงเฉือนโดยใช้ระบบไฮดรอลิกส์
3. เพื่อทดสอบและเปรียบเทียบผลให้ใกล้เคียงกับเครื่องมาตรฐาน

2.2 ขอบเขตของการวิจัย

1. เครื่องทดสอบแรงเฉือนสามารถทดสอบวัสดุกลมตันขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 mm และ 8 mm
2. การเฉือนชิ้นงานโดยใช้แรงอัดไฮดรอลิกส์
3. ทดสอบด้วยแรงแบบ Double shear
4. ชิ้นทดสอบเป็นเหล็กเพลาขาวกลมตันเกรด SS400

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยมีขั้นตอนดังนี้ 1. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 2. สร้างเครื่องทดสอบแรงเฉือน 3. ทดสอบเครื่องทดสอบแรงเฉือนที่สร้างขึ้น 4. สรุปผลการวิจัย

3.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

แรงเฉือน (Shear force) และโมเมนต์ดัด (Bending moment) จะเกิดขึ้นในชิ้นส่วนที่มีแรงกระทำกับชิ้นส่วนในทิศทางตั้งฉากกับชิ้นส่วนนั้น แรงเฉือนและโมเมนต์ดัดจะพบเห็นได้โดยเฉพาะในโครงสร้างที่เป็น คาน (Beam)

แรงเฉือน คือแรงที่พยายามกระทำให้ชิ้นส่วนของโครงสร้างถูกเฉือนให้ขาดออกจากกันในแนวแรงที่กระทำ ซึ่งแรงที่กระทำจะกระทำในทิศทางตั้งฉากกับชิ้นส่วนและทิศทางของแรงจะเป็นไปตามทิศทางของโมเมนต์ของแรงคู่ควบ

โมเมนต์ดัด คือ โมเมนต์ของแรงที่พยายามทำให้ชิ้นส่วนเกิดการโค้งตัวหรือโค้งงอ ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นจากแรงที่กระทำในทิศทางตั้งฉากกับชิ้นงาน หรือเกิดจากโมเมนต์ใด ๆ ที่กระทำกับชิ้นส่วน

ไฮดรอลิกส์ (Hydraulic) เป็นเรื่องเกี่ยวกับคุณสมบัติทางกลของของไหล ในด้านการส่งถ่ายกำลังในเชิงกลด้วยของไหลที่มีสถานะเป็นของเหลวหรือน้ำมันไฮดรอลิกส์ การส่งกำลังในระบบไฮดรอลิกส์ส่วนใหญ่จะมีอุปกรณ์ทำงาน (Actuator) สองประเภทใหญ่ ๆ คือ

1. กระบอกไฮดรอลิกส์ เป็นอุปกรณ์ทำงานที่เคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง

2. มอเตอร์ไฮดรอลิกส์ เป็นอุปกรณ์ทำงานที่เคลื่อนที่ในแนวรัศมี

การคำนวณหาขนาดกระบอกไฮดรอลิกส์ให้เหมาะสมกับการใช้งาน สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (1)

$$D = (F/0.7854P)^{1/2} \quad (1)$$

โดยที่ D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในกระบอกสูบ (m)

F คือ แรงที่กระทำ (N)

P คือ ความดัน (Pa)

0.7854 คือ ค่าพาย (π) หารด้วย 4

กำลังไฮดรอลิกส์ที่ใช้ คำนวณได้ดังสมการที่ (2)

$$P_H = PQ/600 \quad (2)$$

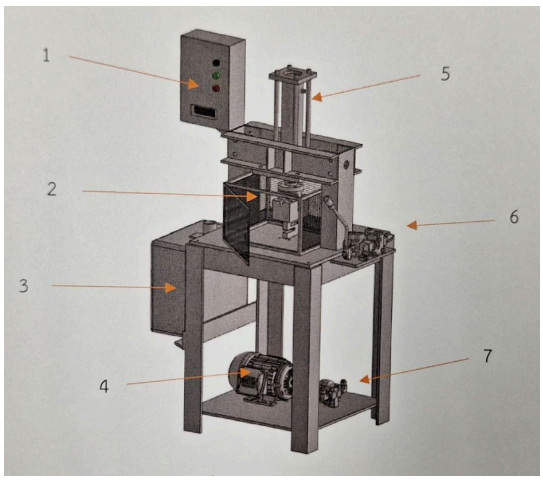
โดยที่ P_H คือ กำลังไฮดรอลิกส์ (kW)

P คือ ความดัน (bar)

Q คือ อัตราการไหล (LPM)

3.2 การสร้างเครื่องทดสอบแรงเฉือน

ขั้นตอนการสร้างเครื่องทดสอบแรงเฉือน เริ่มจากทำการศึกษาค้นคว้าข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของเครื่องทดสอบแรงเฉือนและระบบไฮดรอลิกส์ ทำการออกแบบโดยใช้โปรแกรม SOLIDWORKS แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แบบเครื่องทดสอบแรงเฉือน

โดยมีส่วนประกอบต่าง ๆ ที่สำคัญดังนี้

1. ตู้ควบคุม ทำหน้าที่ ควบคุมการทำงานของเครื่องโดยรับคำสั่งจากผู้ควบคุมเครื่อง
2. ตะแกรงกันชิ้นงาน ทำหน้าที่ กันชิ้นงานกระเด็นจากการทดสอบ
3. ถังน้ำมันไฮดรอลิกส์ ทำหน้าที่ เก็บน้ำมันจากระบบ
4. มอเตอร์ไฟฟ้า ทำหน้าที่ ขับปั๊มไฮดรอลิกส์
5. กระบอกไฮดรอกลิกส์ ทำหน้าที่ กดตัวกดชิ้นงาน
6. วาล์วควบคุมทิศทาง ทำหน้าที่ ความคุมทิศทางการไหลของน้ำมัน
7. ปั๊มไฮดรอลิกส์ ทำหน้าที่ สร้างแรงดันน้ำมัน

เมื่อทำการออกแบบเสร็จแล้ว จึงทำการซื้ออุปกรณ์และสร้างเครื่องทดสอบแรงเฉือนต่อไป รูปชิ้นส่วนหลักและเครื่องที่สร้างเสร็จแสดงดังรูปที่ 2 ถึง 4



รูปที่ 2 ตัวกดชิ้นงาน ตัววางชิ้นงาน และโหลดเซลล์แบบตัว S



รูปที่ 3 มอเตอร์ไฟฟ้า ปั๊มไฮดรอลิกส์ และวาล์วควบคุมทิศทาง



รูปที่ 4 เครื่องทดสอบแรงเฉือนที่สร้างเสร็จสมบูรณ์

4. ผลการวิจัย

เมื่อสร้างเครื่องทดสอบแรงเฉือนเสร็จสมบูรณ์ต้องมีการทดสอบว่าเมื่อนำไปใช้งานจริง ผลที่ได้จากการทดสอบจะเหมือนกับเครื่องทดสอบมาตรฐานหรือไม่ โดยทดสอบกับชิ้นทดสอบเหล็กเพลาขาว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสองขนาด ได้แก่ 6 mm และ 8 mm ยาว 110 mm ทำการทดสอบและเปรียบเทียบผลการทดสอบจากเครื่องทดสอบมาตรฐาน NRI รุ่น TS501-100B จากสถาบันไทย-เยอรมัน TGI (Thai-German Institute) โดยทำการทดสอบเป็นจำนวน 5 รอบของเพลาทั้งสองขนาด และทำการทดสอบรอบที่สองซ้ำอีกครั้ง(เฉพาะเครื่องที่สร้างขึ้น) เพื่อยืนยันผลการทดสอบ



รูปที่ 5 เครื่องทดสอบมาตรฐาน NRI รุ่น TS501-100B

ขั้นตอนการทดสอบ มีดังต่อไปนี้ เตรียมชิ้นทดสอบและนำชิ้นทดสอบใส่ไว้ในที่รองงานให้ตรงตามตำแหน่งที่กำหนดไว้ ทำการตั้งค่าต่าง ๆ ของเครื่องให้เรียบร้อย จากนั้นเริ่มกดชิ้นงานลงอย่างช้า ๆ จนกว่าชิ้นงานจะขาด ดังรูปที่ 6 บันทึกค่าแรงเฉือนที่ได้ไปคำนวณและวิเคราะห์ต่อไป ผลที่ได้จากการทดสอบสามารถนำมาแสดงเป็นกราฟเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากเครื่องทดสอบมาตรฐานดังตารางที่ 1 ถึง 4



รูปที่ 6 การกดชิ้นงานจนชิ้นทดสอบขาดออกจากกัน

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบเหล็กกลมตันขนาด 6 mm ครั้งที่ 1

ครั้งที่ 1 รอบที่	เครื่องทดสอบแรงเฉือนที่สร้าง		เครื่องทดสอบมาตรฐาน NRI รุ่น TS501-100B	
	แรงกด (N)	แรงเฉือน (N/mm^2)	แรงกด (N)	แรงเฉือน (N/mm^2)
รอบที่ 1	30,068.79	531.732	31,066.326	495.474
รอบที่ 2	30,097.08	532.233	30,811.865	491.417
รอบที่ 3	30,087.27	532.059	31,068.098	495.503
รอบที่ 4	29,537.91	522.344	31,326.975	501.071
รอบที่ 5	29,508.48	521.824	31,067.207	495.489
ค่าเฉลี่ย	29,859.90	528.038	31,068.094	495.791

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบเหล็กกลมตันขนาด 6 mm ครั้งที่ 2

ครั้งที่ 2 รอบที่	เครื่องทดสอบแรงเฉือนที่สร้าง		เครื่องทดสอบมาตรฐาน NRI รุ่น TS501-100B*	
	แรงกด (N)	แรงเฉือน (N/mm^2)	แรงกด (N)	แรงเฉือน (N/mm^2)
รอบที่ 1	29,861.64	528.069	31,066.326	495.474
รอบที่ 2	29,930.31	529.284	30,811.865	491.417
รอบที่ 3	29,743.92	525.987	31,068.098	495.503
รอบที่ 4	29,606.58	523.559	31,326.975	501.071
รอบที่ 5	30,018.60	530.845	31,067.207	495.489
ค่าเฉลี่ย	29,832.21	527.549	31,068.094	495.791

หมายเหตุ *ใช้ค่าเดิมจากการทดสอบครั้งที่ 1

ผลการทดสอบจากตารางที่ 1 และ 2 เมื่อทดสอบกับเหล็กกลมตันขนาด 8 mm พบว่า ค่าแรงกดที่ใช้ในการทดสอบและแรงเฉือนที่คำนวณได้จากเครื่องทดสอบแรงเฉือนที่สร้างขึ้นมีค่าใกล้เคียงกับผลที่ได้จากเครื่องทดสอบมาตรฐาน NRI รุ่น TS501-100B โดยค่าที่อ่านได้จากเครื่องที่สร้างขึ้นมีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากเครื่องทดสอบมาตรฐานในทุกค่าการทดสอบ เมื่อเปรียบเทียบการทดสอบทั้งสองครั้งเพื่อยืนยันผลพบว่าการทดสอบทั้งสองครั้งมีแนวโน้มที่เหมือนกัน เมื่อนำผลการทดสอบทั้งสองรอบมาคำนวณเพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนของแรงเฉือน พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ 6.504 และ 6.405 ตามลำดับ

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบเหล็กกลมตันขนาด 8 mm ครั้งที่ 1

ครั้งที่ 1 รอบที่	เครื่องทดสอบแรงเฉือนที่สร้าง		เครื่องทดสอบมาตรฐาน NRI รุ่น TS501-100B	
	แรงกด (N)	แรงเฉือน (N/mm^2)	แรงกด (N)	แรงเฉือน (N/mm^2)
รอบที่ 1	36,404.91	362.126	37,229.492	373.340
รอบที่ 2	37,287.81	370.849	37,154.704	372.590
รอบที่ 3	35,708.40	355.198	37,075.933	371.800
รอบที่ 4	36,503.01	363.102	37,182.141	372.865
รอบที่ 5	35,757.45	355.685	37,170.192	372.745
ค่าเฉลี่ย	36,332.32	361.392	37,162.492	372.668

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบเหล็กกลมตันขนาด 8 mm ครั้งที่ 2

ครั้งที่ 1 รอบที่	เครื่องทดสอบแรงเฉือนที่สร้าง		เครื่องทดสอบมาตรฐาน NRI รุ่น TS501-100B*	
	แรงกด (N)	แรงเฉือน (N/mm^2)	แรงกด (N)	แรงเฉือน (N/mm^2)
รอบที่ 1	36,503.01	363.102	37,229.492	373.340
รอบที่ 2	36,002.70	358.119	37,154.704	372.590
รอบที่ 3	36,993.51	367.98	37,075.933	371.800
รอบที่ 4	37,356.48	371.591	37,182.141	372.865
รอบที่ 5	36,208.71	360.174	37,170.192	372.745
ค่าเฉลี่ย	36,612.88	364.668	37,162.492	372.668

หมายเหตุ *ใช้ค่าเดิมจากการทดสอบครั้งที่ 1

ผลการทดสอบจากตารางที่ 3 และ 4 เมื่อทดสอบกับเหล็กกลมตันขนาด 8 mm พบว่า ค่าแรงกดที่ใช้ในการทดสอบและแรงเฉือนที่คำนวณได้จากเครื่องทดสอบแรงเฉือนที่สร้างขึ้นมีค่าใกล้เคียงกับผลที่ได้จากเครื่องทดสอบมาตรฐาน NRI รุ่น TS501-100B โดยค่าที่อ่านได้จากเครื่องที่สร้างขึ้นมีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากเครื่องทดสอบมาตรฐานในทุกค่าการทดสอบ (มีแนวโน้มเหมือนกับผลการทดสอบเหล็กกลมตันขนาด 6 mm) เมื่อเปรียบเทียบการทดสอบทั้งสองครั้งเพื่อยืนยันผลพบว่า การทดสอบทั้งสองครั้งมีแนวโน้มที่เหมือนกัน เมื่อนำผลการทดสอบทั้งสองรอบมาคำนวณเพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนของแรงเฉือน พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ 3.020 และ 2.274 ตามลำดับ

ผลการทดสอบทั้งสองขนาดเพลาแสดงให้เห็นว่า ผลที่ได้จากเครื่องที่สร้างขึ้นมีความแตกต่างจากเครื่องทดสอบมาตรฐานเพียงเล็กน้อย อาจมีสาเหตุมาจากค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัด การจัดวางชิ้นงานทดสอบ และอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนที่วิเคราะห์ได้จะเป็นข้อมูลในการปรับค่าอุปกรณ์ให้ตรงตามมาตรฐานสำหรับการสอบเทียบ (Calibration) ต่อไป

5. สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้ได้ทำการศึกษา ออกแบบ และสร้างเครื่องทดสอบแรงเฉือนที่สามารถนำมาใช้งานในด้านการศึกษาและวิจัยของสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร เมื่อสร้างเครื่องทดสอบแรงเฉือนเสร็จสมบูรณ์ ได้ทำการทดสอบการนำไปใช้งาน ผลทดสอบกับชิ้นทดสอบเหล็กเพลาขาวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสองขนาด ได้แก่ 6 mm และ 8 mm เปรียบเทียบผลการทดสอบจากเครื่องทดสอบมาตรฐาน NRI รุ่น TS501-100B จากสถาบันไทย-เยอรมัน (TGI) พบว่า ผลที่ได้จากเครื่องที่สร้างขึ้นมีความแตกต่างจากเครื่องทดสอบมาตรฐานเพียงเล็กน้อย จึงสรุปได้ว่า เครื่องทดสอบแรงเฉือนนี้สามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

เมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อเครื่องมาตรฐานของ NRI รุ่น TS501-100B ราคา 300,000 บาท กับเครื่องทดสอบแรงเฉือนที่สร้างขึ้น ใช้งบประมาณเพียง 45,000 บาท สามารถลดค่าใช้จ่ายในการซื้อเครื่องเป็นจำนวนเงิน 255,000 บาท

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้ทำวิจัยขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และสถาบันไทย-เยอรมัน TGI (Thai-German Institute) ในการสนับสนุนการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] วริทธ์ อึ้งภภรณ์ และชาญ ฉนัดงาน, 2556, การออกแบบเครื่องจักรกล, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพ ฯ: ซีเอ็ด ยูเคชั่น

[2] แรงเฉือนและโมเมนต์ดัด [ออนไลน์], แหล่งที่มา https://n-tech.ac.th

[3] ชุดต้นกำลังไฮดรอลิกส์ [ออนไลน์], แหล่งที่มา https://hydraulicchonburi.wordpress.com

ประวัติผู้เขียนบทความ



ผศ. ดร. ประเสริฐ วิโรจน์ชีวัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ทำงานวิจัยทางด้านการออกแบบเครื่องจักรกลและกลศาสตร์ของวัสดุ



ดร. ณทพร จินดาประเสริฐ อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ทำงานวิจัยทางด้านเครื่องยนต์ พลังงานทดแทน เทอร์โมไดนามิกส์ และการอบแห้ง



ผศ. ดร. ปฏิภาณ ถิ่นพระบาท ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ทำงานวิจัยทางด้านเครื่องยนต์ น้ำมันไบโอดีเซล และการอบแห้ง



ดร. ฐณพล เวียงทอง อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ทำงานวิจัยทางด้าน Biomass, Bio-Energy, Terrefaction และการอบแห้ง



อาจารย์ พีรสิชฌ์ ชฎาธร อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ทำงานวิจัยทางด้านการทำความเย็นและปรับอากาศ



นายกันตภณ รมเยศ นักศึกษาปีการศึกษา 2562 สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร



นายวสันต์ สุทธาชีวสิทธิ์ นักศึกษาปีการศึกษา 2562 สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร



นายณัฐดนัย อ้อมมูล นักศึกษาปีการศึกษา 2562 สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

การวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานและความสูญเสียของการไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดไอน้ำจากความร้อนทิ้ง

Availability and irreversibility analysis of flows through heat recovery steam generator

กฤษณะ เศวตโพธิทอง* และ ปูมยศ วัลลิกุล

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการบิน-อวกาศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1518 ถ.พิบูลสงคราม บางซื่อ กรุงเทพ 10800, Emails Tee_nut@outlook.com และ pumyos.v@eng.kmutnb.ac.th

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์สมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์กำเนิดไอน้ำจากความร้อนทิ้ง (HRSG) แบบสามระดับความดัน ซึ่งใช้งานในโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม โดยทำหน้าที่ถ่ายโอนความร้อนทิ้งจากวัฏจักรกังหันก๊าซสู่วัฏจักรกังหันไอน้ำ อัตราการถ่ายโอนความร้อนผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ รวมทั้งสิ้น 625.9 MW ความร้อนที่ถ่ายโอนจากวัฏจักรกังหันก๊าซสู่วัฏจักรกังหันไอน้ำ ทำให้ศักยภาพพลังงานของก๊าซร้อนลดลง 630.3 MW, ในขณะที่ศักยภาพกำลังการผลิตไฟฟ้าของไอน้ำเพิ่มขึ้นในอัตรา 281.5 MW ค่าความสูญเสียแบบย้อนกลับไม่ได้ต่ออัตราการไหลเชิงมวล เป็นดัชนีสมรรถนะของเครื่องถ่ายโอนความร้อน ทั้งนี้ค่าความสูญเสียสูงสุดสามอันดับแรกเกิดขึ้นในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ระดับความดันไอน้ำขั้นกลางทั้งสิ้น โดยเป็นความสูญเสียในเครื่องระเหยน้ำ 1449 kJ/kg,ในเครื่องให้ความร้อนน้ำ 886 kJ/kg และในเครื่องสร้างไอน้ำยิ่งยวด 852 kJ/kg ตามลำดับ

คำสำคัญ : ศักยภาพพลังงานความร้อนลดของก๊าซร้อน; ศักยภาพพลังงานความร้อนเพิ่มของไอน้ำ; อัตราสูญเสียพลังงานต่อมวล;

Abstract

This article describes thermal performance of a triple-pressure heat recovery steam generator. The HRSG is used in combine cycle power plant, to transfer store energy in the exhaust gas from the gas turbine cycle to steam in the steam turbine cycle. The total heat transfer rate, summing up from all heat transfer rates for triple-pressure heat exchangers, is equal to 625.9 MW. The total amount of the availability reduction from the flue gas is 630.3 MW while the availability gain by the steam or the power generation availability increases up to 281.5 MW. The amount of irreversibility loss per mass flow of steam in each heat exchanger has been used as the performance-indicator of the heat transfer process. The three most irreversibility losses are found within the intermediate pressure heat exchangers. They are the evaporator, the economizer and the superheater, the irreversibility losses are 1449 kJ/kg, 886 kJ/kg and 852 kJ/kg respectively.

Keywords: availability reduction of flue gas; availability gain of steam; rate of irreversibility losses;

1. บทนำ

กำลังการผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมนับเป็นปริมาณกำลังการผลิตไฟฟ้าสูงที่สุดของประเทศ เมื่อเทียบกับเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าแบบอื่นๆ ในปี พ.ศ. 2565 การไฟฟ้าฝ่ายผลิต มีกำลังผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าความร้อน โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ โรงไฟฟ้าดีเซล และโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน มีกำลังผลิตไฟฟ้ารวมกันทั้งสิ้น 7,834 MW ในขณะที่กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ผลิตได้ มาจากโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม โดยมีกำลังการผลิตทั้งสิ้น 9,086 MW [1] การผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม เป็นการผลิตไฟฟ้าจากวัฏจักรกังหันก๊าซร่วมกับวัฏจักรกังหันไอน้ำ โดยใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง ในบทความวิจัยนี้ตั้งสมมุติฐานให้ก๊าซร้อนในวัฏจักรกังหันก๊าซเป็นอากาศมาตรฐาน ปริมาณความร้อนทิ้งจากวัฏจักรกังหันก๊าซถ่ายโอนให้กับวัฏจักรกังหันไอน้ำ ผ่านอุปกรณ์กำเนิดไอน้ำจากความร้อนทิ้ง(HRSG) เป็นอัตรารวมทั้งสิ้น 625.9 MW

Shin, Son et al. [2] ศึกษาสมรรถนะการทำงานของ อุปกรณ์กำเนิดไอน้ำจากความร้อนทิ้ง โดยได้ศึกษาลำดับการวางตำแหน่งของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยศึกษาในแง่ต้นทุนและสมรรถนะการถ่ายโอนความร้อน โดยได้แนะนำให้วางเครื่องให้ความร้อนไอน้ำยิ่งยวดความดันสูงและเครื่องให้ความร้อนซ้ำกับไอน้ำยิ่งยวดความดันปานกลางให้ ขนาน และจัดวางเครื่องให้ความร้อนน้ำความดันสูงอยู่ด้านหน้าเพื่อจำกัดขนาดพื้นที่การถ่ายเทความร้อนและลดต้นทุนการจัดสร้าง ในขณะที่ Ibrahim and Rahman [3] จัดวางเครื่องให้ความร้อนซ้ำกับไอน้ำยิ่งยวดความดันปานกลางไว้ด้านหน้าสุด Aliyu, AlQudaihi, et al. [4] ศึกษาพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ส่งผลต่อพลังงานและศักยภาพพลังงานของโรงไฟฟ้าความร้อนร่วมทั้งระบบ เช่นเดียวกันกับ Seinodini และ Aliehyaei [5] วิเคราะห์ผลกระทบทางเศรษฐศาสตร์ ร่วมกับพลังงานและศักยภาพพลังงานของของโรงไฟฟ้าความร้อนร่วมทั้งระบบ

โรงไฟฟ้าความร้อนร่วมยุคใหม่ จะใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องเดียว M. Edris [6] ศึกษาเปรียบเทียบการทำงานระหว่างโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมที่มีเพลาเดียว กับแบบดั้งเดิมที่มีหลายเพลาในการผลิตไฟฟ้า ประเด็นการผลิตไฟฟ้าหลายเพลาอยู่นอกเหนือบทความนี้

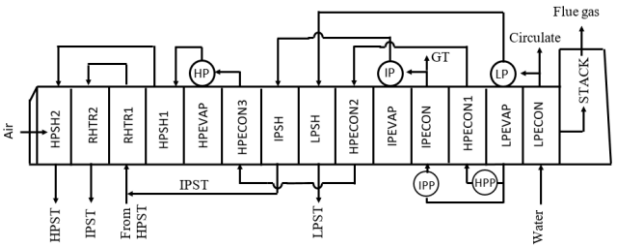
ในบทความนี้จะเกี่ยวกับอัตราการสูญเสียพลังงานและสมรรถนะการถ่ายโอนความร้อนของภายในอุปกรณ์กำเนิดไอน้ำจากความร้อนทิ้ง ทำการวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานของก๊าซร้อนที่ลด, ศักยภาพพลังงานความร้อนเพิ่มของไอน้ำที่เพิ่มขึ้นและอัตราการสูญเสียพลังงาน จากกระบวนการถ่ายโอนความร้อนของก๊าซร้อน ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบต่างๆ

2. อุปกรณ์กำเนิดไอน้ำจากความร้อนทิ้ง

2.1 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและสภาวะของของไหล

อุปกรณ์กำเนิดไอน้ำจากความร้อนทิ้งแบบสามระดับความดันทำหน้าที่ให้ความร้อนน้ำจนกลายเป็นไอน้ำความดันสูง ความดันปานกลาง และความดันต่ำส่งให้กับกังหันไอน้ำทั้งความดันสูง ความดันปานกลาง และความดันต่ำ เพื่อใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า

อุปกรณ์กำเนิดไอน้ำจากความร้อนทิ้งแบบสามระดับความดันประกอบด้วยเครื่องระเหยน้ำความดันสูง(HPEVAP) 17.0 MPa, ความดันปานกลาง(IPEVAP) 3.81 MPa และความดันต่ำ(LPEVAP) 0.55 MPa อย่างละ 1 เครื่อง ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 อุปกรณ์กำเนิดไอน้ำจากความร้อนทิ้ง(HRSG)

นอกจากนี้มีเครื่องให้ความร้อนน้ำ ความดันต่ำ ความดันปานกลาง และความดันสูง เครื่องให้ความร้อนไอน้ำยิ่งยวดความดันต่ำ ความดันปานกลาง และ ความดันสูง และเครื่องให้ความร้อนซ้ำกับไอน้ำยิ่งยวดความดันปานกลาง รวมเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทั้งสิ้น 14 เครื่อง

3. วิธีการดำเนินงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 ประสิทธิผลการถ่ายโอนความร้อน

อัตราการไหลเชิงมวล และค่าสภาวะของน้ำ/ไอน้ำ ที่ทางเข้า-ทางออกของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแต่ละเครื่องที่ใช้ในบทความวิจัยนี้ ได้กำหนดค่าขึ้น โดยเทียบเคียงกับอุปกรณ์กำเนิดไอน้ำจากความร้อนทิ้ง แบบสามระดับความดัน ที่ปรากฏใน [1-4] อัตราไหลเชิงมวลและอัตราการถ่ายโอนความร้อนผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแต่ละเครื่องแสดงในตารางที่1

ตารางที่ 1 มวลและสภาวะของไอน้ำที่ทางออกเครื่องถ่ายโอนความร้อน

เครื่องถ่ายโอนความร้อน	$\dot{m}_{st}$ (kg/s)	$\dot{Q}$ (kW)	ε $(\dot{Q}/\dot{Q}_{max})$
HPSH2	133	48,180	0.68
RHTR2	144.9	40,180	0.88
RHTR1	144.9	40,180	0.54
HPSH1	133.3	88,099	0.64
HPEVAP	133.3	114,571	0.91
HPECON3	133.3	44,190	0.83
IPSH	13.6	2,503	0.79
LPSH	17.6	5,655	0.91
HPECON2	133.3	45,773	0.82
IPEVAP	13.6	23,524	0.91
IPECON	13.6	43,322	0.96
HPECON1	133.3	43,322	0.96
LPEVAP	17.6	36,986	0.85
LPECON	206.4	81,781	0.94

อุณภูมิก๊าซร้อนที่ไหลเข้าเครื่องอุ่นไอน้ำยิ่งยวดความดันสูงเครื่องที่ 2 (HPSH2) เป็นอุณภูมิก๊าซร้อนที่สูงสุดที่ 658.9℃ ส่วนอุณภูมิต่ำสุดของก๊าซร้อน อยู่ที่ตำแหน่งการไหลออกจากเครื่องอุ่นน้ำความดันต่ำ(LPECON) และออกสู่ปล่องระบายไอเสียที่อุณหภูมิ 82.5℃

เนื่องจากอัตราความร้อนที่ก๊าซร้อนถ่ายโอนสู่ไอน้ำทั้งสิ้นมีค่า 625,927 kW ดังนั้นอัตราการไหลเชิงมวลของก๊าซร้อนมีค่า 1,021.5 kg/s ใช้อัตราการไหลของก๊าซร้อนนี้ ในการคำนวณอัตราความร้อนถ่ายโอนจากก๊าซร้อนสู่ไอน้ำ คำนวณจากสมดุลย์พลังงาน ดังสมการที่ (1)

$$\dot{Q} = \dot{m}_{st}\left(h_{st,e} - h_{st,i}\right) = \dot{m}_{air}\left(h_{air,i} - h_{air,e}\right) \qquad (1)$$

สมการที่ (1) ร่วมกับอัตราการถ่ายโอนความร้อนภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนกำหนดไว้ตามตารางที่1 ใช้คำนวณหาอุณภูมิของก๊าซร้อนที่ตำแหน่งต่างๆ

ค่าประสิทธิผลการถ่ายโอนความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนใดๆ คือสัดส่วนอัตราการถ่ายโอนความร้อน ต่ออัตราการถ่ายโอนความร้อนสูงสุด ดังแสดงในสมการที่ (2)

$$\varepsilon = \dot{Q}/\dot{Q}_{max} \qquad (2)$$

อัตราการถ่ายโอนความร้อนสูงสุดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนใดๆ คำนวณจากอุณหภูมิไอน้ำและอุณภูมิก๊าซร้อนดังนี้

$$\dot{Q}_{max} = C_{st}(T_{air,i} - T_{st,i}) \qquad (3)$$

โดย C_{st} คือ อัตราความจุความร้อนของไอน้ำ มีค่าเท่ากับสัดส่วนความร้อนต่อผลต่างอุณภูมิของไอน้ำเข้า-ออก หรือ $C_{st} = \dot{Q}/(T_{st,e} - T_{st,i})$ ผลการคำนวณค่าประสิทธิผลการถ่ายโอนความร้อน แสดงในตารางที่ 1

3.2 ความสูญเสียพลังงานในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

ความสูญเสียแบบย้อนกลับไม่ได้ ในกระบวนการถ่ายโอนความร้อนระหว่างก๊าซร้อนกับไอน้ำที่มีอุณภูมิต่ำ ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน สามารถคำนวณจาก ผลคูณของอุณหภูมิกับอัตราการเกิดเอ็นโทรปี $(T_o\dot{S}_{gen})$ ดังแสดงในสมการที่ (4)

$$\dot{I} = T_o\dot{S}_{gen} = T_o[(\Sigma\dot{m}_e s_e - \Sigma\dot{m}_i s_i)] \qquad (4)$$

ความสูญเสียเป็นฟังก์ชันของการเปลี่ยนแปลงเอ็นโทรปีของของไหล ซึ่งรวมทั้งของก๊าซร้อนและของไอน้ำ สมรรถนะการถ่ายโอนศักยภาพพลังงานจากก๊าซร้อนไปสู่ไอน้ำ แสดงในหัวข้อถัดไป

3.3 ศักยภาพพลังงานของไอน้ำที่เพิ่มขึ้น

เมื่อสภาวะอ้างอิงคือ (T_o, P_o) ค่าศักยภาพพลังงานของของไหลกำหนดจาก: $\psi = h - h_o + T(s - s_o)$

ผลต่างศักยภาพพลังงานของของไหล ที่ไหลเข้าออกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเท่ากับอัตราความสูญเสียพลังงาน เขียนได้ดังสมการที่ (5)

$$\dot{m}_{air}(\psi_{air,i} - \psi_{air,e}) - \dot{m}_{st}(\psi_{st,e} - \psi_{st,i}) = \dot{I} \quad (5)$$

เมื่อ $\dot{m}_{air}$ และ $\dot{m}_{st}$ คืออัตราการไหลเชิงมวลของก๊าซร้อน และอัตราการไหลเชิงมวลของไอน้ำ ที่ไหลเข้า-ออก จากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องหนึ่งๆ เขียนสมการที่(5) ในรูปศักยภาพพลังงานของก๊าซร้อนที่ลดลง ศักยภาพพลังงานของไอน้ำที่เพิ่มขึ้น และความสูญเสียต่ออัตราการไหลของมวลของไอน้ำ [kJ/kg] ดังนั้นสมการที่ (5) ลดรูปเป็น

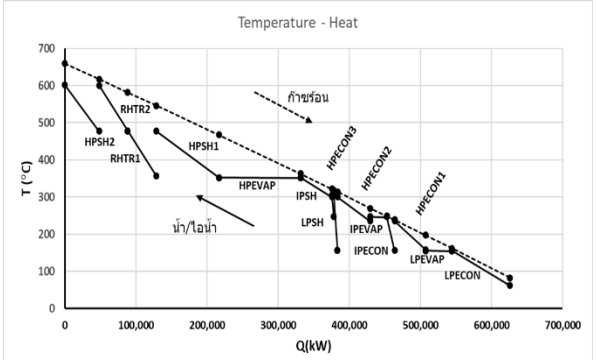
$$\Delta\psi_{air,reduce} - \Delta\psi_{st,gain} = \dot{I}/\dot{m}_{st} \quad (6)$$

4. ผลงานวิจัย

4.1 ประสิทธิผลการถ่ายโอนความร้อน

อุณหภูมิก๊าซร้อนลดลงต่อเนื่องแบบเส้นตรง เมื่อเทียบกับอัตราการถ่ายโอนความร้อน จากเครื่องถ่ายโอนความร้อนที่เรียงกันตามลำดับ อุณภูมิก๊าซร้อนยังเป็นค่าจำกัดสูงสุด ของอุณหภูมิไอน้ำที่เพิ่มขึ้นในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแต่ละเครื่องอีกด้วย

ค่าอุณภูมิก๊าซร้อน-อัตราการถ่ายโอนความร้อน ยังเป็นกรอบสำหรับค่าอุณภูมิไอน้ำสูงที่สุด ของของที่ไหลผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแต่ละชนิด อุณภูมิไอน้ำที่เพิ่มขึ้นในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแต่ละประเภท เมื่อรับความร้อนจากก๊าซร้อน แสดงในรูปที่ 2 ผลต่างอุณภูมิจุด Pinch ของเครื่องระเหยน้ำทั้งสามความดันคือ

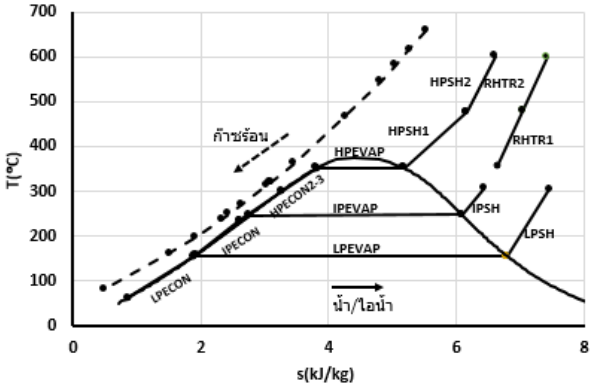


รูปที่ 2 อัตราการถ่ายโอนความร้อน-อุณหภูมิ

ผลต่างอุณหภูมิที่จุดพินช์ (Pinch) ของเครื่องระเหยน้ำความดันสูง ความดันปานกลาง และความดันต่ำมีค่า 10.3°C, 1.6°C และ 6.1°C ตามลำดับ

4.2 ความสูญเสียพลังงานในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

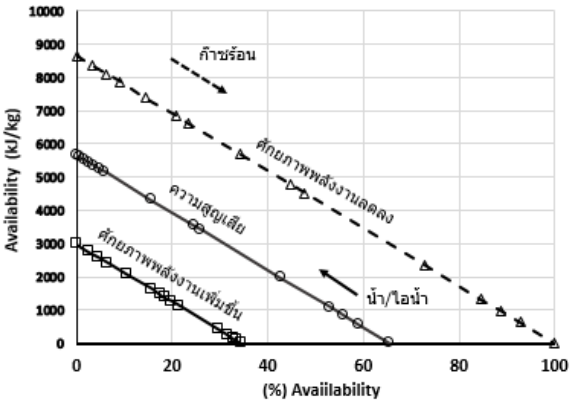
ไดอะแกรมอุณหภูมิ-เอ็นโทรปีของก๊าซร้อนและไอน้ำ แสดงในรูปที่ 3 เอ็นโทรปีของก๊าซร้อนลดลง ขณะที่ค่าเอ็นโทรปีของไอน้ำเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดโอกาสความสูญเสียพลังงานระหว่างกระบวนการถ่ายโอนความร้อน ตามความสัมพันธ์เอ็นโทรปีกับความสูญเสียพลังงานดังสมการที่ (4)



รูปที่ 3 เอ็นโทรปีจำเพาะ-อุณหภูมิ

4.3 ศักยภาพพลังงานของไอน้ำที่เพิ่มขึ้น

การแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนภายในอุปกรณ์กำเนิดไอน้ำจากความร้อนทิ้งทำให้ผลรวมศักยภาพพลังงานก๊าซร้อนที่ลดลงมีค่า 8,643.57 kJ/kg (100%) ผลรวมศักยภาพพลังงานไอน้ำเพิ่มขึ้น 2,978.00 kJ/kg (34.45%) และผลรวมความสูญเสียพลังงาน 5,665.57 kJ/kg (65.55%) ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ศักยภาพพลังงานที่ลดลง, เพิ่มขึ้น และความสูญเสีย

ศักยภาพพลังงานของก๊าซร้อนที่ลดลง ศักยภาพพลังงานของไอน้ำที่เพิ่มขึ้นและพลังงานที่สูญเสียต่อมวลของไอน้ำ ที่ไหลในเครื่อง

แลกเปลี่ยนความร้อนทุกเครื่อง ในเครื่องกำเนิดไอน้ำจากความร้อนทิ้ง สามารถแปลงเป็นค่ากำลังก๊าซร้อนที่ลดลง 630.3 MW กำลังของไอน้ำที่เพิ่มขึ้น 281.5 MW และความสูญเสียพลังงาน 348.8 MW

กำลังของไอน้ำที่เพิ่มขึ้น มีความหมายอีกนัยหนึ่งคือศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรกังหันไอน้ำ ดังนั้นอุปกรณ์กำเนิดไอน้ำจากความร้อนทิ้งของโรงไฟฟ้าความร้อนร่วมที่ทำการวิคราะห์นี้ มีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าได้สูงที่สุด 281.5 MW

5. สรุป

อุปกรณ์กำเนิดไอน้ำจากความร้อนทิ้ง ที่ศึกษาในบทความวิจัยนี้ มีสมรรถนะในการถ่ายโอนความร้อนจากก๊าซร้อนสู่ไอน้ำ ด้วยอัตราการถ่ายโอนความร้อน 625.9 MW ประสิทธิผลการถ่ายโอนความร้อนของเครื่องให้ความร้อนซ้ำ(RHTR1) มีค่าน้อยที่สุด เท่ากับ 0.54% ในขณะที่เครื่องอุ่นน้ำ (IPECON) มีค่าสูงที่สุด 0.98% อุณหภูมิการทำงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนใดๆ ในอุปกรณ์กำเนิดไอน้ำจากความร้อนทิ้ง ส่งผลโดยตรงต่อค่าประสิทธิผลการแลกเปลี่ยนความร้อน ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนนั้นๆ

ความสูญเสียแบบย้อนกลับไม่ได้ เป็นดัชนีแสดงค่าสมรรถนะของเครื่องถ่ายโอนความร้อนนั้นๆ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากอุณภูมิอ้างอิงและอัตราการกำเนิดเอ็นโทรปี ค่าความสูญเสียต่อมวลสูงสุดสามอันดับแรกเกิดขึ้นในเครื่องระเหยน้ำ (IPEVAP) 1449 kJ/kg,ในเครื่องให้ความร้อนน้ำ (IPECON) 886 kJ/kg และในเครื่องสร้างไอน้ำยิ่งยวด (IPSH) 852 kJ/kg ตามลำดับ

เมื่อคิดเป็นกำลังการถ่ายโอนความร้อน พบว่ากำลังของก๊าซร้อนลดลงในอัตรา 630.3 MW กำลังของไอน้ำเพิ่มขึ้น 281.5 MW และเป็นกำลังสูญเสีย 348.8 MW

ในการผลิตไฟฟ้าถือว่ากำลังผลิตไฟฟ้าสูงที่สุดจากวัฏจักรกังหันไอน้ำ จะเท่ากับกำลังของไอน้ำที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นกำลังการผลิตไฟฟ้าสูงที่สุดของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม ในส่วนเฉพาะวัฏจักรกังหันไอน้ำ สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 281.5 MWe

เอกสารอ้างอิง

[1] กองสื่อสารภายนอก ฝ่ายสื่อสารและประชาสัมพันธ์องค์กรการไฟฟ้าฝ่ายผลิต, (2565), [Online], กำลังการผลิตในระบบไฟฟ้า. Available: https://www.egat.co.th/home/statistics-all-egat/

[2] J-Y. Shin, Y-S. S, M-G. Kim, J-S. Kim, Y-J Jeon, Performance Analysis of a Triple Pressure HRSG, KSME International Journal,vol.17 No.11, 2003, pp. 1746-1755.

[3] T.K.Ibrahim and M. M. Rahman Study on effective parameter of the triple-pressure reheat combined cycle performance Thermal Science: Vol.17, No.2, 2013, pp. 497-508

[4] M. Aliyu, A.B. AlQudaihi, S.A.M Said, M.A. Habib Energy, exergy and parametric analysis of a combined cycle power plant, Thermal Science and Engineering Progress 15 (2020) 100450

[5] M. Zeinodini and M Aliehyaei, Energy, exergy and economic analysis of a new triple-cycle power plant generation configuration and selection of the optimal working fluid, Mechanics & Industry 20, 501 (2019) AFM, EDP Sciences 2019

[6] M. Edris, Comparison between single-shaft and mutli-shaft gas fired 800 MWel combined cycle power plant, Applied Thermal Engineering 30, 2010, pp. 2339-2349.



กฤษณะ เศวตโพธิทอง จบการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ



ปูมยศ วัลลิกุล D.Sc. (Mechanical Engineering), The George Washington University, USA
Research interest: Combustion diagnostics, fire dynamics, computer simulation on mechanical engineering

การจำลองการถ่ายเทความร้อนของฮีทซิงค์สำหรับหลอดไฟ LED กำลังสูง: แบบที่มีและไม่มีโดเมนของของไหล

Heat Transfer Simulation for Heat Sink of High-Power LED: With and Without Fluid Domain

ไชยา สุภัคเจริญศรี[1] และ ผศ.ดร.พิสิฐ ยงยิ่งศักดิ์ถาวร[2*]

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการบิน-อวกาศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1518 ถนนประชาราษฎร์ 1 เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800 E-mail : chaiya.supak@gmail.com. pisit.y@eng.kmutnb.ac.th*

บทคัดย่อ

ครีบระบายความร้อนมีส่วนช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพและการยืดอายุการใช้งานของหลอดไฟ LED งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการออกแบบและพัฒนาครีบระบายความร้อน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อจำลองเชิงตัวเลขของการระบายความร้อนของครีบแนวรัศมีสำหรับหลอดไฟ LED กำลังสูงที่ใช้วัสดุอลูมิเนียมเกรด 6061 โดยทำการจำลองการพาความร้อนแบบอิสระทั้งแบบที่ไม่มีโดเมนของของไหลและแบบที่มีโดเมนของของไหล โดยครีบระบายความร้อนที่ใช้ในการจำลองนี้มีอัตราส่วนความสูงและความกว้างของครีบเท่ากับ 0.18 และ 5.6 สำหรับการจำลองแบบที่ไม่มีโดเมนของของไหลได้กำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ยคงที่เท่ากับ 4.7 $W/m^2 \cdot °C$ ขณะที่การจำลองแบบที่มีโดเมนของของไหลมีการใช้ Boussinesq Model ที่เหมาะสมกับการจำลองการพาความร้อนแบบอิสระ ผลการจำลองที่ได้พบว่าการจำลองแบบที่ไม่มีและแบบที่มีโดเมนของของไหลให้ผลที่แตกต่างกัน การจำลองแบบที่ไม่มีโดเมนของของไหลจะให้ค่าความต้านทางความร้อนเฉลี่ยในกรณีที่ AR = 0.18 ต่ำกว่ากว่ากรณีที่ AR = 5.6 เล็กน้อย และให้รูปแบบการกระจายอุณภูมิบนฐานครีบแตกต่างกัน ขณะที่การจำลองแบบที่มีโดเมนของของไหลไหล จะให้ค่าความต้านทางความร้อนในกรณีที่ AR = 5.6 ต่ำกว่ากรณีที่ AR =0.18 อย่างชัดเจน และให้การกระจายอุณหภูมิในลักษณะเดียวกัน ความแตกต่างนี้เกิดจากการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่แตกต่างกัน การจำลองแบบที่ไม่มีโดเมนของของไหลได้กำหนดเป็นเฉลี่ยตลอดพื้นผิวครีบ แต่การจำลองแบบที่มีโดเมนของของไหลจะมีสัมประสิทธิ์การพาความร้อนขึ้นอยู่กับผลจำลองของการไหลของอากาศรอบตัวครีบ

คำสำคัญ: การพาความร้อนแบบอิสระ, ครีบระบายความร้อน, หลอดไฟ LED, การจำลองเชิงตัวเลข, ความต้านทางความร้อน

Abstract

A heat sink can promote the efficiency and lifetime of a LED lamp. This research is a part of project to design and develop the radial heat sink for the LED lamp. The objective of this work is to employ numerical simulation with and without fluid domain on free convection of the radial heat sink, made by Aluminum 6061. In simulation, study is carried out on the heat sinks with two different aspect ratios (AR) of fin, AR = 0.18 and 5.6. A convective heat transfer coefficient is set to be constantly 4.7 $W/m^2 \cdot °C$ for the case, without fluid domain. For simulation with fluid domain, Boussinesq Model appropriated for convection problem is applied. The obtained results show the difference between the two approaches, with and without fluid domain. In the case of without fluid domain, the case of AR = 0.18 has a little lower thermal resistance than the case of AR = 5.6. The trend of temperature distributions on the fin bases is oppositely different. For simulation with fluid domain, the better heat transfer is clearly seen in the case of AR = 5.6 and the temperature distributions on the fin bases show the same trend. This difference between with and without fluid domain is mainly owning to the value of the convective heat transfer coefficient. Simulation without fluid domain, heat transfer coefficient is set to be constant for all surfaces. In the case of with fluid domain, the heat transfer coefficient is depending on the fluid flow around the fin surfaces.

Keywords: Free Convection, Heat Sink, LED, Numerical Simulation, Thermal Resistance

1. บทนำ

ปัจจุบันหลอดแอลอีดีหรือไดโอดเปล่งแสง (Light emitting diode หรือ LED) เป็นแหล่งกำเนิดแสงสว่างที่นิยมใช้อย่างกว้างขวาง ให้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่ดีกว่าหลอดไส้ และหลอดฟลูออเรสเซนต์ หลอด LED มีโครงสร้างประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำสองชนิดอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านรอยต่อ PN ทำให้เกิดกระแสไหล มีระดับพลังงานของอิเล็กตรอนเปลี่ยนไปและคายพลังงานออกมาในรูปคลื่นแสง [1] พลังงานส่วนหนึ่งจะเปลี่ยนอยู่ในรูปของความร้อนภายในชิปของหลอดแอลอีดี (LED chip) ทำให้ตัวหลอดมีอุณหภูมิสูง ส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งาน ครีบระบายความร้อนหรือฮีทซิงก์ (Heat Sink) จึงมีบทบาทสำคัญในการช่วยระบายความร้อนของหลอดไฟสู่บรรยากาศภายนอก ส่งผลให้หลอดไฟมีประสิทธิภาพในการทำงานมากขึ้นและมีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น

มีงานวิจัยหลายงานวิจัยที่ได้ทำการออกแบบครีบระบายความร้อนแนวรัศมี (Radial Heat Sink) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการระบายความร้อนของครีบ

ในปี 2017 Ravikumar, Subash, Harish and Sivaji [2] ได้ทำการวิเคราะห์เชิงตัวเลขโดยใช้ Steady State Thermal เพื่อออกแบบครีบระบายความร้อนสำหรับ CPU โดยใช้อลูมิเนียม ทองแดง ครีบที่ออกแบบ

มี 5 ประเภท คือ Rectangular Base Circular Fin, Circular Base Circular fin , Circular Base Various Profile fin, AMD fin และ Rectangular Base Wall Fin โดยมีการศึกษาอิทธิพลของลักษณะทรงกระบอก ทรงกลมและทรงสี่เหลี่ยม ผลที่ได้พบว่า ครีบแบบ Circular Base Various Profile fin ให้ประสิทธิภาพการระบายความร้อนดีที่สุด

ในปี 2018 Reddy, Prasad and Hussain [3] ได้ทำการวิเคราะห์เชิงตัวเลขโดยใช้ Steady State Thermal เพื่อออกแบบครีบระบายความร้อนสำหรับอิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้อลูมิเนียมเกรด 6063 และทองแดง ครีบที่ออกแบบมี 3 ประเภท คือ Rectangular , Rectangular of Slot Rectangular และ Slot Circular ผลที่ได้พบว่า ทองแดงมีการกระจายอุณหภูมิที่ดีกว่าอลูมิเนียม และครีบแบบ Rectangular of slot rectangular ให้ประสิทธิภาพในการระบายความร้อนดีที่สุด

ในปี 2011 Yu, Lee and Yook [4] ได้ทำการวิเคราะห์เชิงตัวเลขเพื่อออกแบบครีบระบายความร้อนสำหรับหลอดไฟ LED โดยใช้อลูมิเนียมเกรด 2014 ครีบที่ออกแบบมี 3 ประเภท คือ L, LM และ LMS โดยได้ศึกษาอิทธิพลของจำนวนครีบและขนาดของครีบ ผลที่ได้พบว่าครีบแบบ LM ให้ประสิทธิภาพการระบายความร้อนดีที่สุด

ถัดมาในปี 2012 Yu, Jang and Lee [5] ได้ทำงานวิจัยต่อเนื่องจากก่อนหน้า โดยทำการออกแบบครีบแนวรัศมี LM plate-fin แต่เปลี่ยนมาใช้อลูมิเนียมเกรด 6061 ครีบที่ใช้ศึกษามี 3 แบบ คือ แบบไม่ชุบ (No Treatment), แบบชุบโครมเมียม (Chrome Gilding) และแบบชุบสีอะโนไนซ์ดำ (Black Anodizing) ผลที่ได้พบว่า แบบชุบสีอโดไดซ์ดำ ให้ประสิทธิภาพการระบายความร้อนสูงสุด หรือความต้านทานความร้อนต่ำที่สุด

ในปี 2014 งานวิจัยของ Jang, Yook and Lee [6] ได้นำครีบแบบ LM plate-fin มาพัฒนาต่อโดยออกแบบใหม่ให้เป็นแบบ In-line array โดยแบ่งออกเป็น แบบเรียงจากสูงไปต่ำตามแนวรัศมี (ประเภท 1) และแบบเรียงจากต่ำไปสูงตามแนวรัศมี (ประเภท 2) ในการศึกษาใช้การวิเคราะห์เชิงตัวเลขร่วมกับการทดลอง ผลที่ได้พบว่าแบบเรียงจากต่ำไปสูงตามแนวรัศมี (ประเภท 2) ให้ประสิทธิภาพการระบายความร้อนได้ดีที่สุด โดยดีขึ้นกว่าแบบดั้งเดิม LM plate-fin 50%

ในปี 2017 Huang and Wang [7] ได้นำครีบระบายความร้อนประเภท In-line Array จากงานวิจัยของ Jang, Yook and Lee [4] มาศึกษาและพัฒนาต่อ วัสดุที่ใช้ทำจากอลูมิเนียมเกรด 6061 เหมือนกัน โดยใช้การคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหล (CFD) ครีบที่ศึกษามี 3 แบบ คือ (1) แบบ In-line (2) แบบ In-line (ประเภท 2) และ (3) Design B ผลการจำลองที่ได้พบว่า แบบครีบด้านนอก (Design B) ให้ค่าความต้านทานความร้อนต่ำที่สุด หรือประสิทธิภาพการระบายความร้อนดีที่สุดนั่นเอง

จากการทบทวนงานวิจัยพบว่ามีการพัฒนาครีบระบายความร้อนแนวรัศมีมาอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามยังขาดข้อมูลการศึกษาที่เป็นระบบ ครอบคลุมพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง และพบว่ายังมีศักยภาพที่จะเพิ่มประสิทธิภาพในการระบายความร้อนให้สูงขึ้นไปได้อีก

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการออกแบบและพัฒนาครีบระบายความร้อนให้มีประสิทธิภาพสูง โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อดูผลกระทบของการจำลองเชิงตัวเลข แบบที่มี และไม่มีโดเมนของของไหล (With and Without Fluid Domain) ต่อการพาความร้อนแบบอิสระโดยครีบระบายความร้อนแนวรัศมีที่ใช้ศึกษาในงานวิจัยนี้ถูกออกแบบสำหรับหลอดไฟ LED ขนาด 20 วัตต์ โดยใช้วัสดุอลูมิเนียมเกรด 6061

ในการจำลองเชิงตัวเลขแบบที่ไม่มีโดเมนของของไหลเป็นการหาคำตอบของสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย (Partial Differential Equations) ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) ขณะที่การจำลองเชิงตัวเลขแบบที่มีโดเมนของของไหลเป็นการหาคำตอบด้วยวิธีไฟไนต์โวลุม (Finite Volume Method)

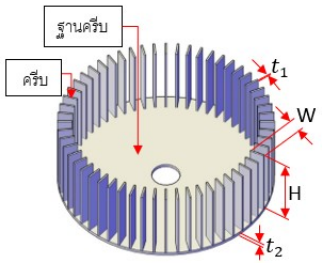
2. การจำลองเชิงตัวเลขแบบไม่มีโดเมนของของไหล

2.1 ขั้นตอนการจำลองแบบไม่มีโดเมนของของไหล

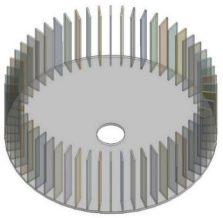
ขั้นตอนนี้จะเริ่มต้นด้วยการสร้างโมเดล (Modeling) ตามโมเดลต้นแบบ (Baseline Model) ดังรูปที่ 1 เป็นโมเดลแบบ 3 มิติ ครีบระบายความร้อนต้นแบบ ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ส่วนแรกคือฐานของครีบ และส่วนที่สองคือตัวครีบ โดยฐานครีบมีขนาดฐานกว้าง 150 mm และความหนา (t_2) 2 mm ส่วนตัวครีบมีความสูง (H) 56 mm ความกว้าง (W) 10 mm และความหนาของครีบ (t_1) 1 mm แบบ 3 มิติ รูปที่ 2 แสดง Model ของครีบระบายความร้อนที่สร้างขึ้นเพื่อทำการจำลองแบบไม่มีโดเมนของของไหล

สำหรับตัวครีบระบายความร้อนที่ใช้ศึกษาเพื่อดูผลการจำลองแบบที่มีและไม่มีโดเมนของของไหล จะมี 2 ขนาด ตัวแรก คือ ตัวที่มีขนาดตามในรูปที่ 1 ซึ่งมีอัตราส่วนของ H/W หรือ Aspect ratio (AR) เท่ากับ 5.6 ตัวที่สองมี AR = 0.18 (H = 10 mm และ W = 56 mm)

ขั้นตอนที่สองเป็นการทำ Meshing โดยได้ทดลองกำหนดชนิดของเมชแตกต่างกัน 4 แบบ คือ Tetrahedral, Sweep-All Tri, Sweep-All Quad, และ Sweep-Quad/Tri ผลที่ได้พบว่าค่า Skewness ของ Quad/Tri มี



รูปที่ 1 ลักษณะครีบต้นแบบ (Baseline Model)



รูปที่ 2 Model ของครีบสำหรับกรณีที่ไม่มีโดเมนของของไหล

ค่าต่ำที่สุด ดังนั้นจึงเลือกเมชชนิดนี้ใช้ในการจำลอง นอกจากนี้ได้ทดสอบอิทธิพลของจำนวนเมช และได้เลือกใช้จำนวนเมชที่ประมาณ 100,000 เอลิเมนต์

ขั้นตอนที่สามเป็นการตั้งค่าก่อนทำการคำนวณหาคำตอบ (Solution) เริ่มจากการกำหนดวัสดุใน Engineering Data โดยเลือกเป็นวัสดุอลูมิเนียมเกรด 6061 ที่มีคุณสมบัติดังตารางที่ 1 จากนั้นกำหนดเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Conditions) ดังตารางที่ 2 โดยค่าฟลักซ์ความร้อน อุณหภูมิของบรรยากาศ และ สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน ได้อ้างอิงจากหลอดไฟขนาด 20 วัตต์ [7] ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h) ถูกกำหนดให้เป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.7 $W/m^2 \cdot °C$ ในการหาคำตอบใช้สมการพลังงาน (Energy Equation) สำหรับปัญหาแบบคงตัว (Steady)

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของวัสดุ

Aluminum Alloy 6061 Properties	**Amount**
Density	2.7 g/cm^3
Thermal Conductivity	170 W/(m-K)
Specific Heat Capacity	896 J/(kg·K)

ตารางที่ 2 เงื่อนไขขอบเขต

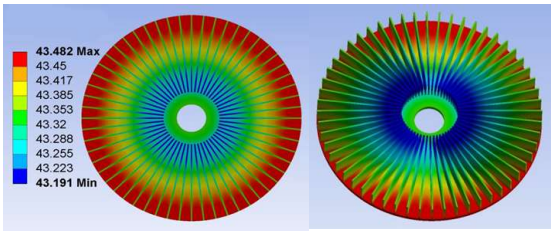
Boundary Conditions	**Average**
Heat Flux	700 W/m^2
Atmospheric Temperature	29.85 °C
Emissivity	0.94

2.2 ผลการจำลองแบบไม่มีโดเมนของของไหล

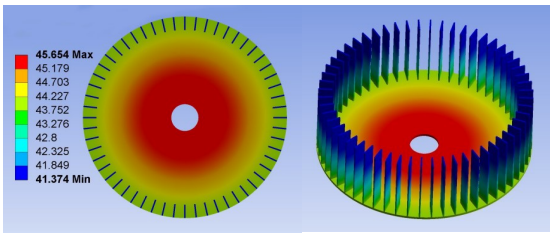
จากผลการจำลองในรูปที่ 3 พบว่ากรณีที่ AR = 0.18 การกระจายอุณหภูมิบนฐานครีบจะมีค่าต่ำกว่าที่ตรงกลางและมีค่าสูงกว่าที่ขอบด้านนอก อุณหภูมิสูงสุด (T_{max}) มีค่าเท่ากับ 43.48°C ในขณะที่กรณี AR = 5.6 การกระจายอุณหภูมิบนฐานครีบจะมีค่าสูงกว่าที่ตรงกลางและมีค่าต่ำกว่าที่ขอบด้านนอก อุณหภูมิสูงสุด (T_{max}) ที่ค่าเท่ากับ 45.65°C

การเพิ่มขึ้นของค่า AR คือ ครีบมีความกว้างน้อยลงแต่มีความสูงมากขึ้น ทำให้อุณหภูมิของฐานครีบเพิ่มขึ้นที่บริเวณตรงกลาง จนกระทั่งมีค่าสูงกว่าค่าที่ขอบด้านนอก (ดังรูปที่ 4)

รูปที่ 5 แสดงการกระจายของอุณภูมิที่ตัวครีบ (ขอบด้านนอก) พบว่าอุณหภูมิบนตัวครีบจะลดลงตามความสูงของครีบ และเมื่อพิจารณาผลของการเพิ่มขึ้นของ AR พบว่าโคนของตัวครีบ (ขอบด้านนอก) ที่ติดกับฐานครีบจะมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอย่างชัดเจน ทำให้มีการกระจายของค่าอุณหภูมิในระดับที่ต่ำกว่า จากอุณหภูมิที่ได้นี้เมื่อนำมาคำนวณค่าค่าความต้านทานความร้อนเฉลี่ย พบว่ากรณี AR = 0.18 จะมีค่าความต้านทานความร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 1.112 °C /W ซึ่งน้อยกว่าค่าความต้านทานความร้อนเฉลี่ยของกรณี AR = 5.6 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.147 °C /W อย่างไรก็ตามการจำลองด้วยวิธีนี้ไม่ได้มีการพิจารณาการไหลของอากาศ ในขั้นตอนถัดไปเป็นการจำลองที่มีอิทธิพลจากการไหลของอากาศ เพื่อนำมาเปรียบเทียบ

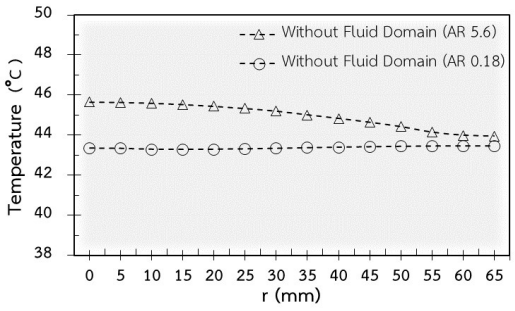


(a) AR = 0.18

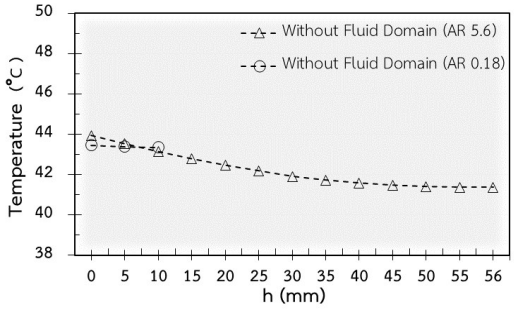


(b) AR = 5.6

รูปที่ 3 Temperature Contour ของครีบ (Without Fluid Domain)



รูปที่ 4 กราฟ T VS r ของครีบ (Without Fluid Domain)



รูปที่ 5 กราฟ T VS h ของครีบ (Without Fluid Domain)

3. การจำลองเชิงตัวเลขแบบที่มีโดเมนของของไหล

3.1 ขั้นตอนการจำลองแบบที่มีโดเมนของของไหล

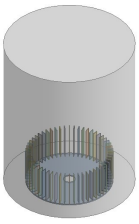
เริ่มต้นด้วยการสร้างโมเดล (Modeling) ดังรูปที่ 6 เป็นโมเดลของครีบระบายความร้อนที่มีโดเมนของของไหลล้อมรอบเป็นทรงกระบอก

ขั้นตอนที่สองเป็นการทำ Meshing โดยได้เลือกใช้เมชตามลักษณะของรูปร่างวัตถุ คือ Tetrahedron, Hexahedral และ Pyramid โดย Fluid domain และฐานครีบจะใช้เมชชนิด Tetrahedron ส่วนของตัวครีบจะเป็น Hexahedral จะเป็น และส่วนของฐานครีบจะเป็น Pyramid โดยมีจำนวนรวมของเมชสูงถึง 2.4 ล้าน โดยประมาณ

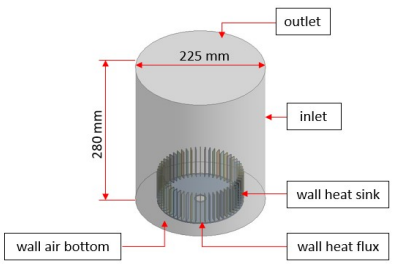
ขั้นตอนที่สามเป็นกำหนดคุณสมบัติของวัสดุ (Material Properties) และเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Conditions) ซึ่งได้กำหนดคุณสมบัติของครีบระบายความร้อนตามตารางที่ 1 และเงื่อนไขขอบเขตของครีบดังตารางที่ 2 สำหรับ Fluid Domain ได้มีการกำหนดเงื่อนไขขอบเขต ดังรูปที่ 7 งานวิจัยนี้ได้เลือก Boussinesq Model สำหรับการจำลองการไหลของการพาความร้อนแบบอิสระ

$$(\rho-\rho_0)g \approx -\rho_0\beta(T-T_0) \qquad (1)$$

โดยที่ ρ_0 คือความหนาแน่น (คงที่) ของการไหล T_0 คืออุณหภูมิในการทำงาน และ β คือค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน (Thermal Expansion Coefficient) การประมาณนี้มีความแม่นยำตราบเท่าที่การเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นจริงมีเพียงเล็กน้อย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การประมาณ Boussinesq นั้นใช้ได้เมื่อ $\beta(T-T_0) << 1$ โดยมีการกำหนดค่าดังตารางที่ 3 และขั้นตอนสุดท้ายเป็นการคำนวณหาคำตอบ (Solver Setting and Solution) โดยการไหลพิจารณาเป็นการไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow)



รูปที่ 6 Model ของครีบสำหรับกรณีที่มีโดเมนของของไหล



รูปที่ 7 เงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลองที่มี Fluid Domain

3.2 ผลการจำลองแบบที่มีโดเมนของของไหล

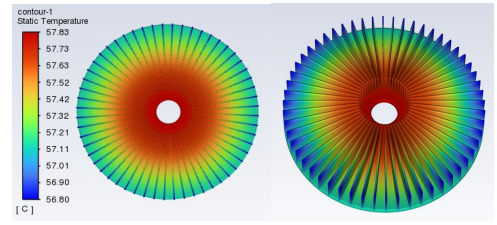
ผลการจำลองในกรณี AR = 0.18 พบว่าการกระจายของอุณหภูมิอยู่ในช่วง 56.80 – 57.83 °C โดยฐานครีบมีอุณหภูมิสูงที่บริเวณกึ่งกลางของและมีค่าลดลงที่บริเวณขอบด้านนอก ครีบมีอุณหภูมิสูงสุด (T_{max}) บริเวณใกล้กับผิวครีบเท่ากับ 57.83°C ดังแสดงไว้ในรูปที่ 8 (a) ในกรณี AR = 5.6 จะได้ผลในลักษณะเดียวกัน แต่มีกระจายของอุณหภูมิอยู่ในช่วงที่ต่ำกว่า คือ 37.50 – 42.60°C และครีบมีอุณหภูมิสูงสุด (T_{max}) เท่ากับ 42.60°C ดังรูปที่ 8 (b) สังเกตุว่าในกรณีที่ AR มีค่ามากกว่าจะมีช่วงการกระจายของอุณหภูมิกว้างกว่า

ตารางที่ 3 คุณสมบัติอากาศที่อุณหภูมิ 30°C

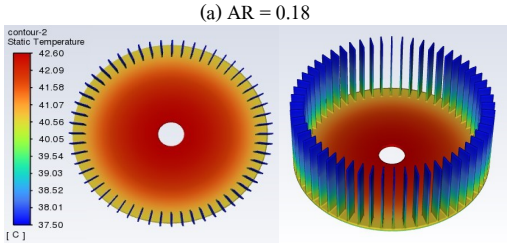
Air properties	Selection	Amount
Density	boussinesp	1.164 kg/m^3
Cp (Specific Heat)	constant	1006.43 J/(kg·K)
Thermal Conductivity	constant	896 J/(kg·K)
Viscosity	constant	1.7894e-05 kg/(m·s)
Thermal Expansion Coefficient, β	constant	0.00332 K^{-1}

สำหรับการไหลของอากาศพบว่ามีการไหลของอากาศจากด้านข้างของฐานครีบเข้ามาแทนที่อากาศร้อนที่ยกตัวลอยขึ้นดังรูปที่ 9 โดยความเร็วสูงสุดในสนามการไหล หรือใน Fluid Domain พบว่ากรณี AR = 0.56 ในรูปที่ 9(b) จะมีค่ามากกว่าของกรณี AR = 0.18 ในรูปที่ 9(a) แสดงให้เห็นว่า ความเร็วของการไหลของอากาศผ่านครีบโดยรวมมีค่าสูงกว่า ส่งผลให้มีการระบายความร้อนได้ดีกว่า

รูปที่ 10 และ 11 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิ พบว่าการเพิ่มขึ้นของ AR ส่งผลให้มีอุณหภูมิของฐานครีบและตัวครีบลดลงอย่างมาก โดยกรณี AR = 5.6 ซึ่งมีความสูงครีบมากกว่า จะสามารถนำความร้อนจากฐานครีบมายังตัวครีบเพื่อระบายออกด้วยการพาความร้อนได้ดีกว่า ส่งผลให้มีอุณหภูมิของตัวครีบและฐานครีบต่ำกว่า

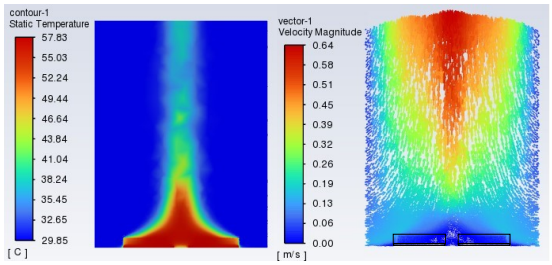


(a) AR = 0.18

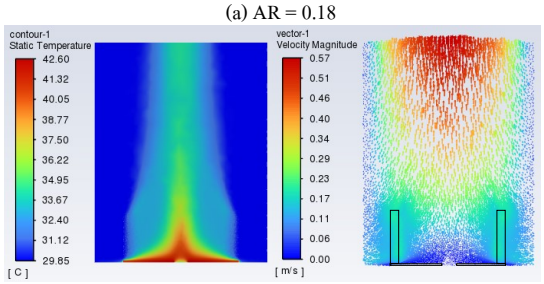


(b) AR = 5.6

รูปที่ 8 Temperature Contour ของครีบ (With Fluid Domain)

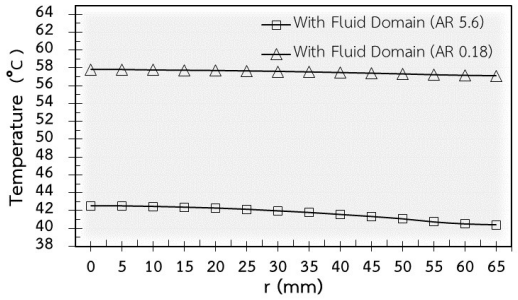


(a) AR = 0.18

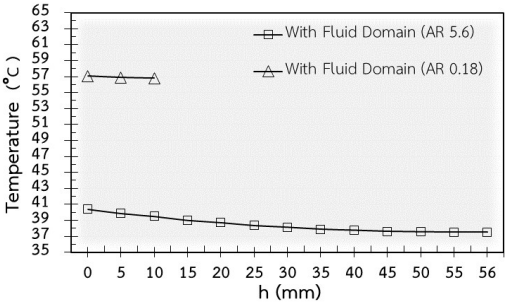


(b) AR = 5.6

รูปที่ 9 Temperature Contour และ Velocity Vector ของอากาศ (With Fluid Domain)



รูปที่ 10 กราฟ T VS ของครีบ (With Fluid Domain)

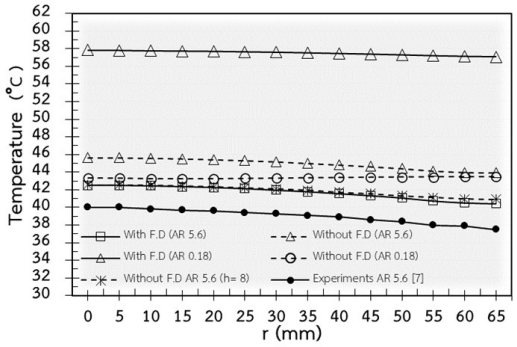


รูปที่ 11 กราฟ T VS h ของครีบ (With Fluid Domain)

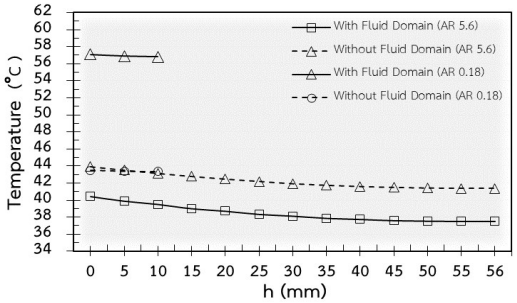
4 การวิเคราะห์ผลการจำลองแบบที่มีและไม่มีโดเมนของของไหล

รูปที่ 12 และ 13 แสดงการเปรียบเทียบผลการจำลองแบบที่ไม่มีและแบบที่มีโดเมนของของไหล เมื่อพิจารณาลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิบนฐานครีบแบบที่มีโดเมนของของไหล เปรียบเทียบกับกรณีจำลองแบบที่ไม่มีโดเมนของของไหล พบว่า การกระจายตัวของอุณหภูมิบนฐานครีบ จะมีอุณหภูมิสูงอยู่ที่บริเวณกึ่งกลางของฐานครีบ และมีค่าลดลงบริเวณที่ขอบด้านนอก ยกเว้นในกรณี AR = 0.18 ที่จำลองแบบที่ไม่มีโดเมนของของไหล สำหรับการกระจายอุณหภูมิบนตัวครีบทั้งแบบที่ไม่มีและแบบที่มีโดเมนของของไหลมีลักษณะไม่แตกต่างกัน คือ มีค่าลดลงตามความสูงของครีบ

สำหรับการตรวจสอบความถูกต้องของผลการจำลอง ได้เปรียบเทียบกับผลการทดลองของงานวิจัยก่อนหน้า (AR=5.6) [7] พบว่าการกระจายของอุณหภูมิบนฐานครีบ (รูปที่ 12) มีลักษณะเดียวกัน โดยมีค่ามากกว่าประมาณ 2°C นอกจากนี้ยังได้ทำการเปรียบเทียบกับผลการจำลองแบบไม่มี Fluid Domain อีกครั้ง โดยได้คำนวณค่า h เฉลี่ยจากงานวิจัยก่อนหน้าซึ่งได้เท่ากับ 8 $W/m^2 \cdot °C$ ผลที่ได้พบว่าการคำนวณแบบไม่มีและแบบมี Fluid Domain ให้ผลที่ใกล้เคียงกันมาก แสดงถึงความถูกต้องและความสอดคล้องกัน (Consistency) สำหรับกรณี AR = 0.18 ไม่มีข้อมูลเปรียบเทียบ อย่างไรก็ตามการจำลองแบบไม่มี Fluid Domain ในกรณี AR = 0.18 แม้จะกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ยที่ถูกต้องแล้วก็ตาม แต่อาจจะได้ลักษณะการกระจายอุณหภูมิที่ไม่ถูกต้องดังที่พบในกรณี h = 4.7 $W/m^2 \cdot °C$ ก็ได้ ทั้งนี้เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ณ ตำแหน่งใดๆ อาจจะไม่เท่ากันและแตกต่างกันไปในแต่ละกรณี



รูปที่ 12 กราฟ T VS r ของครีบ



รูปที่ 13 กราฟ T VS h ของครีบ

ตารางที่ 4 แสดงค่าอุณหภูมิสูงสุด-เฉลี่ย และค่าความต้านทานความร้อนเฉลี่ย (R_{TH}) พิจารณาอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งฐานครีบและตัวครีบ พบว่า ในกรณี AR = 0.18 ผลการจำลองแบบที่มีโดเมนของของไหล จะให้ค่าที่สูงกว่า ผลการจำลองแบบที่ไม่มีโดเมนของของไหลอยู่มาก ขณะที่กรณี AR = 5.6 ผลการจำลองแบบที่มีโดเมนของของไหลกลับให้ค่าอุณหภูมิที่ต่ำกว่า สังเกตุว่า อุณหภูมิเฉลี่ยจากการจำลองแบบที่ไม่มี

โดเมนของของไหลจะแตกต่างกันน้อยกว่าเมื่อ AR เปลี่ยนไป ขณะที่การจำลองแบบที่มีโดเมนของของไหล อุณหภูมิเฉลี่ยจะแตกต่างกันมากกว่า ค่าความต้านทานทางความร้อนที่ได้จะสัมพันธ์ตามอุณภูมิเฉลี่ย โดยพบว่ากรณี AR = 5.6 ของการจำลองแบบที่มีโดเมนของของไหลจะให้ค่าน้อยที่สุด แสดงให้เห็นว่า มีการพาความร้อนดีที่สุด ขณะที่ กรณี AR = 0.18 ของการจำลองแบบที่มีโดเมนของของไหล กลับให้ค่าความต้านทานทางความร้อนมากที่สุด

ความแตกต่างของผลการจำลองระหว่างการจำลองแบบที่ไม่มีและแบบที่มีโดเมนของของไหล มาจากค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่แตกต่างกัน โดยกรณีการจำลองแบบที่ไม่มีโดเมนของของไหลได้กำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนคงที่ตลอดพื้นผิวครีบเท่ากับ 4.7 $W/m^2 \cdot °C$ แต่การจำลองแบบที่มีโดเมนของของไหล ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจะสัมพันธ์ตามลักษณะการไหลของอากาศที่ผ่านผิวครีบซึ่งมีค่าไม่เท่ากันในแต่ละตำแหน่งของผิวและการจัดวางครีบ เมื่อ AR เพิ่มขึ้น หรือมีความสูงของครีบมากขึ้น จะทำให้อากาศที่ห่างจากฐานครีบไหลผ่านพื้นผิวของตัวครีบที่อยู่ขอบด้านนอก พาความร้อนออกไปได้ดีกว่า

ตารางที่ 4 ค่าอุณหภูมิสูงสุดและเฉลี่ย

Simulation	AR	T_{max} (°C)	T_{avg} (°C)	R_{TH} (°C/W)
Without Fluid Domain	0.18	43.48	43.36	1.112
	5.6	45.65	43.78	1.147
With Fluid Domain	0.18	57.83	57.39	2.267
	5.6	42.60	39.50	0.794

5. สรุป

จากผลการจำลองการระบายความร้อนของครีบระบายความร้อนแนวรัศมี (Radial Heat Sink) ทั้งแบบที่ไม่มีและแบบที่มีโดเมนของของไหล พบว่า ให้ผลที่แตกต่างกัน โดยการจำลองแบบที่ไม่มีโดเมนของของไหลจะให้การระบายความร้อนในกรณีที่ AR=0.18 ดีกว่ากรณีที่ AR=5.6 เล็กน้อย และมีการกระจายอุณหภูมิที่ฐานครีบแตกต่างไปจากกรณีที่ AR=5.6 คือบริเวณตรงกลางของฐานครีบมีอุณหภูมิต่ำกว่าบริเวณที่ขอบด้านนอก การจำลองแบบที่มีโดเมนของของไหล จะให้การระบายความร้อนในกรณีที่ AR=5.6 ดีกว่ากรณีที่ AR=0.18 อย่างชัดเจน โดยมีการกระจายอุณหภูมิในลักษณะเดียวกันคือ บริเวณตรงกลางของฐานครีบมีอุณหภูมิสูงกว่าบริเวณที่ขอบด้านนอก และบนตัวครีบจะมีอุณหภูมิลดลดตามความสูงของครีบ

ความแตกต่างของผลการจำลองนี้เกิดจากการกำหนดค่า h ซึ่งมีความสำคัญในการจำลองอย่างมาก การจำลองแบบที่ไม่มีโดเมนของของไหลใช้ค่า h เฉลี่ยตลอดพื้นผิวครีบ ซึ่งอาจทำให้ผลการคำนวณไม่ถูกต้อง แต่การจำลองแบบที่มีโดเมนของของไหล จะมีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนขึ้นอยู่กับผลจำลองของการไหลของอากาศรอบตัวครีบ ทำให้ได้ผลการจำลองที่แม่นยำและถูกต้องมากกว่า

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการบิน-อวกาศ และศูนย์วิจัยและพัฒนาเครื่องจักรกลและอุปกรณ์อุตสาหกรรม (DMIE) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่สนับสนุนให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

[1] *หทัยชนก หมื่นกล้า พลังหลอดไฟ LED (Light emitting diode). Technology (2013).*

[2] *Ravikumar, Subash, Harish and Sivaji" Experimental and Transient Thermal Analysis of Heat Sink Fin for CPU processor for better performance"IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 197 (2017) : 012085*

[3] *Reddy, Prasad and Hussain"C omparative thermal analysis on heat sink with different geometries "IJRAR- International Journal of Research and Analytical Reviews Vol.5 (2018) : 2349-5138*

[4] *S.H. Yu, K.S. Lee and S.J. Yook. "Optimum design of a radial heat sink under natural convection" In International Journal of Heat and Mass Transfer Vol.54 (2011) : 2499-2505*

[5] *S.H. Yu, D. Jang and S.J. Yook. "Effect of radiation in a radial heat sink under natural convection" In International Journal of Heat and Mass Transfer Vol.55 (2012): 505-509*

[6] *D. Jang, S.J. Yook and K.S Lee. "Optimum design of a radial heat sink with a fin-height profile for high-power LED lighting applications" In Applied Energy Vol.116 (2014): 260-268.*

[7] *C.H. Huang and G.J. Wang. "A design problem to estimate the optimal fin shape of LED lighting heat sinks" In International Journal of Heat and Mass Transfer Vol. 106 (2017): 1205–1217*



ประวัติผู้เขียนบทความ
ชื่อ : ไชยา สุภัคเจริญศรี
นักศึกษา : ปริญญาโท
สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ



ประวัติผู้เขียนบทความ
ชื่อ : พิสิฐ ยงยิ่งศักดิ์ถาวร
ที่ทำงาน : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
งานวิจัยที่สนใจ : Fluid and Thermal Systems, Atomization and Sprays, Energy Management System

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

การวิเคราะห์และการจัดการความร้อนโมดูลแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนโดยใช้ชุดทำความเย็นเธอร์โมอิเล็กทริก

Thermal Analysis and Management of a Lithium-ion Battery Module Using Thermoelectric Cooler

อานนท์ เหมมัน[1*] และ เจริญพร เลิศสถิตธนกร[2]

[1]สาขาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ 10140 anon.hem@mail.kmutt.ac.th

[2]สาขาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ 10140 charoenporn.ler@kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

การจัดการความร้อนโมดูลแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน เป็นการควบคุมอุณหภูมิการทำงานของแบตเตอรี่ให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสม ซึ่งมีความสำคัญอย่างมาก เพราะอุณหภูมิการทำงานของแบตเตอรี่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของแบตเตอรี่อย่างยิ่ง นอกจากนั้นยังส่งผลต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่อีกด้วย งานวิจัยนี้ ได้มีการสร้างและทดลองเพื่อวิเคราะห์และการจัดการความร้อนโมดูลแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนโดยใช้ชุดทำความเย็นเธอร์โมอิเล็กทริก ติดตั้งโดย ด้านเย็นประกบเข้ากับแผ่นอลูมิเนียมแนบกับโมดูลแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนโดยอาศัยการนำความร้อนระบายความร้อนออกจากแบตเตอรี่ ด้านร้อนมีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบครีบร่วมกับพัดลมกระบายความร้อน โดยโมดูลแบตเตอรี่ที่ทำการทดลอง ประกอบด้วยแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนทรงกระบอก โมเดล 21700 จำนวน 9 เซลล์ ทำการทดลองที่อัตราการคายประจุ หรือ C-rate ที่ 0.5 C, 0.75C และ 1C ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอัตราการคายประจุ ที่ 0.5C สามารถควบคุมอุณภูมิของแบตเตอรี่ให้ต่ำกว่า 40 °C โดยกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้เธอโมอิเล็กทริก ที่ 1 A อัตราการไหลของอากาศระบายความร้อนออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบครีบที่ 4.36 g/s อัตราการทำความเย็น (Qc) 3.09 W และค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP) 0.90 เป็นค่าที่ดีที่สุด ในขณะที่อัตราการคายประจุ ที่ 0.75 C และ 1C ยังไม่สามารถควบคุมอุณภูมิของแบตเตอรี่ให้ต่ำกว่า 40 °C

คำสำคัญ : เธอร์โมอิเล็กทริก, การจัดการความร้อนของแบตเตอรี่, สมรรถนะของระบบ

Abstract

Thermal management of lithium-ion battery modules is crucial to keeping the operating temperature of the battery in an optimal state. It is very important to control the operating temperature of the battery to be in proper condition. This is because the operating temperature of the battery greatly affects the performance of the battery. Moreover, It also affects the lifespan of the battery. This research was conducted and tested for analyzing thermal management of lithium-ion battery modules using a thermoelectric cooling unit by installing a thermoelectric cooling unit. Thermoelectric cold side is attached to an aluminum plate and attached to a lithium-ion battery module by means of heat conduction to dissipate heat from the battery. The thermoelectric hot side dissipate heat to the heat sink in conjunction with a cooling fan.The battery module of this experiment consists of 9 cells of cylindrical lithium-ion battery model 21700. The discharge (C-Rate) is at 0.5 C, 0.75C, and 1C. The result shows that the temperature of the battery can be controlled to be under 40 °C if the discharge rate is at 0.5 C. The current supplied to thermoelectric is at 1 A, the cooling rate of (Qc) 3.09 W and the coefficient of performance (COP) at 0.90 is the best value. While the discharge rate (C-Rate) at 0.75 C and 1C still cannot control the temperature of the battery below 40 °C.

Keywords: Battery thermal management, COP, Thermoelectric

1. บทนำ

แบตเตอรี่จะเป็นหนึ่งในนวัตกรรมที่จะเข้ามามีบทบาทสำคัญในชีวิตประจำวันอย่างมากในอนาคต โดยเฉพาะรถยนต์ไฟฟ้าซึ่งคาดการณ์ว่าจะเข้ามาแทนที่รถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในเพื่อช่วยในการลดการปล่อยมลพิษจากปลายท่อไอเสียรถยนต์ โดยคาดการณ์ว่าทั่วโลกจะมีรถยนต์ไฟฟ้ากว่า 40 ล้านคันภายในปี 2030 [1] เนื่องจากประเทศไทย ตั้งอยู่ในเขตร้อนใกล้เส้นศูนย์สูตร ภูมิอากาศของประเทศมีลักษณะเป็นแบบร้อนชื้น ซึ่งเมื่อนำรถยนต์ไฟฟ้ามาใช้แบตเตอรี่ย่อมมีภาระความร้อนจากการใช้งาน ด้วยอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่สูงของประเทศไทยจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีระบบจัดการความร้อนของแบตเตอรี่ (Battery Thermal Management System) ควบคุมอุณหภูมิการทำงานของแบตเตอรี่ให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสม โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมของแบตเตอรี่ควรอยู่ในระหว่าง 25 °C ถึง 40 °C และความแตกต่างภายในโมดูลไม่ควรต่างกันเกิน 5 °C [2]

โดยผู้วิจัยมีความสนใจในการทำเอาเธอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric, TE) มาใช้ในการจัดการความร้อนของแบตเตอรี่ ซึ่ง TE สามารถทำความเย็นโดยไม่ต้องใช้สารทำความเย็น ไม่ปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อม และได้คำนึงถึงการระบายความร้อนโมดูลแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนในรถยนต์ไฟฟ้านั้น TE ที่มีขนาดเล็กกะทัดรัดจึงมีจุดเด่นการติดตั้งในพื้นที่จำกัดจากการศึกษาข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่ามีการนำ TE มาใช้ในการระบายความร้อนให้แก่อุปกรณ์ต่างๆอย่างกว้างขวาง [3] ผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการทำการศึกษาและทดสอบรวมถึงวิเคราะห์สมรรถนะของระบบ

งานวิจัยนี้เป็นการการสร้างชุดทดสอบและทำการทดลองโดยใช้ชุดทำความเย็นเธอร์โมอิเล็กทริก โดยอาศัยการนำความร้อน ระบายความร้อนออกจากแบตเตอรี่ ด้านร้อนมีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบครีบ ร่วมกับ

พัดลมกระบายความร้อน โดยโมดูลแบตเตอรี่ที่ทำการทดลอง ประกอบด้วยแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนทรงกระบอก โมเดล 21700 จำนวน 9 เซลล์ ทำการทดลองที่อัตราการคายประจุ หรือ C-rate ที่ 0.5 C, 0.75C และ 1C

2. วิธีการดำเนินการ

2.1 การออกแบบต้นแบบชุดทดลอง

การออกแบบชุดทดสอบระบบระบายความร้อนโมดูลแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนโดยใช้ชุดทำความเย็นเธอร์โมอิเล็กทริก เพื่อใช้ในงานวิจัย "การวิเคราะห์และการจัดการความร้อนโมดูลแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนโดยใช้ชุดทำความเย็นเธอร์โมอิเล็กทริก" จะประกอบด้วยโมดูล 2 ส่วนหลัก ดังนี้

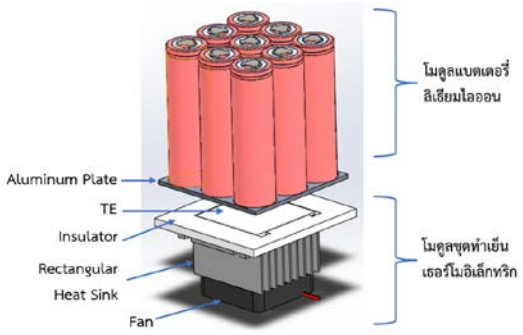
- โมดูลแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน

ประกอบด้วยแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนทรงกระบอกโมเดล 21700 (Ø21 mm h =70.0 mm) จำนวน 9 เซลล์ ต่อวงจรผสม (Compound Circuit) ความจุ (Capacity): 14.4 Ah แรงดัน (Voltage): 11.1 V

- โมดูลเครื่องชุดทำความเย็นเธอร์โมอิเล็กทริก

ประกอบด้วย เธอร์โมอิเล็กทริก หรือ TE ชนิดทำความเย็น (Peltier effect) โดยมีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบครีบร่วมกับพัดลมในการระบายความร้อนให้กับด้านร้อนของ TE โดย TE ทำความเย็นโดยใช้สารกึ่งตัวนำแบบ P -N เมื่อจ่ายกระแสไฟ DC จะเกิดการดูดกลืนกันของอิเล็กตรอนที่เคลื่อนจากด้านพลังงานต่ำสารกึ่งตัวนำแบบ P ไปด้านพลังงานสูงสารกึ่งตัวนำแบบ N ทำให้ด้านหนึ่งดูดความร้อน เพื่อนำความร้อนไปทิ้งที่ด้านตรงข้ามกัน เกิดผลความแตกต่างของอุณหภูมิทั้ง 2 ด้าน เป็นด้านร้อน และด้านเย็น

เมื่อนำโมดูลแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนมาประกอบเข้ากับโมดูลชุดทำความเย็นเธอร์โมอิเล็กทริก โดยมีแผ่นอลูมิเนียมเป็นตัวกลางในการนำความร้อน โดยใช้ TE ชนิด Peltier effect ขนาด 40 x 40 mm ที่ด้านเย็นประกบติดกับแผ่นอลูมิเนียม ความหนา 2 mm ขนาด 100 x 100 mm โดยมีโมดูลแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน ประกอบด้วยเซลล์แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน โมเดล 21700 (Ø21 mm h =70.0 mm) จำนวน 9 เซลล์ วางอยู่ด้านบนแผ่นอลูมิเนียมเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการนำ และที่ด้านร้อนของ TE ประกบติดกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบครีบ จำนวน 11 ครีบ ความสูงของแต่ละครีบ 16 mm ระยะห่างระหว่างครีบ 5 mm ระบายความร้อนออกจากครีบโดยการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับพัดลมระบายความร้อน ขนาดกว้าง 55 mm ยาว 55 mm หนา 13 mm ดังแสดงในรูปที่ 1

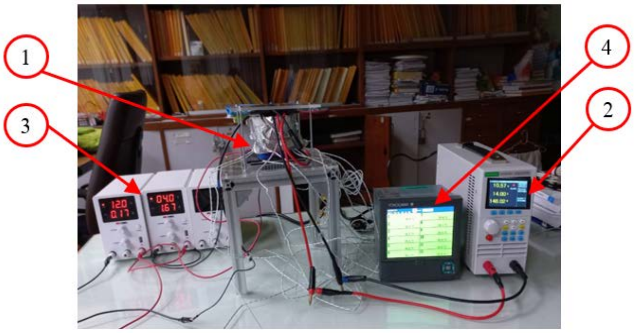


รูปที่ 1 ส่วนประกอบชุดทดสอบระบบระบายความร้อนโมดูลแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนโดยใช้ชุดทำความเย็นเธอร์โมอิเล็กทริก

โดยชุดทดลองได้ออกแบบการระบายความร้อนให้กับแบตเตอรี่อาศัยการนำผ่านแกนกลาง (Tap) ของเซลล์แบตเตอรี่ ซึ่งทำให้อุณหภูมิภายในสม่ำเสมอกว่าการระบายความร้อนผ่านผิว (Surface) ของเซลล์ [4]

2.2 วิธีการทดลอง

อุปกรณ์ประกอบการทดลองการจัดการความร้อนโมดูลแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนโดยใช้ชุดทำความเย็นเธอร์โมอิเล็กทริก ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 อุปกรณ์ประกอบการทดลอง

จากรูปที่ 2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่

หมายเลข 1 ชุดทดสอบระบบระบายความร้อนโมดูลแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนโดยใช้ชุดทำความเย็นเธอร์โมอิเล็กทริก ที่ได้สร้างขึ้น

หมายเลข 2 โหลดอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Load) ใช้ในการคายประจุ (Discharge) ไฟฟ้าออกจากโมดูลแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน

หมายเลข 3 เครื่องจ่ายไฟ (Power Supply) ใช้ในการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับ TE และ Fan ในการระบายความร้อนให้กับด้านร้อนของ TE

หมายเลข 4 เครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Data logger) ใช้ในการบันทึกอุณหภูมิต่างๆ ต่อกับสายสายเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple K-type) โดยมีการเก็บผลอุณหภูมิ ดังนี้

- ตรงกลางเซลล์แบตเตอรี่ทั้ง 9 เซลล์
- ด้านบนเซลล์แบตเตอรี่ (เฉพาะเซลล์ตรงกลาง)
- ด้านร้อน/ ด้านเย็น ของ TE
- อุณหภูมิด้านอากาศที่ออกจากพัดลม
- อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม

2.3 การทดลอง

ทำการทดลองโดยใช้โหลดอิเล็กทรอนิกส์คายกระแสออกจากแบตเตอรี่ที่อัตราการคายประจุที่ต้องการ และเปิดเครื่องจ่ายไฟจ่ายกระแสให้กับ TE และพัดลมในเวลาเดียวกัน เก็บผลอุณหภูมิของเซลล์แบตเตอรี่แต่ละเซลล์ และจุดอื่นๆเพื่อนำทำการวิเคราะห์สมรรถนะของระบบ

โดยตัวแปรที่ทำการทดลองได้แก่ C-Rate : 0.5C, 0.75C และ 1C ที่การจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโมดูลชุดทำความเย็นเธอร์โมอิเล็กทริก ที่ 1A, 1.5A, 2A และ 2.5A โดยอัตราการไหลของอากาศระบายความร้อนออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบครีบ ที่ 2.61 g/s และ 4.36 g/s

เมื่อทำการทดลองในแต่ละกรณีของการศึกษาผลการทดลองวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP) ได้โดยเริ่มต้นจากการหาอัตราการระบายความร้อนด้านร้อนของ TE (W) ดังแสดงในสมการที่ (1)

$$Q_h = m c_p (T_1 - T_2) \quad (1)$$

Q_h คือ อัตราการระบายความร้อนด้านร้อนของ TE (W)

m คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ (g/s)

C_p คือ ความร้อนจำเพาะของอากาศ (kJ/kg K)

T_1 คือ อุณหภูมิอากาศออกจากพัดลมระบายความร้อน (K)

T_2 คือ อุณหภูมิอากาศเข้าพัดลมระบายความร้อน (K)

จากสมการที่ 1 เมื่อได้อัตราการระบายความร้อนด้านร้อน หรือ Q_h ของ TE จะสามารถหาอัตราการทำความเย็นด้านเย็น หรือ Q_c ของ TE ดังแสดงในสมการที่ (2)

$$Q_c = Q_h - P_{TE} \quad (2)$$

Q_c คือ อัตราการทำความเย็นด้านเย็นของ TE (W)

Q_h คือ อัตราการระบายความร้อนด้านร้อนของ TE (W)

P_{TE} คือ พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับ TE (W)

จากสมการที่ 2 เมื่อได้อัตราการทำความเย็นด้านเย็น หรือ Qc ของ TE จะสามารถหาสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น ดังแสดงในสมการที่ (3)

$$COP = Q_c / (P_{TE} + P_{FAN}) \quad (3)$$

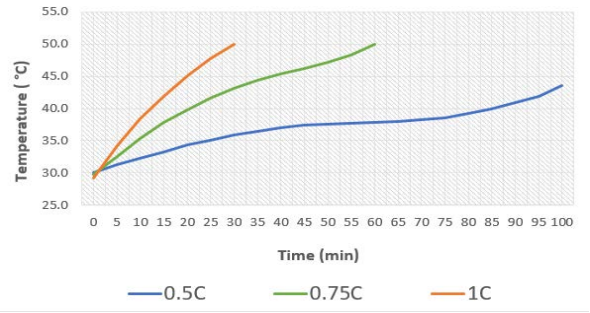
Q_c คือ อัตราการทำความเย็นที่ผลิตจากเธอร์โมอิเล็คทริก (W)

P_{TE} คือ พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับ TE (W)

P_{FAN} คือ พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับ FAN (W)

3 ผลการทดลอง

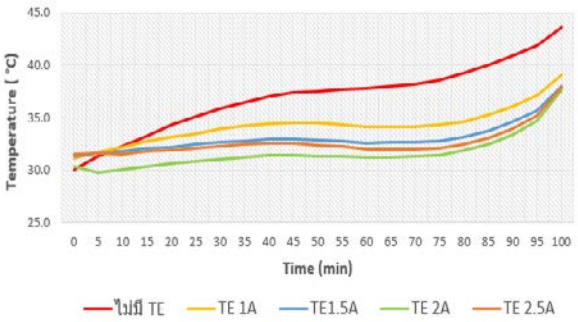
เมื่อนำโมดูลแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนมาทำการ Discharge ที่ C-Rate : 0.5C, 0.75C และ 1C โดยไม่มีระบบระบายความร้อน เพื่อดูอุณหภูมิของเซลล์แบตเตอรี่ที่ติดตั้งตรงกลางเซลล์แบตเตอรี่ ผลปรากฏว่าเซลล์ตรงกลาง มีอุณหภูมิสูงที่สุด และเซลล์รอบๆ มีอุณหภูมิต่ำลงมาแต่ไม่เกิน 3 °C ซึ่งความแตกต่างภายในโมดูลไม่ควรต่างกันเกิน 5 °C [2] จึงถือว่าการระบายความร้อนให้กับโมดูลแบตเตอรี่ที่สร้างขึ้นไม่แตกต่างกันมากเกินไป โดยได้นำอุณหภูมิเซลล์ตรงกลางซึ่งสูงสุดมาแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 อุณหภูมิโมดูลแบตเตอรี่ลิเธียมแบบไม่มีระบบระบายความร้อน

จากรูปที่ 3 อุณหภูมิแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนที่การคายประจุ C-rate ต่างๆ โดยค่าที่แสดงเป็นค่าอุณหภูมิของเซลล์ตรงกลาง โดยเหตุผลที่ใช้อุณหภูมิของเซลล์ตรงกลาง เพราะเป็นเซลล์ข้างในที่ถูกล้อมด้วยเซลล์อื่นจึงทำให้มีอุณหภูมิสูงสุด ในการออกแบบระบบระบายความร้อนหากลดอุณภูมิเซลล์ที่มีอุณหภูมิสูงสุดได้เซลล์อื่นๆ ก็จะลดตาม โดยจะเห็นได้ว่ายิ่ง C-rate สูงยิ่งทำให้แบตเตอรี่มีอุณหภูมิสูงขึ้น อุณหภูมิโมดูลแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนแบบไม่มีระบบระบายความร้อนนั้น ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้ต่ำกว่า 40 °C ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมของแบตเตอรี่

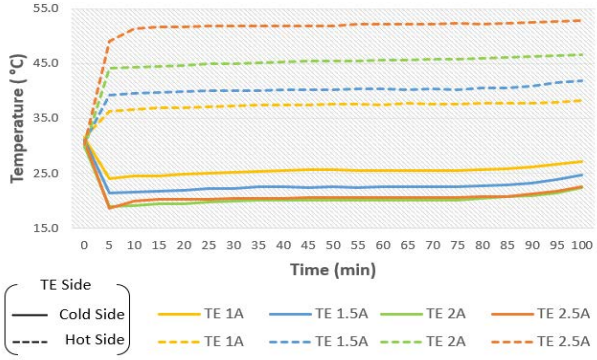
การทดลองต่อมาทำการ Discharge ที่ C-rate : 0.5C และจ่ายกระแสให้กับโมดูลชุดทำความเย็น TE ที่ 1A, 1.5A, 2A และ 2.5A โดยมีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบครีบระบายความร้อนที่อัตราการไหลของอากาศ 2.61 g/s ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 เปรียบเทียบอุณหภูมิโมดูลแบตเตอรี่ลิเธียม Discharge: 0.5C โดยใช้ TE และพัดลมที่อัตราการไหลของอากาศ 2.61 g/s

จากรูปที่ 4 เปรียบเทียบการ Discharge: 0.5C ระหว่างการที่ไม่มีระบบระบายความร้อน กับการมีระบบระบายความร้อนโดยใช้ชุดทำความเย็น TE ระบายความร้อนที่กระแสไฟฟ้า 1A, 1.5A, 2A และ 2.5A นั้น จะเห็นได้ว่า TE สามารถลดอุณหภูมิของแบตเตอรี่ให้ต่ำกว่า 40 °C เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับ TE มากขึ้น ทำให้อุณหภูมิแบตเตอรี่มีค่าลดลง

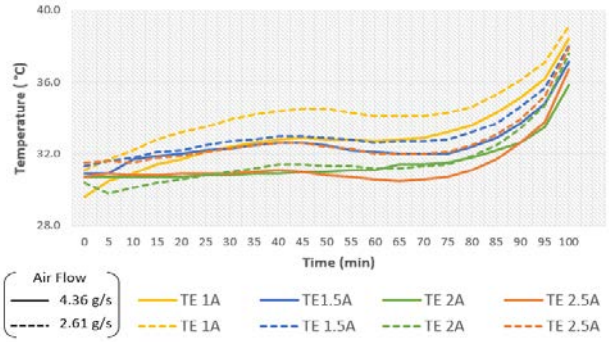
การจ่ายกระแสไฟให้ TE สูงขึ้น ด้านร้อนของ TE ก็จะมีอุณหภูมิสูงขึ้นเช่นกัน แต่หากการระบายความร้อนทางด้านร้อนไม่เพียงพอก็จะส่งผลต่อการทำความเย็น ซึ่งดูได้จากที่กระแส TE 2.5A การระบายความร้อนที่ด้านร้อนไม่เพียงพอจึงทำให้อุณหภูมิของแบตเตอรี่สูงกว่าที่กระแส TE 2A



รูปที่ 5 เปรียบอุณหภูมิ ด้านร้อน-ด้านเย็น ของ TE ที่แต่ละกระแสไฟฟ้า

จากรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่าที่การจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ TE ที่ 2.5A ด้านร้อนมีอุณหภูมิสูง การระบายความร้อนไม่เพียงพอ เป็นภาระต่อการทำความเย็นของ TE ซึ่งต้องแก้ไขโดยการระบายร้อนที่อัตราการไหลของอากาศที่สูงขึ้น หรือเปลี่ยนวิธีระบายความร้อนที่มีประสิทธิผลมากขึ้น

เมื่อทำการทดลองในกรณีเดียวกันจากรูปที่ 4 โดยเพิ่มการระบายความร้อน อัตราการไหลของอากาศที่ 4.36 g/s ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 เปรียบเทียบอุณหภูมิโมดูลแบตเตอรี่ลิเธียม Discharge: 0.5C โดยใช้ TE และพัดลมที่อัตราการไหลของอากาศต่างกัน

จากรูปที่ 5 การ Discharge ที่ C-Rate : 0.5C และจ่ายกระแสให้กับโมดูลชุดทำความเย็น TE ที่ 1A, 1.5A, 2A และ 2.5A โดยมีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบครีบ ระบายความร้อนโดยพัดลมที่อัตราการไหลของอากาศ 2.61 g/s และ 4.36 g/s เปรียบเทียบกัน จะเห็นได้ว่ายิ่งจ่ายกระแสสูงๆ TE ก็ยิ่งทำความเย็นได้ดีขึ้นทำให้อุณหภูมิแบตเตอรี่ลดต่ำลง โดยการจ่ายกระแสไฟให้ TE สูงขึ้น ด้านร้อนของ TE ก็จะมีอุณหภูมิสูงขึ้น เมื่อการระบายความร้อนด้านร้อนของ TE โดยพัดลมที่อัตราการไหลของอากาศสูงขึ้น ก็จะส่งผลต่อด้านเย็นที่ทำให้ลดอุณหภูมิของแบตเตอรี่ได้ดีขึ้นเช่นกัน

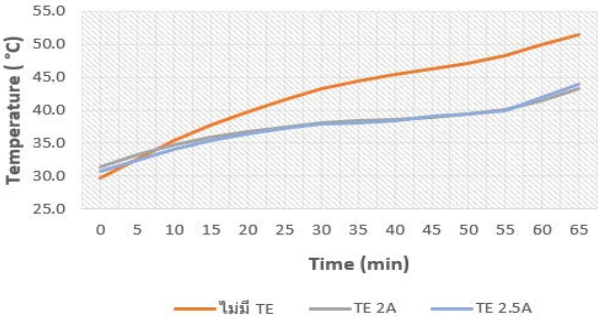
โดยทุกกรณีที่ทำการทดลองการ Discharge: 0.5C โดยมีระบบชุดทำความเย็น TE ในทุกกรณีสามารถลดอุณหภูมิแบตเตอรี่ที่จากเดิมสูงเกิน 40 °C ให้ลดลงต่ำกว่าได้

จากการทดลอง Discharge ที่ C-rate : 0.5C ในกรณีต่างๆ ที่การจ่ายกระแสไฟฟ้า TE 2.5 A อัตราการไหลของอากาศ 4.36 g/s ได้ Q c สูงที่สุดที่ 9.39 W ในส่วนของค่า COP ที่ TE 1 A อัตราการไหลของอากาศ 4.36 g/s มีค่า COP เท่ากับ 0.90 ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นของการจัดการความร้อนโมดูลแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนโดยใช้ชุดทำความเย็นเธอร์โมอิเล็กทริกที่ดีที่สุดในการศึกษาครั้งนี้ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลกระทบของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้ TE ที่ อัตราการคายประจุ : 0.5 C ที่มีต่ออัตราการทำความเย็นและสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP)

Input TE (A)	อัตราการคายประจุไฟฟ้า (Discharge): 0.5C			
	Qc (W)		COP	
	m = 2.61 g/s	m = 4.36 g/s	m = 2.61 g/s	m = 4.36 g/s
1	2.65	3.09	0.77	0.90
1.5	4.17	4.30	0.65	0.67
2	6.15	7.98	0.55	0.71
2.5	4.48	9.39	0.27	0.56

เมื่อทำการทดลอง Discharge: 0.75C และจ่ายกระแสให้กับ TE ที่ 2A และ 2.5A โดยมีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบครีบระบายความร้อนที่อัตราการไหลของอากาศ 4.36 g/s ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 เปรียบเทียบอุณหภูมิโมดูลแบตเตอรี่ลิเธียม Discharge: 0.75C

จากรูปที่ 7 การ Discharge: 0.75C โดยจ่ายกระแสให้กับ TE ที่ 2A และ 2.5A ไม่สามารถลดอุณภูมิแบตเตอรี่ลงต่ำกว่า 40 °C ซึ่งวิธีการที่จะทำได้คือการปรับปรุงการระบายความร้อนด้านร้อนของ TE เพื่อที่จะเพิ่มการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับ TE ได้มากกว่า 2.5 A

4. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

อุณหภูมิที่เหมาะสมของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนควรอยู่ในระหว่าง 25 °C ถึง 40 °C ในการทดลองนี้เริ่มต้นด้วยการทดลองคายประจุแบตเตอรี่แบบไม่มีระบบระบายความร้อน ที่ 0.5C, 0.75C และ 1C ปรากฏว่าอุณหภูมิโมดูลแบตเตอรี่แบบไม่มีระบบระบายความร้อนมีอุณหภูมิทำงานสูงกว่า 40 °C เมื่อติดตั้งชุดทำความเย็น TE โดยมีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบครีบร่วมกับพัดลมนำมาใช้ในการระบายความร้อน และทำการทดลองที่ 0.5C จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับ ที่ TE 1A, 1.5A, 2A และ 2.5A สามารถควบคุมอุณหภูมิของแบตเตอรี่ให้ต่ำกว่า 40 °C ได้ ในขณะที่ 0.75 C ชุดทำความเย็น TE ที่สร้างขึ้นไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิของแบตเตอรี่ให้ต่ำกว่า 40 °C จึงสรุปได้ว่าชุดทดสอบที่สร้างขึ้นควบคุมอุณหภูมิแบตเตอรี่ได้ที่ 0.5C และไม่เพียงพอสำหรับ 0.75C และ 1 C

ซึ่งหากต้องการปรับปรุงชุดทดสอบที่สร้างขึ้นให้สามารถควบคุมอุณหภูมิแบตเตอรี่ที่ 0.75C และ 1 C ได้นั้น ต้องปรับปรุงการระบายความร้อนด้านร้อนของ TE ให้ดีขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยการสนับสนุนสถานที่และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองจากเจ้าหน้าที่คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

เอกสารอ้างอิง

[1] Thakur Dhakal and Kyoung-Soon Min, “ Macro Analysis and Forecast of Global Expansion of Electric Vehicles ,” Foresight and Sti Governance, Vol. 15, No. 1, pp. 67-73, 2021.

[2] Pesaran, A.A., “ Battery thermal models for hybrid vehicle simulations, ” J. Power Sources 110 (2), pp. 377–382, 2002.

[3] Dongliang Zhao, Gang Tan. , “ A review of thermoelectric cooling: Materials, modeling and applications, ” Applied Thermal Engineering, Volume 66, Issues 1–2, Pages 15-24, May 2014.

[4] Ian A. Hunt, Yan Zhao, Yatish Patel, and G. J. Offer, “Surface Cooling Causes Accelerated Degradation Compared to Tab Cooling for Lithium-Ion Pouch Cells, ” Journal of The Electrochemical Society, 163 (9) A1846-A1852, 2016.

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

การผลิตเชื้อเพลิงไบโอเอทานอลจากกากส้มเหลือทิ้งสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงเอทานอลป้อนตรง

Bioethanol Fuel Production from Orange Waste for Direct Ethanol Fuel Cell

เบญญาภา ธันวารชร และ ณาวดี ศรีศิริวัฒน์*

ปิโตรเคมีและการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

833 ถนนพระราม 1 ปทุมวัน กรุงเทพมหานคร

btoenyapa@gmail.com ; *nawadee@pit.ac.th

บทคัดย่อ

เชื้อเพลิงชีวภาพเป็นหนึ่งในแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่ช่วยลดก๊าซเรือนกระจกและให้ความมั่นคงด้านพลังงาน การใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเป็นการส่งเสริมแนวทางการพัฒนาพลังงานหมุนเวียนอย่างยั่งยืน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอเอทานอลจากกระบวนการหมักกากส้มเหลือทิ้งที่ผ่านกระบวนการคั้นน้ำส้มโดยใช้จุลินทรีย์ *Saccharomyces cerevisiae* เปรียบเทียบกับลูกแป้งข้าวหมาก การเตรียมกากส้มเหลือทิ้งก่อนหมักแบ่งเป็น 2 วิธีคือการไม่ปรับสภาพและการปรับสภาพตามธรรมชาติเวลา 1-10 วัน จากนั้นหมักกากส้มเป็นเวลา 1-7 วัน การทดลองพบว่าผลผลิตไบโอเอทานอลจากกากส้มปรับสภาพตามธรรมชาติเวลา 6 วัน และหมักเวลา 6-7 วัน โดยใช้ *Saccharomyces cerevisiae* 5 กรัม ให้ผลผลิตเอทานอลสูงที่สุดร้อยละ 5.8 และให้ค่าแรงดันวงจรเปิดจากเซลล์เชื้อเพลิงเอทานอลป้อนตรงโดยใช้ไบโอเอทานอลจากการหมักในสภาวะดังกล่าวสูงสุดที่ 0.38 โวลต์

คำสำคัญ : กากส้ม; ไบโอเอทานอล; เซลล์เชื้อเพลิงเอทานอลป้อนตรง

Abstract

Biofuels are one of the renewable energy sources that reduce greenhouse gases and provide energy security. The use of agricultural waste materials promotes a sustainable approach to renewable energy development. The purpose of this research was to study the optimum conditions for bioethanol production from the fermentation of orange residues through the orange juicer process using microorganisms *Saccharomyces cerevisiae* compared with Loogpang Kaomark. The preparation of orange waste was divided into 2methods: non-pretreatment and natural pretreatment for 1-10 days. The prepared orange waste was fermented for 1-7 days. The experiment showed that the bioethanol yield from orange waste, naturally pretreated for 6 days and fermented for 6-7 days using 5 g of *Saccharomyces cerevisiae* gave the highest ethanol yield of 5.8%. At such conditions, the open-circuit voltage from a direct ethanol fuel cell using bioethanol gave a maximum value of 0.38 V.

Keywords : orange waste; bioethanol; direct ethanol fuel cell

1. บทนำ

ปัจจุบันความต้องการแหล่งพลังงานทางเลือกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเพราะพลังงานของโลกลดลงอย่างรวดเร็ว [1] ผลของภาวะการขาดแคลนน้ำมัน ภาวะโลกร้อน และผลกระทบของเรือนกระจก ซึ่งมีแนวโน้มที่จะทวีความรุนแรงมากขึ้นเรื่อย ๆ ทำให้โลกอยู่ในสภาพที่ประชากรโลกต้องตระหนักถึงวิกฤตอย่างยิ่ง [2]โลกกำลังเผชิญกับปัญหาเชื้อเพลิงฟอสซิลที่กำลังหมดลง การพึ่งพาแหล่งพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลจึงไม่เพียงพอต่อความต้องการในอนาคต ทั้งยังส่งผลให้ราคาน้ำมันพุ่งสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง และเกิดแรงผลักดันให้เกิดการใช้แหล่งพลังงานที่ไม่ต้องพึ่งพาน้ำมันและคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม นำไปสู่ตลาดเชื้อเพลิงชีวภาพที่เข้มแข็ง [3] เชื้อเพลิงชีวภาพเป็นพลังงานทางเลือกที่ทั่วโลกให้ความสนใจเนื่องจากมูลค่าทางอุตสาหกรรมและเศรษฐกิจ และเป็นเชื้อเพลิงที่ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม ช่วยลดก๊าซเรือนกระจกและให้ความมั่นคงด้านพลังงานซึ่งนำไปสู่การใช้งานที่เพิ่มขึ้น [4] ปัจจุบันโลกกำลังเผชิญปัญหาใหญ่ด้านการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศส่งผลให้เกิดความต้องการในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกซึ่งนำไปสู่การส่งเสริมการใช้เอทานอลเป็นพลังงานทางเลือกหรือทดแทน [5]

การใช้ไบโอเอทานอลเป็นพลังงานทางเลือกหนึ่งที่กำลังได้รับความนิยมและมีการพัฒนาในปัจจุบัน งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการประยุกต์ใช้ไบโอเอทานอลเป็นเชื้อเพลิงป้อนเข้าเซลล์เชื้อเพลิงเอทานอลป้อนตรง (Direct Ethanol Fuel Cell) เพื่อผลิตไฟฟ้ากระแสตรง Srisiriwat และคณะ [6] ศึกษาผลของความเข้มข้นของเอทานอล 2-12 % vol. ต่อแรงดันวงจรเปิดและพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์เชื้อเพลิงเอทานอลป้อนตรง ข้อดีของเซลล์เชื้อเพลิงประเภทนี้คือไม่ต้องเปลี่ยนเอทานอลให้เป็นเชื้อเพลิงไฮโดรเจน ทำให้สามารถลดขนาดเซลล์ให้เล็กลง จึงเหมาะสำหรับใช้เป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พกพา [7]

งานวิจัยนี้จึงสนใจในการนำขยะผลไม้จากส้มที่ผ่านกระบวนการคั้นน้ำส้มมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอเอทานอล ถึงแม้ว่าขยะผลไม้มีน้ำตาลในระดับสูงทั้งซูโครส กลูโคส และฟรุกโตส ที่สามารถหมักเพื่อผลิตไบโอเอทานอลได้ แต่สำหรับเศษผลไม้บางชนิด เช่นของเสียจากเปลือกส้ม (citrus peel waste) ซึ่งมีสารประกอบที่สามารถยับยั้งการหมักและควรกำจัดออกสำหรับการผลิตไบโอเอทานอลอย่างมีประสิทธิภาพ [8] ได้พัฒนาแนวทางใหม่ในการแปลง citrus peel waste แหล่งเดียว (เช่น ส้ม แมนดาริน ส้มโอ มะนาว หรือมะนาว) หรือ citrus peel waste ร่วมกับเศษผลไม้อื่น ๆ (เช่น กล้วย เปลือก กากแอปเปิล และ

ลูกแพร์) เพื่อผลิตไบโอเอทานอล [9] ใช้กระบวนการหมักเอทานอลแบบย่อยเป็นน้ำตาลและหมักพร้อมกัน (Simultaneous Saccharification and Fermentation) เป็นเวลา 7 วัน โดยการเพาะเลี้ยงร่วมกันของเชื้อรา *Aspergillus niger* และ *Saccharomyces cerevisiae* สำหรับผลิตไบโอเอทานอลจากเปลือกส้มได้ผลผลิตเอทานอล 3.98 %v/v

งานวิจัยนี้เลือกจุลินทรีย์ *Saccharomyces cerevisiae* และแป้งข้าวหมากสำหรับหมักกากส้มที่ผ่านการคั้นน้ำส้ม เนื่องจากจุลินทรีย์ที่ใช้มากที่สุดในกระบวนการหมักสำหรับการผลิตไบโอเอทานอลคือยีสต์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง *Saccharomyces cerevisiae* ซึ่งเป็นที่ต้องการมากที่สุด เนื่องจากมีประวัติการใช้งานที่ยาวนานสำหรับทั้งการผลิตเอทานอลและการอบ และความจริงที่ว่า *Saccharomyces cerevisiae* มีสถานะ GRAS (Generally Recognized as Safe) [10] *Saccharomyces cerevisiae* มีผลผลิตเอทานอลสูงมาก ความทนทานต่อเอทานอลสูง การเลือกเกิดเป็นเอทานอลสูง การสะสมของผลพลอยได้ต่ำ อัตราการหมักสูง ความทนทานต่อความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่ดี ความทนทานต่อสารยับยั้งสูง ความต้องการสารอาหารต่ำ การเติบโตอย่างแข็งแกร่งด้วยข้อกำหนดที่เรียบง่าย ทำให้สามารถใช้ media ราคาถูก ทนต่อ pH ที่เป็นกรดหรืออุณหภูมิสูง เพื่อชะลอการปนเปื้อน และสามารถใช้เฮกโซสและไดแซ็กคาไรด์ได้หลากหลาย [11] นอกจากนี้ยังมีลูกแป้งหรือแป้งข้าวหมากเป็นกล้าเชื้อจุลินทรีย์ผสมธรรมชาติผลิตจากภูมิปัญญา คุณภาพของลูกแป้งมีความหลากหลาย ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบและกระบวนการผลิต ลูกแป้งมีลักษณะเป็นก้อนแป้งครึ่งวงกลม ขนาด 3-4 เซนติเมตร ประกอบด้วยเนื้อแป้งสีขาวนวล ไม่มีรอยแตก เนื้อแป้งจะมีจุลินทรีย์ประเภทเปลี่ยนแป้งเป็นแอลกอฮอล์อยู่จำนวนมาก โดยจุลินทรีย์ที่ตรวจพบในลูกแป้งข้าวหมากพื้นบ้าน ส่วนใหญ่เป็นเชื้อรา *Amylomyces rouxii*, *Rhizopus oryzae* และ *Mucorindicus* ยีสต์ เช่น *Candida parapdida*, *Pichiakudriavzevil*, *Candidaquercitrusa* และแบคทีเรียผลิตกรดแลคติก เช่น *Pediococcus pentosaceus* [12]

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 การเตรียมและปรับสภาพเปลือกส้ม

กากส้มประกอบด้วย เปลือกส้ม กากใยส้ม เนื้อส้ม และเมล็ดส้มที่เหลือจากการคั้นน้ำส้ม การเตรียมกากส้มก่อนนำมาหมักเริ่มจากปั่นกากส้มให้ละเอียด กากส้มก่อนหมักแบ่งเป็น

1) กากส้มสำหรับไม่ปรับสภาพก่อนการหมัก วัดปริมาณน้ำตาลซูโครสด้วยเครื่องรีแฟรกโตมิเตอร์ก่อนนำไปหมัก

2) กากส้มที่นำไปปรับสภาพโดยใช้จุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติที่มีอยู่ในกากส้มเป็นตัวย่อยสลาย โดยนำกากส้มละเอียดใส่ในถุงซิปล็อค รีดอากาศออกแล้วปิดปากถุง เก็บถุงไว้ในถังที่ปิดฝาเพื่อเก็บในที่มืดเพื่อเร่งการเกิดรา ภายใต้อุณหภูมิห้อง ระยะเวลาที่ปล่อยให้เกิดราและเกิดการย่อยทางชีวภาพ 1-10 วัน โดยใช้ถุงซิปล็อค 10 ถุงในการศึกษาผลของจำนวนวันของการปรับสภาพต่อปริมาณเอทานอลที่ได้ ก่อนนำกากส้มที่ปรับสภาพแล้วในแต่ละวันไปหมักให้วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลซูโครสด้วยเครื่องรีแฟรกโตมิเตอร์

2.2 การหมัก

การศึกษาตัวแปรที่ส่งผลต่อปริมาณเอทานอลมีดังนี้

ก) การหมักโดยไม่ผ่านกระบวนการปรับสภาพและการหมักโดยผ่านกระบวนการปรับสภาพกากส้มด้วยการย่อยสลายตามธรรมชาติ 1-10 วัน

ข) จุลินทรีย์ที่ใช้ในกระบวนการหมักคือ *Saccharomyces cerevisiae* เปรียบเทียบกับลูกแป้งข้าวหมาก

ค) ปริมาณของจุลินทรีย์ต่อกากส้ม โดยใช้จุลินทรีย์ต่อกากส้ม 2.5 และ 5 กรัม ต่อกากส้ม 300 กรัม

ง) ระยะเวลาในการหมัก 1-7 วัน

ในแต่ละการทดลองขวดหมักมีขั้นตอนเริ่มจาก ชั่งกากส้มที่ไม่ปรับสภาพ หรือ กากส้มที่ปรับสภาพในแต่ละวัน 300 กรัม ซึ่งมีค่าพีเอชประมาณ 4 หลังจากนั้นละลายจุลินทรีย์ *Saccharomyces cerevisiae* หรือลูกแป้งข้าวหมากปริมาณ 2.5 กรัม หรือ 5 กรัม ในน้ำสะอาดต้มสุกปล่อยให้เย็น 50 กรัม เทกากส้มที่ชั่งไว้ลงในขวดรูปชมพู่ที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อแล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในหม้อนึ่งขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วเทสารละลายจุลินทรีย์ผสมกับกากส้มคนให้เข้ากัน แล้วปิดปากขวดด้วยสำลีม้วนแน่นเพื่อป้องกันอากาศเข้ามาในขวดหมัก ระยะเวลาการหมัก 7 วันโดยเก็บตัวอย่างสารในขวดหมักในแต่ละวัน (ครบ 24 ชั่วโมงในแต่ละวัน) มาทดสอบปริมาณน้ำตาลซูโครสและเอทานอลโดยใช้เครื่องรีแฟรกโตมิเตอร์สำหรับวัดน้ำตาลและเอทานอลตามลำดับ

2.3 การทดสอบแรงดันวงจรเปิดด้วยเซลล์เชื้อเพลิงแบบเอทานอลป้อนตรง

การวิเคราะห์ผลของไบโอเอทานอลที่ได้จากกระบวนการหมักเพื่อเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงเอทานอลป้อนตรง (Direct Ethanol Fuel Cell, DEFC) ขนาด 10 ตร.ซม. ด้วยชุดทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงเอทานอลป้อนตรงจากบริษัท Horizon Fuel Cell Technologies

ไบโอเอทานอลถูกกรองออกจากกากส้มที่หมักเป็นเวลา 7 วัน แล้วป้อนไบโอเอทานอลปริมาตร 1 มิลลิลิตรด้วยกระบอกฉีดเข้าสู่ขั้วแอโนดของ DEFC ผ่านสายยางที่ต่อเข้าขั้วแอโนด วัดค่าแรงดันวงจรเปิดที่ได้ที่เวลาต่าง ๆ

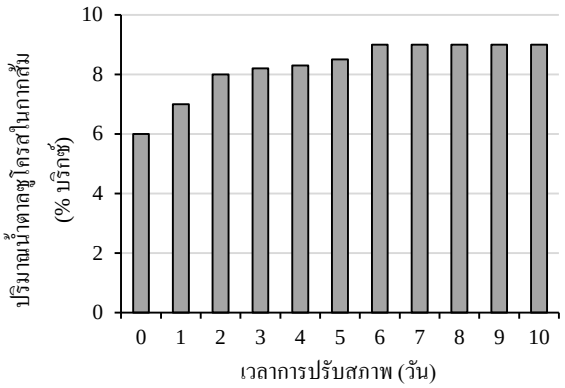
3. ผลการดำเนินงานวิจัย

จุดมุ่งหมายที่ต้องการเพิ่มมูลค่าขยะในชุมชนหรือโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารมาสู่พลังงานหมุนเวียน งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงไบโอเอทานอลจากกากส้มเหลือทิ้งสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงเอทานอลป้อนตรง เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอเอทานอลทั้งจากกากส้มที่ไม่ปรับสภาพและกากส้มปรับสภาพด้วยวิธีทางธรรมชาติ และการหมักที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ในการศึกษานี้ยังได้ทดสอบการผลิตไฟฟ้าโดยวัดจากแรงดันวงจรเปิดจากเซลล์เชื้อเพลิงเอทานอลป้อนตรงโดยใช้เชื้อเพลิงจากสารละลายที่ได้จากการหมักซึ่งมีเอทานอลเป็นส่วนประกอบ

3.1 ผลของปริมาณน้ำตาลซูโครสในกากส้มก่อนหมัก

รูปที่ 1 แสดงให้เห็นว่ากากส้มไม่ปรับสภาพมีปริมาณน้ำตาลน้อยกว่ากากส้มที่ปรับสภาพด้วยวิธีทางธรรมชาติ ปริมาณน้ำตาลสูงขึ้นตามเวลาการปรับสภาพจนถึงวันที่ 6 ซึ่งได้ปริมาณน้ำตาลซูโครส

9 % บริกซ์ และคงที่จนถึงวันที่ 10 ของการปรับสภาพ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการปรับสภาพกากส้มด้วยวิธีธรรมชาติเพียง 6 วันก็ให้ปริมาณน้ำตาลซูโครสสูงถึง 9 % บริกซ์ ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมกับการปรับสภาพกากส้มก่อนการหมัก

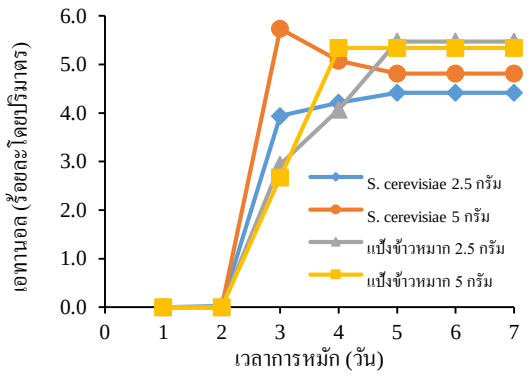


รูปที่ 1 ปริมาณน้ำตาลซูโครสของกากส้มที่ไม่ปรับสภาพและปรับสภาพ

3.2 ผลการผลิตไบโอเอทานอลจากกากส้ม

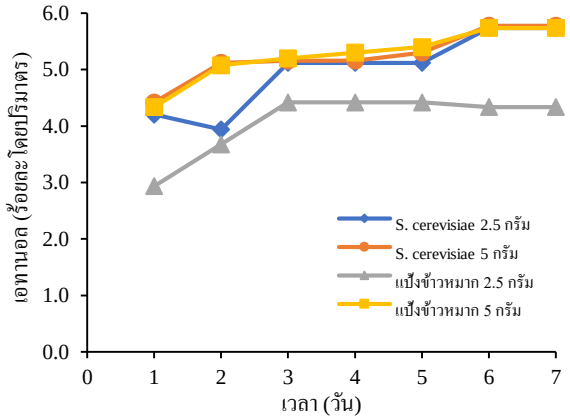
กากส้มที่ไม่ปรับสภาพแล้วนำไปหมักโดยใช้จุลินทรีย์ที่แตกต่างกันคือ *Saccharomyces cerevisiae* และลูกแป้งข้าวหมาก ด้วยปริมาณของจุลินทรีย์ 2.5 และ 5 กรัม จะได้ปริมาณเอทานอลดังแสดงในรูปที่ 2 การใช้จุลินทรีย์ *Saccharomyces cerevisiae* ปริมาณ 5 กรัม ให้ความเข้มข้นของเอทานอลสูงที่สุดร้อยละ 5.7 ที่การหมักวันที่ 3 แล้วค่อย ๆ ลดลง ส่วนการใช้จุลินทรีย์ลูกแป้งข้าวหมาก 2.5 และ5 กรัม ความเข้มข้นของเอทานอลสูงขึ้นในวันที่ 5 และ 4, ตามลำดับ เอทานอลที่ได้จากลูกแป้งข้าวหมากประมาณร้อยละ 5.3 – 5.5 ในขณะที่ตั้งแต่วันที่ 4 เป็นต้นไป สำหรับการใช้ *Saccharomyces cerevisiae* ปริมาณ 5 กรัม เอทานอลเริ่มลดลง

สำหรับการใช้กากส้มที่ปรับสภาพตามธรรมชาติในการหมัก พบว่าจากผลของปริมาณน้ำตาลซูโครสสูงที่สุด 9 % บริกซ์ ทำให้ได้เอทานอลจากการหมักประมาณร้อยละ 5.7-5.8 ทั้งการใช้ *Saccharomyces cerevisiae* 2.5 และ 5 กรัม และลูกแป้งข้าวหมาก 5 กรัม ดังรูปที่ 3



รูปที่ 2 ปริมาณเอทานอลจากการหมักกากส้มที่ไม่ปรับสภาพ

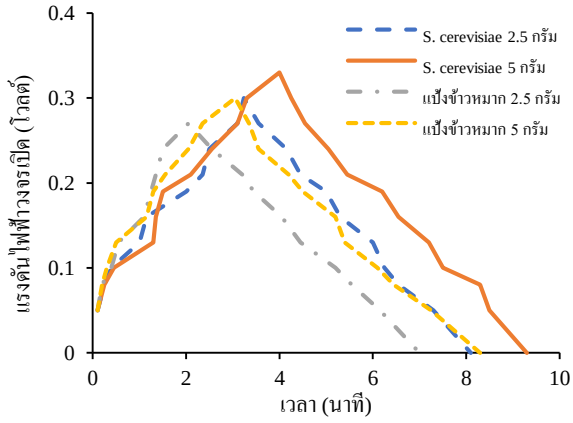
ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Shilpa และคณะ [9] ที่ใช้วิธีการหมักเอทานอลจากเปลือกส้มแบบย่อยเป็นน้ำตาลและการหมักพร้อมกัน (Simultaneous Saccharification and Fermentation) เป็นเวลา 7 วัน โดยการเพาะเลี้ยงเชื้อรา *Aspergillus niger* และ *Saccharomyces cerevisiae* ร่วมกัน และได้ผลผลิตเอทานอล 3.98 ร้อยละโดยปริมาตร นอกจากนี้การหมักเปลือกสับปะรดซึ่งเป็นผลไม้รสเปรี้ยวโดยหาสภาวะการปรับสภาพและหมักที่เหมาะสมทำให้ได้ไบโอเอทานอลร้อยละ 5.38 [13]



รูปที่ 3 ปริมาณเอทานอลจากการหมักกากส้มที่ปรับสภาพ 6 วัน

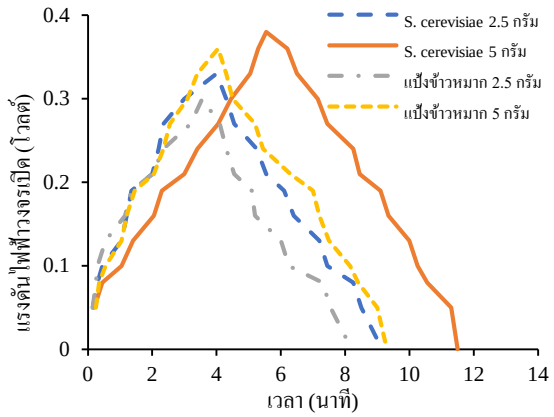
3.2 ผลแรงดันวงจรเปิดจากเซลล์เชื้อเพลิงป้อนตรงเอทานอลจากเชื้อเพลิงไบโอเอทานอลจากการหมักกากส้ม

ถึงแม้ว่าผลการผลิตไบโอเอทานอลด้วยวิธีการหมักกากส้มทั้งจากกากส้มปรับสภาพและไม่ปรับสภาพจะได้เอทานอลสูงกว่าร้อยละ 5 เกือบทุกสภาวะขึ้นอยู่กับเวลาการหมักและเวลาการปรับสภาพ แต่ผลการป้อนเชื้อเพลิงไบโอเอทานอลที่ได้จากการหมักแล้วกรองเอาแต่สารละลายโดยไม่ผ่านกระบวนการกลั่นนั้น



รูปที่ 4 แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดจาก DEFC จากไบโอเอทานอลหมักเวลา 7 วัน จากกากส้มที่ไม่ปรับสภาพ

ผลการทดสอบ DEFC พบว่าการป้อนไบโอเอทานอลที่ได้จากการหมักด้วยจุลินทรีย์ *Saccharomyces cerevisiae* ปริมาณ 5 กรัมให้ค่าแรงดันวงจรเปิดสูงที่สุดและระยะเวลาในการผลิตแรงดันไฟฟ้าของ DEFC นานที่สุดสำหรับการใช้ปริมาณเอทานอล 1 มิลลิลิตรเท่ากันทุกการทดสอบ โดยผลมีความสอดคล้องกันทั้งการใช้กากส้มที่ไม่ปรับสภาพ (รูปที่ 4) และปรับสภาพ (รูปที่ 5) โดยเลือกแสดงผลสำหรับการปรับสภาพเวลา 6 วันเนื่องจากให้ค่าแรงดันวงจรเปิดสูงที่สุด 0.38 โวลต์ และการผลิตแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดของไบโอเอทานอลจากการหมักด้วยจุลินทรีย์ *Saccharomyces cerevisiae* ปริมาณ 2.5 กรัม และลูกแป้งข้าวหมาก 5 กรัมมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน ส่วนการใช้จุลินทรีย์ลูกแป้งข้าวหมาก 2.5 กรัมให้แรงดันวงจรเปิดต่ำที่สุดและระยะเวลาที่แรงดันลดลงเหลือศูนย์เร็วที่สุด



รูปที่ 5 แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดจาก DEFC จากไบโอเอทานอลหมักเวลา 7 วัน จากกากส้มที่ปรับสภาพ 6 วัน

4. สรุป

จากการศึกษาการผลิตไบโอเอทานอลจากกระบวนการหมักกากผลไม้จากส้มที่ผ่านกระบวนการคั้นน้ำส้มและเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมจากการไม่ปรับสภาพและปรับสภาพตามธรรมชาติ 1-10 วัน โดยใช้จุลินทรีย์ *Saccharomyces cerevisiae* และ ลูกแป้งข้าวหมาก โดยการหมักเป็นเวลา 7 วัน สารละลายไบโอเอทานอลจากทุกสภาวะหลังการหมัก 7 วันจะถูกนำมากรองและป้อนเข้าสู่ขั้วแอโนดของเซลล์เชื้อเพลิงเอทานอลป้อนตรง (DEFC)โดยไม่ต้องกลั่นไบโอเอทานอลก่อน พบว่ากากส้มที่ผ่านการปรับสภาพเป็นเวลา 6 วัน แล้วนำมาหมักโดยใช้จุลินทรีย์ *Saccharomyces cerevisiae* ปริมาณ 5 กรัม จะได้ปริมาณเอทานอลมากที่สุดอยู่ที่ร้อยละ 5.8 ในการหมักช่วงวันที่ 6-7 และให้ค่าแรงดันวงจรเปิดจาก DEFC มากที่สุดอยู่ที่ 0.38 โวลต์

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการนำกากส้มที่ผ่านกระบวนการคั้นน้ำส้มสามารถนำมาผลิตไบโอเอทานอลได้เพียงพอกับการใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับ DEFC ซึ่งต้องการสารละลายเอทานอลประมาณร้อยละ 5 ถึง 10 ในผลิตพลังงานไฟฟ้า งานวิจัยนี้จึงเป็นแนวทางในการช่วยลดปริมาณขยะทั้งในชุมชนและอุตสาหกรรมแปรรูปอาหาร สามารถเพิ่มมูลค่าทำให้เกิดประโยชน์ และเป็นแนวทางในการลดต้นทุนจากการผลิตไบโอเอทานอลอีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

[1] M. N. Ali and M. Khan, "Production of bioethanol fuel from renewable agro- based cellulosic wastes and waste newspapers," *International Journal of Engineering Science and Technology*, vol. 3, pp. 884, 2011.

[2] M. Saifuddin, et al., "Biodiesel production from waste cooking palm oil and environmental impact analysis," *Bulg. J. Agric. Sci.*, vol. 20, pp. 186-192, 2014.

[3] D. Arapoglou, et al., "Ethanol production from potato peel waste (PPW)," *Waste Manage.*, vol. 30, pp. 1898-1902, 2010.

[4] D. K. Sharma, "Emerging biomass conversion technologies for obtaining value-added chemicals and fuels from biomass," *Proceed Indian Nat Sci Acad*, vol. 81, pp. 755-764, 2015.

[5] M. Galbe and G. Zacchi, "A review of the production of ethanol from softwood," *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, vol. 59, pp. 618-628, 2002.

[6] A. Srisiriwat, N. Srisiriwat and W. Pirom, "Effect of Ethanol Concentration on Direct Ethanol Fuel Cell Performance," in *Proceedings of The 7th Annual Conference on Engineering and Information Technology,* Osaka, Japan, May 2020, pp. 44-51.

[7] P. Saisirirat and B. Joommanee, "Study on the Performance of the Micro Direct Ethanol Fuel Cell (Micro-DEFC) for Applying with the Portable Electronic Devices," *Energy Procedia*, vol. 138, pp. 187-192, 2017.

[8] In Seong Choi, et al., A low-energy, cost-effective approach to fruit and citrus peel waste processing for bioethanol production," *Appl. Energy*, vol. 140, pp. 65-74, 2015.

[9] C. Shilpa, et al., "Alcohol Production from Fruit and Vegetable Waste," *International Journal of Applied Engineering Research*, vol. 8, pp. 1749-1756, 2013.

[10] S. Babu, et al., "Optimization of bioethanol production from fruit wastes using isolated microbial strains," *Int. J. Adv. Biotechnol. Res.*, vol. 5, pp. 598-604, 2014.

[11] S. Tiwari, et al., "Bioethanol production from rice bran with optimization of parameters by Bacillus cereus strain McR-3 'Fermentation of rice bran for fuel ethanol production'," *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, vol. 12, pp. 3819-3826, 2015.

[12] สังเวย เสวกวิหารี, การผลิตเอทานอลจากเปลือกแตงโมโดยกระบวนการหมัก. วิทยานิพนธ์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, 2562.

[13] อักษรภัค เต็งรัง, การผลิตไบโอเอทานอลจากเปลือกสับปะรดด้วยยีสต์ขนมปัง. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2557.



ประวัติผู้เขียนบทความ

นางสาวเบญญาภา ธันวารชร

นักศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาปิโตรเคมีและการจัดการสิ่งแวดล้อม

สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

งานวิจัยที่สนใจด้านพลังงานหมุนเวียน

การจัดการของเสียเพื่อพลังงานทดแทนอย่างยั่งยืน



ประวัติผู้เขียนบทความ

รองศาสตราจารย์ ดร.ณาวดี ศรีศิริวัฒน์

อาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร

มหาบัณฑิตและดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาปิโตรเคมีและการจัดการสิ่งแวดล้อม

สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

งานวิจัยที่สนใจด้านพลังงานทดแทน

การผลิตไฮโดรเจน และเซลล์เชื้อเพลิง

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

A Study of Performance Evaluation and the Payback of Investment with Carbon Credit of Three PV Panel Types in the Utility-Scale: The Installations in Ayutthaya, Lop Buri, and Prachuap Khiri Khan in Thailand.

Prachuab Peerapong[1*]

[1] **Bangkokthonburi University, 16/10 Leabklongtaweewatana Rd, Taweewatana District, Bangkok, Thailand 10170.**

[*] Corresponding author. E-mail: bigman_thai@hotmail.com.

บทคัดย่อ

บทความนี้มีจุดมุ่งหมายศึกษาการวิเคราะห์คุณลักษณะและความคุ้มค่าในการลงทุนของการติดตั้งแผงรับแสงอาทิตย์ที่เป็นติดตั้งในรูปแบบโซลาร์ฟาร์มในประเทศไทยในพื้นที่ถูกเลือกเฉพาะในพื้นที่เขตภาคกลางสองพื้นที่ และในเขตภาคใต้อีกหนึ่งพื้นที่โดยใช้แผงโซลาร์ที่มีเทคโนโลยีที่แตกต่างกัน 3 อย่าง ผลการศึกษาจะถูกจำลองโดยโปรแกรม Solar-GIS ผลการวิเคราะห์ในเชิงคุณลักษณะ(PV performance Analysis) ส่วนการวิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐศาตร์ คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ผลตอบแทนภานใน(IRR) และระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) ผลการศึกษาพบว่าการวิเคราะห์ในเชิงคุณลักษณะมีค่าระหว่าง 71.1% และ 84.5% มูลค่าปัจจุบันสุทธิมีผลเป็นค่าบวก และผลตอบแทนภายในค่าระหว่าง 8.5% และ 13.9% และระยะเวลาคืนทุนค่าระหว่าง 7.4 และ 9.5 ปี และกรณีมีคาร์บอนเครดิตทำระยะเวลาคืนทุนสั้นลงและผลตอบแทนภายในสูงขึ้น

คำสำคัญ : วิเคราะห์ในเชิงคุณลักษณะ; ผลตอบแทนการคืนทุน; Solar-GIS

Abstract

This study aims to investigate the performance analysis and the returns of investment of solar PV installation of the selected power plants in the utility-scale of different Solar PV panel types in three regions of Thailand. The performance results of the plant are also compared with the simulation values obtained from Solar-GIS software. The economic viability of investment in solar PV installation is in comparison by using the usage of the net present value (NPV), internal rate of return (IRR), and payback period (PB). The PV system performance in this study varies from 71.1% to 84.5% . The returns of investment namely: Equity %IRR is in the range of 8.5-13.9%, and the payback period is less than 7.4-9.5 years. In cases of solar PV installation selling carbon credit can reduce the payback period of investment and increase the equity IRR.

Keywords, Performance analysis, Returns of investment, Solar-GIS

1. Introduction

The objectives of this study are to propose an alternative to solar system installation for the three types of solar panels namely: crystalline silicon (c-Si), amorphous silicon (a-Si), and copper indium selenide (CIS). The performance ratio and the financial return on investment have been investigated. The investigations of these objectives have been studied in three regions in the central part and southern parts of Thailand. From review literature, in the installation of 110 kW_p in different technologies of grid-connected solar PV in a residential building in India, the study concluded that the energy output with the values of 1,483, 1,646, and 1,513 kWh/kW_p and the performance ratio of 71.6%, 79.5%, and 73.1% for Crystalline silicon (c-Si), amorphous silicon (a-Si), and copper indium selenide solar modules, respectively [1]. Kumar & Sudhakar (2015) studied the performance evaluation of 10 MW of grid-connected solar PV power plants in India [2].

2. Methodology

2.1 Electricity Generation

This paper investigates the electricity harvesting of solar PV potential installations in diffident regions in Thailand with polycrystalline silicon (poly c-Si), amorphous silicon (a-Si), and copper indium selenide (CIS) PV modules. Solar irradiation dataset in Thailand in a horizontal plane (solar irradiation potential in Thailand from Solar-GIS database), of optimal inclination angle, both of one-axis and two-axis solar irradiation and energy output prediction in optimal inclination installation obtained from Solar-GIS software[3].

2.2 Financial Investigation

The system price cost is composed of the cost of modules and the balance of the system (BOS), the system prices such as the capital cost, discount rate, loan terms, and interest rest, normalized annual electricity generation, and electricity feed-in tariffs are the important required inputs. The Financial outputs are investigated by RETscreen model [4].

2.3 Solar Irradiation in Thailand

This study investigates five provinces in the north, northeast, central, and east of Thailand. The Solar-GIS dataset is chosen because it had the lowest mean bias errors (MBE) and root means square errors (RMSE). The MBE and RMSE of the Solar-GIS dataset were 2.5% and 7.9% when compared with MBE and RMSE of NASA dataset were

2.7% and 9.3%, respectively. The positive value of MBE means that it overestimates with a maximum deviation of 7.9% and the prediction of energy output used, is therefore reduced by 7.9 . The geographical position in the main high-potential areas in Thailand has been studied. The global solar radiation in Thailand with an average value of 4.83 kWh/m2/day; however, it varies in different regions

3 Results

3.1 Sites Selection and Electricity Generation

The selected provinces; in the central region are Ayutthaya and Lop Buri provinces and in the southern region Prachuap Khiri Khan. The results in Table 1 show the yearly average solar radiation in horizontal, optimal inclination, one-axis, and two-axis tracking of selected provinces**.** The solar radiation: 1) in horizontal plane ranges from 1719 kWh/m^2 to 1876 kWh/m^2, 2) in optimal inclination plane ranges from 1777 kWh/m^2 to 1938 kWh/m^2, 3) in one-axis ranges from 2050 kWh/m^2 to 2230 kWh/m^2, 4) in dual-axis ranges from 2107 kWh/m^2 to 2303 kWh/m^2, respectively. The lowest value occurs in Prachuap Khiri Khan while the highest value occurs in Lop Buri province. The optimal inclination angle in each province obtained from SolarGIS software is varied: 1) with 16° in the central area (Ayutthaya and Lop Buri), 2) between 15-18° in the south area (Prachuap Khiri Khan), respectively.

3.2 Energy output assessment

The loss in this power plant was therefore to model the energy output from various module types in the PV systems assuming: 97.5% inverter efficiency, 5.5% DC losses, 1.5% AC losses, and 99% electricity availability generation. However, the loss in each module type is described in detail due to its solar panel-specific characteristic, and it varies in different regions. The results from Table 2 show annual electricity production. The electricity obtained from 1 MW; 1) polycrystalline solar module installation is varied from 1361 MWh/year in Prachuap Khiri Khan to 1467 MWh/year in Lop Buri, 2) amorphous solar module installation is varied from 1492 MWh/year in Prachuap Khiri Khan to 1635 MWh/year in Lop Buri province, 3) thin-film CIS solar module installation is varied from 1381 MWh/year in Prachuap Khiri Khan to 1495 MWh/year in Lop Buri province.

3.3 Performance ratio

The performance ratio (PR) indicates how close it approaches ideal performance during real operation and allows comparison of PV systems independent of location, tilted angle, orientation, and their nominal rated power capacity [5].

The performance ratio of each solar module to solar irradiation is also different, but it has a few variations in each region in this study. The performance ratio shows in Table 2: for polycrystalline solar modules is between 75.5-76.7%, for the amorphous solar module, is between 83.8-84.6%, and for thin film, CIS solar module is between 77.0-78.0%, respectively. This study obtained the highest electricity generation in comparison with polycrystalline, amorphous, and thin-film CIS solar module types, and the highest values are in Lop Buri in the northeast part and the lowest value is in Prachuap Khiri Khan province, in the southern part of Thailand.

3.4 Capacity factor

The capacity factor (CF) is defined to represent the energy delivered by electricity power. If the system is delivered with a full rate of power continuously, its capacity factor is unity. The capacity factor is defined as the ratio of actual annual energy output to the amount of energy the PV system would generate if it operated at full-rated ($P_{PV\text{-}rated}$) power for 24 hours per day for one year. Table 3 shows the capacity factor for the polycrystalline solar module (c-Si), amorphous module (a-Si), and thin-film CIS module in different regions in Thailand. The lowest values in Prachuap Khiri Khan province with 15.5%, 17.0%, and 15.8% for c-Si, a-Si, and thin-film CIS, and the highest values in Lopburi province with 16.7%, 18.7%, and 17.0%, respectively. The capacity factors are also high in other provinces in the north, northeast, and central regions. The capacity of the solar system of the c-Si panel is relatively higher than other types of solar panel installation.

3.5 Economic analysis

The economic analysis investigated in this study consists of the results of the equity interest of return (equity IRR), and the simple payback period. PV solar panel prices are continuously decreased significantly in recent years [6]. The assumption for this analysis is collected from many various resources. The system price cost is composed of the cost of modules and the balance of system (BOS) cost. For this study, the cost of the module of polycrystalline is set to $1.05/Wp and the cost of the module of amorphous and thin-film CIS is set to $0.8-0.95/Wp, respectively. The balance of system (BOS) costs including land cost, labor cost, electricity grid extension cost, inverters, transformer, and other costs. The BOS cost is set to $1.0/Wp for the polycrystalline module, and $1.15/Wp for other thin-film modules (both amorphous and CIS modules). The PV project is set for 25 years lifetime with its warranty of all modules. The operation and maintenance cost is as minimal as 1.0% of its capital cost. The loan term of this assumption is set to 10 years with an interest rate of 7.25%. The discount rate of this economic calculation is set to 6.5%. The electricity price, selling energy to the national grid with the incentive of

the flatted price feed-in tariffs of $0.1742/kWh (money value exchange rate in 2020) for the whole project lifetime of 25 years. The results in Table 3 show that the equity interest return of a 1 MW solar power plant is varied between 8.5-10.2% for polycrystalline module installation, 11.6-13.9% for amorphous module installation, and 9.4-11.1% for thin-film CIS module installation. Also, the highest equity interest of return occurs in Lop Buri province in the central region and its lowest value occurs in Prachuap Khiri Khan, in the south region, of three types of solar module installation. The simple payback period is defined that the period required for the profit from an investment to equal the cost of the project. Correspondingly, the simple payback period is varied between 8.7-9.5 years for polycrystalline module installation, 7.4-8.1 years for amorphous module installation, and 8.4-9.1 years for thin film CIS module installation.

3.6 Carbon credit

The Clean Development Mechanism (CDM) instituted under the Kyoto Protocol offers another channel of investment and technology flows from renewable electricity generation in clean energy in developing countries to the industrialized Annex I countries. The CDM was expected to attract capital in decreasing climate change effects in developing countries and promote technology transfer from the Annex I countries. This is apparent not only in terms of the registered projects but also in terms of the size (installation capacity) and quantity of certified emission reductions (CERs), or carbon prices, the potential of the registered renewable energy-based CDM power projects in the developing countries. The carbon credit price is not a constant value, it is a rate that can negotiate between the seller and the buyer. For example in solar PV installation in Thailand, carbon credit price can range from a minimum of 21.5 to a maximum of 500 Baht/ton CO_2 [7]. The calculation of carbon credit can be sold in tons of CO_2 in each solar PV project installation that can reduce CO_2 emission and is shown in equation (1).

$$\text{Ton } CO_2 = \text{Grid Emission}(\text{Ton } CO_2/\text{MWh}) \times \text{Electricity}(\text{MWh}) \quad (1)$$

Grid Emission is the yearly national of CO_2 in the process of electricity generation in kg CO_2/kWh, or a ton of CO_2/MWh. This research used data in the year 2018 (0.462 kg CO_2/kWh), and related to electricity loss in the transmission line (6%). The potential of reduction of CO_2 emissions in each solar PV installation is shown in Table 4.
The benefit in solar PV installation of selling carbon credit is shown in Table 5. This can reduce the payback period of investment and increase the equity IRR.

Table 1 Physical position and yearly average solar radiation in horizontal, optimal inclination, one-axis, and two-axis tracking of selected locations in Thailand

Provinces	Latitude, Longitude	Optimal angle	Solar irradiation (kWh/m^2), yearly			
			Horizontal Plane	In optimal inclination	1-axis tracking	2-axis tracking
Ayutthaya	14° 16' 12.0" N, 100° 35' 24.0" E	16°	1851	1910	2191	2262
Lop Buri	14° 49' 12.0" N, 100° 37' 48.0" E	16°	1876	1938	2230	2303
Prachuap Khiri Khan	11° 34' 48.0" N, 99° 32' 24.0" E	15°	1719	1777	2050	2107

Table 2 Annual electricity production of PV modules of 1 MW installation in optimal inclination in three selected sites in Thailand

Selected Provinces	Annual electricity production of different types of PV modules, capacity factor, and performance ratio								
	Polycrystalline PV			Amorphous PV			Thin-film CIS PV		
	MWh	CF %	PR (%)	MWh	CF %	PR (%)	MWh	CF %	PR (%)
Ayutthaya	1446	16.5	75.6	1612	18.4	84.3	1473	16.81	77.1
Lop Buri	1467	16.7	76.6	1635	18.7	84.3	1495	17.0	77.0
Prachuap Khiri khan	1361	15.5	76.5	1492	17.0	83.8	1381	15.8	77.6

Table 3 The return on investment from PV electricity production of different PV modules installation in the optimal inclination in three selected sites in Thailand without carbon credit

Provinces	Polycrystalline PV		Amorphous PV		Thin-film CIS PV	
	Equity IRR (%)	PBP(yrs)	Equity IRR (%)	PBP (yrs)	Equity IRR (%)	PBP (yrs)
Ayutthaya	9.9	8.8	13.3	7.7	10.8	8.6
Lop Buri	10.1	8.7	13.9	7.4	11.1	8.3
Prachuap Khiri Khan	8.50	9.5	11.6	8.1	9.4	9.1

Table 4 The benefit of emission reduction of a 1 MW solar PV installation in selected provinces in Thailand

Selected Provinces	Annual electricity production of different types of PV modules, and emission reduction potentials					
	Polycrystalline PV		Amorphous PV		Thin-film CIS PV	
	MWh	Emission reduction (tons)	MWh	Emission reduction (tons)	MWh	Emission reduction (tons)
Ayutthaya	1446	683.958	1612	762.476	1473	696.729
Lop Buri	1467	693.891	1635	773.335	1495	707.135
Prachuap Khiri khan	1361	643.753	1492	705.716	1381	653.213

Table 5 The return on investment from PV electricity production of different PV modules installation in the optimal inclination in three selected sites in Thailand with carbon credit of \$5/ton CO_2 (167.5 Baht/ton CO_2) for 7 years

Provinces	Polycrystalline PV		Amorphous PV		Thin-film CIS PV	
	Equity IRR (%)	PBP(yrs)	Equity IRR (%)	PBP (yrs)	Equity IRR (%)	PBP (yrs)
Ayutthaya	10.0	8.7	13.4	7.6	10.9	8.4
Lop Buri	10.2	8.6	14.1	7.3	11.2	8.2
Prachuap Khiri Khan	8.60	9.4	11.7	8.0	9.5	9.0

4. Conclusion

This paper has evaluated the technical performance of a 1000 kW grid-connected solar PV system in utility-scale installation. Three types of solar PV panels are used in this study. The simulation with Solar-GIS to determine the performance ratio (PR) and the energy yield can be concluded:

1. The Performance ratio of the PV system performance in this study varies from 65.6% to 84.3% and their energy yields per annual vary from 1,361 kWh/kW_p to 1,467 kWh/kW_p (poly c-Si); 1,492 kWh/kW_p to 1,635 kWh/kW_p (a-Si); 1,381 kWh/kW_p to 1,495 kWh/kW_p (CIS).

2. Of the three types of PV systems considered in this study solar PV systems of all installations have their PRs higher than 75.6% and can reach 84.3% in an amorphous solar PV system.

3. The benefit of solar PV installations can reduce emissions as can the maximum of annual 773 tons of CO_2 reduction per MW installation in an amorphous solar PV technology.

It is normally the polycrystalline technology that has its efficiency higher than that of the amorphous technology. The CIS technology is an alternative module in consideration. The module prices and the land costs are also important factors to consider. The amorphous technology consumes more areas than that polycrystalline technology in the same kWh electricity generation. The benefit of solar PV installation of selling carbon credit can reduce the payback period of investment and increase the equity IRR.

5. Acknowledgment

The author is appreciated to Bangkok Thonburi University, and the Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy for supporting data used in this research.

References

[1] A. K. Shukla, K. Sudhakar, and P. Baredar, "Simulation and performance analysis of 110 kW_p grid-connected photovoltaic system for residential building in India: A comparative analysis of various PV technology," *Energy reports,* vol 2, pp.82-88, 2016.

[2] B.S. Kumar, and K. Sudhakar, "Performance evaluation of 10 MW grid connected solar photovoltaic power plant in India," *Energy reports,* vol 1, pp.184-192, 2015.

[3] SOLARGIS. Retrieved on January 13, 2021, from http://www.solargis.info/pvplanner/.

[4] RETscreen model. Retrieved on January 16, 2023, from https://natural-resources.canada.ca/maps-tools-and-publications/tools/modelling-tools/retscreen/7465

[5] T. Ma, H. Yang, and L. Lu, "Performance evaluation of a stand-alone photovoltaic system on an isolated island in Hong Kong," *Appl. Energy,* vol 112, pp. 663–672, 2013.

[6] K. Mohammadi, M. Naderi, and M. Saghafifar, "Economic feasibility of developing grid-connected photovoltaic plants in the southern coast of Iran," *Energy,* vol 156, pp.17–31, 2018.

[7] สำธิต เนียมสุวรรณ, แนวทางการลดก๊าซเรือนกระจกด้วยคาร์บอนเครดิต (2565). องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน).



Prachuab Peerapong Dr. Prachuab Peerapong graduated in Ph.D. degree in Engineering and Technology in 2019 from Thammasat University. He is interested in renewable energy technology research.

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

ผลกระทบของอัตราการไหลเชิงมวลและการจัดวางหัวจ่ายอากาศต่อการกระจายตัวของอากาศร้อนภายในเตาอบแห้ง

Effects of Mass Flow Rate and Nozzle Arrangement on Hot Air Distribution inside a Drying Oven

รัฐนันท์ ราษฎรปราณี[1] และ พิสิฐ ยงยิ่งศักดิ์ถาวร[2*]

[1]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการบิน-อวกาศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1518 ถนนประชาราษฎร์ 1 เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800 Email : ruttanunrat@gmail.com. pisit.y@eng.kmutnb.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศร้อนและการจัดวางหัวจ่าย ต่อการกระจายความเร็วของกระแสอากาศร้อนในเตาอบแห้งถุงมือยางทางการแพทย์ โดยใช้วิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวน (CFD) เตาอบหนึ่งตอน มีขนาด 0.5 m × 3 m × 1.2 m อากาศร้อน 120 °C ไหลเข้าเตาอบด้วยอัตราการไหล 0.68 kg/s ผ่านแผ่นหัวจ่ายประกอบด้วยหัวจ่ายแบบสล๊อตที่มีขนาด 0.010 m × 0.430 m วางเรียงขนานห่างกันเป็นระยะ 0.1 m แผ่นหัวจ่ายเป็นแผ่นอลูเนียมหนา 0.002 m การไหลถูกพิจารณาเป็นการไหลแบบคงตัว อัดตัวไม่ได้ และปั่นป่วน โมเดล k-ω ถูกเลือกใช้เนื่องจากมีการไหลย้อนกลับ ผลการจำลองที่ได้แสดงให้เห็นว่า อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศร้อนมีผลต่อการกระจายของอากาศร้อนภายในเตาอบเล็กน้อย ในขณะที่ระยะห่างระหว่างหัวจ่ายแบบสล็อตจะมีผลกระทบอย่างชัดเจน ระยะห่างนี้เป็นตัวควบคุมการไหลย้อนกลับและความสม่ำเสมอของความเร็วอากาศภายในเตาอบ

คำสำคัญ : พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ; เตาอบแห้ง; อัตราการไหลของอากาศร้อน; การจัดวางหัวจ่ายอากาศ; ถุงมือยางทางการแพทย์

Abstract

This work aims to numerical study the effects of mass flow rate and nozzle arrangement on hot-air velocity profile inside a drying oven of medical rubber glove. Computational Fluid Dynamics (CFD) is employed. A section of the oven has dimension of 0.5 m × 3 m × 1.2 m. The hot air with temperature of 120°C flows into the oven with 0.68 kg/s through a 0.002-m-thick aluminum distributor plate. The distributor plate consists many slot nozzles with dimension of 0.010 m × 0.430 m, placed in parallel with a gap of 0.1 m. The flow is considered as steady, incompressible, and turbulent. With recirculation flow, k-ω model is selected. The simulation results show that the mass flow rate has small effects while the distance between slot nozzles has clear influence on flow distribution inside the oven. The distance mainly controls recirculation and uniformity of flow velocity inside the oven.

Keywords: computation fluid dynamics; drying oven; hot-air flow rate; nozzle arrangement, medical rubber glove

1. บทนำ

ถุงมือยางทางการแพทย์เป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งของยางพาราที่มีการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง โดยคาดว่าจะขยายตัวเฉลี่ยราวร้อยละ 5-10 ต่อปี จึงเป็นผลิตภัณฑ์ปลายน้ำที่สำคัญ สามารถช่วยส่งเสริมเกษตรกรซึ่งประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกวัตถุดิบยางพาราที่ใหญ่ที่สุดในโลก มีกำลังการผลิตคิดเป็น 1 ใน 3 ของการส่งออกทั้งหมดในปัจจุบัน [1-3]

จากรายงานของโครงการพัฒนาประสิทธิภาพการผลิตในอุตสาหกรรมผลิตถุงมือยางให้แข่งขันได้ในตลาดโลกในปี 2554 [4] พบว่าผู้ประกอบการไทยประสบปัญหาหลายประการ ต้นทุนพลังงานเป็นปัญหาหนึ่งที่สำคัญ มีราคาสูงและผันผวน ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานเป็นต้นทุนที่สำคัญที่ผู้ประกอบการจะละเลยไม่ได้ โดยพลังงานที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นพลังงานความร้อนที่ใช้ในเตาอบคงรูปและอบแห้ง

การออกแบบและพัฒนาเตาอบแห้งจึงเป็นเรื่องสำคัญ และได้งานวิจัย [5] ได้ทำการออกแบบเชิงแนวคิดของสายการผลิตถุงมือยางทางการแพทย์โดยเน้นที่กระบวนการอบ (drying/vulcanization) และการถอดถุงมือยาง ในส่วนของเตาอบแห้ง และเตาอบคงรูปได้ทดสอบเพื่อพิสูจน์แนวคิดของเตาอบแห้งแบบใหม่ด้วยการนำเอาโซ่ลำเลียงออกไว้ด้านนอกเตา

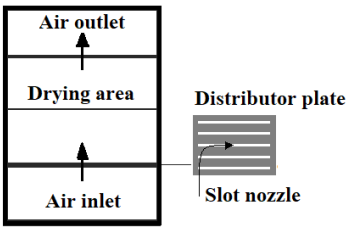
ขั้นแรกก่อนออกแบบเตาอบต้นแบบ ได้มีการวิเคราะการใช้พลังงานของระบบการอบแห้งแบบพาความร้อนของสายการผลิตถุงมือยาง ด้วยการหมุนเวียนนำอากาศร้อนกลับมาใช้ โดยได้นำเสนอวิเคราะห์การใช้พลังงาน บนเงื่อนไขความต้องการของการใช้งานจริง ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานลงได้ โดยการเพิ่มอัตราส่วนการหมุนเวียนอากาศกลับมาใช้งาน การลดอุณภูมิใช้งานเตาอบลง โดยที่เตาอบยังสามารถกำจัดปริมาณน้ำจากผลิตภัณฑ์ของการอบได้เพียงพอ ผลการวิเคราะห์นี้แสดงให้เห็นว่าสามารถเพิ่มอัตราส่วนการหมุนเวียนอากาศและ/หรือ ลดอุณหภูมิอากาศลงได้มากน้อยเพียงใด โดยหากการใช้งานการอบที่อุณหภูมิ 60 °C และการหมุนเวียนนำอากาศร้อนกลับมาใช้ ด้วยอัตราการหมุนเวียนอากาศ 22% จะช่วยประหยัดพลังงานได้ 9.27 % [6]

หลังจากได้ออกแบบเตาอบต้นแบบแล้ว ได้มีการวิเคราะห์การสูญเสียพลังงานของเตาอบต้นแบบที่นำโซ่ลำลียงให้อยู่ด้านนอกเตาเปรียบเทียบกับเตาอบแบบเก่า โดยใช้ทฤษฎีเบื้องต้นของการถ่ายเทความร้อน ผลที่ได้พบว่าสามารถลดการสูญเสียลงได้ 35% [7] การวิเคราะห์ดังกล่าวได้ดำเนินการอีกครั้งโดยใช้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณร่วมด้วยเพื่อให้การวิเคราะห์การสูญเสียแม่นยำขึ้น [8] ผลที่ได้พบว่าสามารถลดการสูญเสียความร้อนได้ 21.7 %

อย่างไรก็ตามการออกแบบและพัฒนาเตาอบมีรายละเอียดหลายส่วน โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการการกระจายความเร็วของอากาศร้อนจากแผงหัวจ่ายอากาศภายในเตาอบ ซึ่งมีความสำคัญต่อการพาความร้อนไปยังผลิตภัณฑ์ถุงมือ โดยใช้วิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณเพื่อศึกษาอิทธิพลของอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศร้อนและการจัดวางหัวจ่ายแบบสล็อต (slot nozzle) ของแผงหัวจ่ายอากาศ (distributor plate)

2. กระบวนการอบแห้ง

กระบวนการอบ (Drying) เป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญในสายการผลิตถุงมือยางทางการแพทย์แบบต่อเนื่องแบบจุ่ม (Dipping) ได้แก่ การอบแห้งเบ้ามือหลังการล้างเบ้ามือ (Former drying) 100-150°C การอบแห้งหลังการจุ่มสารช่วยจับตัว (Coagulant drying) 100-150°C การอบหลังจุ่มน้ำยางคอมปาวด์ (Gelling or Latex drying) 70–90°C การอบหลังจุ่มเคลือบโพลิเมอร์ (Polymer drying) 120–130°C การอบแห้งก่อนการวัลคาไนเซชันหรืออบคงรูป (Vulcanization) 100-140°C รวมใช้เวลาประมาณ 20-30 นาที การอบหลังจุ่มสารละลายคลอลีนเจือจาง และการอบไล่ความชื้นในขั้นตอนสุดท้าย(Post drying) 70–80°C ก่อนถอดถุงมือออกจากเบ้ามือซึ่งเป็นขั้นสุดท้ายของการผลิต แล้วไปเริ่มกระบวนการล้างเตรียมเบ้ามือเพื่อไปเริ่มต้นการผลิตถุงมือยางอย่างต่อเนื่องต่อไป โดยที่อุณภูมิของผิวเบ้ามือก่อนเข้าสู่กระบวนจุ่มสารช่วยจับตัวควรจะให้อยู่ในช่วง 50-55°C เพื่อเหมาะสมแก่กระบวนการจุ่มได้ตามความต้องการของกระบวนการถัดไป

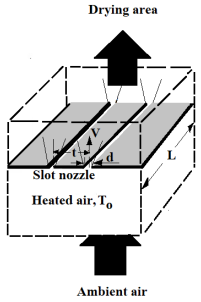


รูปที่ 1 เตาอบแห้งในกระบวนการผลิตและแผ่นหัวจ่าย

ระบบอบของสายการผลิตที่เป็นแบบอบแบบพาความร้อนอากาศร้อนแบบสายพานต่อเนื่อง อาศัยพื้นฐานการเอาน้ำออกจากวัสดุ ทำให้ปริมาณน้ำในวัสดุนั้นลดลงหรือทำให้วัสดุแห้ง ส่วนใหญ่วัสดุนั้นอยู่ในสถานะของแข็ง หรือฟิล์มน้ำ น้ำที่ระเหยออกจากวัสดุนั้นอาจจะไม่ต้องระเหยที่จุดเดือดแต่ใช้อากาศพัดผ่านวัสดุนั้นเพื่อดึงน้ำออกมา วัสดุจะแห้งได้มากน้อยจะขึ้นอยู่กับสภาวะอบและคุณสมบัติของวัสดุด้วย ในการอบเมื่อทำให้ของเหลวในวัตถุดิบระเหยเป็นไอจะได้ผลิตภัณฑ์ของแข็งที่มีสัดส่วนของของเหลวต่ำ ลง การอบแห้งอากาศร้อนมีกระบวนการอย่างง่ายก็คือเป็นการทำให้ชิ้นงานแห้งโดยการพาอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำเข้าไปพัดผ่านผิวชิ้นงานด้วยความเร็วที่ทำให้ความดันไอผิวชิ้นงานต่ำจนน้ำในชิ้นงานระเหยและแทรกตัวอยู่ในอากาศในรูปความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงขึ้นแล้วพาออกไปจากเตา จึงทำให้ชิ้นงานนั้นมีมวลของน้ำลดลงหรือแห้ง หรือเป็นการพาความร้อนออกไปในรูปมวลน้ำที่ถูกนำพาออกไป

รูปที่ 2 แสดงลักษณะเตาอบแห้งสำหรับกระบวนการผลิตถุงมือยางแบบต่อเนื่อง ซึ่งจะมีเบ้ามือยื่นเข้ามาใน drying area ของเตาอบ แผ่นหัวจ่าย (distributor plate) ประกอบด้วยหัวจ่ายแบบสล็อต (Slot nozzle) มีลักษณะช่องอากาศขนาด $d \times L$ หลายหัวจ่ายวางขนานเรียงห่างกันเป็นระยะ t อากาศร้อนถูกจ่ายจากด้านล่างไหลผ่านเบ้ามือขึ้นด้านบน ทางออกของอากาศร้อนจะอยู่ทางด้านบน หัวจ่ายอากาศร้อนจะถูกวางเต็มพื้นที่ของเตาอบที่มีขนาด 0.5 m × 3 m × 1.2 m

ในกระบวนการอบแห้งสำหรับหัวจ่ายอากาศร้อนแบบช่องสล็อตมีพารามิเตอร์ที่สำคัญต่อประสิทธิภาพในการอบแห้ง คือ ขนาดของหัวจ่ายแบบสล็อต $d \times L$, ระยะห่างระหว่างหัวจ่ายแบบสล็อต t, อุณหภูมิของอากาศ, อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศและความเร็ว, และ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ



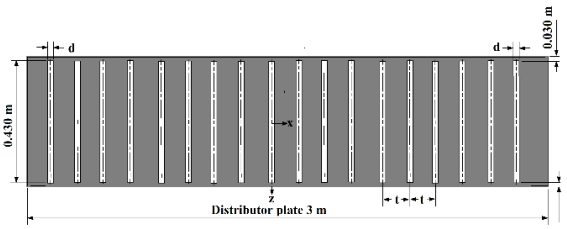
รูปที่ 2 พารามิเตอร์ในกระบวนการอบแห้ง

3 การจำลองด้วยพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics - CFD)

3.1 การสร้างแบบจำลอง (Modeling)

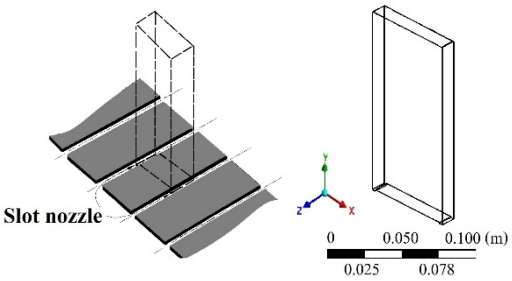
เริ่มต้นด้วยการสร้างโมเดล ของแผ่นหัวจ่ายอากาศร้อนแบบ 3D โดยแผ่นหัวจ่ายมีหัวจ่ายแบบสล็อตหลายช่องวางเรียงขนานกัน ดังรูปที่ 3 ซึ่งให้ลักษณะการไหลออกมาเหมือนกันในแต่ละหัวจ่ายแบบสล็อต จึงสามารถจำลองการไหลด้วยวิธี Periodic หรือ Symmetry ได้ ช่วยลดจำนวนเอลิเมนต์และเวลาในการคำนวณ

แบบจำลองที่สร้างขึ้นครอบคลุมส่วนหนึ่งของสนามการไหลภายในเตา กล่าวคือ กำหนดขอบเขตจากกึ่งกลางของหัวจ่ายแบบสล็อตไปถึงกึ่งกลางของอีกหัวจ่ายแบบสล็อตที่อยู่ติดกัน โดยครอบคลุมความยาวของหัวจ่ายแบบสล็อต 0.02 m ดังรูปที่ 4 (a)



รูปที่ 3 แผงหัวจ่ายอากาศ (Distributor plate)

แผ่นหัวจ่ายมีความหนา 0.002 m ซึ่งขึ้นอยู่ระหว่างหัวจ่ายแบบสล็อต โดยตัวแผ่นหัวจ่ายจะไม่ถูกรวมอยู่ในโดเมนของการจำลอง รูปที่ 4 (b) แสดงแบบจำลอง 3D ที่สร้างขึ้น



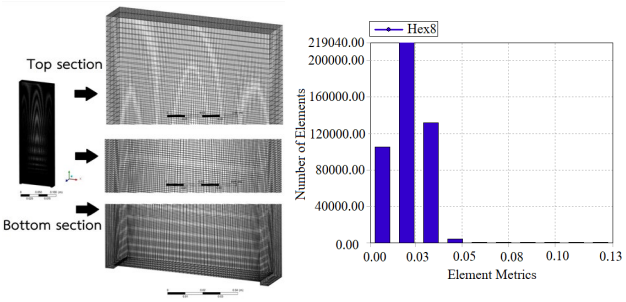
(a) การกำหนดโดเมน (b) แบบจำลอง

รูปที่ 4 การกำหนดโดเมนและแบบจำลองที่สร้างขึ้น

3.2 การสร้างเมช (Meshing)

ขั้นตอนที่สองคือการแบ่งโดเมนออกเป็นเอลิเมนต์ โดยใช้วิธีการสร้างเมชแบบ Sweep Method การสร้างเมชด้วยวิธีนี้จะเริ่มต้นที่ Surface แล้วค่อยสร้างเมชด้านในโดเมนหรือตัววัตถุ (Body) จากพื้นผิวที่อยู่รอบนอก ในการสร้างเมชได้เลือกใช้ Local sizing controls / Inflation layers ซึ่งจะทำให้เมชมีขนาดละเอียดที่บริเวณใกล้หัวจ่ายและมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อมีระยะห่างออกไป เมชที่ได้เป็น Hexahedron ที่มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์

เมชที่สร้างขึ้นมีจำนวนอยู่ระหว่าง 474,250 - 503,560 อิลิเมนต์ โดยขึ้นอยู่กับขนาดของแบบจำลองที่ทำการศึกษา Skewness ที่ได้ มีค่าไม่เกิน 0.25 ตามเกณฑ์ที่แนะนำ รูปที่ 5 แสดงตัวอย่างของเมชที่สร้างขึ้นและการกระจายตัวของ Skewness



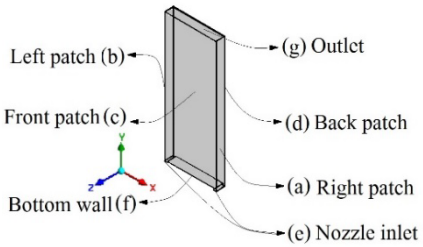
(a) Mesh (b) Skewness

รูปที่ 5 การสร้างเมช

3.3 เงื่อนไขขอบเขตและคุณสมบัติของวัสดุ (material properties and Boundary conditions)

ขั้นตอนนี้เป็นการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลอง โดยมีการกำหนดดังรูปที่ 6 และตารางที่ 1 กล่าวคือ พื้นผิว (a), (b), (c) และ (d) ถูกกำหนดเป็น Symmetry เนื่องจากการไหลของอากาศจากแผงหัวจ่ายอากาศ ในแต่ละหัวจ่าย (Nozzle) มีลักษณะซ้ำกันตลอดแผงหัวจ่าย โดยมีความสมมาตรในแต่ละหัวจ่าย หรือจากจุดกึ่งกลางของหัวจ่ายจุดหนึ่งไปยังจุดกึ่งกลางของอีกหัวจ่ายหนึ่ง

สำหรับพื้นผิว (e) และ (g) ถูกกำหนดเป็น velocity Inlet และ Outflow โดยความเร็วของอากาศที่ทางเข้าจะขึ้นอยู่กับขนาดพื้นที่ของหัวจ่ายแบบสล็อตและอัตราการไหลที่กำหนด สุดท้ายพื้นผิว (f) ถูกกำหนดเป็น Wall โดยในที่นี้เลือกเป็น Aluminum ที่ไม่มี heat flux สำหรับโดเมนของของไหลถูกกำหนดเป็นอากาศ ที่อุณหภูมิ 120 °C มีคุณสมบัติดังตารางที่ 2



รูปที่ 6 พื้นผิวของโมเดล (Faces)

ตารางที่ 1 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตในแต่ละพื้นผิว

Faces	Boundary conditions
(a), (b), (c), (d)	Symmetry
(e)	Velocity inlet
(g)	Outflow
(f)	Wall

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของอากาศที่ 120°C

คุณสมบัติ	ค่า
ความหนาแน่น (ρ)	0.8977 kg/m^3
ความจุความร้อน (c_p)	1011 J/kg-K
ความนำความร้อน (k)	0.03235 W/m-K
ความหนืด (μ)	1.789 x 10^{-5} kg/m-s

3.4 การตั้งค่า Solver และการหาคำตอบ (Solver setting and Solution)

ในการจำลอง การไหลของอากาศร้อนจากหัวจ่ายอากาศแบบสล็อตภายในเตาอบถูกพิจารณาเป็นการไหลแบบคงตัว (Steady) ที่อัดตัวไม่ได้ (Incompressible) โดยมีผลของความหนืด (Viscous) การไหลมีความเร็วสูงทำให้เป็นการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulence) จึงเลือก k-ω model ในการจำลองเนื่องจากเหมาะกับการไหลแบบปั่นป่วนที่มีการไหลวน/ย้อนกลับ (Swirl/recirculation) โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ $I = u'/u = 0.16\,Re^{-1/8}$, $l = 0.07D_e$

k - equation:

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \nabla \cdot (uk) = P_k - \beta * k\omega + \nabla \cdot [(v + \sigma_k v_T)\nabla k] \quad (1)$$

ω - equation :

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + \nabla \cdot (u\omega) = \delta S^2 - \beta\omega^2 + \nabla \cdot [(v + \sigma_\omega v_T)\nabla \omega] + 2(1 - F_1)\frac{\sigma\omega 2}{\omega}\nabla k \cdot (\nabla \omega)^T \quad (2)$$

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศร้อน (Mass flow rate) และการจัดวางตำแหน่งของหัวจ่าย (Nozzle arrangement) ต่อการกระจายตัวของอากาศร้อนภายในเตาอบแห้ง อัตราการไหลเชิงมวลที่ศึกษามี 3 ค่า ดังตารางที่ 3 คือ 0.30, 0.52 และ 0.85 kg/s ซึ่งตรงกับความเร็วที่ทางออกของหัวจ่ายที่ 2.07, 3.57 และ 5.82 m/s ตามลำดับ ในส่วนของการจัดวางหัวจ่าย ได้กำหนดให้มีระยะระหว่างหัวจ่าย(สล๊อต), t ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 3 การศึกษาอิทธิพลของอัตราการไหลอากาศ

Nozzle ($d \times L$, m^2)	อัตราการไหลอากาศ $\dot{m}$ (kg/s)	ระยะห่าง t (m)	อุณหภูมิ T_o ($^\circ$C)
0.010 × 0.43	0.30 (V_0 = 2.07 m/s)	0.08	120
	0.52 (V_0 = 3.57 m/s)		
	0.85 (V_0 =5.82 m/s)		

ตารางที่ 4 การศึกษาอิทธิพลของระยะห่างระหว่างแถบสล๊อต

Nozzle ($d \times L$, m^2)	ระยะห่าง t (m)	อัตราไหลอากาศ (kg/s)	อุณหภูมิ T_o ($^\circ$C)
0.010 × 0.43	0.02	0.85 (V =5.82 m/s)	120
	0.04		
	0.06		
	0.08		
	0.10		

4 ผลการจำลอง

4.1 ผลกระทบของอัตราการไหล

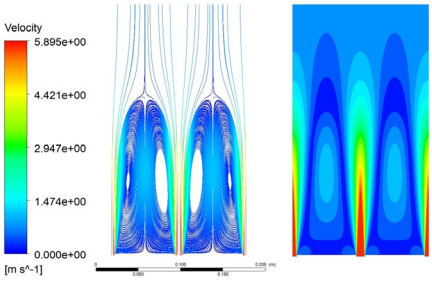
รูปที่ 7 แสดงเส้น Streamline และ velocity contour ของการไหลของอากาศออกจากหัวจ่ายเข้าในเตาอบ พบว่า มีความเร็วสูงสุดที่ทางออกของหัวจ่ายและมีความเร็วลดลงเรื่อย ขณะที่หน้าตัดการไหลจะบานออกและเกิดการไหลย้อนกลับ (recirculation) ที่ด้านข้างระหว่าง slot nozzle เมื่อเพิ่มอัตราการไหล จาก 0.30 kg/s เป็น 0.25 kg/s และ 0.85 kg/s พบว่าความเร็วที่ทางออกของ nozzle มีค่าเพิ่มขึ้น และทำให้พื้นที่ของการไหลย้อนกลับมีขนาดใหญ่ขึ้น

รูปที่ 8 แสดงการกระจายของความเร็วในแนวแกน (axial velocity) และในแนวด้านข้าง (lateral velocity) ที่ระยะ downstream, y = 0.0025, 0.030, 0.100, 0.200 และ 0.250 m จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า เมื่ออัตราการไหลสูงขึ้นจะมีความเร็วในแนวแกนมากกว่า ตลอดหน้าตัดการไหล โดยความเร็วในแนวแกนมีค่าสูงสุดบริเวณตรงกลางและจะมีค่าลดลงตามระ downstream ในขณะที่กระแสการไหลจะบานออกทางด้านข้าง (มีความเร็วเพิ่มขึ้นบริเวณขอบ) บริเวณที่มีความเร็วติดลบเป็นบริเวณของ recirculation

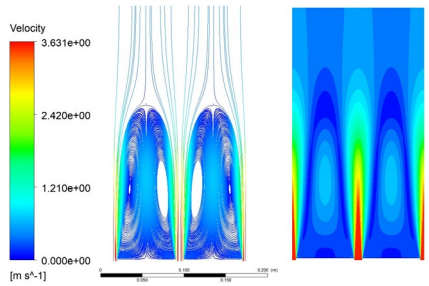
พิจารณาความเร็วในแนวด้านข้าง พบว่ามีค่าเป็นศูนย์ที่กึ่งกลางหัวจ่ายตลอด downstream ที่ระยะใกล้ทางออกของหัวจ่าย y = 0.0025 m (y = 0.002 m คือปลายทางออกของหัวจ่าย) มีค่าติดลบเนื่องจากมีการไหลย้อนกลับที่มีทิศไหลเข้าหาหัวจ่าย ที่ระยะห่างออกมาจากหัวจ่าย y = 0.030 m จะมีทั้งค่าบวกและลบ เนื่องจากกระแสการไหลมีความเร็วด้านข้างไหลออกไปชนกับกระแสของการไหลย้อนกลับ ระยะ y = 0.100 – 0.250 m มีค่าเป็นบวกโดยเพิ่มขึ้นจากศูนย์และลดลงจนถึงศูนย์อีกครั้ง บริเวณนี้เป็นบริเวณที่อยู่เลยจุดศูนย์กลางของการไหลย้อนกลับไปแล้วนั่นเอง (ครึ่งด้านบนของ recirculation)

4.2 ผลกระทบของการจัดวางหัวจ่ายอากาศ

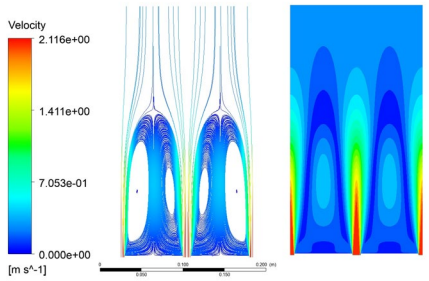
จากผลการจำลองที่ได้พบว่าเมื่อระยะ t ลดลง พื้นที่ของการไหลย้อนกลับจะมีขนาดเล็กลง ดังรูปที่ 9 เมื่อพิจารณาการกระจายของความเร็วในแนวแกน พบว่า ที่ระยะใกล้หัวจ่าย y = 0.0025 m จะมีการกระจายของความเร็วใกล้เคียงกันมาก ที่ระยะห่างจากหัวจ่ายออกไป y = 0.030 m จะมีค่าความเร็วทั้งบวกและลบ เนื่องจากมีการไหลย้อนกลับที่ระยะนี้ ทุกกรณีของค่า t สังเกตุว่ากรณีที่ค่า t น้อย จะมีระยะ x สั้นกว่า เนื่องจากมีระยะห่างระหว่างหัวจ่ายน้อยกว่า ความเร็วสูงสุดจะอยู่ที่



(a) $\dot{m}$ = 0.85 kg/s

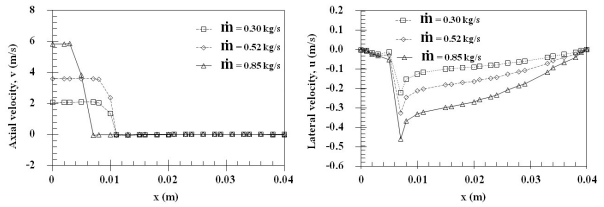


(b) $\dot{m}$ = 0.52 kg/s

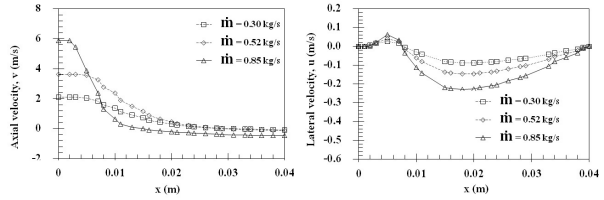


(c) $\dot{m}$ = 0.30 kg/s

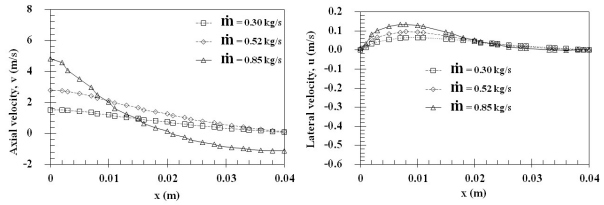
รูปที่ 7 ผลกระทบของอัตราการไหลต่อ Streamline และ velocity contour



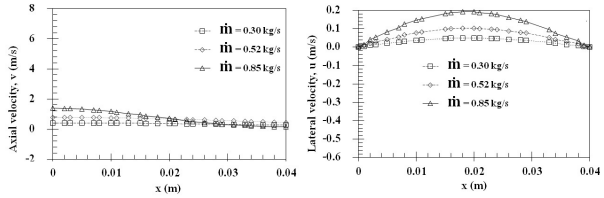
(a) $y = 0.0025$ m



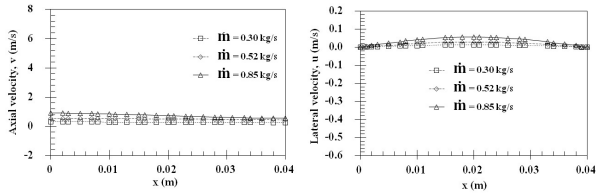
(b) $y = 0.030$ m



(c) $y = 0.100$ m



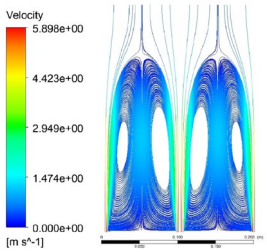
(d) $y = 0.200$ m



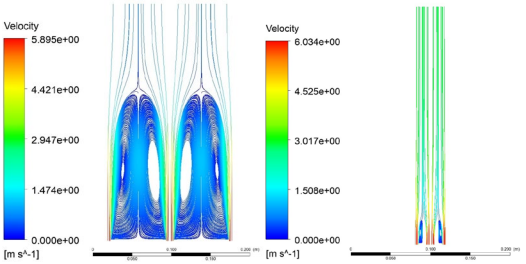
(e) $y = 0.250$ m

รูปที่ 8 ผลกระทบของอัตราการไหลต่อความเร็วในแนว axial และ lateral

บริเวณตรงกลางของหัวจ่าย เมื่อระยะห่างจากหัวจ่ายเพิ่มขึ้น จะมีค่าน้อยลง อย่างไรก็ตามกรณีที่ค่า t น้อย จะทำให้การลดลงนี้น้อยตามไปด้วย ในกรณีที่ค่า t น้อยจะช่วยให้การกระจายของความเร็วมีความสม่ำเสมอมากกว่า ซึ่งสามารถเห็นได้ชัดที่ระยะ $y = 0.250$ m สำหรับความเร็วด้านข้าง จะมีลักษณะเช่นเดียวกับผลที่ได้ในรูปที่ 8 ที่อธิบายไปก่อนหน้า เพียงแต่การกระจายจะสิ้นสุดที่ระยะ x ไม่เท่ากันในแต่ละกรณีของค่า และมีค่าความเร็วด้านข้างน้อยกว่าเมื่อมีระยะห่าง t น้อยกว่า

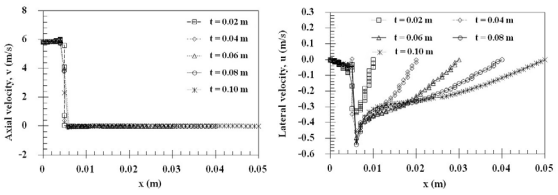


(a) $t = 0.100$ m

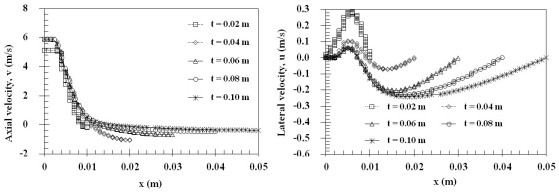


(b) $t = 0.060$ m (c) $t = 0.020$ m

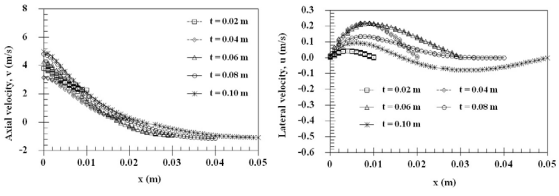
รูปที่ 9 ผลกระทบของระยะ t



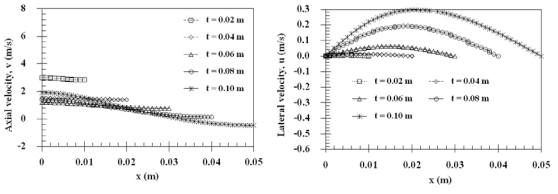
(a) $y = 0.0025$ m



(b) $y = 0.030$ m

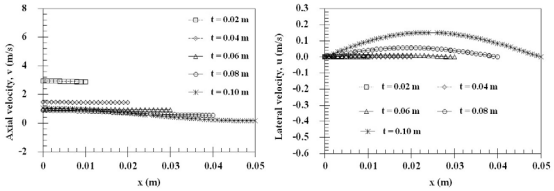


(c) $y = 0.100$ m



(d) $y = 0.200$ m

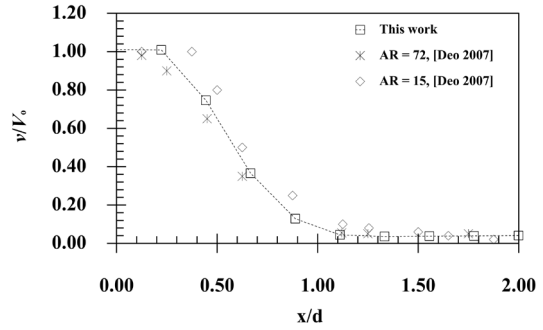
รูปที่ 10 ผลกระทบของระยะ t ต่อความเร็วในแนว axial และ lateral



(e) $y = 0.250$ m

รูปที่ 10 ผลกระทบของระยะ t ต่อความเร็วในแนว axial และ lateral (ต่อ)

ส่วนสุดท้ายเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของผลการจำลองในงานวิจัยนี้กับผลการทดลองจากงานวิจัยอื่น [9] โดยงานวิจัยดังกล่าวได้ทำการทดลองหัวฉีดอากาศแบบ plane jet ที่มีรูปร่างของหัวฉีดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด h × w โดยศึกษาอิทธิพลของ w/h หรือ aspect ratio (AR) ผลที่ได้พบว่ามีลักษณะการกระจายของอากาศใกล้เคียงกันมากดังรูปที่ 11 ซึ่งเป็นการแสดงการกระจายความเร็วของอากาศที่ระยะห่างจากหัวฉีด 30 mm



รูปที่ 11 การกระจายความเร็วของอากาศจากหัวฉีดที่ระยะ 30 mm

5. สรุป

จากการศึกษาด้วยพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ พบว่า อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศร้อนจะมีผลต่อขนาดความเร็วที่กระจายในเตาอบ โดยมีค่าสูงขึ้นตามกฎทรงมวล และมีผลกระทบต่อการจายความเร็วเล็กน้อย โดยการไหลย้อนกลับจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเล็กน้อยตามอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้น เมื่อระยะห่างระหว่างหัวจ่ายลดลง จะมีผลกระทบต่อขนาดของความเร็วเพียงเล็กน้อย แต่มีผลกระทบต่อขนาดของการไหลย้อนกลับมาก โดยขนาด t ที่น้อยกว่าจะควบคุมให้ขนาดของการไหลย้อนกลับมีขนาดเล็ก และช่วยให้การกระจายความเร็วที่สม่ำเสมอตลอดเตาอบ

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการบิน-อวกาศ และศูนย์วิจัยและพัฒนาเครื่องจักรกลและอุปกรณ์อุตสาหกรรม (DMIE) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่สนับสนุนให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

[1] Rubber Glove Newsletter, by THAI RUBBER GLOVE MANUFACTURERS ASSOCIATION, Vol. 38 1st Quarter, Jan-Mar 2014.

[2] กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2555.ข้อมูลวิชาการยางพารา 2555, กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.

[3] รายงานสรุปผลการปฏิบัติงานของคณะที่ปรึกษา"โครงการพัฒนาประสิทธิภาพวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (ISMED) และร่วมดำเนินการโดยสมาคมผู้ผลิตถุงมือยางไทย ปี พ.ศ. 2554

[4] รายงานการศึกษาของ "โครงการพัฒนาประสิทธิภาพการผลิตในอุตสาหกรรมผลิตถุงมือยางให้แข่งขันได้ในตลาดโลก" สำนักงานเศรษกิจอุตสาหกรรม.ปี พ.ศ.2554

[5] Yongyingsakthavorn, P., et al, "Innovative Design of Latex Gloves Production Lines via Modular Industrial-sized Prototypes". IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 526 , 2019, Article 012042.

[6] Jitwiriya, W., et al. "Energy minimizing analysis for continuous drying ovens in a latex-glove production line with humidity." In Proc. ESIT2016. Paper ID 077

[7] Jitwiriya W. P., et al "Design and Energy Analysis of the Prototype Drying Oven for Rubber Gloves Production Process" In Proc. ESIT2018. Paper ID 014.

[8] Jitwiriya, W., et al. "Heat Loss Analysis of Continuous Drying Oven with Outside Conveyor Chain." Applied Science and Engineering Progress. Vol.14 No.3, 2021, pp.387-396

[9] Deo, R.C. and Nathan, J. Mi, G.J. "The influence of nozzle aspect ratio on plane jets." Experimental Thermal and Fluid Science. Vol.31, 2007, pp.825-838



ประวัติผู้เขียนบทความ
ชื่อ : รัฐนันท์ ราษฎรปราณี
นักศึกษา : ปริญญาโท
สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ



ประวัติผู้เขียนบทความ
ชื่อ : พิสิฐ ยงยิ่งศักดิ์ถาวร
ที่ทำงาน : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
งานวิจัยที่สนใจ : Fluid and Thermal Systems, Atomization and Sprays, Energy Management System

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

การวัดขนาดหยดของหัวฉีดแอร์บลาสต์ที่ออกแบบสำหรับเครื่องพ่นสเปรย์หมอก

Drop Size Measurement of Airblast Atomizer Designed for Fogging Sprayer

อัญญาณี อ้นวงษ์[1], ทรงฤทธิ์ ตันชัชวาล[2] และ พิสิฐ ยงยิ่งศักดิ์ถาวร[1]

[1]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการบิน-อวกาศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
1518 ถนนประชาราษฎร์ 1 เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800 E-mail : aunyanee.o@hotmail.com. pisit.y@eng.kmutnb.ac.th

[2]ศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมหุ่นยนต์และเครื่องจักรกลอัตโนมัติ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
35 หมู่ 3 เทคโนธานี ถ.เลียบคลองห้า ต.คลองห้า อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวัดการกระจายตัวของขนาดหยดสเปรย์ของหัวฉีดแอร์บลาสต์ต้นแบบที่ได้ออกแบบไว้สำหรับเครื่องพ่นสเปรย์หมอกโดยใช้เทคนิคการเลี้ยงเบนของแสง หัวฉีดถูกออกแบบให้ฉีดของเหลวออกมาเป็นแผ่นและแตกตัวด้วยกระแสอากาศที่ไหลเข้ากระทบในแนวตั้งฉาก อากาศไหลผ่านแผ่นหมุนวนก่อนกระทบกับแผ่นของเหลว หัวฉีดที่ใช้ในการทดสอบจะถูกออกแบบให้มีมุมของแผ่นหมุนวนแตกต่างกัน คือ 10, 15 และ 20 องศา นอกจากนี้มีการทดสอบกับหัวฉีดเชิงพาณิชย์เพื่อทำการเปรียบเทียบด้วย ในการวัดขนาดหยดได้ทำที่ระยะห่างจากหัวฉีด 0.3 และ 0.5 m โดยให้แสงเลเซอร์ของเครื่องมือวัดพาดผ่านกึ่งกลางหน้าตัดของสเปรย์ จากผลการทดลองที่ได้ พบว่า หัวฉีดที่ออกแบบ ให้สเปรย์ที่มีขนาดหยดละเอียดและมีความสม่ำเสมอกว่าของสเปรย์ของหัวฉีดเชิงพาณิชย์ โดยหัวฉีดที่มีมุมของแผ่นหมุนวนเท่ากับ 10 องศา ให้ผลการกระจายตัวของขนาดหยดสเปรย์และขนาดหยดเฉลี่ยดีที่สุด โดยที่ระยะ z = 0.5 m มีค่า D_{32} = 39.06 μm และ D_{43} = 54.27 μm ขณะที่หัวฉีดเชิงพาณิชย์มีค่า D_{32} = 51.18 μm และ D_{43} = 79.50 μm สำหรับค่า relative span factor ที่ใช้อธิบายถึงความสม่ำเสมอของสเปรย์ได้ หัวฉีดที่มีมุมของแผ่นหมุนวนเท่ากับ 10 องศา มีค่า Δ_v = 1.52 ขณะที่หัวฉีดเชิงพาณิชย์มีค่า Δ_v = 1.59

คำสำคัญ : หัวฉีดแอร์บลาสต์; เทคนิคการเลี้ยวเบนของแสง; การกระจายตัวของขนาดหยด; ขนาดหยดเฉลี่ย, มุมแผ่นหมุนวน

Abstract

This research aims to experimentally investigate a drop-size distribution of a spray injected by an air-blast atomizer designed for a fogging sprayer. For drop size measurement, the laser diffraction technique is employed. The atomizer is designed to inject a liquid as a sheet to be perpendicularly impacted by air-flow stream. The air flows through a swirler before impact the liquid sheet. The atomizers with different swirler angles, 10, 15 and 20 degrees, are tested. In addition, a commercial one is also tested for comparison. The drop size measurement is carried out at the distances of 0.3 and 0.5 m away from the atomizer. The laser of the instrument passes through the center of the sample spray section. The measurement results show that the designed atomizers provide the finer and more uniform sprays when compare to the commercial. The designed atomizer with 10-degree swirler angle has the best drop-size distribution and then the smallest mean drop size. At z = 0.5 m, it presents D_{32} = 39.06 μm and D_{43} = 54.27 μm while the commercial shows D_{32} = 51.18 μm and D_{43} = 79.50 μm. For relative span factor describing the size uniformity, the atomizer with 10-degrss swirler angle has Δ_v = 1.52 while the commercial presents Δ_v = 1.59.

Keywords: Airblast atomizer; Laser diffraction technique; Drop size distribution; Mean drop size; Swirler angle

1. บทนำ

หัวฉีดสเปรย์เป็นอุปกรณ์สำหรับฉีดพ่นของเหลวให้จะแตกตัวเป็นหยดฝอยละอองขนาดเล็ก ใช้งานหลากหลายรูปแบบเพื่อวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน เช่น การล้างด้วยสเปรย์ การลดฝุ่นและควบคุมมลพิษทางอากาศ ทางเกษตรกรรมเพื่อป้องกันและกำจัดศัตรูพืช การฆ่าเชื้อโรคตามสถานที่ต่าง ๆ และ การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเหลว เป็นต้น [1]

สำหรับการใช้งานของสเปรย์ทางด้านการเกษตร ประเทศไทยได้ใช้วิธีทางเคมีหรือวิธีการใช้สารเคมีในการควบคุมและกำจัดศัตรูพืช เนื่องจากวิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมมากที่สุดเพราะสะดวกรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพสูง [2] สารเคมีที่ใช้จะอยู่ในรูปของของผสม หรือสารละลายของเหลว แล้วฉีดพ่นให้เป็นฝอยละออง เช่น เครื่องพ่นสเปรย์หมอก สำหรับกรณีควบคุมและกำจัดศัตรูพืช สเปรย์ที่ได้ควรมีขนาดหยดที่ไม่ใหญ่เกินไปจนทำให้เปียกโชกและไม่เล็กมากจนลอยไปตามกระแสการไหลของอากาศ และควรมีระยะเคลื่อนที่ของละอองสเปรย์ที่เหมาะสม (Penetration)

หัวฉีดแบบแอร์บลาสต์เป็นหัวฉีดที่มีประสิทธิภาพสำหรับเครื่องพ่นสเปรย์หมอก โดยหลักการใช้พลังงานจลน์ระดับสูงของกระแสการไหลของอากาศเพื่อแยกของเหลวออกจากกันเป็นหยดเล็กๆ หัวฉีดแบบแอร์บลาสต์มีการทำงานที่เหมือนกับหัวฉีดที่ใช้อากาศช่วยในการแตกตัว (air-assist atomizer) [3] คือมีการใช้กระแสการไหลของอากาศทำให้เกิดสเปรย์ หัวฉีดแบบแอร์บลาสต์มีการใช้งานอย่างกว้างขวางในทางอุตสาหกรรมหลายชนิด ตั้งแต่การทำความชื้น การหล่อเย็น และการหล่อลื่น ในอุตสาหกรรมยา กระดาษ และอิเล็กทรอนิกส์ นอกจากนี้ยังเหมาะสำหรับการใช้ในระบบเผาไหม้แบบต่อเนื่องและกระบวนการก๊าซซิฟิเคชั่น [4] โดยเฉพาะในระบบการเผาไหม้ที่มีความดันสูง [5]

ในการประยุกต์ใช้งานของสเปรย์ที่แตกต่างกัน จะมีความต้องการคุณลักษณะของสเปรย์ที่แตกต่างกันด้วย เช่น การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเหลวต้องการสเปรย์ที่มีหยดขนาดเล็ก ขณะที่งานพ่นสีต้องการสเปรย์ที่มีขนาดหยดเท่าๆ กันมากกว่า ดังนั้นในการพัฒนาหัวฉีด การวัดหาขนาดของหยดจึงเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ การวัดขนาดหยดมีหลายวิธี ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทหลักคือ วิธีทางกล (Mechanical methods) วิธีทางภาพถ่าย (Photographic techniques) และวิธีทางแสง (Optical methods) โดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของแสง (Laser diffraction technique) เป็นเทคนิคหนึ่งของวิธีทางแสงที่นิยมใช้ในการวัดหาขนาดหยด [6-8] เนื่องจากมีการใช้งานที่ง่ายและรวดเร็ว สามารถวัดขนาดหยดที่มีขนาดเล็กมากได้ถึงเกือบ 1 micron เทคนิคนี้มีหลักการวัด คือ ขนาดของหยดใหญ่จะให้มุมกระเจิงหรือเลี้ยวเบนของแสงที่น้อย และหยดเล็กจะให้มุมกระเจิงแสงที่มาก [9]

ในปัจจุบันในประเทศไทยยังคงต้องนำเข้าเครื่องพ่นสเปรย์หมอกจากต่างประเทศ การศึกษาและพัฒนาเพื่อสร้างเครื่องพ่นสเปรย์หมอกและหัวฉีดแอร์บลาสต์เพื่อใช้เองภายในประเทศจะสามารถช่วยลดการนำเข้าและการเสียดุลการค้าได้

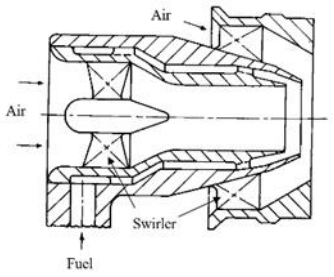
งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการพัฒนาออกแบบเครื่องพ่นสเปรย์หมอก มีวัตถุประสงค์เพื่อวัดขนาดหนดของสเปรย์ที่ได้จากหัวฉีดแอร์บลาสต์ที่ออกแบบสำหรับเครื่องพ่นสเปรย์หมอกโดยใช้เทคนิคเทคนิคการเลี้ยวเบนของแสงวัดขนาดหยด นอกจากนี้ยังมีการศึกษาผลกระทบของมุมของแผ่นหมุนวนอากาศ (Swirler angle) ด้วย

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

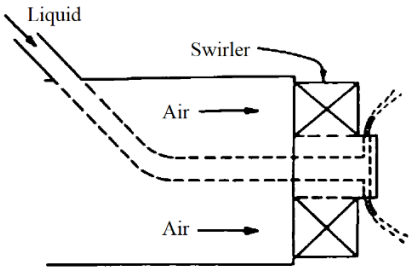
2.1 หัวฉีดแอร์บลาสต์ (Airblast Atomizer)

หัวฉีดแอร์บลาสต์ได้มีการออกแบบรูปร่างลักษณะ (configuration) ไว้แตกต่างกันเพื่อควบคุมกระบวนการในการแตกตัวของของเหลวให้ได้ประสิทธิภาพการแตกตัวที่ดีและเหมาะสมกับการใช้งาน ตัวอย่างหนึ่งคือหัวฉีดแอร์บลาสต์ประเภท prefilming [1] ที่นิยมใช้ในกังหันก๊าซ เริ่มต้นหัวฉีดนี้จะฉีดของเหลวออกมาเป็นแผ่นของเหลวต่อเนื่อง (continuous sheet) ก่อนที่จะเกิดการแตกตัวด้วยอากาศความเร็วสูง (รูปที่ 1) โดยสามารถออกแบบให้มีการชนของอากาศทั้งสองด้านของแผ่นของเหลว นอกจากนี้ยังนิยมใช้แผ่นหมุนวนอากาศ (Swirler) เพื่อให้เกิดการไหลวน ตัวอย่างหัวฉีดอื่นๆ ได้แก่ ประเภท plain jet และ piloted ดังรูปที่ 2 และ 3 [1] นอกจากนี้หัวฉีดแอร์บลาสต์ยังสามารถแบ่งออกเป็นประเภทผสมกันภายใน (internal mixing) และผสมกันภายนอก (external mixing)

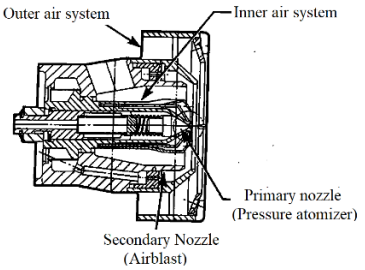
Lefebvre and Miller [1] พัฒนาหัวฉีดแอร์บลาสต์สำหรับกังหันก๊าซและชี้ให้เห็นถึงลักษณะสำคัญในการออกแบบว่า ของเหลวควรฉีดออกไปเป็นแผ่นบาง และถูกแตกตัวด้วยอากาศทั้งสองด้านของแผ่นของเหลว สมรรถนะของหัวฉีดขึ้นอยู่กับลักษณะรูปร่างของหัวฉีด และคุณสมบัติของของเหลว รวมถึงอัตราการไหลของอากาศและของเหลว อัตราส่วนของอากาศและของเหลว และขนาดของหัวฉีด [4-9]



รูปที่ 1 หัวฉีดแอร์บลาสต์ประเภท Prefilming [1]



รูปที่ 2 หัวฉีดแอร์บลาสต์ประเภท Plain-jet [1]



รูปที่ 3 หัวฉีดแอร์บลาสต์ประเภท Piloted หรือ Hybrid [1]

2.2 คุณลักษณะของสเปรย์

ในการวัดขนาดของหยดสเปรย์ หยดจะถูกสมมุติให้มีลักษณะเป็นทรงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง D มีจำนวน N หยด สามารถแสดงได้ทั้งแบบไม่ต่อเนื่อง (discrete form) และแบบต่อเนื่อง (continuous form) สำหรับแบบไม่ต่อเนื่อง ขนาดหยดจะถูกแบ่งออกเป็น m ช่วง แต่ละช่วงถูกกำหนดด้วย $[D_i - \Delta D_{i/2}; D_i + \Delta D_{i/2}]$ โดย D_i คือ ค่ามัธยฐาน (median) และ ΔD_i คือ ความกว้างของช่วง แต่ละช่วงประกอบด้วยหยดจำนวน Ni ที่มีปริมาตร (V_i) การกระจายตัวของสัดส่วนเชิงปริมาตรของช่วง i (volume fraction distribution, P_{vi}) จะมีค่าเท่ากับการกระจายตัวของความน่าจะเป็น [1] นั่นคือ

$$P_{v_i} = \frac{v_i}{v} \quad \text{และ} \quad \sum_i^m P_{vi} = 1 \tag{1}$$

สำหรับการกระจายตัวแบบต่อเนื่อง (continuous distribution) การกระจายตัวของขนาดหยดเชิงประมาตร (volume-based drop size distribution, f_v) คือ

$$\int_D^{D+\Delta D} f_v(D)dD = \frac{Volume\ of\ drops\ within\ D\ and\ D+\Delta D}{Total\ volume\ of\ liquid\ drops} \quad (2)$$

จากสมการที่ (1) และ (2) จะสามารถคำนวณหาการกระจายตัวของขนาดหยด $f_v(D_i)$ ได้จาก

$$f_v(D_i)\Delta D_i = P_{vi} \quad (3)$$

โดยที่

$$\sum_i^m f_v(D_i)\Delta D_i = \sum_i^m P_{vi} = 1 \quad (4)$$

ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดหยด (Mean diameter) D_{mn} และเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดหยดตัวแทน (representative diameters) $D_v\alpha$ สามารถหาได้จาก

$$(D_{mn})^{m-n} = \frac{\int_0^\infty f_v(D)D^{m-3}dD}{\int_0^\infty f_v(D)D^{n-3}dD} \quad (5)$$

และ

$$\alpha = \int_0^{D_{v\alpha}} f_v(D)dD \quad (6)$$

ตามลำดับ โดยที่ $\alpha \in [0,1]$ โดยที่ค่าเฉลี่ยของขนาดหยดส่วนใหญ่นิยมใช้ D_{32} และ D_{43} ขณะที่เส้นผ่านศูนย์กลางขนาดหยดตัวแทนนิยมใช้ $D_{v0.1}$, $D_{v0.5}$ และ $D_{v0.9}$ การเลือกประเภทของเส้นผ่านศูนย์กลางขึ้นอยู่กับช่วงของขนาดหยดที่สนใจ $D_{v0.1}$ จะใช้สำหรับการพิจารณาช่วงของหยดขนาดเล็ก $D_{v0.5}$, D_{32} และ D_{43} จะใช้สำหรับหยดขนาดกลาง และ $D_{v0.9}$ จะใช้สำหรับการพิจารณาหยดขนาดใหญ่ การกระจายตัวของหยดของความหนาแน่นที่ขึ้นกับปริมาณของขนาดหยดนั้นจะถูกกำหนดโดย relative span factor Δ_v หาได้จาก

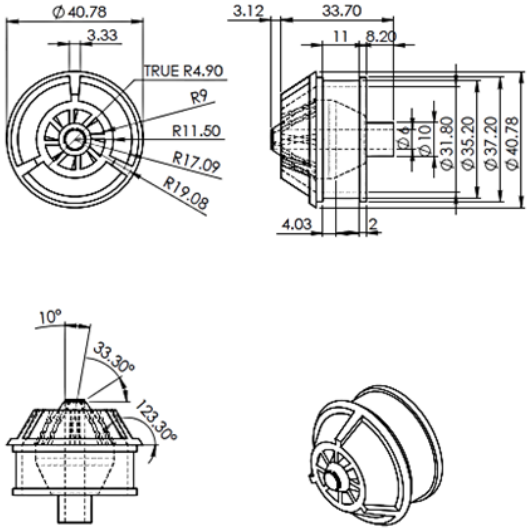
$$\Delta_v = \frac{D_{v0.9} - D_{v0.1}}{D_{v0.5}} \quad (7)$$

3. วิธีการวิจัย

3.1 หัวฉีดที่ใช้ในการทดสอบ

หัวฉีดที่ใช้ในการทดสอบ (รูปที่ 4) เป็นหัวฉีดที่ออกแบบโดยมีหลักการดังนี้ (1) ของเหลวถูกฉีดเป็นแผ่น (Sheet) แทนการฉีดเป็นลำ (Jet) (2) ปรับปรุงสมรรถนะในการแตกตัวเป็นละอองโดยกำหนดให้แผ่นของเหลวถูกกระแสอากาศกระทบในแนวตั้งฉาก อากาศไหลเข้าหัวฉีดผ่านแผ่นหมุนวนก่อนไหลออกมากระทบกับแผ่นของเหลวทันทีที่แผ่นของเหลวโผล่ออกจากช่องฉีด ช่องฉีดของเหลวมีลักษณะเป็นวงแหวนรูปกรวย (conical-hollow passage) (3) อากาศถูกฉีดผ่านช่องวงแหวนที่มีมุมลู่เข้าแกนกลางของหัวฉีด ซึ่งแตกต่างจากหัวฉีดเชิงพาณิชย์ที่มีช่องกลมจำนวน 8 ช่อง ฉีดน้ำออกมาเป็นลำเจ็ต ขนานกับอากาศไหลผ่านแผ่นหมุนวนที่มีลักษณะใบพัด

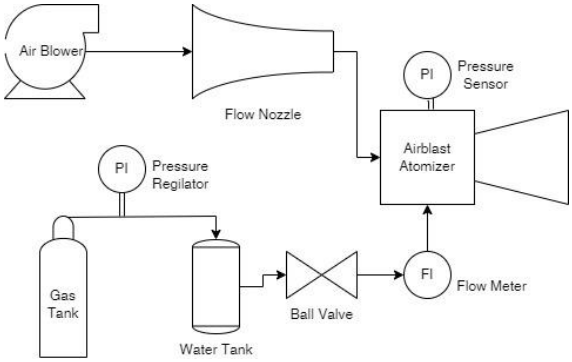
สำหรับหัวฉีดที่ใช้ในการทดสอบจะถูกออกแบบให้มีมุมของแผ่นหมุนวนแตกต่างกัน คือ 10° (Nozzle A), 15° (Nozzle B) และ 20° (Nozzle C) สุดท้ายผลที่ได้จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับหัวฉีดเชิงพาณิชย์ (Nozzle D) ด้วย



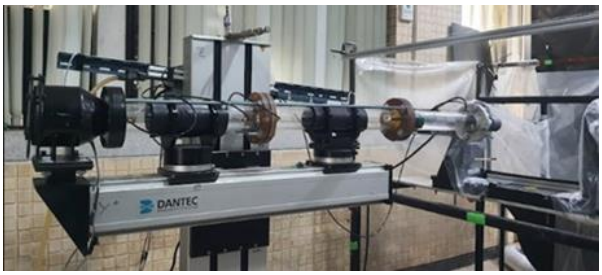
รูปที่ 4 หัวฉีดที่ออกแบบ

3.2 ชุดทดสอบหัวฉีดแอร์บลาสต์

รูปที่ 5 แสดงชุดทดสอบหัวฉีดที่แยกระบบน้ำและอากาศอิสระต่อกัน โดยระบบส่งกำลังของอากาศจะใช้โบลเวอร์อากาศความเร็วสูงขนาดเล็ก (small and high-speed air blower) ที่ติดตั้งโพเทนชิโอมิเตอร์ (Potentiometer) เพื่อปรับอัตราการไหล ในระบบอากาศมีเครื่องมือวัดอัตราการไหลประเภท Flow nozzle สำหรับระบบการจ่ายน้ำจะใช้ถังแรงดันที่สามารถอัดแก๊สไนโตรเจนหรืออากาศเพื่อสร้างแรงดันและทำให้เกิดการไหลของน้ำที่คงที่ อัตราการไหลของน้ำถูกควบคุมด้วยบอลวาล์ว (Ball valve) และวัดด้วย Flow meter การเลื่อนตำแหน่งของหัวฉีดในการทดสอบจะเลื่อนทั้งชุดทดสอบด้วยระบบเลื่อนอัตโนมัติ 3 แกน (3-D automatic translation system) รูปที่ 6 แสดงชุดทดสอบหัวฉีดที่สร้างขึ้น และ รูปที่ 7 ลักษณะของสเปรย์จากหัวฉีดแอร์บลาสต์ที่จะทำการทดสอบ



รูปที่ 5 แผนผังการทำงานของชุดทดสอบหัวฉีด



รูปที่ 6 ชุดทดสอบหัวฉีดที่สร้างขึ้น

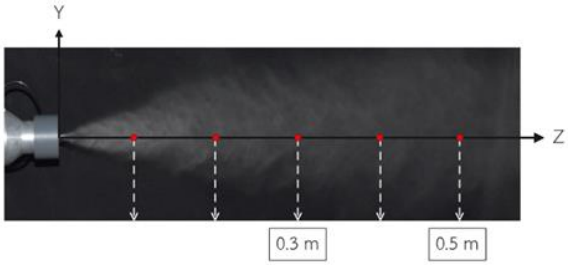


รูปที่ 7 ลักษณะของสเปรย์ในการทดสอบ

3.3 การวัดขนาดหยดด้วย Malvern Spraytec

อุปกรณ์วัดขนาดหยด Malvern Spraytec (รูปที่ 5) จะใช้ทฤษฎีการกระเจิงแสงของมี ในการวัดขนาดหยด โดยแหล่งกำหนดแสงจะเป็นเลเซอร์ประเภท HeNe Laser (1-mW) มีช่วงความยาวคลื่นเท่ากับ 670 nm เลนส์ที่ใช้เป็นเลนส์ประเภทฟูเรียร์เลนส์ (Fourier Lens) เลนส์ขนาด 200 mm สามารถวัดขนาดหยดได้ในช่วง 3.8-462.54 μm และที่ตัวตรวจจับการกระเจิงของแสงจะมีวงแหวนสำหรับเก็บค่าความเข้มแสงทั้งหมด 31 วงแหวน โหมดการวัดใช้ FLASH mode ซึ่งเป็นโหมดการวัดแบบกำหนดช่วงเวลา โดยข้อมูลจากการวัด 1 ครั้งสามารถบันทึกได้ สูงสุด 2500 Hz สำหรับงานวิจัยนี้จะกำหนดช่วงเวลาการวัดเท่ากับ 1500 ms และเก็บข้อมูลในการวัดเท่ากับ 1250 Hz ซึ่งเป็นความถี่ที่สูงสำหรับสเปรย์ที่ไม่คงตัว (transient spray) สำหรับงานนี้เป็นสเปรย์แบบคงตัว ความถี่ดังกล่าวจึงเพียงพอในการแสดงคุณลักษณะของสเปรย์ที่ได้ และเมื่อวัดในช่วงเวลาดังกล่าวจะทำให้ได้จำนวนข้อมูลมากเพียงพอในการหาค่าเฉลี่ย

ในการทดลองจะทำการวัดที่ระยะ z = 0.3 m และ 0.5 m โดยวัดที่ตำแหน่งกึ่งกลางของสเปรย์กล่าวคือ แสงเลเซอร์จะถูกยิงผ่านจุดศูนย์กลางของหน้าตัดสเปรย์ ดังรูปที่ 8



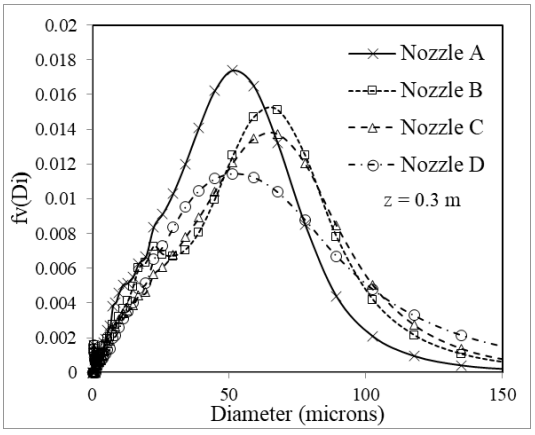
รูปที่ 8 แผนผังในการวัดขนาดหยดด้วย Malvern Spraytec

4. ผลการวัดขนาดหยดของหัวฉีดแอร์บลาสต์

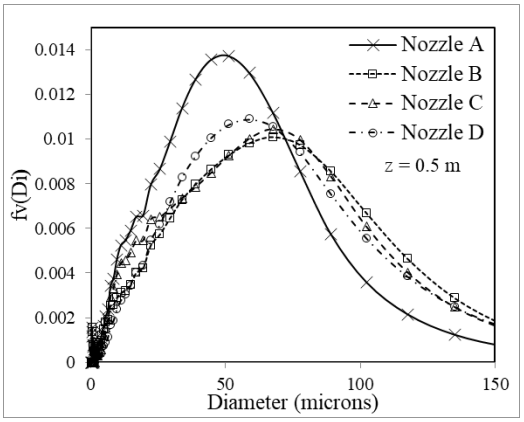
รูปที่ 9 และ 10 แสดงการกระจายตัวของขนาดหยด (f_v) ที่วัดด้วย Malvern Spraytec ที่ระยะ z = 0.3 และ 0.5 m ตามลำดับ ผลที่ได้พบว่า หัวฉีด A ที่มีมุมของแผ่นหมุนวน 10 องศา มีการกระจายตัวของขนาดหยดมากกว่าในช่วงที่หยดมีขนาดเล็ก เมื่อมุมของแผ่นหมุนวนเพิ่มขึ้น เป็น 15 และ 20 องศา (หัวฉีด B และ C) พบว่าการกระจายตัวของขนาดหยดจะเลื่อนไปทางขวามือ ที่เป็นหยดขนาดใหญ่ นั่นคือมีสัดส่วนของหยดที่มีขนาดใหญ่เพิ่มขึ้น โดยหัวฉีด B และ C มีการกระจายตัวของขนาดหยดที่ใกล้เคียงกัน

เมื่อเปรียบเทียบหัวฉีด B และ C กับหัวฉีดเชิงพาณิชย์ พบว่า หัวฉีด B และ C มีสัดส่วนของขนาดหยดที่เล็กกว่า 50 μm ใกล้เคียงกัน และมีสัดส่วนของขนาดหยดช่วง 50-100 μm มากกว่า แต่มีสัดส่วนของขนาดหยดที่ใหญ่กว่า 100 μm น้อยกว่า

ขณะที่หัวฉีด A มีสัดส่วนของขนาดหยดใหญ่ที่น้อยกว่าหัวฉีดเชิงพาณิชย์ รวมทั้ง หัวฉีด B และ C อย่างชัดเจน จุดสูงสุดของการกระจายตัว (peak) หัวฉีด Aจะใกล้เคียงกันกับของหัวฉีดเชิงพาณิชย์



รูปที่ 9 การกระจายตัวของขนาดหยด ที่ระยะ z = 0.3 m



รูปที่ 10 การกระจายตัวของขนาดหยด ที่ระยะ z = 0.5 m

ตารางที่ 1 และ 2 แสดงขนาดหยดเฉลี่ย (Mean diameter) และ relative span factor ของการกระจายตัวของขนาดหยดของสเปรย์ ที่ระยะ z = 0.3 m และ 0.5 m ในรูปที่ 9 และ 10

ผลที่ได้พบว่า ที่ระยะ z = 0.3 m หัวฉีด A ให้ขนาด D_{32} = 36.8 μm และ D_{43} = 54.27 μm ซึ่งมีค่าน้อยที่สุด น้อยกว่าของหัวฉีด B และ C รวมถึงหัวฉีดเชิงพาณิชย์ (หัวฉีด D) อย่างชัดเจน ขณะที่หัวฉีด B และ C มีขนาดใกล้เคียงกัน หัวฉีดที่ออกแบบทั้งสามตัว (A, B และ C) มีขนาดหยดเฉลี่ยเล็กกว่าของหัวฉีดเชิงพาณิชย์ เล็กน้อย เมื่อพิจารณาค่า relative span factor หัวฉีด A มีค่าต่ำที่สุด แสดงให้เห็นว่าสเปรย์มีความสม่ำเสมอของขนาดหยดมากกว่าหัวฉีดอื่น โดยหัวฉีดเชิงพาณิชย์ มีความสม่ำเสมอน้อยที่สุด

ที่ระยะ z = 0.5 m หัวฉีด A ให้ขนาด D_{32} = 39.06 μm และ D_{43} = 54.27 μm ซึ่งมีค่ามากขึ้นเมื่อเทียบกับหน้าตัดสเปรย์ที่ระยะ z = 0.3 m แต่ยังคงมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับหัวฉีดอื่น โดยน้อยกว่าของหัวฉีด B และ C รวมถึงหัวฉีดเชิงพาณิชย์ (หัวฉีด D) อย่างชัดเจน ขณะที่หัวฉีด B และ C ยังคงมีขนาดใกล้เคียงกัน หัวฉีดที่ออกแบบทั้งสามตัว (A, B และ C) มีขนาดหยดเฉลี่ยเล็กกว่าของหัวฉีดเชิงพาณิชย์ เล็กน้อย เมื่อพิจารณาค่า relative span factor พบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันมากเหมือนที่ระยะ z = 0.3 m โดยหัวฉีด B มีค่าต่ำที่สุด แต่น้อยกว่าหัวฉีด A ไม่มาก ขณะที่หัวฉีดเชิงพาณิชย์ มีค่านี้มากที่สุด

ผลของการวัดที่แตกต่างกันเนื่องจากระยะ z นี้ เป็นผลเนื่องมาจากตัวอย่างของสเปรย์ที่เคลื่อนที่ผ่านแสงเลเซอร์ แตกต่างกัน สเปรย์มีการเคลื่อนที่หลังจากการแตกตัวจะมีความเร็วลดลงไปทำให้ระยะห่างระหว่างหยดเปลี่ยนไป โดยหยดเล็กจะมีระยะชิดกันเร็วกว่าหยดใหญ่ เนื่องจาก หยดใหญ่มีโมเมนตั้มมากกว่าหยดเล็ก ทำให้สามารถเอาชนะแรงต้านได้นานกว่า จึงมีระยะห่างกันระหว่างหยดที่ตามมาน้อยลงที่ระยะ downstream ที่เพิ่มขึ้น การวัดจึงมีสัดส่วนของหยดใหญ่เพิ่มเข้ามาภายหลัง และทำให้ช่วงความกว้างของการกระจายตัวของขนาดหยด ($D_{v0.9}$ - $D_{v0.1}$) มากขึ้น มากกว่าค่า $D_{v0.5}$ ที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 1 Mean diameter และ span factor ที่ระยะ z = 0.3 m

Nozzle	D_{32} (μm)	D_{43} (μm)	Span factor
A	36.8	54.27	1.2
B	42.29	65.44	1.25
C	45.66	68.32	1.25
D	45.7	76.1	1.7

ตารางที่ 2 Mean diameter และ span factor ที่ระยะ z = 0.5 m

Nozzle	D_{32} (μm)	D_{43} (μm)	Span factor
A	39.06	62.95	1.52
B	48.64	80.07	1.47
C	47.53	77.91	1.56
D	51.18	79.50	1.59

5. สรุป

งานวิจัยนี้เป็นการทดสอบหัวฉีดที่ได้ออกแบบไว้สำหรับเครื่องพ่นสเปรย์หมอก เพื่อวัดการกระจายตัวของขนาดหยดด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของแสง หัวฉีดที่ทำการทดสอบมีมุมของแผ่นหมุนวนแตกต่างกันสามค่า คือ 10, 20 และ 30 องศา โดยได้มีการเปรียบเทียบผลการวัดการกระจายตัวของขนาดหยดของหัวฉีดเชิงพาณิชย์ ผลการทดสอบ พบว่า หัวฉีดที่ออกแบบมีสเปรย์ที่ละเอียดและสม่ำเสมอมากกว่าสเปรย์ของหัวฉีดเชิงพาณิชย์ โดยหัวฉีดที่ให้สเปรย์ที่ดีที่สุดคือ หัวฉีดที่มีมุมของแผ่นหมุนวนเท่ากับ 10 องศา

หัวฉีดที่มีมุมของแผ่นหมุนวนเท่ากับ 10 องศา มีการกระจายตัวของขนาดหยดสเปรย์และขนาดหยดเฉลี่ยที่ดีที่สุด โดยที่ระยะ z = 0.3 m มีค่า D_{32} = 36.8 μm และ D_{43} = 54.27 μm ขณะที่หัวฉีดเชิงพาณิชย์มีค่า D_{32} = 45.7 μm และ D_{43} = 76.1 μm สำหรับค่า relative span factor ที่อธิบายถึงความสม่ำเสมอของสเปรย์ มีค่า Δ_v = 1.2 ขณะที่หัวฉีดเชิงพาณิชย์มีค่า Δ_v = 1.7 ที่ระยะ z = 0.5 m หัวฉีดที่มีมุมของแผ่นหมุนวนเท่ากับ 10 องศา มีค่า D_{32} = 39.06 μm และ D_{43} = 54.27 μm ขณะที่หัวฉีดเชิงพาณิชย์มีค่า D_{32} = 51.18 μm และ D_{43} = 79.50 μm สำหรับค่า relative span factor ที่อธิบายถึงความสม่ำเสมอของสเปรย์ มีค่า Δ_v = 1.52 ขณะที่หัวฉีดเชิงพาณิชย์มีค่า Δ_v = 1.59

ระยะ downstream ที่เพิ่มขึ้นจะมีผลต่อขนาดหยดของสเปรย์ที่วัดได้ เนื่องจากตัวอย่างของขนาดหยดในแสงเลเซอร์ที่ใช้วัดนั้นเปลี่ยนไป หยดใหญ่มีโมเมนตั้มมากกว่า ทำให้สามารถเอาชนะแรงต้านได้นานกว่าหยดเล็ก จึงมีระยะชิดกันมากขึ้นที่ downstream การวัดจึงมีสัดส่วนของหยดใหญ่เพิ่มเข้ามา

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการบิน-อวกาศ และศูนย์วิจัยและพัฒนาเครื่องจักรกลและอุปกรณ์อุตสาหกรรม (DMIE) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่สนับสนุนให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

[1] H. Lefebvre, Vincent G. McDonell, D.C. (1923–2003). Atomization and sprays, 2nd edition, Taylor & Francis Group.

[2] คณาจารย์ภาควิชาพืชศาสตร์ (2543), หลักการกสิกรรม ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, แหล่งที่มา http://natres.psu.ac.th/department/plantscience/510-111web/book/book%20content.htm/chapter11/agri_11.htm

[3] F. X. Tanner et al., Applied Mathematical Modelling. Letters 40, 6121-6133 (2016).

[4] H. F. Liu et al., Chemical Engineering and Processing. Letters 45, 240-245 (2006

[5] M. Roudini and G. Wozniak, Applied Fluid Mechanics. Letters 11, 1455-1469 (2018).

[6] P. Yongyingsakthavorn, P. Vallikul, B. Fungtammasan, and C. Dumouchel (2007). Application of the maximum entropy technique in tomographic reconstruction from laser diffraction data to

[7] determine local spray drop size distribution, Experiments in Fluids, 42, (3), 471 – 481.

[8] P. Yongyingsakthavorn, C. Dumouchel, P. Vallikul, and B. Fungtammasan (2009). Deconvolution with Maximum Entropy Solution to Determine Local Extinction Coefficient and Local Volume Concentration from Laser Diffraction Data, Part. Part. Syst. Charact., 26, 187-198.

[9] S. Tanchatchawan, P. Vallikul, P. Yongyingsakthavorn, C. Dumouchel, "Multi-Resolution of Local Drop-Size Distribution and Liquid Volume Concentration from a Finite-Width Laser Diffraction Data", Atomization and Sprays, 27(2): 151–167 (2017).

[10] Malvern Instruments Ltd. (2006). Spraytec User Manual, MAN0368 Issue 2.0.



2 cm x 2 cm

ประวัติผู้เขียนบทความ

ชื่อ : อัญญาณี อ้นวงษ์

นักศึกษา : ปริญญาโท

สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ



ประวัติผู้เขียนบทความ

ชื่อ : พิสิฐ ยงยิ่งศักดิ์ถาวร

ที่ทำงาน : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

งานวิจัยที่สนใจ : Fluid and Thermal Systems, Atomization and Sprays, Energy Management System

บทความวิจัย

ไฟฟ้า

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าแบบพกพาเพื่อการเกษตร

Portable Electrical Power Supply For Agriculture

ณัฐพร แซ่ผ้าง และ สุนิศา พิมสีกล่ำ

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร e-mail : nathaporn-s@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการสร้างแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าแบบพกพาที่สามารถพกพาได้ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้พลังงานทดแทนแทนการใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง ปัจจุบันงานทางด้านเกษตรกรรม ได้อาศัยเทคโนโลยีต่างๆ เข้ามาประยุกต์ใช้ในงานด้านการเกษตร เพื่อเป็นเครื่องมือทุ่นแรง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของผลผลิต ดังนั้นจึงนำเสนอบทความนี้เพื่อสร้างแบบการใช้พลังงานแสงอาทิตย์กับอุปกรณ์ทางไฟฟ้าในแปลเกษตรกรรมและชุดแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าแบบพกพานี้จะประกอบไปด้วยส่วนต่างๆดังนี้ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 250 วัตต์ แบตเตอรี่ขนาด 12 V 45 Ah จำนวน 2 ลูก เครื่องควบคุมการประจุและเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเป็นต้น นำมาสร้างเป็นชุดกล่องสำเร็จรูปที่สามารถพกพาได้อย่างสะดวก โดยถ้าวันที่แสงแดดมีปริมาณความเข้มสูง ผู้ใช้สามารถประจุไฟให้กับแบตเตอรี่โดยใช้แหล่งพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้เครื่องควบคุมการประจุ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบที่ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์และวันที่ไม่มีแสงแดด ก็สามารถประจุไฟให้กับแบตเตอรี่โดยใช้เครื่องชาร์จแบตเตอรี่เสียบกับไฟบ้าน

คำสำคัญ : พลังงานไฟฟ้า; พลังงานแสงอาทิตย์; พลังงานทดแทน

Abstract

this article presents a portable electrical power supply that can be portable. To use renewable energy instead of using oil as fuel. Currently working in agriculture has relied on various technologies to be applied in agriculture to be a power-saving tool to increase productivity. Therefore, this article presented to create a model for using solar energy with electrical equipment in the agricultural plot and this portable power supply set consists of the following parts. 250 watt solar panel, 2 batteries 12 V 45 Ah, charge controller and inverter, etc. Bring to create a ready-made box set that can be easily portable. If the sunlight intensity is high, users can charge the battery using the solar panel power source using a charge controller To increase the efficiency of systems that use solar panels and day without sunlight. Can charge the battery by using a battery charger plugged into the house

Keywords: Electric Energy ; Solar Energy; Renewable Energy

1. บทนำ

แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าแบบพกพาเป็นอุปกรณ์เพื่อใช้ในการเก็บพลังงานแสงอาทิตย์จากเซลล์แสงอาทิตย์หรือโซล่าเซลล์ที่ผ่านการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าที่สามารถพกพาได้ไปใช้ในฟาร์มเกษตร ทดแทนการใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง[1] ประกอบไปด้วยส่วนที่1เครื่องควบคุมการประจุ (Charger) เมื่อประจุกระแสไฟฟ้าเข้าสู่แบตเตอรี่จนเต็มแล้วจะหยุดหรือลดการประจุกระแสไฟฟ้า และมีคุณสมบัติในการตัดการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า กรณีแรงดันของแบตเตอรี่ลดลงด้วย ระบบพลังงานแสงอาทิตย์จึงจำเป็นจะต้องใช้เครื่องควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้าด้วย โดยส่วนที่2แบตเตอรี่ (Battery) ทำหน้าที่เป็นตัวเก็บพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไว้ใช้เวลาที่ต้องการ เช่น เวลาที่ไม่มีแสงอาทิตย์ เวลากลางคืน หรือนำไปประยุกต์ใช้งานอื่นๆ ซึ่งจากที่กล่าวไปแล้วข้างต้น กระแสไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะเป็นไฟฟ้ากระแสตรงจึงมีความจำเป็นจะต้องใช้ส่วนที่3เครื่องแปลกระแสไฟฟ้า (Inverter) ทำหน้าที่แปลงพลังงานไฟฟ้าจากกระแสตรง (Direct Current) ที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ให้เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current) เพื่อให้สามารถใช้ได้กับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับ จึงจะได้ไฟฟ้ากระแสสลับที่สามารถนำไปเป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้เครื่องจักรกลและเครื่องมือทางการเกษตรได้ [2-3] ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 การประจุกระแสไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้กับเครื่องมือ

ดังนั้นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าแบบพกพาเป็นอุปกรณ์เพื่อใช้ในการเก็บพลังงานแสงอาทิตย์จากเซลล์แสงอาทิตย์หรือโซล่าเซลล์ที่ผ่านการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าที่สามารถพกพาได้ไปใช้ในฟาร์มเกษตร ทดแทนการใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งพลังงานที่ถูกเก็บไว้ในแบตเตอรี่สามารถที่จะเอามาใช้ได้ทุกเมื่อในยามจำเป็นหรือวันที่ไม่มีแสงแดดหรือเวลากลางคืนก็สามารถประจุไฟให้กับแบตเตอรี่โดยใช้เครื่องชาร์จแบตเตอรี่เสียบกับไฟบ้านได้

2. เครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ (Charger)

เครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ตัวหนึ่งที่มีคุณสมบัติเพียงเพื่อคอยควบคุมการชาร์จไฟฟ้าจากแผงโซล่าเซลล์ลงสู่แบตเตอรี่ของระบบโซล่าเซลล์เพื่อเก็บกระแสไฟเพื่อนำมาใช้งานตามที่เราออกแบบไว้ซึ่งคอนโทรลชาร์จหรือโซล่าชาร์จเจอร์ทั่วไปจะมีหลักการทำงาน คือ เมื่อประจุกระแสไฟฟ้าเข้าสู่แบตเตอรี่จนเต็มจะหยุดการประจุหรือลดกระแสไฟฟ้าน้อยลง(รวมทั้งจะออกแบบให้ตัดการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้ากรณีต่อไฟฟ้าใช้งานผ่าน เครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ในกรณี ที่แรงดันของแบตเตอรี่ลดลงต่ำตามค่าที่กำหนดด้วย) ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะใช้เครื่องควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้าในกรณีที่มีการเก็บพลังงานไฟฟ้าไว้ในแบตเตอรี่เท่านั้น [3] ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 เครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่

3. เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า

เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าหรืออินเวอร์เตอร์ (Inverter) จะแปลงไฟกระแสสลับ (AC) จากแหล่งจ่ายไฟทั่วไปที่มีแรงดันและความถี่คงที่ ให้เป็นไฟกระแสตรง (DC) [4] ซึ่งสามารถหาขนาดของอินเวอร์เตอร์ได้ดังสมการที่ 1

ขนาดขออินเวอร์เตอร์ = 1.25(Factor) x ค่ากำลังงานไฟฟ้า(W) (1)

= 1.25 x 746

= 932.5 W

ดังนั้น จึงเลือกใช้อินเวอร์เตอร์ขนาด 1500 W/24 V ชนิด Pure sine wave เนื่องจากอินเวอร์เตอร์ชนิดนี้จะผลิตสัญญาณไฟฟ้ารูปร่างเหมือนไฟฟ้าที่ใช้ตามบ้านเรือน ซึ่งเหมาะกับการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าทุกชนิด อีกทั้งโหลดที่เป็นปั๊มน้ำจะต้องเผื่อขนาดกระแสสตาร์ทของปั๊มน้ำด้วย ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 เครื่องแปลงกระแสในชุดแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าแบบพกพา

4. แบตเตอรี่

แบตเตอรี่ (Battery) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่จัดเก็บพลังงานและจ่ายพลังงานให้กับโหลดในกรณีที่ไม่มีแสงอาทิตย์หรือในเวลากลางคืน [5] สามารถหาขนาดความจุแบตเตอรี่ได้ดังสมการที่ 2

$$Ah = \frac{Demandload}{V_{battery} \times DOD \times Batteryloss} \quad (2)$$

$$Ah = \frac{746}{24 \times 0.8 \times 0.85} = 45.71$$

5. เซลล์แสงอาทิตย์

ปัจจุบันการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ อาจจำแนกได้ 2 ประเภทหลักๆ ได้แก่ การผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์และการผลิตไฟฟ้าด้วยความร้อนจากแสงอาทิตย์ ซึ่งการผลิตไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์ที่สามารถนำมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ เริ่มจากแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ จะเกิดการสร้างพาหะนำไฟฟ้าประจุลบ (เรียกว่า อิเล็กตรอน) และประจุบวก (เรียกว่า โฮล) ซึ่งอยู่ในภายใน โครงสร้างรอยต่อพีเอ็นของสารกึ่งตัวนำ โดยโครงสร้างรอยต่อพีเอ็นนี้จะทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าภายในเซลล์ เพื่อแยกพาหะไฟฟ้าชนิดอิเล็กตรอนให้ไหลไปที่ขั้วลบ และทำให้พาหะนำไฟฟ้าชนิดโฮลไหลไปที่ขั้วบวก ซึ่งทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าแบบกระแสตรงขึ้นที่ขั้วทั้งสอง เมื่อเราต่อเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับเครื่องใช้ไฟฟ้า ก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลออกจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นชนิดกระแสตรง ดังนั้น ถ้าต้องการจ่ายไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับต้องต่อเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับแปลงไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) [6-7] ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 เซลล์แผงอาทิตย์

6. กำลังไฟฟ้าของโหลด

ในการสร้างต้นแบบชุดแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าพกพา ทำการพิจารณาเมื่อนำชุดแหล่งจ่ายพกพาไปเป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้เครื่องมือไฟฟ้าทางการเกษตร ดังนั้นจึงพิจารณาเมื่อโหลด คือ ปั๊มน้ำขนาดกำลังไฟฟ้า 1 แรงม้าหรือ746 วัตต์ กระแสสลับ 1 เฟส แรงดัน 220 V ความถี่ 50 Hz และกำหนดให้ปั๊มน้ำทำงานเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ดังสมการที่ 3

ดังนั้นสามารถคำนวณค่าพลังไฟฟ้าได้จาก

ค่าพลังงานไฟฟ้า = กำลังไฟฟ้า(วัตต์) x จำนวนชั่วโมง (3)

= 746 W x 1 hr

= 746 Wh

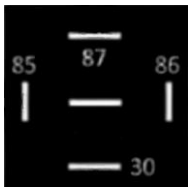
7. รีเลย์ 5 ขา

รีเลย์ (Relay) เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ทำหน้าที่ตัดต่อกระแสไฟและช่วยป้องกันอุปกรณ์ตัวอื่นๆไม่ให้เกิดความเสียหาย เมื่อระบบหรือวงจรมีอาการผิดปกติ โดยอาศัยการเหนี่ยวนำของขดลวด

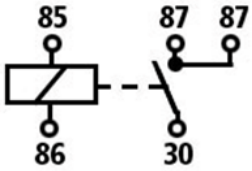
รีเลย์แบบ 5 ขา หรือ 5 ขั้วจะประกอบไปด้วยขั้วหรือขา [8] ดังแสดงในรูปที่ 5 และ 6

1. ขั้วหรือขา ของขดลวดด้านไฟเข้า ส่วนมากจะใช้เลข 85
2. ขั้วหรือขา ของขดลวดด้านไฟออก ส่วนมากจะใช้เลข 86

3. ขั้วหรือขา ของหน้าสัมผัสตัวเคลื่อนที่ ส่วนมากจะใช้เลข 30
4. ขั้วหรือขา ของหน้าสัมผัสตัวอยู่กับที่ ส่วนมากจะใช้เลข 87 (มีอยู่ 2 ขา)



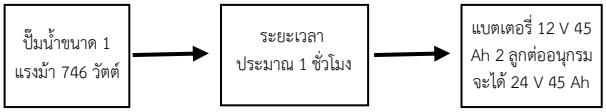
รูปที่ 5 ขั้วหรือขาของรีเลย์



รูปที่ 6 สัญลักษณ์ของรีเลย์แบบ 5 ขา

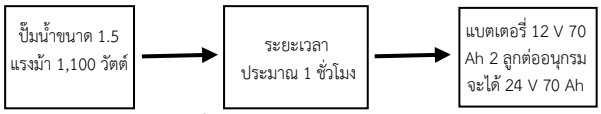
8. กรณีศึกษาและการทดสอบของแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าแบบพกพา

การทดสอบศึกษาการเปรียบเทียบเลือกใช้มอเตอร์ปั๊มน้ำในบทความนี้จะคำนวณหาความจุของแบตเตอรี่ (Ah) โดยจะแบ่งออกเป็น 3 กรณีศึกษา ปั๊มน้ำขนาด 1.5,2และ3 แรงม้า ต่อระยะเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง แบตเตอรี่ขนาดแรงดัน 24 V ควรเลือกใช้ความจุของแบตเตอรี่ (Ah) เท่าไหร่ เมื่อเปรียบเทียบกับปั๊มน้ำขนาด 1 แรงม้าหรือ 746 วัตต์ ดังแสดงในรูปที่ 7



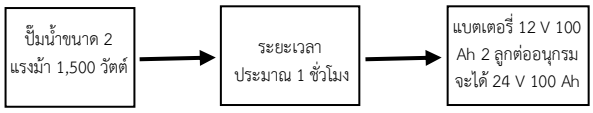
รูปที่ 7 มอเตอร์ปั๊มน้ำขนาด 1 แรงม้าหรือ 746 วัตต์

8.1 การเลือกใช้มอเตอร์ปั๊มน้ำขนาด 1.5 แรงม้าหรือ 1,100 วัตต์ ดังแสดงในรูปที่ 8



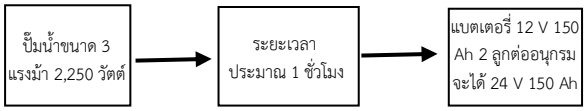
รูปที่ 8 มอเตอร์ปั๊มน้ำขนาด 1.5 แรงม้าหรือ 1,100 วัตต์

8.2 การเลือกใช้มอเตอร์ปั๊มน้ำขนาด 2 แรงม้าหรือ 1,500 วัตต์ ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 มอเตอร์ปั๊มน้ำขนาด 2 แรงม้าหรือ 1,500 วัตต์

8.3 การเลือกใช้มอเตอร์ปั๊มน้ำขนาด 3 แรงม้าหรือ 2,250 วัตต์ ดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 มอเตอร์ปั๊มน้ำขนาด 3 แรงม้าหรือ 2,250 วัตต์

9. ผลการทดสอบ

9.1 การทดลองในสวน

ทำการทดสอบชุดแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าแบบพกพาในแปลงเกษตรจริงได้ดำเนินการทดลองกับสวนโดย โหลดคือ ปั๊มน้ำขนาดกำลังไฟฟ้า 1 แรงม้าหรือ 746 วัตต์ และแรงดันปั๊มน้ำ 3 บาร์ จากการทดสอบพบว่าชุดแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าสามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับปั๊มน้ำและปั๊มน้ำสามารถทำงานได้จริง โดยเมื่อแบตเตอรี่ชาร์จจนเต็มและนำมาทำการทดสอบกับปั๊มน้ำ โหลดสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องเป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง ซึ่งแสดงการทดสอบชุดแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าแบบพกพาในสวน ได้ดังแสดงในรูปที่ 11 และ12



รูปที่ 11 การทดลองชุดแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าแบบพกพาในสวน



รูปที่ 12 ทดสอบรดน้ำต้นทุเรียน โดยใช้แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าแบบพกพา เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้ปั๊มสูบน้ำขึ้นมาจากบ่อ

9.2 ทดลองปั๊มน้ำสูบจากถัง

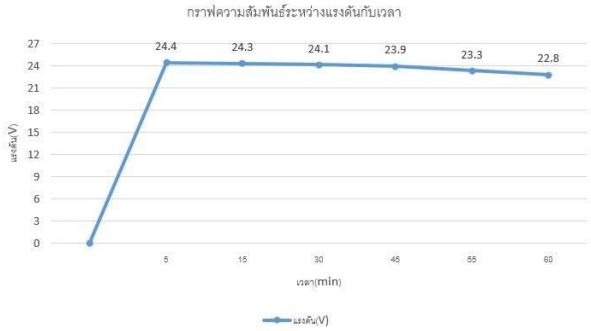
ทำการทดสอบปั๊มน้ำสูบจากถัง โหลดคือ ปั๊มน้ำขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้า 1 แรงม้าหรือ 746 วัตต์ และแรงดันปั๊มน้ำ 3 บาร์ จากการทดลอง พบว่าชุดแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าสามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับปั๊มน้ำและปั๊มน้ำสามารถทำงานได้จริง โดยเมื่อแบตเตอรี่ชาร์จจนเต็มและนำมาทำการทดสอบกับปั๊มน้ำ โหลดสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องเป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 13



รูปที่ 13 การทดลองชุดแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าแบบพกพาสูบน้ำจากถัง

ตารางที่ 1 ผลการทดลอง

กรณี	แรงดัน(V)	กระแส(A)	กำลังงาน(W)
1. เมื่อเวลาผ่านไป 5 นาที	24.4	5.5	134.2
2.เมื่อเวลาผ่านไป 15 นาที	24.3	5.6	136.08
3. เมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที	24.1	5.4	130.14
4. เมื่อเวลาผ่านไป 45 นาที	23.9	5.6	126.67
5. เมื่อเวลาผ่านไป 55 นาที	23.3	5.3	123.49
6. เมื่อเวลาผ่านไป 60 นาที	22.8	5.1	116.28



รูปที่ 14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับเวลา

10. สรุป

จากการศึกษาและทดลองแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าแบบพกพาเป็นอุปกรณ์เพื่อใช้ในการเก็บพลังงานแสงอาทิตย์จากเซลล์แสงอาทิตย์หรือโซล่าเซลล์ที่ผ่านการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าที่สามารถพกพาได้ไปใช้ในฟาร์มเกษตรหรือในสถานที่ที่ไม่มีไฟฟ้าใช้ เพื่อจ่ายไฟให้กับเครื่องมือด้านเกษตร ทดแทนการใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง ประกอบไปด้วย เครื่องควบคุมการประจุ (Charger) แบตเตอรี่ (Battery) และเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter) โดยหลักๆ และเพื่อศึกษากรณีศึกษาทั้ง 3 กรณี จากการศึกษาทำให้สามารถที่จะสรุปผลการทดสอบได้ดังนี้

1. สำหรับการศึกษาและการเปรียบเทียบค่าความจุของแบตเตอรี่ ถ้าปั๊มน้ำมีขนาดแรงม้าที่ใหญ่ขึ้น ค่าความจุของแบตเตอรี่ก็จะมากขึ้นเพื่อให้ใช้ได้ในระยะเวลา 1 ชั่วโมง

2. การที่ปั๊มน้ำมีขนาดใหญ่และค่าความจุแบตเตอรี่เปลี่ยนไปก็จะส่งผลให้เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเปลี่ยนไปเช่นกัน

3. สามารถเปรียบเทียบกรณีมอเตอร์ปั๊มน้ำในแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าแบบพกพา ขนาด 1 แรงม้า กับ 1.5,2 และ 3 แรงม้า

11. การอ้างอิงและเอกสารอ้างอิง

[1] Yadunandana V., and Shankar G.,“Optimization of Solar Photovoltaic Water Pumping System during Monsoon Conditions,” International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability (ICEETS),7-8 April 2016, pp.84-88

[2] Andrade A., and Mattos E., Gamba C., et al., “Design and Implementation of PV Power Zeta Converters for Battery Charger Applications,” IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)., 29 October 2015, pp.3145-3142.

[3] W. M. Grady, M. J. Samotyj and A. H. Noyola, "Survey of active power line conditioning methodologies," in IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 5, no. 3, pp. 1536-1542

[4] Djamel L., and Abdallah B., “Power quality control strategy for grid connected renewable energy sources using PV array, Wind turbine and battery,” Power Engineering, Energy and Electrical Drives (POWERENG)., Istanbul, Turkey, 13-17 May 2013, pp.1671-1675.

[5] Barghamadi, M., Kapoor, A. and Wen, C. (2013). A Review on Li-S Batteries as a High Efficiency Rechargeable Lithium Battery. J. Electro chem Soc. 160(8): A1256-A1263.

[6] Barghamadi, M., Kapoor, A. and Wen, C. (2013). A Review on Li-S Batteries as a High Efficiency Rechargeable Lithium Battery. J. Electro chem Soc. 160(8): A1256-A1263.

[7] N. Poonnoy, et al., "Differential Flatness Based Control of AC/DC Converter," in 2017 European Conference on Electrical Engineering and Computer Science (EECS), Bern, Switzerland, 2017 pp. 136-141.

[8] Kui Li, Fang Yao, Jianguo Lu and Zhigang Li, "Test and analysis of reliability for electromagnetic relay," Electrical Contacts - 2000. Proceedings of the Forty-Sixth IEEE Holm Conference on Electrical Contacts (Cat. No.00CB37081), Chicago, IL, USA, 2000, pp. 79-82, doi: 10.1109/HOLM.2000.889915.

12. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณการประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7 นี้ เพื่อจัดทำบทความวิจัยในครั้งนี้

การพัฒนาแบบจำลองทางเภสัชจลนศาสตร์ของยาซาบูทามอลในอาสาสมัครเพื่อทำนายระดับความเข้มข้นในเลือดด้วยแบบจำลองแบบแบ่งส่วน

The development of pharmacokinetic modelling of salbutamol dry powder inhalers in healthy volunteers to predict plasma concentration using compartmental model

ต้าย บัณฑิศักดิ์* และ นันทพันธ์ นภัทรานันทน์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ
เลขที่ 222 หมู่ที่ 2 ต.บ้านพร้าว อ.ป่าพะยอม จ.พัทลุง 93210

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอแบบจำลองทางเภสัชจลนศาสตร์สำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพขนาดยาซาลบูทามอล (Salbutamol) ชนิดผงสำหรับสูดดม โดยใช้แบบจำลองแบบแบ่งส่วน (Compartmental model) ซึ่งแบบจำลองที่นำเสนอนี้จะถูกนำไปใช้เพื่อทำนายความเข้มข้นของยาสูดดมซาลบูทามอล ซึ่งมุ่งเน้นไปที่การการกระจายตัวของซาลบูทามอลในบริเวณพลาสมา แบบจำลองแบ่งส่วนสามารถอธิบายโดยสมการเชิงอนุพันธ์สามัญ และ หาคำตอบโดยใช้ทฤษฎีระเบียบวิธีเชิงตัวเลข Runge-Kutta ลำดับที่สี่ การวิเคราะห์การประสิทธิภาพการทำนายของแบบจำลองโดยใช้หลักการปรับให้เหมาะสมแบบฮิวริสติก ซึ่งถูกควบคุมผลการทำนายโดยใช้ผลรวมของความคลาดเคลื่อนของยกกำลังสอง (SSE) และ การเปรียบเทียบพื้นที่ใต้กราฟ (AUC) ซึ่งเปรียบเทียบระหว่างความเข้มข้นของซาลบูทามอลในพลาสมาที่รายงานจากห้องปฏิบัติการ กับค่าได้ที่การทำนาย ซึ่งผลการเปรียบเทียบในอาสาสมัครที่เป็นโรคหืดมีค่า SSEs เท่ากับ 0.03 การทดสอบโดยใช้ F-test พบว่าความเข้มข้นของซาลบูทามอลในพลาสมาที่ได้จากการทำนายมีค่าไม่แตกต่างกับผลที่รายงานจากห้องปฏิบัติการ ($p > 0.05$) จากผลการทดลองสรุปได้ว่าแบบจำลองที่นำเสนอ สามารถใช้ในการทำนายความเข้มข้นของซาลบูทามอลที่พื้นที่เป้าหมายได้

คำสำคัญ : แบบจำลองแบบแบ่งส่วน; ซาลบูทามอล ; ระเบียบวิธีตัวเลข

Abstract

This article aims to present the pharmacokinetic modelling for optimizing inhaled salbutamol dose by using the compartmental model based on the fourth-order Runge-Kutta numerical method. The compartmental model was applied to predict the salbutamol inhalation dose which focused on salbutamol disposition in the plasma regions. The compartmental model was described by an ordinary differential equation and solved by the numerical method. Parameter optimization was analyzed using heuristic optimization and controlled by the sum square error (SSE) and area under the curve (AUC) of salbutamol plasma concentration compared with the predicted salbutamol plasma concentration. The comparison in the healthy volunteers, the SSEs were 0.03. The F-test analysis with 95% CI was employed to compare the plasma and predicted concentration in asthmatic volunteers after treatment and the results showed that the $p > 0.05$. In conclusion, the salbutamol modified compartmental model is able to predict the concentration of salbutamol at the target site.

Keywords: compartmental model; salbutamol; numerical method

1. บทนำ

ซาลบูทามอล (Salbutamol) ที่ใช้เป็นยาสูดดมสำหรับการรักษาโรคหอบหืดและโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง (COPD) การให้ซาลบูลทามอล สามารถฉีดเข้าเส้นเลือด ทางปาก ทางทวารหนัก และให้พร้อมกับการใช้เครื่องช่วยหายใจ ยาที่ใช้ในการรักษาจะถูกนำสู่ระบบทางเดินหายใจด้วยการใช้เครื่องพ่นยาแบบมิเตอร์หรือสเปรย์ยาพ่นแบบผงแห้งถูกใช้เพื่อนำส่งยา ไปยัง หลอดลมและถุงลมโดยตรง โดยที่ปริมาณของยาที่ใช้ในการรักษาที่เหมาะสม สามารถบ่งชี้ได้โดยใช้การวิเคราะห์ความเข้มข้นของยาซาลบูลทามอล ในพลาสมา ร่วมกับ ผลการทดสอบสมรรถภาพปอด (FEV_1, FVC และ FEF_{25-75}) [1] และ การกระจายตัวและความเข้มข้นของยาสามารถอธิบายโดยใช้แบบจำลองทางเภสัชจลนศาสตร์

ข้อมูลทางเภสัชจลนศาสตร์และเภสัชพลศาสตร์ของ ซาลบูลทามอล ได้รับการศึกษาเพื่อหาความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของยา และการตอบสนองของระบบทางเดินหายใจ โดยการวัดความเข้มข้นของซาลบูลทามอล ในระบบทางเดินหายใจซึ่งสามารถทำได้ 2 วิธี คือ การวิเคราะห์ทางอ้อมและการวิเคราะห์ทางตรง[1] ซึ่งการวิเคราะห์ทางอ้อมประกอบด้วย การวัดความเข้มข้นของพลาสมาโดยตรง [2], [3] และ การตรวจเสมหะ[4], [5] ภายใต้พื้นฐานของเภสัชจลนศาสตร์ และ การวิเคราะห์สมดุลของมวล ในส่วนของการวิเคราะห์ทางตรง การวัดโดยตรงทำได้โดยการล้างปอด[6] ร่วมกับการใช้สีย้อมเรืองแสง [7], [8] ในหลอดลมจะ ซึ่งจะถูกใส่เข้าไปในปอด และ มีการเก็บรวบรวมของเหลวจากการล้างหลอดลมเพื่อนำมาตรวจสอบความเข้มข้นของยาในระยะเวลาที่กำหนด การพัฒนากระบวนการนำส่งยาสูดพ่น มุ่งเน้นไปที่การกำหนดสูตรการพัฒนาอุปกรณ์ช่วยการนำส่งยา และ การทดสอบสมรรถภาพปอดเป็นหลัก แต่ไม่ได้ตรวจสอบการนำส่งยาเฉพาะที่ [9], [10] เป็นที่น่าสังเกตว่าในการพัฒนาในภายหลังปริมาณของซาลบูทามอลลดลงอย่างมีนัยสำคัญเนื่องจากการใช้เทคโนโลยีขั้นสูง ปริมาณซาลบูทามอลที่เหมาะสมนั้นมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการรักษาด้วยยาที่มีศักยภาพ การให้ยาซาลบูทามอลเกินขนาดอาจทำให้เกิดผลข้างเคียงหลายอย่างเช่นภาวะหัวใจเต้นเร็วผิดปกติ[11] และในกรณีปริมาณที่ไม่เพียงพออาจทำให้การรักษาไม่มีประสิทธิภาพ ดังนั้นการพยากรณ์ปริมาณการใช้

ยาขยายหลอดลมที่เหมาะสมจึงเป็นงานที่ท้าทาย เพื่อที่จะช่วยลดปริมาณยาที่ใช้ในแต่ละครั้งเพื่อการรักษาที่มีประสิทธิภาพ

แบบจำลองแบบแบ่งส่วน (Compartmental model) เป็นวิธีที่ใช้ในการติดตามแบบจำลองจลนศาสตร์ โดยพิจารณาจากอัตราการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของยา ซึ่งสามารถนำไปใช้เพื่อแสดงเภสัชจลนศาสตร์และเภสัชพลศาสตร์ของยา ยิ่งไปกว่านั้นจำเป็นต้องใช้แบบจำลองช่องสำหรับการวินิจฉัยระบบโดยผู้เชี่ยวชาญทางการแพทย์ เช่นผู้ป่วยโรคเบาหวาน[12]–[15] แบบจำลองนี้สามารถใช้สำหรับการกำจัดยาในทุกอวัยวะในร่างกายเช่นความเข้มข้นของยาใน ตับ พลาสมา ปอด และ ปัสสาวะซึ่งขึ้นอยู่กับเป้าหมายการวิจัย อัตราการถ่ายโอนของแบบจำลองช่องถูกใช้เพื่ออธิบาย อัตราการดูดซึม อัตราการกระจาย และอัตราการกำจัด ของส่วนประกอบที่สนใจ

งานวิจัยนี้มีนำเสนอการสร้างแบบจำลองทางเภสัชจลนศาสตร์ของซาลบูทามอลในรูปแบบยาพ่นสำหรับ โรคหอบหืด และ การรักษาโรคหลอดลมอุดกันเรื้อรัง (COPD) โดยการใช้แบบจำลองแบบแบ่งส่วนเพื่อใช้ทำนายความเข้มข้นของ ซาลบูลทามอล เปรียบเทียบกับ ความเข้มข้นของ ซาลบูลทามอล ในพลาสมาซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการทดลอง [16] เพื่อนำทางไปสู่การพัฒนาแบบจำลอง เภสัชจลนศาสตร์ของซาลบูทามอล เพื่อเปรียบเทียบกับคุณสมบัติทางเภสัชพลศาสตร์ของ ซาลบูลทามอล ต่อไป

2. ทฤษฎีแหละหลักการ

2.1 แบบจำลองแบ่งส่วน (compartmental model)

แบบจำลองแบ่งส่วน (compartmental model) ถูกใช้เพื่ออธิบาย อัตราการดูดซึม อัตราการกระจาย อัตราการเผาผลาญ และอัตราการกำจัดของยา ในร่างกายมนุษย์ แบบจำลองแบ่งส่วน ถูกใช้ในการตัวติดตามการเปลี่ยนแปลงที่ใช้กันอย่างแพร่หลายโดยใช้พื้นฐานของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น ณ ส่วนต่าง ๆ เมื่อเวลาผ่านไป ในกรณีของแบบจำลองที่ซับซ้อนจะใช้แบบจำลองแบ่งส่วนแบบสองส่วน (two compartmental model) เพื่ออธิบายอัตราการจำหน่ายยา จากส่วนหลัก (central compartment) ไปยังส่วนต่อพ่วง (peripheral compartments) โดยที่อัตราการดูดซึม อัตราการกระจาย อัตราการเผาผลาญ และ อัตราการขับถ่าย ซึ่งจะถูกนำมาพิจารณาในการวิเคราะห์ความเข้มข้น

งานวิจัยนี้เป็นการสร้างแบบจำลองแบบแบ่งส่วน โดยใช้พื้นฐานของกระบวนการหายใจ ซึ่งแบบจำลองที่เหมาะสมจะถูกใช้ทำนายความเข้มข้นของซาลบูทามอลในพลาสมา จะถูกเปรียบเทียบกับผลวิเคราะห์ความเข้มข้นของ ซาลบูลทามอล ในพลาสมาซึ่งรายงานจากห้องปฏิบัติการ

แบบจำลองแบ่งส่วนอธิบายโดยสมการเชิงอนุพันธ์และแก้ไขโดยใช้ระเบียบวิธีทางตัวเลข (numerical method) ด้วยวิธี รุงเง คุตตา อันดับที่สี่[17], [18] และ การปรับให้ค่าเหมาะสมแบบฮิวริสติก[19](Li & Russell Rhinehart, 1998) ถูกนำมาใช้เพื่อปรับค่าอัตราการแพร่กระจายระหว่างส่วนต่างๆของแบบจำลอง (k_{ij})

ผลการทำนายของแบบจำลองจะถูกควบคุมโดยฟังก์ชันวัตถุประสงค์เช่น ผลรวมขอค่าคลาดเคลื่อนยกกำลังสอง (SSE) และ การเปรียบเทียบพื้นที่ใต้กราฟ (AUC) เพื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของซาลบูลทามอล ในพลาสมาที่ทำนายไว้กับความเข้มข้นของ ซาลบูลทามอล ที่รายงานจากห้องปฏิบัติการ

2.2 วิธีดำเนินการวิจัย

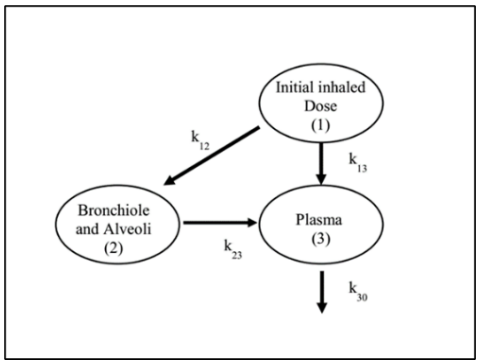
2.2.1 การออกแบบการวิจัย

การทดลองประกอบด้วยการสร้างแบบจำลองทางเภสัชจลนศาสตร์ โดยวิเคราะห์เวลา และ ความเข้มข้นของซาลบูทามอล การออกแบบแบบจำลองแบบแบ่งส่วนขึ้นอยู่กับการทดลองโดยใช้ซาลบูลทามอลสูตรผงแห้ง [16] ซึ่งเป็นการใช้อาสาสมัครสุขภาพดีจำนวน 15 คน โดยการศึกษาในบทความนี้จะทำการศึกษาในกรณีของการพ่นยา และมีการควบคุมการดูดซึมทางปาก และ การกระจายทางเดินอาหารถูกกำจัดโดยใช้ถ่านกัมมันต์ ซึ่งผู้ทดลองได้รับถ่านกัมมันต์ขนาด 5 g เป็นระยะเวลา 2 นาที ก่อนและหลังการสูดดมผงซักฟอกซาลบูทามอลซัลเฟต 1200 ไมโครกรัม เพียงครั้งเดียว ความเข้มข้นของซาลบูทามอลในพลาสมาถูกกำหนดจากตัวอย่างเลือดที่ได้รับที่ 2, 3, 4, 6, 8, 10, 12, 24 ชั่วโมง

2.2.2 การออกแบบแบบจำลองเพื่อใช้ทำนายความเข้มข้นของซาลบูทามอล

แบบจำลองแบบแบ่งส่วนของ ซาลบูลทามอล ที่นำเสนอ ถูกสร้างขึ้นเพื่ออธิบายรายละเอียดเวลาความเข้มข้นของ ซาลบูลทามอล ในพลาสมาของอาสาสมัคร ซึ่งแบบจำลองนี้ออกแบบมาโดยอ้างอิงจากลักษณะทางเภสัชจลนศาสตร์ของระบบทางเดินหายใจของมนุษย์

แบบจำลองแบบแบ่งส่วนของซาลบูลทามอล ดังที่แสดงในรูปที่ 1 ประกอบด้วย ส่วนที่ใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลงของปริมาณยาขณะเริ่มต้นของทางเดินหายใจ (initial inhaled dose) องค์ประกอบของหลอดลม(bronchole and aveoli) และ พลาสมา (plasma) ตามลำดับ ซึ่งพารามิเตอร์ทางเภสัชจลนศาสตร์จะถูกใช้พิจารณาจากความเข้มข้นของซาลบูลทามอล ในพลาสมาของอาสาสมัคร โดยการสร้างแบบจำลองแบบแบ่งส่วนของซาลบูลทามอล (รูปที่ 1) สามารถอธิบายด้วยสมการที่ (1)-(3) และพารามิเตอร์ต่างๆแสดงในตารางที่ 1



รูปที่ 1 แบบจำลองแบบแบ่งส่วนอธิบายการกระจายตัวของยาชาบูลทามอล

$$\frac{dX_1(t)}{dt} = -(k_{12}+k_{13})X_1(t) \quad (1)$$

$$\frac{dX_2(t)}{dt} = k_{12}X_1(t) - (k_{23})X_2(t) \quad (2)$$

$$\frac{dX_3(t)}{dt} = k_{13}X_1(t) + (k_{23})X_2(t) - (k_{30})X_3(t) \quad (3)$$

เมื่อ $X_1(t)$ หมายถึงปริมาณของ ซาลบูลทามอล ในสภาวะเริ่มต้น

$X_2(t)$ หมายถึงปริมาณของ ซาลบูลทามอล ในแบบจำลองส่วนของหลอดลมถุงลม

$X_3(t)$ หมายถึงปริมาณ ซาลบูลทามอล ใน พลาสมา

k_{ij} หมายถึงอัตราการแพร่กระจายจากส่วน i ไปยังส่วน *j, i* = 1,2,3,… และ *j* = 1,2,3….., ตามลำดับ

k_{i0} หมายถึงอัตราการกำจัดจากแบบจำลองส่วนที่ *i, i* = 1,2,3,… ตามลำดับ

ตารางที่ 1 อัตราการส่งผ่านระหว่างแบบจำลองแบบแบ่งส่วน

Parameter	Transfer rate (min^{-1})
k_{12}	8.4×10^{-4}
k_{13}	$1.5\ 10^{-1}$
k_{23}	9.0 x 10-3
k_{30}	1.5×10^{-3}

2.2.3 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

ความเข้มข้นของซาลบูลทามอลที่ทำนายจากแบบจำลองแบบแบ่งส่วนที่นำเสนอ จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของ ซาลบูลทามอล ในพลาสมาที่รายงานจากห้องปฏิบัติการ โดยใช้การเปรียบเทียบค่า SSE และ AUC เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพความเข้มข้นของการทำนาย และ ทำการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติโดยใช้ F-test เพื่อวิเคราะห์ระดับที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญด้วยช่วงความเชื่อมั่น 95% (CI)

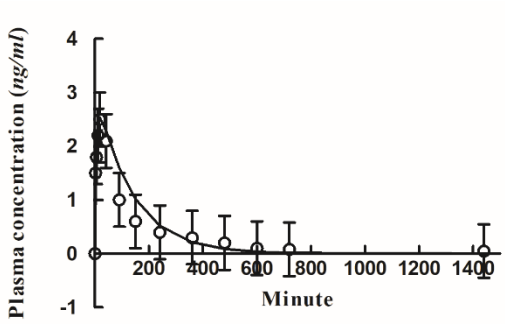
3. ผลการวิจัย

ผลการทำนายระดับความเข้มข้นของซาลบูทามอลในพลาสมาที่ทำนายจากแบบจำลองจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่รายงานจากห้องปฏิบัติการ(รูปที่ 2) โดยที่มีค่า SSE เท่ากับ 0.03 ng ml-1 และ ค่า AUC ของค่าที่ได้จากค่าที่ได้จากห้องปฏิบัติการ และค่าที่ได้จากการทำนายมีค่าเป็น 400 ng ml-1min and 357 ng ml-1min ตามลำดับ

จากผลการเปรียบเทียบทางสถิติระหว่างความเข้มข้นของยาซาบูทามอลที่ได้จากการทำนายกับค่าที่รายงานจากห้องปฏิบัติการ พบว่ามีค่า $p > 0.05$ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของซาลบูทามอลที่ได้จากการทำนายไม่แตกต่างกับผลการวิเคราะห์จากห้องปฏิบัติการ

4. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้นำเสนอแบบจำลอง ซาลบูลทามอล แบบแบ่งส่วนซึ่งสามารถใช้เพื่อในการทำนายระดับความเข้มข้นของ ซาลบูลทามอล ที่สูดดมในผู้ป่วยโรคหืด และ ปอดอุดกั้นเรื้อรัง นำไปสู่การทำนายปริมาณยาที่เหมาะสมที่ใช้ในการรักษา โดยพิจารณาจากความเข้มข้นของ ซาลบูลทามอล ในพลาสมา สมการเชิงอนุพันธ์สามัญถูกใช้เพื่ออธิบายการเปลี่ยนแปลงของแบบจำลองซาลบูทามอล และ ใช้ระเบียบวิธีรุงเง คุตตาลำดับที่สี่นำมาใช้เพื่อแก้ปัญหาของ สมการที่ใช้ในการอธิบายการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของแบบจำลอง แบบจำลองที่นำเสนอได้รับการออกแบบจากชุดข้อมูลจริง ส่วนพารามิเตอร์หลักที่ถูกปรับประกอบด้วยปริมาตรของการกระจาย และ อัตราการเปลี่ยนแปลงของซาลบูลทามอล แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองที่นำเสนอชี้ให้เห็นว่าแบบจำลองของซาลบูทามอลสามารถทำนายปริมาณเข้มข้นของยาซาลบูทามอล ในพลาสมาได้ ดังนั้นแบบจำลองช่องนี้จึงสามารถกำหนดขนาดยาที่เหมาะสมสำหรับการใช้ ซาลบูลทามอล DPI (Dry Powder Inhaler) สำหรับผู้ป่วยโรคหืด



รูปที่ 2 ผลการทำนายความเข้มข้น ซาลบูลทามอล ที่ทำนายจากแบบจำลองเปรียบเทียบกับผลจากรายงานจากห้องปฏิบัติการ

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก สถานวิจัยความเป็นเลิศระบบนำส่งยา คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัด สงขลา

6. เอกสารอ้างอิง

[1] M. Bonini and O. S. Usmani, “Drugs for airway disease,” *Medicine (Baltimore)*, vol. 48, no. 5, pp. 314–322, May 2020, doi: 10.1016/j.mpmed.2020.02.007.

[2] D. Boulton and J. Fawcett, “Pharmacokinetics and pharmacodynamics of single oral doses of albuterol and its enantiomers in humans,” *Clin. Pharmacol. Ther.*, vol. 62, no. 2, pp. 138–144, Aug. 1997, doi: 10.1016/S0009-9236(97)90061-8.

[3] K. Gumbhir-Shah, D. J. Kellerman, S. DeGraw, P. Koch, and W. J. Jusko, “Pharmacokinetic and pharmacodynamic characteristics and safety of inhaled albuterol enantiomers in healthy volunteers,” *J. Clin. Pharmacol.*, vol. 38, no. 12, pp. 1096–1106, Dec. 1998.

[4] M. Miravitlles, “Cough and sputum production as risk factors for poor outcomes in patients with COPD,” *Respir. Med.*, vol. 105, no. 8, pp. 1118–1128, Aug. 2011, doi: 10.1016/j.rmed.2011.02.003.

[5] S. Vidal, J. Bellido-Casado, C. Granel, A. Crespo, V. Plaza, and C. Juárez, "Flow cytometry analysis of leukocytes in induced sputum from asthmatic patients," *Immunobiology*, vol. 217, no. 7, pp. 692–697, Jul. 2012, doi: 10.1016/j.imbio.2011.11.008.

[6] O. Clewe, M. O. Karlsson, and U. S. H. Simonsson, "Evaluation of optimized bronchoalveolar lavage sampling designs for characterization of pulmonary drug distribution," *J. Pharmacokinet. Pharmacodyn.*, vol. 42, no. 6, pp. 699–708, Dec. 2015, doi: 10.1007/s10928-015-9438-9.

[7] K. O. Vasquez, C. Casavant, and J. D. Peterson, "Quantitative Whole Body Biodistribution of Fluorescent-Labeled Agents by Non-Invasive Tomographic Imaging," *PLoS ONE*, vol. 6, no. 6, p. e20594, Jun. 2011, doi: 10.1371/journal.pone.0020594.

[8] D. Yi, A. Naqwi, A. Panoskaltsis-Mortari, and T. S. Wiedmann, "Distribution of aerosols in mouse lobes by fluorescent imaging," *Int. J. Pharm.*, vol. 426, no. 1–2, pp. 108–115, Apr. 2012, doi: 10.1016/j.ijpharm.2012.01.037.

[9] J. H. Ficker, K. F. Rabe, and T. Welte, "Role of dual bronchodilators in COPD: A review of the current evidence for indacaterol/glycopyrronium," *Pulm. Pharmacol. Ther.*, vol. 45, pp. 19–33, Aug. 2017, doi: 10.1016/j.pupt.2017.04.002.

[10] F. Lavorini, F. Braido, I. Baiardini, F. Blasi, and G. W. Canonica, "Asthma and COPD: Interchangeable use of inhalers. A document of Italian Society of Allergy, Asthma and Clinical Immmunology (SIAAIC) & Italian Society of Respiratory Medicine (SIMeR)," *Pulm. Pharmacol. Ther.*, vol. 34, pp. 25–30, Oct. 2015, doi: 10.1016/j.pupt.2015.07.005.

[11] P. Montuschi, "Pharmacological treatment of chronic obstructive pulmonary disease," *Int. J. COPD*, vol. 1, no. 4, pp. 409–423, Dec. 2006, doi: 10.2147/copd.2006.1.4.409.

[12] T. Callegari, A. Caumo, and C. Cobelli, "Bayesian two-compartment and classic single-compartment minimal models: comparison on insulin modified IVGTT and effect of experiment reduction," *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 50, no. 12, pp. 1301–1309, Dec. 2003, doi: 10.1109/TBME.2003.819850.

[13] L. Sun, "Pharmacokinetic-Pharmacodynamic Modeling of Metformin for the Treatment of Type II Diabetes Mellitus," *Open Biomed. Eng. J.*, vol. 5, no. 1, pp. 1–7, Jan. 2011, doi: 10.2174/1874120701105010001.

[14] G. Toffolo and C. Cobelli, "The hot IVGTT two-compartment minimal model: an improved version," *Am. J. Physiol.-Endocrinol. Metab.*, vol. 284, no. 2, pp. E317–E321, Feb. 2003, doi: 10.1152/ajpendo.00499.2001.

[15] P. Vicini, A. Caumo, and C. Cobelli, "Glucose effectiveness and insulin sensitivity from the minimal models: consequences of undermodeling assessed by Monte Carlo simulation," *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 46, no. 2, pp. 130–137, Feb. 1999, doi: 10.1109/10.740875.

[16] J. K. Ward, J. Dow, N. Dallow, P. Eynott, S. Milleri, and G. P. Ventresca, "Enantiomeric disposition of inhaled, intravenous and oral racemic-salbutamol in man - no evidence of enantioselective lung metabolism: Enantiomeric disposition of inhaled rac-salbutamol," *Br. J. Clin. Pharmacol.*, vol. 49, no. 1, pp. 15–22, Jan. 2000, doi: 10.1046/j.1365-2125.2000.00102.x.

[17] J. D. Enderle and J. D. Bronzino, *Introduction to biomedical engineering*. Burlington, MA: Academic Press, 2012. Accessed: Feb. 10, 2021. [Online]. Available: http://www.books24x7.com/marc.asp?bookid=44744

[18] M. Kojic, Ed., *Computer modeling in bioengineering: theoretical background, examples and software*. Chichester, England ; Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2008.

[19] J. Li and R. Russell Rhinehart, "Heuristic random optimization," *Comput. Chem. Eng.*, vol. 22, no. 3, pp. 427–444, Feb. 1998, doi: 10.1016/S0098-1354(97)00005-7.



ประวัติผู้เขียนบทความ
ต้าย บัณฑิศักดิ์
อาจารย์หลักสูตรวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ
งานวิจัยที่สนใจ : Biomedical engineering, Medical instrument design, Mathematical modeling



ประวัติผู้เขียนบทความ
นันทพันธ์ นภัทรานันทน์
อาจารย์หลักสูตรวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ
งานวิจัยที่สนใจ : Renewable energy, Machine design, Mathematical modeling, Biomedical engineering

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

การพัฒนาเว็บแอพพลิเคชั่นสำหรับทำรายงานการตรวจสอบระบบไฟฟ้า

Web Application Developed for Electrical System Inspection Reports.

วัชระ สมจิตต์[1*] และ ผศ.ดร. นันทวรรณ อ่ำเอี่ยม[2] และ ดร. กุลวลัญช์ วรุณสิน[3]

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

282 ถนนรามคำแหง หัวหมาก บางกะปิ กรุงเทพมหานคร 10240 อีเมล์ของผู้แต่ง watchara.sj09@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาเว็บแอพพลิเคชั่นสำหรับทำรายงานการตรวจสอบระบบไฟฟ้า เพื่อลดระยะเวลาในการจัดทำรายงานและนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการลดความสูญเปล่าในการทำงานด้วยหลักการระบบ ECRS โดยเว็บแอพพลิเคชั่นมีการพัฒนามาจาก Google App Sheet และมีการทดลองใช้งานเป็นระยะเวลา 2 เดือน ในเดือนมกราคม และเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2566 กับประชากรจำนวน 19 คน ซึ่งผลการทดสอบพบว่าเว็บแอพพลิเคชั่นสามารถนำมาใช้ในการทำรายงานการตรวจสอบระบบไฟฟ้าได้จริง และ เมื่อเปรียบเทียบจำนวนวันจัดทำรายงานแบบเดิมก่อนที่ใช้เว็บแอพพลิเคชั่น ค่าเฉลี่ยจำนวนวันทำรายงานอยู่ที่ 23 วัน แต่หลังการใช้เว็บแอพพลิเคชั่น ค่าเฉลี่ยจำนวนวันทำรายงานแบบใหม่อยู่ที่ 7.5 วัน ซึ่งลดระยะเวลาการทำรายงานได้ถึง 15.5 วัน คิดเป็นร้อยละ 67 นอกจากนี้ผลประเมินความพึงพอใจการใช้เว็บแอพพลิเคชั่นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.20 ซึ่งความพึงพอใจอยู่ในระดับ มาก และในส่วนของผลประเมินความพึงพอใจของผู้ประกอบการที่ได้รับรายงานการตรวจสอบระบบไฟฟ้า ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.48 ความพึงพอใจอยู่ในระดับ มากที่สุด

คำสำคัญ : เว็บแอพพลิเคชั่น; รายงานการตรวจสอบระบบไฟฟ้า

Abstract

This research is a web application developed for electrical system inspection reports. To reduce the time for preparing reports and to be used as a tool to reduce work waste with the ECRS system principle. The web application is developed from Google App Sheet and has a trial period of 2 months. In January and February 2023 with a population of 19 people which test results It was found that web applications can be used to make reports on electrical inspections. and when comparing the number of days for preparing a traditional report before using the web application The average number of reporting days is 23 days. But after using the web application The new mean number of reporting days was 7.5 days, reducing the reporting time by 15.5 days, or 67%. In addition, the satisfaction assessment results for using the web application had an average of 4.20, which was at a high level. And in the part of the satisfaction assessment results of the operators who received the electrical system inspection report The mean was 4.48, satisfaction was at the highest level.

Keywords: Web Application ; Electrical System Inspection Reports

1. บทนำ

ตามกฎกระทรวง กำหนดมาตรฐานในการบริหาร จัดการและดำเนินการด้านความปลอดภัยอาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับไฟฟ้า พ.ศ. 2558 กำหนดให้นายจ้างแจ้งผลการตรวจสอบและรับรองระบบไฟฟ้าและบริภัณฑ์ไฟฟ้าต่อพนักงานตรวจความปลอดภัยในเขตพื้นที่รับผิดชอบภายใน 15 วันนับแต่วันที่ตรวจสอบ

บริษัทที่ทำการวิจัยดำเนินธุรกิจให้บริการงานตรวจสอบระบบไฟฟ้า จากการสรุปผลการตรวจสอบคุณภาพรายงาน ในช่วง 1 ปี ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2564 – กันยายน 2565 พบว่า รายงานที่ไม่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพประกอบด้วย เรื่องการพิมพ์ผิดมีจำนวน 382 งาน คิดเป็น 67%, เรื่องการใส่ข้อมูลไม่ครบมีจำนวน 160 งาน คิดเป็น 28% และเรื่องข้อมูลด้านวิศวกรรม 74 งาน คิดเป็น 13%, นอกจากนี้บริษัทยังประสบปัญหาการจัดส่งรายงานให้ผู้ประกอบการล่าช้าเกิน 15 วัน จากการเก็บข้อมูลระยะเวลาในการจัดทำรายงานในช่วงเวลา 1 ปี ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2564 – กันยายน 2565 พบว่าค่าเฉลี่ยระยะเวลาของการจัดทำรายงานอยู่ที่ 23 วัน ส่งผลให้บริษัทได้รับผลกระทบในด้านความพึงพอใจของลูกค้า สรุปผลประเมินความพึงพอใจลูกค้า ในช่วงเวลา 1 ปี ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2564 – กันยายน 2565 รวมคิดเป็น 94% โดยผลประเมินความพึงพอใจลูกค้าเรื่องการส่งมอบผลิตภัณฑ์ตามเวลาที่กำหนดต่ำที่สุด ทางบริษัทจึงมีการสรรหาวิธีการเพื่อลดระยะเวลาในการจัดทำรายงาน และจัดส่งรายงานถึงผู้ประกอบการภายใน 15 วัน

Google AppSheet คือ แพลตฟอร์มที่ไม่จำเป็นต้องเขียนโค้ดในการสร้างหรือพัฒนาแอพพลิเคชั่นถือเป็นหนึ่งในแอพพลิเคชั่นที่ดีจากทาง Google ที่สามารถทำงานร่วมกันกับ Google Workspace ได้อย่างไม่สะดุด เรียกได้ว่าสามารถสร้างแอพพลิเคชั่นได้ด้วยตัวเองได้ง่าย โดย Google AppSheet จะเน้นทำงานร่วมกับ Google Drive และ Google Sheets เป็นหลักก็สามารถสร้างแอพพลิเคชั่นได้

ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดว่าหากนำเว็บแอพพลิเคชั่นมาพัฒนาในการจัดทำรายงานการตรวจสอบระบบไฟฟ้าจะทำให้ลดระยะเวลาในการจัดทำรายงานได้เป็นอย่างมาก อีกทั้งยังลดขั้นตอนการทำงานด้วย

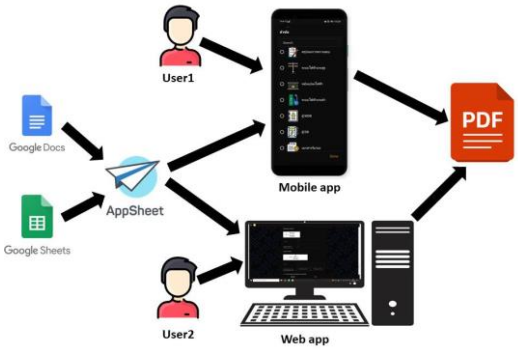
2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ในการวิจัยครั้งนี้ประชากรที่ใช้ในงานวิจัย ได้แก่ วิศวกร ธุรการ ผู้ตรวจสอบรายงาน และผู้บริหาร โดยมีขนาดประชากรทั้งหมดรวม 19 คน

2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

2.2.1 เว็บแอพพลิเคชั่นที่สร้างมาจาก Google App Sheet เพื่อใช้ทำรายงานการตรวจสอบระบบไฟฟ้า



รูปที่ 1 แผงผังของเว็บแอพพลิเคชั่นที่สร้างมาจาก Google App Sheet

การพัฒนาเว็บแอพพลิเคชั่นให้เป็นแบบฟอร์มการตรวจสอบระบบไฟฟ้านั้นจะประกอบด้วยข้อมูล 6 ส่วน ได้แก่ 1. ระบบไฟฟ้าแรงสูง 2. ระบบไฟฟ้าแรงต่ำ 3. หม้อแปลงไฟฟ้า 4. ตู้ MDB 5. สรุปผลการตรวจสอบ และ 6. เอกสารรับรองความปลอดภัยของระบบไฟฟ้า

2.2.2 แบบสอบถามประเมินความพึงพอใจการใช้เว็บแอพพลิเคชั่นในการทำรายงานการตรวจสอบระบบไฟฟ้าของประชากรตัวอย่าง

2.2.3 แบบสอบถามประเมินความพึงพอใจของผู้ประกอบการที่ได้รับรายงานการตรวจสอบระบบไฟฟ้าที่จัดทำโดยเว็บแอพพลิเคชั่น

2.3 การลดความสูญเปล่าด้วยหลักการระบบ ECRS มีดังนี้

1. การกำจัด (Eliminate) คือ การกำจัดความสูญเปล่าในเรื่องของเวลาที่สูญเสียไป

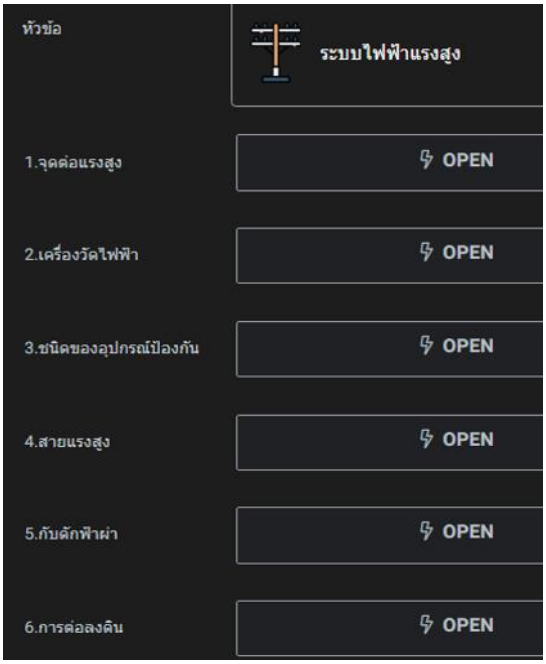
2. การรวมกัน (Combine) คือ การรวมขั้นตอนการทำงานลดการทำงานที่ไม่จำเป็นลง

3. การจัดใหม่ (Rearrange) คือ การจัดขั้นตอนใหม่เพื่อให้ลดการทำงานที่ไม่จำเป็นลง

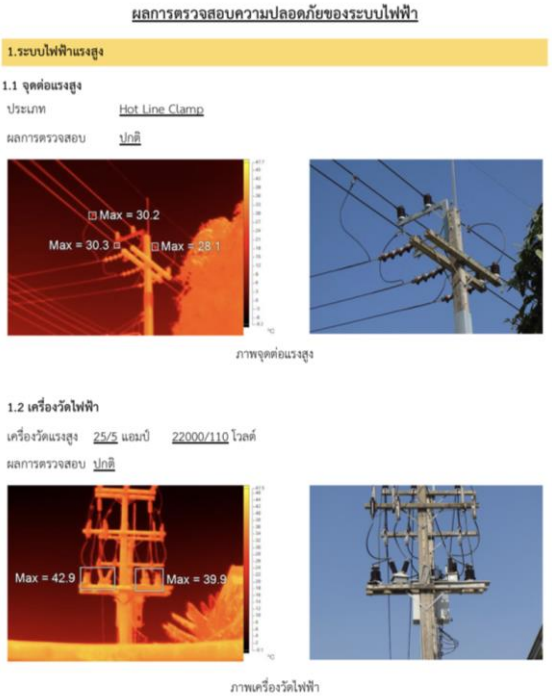
4. การทำให้ง่าย (Simplify) คือ การปรับปรุงการทำงานให้ง่ายและสะดวกขึ้น

3. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 ผลการทดสอบใช้เว็บแอพพลิเคชั่น



รูปที่ 2 ตัวอย่างเว็บแอพพลิเคชั่น



รูปที่ 3 ตัวอย่างรายงานที่ได้จากเว็บแอพพลิเคชั่น

3.2 ผลการวิเคราะห์

3.2.1 สรุปจำนวนวันที่ทำรายงานการตรวจสอบระบบไฟฟ้าผ่านเว็บแอพพลิเคชั่น

จากการทดสอบการทำรายงานผลการตรวจสอบระบบไฟฟ้าในเว็บแอพพลิเคชั่นเป็นระยะเวลา 2 เดือน สามารถสรุปเปรียบเทียบจำนวนวันทำรายงานแบบปัจจุบันและแบบใหม่ได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สรุปจำนวนวันที่ทำรายงานการตรวจสอบระบบไฟฟ้า

เดือน	จำนวนรายงาน	จำนวนวันทำรายงานแบบปัจจุบัน (ปี2565)	จำนวนวันทำรายงานแบบใหม่ (ปี2566)
มกราคม	10 บริษัท	20 วัน	9 วัน
กุมภาพันธ์	10 บริษัท	26 วัน	6 วัน
	รวม 20 บริษัท	เฉลี่ย 23 วัน	เฉลี่ย 7.5 วัน
	ส่วนต่าง	15.5 วัน	
	คิดเป็น %	67%	

เห็นได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบจำนวนวันที่มีการจัดทำรายงานการตรวจสอบระบบไฟฟ้าแบบเดิม ก่อนที่ใช้เว็บแอพพลิเคชั่น ค่าเฉลี่ยจำนวนวันทำรายงานอยู่ที่ 23 วัน แต่หลังการใช้เว็บแอพพลิเคชั่น ค่าเฉลี่ยจำนวนวันทำรายงานแบบใหม่อยู่ที่ 7.5 วัน ซึ่งลดระยะเวลาการทำรายงานได้ถึง 15.5 วัน คิดเป็นร้อยละ 67

สมมติฐานการวิจัย

$\mu 1$ = ค่าเฉลี่ยจำนวนวันทำรายงานแบบปัจจุบัน

$\mu 2$ = ค่าเฉลี่ยจำนวนวันทำรายงานแบบใหม่

$H_0 : \mu 1 = \mu 2$ และ $H_1 : \mu 1 \neq \mu 2$

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบสมมติฐานการวิจัยโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยจำนวนวันที่มีการจัดทำรายงานการตรวจสอบระบบไฟฟ้าแบบปัจจุบันและจำนวนวันที่มีการจัดทำรายงานการตรวจสอบระบบไฟฟ้าแบบใหม่ ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) ค่า p-value เท่ากับ 0.044 ซึ่งน้อยกว่า $\alpha = 0.05$ จึงปฏิเสธ H_0 และยอมรับ H_1 กล่าวคือ ค่าเฉลี่ยจำนวนวันทำรายงานแบบปัจจุบัน และ ค่าเฉลี่ยจำนวนวันทำรายงานแบบใหม่ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

3.2.2 ผลประเมินความพึงพอใจการใช้เว็บแอพพลิเคชั่นในการทำรายงานการตรวจสอบระบบไฟฟ้า

การประเมินความพึงพอใจเป็นการให้คะแนนแบบ Rating Scale ตามวิธีการของ Likert โดยแบ่งเป็น 5 ระดับ สรุปผลดังตารางที่ 2

ตาราง 2 สรุปผลประเมินความพึงพอใจการใช้เว็บแอพพลิเคชั่น

ลำดับที่	รายการประเมิน	ระดับความพึงพอใจ
1	รูปแบบการใช้งานระบบ	4.11
2	กระบวนการทำงานของระบบ	4.00
3	ความถูกต้อง แม่นยำของระบบ	4.47
4	ออกแบบให้ใช้งานง่าย	4.11
5	ความสะดวกในการใช้งานโปรแกรม	4.16
6	ความเสถียรของระบบ	3.63
7	ตรงตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ	4.37
8	ลดระยะเวลาในการทำงาน	4.79
9	ความสวยงามของรายงาน	4.00
10	ความพึงพอใจในการใช้งานโดยรวม	4.47
	ค่าเฉลี่ย	4.20

จากผลประเมินความพึงพอใจการใช้เว็บแอพพลิเคชั่นของผู้ใช้งานจำนวน 19 คน ค่าเฉลี่ยคือ 4.20 ความพึงพอใจอยู่ในระดับ มาก

3.2.3 ผลประเมินความพึงพอใจของผู้ประกอบการที่ได้รับรายงานการตรวจสอบระบบไฟฟ้าที่จัดทำโดยเว็บแอพพลิเคชั่น

ตาราง 3 สรุปผลประเมินความพึงพอใจของผู้ประกอบการที่ได้รับรายงานการตรวจสอบระบบไฟฟ้าที่จัดทำโดยเว็บแอพพลิเคชั่น

ลำดับที่	รายการประเมิน	ระดับความพึงพอใจ
1	ความรวดเร็วในการจัดส่งรายงาน	4.70
2	ความถูกต้อง ครบถ้วน ของรายงาน	4.70
3	ความสวยงามของรายงาน	3.95
4	รายงานอ่านเข้าใจได้ง่าย ข้อมูลชัดเจน	4.55
5	ความพึงพอใจโดยรวม	4.50
	เฉลี่ย	4.48

จากผลประเมินความพึงพอใจของผู้ประกอบการที่ได้รับรายงานการตรวจสอบระบบไฟฟ้าที่จัดทำโดยเว็บแอพพลิเคชั่น จำนวนทั้งหมด 20 คน ค่าเฉลี่ยคือ 4.48 ความพึงพอใจอยู่ในระดับ มากที่สุด

3.3 ผลการลดความสูญเปล่าด้วยหลักการระบบ ECRS

ผู้วิจัยได้ทำการลดความสูญเปล่าในกระบวนการทำงานด้วยหลักการระบบ ECRS โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. การกำจัด (Eliminate) เป็นการกำจัดความสูญเปล่าในเรื่องของเวลาที่สูญเสียไปในช่วงที่มีการแก้ไขรายงานซ้ำไปซ้ำมา เนื่องจากการพิมพ์ข้อมูลผิด การพิมพ์ผิดหลักไวยากรณ์ และลดระยะเวลารอคอยในการรอวิศวกรส่งกระดาษแบบฟอร์มที่จดผลการตรวจอบ

2. การรวมกัน (Combine) เป็นการรวมขั้นตอนการทำงานของวิศวกรในการจดบันทึกผลการตรวจสอบลงในกระดาษแบบฟอร์ม

กับ ขั้นตอนการพิมพ์ผลการตรวจสอบลงใน Microsoft word โดยธุรการเข้าด้วยกัน เปลี่ยนเป็นวิศวกรบันทึกผลการตรวจสอบระบบไฟฟ้าได้ทันทีผ่านเว็บแอพพลิเคชั่นและสามารถปริ้นได้เลย

3. การจัดใหม่ (Rearrange) เป็นการลดขั้นตอนการทำรายงาน โดยบันทึกผลการตรวจสอบระบบไฟฟ้าผ่านเว็บแอพพลิเคชั่น และจัดผังขั้นตอนการทำงานการจัดทำรายงานใหม่ ตัดขั้นตอนการทำงานที่ไม่จำเป็นออก

4. การทำให้ง่าย (Simplify) คือ การปรับปรุงการทำงาน โดยการนำเว็บแอพพลิเคชั่นมาใช้ในการทำรายงาน ซึ่งสามารถบันทึกผลการตรวจสอบระบบไฟฟ้าได้ทันที ณ สถานประกอบการ

หลังจากที่ทำการลดความสูญเปล่าในกระบวนการทำงานด้วยหลักการระบบ ECRS แล้วผู้วิจัยได้ทำการการเปรียบเทียบจำนวนวันการทำรายงานผลการตรวจสอบระบบไฟฟ้าแบบปัจจุบันและแบบใหม่ พบว่าระยะเวลากระบวนการทำรายงานแบบปัจจุบันคือ 15 วัน ส่วน ระยะเวลากระบวนการทำรายงานแบบใหม่โดยใช้เว็บแอพพลิเคชั่น คือ 6 วัน สรุปดังภาพที่ 4



รูปที่ 4 แผนผังกระบวนการทำรายงานแบบปัจจุบันและแบบใหม่

4. สรุปและอภิปรายผล

จากการพัฒนาเว็บแอพพลิเคชั่นสำหรับทำรายงานการตรวจสอบระบบไฟฟ้า และทดสอบใช้งานเป็นระยะเวลา 2 เดือน ในเดือนมกราคมมีจำนวน 10 บริษัท ซึ่งค่าเฉลี่ยจำนวนวันที่ทำรายงาน คือ 9 วัน ส่วน เดือนกุมภาพันธ์ มีการทำรายงานในเว็บแอพพลิเคชั่นจำนวน 10 บริษัท ซึ่งค่าเฉลี่ยจำนวนวันที่ทำรายงาน คือ 6 วัน เมื่อเทียบจำนวนวันที่มีการจัดทำรายงานการตรวจสอบระบบไฟฟ้าก่อนใช้เว็บแอพพลิเคชั่น ค่าเฉลี่ยจำนวนวันทำรายงานอยู่ที่ 23 วัน แต่หลังการใช้เว็บแอพพลิเคชั่น ค่าเฉลี่ยจำนวนวันทำรายงานอยู่ที่ 7.5 วัน เห็นได้ว่าการทำรายงานผลการตรวจสอบระบบไฟฟ้าในเว็บแอพพลิเคชั่นสามารถลดระยะเวลาการทำรายงานได้ถึง 15.5 วัน คิดเป็นร้อยละ 67 ในส่วนของผลการทดสอบสมมติฐานการวิจัยโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) พบว่า ค่าเฉลี่ยจำนวนวันทำรายงานแบบปัจจุบัน และ ค่าเฉลี่ยจำนวนวันทำรายงานแบบใหม่ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ผลประเมินความพึงพอใจการใช้เว็บแอพพลิเคชั่นในการทำรายงานการตรวจสอบระบบไฟฟ้าจากผู้ใช้งานจำนวน 19 คน พบว่า ค่าเฉลี่ยคือ 4.20 ความพึงพอใจอยู่ในระดับ มาก

ผลประเมินความพึงพอใจของผู้ประกอบการที่ได้รับรายงานการตรวจสอบระบบไฟฟ้าที่จัดทำโดยเว็บแอพพลิเคชั่น พบว่า ผู้ประกอบการทั้งหมด 20 คน ประเมินความพึงพอใจมีค่าเฉลี่ยคือ 4.48 ความพึงพอใจอยู่ในระดับ มากที่สุด

การลดความสูญเปล่าในกระบวนการทำงานด้วยหลักการระบบ ECRS ส่งผลให้ระยะเวลากระบวนการทำรายงานแบบใหม่โดยใช้เว็บแอพพลิเคชั่นมีจำนวน 6 วัน จากระยะเวลากระบวนการทำรายงานแบบปัจจุบันที่มีจำนวน 15 วัน เห็นได้ชัดว่าระยะเวลาในการจัดทำรายงานลดลงอย่างมาก

5. ข้อเสนอแนะ

เว็บแอพพลิเคชั่นใช้งานผ่านอินเตอร์เน็ต ซึ่งความเสถียรของเว็บแอพพลิเคชั่นนั้นอาจแปรผันไปตามอินเตอร์เน็ต ซึ่งผู้วิจัยเสนอแนะให้มีการเลือกใช้เครือข่ายอินเตอร์เน็ตที่มีสมรรถนะสูง

อุปกรณ์ที่นำมาใช้กับเว็บแอพพลิเคชั่นมีผลต่อความรวดเร็วในการเข้าใช้งานเว็บแอพพลิเคชั่น และการดาวน์โหลดไฟล์ PDF ผู้วิจัยเสนอแนะให้เลือกใช้แท็บเล็ต หรือ คอมพิวเตอร์ ที่มีคุณภาพสูง

การวิจัยครั้งต่อไปควรทำการพัฒนาระบบเก็บผลและแสดงผลตรวจสอบข้อมูลในรูปแบบออนไลน์



ผู้เขียนบทความ "นายวัชระ สมจิตต์"
ปริญญาโท บริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยรามคำแหง
ปริญญาตรี สาขาไฟฟ้ากำลัง มหาวิทยาลัยศรีปทุม

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

การพัฒนาระบบบำบัดน้ำด้วยเทคนิคพลาสมาที่สภาวะบรรยากาศ

Development of water treatment by atmospheric plasma technique

ณัฐกิตติ์ กาบุตร[1a], ณัฐริกา บุญชุบ[1b] , พงศ์ภัค สมวี[1c], สุพัตรา หวังเกษม[1d], สุธิดา ทีปรักษพันธ์[2e*] และ คณิศร์ มาตรา[1f*]

[1]ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก

[2]ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก

natthakit.kabut@g.swu.ac.th[a], natthariga.boonchub@g.swu.ac.th[b], pongpak.somvee@g.swu.ac.th[c], suphattra.wangkasem@g.swu.ac.th[d], suthidat@g.swu.ac.th[e*] และ khanit@g.swu.ac.th[f*]

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาอิทธิพลของอัตราการไหลของน้ำที่มีผลต่อการปรับเปลี่ยนคุณสมบัติน้ำด้วยเทคโนโลยีพลาสมาอุณหภูมิต่ำแบบมีฉนวนขั้น หรือ dielectric barrier discharge (DBD) โดยจะอาศัยส่วนประกอบสำคัญ 2 ส่วน คือ ส่วนของแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ และส่วนที่เป็นตัวกำเนิดพลาสมา โดยได้ทำการทดลองเพื่อปรับเปลี่ยนคุณสมบัติน้ำโดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง 12 กิโลโวลต์ 30 mA ที่อัตราการไหลของน้ำเฉลี่ย 5 ระดับ คือ 1.169, 1.331, 1.453, 1.519 และ 1.587 ml/s โดยใช้น้ำที่จะบำบัด 100 ml จากผลการทดลองพบว่าพลาสมาอุณหภูมิต่ำแบบมีฉนวนขั้นนั้นมีประสิทธิภาพในการปรับเปลี่ยนคุณสมบัติของน้ำได้ โดยประสิทธิภาพในการปรับเปลี่ยนคุณสมบัติน้ำจะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลของน้ำช้าลง ซึ่งประสิทธิภาพสูงสุดในการปรับเปลี่ยนคุณสมบัติน้ำพบที่อัตราการไหล 1.169 ml/s มีค่าความเป็นกรด-ด่าง pH ความนำไฟฟ้าในน้ำ (EC) ตะกอนแขวนลอย (TDS) การออกซิไดซ์หรือรีดิวซ์ (ORP) เพิ่มขึ้น 2.42, 28.25, 17.39 และ 21.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับและมีค่าไนเตรท (NO_3^-) เพิ่มขึ้นจากเดิม 7 mg/l

คำสำคัญ : การดิสชาร์จข้ามฉนวน น้ำพลาสมา สารอนุมูลอิสระ

Abstract

This article describes a study that examines the impact of water flow rate on the modification of water properties using low-temperature dielectric barrier discharge (DBD) plasma technology. The study employs two important components: the AC power supply and the plasma generator. The aim of the experimentation is to modify water properties using an high frequency AC power supply with a voltage of 12 kV and a current of 30 mA at water flow rates ranging from 1.169 ml/s to 1.587 ml/s , with 100 ml of target water. The results indicate that the low-temperature DBD plasma technology could effectively enhance the water properties. The efficiency in modifying the water properties increases when the water flow rate has been decreased. The most effective condition has been found at a flow rate of 1.169 ml/s. The parameters of pH, electrical conductivity (EC), total dissolved solids (TDS), oxidation-reduction potential (ORP), and nitrate (NO_3^-) increased by 2.42, 28.25, 17.39, 21.8, and 7 mg/l, respectively.

Keywords: Dielectric Barrier Discharge, Plasma-activated Water, Free radicals

1. บทนำ

ในปัจจุบันมีการพัฒนาแนวคิดการนำเอาเทคโนโลยีพลาสมามาประยุกต์ โดยในด้านการเกษตร เช่น การใช้การบำบัดน้ำด้วยพลาสมาซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่มีแนวโน้มว่าจะมีประโยชน์หลายด้าน เช่น ความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม ประสิทธิภาพ ความยืดหยุ่น และไม่มีสารตกค้าง [1] ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพลาสมาเป็นเทคโนโลยีที่สะอาด เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถทำงานได้ในช่วงความดันและอุณหภูมิที่หลากหลาย

การเกิดพลาสมามีหลายรูปแบบ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับลักษณะของอิเล็กโทรด ลักษณะของฉนวน ลักษณะของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า และระยะห่างระหว่างแกป เป็นต้น [2, 3] จากการวิจัยของการปรับเปลี่ยนคุณสมบัติน้ำด้วยพลาสมาจำนวนมากได้ระบุว่าสารอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นหลังกระบวนการปรับเปลี่ยนคุณสมบัติน้ำ คือ สารอนุมูลอิสระออกซิเจน (ROS) และสารอนุมูลอิสระไนโตรเจน (RNS) องค์ประกอบทั้งหมดสารอนุมูลอิสระที่มีอายุยืนยาวคือ ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์, ไนเตรต, และไนไตร์ท นอกจากนี้โครงสร้างในการดิสชาร์จที่แตกต่างกันจะให้อนุมูลออกฤทธิ์ที่แตกต่างกัน ซึ่งส่งผลให้คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีแตกต่างกัน น้ำพลาสมาที่ผลิตจากวิธีไดอิเล็กทริกแบบมีฉนวนขั้น (DBD) ส่วนมากจะประกอบไปด้วยไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ และไนเตรท [4] สำหรับกระบวนการเกิดขึ้นของสารอนุมูลอิสระเพื่อนำไปใช้ประโยชน์จะนิยมสร้างจากพลาสมาชนิดอุณหภูมิต่ำ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลาย เช่น ทางด้านเกษตร และมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานสูงกว่าพลาสมาชนิดอุณหภูมิสูง [5, 6]

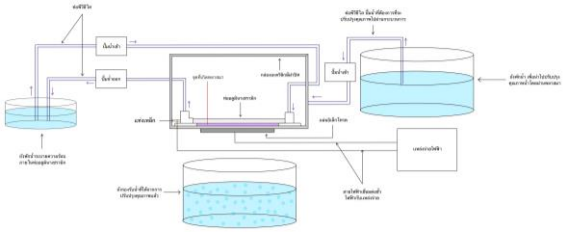
ดังนั้นผู้วิจัยได้นำเสนอการสร้างเครื่องมือต้นแบบเครื่องกำเนิดพลาสมาอุณหภูมิต่ำที่สภาวะบรรยากาศ (atmospheric pressure plasma) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่สะอาด ในการศึกษาอิทธิพลของอัตราการไหลที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าความนำไฟฟ้าในน้ำ (electrical conductivity, EC) ค่าตะกอนแขวนลอย (total dissolved solids, TDS) ค่าความสามารถของสารในการออกซิไดซ์หรือรีดิวซ์สารอื่น (oxidation reduction potential, ORP) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสะอาดของน้ำ และค่าไนเตรท ที่เกิดขึ้นหลังจากที่ผ่านการปรับเปลี่ยนคุณสมบัติน้ำด้วยระบบพลาสมาโดยใช้กระบวนการไนตริฟิเคชั่น ซึ่งเป็นสารอาหารที่เด่นชัดที่สุดที่บ่งบอกถึงความมีประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของการเกิดสารอนุมูลอิสระมีหลายปัจจัย ไม่ว่าจะเป็น ขนาดของ

แรงดันไฟฟ้า อัตราการไหลของน้ำ ระยะระหว่างอิเล็กโทรด ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกที่ศึกษาในส่วนของอัตราการไหลของน้ำ

2. การออกแบบและกระบวนการทดลอง

การออกแบบการสร้างพลาสมา

ชุดปรับเปลี่ยนคุณสมบัติน้ำที่สภาวะบรรยากาศโดยใช้เทคนิคไดอิเล็กทริกแบบมีฉนวนขั้น ได้รับการออกแบบและประยุกต์ใช้สำหรับปรับเปลี่ยนคุณสมบัติน้ำแสดงดังรูปที่ 1 โดยใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขาเข้า (V_{in}) ผ่านหม้อแปลงไฟฟ้า Neon transformer Power supply (12kV 30mA) จำนวน 1 ตัว



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของชุดปรับเปลี่ยนคุณสมบัติน้ำที่สภาวะบรรยากาศโดยใช้เทคนิคไดอิเล็กทริกแบบมีฉนวนขั้น

โดยการเริ่มออกแบบจำลองขั้นต้นนั้น ได้เริ่มศึกษาจากแบบจำลองพื้นฐานที่สามารถทำให้เกิดพลาสมาได้ง่ายที่สุด คือ แท่งเหล็ก

ในการสร้างพลาสมาโดยใช้แบบจำลองอิเล็กโทรด จะกำหนดให้ตัวแท่งเหล็กเป็นขั้วแอโนด และแผ่นเหล็กเป็นขั้วแคโทด โดยเมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าจะเกิดสนามไฟฟ้าระหว่างขั้วแอโนดและขั้วแคโทด จะเกิดพลาสมาระหว่างแท่งเหล็ก และแผ่นเหล็ก

หลังจากนั้นจึงได้สร้างแบบจำลองการไหลของน้ำโดยนำแบบจำลองอิเล็กโทรดมาร่วมกัน เพื่อหาระยะแกปที่เหมาะสม ที่สามารถทำให้เกิดพลาสมาที่สม่ำเสมอโดยระยะแกปที่เหมาะสม คือ 0.2 เซนติเมตร โดยจะแบ่งออกเป็น 2 ระบบ คือ ระบบระบายความร้อนของอิเล็กโทรด และระบบปรับเปลี่ยนคุณสมบัติน้ำน้ำด้วยพลาสมา

ระบบระบายความร้อนของอิเล็กโทรด จะมีขั้วอิเล็กโทรดอยู่ด้านในแท่งฉนวนวางขนานกันจำนวน 4 แท่ง แต่ละแท่งจะต่อกับระบบระบายความร้อนเมื่อทำการปรับเปลี่ยนคุณสมบัติน้ำด้วยพลาสมา

ระบบปรับเปลี่ยนคุณสมบัติน้ำด้วยพลาสมา แท่งฉนวนมีระยะยาว 15เซนติเมตร ซึ่งเป็นตัวการเกิดพลาสมาต่อน้ำที่รองรับมาจากปั๊มน้ำ โดยจะทำการไหลผ่านพลาสมาที่เกิดจากอิเล็กโทรดในแท่งฉนวน

3.ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

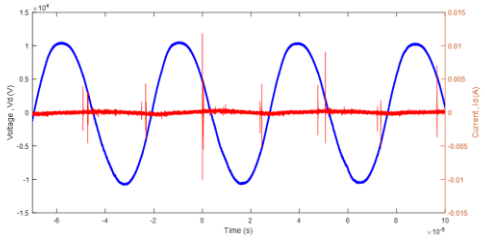
ลักษณะของพลาสมา

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองที่ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง อาคาร G คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ โดยใช้เทคนิคไดอิเล็กทริกแบบมีฉนวนขั้น (DBD) โดยพลาสมาที่เกิดขึ้นนั้นจะมีลักษณะดังรูปที่ 2 เนื่องจากแหล่งจ่ายกระแสสลับแรงดันสูงเป็นตัวจ่ายแรงดันไฟฟ้าไปที่ขั้วทั้งสองในตัวแบบจำลอง เพื่อสร้างสนามไฟฟ้าปริมาณมากแก่แก๊สที่เป็นกลางซึ่งในที่นี้คืออากาศ (ส่วนประกอบหลักคือแก๊สไนโตรเจน (78.084%) แก๊สออกซิเจน (20.947%) แก๊สอาร์กอน (0.934%) และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (0.031%)) ทำให้เกิดกระบวนการแตกตัวเป็นไอออน (ionization) ดังนั้นแสงสีของพลาสมาจึงออกมาเป็นสีม่วงเข้ม ทั้งนี้ขณะเกิดพลาสสมาจะสามารถได้กลิ่นของโอโซนที่เข้มข้น จากการวัดเบื้องต้นด้วย Portable Ozone Analyzer O_3 Ozone Gas Detector Meter Air Quality Detector Y3E4 พบว่า ในอัตราการไหล 1.169 ml/s ค่าโอโซนมีค่าสูงสุดที่เครื่องวัดโอโซนสามารถวัดได้ คือ 4.999 ppm และส่งวัดค่าสารอนุมูลอิสระที่ภาควิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ



รูปที่ 2 แบบจำลองแท่งเหล็กและพลาสมา

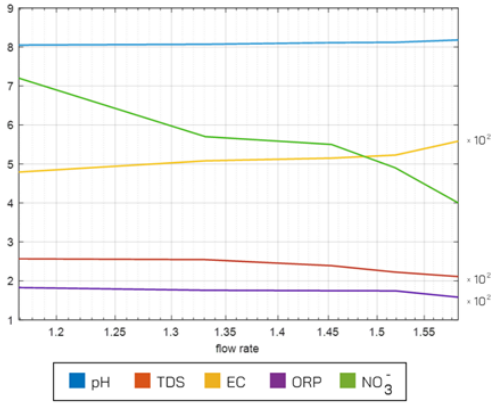
รูปที่3 แสดงความสัมพันธ์ของรูปคลื่นแรงดันดีสชาร์จ และกระแสดีสชาร์จ ขณะทำการสร้างพลาสมา จากรูปจะพบว่าแรงดันดีสชาร์จ และกระแสดีสชาร์จ มีลักษณะเป็นไมโครดีสชาร์จ โดยขนาดความกว้างของไมโครดีสชาร์จอยู่ที่ประมาณ 20 µs ในขณะคาบของ V_{rms} จะอยู่ที่ 40 µs (f=25 kHz) โดยมีค่า V_{rms} และ I_{rms} อยู่ที่ประมาณ 11.8 kV และ 14 mA ตามลำดับ ซึ่งจากรูปที่จะสังเกตได้ว่ามีไมโครดีสชาร์จเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอทุก ๆ ขาขึ้นและขาลงของสัญญาณ



รูปที่ 3 ลักษณะของรูปคลื่นแรงดันดีสชาร์จ (V_d) และ กระแสดีสชาร์จ (I_d) ขณะทำการสร้างพลาสมา

อิทธิพลของพลาสมาต่อการปรับเปลี่ยนคุณสมบัติน้ำ

ผลการศึกษาเทคโนโลยีพลาสมาแบบมีฉนวนขั้น (DBD) ที่อัตราการไหล 1.169, 1.331, 1.453, 1.519 และ 1.587 ml/s พบว่ามีค่าพารามิเตอร์ของน้ำที่มีเปลี่ยนไปดังแสดงตารางที่ 1 โดยค่าความเป็นกรด-ด่าง pH ของน้ำที่มีค่าเท่ากับ 2.42, 2.18, 1.70, 1.58 และ 0.84 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากค่าเริ่มต้น 8.25 ส่งผลให้ค่าตะกอนแขวนลอย (TDS) เท่ากับ 28.25, 27.2, 19.44, 12.05 และ 5.65 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากค่าเริ่มต้น 200 ppm ค่าการนำไฟฟ้า (EC) มีค่าเท่ากับ 28.2, 12.43, 11.22, 9.89 และ 3.74 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากค่าเริ่มต้น 580 µs/cm ค่า ORP หรือที่เรียกว่า REDOX มีค่าเท่ากับ 21.8, 17.2, 16.47, 16.2 และ 5.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากค่าเริ่มต้น 150 mV และค่าสารอนุมูลอิสระที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ซึ่งในการทดลองนี้ได้ทำการวัดค่าไนเตรทมีค่า เท่ากับ 7.2, 5.7, 5.5, 4.9 และ 4.0 mg/l โดยการปรับเปลี่ยนคุณสมบัติน้ำ ทางเคมีด้วยกระบวนการโอโซเนชั่น (Ozonation) พัฒนาขึ้นเพื่อนำมาใช้กำจัดสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยากโดยอาศัยกระบวนการออกซิเดชั่นชั้นสูง (Advance oxidation process) ของอนุมูลไฮดรอกซิล ทำหน้าที่ย่อยสลายหรือเปลี่ยนรูปของสารอินทรีย์ทำให้เกิดเป็นอนุมูลของสารอินทรีย์ทำให้สารอินทรีย์เปลี่ยนโครงสร้าง อิทธิพลของการปรับเปลี่ยนคุณสมบัติน้ำด้วยพลาสมาส่งผลต่อ โอโซนจะทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ได้ดี ทำให้มีขนาดเล็กลง ค่าการนำไฟฟ้า (EC) จึงขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไอออน ซึ่งที่มาของไอออนเหล่านี้มาจากความเค็ม และตะกอนแขวนลอยที่ละลายได้ทั้งหมด ทำให้น้ำสามารถนำไฟฟ้าได้ ซึ่งช่วยในการระบุความบริสุทธิ์ของน้ำ ยิ่งน้ำบริสุทธิ์ ค่าการนำไฟฟ้ายิ่งต่ำ ส่วนค่า ORP หรือที่เรียกว่า REDOX เป็นการวัดค่าไอออนในน้ำที่สะท้อนความสามารถของโมเลกุลในการออกซิไดซ์หรือการรีดิวซ์โมเลกุลอื่น ซึ่งระดับ ORP ที่สูงขึ้น แสดงถึงความสามารถในการทำลายเชื้อแบคทีเรียได้มากขึ้น ซึ่งค่าที่เหมาะสมต่อสิ่งมีชีวิต คือ 150-250 mV ทั้งนี้ปฏิกิริยาที่สำคัญที่เกี่ยวข้องที่เกี่ยวข้องของการสร้างขึ้นของสารอนุมูลอิสระที่เป็นประโยชน์ขณะปรับเปลี่ยนคุณสมบัติของน้ำด้วยพลาสมาสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2 ผลการทดลองพบว่าการปรับเปลี่ยนคุณสมบัติของน้ำด้วยเทคโนโลยีพลาสมาแบบมีฉนวนขั้น (DBD) ส่งผลให้คุณสมบัติของน้ำเปลี่ยนไป จากการศึกษาพบว่าเทคโนโลยีพลาสมามีประสิทธิภาพในการนำมาใช้กับการปรับเปลี่ยนคุณสมบัติของน้ำ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการเกษตรและการบำบัดน้ำเสียได้



รูปที่ 4 กราฟความสัมพันธ์อัตราการไหลของน้ำ ml/s กับความเป็นกรด-ด่างpH

ตารางที่ 1 ผลการทดลองปรับเปลี่ยนคุณสมบัติน้ำด้วยพลาสมา

อัตราเฉลี่ยการไหลของน้ำ ml/s	ความเป็นกรด-ด่าง pH	ตะกอนแขวนลอย (TDS) ppm	ความนำไฟฟ้าในน้ำ (EC) µs/cm	การออกซิไดซ์หรือรีดิวซ์ (ORP) mV	ไนเตรท (NO_3^-) mg/l
0	**8.25**	**200**	**580**	**150**	**0.2**
1.169	8.05	256.5	479.1	182.7	7.2
1.331	8.07	254.4	507.9	175.8	5.7
1.453	8.11	238.9	514.9	174.7	5.5
1.519	8.12	224.1	522.6	174.3	4.9
1.587	8.18	211.3	558.3	158.0	4.0

ตารางที่ 2 กระบวนการเกิดขึ้นของสารอนุมูลอิสระ [6]

Reactive species	Creation pathways
Hydrogen peroxide (H_2O_2)	$OH + OH \rightarrow H_2O_2$
Nitrate (NO_3^-)	$NO_2 + O \rightarrow NO_3$ $NO_2 + O_3 \rightarrow NO_3 + O_2$ $HNO_3 \rightarrow NO_3^- + H^+$ $NO_2^- + \rightarrow O_3 \rightarrow NO_3^- + O_2$ $NO_2 + NO_2 + H_2O \rightarrow NO_2^- + NO_3 + H^+$ $NO + NO_2 + H_2O \rightarrow 2NO_2^- + 2H^+$ $NONOOH \rightarrow NO_3^- + H^+$
Nitrite(NO_2^-)	$NO + O \rightarrow NO$ $2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2$ $HNO_2 + OH \rightarrow HO_2 + NO_2$ $HNO_2 \rightarrow NO_2^- + H^+$ $NO_2 + NO_2 + H_2O \rightarrow NO_2^- + NO_3^- + H^+$
Ozone (O_3)	$O_2 + O \rightarrow O_3$

4. สรุปผล

การศึกษาอิทธิพลของอัตราการไหลของน้ำที่มีผลต่อการปรับเปลี่ยนคุณสมบัติน้ำด้วยเทคโนโลยีพลาสมาอุณหภูมิต่ำแบบมีฉนวนขั้น หรือ dielectric barrier discharge (DBD)โดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับขนาดแรงดันไฟฟ้า 12 kV กระแส 30 mA และอัตราการไหลของน้ำที่ต่างกัน 5 ระดับ คือ 1.169, 1.331, 1.453, 1.519 และ 1.587 ml/s โดยในการทดลองเริ่มจากการปรับเปลี่ยนคุณสมบัติน้ำ และวัดค่าพารามิเตอร์ของน้ำที่บ่งบอกถึงการปรับเปลี่ยนคุณสมบัติ ซึ่งประสิทธิภาพสูงสุดในการปรับเปลี่ยนคุณสมบัติน้ำพบที่อัตราการไหล 1.169 ml/s ดังนี้ ค่า pH ของน้ำลดลง 2.42% ส่งผลให้ค่าตะกอนแขวนลอยเพิ่มขึ้น 5.65% ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ซึ่งขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไอออน และตะกอนแขวนลอยที่ละลายได้ทั้งหมด โดยในงานวิจัยนี้มีค่าลดลง 3.74 % ส่วนค่า ORP หรือที่เรียกว่า REDOX สูงขึ้น 5.33 % ซึ่งในการทดลองนี้ได้ตรวจหาค่าไนเตรท ซึ่งมีค่า 7.2 mg/l

จากการวัดค่าพารามิเตอร์ที่บ่งบอกถึงคุณสมบัติของน้ำจะพบว่าเมื่อใช้อัตราการไหลของน้ำที่ต่ำที่สุด ทำให้เวลาในการบำบัดมากขึ้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง pH และค่าตะกอนแขวนลอย (TDS) ลดลง ส่งผลให้ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ลดลงด้วยเนื่องจากความเข้มข้นของไอออนเหล่านี้มาจากความเค็มและตะกอนแขวนลอยที่ละลายได้ทั้งหมด เนื่องจากพลาสมาสร้างสารอนุมูลอิสระที่เพิ่มขึ้น ค่า ORP ที่บ่งบอกถึงความสามารถทำลายเชื้อโรคได้จึงเพิ่มขึ้น จากการศึกษาการปรับเปลี่ยนคุณสมบัติน้ำด้วยเทคนิคพลาสมาที่สภาวะบรรยากาศเพื่อการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ มีความสามารถในการปรับเปลี่ยนคุณสมบัติน้ำ และประยุกต์ไปใช้ในการเกษตร

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอขอบคุณภาควิชาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อมคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

เอกสารอ้างอิง

[1] Moreau, M., Orange, N. and Feuilloley, M.G.J. Non-Thermal Plasma Technologies: New Tools for Bio-Decontamination. Biotechnology Advances. 2008; 26(6): 610-7

[2] Y. Sato et al., “Numerical simulations of stable, highelectron-density atmospheric pressure argon plasma under pin-to-plane electrode geometry: Effects of applied voltage polarity,” J. Phys. D. Appl. Phys., vol. 53, no. 26, 2020, doi: 10.1088/1361-6463/ab7df0.

[3] K. Matra, Y. Tanakaran, T. Temponsub, S. Nimbua, P. ThabIn, and C. Pluksa, “Electrical characteristics of atmospheric air corona plasma by multi-pin electrodes,” Int. Rev. Electr. Eng., vol. 14, no. 3, pp. 226–236, 2019, doi: 10.15866/iree.v14i3.16726.

[4] Dingmeng Guo, Hongxia Liu, Lei Zhou, Jinzhuo Xie and Chi He Plasma-activated water production and its application in agriculture J Sci Food Agric 2021 DOI 10.1002/jsfa.11258

[5] Fridman, A., Nester, S., Kennedy, L.A., Saveliev, A. and Mutaf-Yardimci, O. Gliding Arc Gas Discharge. Progress in Energy and Combustion Science. 1999; 25(2): 211-231.

[6] Kaushik NK, Ghimire B, Li Y, Adhikari M, Veerana M, Kaushik N, et al. Biological and medical applications of plasma-activated media, water and solutions. Biol Chem 2018;400: 39–62. https://doi.org/10.1515/hsz-2018-0226.

ประวัติผู้นำเสนอบทความ



ชื่อ-สกุล นายณัฐกิตติ์ กาบุตร
ปัจจุบันกำลังศึกษา สาขาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ



ชื่อ-สกุล นางสาวณัฐริกา บุญชุบ
ปัจจุบันกำลังศึกษา สาขาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ



ชื่อ-สกุล นายพงศ์ภัค สมวี
ปัจจุบันกำลังศึกษา สาขาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ



ชื่อ-สกุล นางสาวสุพัตรา หวังเกษม
ปัจจุบันกำลังศึกษา สาขาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ



ชื่อ-สกุล ดร.สุธิดา ทีปรักษพันธุ์
ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ



ชื่อ-สกุล รองศาสตราจารย์ ดร.คณิศร์ มาตรา
ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

A Numerical Study of Temperature in the Medium-voltage Electrical XLPE Cable in Heating Cycle Tests

Latdavone Phothilack[1] and Boonchai Techaumnat[1]

[1]Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

254 Phyathai Road, Patumwan, Bangkok 10330

6272075321@student.chula.ac.th

boonchai.t@chula.ac.th

Abstract

The temperature in XLPE cables depends on various parameters. It depends on the thermal properties of cable layers and the ambient temperature during heating and cooling periods. In this work, we present the numerical method analyzes the temperature distribution in the case of the heat cycle tests. The results are compared with the experimental ones. The purpose is to investigate the effects of parameters such as changes in the film coefficient, the cable with terminals, and the temperature distribution in the cable. We analyze the temperature in an XLPE cable by using the ANSYS workbench software. The simulations between the 2D and 3D show the temperature distribution is almost similar. The 2D and 3D models show the maximum temperature at the middle of the cable. The maximum temperatures of the 3D model with terminals are distributed in the cables.

Keywords: XLPE cable, temperature distribution, heat cycle tests

1. Introduction

Conductors are used for transmitting electricity from power plants to consumers. Electric power transmission can be overhead lines or insulated underground cables. Underground transmission lines are widely used in cities nowadays. The cross-linked polyethylene (XLPE) cable is a type of high voltage cables. XLPE cables are suitable for voltage ranges from low to extra high voltages. The mechanical properties of the XLPE are superior, offering greater tensile strength, elongation and impact resistance. The current rating of the power cable is related to the temperature rise in the cable. The IEC-60853-2 standard provides the methods of cyclic-current rating when the thermal capacities of cable structures cannot be ignored [1]. The heat cycle tests repeat the heating and cooling cycles during which the conductor temperature is higher than the maximum conductor temperature in the normal operation of the cable.

There are a number of tests on the XLPE and other insulated cables that require heat cycle tests. The IEC-60502 specified the construction, dimensions and test requirements of cables with extruded solid insulation [2]. The standard provides several cable tests, such as routine tests, sample tests and type tests which need is the heat cycle test. Heat is generated in the cable by the flow of electric current through it. The heat cycle tests is done to insert the effect of a repetition of temperature change. The temperature in XLPE cables depends on several factors, including current flowing through the cable, the cable structure, and ambient temperature.

This paper analyzes the temperature in an XLPE cable under the conditions of the heat cycle tests by using the ANSYS workbench software. We study the temperature distribution in the cable where a terminator exists. We also consider the influence of arrangement and the coefficient of the surface of the cable. The prediction of the conductor temperature is highly useful as the insulation of a tested cable subjected to high voltage tests cannot be opened.

2. Calculation

The generated heat is dissipated through the cable layers. Heat transfer takes place between material bodies, as a result of a temperature difference [3]. Heat transfer processes are classified into three types: conduction, convection, and radiation. Conduction heat transfer is the transfer of heat through matters such as solids, liquids, and gases, without the bulk motion of the matters [4]. Convection heat transfer is due to the moving fluid, which can be a gas or a liquid [4].

The Joule's law shows the relationship between heat produced by electric current as

$$Q = I^2 R \tag{1}$$

where Q is the power loss transferred to heat, I is the conductor current, and R is the resistance of the conductor.

The thermal conduction is governed by Fourier's law. For a cylindrical object

$$q = kA\frac{T}{dr} \quad (2)$$

$$q = k\frac{2\pi L(T_1 - T_2)}{ln(r_2/r_2)} \quad (3)$$

where q is the heat transferred, A is an area and L is the length of the pipe. r_1 is the inside radius and r_2 is the outside radius. T_1 and T_2 are the temperature inside and outside of the cylindrical, respectively.

The convection (natural or forced) is governed by the Newton's law of cooling [4]:

$$q = hA(T_s - T_\infty) \quad (4)$$

where h is the convection heat transfer coefficient, and A is heat transfer area of the surface. T_s is the surface temperature, and $T\infty$ is the surrounding temperature.

3. Simulation Method

We use an 18/30(36) kV XLPE cable as a model for a simulation. Figure 1 shows the cable layers where parameters are shown in Table 1.

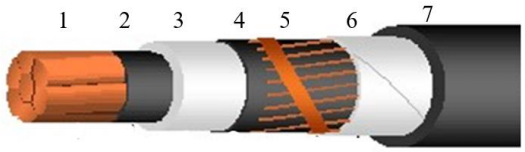


Fig 1. The XLPE cable formation: 1. conductor, 2. insulation shield, 3. insulation, 4. Insulation shield, 5. twist of copper, 6. binding tapes, and 7. PVC sheath.

Table 1. Parameters of the layers.

No. of Layer	Materials	Radius [mm]	Thermal conductivity k [W/m ·°C]
1	Copper Alloy	11.58	401
2	Polyethylene	11.75	0.4
3	Plastic, PE (cross-linked)	20.65	0.2178
4	Polyethylene	21.4	0.4
5	Copper Alloy	22	401
6	Polyester	22.22	6
7	Plastic, PVC (rigid)	25.5	0.1753

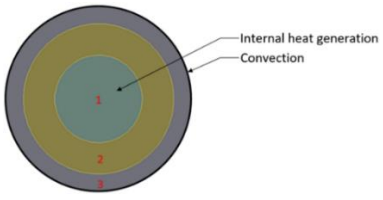
In table 1, the layers of insulation shields, the twist of copper, and binding tape are very thin. These layers are combined with their adjacent layers to simplify the calculation. The insulation shield of 11.75 mm was approximated to 12 mm as the conductor. The insulation shield of 21.4 mm, the twist of copper of 22 mm, and the binding tape of 22.22 mm were approximated to 51 as the sheath. Hence, we use the simplified three layers where parameters are shown in Table 2. The simulation models based on the tests were executed in the ANSYS software. The power loss was calculated from the current value in the experiment, which was I=1145 A.

Table 2. Details of geometrics in the simulation.

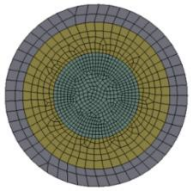
No. of layer	Name	Diameter [mm]	Materials
1	Core	24	Copper
2	insulation	41.2	XLPE
3	sheath	51	PVC

3.1 2D Simulation

The 2D simulation was modeled as shown in figure 2. The dimensions are referred to Table 2. We set the initial temperature in the program to be 32°C and selected the edge of the sheath for the convection. The internal heat generation was added to the body of the internal layer (core). Table 3 shows the parameters of the convection and the internal heat generation set in the program. The film coefficient is an important parameter in the design of heat exchangers, where fluids or gas are used to transfer heat from one surface to another. We try three value of film coefficient (h) between 6-11 W/m2 °C in the simulations.



(a)



(b)

Fig 2. The 2D model of XLPE cable: (a) Conditions and (b) Mesh generation

Table 3. Parameters of boundary condition.

Parameter	Value
Film coefficient h [W/m^2·°C]	6, 8.5, or 11
Ambient temperature [°C]	32
Internal heat generation [W/m^3]	110,181.64

3.2 3D Simulation

The 3D simulation had the same cross-sectional profile as the 2D one. Figure 3 shows the 3D model of the XLPE cable and the detail of the geometries are the same as the 2D case as shown in Table 2. The boundary conditions were set the same as the 2D model by selecting the surface that faces the air as the convection. The body of the conductor was set as the internal heat generation.

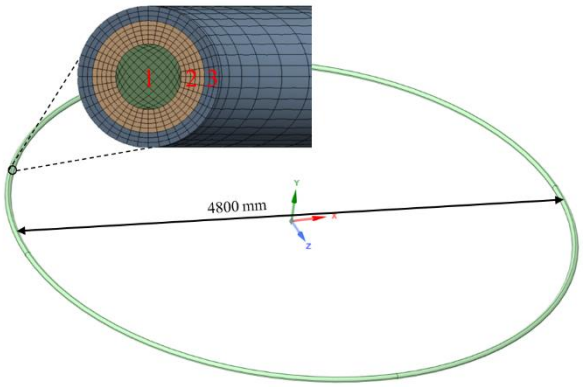


Fig 3. 3D model of XLPE cable conditions and mesh generation

3.3 3D model with terminals

The 3D model with terminals having the same cross-sectional profile as the 3D one is shown in Figure 4. The details of the geometries of this model are the same as the 2D model. We set all surfaces face with the air as a convection. The bodies of cores and terminals were set to be the internal heat generation. This simulation does not simulate a full loop. We have used the results of 3D simulation in this simulation by using the temperature of three layers. We have selected three surfaces at the ends of both sides of the model as the boundary conditions, using the temperatures of three layers from the 3D model. The temperature of the core surfaces is set to 97°C, designated as temperature 1. The surfaces of the insulation are set to 85°C, designated as temperature 2, and the surfaces of the sheath are set to 68°C, designated as temperature 3.



Fig 4. 3D model with terminals and mesh generation

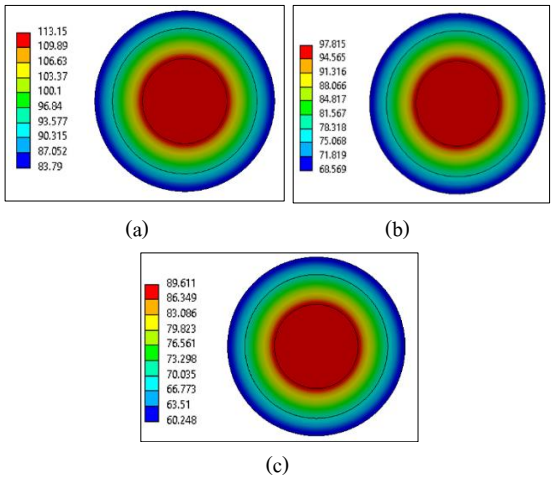
3.4 Mesh creation

The mesh ranges from easy, automated one to highly crafted one. Methods available cover the meshing spectrum of high-order to linear elements. Coarse meshes are not suitable to the model gives inaccurate results. The elements must be connected between the adjacent layers. We create meshes by using the cumulative distribution function (CDF) method and specify the element size. We use the multizone method, which is suitable for creating a mesh with a cylindrical shape. The sweep method is used for dividing the elements of the model.

4. Results

4.1 Film coefficient

The film coefficient is an important parameter in the design of heat exchangers, where fluids or gas are used to transfer heat from one surface to another. The higher the film coefficient, the more efficient the heat transfer, and the smaller the heat exchanger can be. We specify the film coefficient to be 6, 8.5, and 10 W/(m^2°C), respectively to determine how the change in film coefficient would affect the simulation as shown in figure 5.



(a) (b)

(c)

Fig 5. Temperature distribution for h= (a) 6, (b) 8.5, and (c) 11 W/(m^2°C)

Figure 5 shows the temperature of the cable significantly changes with the film coefficient. As the film coefficient increases, the temperature of the cable decreases. The changes in the film coefficient can have a significant impact on the efficiency and performance of heat exchangers, and other thermal systems. The film coefficient is an important parameter in heat transfer analysis that describes the rate at which heat is transferred from a surface to air. In subsequent simulations, we have specified the film coefficient to be 8.5 W/m²·°C for all cases for comparison.

4.2 2D and 3D models

Figures 6 and 7 show the temperature distribution obtain from the 2D and 3D simulations, respectively. In the 2D simulation, the maximum temperature is 97.8 °C, located at the center of the core, while the minimum temperature is 68.5 °C, located at the edge of the sheath. On the other hand, the 3D simulation also shows the maximum temperature at the center of the core, which is slightly higher than the 2D simulation about 0.1 °C. Moreover, the minimum temperature of 68.5 °C is also located at the surface of the sheath, which is consistent with the results of the 2D simulation.

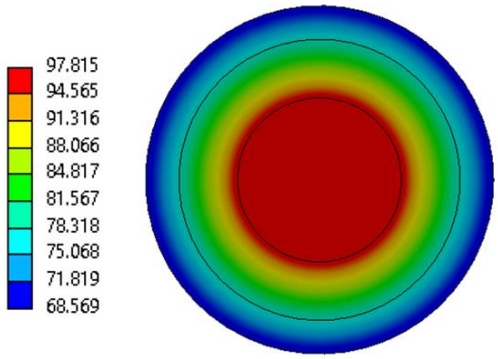


Fig 6. The temperature distribution of 2D simulation.

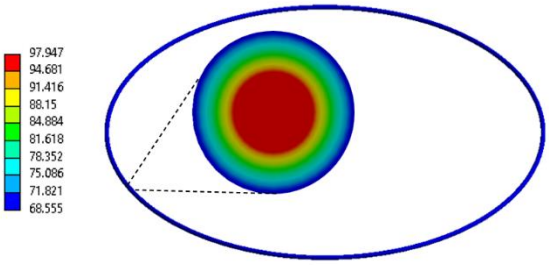


Fig 7. The temperature distribution of 3D simulation.

The primary difference between 2D and 3D simulations is that 3D experiments are generally considered to be more realistic than 2D simulations. In 2D simulations, only two dimensions of the system are considered, while the third dimension is ignored. On the other hand, 3D simulations account for all three dimensions of the system, resulting in a more realistic representation of the experiment. By simulating 3D can account for factors such as heat transfer and other complex physical phenomena that may not be captured in a 2D simulation.

4.3 3D model with terminals

Figures 8 (a) and (b) show the temperature distributions of the model with terminals. The maximum temperature is 98.5 °C at the end of both sides of the cables. The 3D model with terminals shows the maximum temperature at the middle of the core, which is higher than the 3D one about 0.6 °C. The minimum is 65.8 °C at the surface of the sheath of both sides. The simulation is performed to investigate the distribution of maximum temperature between the cables and terminals. The results of the simulation reveals that the highest temperatures were primarily distributed in the cables rather than the terminals.

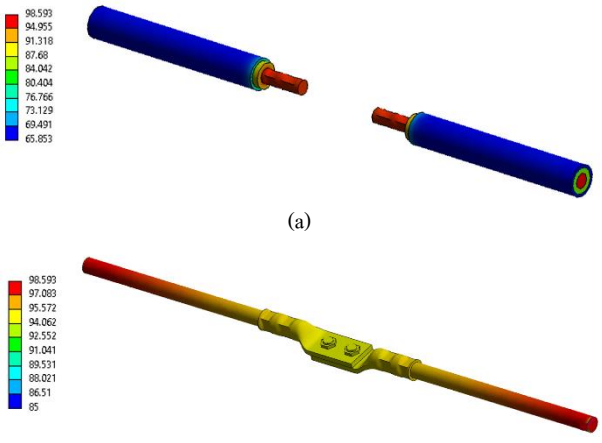


Fig 8. Temperature distribution: (a) Insulation (b) Cores

5. Conclusions

- The temperature of the cable is inversely proportional to the film coefficient. When the film coefficient increases, the temperature of the cable decreases.
- The maximum temperature in the cable is distributed at the middle of the core.
- The 2D and 3D simulations show similar temperature distributions.
- The 3D simulation with terminals shows that the maximum temperatures are in the cables. The temperature of the terminals is about 85 – 95 °C.

6. Acknowledgements

We would like to express our sincere gratitude to ASEAN or Non – ASEAN countries' graduate scholarship program and graduate students support from EECU.

References

[1] International Electrotechnical Commission. Calculation of the Cyclic and Emergency Current Rating of Cables—Part 2: Cyclic Rating Factor for Cables Greater than 18/30(36) kV and Emergency Ratings for Cables of All Voltages, IEC 60853-2; International Electrotechnical Commission: Geneva, Switzerland, 1989.

[2] International Electrotechnical Commission. Calculation of the Current Rating, Parts 1 and 2, IEC Standard 60502-1 and IEC Standard 60502-2, International Standard, 2014.

[3] Theodore L. Bergman, Adrienne S. Lavine, Frank P. Incropera, David P. Dewitt, "Introduction to heat transfer," 10th ed, Wiley, 2011.

[4] Holman, J.P., "Heat transfer," 10th ed, McGraw-Hill Education, 2010.



Ms. Latdavone Phothilack

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

6272075321@student.chula.ac.th



Dr. Boonchai Techaumnat

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

boonchai.t@chula.ac.th

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

การวางแผนเพิ่มประสิทธิภาพของระบบจำหน่ายไฟฟ้าด้วยการเลือกขนาดการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์

Planning Increase Performance of Distribution System with Selection Size of Photovoltaic Installation

นเรศ ชลังสุทธิ์ จักรกฤษ คงคำ วราภรณ์ รินทา ณัชพล เรืองทรัพย์ และ นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถ.ประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สวาง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร โทรศัพท์ 02-836-3000 ต่อ 4150 E-mail: nattachote.r@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอการวางแผนเพิ่มประสิทธิภาพของระบบจำหน่ายไฟฟ้าด้วยการเลือกขนาดการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ที่ตำแหน่งที่แรงดันไฟฟ้าตกเพื่อปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าของระบบจำหน่าย กำลังการผลิตของเซลล์แสงอาทิตย์ถูกวิเคราะห์จากขนาดของความต้องการโหลดที่บัสติดตั้ง วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MATLAB โดยแบ่งออกเป็น 3 กรณีศึกษาได้แก่ กรณีที่ 1 ไม่มีการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ กรณีที่ 2 และ 3 การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดร้อยละ 70 และร้อยละ 100 ตามลำดับ จากผลการจำลองพบว่าการเพิ่มการผลิตของเซลล์แสงอาทิตย์ส่งผลให้สามารถปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าและลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบจำหน่ายได้

คำสำคัญ: ระบบจำหน่ายไฟฟ้า, ประสิทธิภาพ, เซลล์แสงอาทิตย์

Abstract

This paper presents planning increase performance of distribution system with selection size of photovoltaic installation. The objective to study installation the photovoltaic at the location of the voltage drop to improve voltage of distribution system. The production capacity of photovoltaic is analyzed from size of requirement load at installation bus. Analysis with MATLAB program. The case study is divided into 3 case studies: Case 1 no installation the photovoltaic. Case 2 and 3 installation the photovoltaic size 70 % and 100 %, respectively. From result of simulation found increasing the production of photovoltaic can improve the voltage and reduce the power loss of the distribution system.

Keywords: Distribution System, Performance, Photovoltaic

1. บทนำ

ในปัจจุบันนิยมนำระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้งานเพื่อลดการเกิดแรงดันไฟฟ้าสูญเสียและลดต้นทุนค่าไฟฟ้า ในอดีตมีผู้ศึกษา และนำเสนอวิธีการการลดแรงดันไฟฟ้าสูญเสียด้วยการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์

ในปี 2011 [1] ได้มีการศึกษาการควบคุมแรงดันไฟฟ้าของเครือข่ายจำหน่ายไฟฟ้าด้วย เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว โดยชดเชยพลังงานรีแอกทีฟ เพื่อรักษาแรงดันไฟฟ้าของระบบให้อยู่ในขอบเขตที่กำหนดโดยปรับปรุงด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ในปี 2013 [2] ได้ทำการจำลองโดยใช้โปรแกรม MATLAB ในการเลือกตำแหน่ง ประเภท และขนาดที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว ผลการทดลองพบว่าการเลือกตำแหน่งประเภท และขนาดของ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวช่วยเพิ่มแรงดัน ในปี 2019 [3] มีการวางแผนดำเนินการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าของระบบจำหน่าย ทดสอบในระบบจำหน่ายไฟฟ้า 69 บัส ด้วยโปรแกรม MATLAB ผลการทดลองพบว่าสามารถเพิ่มแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายได้ ในปี 2022 [4] ได้ทำการทดลองลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียด้วยการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวชนิดเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดร้อยละ 50 ของความต้องการโหลด ทำการวิเคราะห์ 4 กรณีในระบบกำลังไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม MATLAB กรณีที่ 1 ไม่มีการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวชนิดเซลล์แสงอาทิตย์ กรณี 2, 3 และ 4 ติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวชนิดเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดร้อยละ 50 ของโหลดขนาดเล็ก กลางและใหญ่ตามลำดับ พบว่ากรณีที่ 4 สามารถลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียได้มากที่สุด ส่งผลให้ระบบไฟฟ้ามีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นมากที่สุด

ดังนั้นในบทความนี้ได้ทำการศึกษาการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ที่ตำแหน่งที่แรงดันไฟฟ้าตก เพื่อปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าของระบบจำหน่าย ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า 15 บัส ซึ่งทำการทดสอบด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink โดยแบ่งออกเป็น 3 กรณีศึกษา

2.เซลล์แสงอาทิตย์

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวเป็นแนวทางในการใช้กับเทคโนโลยีขนาดเล็ก เพื่อผลิตไฟฟ้าให้กับผู้ใช้พลังงานไฟฟ้าที่อยู่ใกล้ปลายสายส่ง เทคโนโลยีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว สามารถใช้ประโยชน์ได้หลายประการ เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานจากเซลล์เชื้อเพลิง พลังงานจากไฮโดรเจน พลังงานก๊าซชีวภาพและระบบกักเก็บพลังงาน[5]

เซลล์แสงอาทิตย์ เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าได้ โดยอาศัยคุณสมบัติสำคัญที่เรียกว่า “ปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิก” การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์นั้นเป็นพลังงานที่สะอาดเนื่องจากเป็นพลังงานหมุนเวียนพลังงานธรรมชาติ ปลอดภัยและยั่งยืน เซลล์แสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า [6] โดยปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อการผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์คือความเข้มของแสงอาทิตย์ซึ่งจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ กล่าวคือเมื่อความเข้มของแสงสูง ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์สูงขึ้นตามไปด้วย และอุณหภูมิโดยรอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งยิ่งมีอุณหภูมิสูงขึ้นจะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง โดยแรงดันไฟฟ้าจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยเฉลี่ยแล้วทุก ๆ 1 องศาเซลเซียสที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าลดลงประมาณร้อยละ 0.5 เนื่องจากค่ากำลังไฟฟ้าเท่ากับผลคูณของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า ดังนั้นเมื่อแรงดันลดลงกำลังการผลิตไฟฟ้าที่ได้ก็จะลดลงตามไปด้วย [7]

ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิตไฟฟ้าเป็นกระแสตรงจึงต้องมี อินเวอร์เตอร์ทำหน้าที่แปลงพลังงานไฟฟ้าจากกระแสตรงเป็นกระแสสลับ [8] ซึ่งการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาได้ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา

3.กำลังไฟฟ้าสูญเสีย

กำลังไฟฟ้าสูญเสีย คือ พลังงานที่สูญเสียและเกิดขึ้นในสายส่งของในแต่ระบบ โดยที่ไม่ได้หายไปเพียงแต่เปลี่ยนสภาพจากพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานความร้อน การวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้าตกในการแบ่งส่วนของแบบจำลองตัวป้อน โหลดจะคำนวณโดยใช้กระแสที่กำหนดโดยสมมุติตัวประกอบกำลังไว้ล่วงหน้า การคำนวณใช้วิธีการแบ่งส่วนต่อส่วนโดยแรงดันตกคร่อมทั้งหมดหาจากผลรวมของแรงดันตกคร่อมทุกส่วน โดยที่ E_aคือ แรงดันไฟฟ้าต้นทาง E_bคือ แรงดันไฟฟ้าปลายทาง $Z_{ab}=R+jX$ คือ ส่วนของความต้านทาน I คือ กระแสที่ไหลผ่านโดยมีความสัมพันธ์กันดังนี้ [9] – [10]

$$E_a=E_b+Z_{ab}*I=E_b+\Delta V_{ab} \quad (1)$$

$$\Delta V_{ab}=(R+jX)(IR-jIX) \quad (2)$$

กระแสเฟสเซอร์ล่าช้ากว่าเฟสเซอร์ของแรงดันจึงแทน สมการ(2)ลงในสมการที่(1)จะได้ [11]

$$\Delta V_{ab}=R*IR+X*IX+j\left(X*IR-R*IX\right) \quad (3)$$

$$\left|\Delta V_{ab}\right|=R*IR+X*IX=\left|E_a\right|-\left|E_b\right| \quad (4)$$

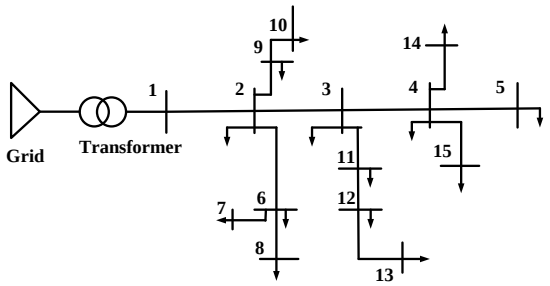
4.กรณีศึกษา

กรณีศึกษาการวิเคราะห์ปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าด้วยเทคนิคการเชื่อมต่อกับเซลล์แสงอาทิตย์ ทดสอบในแบบจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้า 15 บัส ซึ่งประกอบด้วย เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจำนวน 1 เครื่อง และ 14 โหลดทางไฟฟ้าโดยโหลดรวมของระบบอยู่ที่ 1,226.50 kW 1,251.14 kVar แรงดันไฟฟ้าฐาน คือ 11 kV โดยข้อมูล IEEE 15 บัส แสดงดังตารางที่ 1

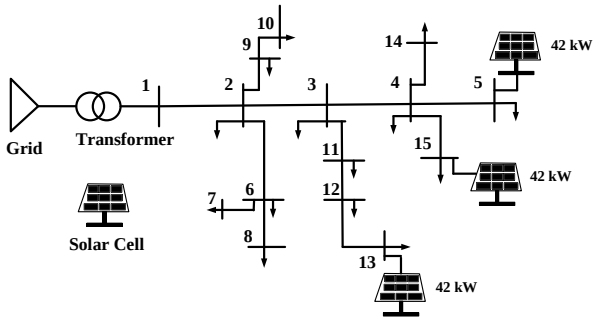
ตารางที่ 1 ข้อมูล IEEE 15 บัส

Branch Number	Send Bus	End Bus	P (kW)	Q (kVAr)
1	1	2	44.10	44.991
2	2	3	70.00	71.414
3	3	4	140.00	142.82
4	4	5	44.10	44.991
5	2	6	140.00	142.82
6	6	7	140.00	142.82
7	6	8	70.00	71.414
8	2	9	70.00	71.414
9	9	10	44.10	44.991
10	3	11	140.0	142.82
11	11	12	70.00	71.414
12	12	13	44.10	44.991
13	4	14	70.00	71.414
14	4	15	140.0	142.82

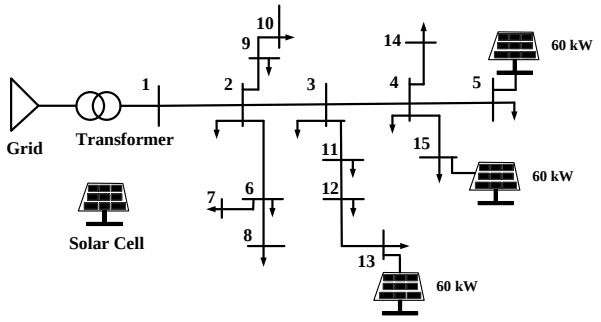
กรณีศึกษาจะแบ่งออกเป็น 3 กรณี กรณีที่ 1 ไม่มีการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า(กรณีฐาน) โดยกรณีที่ 1 จะแสดงดังรูปที่ 2 กรณีที่ 2 การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 60 kW ซึ่งในกรณีศึกษานี้จะทำการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ที่ร้อยละ 70 ของเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 60 kW จึงมีการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 42 kW ที่บัส 5 , 13 และ 15 โดยกรณีที่ 2 แสดงดังรูปที่ 3 และ กรณีที่ 3 การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 60 kW ซึ่งทำการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ที่ร้อยละ 100 ของเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 60 kW จึงมีการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 60 kW ที่บัส 5 , 13 และ 15 โดยกรณีที่ 3 แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 2 การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์กรณีที่ 1



รูปที่ 3 การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์กรณีที่ 2



รูปที่ 4 การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์กรณีที่ 3

5.สรุปวิจารณ์ผล

กรณีที่ 1 ไม่มีการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีที่ 2 การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 42 kW และ กรณีที่ 3 การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 60 kW จากการกรณีศึกษาทั้ง 3 กรณี ผลลัพธ์กำลังไฟฟ้าสูญเสียของทั้ง 3 กรณีได้ดังแสดงในตารางที่ 1 และผลลัพธ์แรงดันไฟฟ้าทั้ง 3 กรณี ดังแสดงในตารางที่ 3

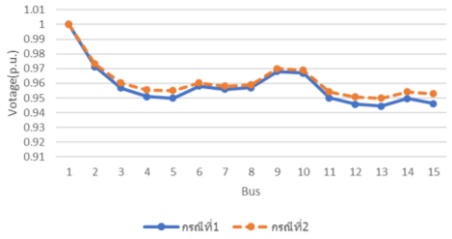
ตารางที่ 2 ผลลัพธ์กำลังไฟฟ้าสูญเสีย 3 กรณีศึกษา

กรณี	กำลังไฟฟ้าสูญเสีย		บัสที่แรงดันไฟฟ้าต่ำสุด	แรงดันไฟฟ้า (p.u.)
	P (kW)	Q (kVAr)		
1	62.0573	57.4948	13	0.945
2	53.4765	49.3602	13	0.950
3	50.4582	46.4686	13	0.952

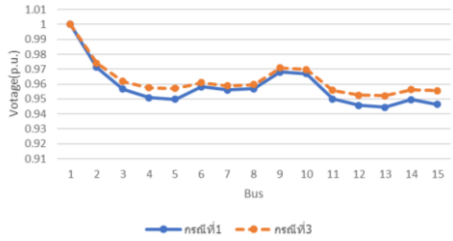
ตารางที่2 ผลลัพธ์แรงดันไฟฟ้า 3 กรณีศึกษา

บัส	แรงดันไฟฟ้า (p.u.)		
	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3
1	1.0000	1.0000	1.0000
2	0.9713	0.9733	0.9741
3	0.9567	0.9603	0.9619
4	0.9509	0.9555	0.9575
5	0.9499	0.9555	0.9571
6	0.9582	0.9602	0.9611
7	0.9560	0.9580	0.9589
8	0.9570	0.9590	0.9598
9	0.9680	0.9699	0.9708
10	0.9669	0.9689	0.9697
11	0.9500	0.9541	0.9559
12	0.9458	0.9507	0.9527
13	0.9445	0.9499	0.9522
14	0.9497	0.9543	0.9563
15	0.9463	0.9529	0.9556

กราฟแสดงการเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าสำหรับกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 5 และผลลัพธ์เปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าสำหรับกรณีที่ 1 และ 3 ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 5 ผลลัพธ์เปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าสำหรับกรณีที่ 1และ 2



รูปที่ 6 ผลลัพธ์เปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าสำหรับกรณีที่ 1 และ 3

6.สรุปผลการทดลอง

บทความนี้นำเสนอการปรับปรุงแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่าย โดยการเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์ ผลลัพธ์พบว่าแรงดันไฟฟ้าสูญเสียลดลง จากการทดลองในกรณีที่ 1 ที่ไม่มีการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับกรณีที่ 2 การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 42 kW พบว่าแรงดันบัสที่ 13 มีแรงดันเพิ่มขึ้น 0.0054 p.u. และการเปรียบเทียบกรณีที่ 1 ที่ไม่มีการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับกรณีที่ 3 การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 60 kW พบว่าแรงดันบัสที่ 13 มีแรงดันเพิ่มขึ้น 0.0077 p.u. จึงทำให้กรณีศึกษาที่ 3 เป็นกรณีศึกษาที่สามารถลดแรงดันไฟฟ้าสูญเสียได้ดีที่สุด

7.กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้การสนับสนุนและความช่วยเหลือให้บทความนี้สำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

[1] M. A. Mahmud, M. J. Hossain, H. R. Pota, and A. B. M. Nasiruzzaman, “Voltage control of distribution networks with distributed generation using reactive power compensation,” in *IECON 2011 - 37th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Melbourne, VIC, Australia, 2011.

[2] P. Kayal, Md. Abu Seena, and C. Kumar Chanda, “Optimal location, type and size selection technique of Distributed Generation based on economic index,” in *2013 International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability*, Nagercoil, India, 2013, pp. 989-994.

[3] N. Ruangsap, S. Nedphokaew, and N. Rugthaicharoencheep, “Planning and Operation Enhanced Voltage Profile by Using Distributed Generators Installation in Distribution System with Feeder Reconfiguration,” in *2022 International Conference on Power, Energy and Innovations (ICPEI)*, Pattaya Chonburi, Thailand, 2022.

[4] M. Boonthienthong, S. Woothipatanapan, N. Ruangsap, S. Nedphokaew, and N. Rugthaicharoencheep, “Power Loss Reduction by Installation Photovoltaic Distributed Generators with 50 Percent of The Load Requirement in Power Systems,” in *The 45th Electrical Engineering Conference (EECON-45)*, Nakhon Nayok, Thailand, 2022.

[5] Papon Ngamprasert, Nattachote Rugthaicharoencheep and Sakhon Woothipatanapan, “Application Improvement of Voltage Profile by Photovoltaic Farm on Distribution System,” 2019 International Conference on Power, Energy and Innovations (ICPEI), October 2019, pp. 98 – 101.

[6] N.Rugthaicharoencheep, T.Lantharthong, "Network Reconfiguration for Load Balancing in Distribution System with Distributde Generation and Capacitor Placement", World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Electrical and Computer Engineering, Vol.6, No.4, 2012.

[7] Papon Ngamprasert, Sakhon Woothipatanapan, Poonsri Wannakarn, Nattachote Rugthaicharoencheep, “Improvement for Voltage Sag with Photovoltaic Performance on Distribution System”, IEET - International Electrical Engineering Transactions, Vol. 6 No.1 (10) pp. 28-33, January 2020.

[8] P. Ngamprasert, P. Wannakarn, and N. Rugthaicharoencheep, “Enhance Power Loss in Distribution System Synergy Photovoltaic Power Plant,” in *2020 International Conference on Power, Energy and Innovations (ICPEI)*, Chiangmai, Thailand, 2020, pp. 173-176.

[9] R. J. Albuquerque, “Micro-PMU-based Voltage Drop Assessment for Improving Voltage Regulation in Primary Radial Distribution Feeders,” in *2021 IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT)*, Washington, DC, USA, 2021.

[10] F. R. Islam, A. Lallu, K. A. Mamun, K. Prakash, and N. K. Roy, “Power Quality Improvement of Distribution Network Using BESS and Capacitor Bank,” *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, vol. 9, pp. 625-632, May 2021.

[11] T. Fetouh, and A. M. Elsayed, “Optimal Control and Operation of Fully Automated Distribution Networks Using Improved Tunicate Swarm Intelligent Algorithm,” *IEEE Access*, vol. 8, July 2020.

ระบบคัดกรองผู้ป่วยเบื้องต้นควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

Patient Primary Screening System Using Microcontroller

กันยารัตน์ เอกเอี่ยม[1*] และ องอาจ ทับบุรี[2]

[1,2]สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 13180

[1] kanyarat@vru.ac.th [2]ongard.tub@vru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างระบบคัดกรองผู้ป่วยเบื้องต้นควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ บนฐานการหาระยะการวัดมากำหนดเป็นเงื่อนไขการวัดอุณหภูมิ หากอุณหภูมิที่วัดได้มีค่าเกิน 37.50°C ประตูไม้กั้นจะปิด พร้อมส่งข้อมูลและสัญญาณให้ทราบ แต่หากอุณหภูมิที่วัดได้มีค่าต่ำกว่า 37.50°C ประตูไม้กั้นจะเปิดขึ้นเพื่อเข้าสู่กระบวนการวัดส่วนสูงและชั่งน้ำหนัก จากนั้นจึงส่งข้อมูลที่วัดได้ผ่านระบบไร้สายไปแสดงผลทางหน้าจอแท็บเล็ต ผลการทดสอบยืนยันให้เห็นว่าการวัดอุณหภูมิร่างกายแบบไร้สัมผัสจะเกิดขึ้นในระยะการวัดน้อยกว่า 9 เซนติเมตร มีความผิดพลาดสัมพัทธ์น้อยกว่าร้อยละ 1.00 เมื่อเข้าสู่กระบวนการวัดส่วนสูงด้วยเซนเซอร์อัลตร้าโซนิกปล่อยคลื่นกระทบกับศรีษะผู้ที่ถูกวัด แล้วนำมาคำนวณค่าความสูง ยืนยันให้เห็นว่าความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับเครื่องวัดส่วนสูงมาตรฐานมีค่าไม่เกินร้อยละ 1.00 นอกจากนี้ผลการทดสอบชั่งน้ำหนักด้วยโหลดเซลล์ของอาสาสมัครจำนวน 10 คนมีความผิดพลาดสัมพัทธ์สูงสุด ร้อยละ 0.34

คำสำคัญ : เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ; เซนเซอร์อัลตราโซนิก; โหลดเซลล์
;

Abstract

This research aims to design a patient primary screening system, controlled by a microcontroller on the measurement distance search base and set as a temperature measurement condition. If the measured temperature exceeds 37.50°C, the barrier is closed and the information and signal are transmitted. But, if the temperature is below 37.50°C, the barrier opens to enter the measurement process for height and weight. The measured data is then transmitted to the tablet screen. Test results confirm that non-contact body temperature measurements occur in the measuring range of fewer than 9 cm, with a relative error of less than 1.00%. The height measurement process with an ultrasonic sensor is applied to the head to be measured and then used to calculate the height. Confirm that the deviation from the standard height meter does not exceed 1.00%. Also, the test results were measured with a load cell of 10 volunteers with a most relative fault of 0.34 %.

Keywords: Temperature sensor; Ultrasonic sensor; Load cell

1. บทนำ

การวัดส่วนสูง ชั่งน้ำหนัก และการวัดอุณหภูมิร่างกายเป็นหัตถการทางการแพทย์ที่มีความสำคัญตั้งแต่การเริ่มดูแลผู้ป่วยที่มาพบแพทย์ เนื่องจากเป็นวิธีการตรวจวัดสัญญาณชีพเบื้องต้น (Basic vital signs) วิธีหนึ่งที่มีการปฏิบัติมากที่สุดในสถานบริการด้านพยาบาลและสาธารณสุขต่างๆ เนื่องจากส่วนสูง และน้ำหนักของร่างกายสามารถใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์และประเมินการพัฒนาทางร่างกายตามช่วงวัยได้ อีกทั้งยังนำมาใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการประเมินความสมบูรณ์ของร่างกาย การประเมินความเสี่ยงต่อโรคต่างๆ ตลอดจนการคำนวณเพื่อให้ทราบปริมาณยาบางชนิดให้มีความเหมาะสมกับผู้ป่วยแต่ละราย [1] สำหรับค่าอุณหภูมิร่างกายซึ่งเป็นสิ่งที่แสดงให้ทราบถึงความสมดุลระหว่างความร้อนที่ร่างกายผลิตขึ้นกับความร้อนที่สูญเสียออกไปนั้นมีความสำคัญมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแผนกกุมารเวชกรรม ศัลยกรรม และแผนกฉุกเฉินทั่วไป สาเหตุเพราะเป็นค่าที่บ่งบอกให้ทราบได้ว่าผู้ป่วยมีอาการป่วยเป็นไข้หรือไม่ หรืออาจอยู่ในภาวะติดเชื้อ โดยเฉพาะผู้ป่วยที่มีอาการเจ็บป่วยเฉียบพลันซึ่งมีอุณหภูมิร่างกายสูงกว่า 37.5 องศาเซลเซียสขึ้นไป จะจัดว่าอยู่ในภาวะมีไข้ โดยแพทย์จะต้องหาสาเหตุและให้การรักษาให้ตรงกับอาการที่เกิดขึ้น

จากสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (Coronavirus disease 2019) หรือที่นิยมเรียกกันว่าเชื้อไวรัสโควิด-19 (COVID-19) ตั้งแต่เริ่มการระบาดในนครอู่ฮั่น สาธารณรัฐประชาชนจีน เมื่อเดือนธันวาคม พ.ศ.2562 เป็นต้นมาทำให้เกิดการระบาดไปหลายประเทศทั่วโลกอย่างรวดเร็ว [2] สาเหตุเพราะเชื้อไวรัสดังกล่าวสามารถติดต่อกันได้ง่ายจากคนสู่คนผ่านการสัมผัสละอองสารคัดหลั่งของร่างกาย (Droplet) เช่น น้ำมูก น้ำลาย เสมหะ และละอองฝอยจากการไอหรือจามของผู้ป่วย [3] รวมถึงการติดต่อผ่านการสัมผัส (Contact) ร่างกายผู้ป่วยหรือสิ่งของต่างๆ ที่มีเชื้อไวรัสปนเปื้อนอยู่ โดยผู้ป่วยที่ได้รับเชื้อเข้าสู่ร่างกายจะปรากฏอาการในระบบทางเดินหายใจ อาทิ มีไข้ ไอ มีน้ำมูก หายใจถี่ และหายใจลำบาก บางรายอาจมีอาการทางระบบอื่นร่วมด้วย อาทิ จมูกไม่ได้กลิ่น ลิ้นไม่รับรส มีผื่น ตาแดง และท้องเสีย เป็นต้น ในกรณีที่อาการรุนแรงมากอาจทำให้เกิดภาวะแทรกซ้อนอื่นๆ ร่วมด้วย อาทิ ปอดบวม ปอดอักเสบ ไตวาย และอาจถึงขั้นเสียชีวิตได้ กระทั่งเมื่อวันที่ 30 มกราคม พ.ศ.2563 องค์การอนามัยโลก (World health organization, WHO) ได้ประกาศให้โรคติดเชื้อไวรัสโควิด-19 เป็นภาวะฉุกเฉินทางสาธารณสุขระหว่างประเทศ (Public health emergency of international concern) พร้อมทั้งแนะนำทุกประเทศเร่งรัดการเฝ้าระวัง

สำหรับประเทศไทยโดยกรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุขได้กำหนดแนวทางการป้องกันและควบคุมโรคโดยใช้หลักการ 3 ล. คือ ลดสัมผัส เลี่ยงจุดเสี่ยง ดูแลสุขภาพตนเองและสังคม ประกอบกับมาตรการป้องกันตนเอง ซึ่งประกอบด้วย การสร้างภูมิคุ้มกันอย่างสม่ำเสมอ การเว้นระยะห่างทางสังคม การล้างมือให้สะอาดด้วยน้ำสบู่หรือเจลแอลกอฮอล์ล้างมือ รวมถึงการเฝ้าระวังตนเอง [4] อย่างไรก็ตามการวัดส่วนสูง ชั่งน้ำหนัก ตลอดจนการวัดอุณหภูมิร่างกายของผู้ป่วยในสถานบริการด้านพยาบาลและสาธารณสุขต่างๆ ในปัจจุบันยังจำเป็นต้องใช้บริการจากบุคลากรทางการแพทย์อย่างน้อยหนึ่งคนเพื่อทำหน้าที่ตรวจวัดและบันทึกผลการวัดที่ได้จากผู้ป่วยซึ่งจะต้องอยู่ในระยะสัมผัสใกล้ชิด (Close contact) กับผู้ป่วยที่ระยะห่างน้อยกว่า 1 เมตร ลักษณะดังกล่าวส่งผลให้ผู้ให้บริการทางการแพทย์ตกอยู่ในภาวะเสี่ยงที่จะได้รับเชื้อไวรัส เพราะไม่สามารถปฏิบัติตนตามมาตรการเว้นระยะห่างทางสังคมกับผู้ป่วยได้

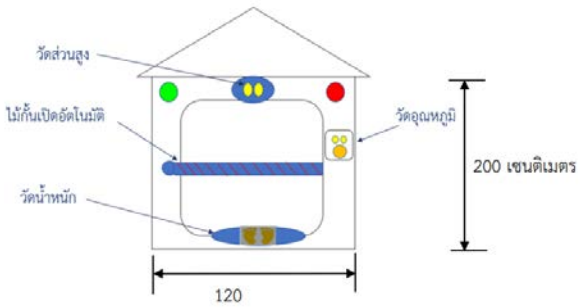
ปัจจุบันในสายงานระบบควบคุม (Control systems) ทางด้านวิศวกรรม พบว่าอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และการเขียนคำสั่งเพื่อใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รับการพัฒนาให้สามารถใช้งานได้ง่ายและสะดวกมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับบอร์ดอาร์ดุยโน่ (Arduino) ซึ่งเป็นบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ตระกูลเอวีอาร์ (AVR) ที่พัฒนาขึ้นแบบเปิดเผยข้อมูล (Open source) ทั้งด้านฮาร์แวร์และซอร์ฟแวร์ รวมถึงอุปกรณ์ต่อพ่วงและเซนเซอร์ต่างๆ ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้ได้รับการนำมาประยุกต์ใช้สร้างเป็นระบบหรืออุปกรณ์เพื่อตรวจวัดค่าต่างๆ ของร่างกายเป็นจำนวนมาก เช่น การวัดส่วนสูงของร่างกายโดยใช้เซนเซอร์อัลตร้าโซนิค [5] ด้วยการใช้เซนเซอร์อัลตร้าโซนิคทำหน้าที่ปล่อยคลื่นเสียงความถี่สูงออกไปกระทบจุดที่การวัดระยะความสูงแล้วนำค่าระยะเวลาที่คลื่นเสียงความถี่สูงใช้ในการเดินทางไป-กลับส่งให้บอร์ดอาร์ดุยโน่เพื่อคำนวณเป็นค่าส่วนสูงที่ได้ส่งไปแสดงผลผ่านหน้าจอแอลซีดี (LCD screen) สำหรับการชั่งน้ำหนักของร่างกายด้วยระบบดิจิทัลในปัจจุบันนิยมใช้โหลดเซลล์ (Load cell) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนค่าความเครียดทางกลที่เกิดจากน้ำหนักของวัตถุที่กดทับอยู่ให้เป็นความต้านทานไฟฟ้า ดังนั้นเมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงผ่านความต้านทานดังกล่าวจะทำให้ได้รับค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่แปรเปลี่ยนไปตามน้ำหนักที่กดทับอยู่ โดยสามารถส่งค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงดังกล่าวให้กับบอร์ดอาร์ดุยโน่เพื่อคำนวณเป็นค่าน้ำหนักที่ได้ส่งไปแสดงผลผ่านหน้าจอแสดงผลต่อไป [6], [7] และที่ได้รับความนิยมอย่างยิ่งในช่วงที่เกิดการระบาดของเชื้อไวรัสโควิด-19 ซึ่งผู้ป่วยส่วนใหญ่ร้อยละ 80.90 จะแสดงอาการไข้สูงกว่า 37.50 องศาเซียลเซียล ส่งผลให้เซนเซอร์วัดอุณหภูมิได้รับการนำมาใช้เพื่อสร้างเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดอุณร่างกายแบบไร้สัมผัสเป็นจำนวนมาก ด้วยการนำเซนเซอร์วัดอุณหภูมิชนิดอินฟราเรด (Infrared temperature sensor) ทำหน้าที่รับรังสีอินฟราเรดที่แผ่ออกจากวัตถุเป้าหมายแล้วแปลงเป็นคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงส่งให้กับบอร์ดอาร์ดุยโน่ เพื่อประมวลผลเป็นค่าอุณหภูมิแล้วส่งไปแสดงผลผ่านหน้าจอแสดงผลต่อไป

จากสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโควิด-19 ประกอบกับแนวทางการป้องกันและมาตรการควบคุมโรคของกระทรวงสาธารณสุข รวมถึงผลการศึกษาเกี่ยวกับการนำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และการเขียนคำสั่งเพื่อใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อนำมาสร้างเป็นระบบหรืออุปกรณ์เพื่อตรวจวัดค่าต่างๆ ของร่างกาย คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะออกแบบและสร้างระบบคัดกรองผู้ป่วยเบื้องต้นควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยการสร้างเป็นตู้ทรงสี่เหลี่ยมที่มีไม้กั้นเปิด-ปิดทางเข้าจากการตรวจสอบค่าอุณหภูมิร่างกายของผู้ป่วยด้วยเซนเซอร์วัดอุณหภูมิแบบไร้สัมผัสชนิดอินฟราเรด ทั้งนี้หากผู้ป่วยที่มีอุณหภูมิร่างกายไม่สูงเกินกว่าค่าที่กำหนด ไม้กั้นจะเปิดขึ้นให้ผู้ป่วยสามารถเข้าไปยืนภายตู้เพื่อทำการวัดส่วนสูงและชั่งน้ำหนักโดยการใช้เซนเซอร์อัลตร้าโซนิกและโหลดเซลล์ตามลำดับ พร้อมทั้งส่งข้อมูลทั้งหมดที่วัดได้จากผู้ป่วยไปแสดงผลทางหน้าจอแท็บเล็ต (Tablet) ของผู้ให้บริการทางการแพทย์ผ่านระบบไร้สาย จากลักษณะการทำงานของระบบที่นำเสนอจะสามารถช่วยให้ผู้ให้บริการทางการแพทย์ได้รับค่าอุณหภูมิร่างกาย ส่วนสูง และน้ำหนักของผู้ป่วยโดยที่ยังคงปฏิบัติตนตามมาตรการเว้นระยะห่างทางสังคมกับผู้ป่วยได้ อีกทั้งยังช่วยลดความเสี่ยงที่ผู้ป่วยที่มีไข้ซึ่งเป็นลักษณะอาการสำคัญของผู้ที่อาจได้รับเชื้อไวรัสโควิด-19 มาแล้วเข้ามาปะปนกับบุคลากรทางการแพทย์รวมถึงผู้ป่วยคนอื่นๆ ด้วย

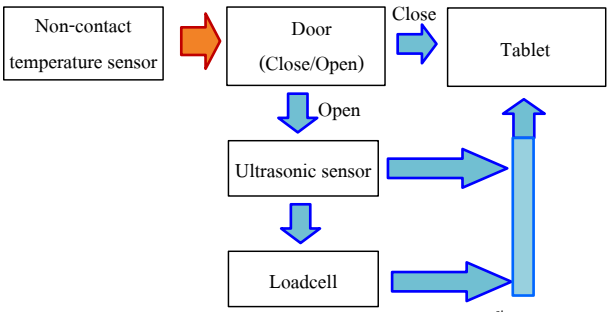
2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 การออกแบบลักษณะและโครงสร้างของอุปกรณ์

ลักษณะภายนอกของระบบคัดกรองผู้ป่วยเบื้องต้นควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ในงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยได้ออกแบบเป็นตู้ทรงสี่เหลี่ยมกว้าง 1.20 เมตร ยาว 1.20 เมตร และสูง 2.0 เมตร ที่มีทางเข้าและทางออกสำหรับผู้ป่วยที่เข้ารับบริการดังแสดงในรูปที่ 1 โดยมีโครงสร้างที่ประกอบมาจากเหล็กกล่องขนาด 1x1 นิ้ว หนา 1.2 มิลลิเมตร และผนังเป็นแผ่นพลาสติกอะไครโลไนไตรบิวตะไดอีนสไตรีน (Acrylonitrile butadiene styrene) หรือที่นิยมเรียกชื่อแบบย่อว่าแผ่นพลาสติกเอบีเอส (ABS Sheet) ซึ่งเป็นวัสดุมีความทนทานสูง สามารถรับแรงกระแทกได้ดี มีความมันเงา ตลอดจนตัดแต่งและขึ้นรูปด้วยความร้อนได้ง่าย ซึ่งนิยมใช้ทำส่วนประกอบเครื่องใช้ไฟฟ้า ผนังด้านในตู้เย็น และอุตสาหกรรมประกอบยานยนต์ พร้อมทั้งติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดและควบคุมการทำงานทั้งหมดอยู่ภายในตู้ดังกล่าว โดยมีการออกแบบและติดตั้งในตำแหน่งที่มีความสอดคล้องกับขั้นตอนการตรวจวัดสัญญาณชีพเบื้องต้นของผู้ป่วยที่เข้ารับบริการในสถานบริการด้านพยาบาลและสาธารณสุขต่างๆ ดังแสดงแผนผังการทำงานในรูปที่ 2 กล่าวคือ ผู้ป่วยที่มาติดต่อเข้ารับบริการทางการแพทย์จะต้องได้รับการวัดอุณหภูมิร่างกายด้วยเซนเซอร์วัดอุณหภูมิแบบไร้สัมผัสก่อน ทั้งนี้หากอุณหภูมิร่างกายที่วัดได้มีค่าเกิน 37.50 องศาเซลเซียส ประตูไม้กั้นจะปิดไม่ให้ผู้ป่วยเข้าไปในสถานที่ให้บริการพร้อมกับมีการส่งข้อมูลและสัญญาณให้เจ้าหน้าที่ให้บริการได้ทราบ แต่หากอุณหภูมิที่วัดได้มีค่าต่ำกว่า 37.50 องศาเซลเซียส ประตูไม้กั้นจะเปิดขึ้นเพื่อให้ผู้ป่วยเข้าไปยืนภายในตู้เพื่อเข้าสู่กระบวนการวัดส่วนสูงและชั่งน้ำหนักด้วยเซนเซอร์อัลตร้าโซนิกและโหลดเซลล์ตามลำดับ จากนั้นจึงส่งข้อมูลทั้งหมดที่วัดได้จากผู้ป่วยผ่านระบบไร้สายไปแสดงผลทางหน้าจอแท็บเล็ต



รูปที่ 1 ลักษณะภายนอกของระบบคัดกรองผู้ป่วยเบื้องต้น



รูปที่ 2 แผนผังการทำงานของระบบคัดกรองผู้ป่วยเบื้องต้น

2.2 ระบบตรวจวัดอุณหภูมิร่างกายเพื่อการคัดกรองผู้ป่วยที่มีไข้

การออกแบบและสร้างระบบตรวจวัดอุณหภูมิร่างกายเพื่อการคัดกรองผู้ป่วยที่มีไข้ ผู้วิจัยเลือกใช้เซนเซอร์วัดอุณหภูมิแบบไร้สัมผัสชนิดอินฟราเรด รุ่น GY-906 MLX90614ESF – BCC ส่งข้อมูลผ่านการสื่อสารอนุกรมแบบ I2C ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการประมวลผลอุณหภูมิที่ได้รับมาจากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิแบบไร้สัมผัสแล้วจะส่งข้อมูลอุณหภูมิที่ได้ไปแสดงผ่านทางหน้าจอแท็บเล็ต หากอุณหภูมิร่างกายที่วัดได้มีค่าเกิน 37.50 องศาเซลเซียส ประตูไม้กั้นจะปิดไม่ให้ผู้ป่วยเข้าไปในสถานที่ให้บริการพร้อมกับมีการส่งข้อมูลและสัญญาณให้เจ้าหน้าที่ให้บริการได้ทราบ แต่หากอุณหภูมิที่วัดได้มีค่าต่ำกว่า 37.50 องศาเซลเซียส ประตูไม้กั้นจะเปิดขึ้นเพื่อให้ผู้ป่วยเข้าไปยืนภายในตู้เพื่อเข้าสู่กระบวนการถัดไป

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิแบบไร้สัมผัสที่เลือกใช้ สามารถวัดอุณหภูมิที่เป้าหมายแบบไร้การสัมผัสที่ -70 ถึง 380 องศาเซลเซียส ที่ความแม่นยำ 0.5 องศาเซลเซียส และระยะการวัดไม่เกิน 10 เซนติเมตร ด้วยข้อจำกัดของระยะการวัดอุณหภูมิแบบไร้สัมผัสรุ่นดังกล่าว จึงต้องนำเซนเซอร์อัลตร้าโซนิคมากำหนดเงื่อนไขของการวัดอุณหภูมิร่างกายให้อยู่ภายในระยะที่กำหนดไว้ แล้วจึงมาควบคุมการทำงานของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิแบบไร้สัมผัส

2.3 การหาระยะวัดอุณหภูมิที่ส่งผลต่อความผิดพลาด

การหาระยะวัดอุณหภูมิที่ส่งผลต่อความผิดพลาด ภายใต้เงื่อนไขการวัดค่าอุณหภูมิของร่างกายมนุษย์ กรณีสภาวะปกติ อุณหภูมิร่างกายอยู่ในช่วง 36.0 – 37.4 องศาเซลเซียล กรณีสภาวะมีไข้ อุณหภูมิร่างกายอยู่ในช่วง 37.5 – 42.0 องศาเซลเซียล จึงได้ทำการทดสอบเซนเซอร์วัดอุณหภูมิแบบไร้สัมผัสรุ่น GY-906 MLX90614ESF–BCC ที่ระยะตั้งแต่ 1 ถึง 10 เซนติเมตร ที่สภาวะปกติ ระดับอุณหภูมิ 37.0 องศาเซลเซียล และสภาวะมีไข้ ระดับอุณหภูมิ 38.2 องศาเซลเซียลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การทดสอบหาระยะการวัดอุณหภูมิภายใต้เงื่อนไขความแม่นยำของเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ

ระยะ (cm)	ผลการวัดของเครื่อง Microlife รุ่น FR1MF1 (°C)	ผลการวัดของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิแบบไร้สัมผัสที่เลือกใช้ (°C)						ความผิดพลาดสัมพัทธ์ (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย	
การทดสอบภายใต้สภาวะอุณหภูมิปกติ								
1	36.9	36.5	36.2	36.7	36.8	36.5	36.5	0.98
2	37.0	36.7	36.8	36.6	36.5	36.6	36.6	0.97
3	37.0	36.8	36.5	36.9	36.3	37.0	36.7	0.81
4	36.9	36.7	36.4	36.6	36.7	36.5	36.6	0.87
5	36.8	36.5	36.4	36.3	36.7	36.6	36.5	0.82
6	37.1	36.8	36.9	36.7	36.8	36.7	36.8	0.86
7	37.1	36.6	36.9	36.7	36.8	37.0	36.8	0.81
8	37.0	36.8	36.7	36.5	36.7	36.9	36.7	0.76
9	36.9	36.7	36.6	36.5	36.7	36.7	36.6	0.70
10	37.0	36.2	36.9	36.5	36.1	36.7	36.5	1.41
การทดสอบภายใต้สภาวะอุณหภูมิมีไข้								
1	38.0	37.7	37.8	37.7	37.6	37.7	37.7	0.79
2	38.2	37.9	37.9	37.9	37.9	38.1	37.9	0.68
3	38.3	38.2	38	38.2	37.9	38.1	38.1	0.57
4	38.0	37.8	37.7	37.9	37.9	37.6	37.8	0.58
5	38.1	37.8	37.9	37.8	38	37.9	37.9	0.58
6	38.2	37.9	38	37.6	38.1	38.1	37.9	0.68
7	38.2	37.9	38.1	38	37.8	37.9	37.9	0.68
8	38.3	38	38	37.9	37.9	38.1	38.0	0.84
9	38.1	38	37.7	37.9	37.8	37.6	37.8	0.79
10	38.3	37.8	37.9	38	38.2	37.6	37.9	1.04

จากตารางที่ 1 แสดงผลทดสอบการวัดอุณหภูมิของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิแบบไร้สัมผัสรุ่น GY-906 MLX90614ESF–BCC ที่ระยะตั้งแต่ 1 ถึง 10 เซนติเมตร เทียบกับผลการวัดจากเครื่องวัดอุณหภูมิที่ผ่านการทดสอบจากกองวิศวกรรมการแพทย์ Microlife รุ่น FR1MF1 โดยการทดสอบแสดงให้เห็นว่าผลการวัดอุณหภูมิทั้งหมดมีความผิดพลาดสัมพัทธ์ค่อนข้างต่ำ แต่หากพิจารณาถึงผลการวัดอุณหภูมิที่มีความผิดพลาดสัมพัทธ์ที่ต่ำกว่าร้อยละ 1 พบว่าจะเกิดขึ้นที่ระยะของการวัดที่ระยะไม่เกิน 9 เซนติเมตร

2.4 ระบบวัดส่วนสูงและชั่งน้ำหนัก

การออกแบบและสร้างระบบวัดส่วนสูง ผู้วิจัยเลือกใช้เซนเซอร์อัลตร้าโซนิค เป็นโมดูลสำหรับวัดระยะทางตั้งแต่ 2 - 400 เซนติเมตร โดยไม่ต้องมีการสัมผัสกับตำแหน่งที่ต้องการวัด อาศัยหลักการของการสะท้อนคลื่นอัลตร้าโซนิค ในการตรวจจับวัตถุต่าง ๆ เซนเซอร์อัลตร้าโซนิคนั้นจำเป็นต้องอาศัยตัวกลางในการเดินทาง เช่น อากาศ แก๊ส หรือของเหลว จึงทำให้เซนเซอร์อัลตร้าโซนิคสามารถใช้งานตรวจจับวัตถุได้หลากหลายชนิด โดยการคำนวณหาระยะของคลื่นอัลตร้าโซนิคจะเป็นไปตามสูตรการหาอัตราเร็วของคลื่นเสียงในอากาศ และสูตรการเคลื่อนที่แนวราบดังนี้

การหาอัตราเร็วของคลื่นเสียงในอากาศ โดยนำค่าอุณหภูมิที่ได้จากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิแทนค่าลงในสมการอัตราเร็วของคลื่นเสียงในอากาศที่เปลี่ยนตามอุณหภูมิดังสมการที่ (1)

$$v = 311.4 + 0.606T \quad (1)$$

จากนั้นนำค่าอัตราเร็วของคลื่นเสียงในอากาศที่ได้จากสมการที่ (1) มาแทนค่าลงในสมการที่ (2) เพื่อหาระยะทางระหว่างเซนเซอร์ถึงวัตถุ อาศัยสูตรการเคลื่อนที่แนวราบ

$$S = \frac{vt}{2\times10^{6}} \quad (2)$$

เมื่อ v คือ อัตราเร็วของคลื่นเสียงในอากาศ มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที

T คือ อุณหภูมิ มีหน่วยเป็น องศาเซลเซียล

S คือ ระยะทาง มีหน่วยเป็น เซนติเมตร

t คือ เวลา มีหน่วยเป็น ไมโครวินาที

ดังนั้นการคำนวณหาความสูงของระบบคัดกรองผู้ป่วยเบื้องต้น ทำได้โดยวางเซนเซอร์อัลตร้าโซนิคให้สูงจากพื้นแท่นชั่งน้ำหนัก เป็นระยะ 200 เซนติเมตร กำหนดเป็นตัวแปรคงที่ในสมการ จากนั้นเซนเซอร์อัลตร้าโซนิคจะวัดระยะห่างระหว่างเซนเซอร์ถึงศีรษะกำหนดให้เป็นระยะ (S) แล้วนำมาลบออกด้วย 200 เซนติเมตร เมื่อ H คือความสูงที่วัดได้ จะได้ดังสมการที่ (3)

$$H = 200 - S \quad (3)$$

การออกแบบและสร้างระบบชั่งน้ำหนัก ผู้วิจัยเลือกใช้โหลดเซลล์ (Load cell) โดยเซนเซอร์ชั่งน้ำหนักแบบโหลดเซลล์ รับน้ำหนักได้ช่วง 0 ถึง 500 กิโลกรัมร่วมกับโมดูลขยายสัญญาณ HX711 Weight Sensor เพื่อส่งผ่านข้อมูลไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการประมวลผลและแสดงผลผ่านหน้าจอแท็บเล็ตของผู้ดูแลระบบ

2.5 ตัวประมวลผล

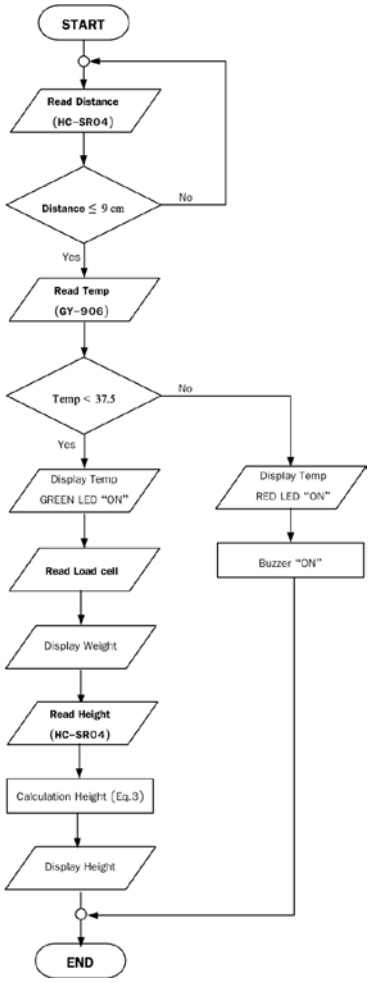
ตัวประมวลผลที่ใช้ควบคุมการทำงานของระบบคัดกรองผู้ป่วยเบื้องต้นควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ในงานวิจัยนี้ เลือกใช้บอร์ดอาดูโน เป็นตัวประมวลผลและสั่งงาน สามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ทั้งแบบดิจิตอลและแบบแอนะล็อก สามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ได้โดยตรงผ่านสายยูเอสบี จะทำการประมวลผลด้วยการเขียนคำสั่งผ่านโปรแกรม มีจุดเด่น คือมีการพัฒนาแบบเปิดเผยข้อมูลทั้งด้านฮาร์ดแวร์และซอฟแวร์ และที่สำคัญวงจรมีขนาดเล็ก ราคาไม่แพง เพื่อรับข้อมูลอินพุตจากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิแบบไร้สัมผัสชนิดอินฟราเรด (GY-906 MLX90614ESF – BCC) มาประมวลผลเป็นค่าอุณหภูมิที่วัดได้ เซนเซอร์อัลตร้าโซนิค (HC-SR04) มาประมวลผลเป็นค่าส่วนสูงที่วัดได้ เซนเซอร์ชั่งน้ำหนักแบบโหลดเซลล์มาประมวลผลเป็นค่าน้ำหนัก ระบบการทำงานของบอร์ดอาดูโนจะส่งเอาต์พุตจากพอร์ต 12 และพอร์ต 13 ไปเข้าพอร์ต D2 และพอร์ต D3 ของโหนดเอ็มซียู อีเอสพี 8266 โดยที่โหนดเอ็มซียู ส่งข้อมูลไปแสดงผลทางหน้าจอแท็บเล็ต

2.6 การแสดงผล

ผู้ป่วยที่มาติดต่อเข้ารับบริการทางการแพทย์จะต้องได้รับการวัดอุณหภูมิร่างกายด้วยเซนเซอร์วัดอุณหภูมิแบบไร้สัมผัสก่อน ดังนั้นอุณหภูมิร่างกายที่วัดได้มีค่าเกิน 37.50 องศาเซลเซียส จะใช้สัญญาณเสียงจากลำโพงบัซเซอร์ โดยต่อรับสัญญาณควบคุมการทำงานจากพอร์ตดิจิตอล 10 (PD10) ของบอร์ดอาดูโน และสัญญาณไฟสีแดงสว่างขึ้น พร้อมทั้งประตูไม้กั้นจะปิด เพื่อไม่ให้ผู้ป่วยเข้าไปในสถานที่ให้บริการ พร้อมกับมีการส่งข้อมูลและสัญญาณให้เจ้าหน้าที่ให้บริการได้ทราบ แต่หากอุณหภูมิที่วัดได้มีค่าต่ำกว่า 37.50 องศาเซลเซียส มีสัญญาณไฟสีเขียวสว่างขึ้น ประตูไม้กั้นจะเปิดขึ้นเพื่อให้ผู้ป่วยเข้าไปยืนภายในตู้เพื่อเข้าสู่กระบวนการวัดส่วนสูงและชั่งน้ำหนักด้วยเซนเซอร์อัลตร้าโซนิคและโหลดเซลล์ตามลำดับ จากนั้นจึงส่งข้อมูลทั้งหมดที่วัดได้จากผู้ป่วยผ่านระบบไร้สายไปแสดงผลทางหน้าจอแท็บเล็ต

2.7 การออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงาน

แผนผังการออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบคัดกรองผู้ป่วยเบื้องต้นควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์แสดงใน รูปที่ 3 เริ่มจากการวัดอุณหภูมิหากร่างกายส่วนที่ต้องการวัดอุณหภูมิอยู่ในระยะห่างที่กำหนด เซนเซอร์วัดอุณหภูมิแบบไร้สัมผัสที่เลือกใช้จะทำการวัดอุณหภูมิ แล้วนำมาเปรียบเทียบกับตัวเลข 37.5 หากอุณหภูมิที่วัดได้สูงกว่า 37.50 องศาเซลเซียส จะแสดงผลทางหน้าจอแท็บเล็ตและสัญญาณไฟสีแดงจะสว่างขึ้น พร้อมทั้งประตูไม้กั้นจะปิดและสัญญาณเสียงจากลำโพงบัซเซอร์จะดังขึ้น ถ้าอุณหภูมิที่วัดได้ต่ำกว่า 37.50 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3 ผังการทำงานของโปรแกรมที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้น

แสดงผลทางหน้าจอแท็บเล็ตสัญญาณไฟสีเขียวจะสว่างขึ้น พร้อมทั้งประตูไม้กั้นจะเปิด เพื่อเข้าสู่กระบวนการชั่งน้ำหนักและวัดส่วนสูง เริ่มจากระบบรับค่าน้ำหนักโดยใช้โหลดเซลล์ และส่งค่าน้ำหนักที่ได้ไปแสดงผลน้ำหนักทางหน้าจอแท็บเล็ต ระบบวัดส่วนสูง โดยใช้เซนเซอร์อัลตร้าโซนิคปล่อยคลื่นอัลตร้าโซนิคออกไปกระทบกับศีรษะผู้ที่ต้องการวัด จะได้ระยะห่างระหว่างเซนเซอร์ถึงศีรษะแล้วนำระยะห่างที่ได้มาคำนวณค่าส่วนสูงที่ได้ตามสมการ (3) และแสดงผลความสูงทางหน้าจอแท็บเล็ต

3. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

การยืนยันความเป็นไปได้และความน่าเชื่อถือของระบบคัดกรองผู้ป่วยเบื้องต้นควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ออกแบบและสร้างขึ้น ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบดังต่อไปนี้

3.1 ผลการตรวจวัดอุณหภูมิร่างกายแบบไร้สัมผัส

การทดสอบวัดอุณหภูมิแบบไร้สัมผัสจากน้ำที่ถูกให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิสูงขึ้นเท่ากับ 36.50 องศาเซลเซียส และให้ความร้อนจนอุณหภูมิของน้ำเพิ่มขึ้นทีละ 1 องศาเซลเซียส จนมีความร้อนอยู่ที่ 40.50 องศาเซลเซียส โดยช่วงระยะห่างของการวัดตั้งแต่ 7 - 11 เซนติเมตร เทียบกับผลการวัดจากเครื่องวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัสที่ผ่านการทดสอบจากกองวิศวกรรมการแพทย์ Microlife รุ่น FR1MF1 ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การทดสอบวัดอุณหภูมิในระยะการวัดต่าง ๆ

ครั้งที่	ผลการวัดของเครื่อง (°C)	ผลการวัดของเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัสที่เลือกใช้ (°C) ในระยะการวัดต่าง ๆ						ความผิดพลาดสัมพัทธ์ (%)
		7 cm	8 cm	9 cm	10 cm	11 cm	ค่าเฉลี่ย	
1	36.5	36.4	36.3	36.3	-	-	36.3	0.46
2	37.6	37.5	37.4	37.6	-	-	37.5	0.27
3	38.7	38.5	38.6	38.6	-	-	38.6	0.34
4	39.4	39.2	39.3	39.3	-	-	39.3	0.34
5	40.5	40.4	40.3	40.4	-	-	40.4	0.33

จากตารางที่ 2 เป็นผลการทดสอบวัดอุณหภูมิจากของน้ำที่ถูกให้ความร้อนในระยะการวัดต่าง ๆ พบว่าระบบตรวจวัดอุณหภูมิร่างกายที่ออกแบบและสร้างขึ้น เมื่อมีระยะห่างของการวัดมากกว่า 9 เซนติเมตร ไม่สามารถวัดค่าอุณหภูมิได้ หากระยะห่างของการวัดอยู่ในขอบเขตไม่เกิน 9 เซนติเมตร สามารถวัดอุณหภูมิได้ โดยมีความผิดพลาดสัมพัทธ์น้อยกว่าร้อยละ 1.00 เมื่อเทียบกับผลการวัดจากเครื่องวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัสที่ผ่านการทดสอบจากกองวิศวกรรมการแพทย์

ตารางที่ 3 ผลการวัดอุณหภูมิร่างกายของอาสาสมัครจำนวน 10 คน

คนที่	ผลการวัดของเครื่อง (°C)	ผลการวัดของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัสที่เลือกใช้ (°C)						ความผิดพลาดสัมพัทธ์ (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย	
1	37.2	37.2	37.1	37.2	37.0	37.0	37.1	0.26
2	36.3	36.3	36.2	36.0	36.1	36.2	36.2	0.39
3	36.5	36.5	36.3	36.2	36.4	36.4	36.4	0.39
4	37.3	37.2	37.0	37.1	37.0	37.3	37.1	0.48
5	36.4	36.3	36.4	36.3	36.2	36.2	36.3	0.33
6	36.7	36.7	36.5	36.6	36.4	36.6	36.6	0.44
7	36.5	36.4	36.4	36.5	36.3	36.3	36.4	0.33
8	36.8	36.8	36.6	36.5	36.7	36.5	36.6	0.49
9	37.1	37.0	37.1	36.9	36.9	36.8	36.9	0.43
10	36.9	36.8	36.7	36.7	36.8	36.6	36.7	0.49

จากตารางที่ 3 เป็นผลการวัดอุณหภูมิร่างกายของอาสาสมัครจำนวน 10 คน แต่ละคนจะถูกวัดอุณหภูมิจำนวน 5 ครั้ง และเว้นช่วงเวลาวัด 5 วินาที เปรียบเทียบกับครื่องวัดอุณหภูมิที่ผ่านการทดสอบจากกองวิศวกรรมการแพทย์ พบว่าผลการวัดที่มีความผิดพลาดสัมพัทธ์สูงสุดร้อยละ 0.49 ซึ่งน้อยกว่าร้อยละ 1

3.2 ผลการวัดส่วนสูงและชั่งน้ำหนัก

การทดสอบการทำงานของระบบวัดส่วนสูงและชั่งน้ำหนักของอาสาสมัครจำนวน 10 คน แต่ละคนจะถูกทดสอบจำนวน 5 ครั้ง เว้นช่วงเวลา 5 วินาที และเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน (ตลับเมตรและเครื่องชั่งน้ำหนัก) ดังตารางที่ 4 และ 5

ตารางที่ 4 การทดสอบการทำงานของระบบชั่งน้ำหนักของอาสาสมัคร

คนที่	น้ำหนัก (kg)	ผลการของการชั่งน้ำหนัก (kg)						ความผิดพลาดสัมพัทธ์ (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย	
1	71.2	70.9	70.8	71.0	71.1	71.2	71.0	0.28
2	76.6	76.5	76.4	76.3	76.4	76.6	76.4	0.21
3	90.3	90.1	89.9	90.2	89.8	90.0	90.0	0.33
4	89.4	89.0	89.1	89.3	89.2	89.2	89.2	0.27
5	50.4	50.4	50.1	50.2	50.3	50.2	50.2	0.32
6	60.3	60.2	60.3	60.1	60.2	60.0	60.2	0.23
7	80.7	80.5	80.4	80.6	80.7	80.5	80.5	0.20
8	85.6	85.5	85.6	85.3	85.2	85.3	85.4	0.26
9	80.4	80.2	80.1	80.0	80.3	80.3	80.2	0.27
10	53.5	53.4	53.3	53.3	53.2	53.4	53.3	0.34

ตารางที่ 5 การทดสอบการทำงานของระบบวัดส่วนสูงของอาสาสมัคร

คนที่	ส่วนสูง (cm)	ผลการของวัดส่วนสูง (cm)						ความผิดพลาดสัมพัทธ์ (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย	
1	180.2	180.1	179.9	179.8	180	180.1	179.98	0.12
2	169.8	169.5	169.7	169.4	169.4	169.6	169.52	0.16
3	172.5	172.3	171.8	172.1	172.4	172	172.12	0.22
4	155.4	155.3	155.1	154.9	154.8	155	155.02	0.24
5	163.8	163	163.4	163.2	163.7	163.5	163.36	0.27
6	170.5	170.5	170	170.2	170.1	170.3	170.22	0.16
7	149.7	149.5	149.3	149.6	149.3	149.2	149.38	0.21
8	177.8	177.3	177.5	177.4	177.6	177.7	177.5	0.17
9	180.1	179.8	179.7	179.5	179	179.9	179.58	0.29
10	158.7	158.2	158.5	158.3	158.3	158.4	158.34	0.23

จากตารางที่ 4 เป็นผลการทดสอบการทำงานของระบบชั่งน้ำหนักและตารางที่ 5 เป็นผลการทดสอบการทำงานของระบบวัดส่วนสูงของอาสาสมัครจำนวน 10 คน เปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน พบว่าผลการวัดของระบบชั่งน้ำหนักมีความผิดพลาดสัมพัทธ์สูงสุดเท่ากับร้อยละ 0.34 และผลการวัดของระบบวัดส่วนสูงมีความผิดพลาดสัมพัทธ์สูงสุดเท่ากับร้อยละ 0.29 ซึ่งจะเห็นได้ว่าความผิดพลาดสัมพัทธ์น้อยกว่าร้อยละ 1.00

4. สรุปผลการวิจัย

การศึกษาและการวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างระบบคัดกรองผู้ป่วยเบื้องต้นควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ สามารถแสดงผลผ่านหน้าจอแท็บเล็ต ประกอบด้วยอุณหภูมิร่างกาย น้ำหนัก และส่วนสูง ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าระบบวัดอุณหภูมิร่างกายแบบไร้สัมผัสสามารถวัดอุณหภูมิร่างกายระยะห่างไม่เกิน 9 เซนติเมตร ทำให้ความผิดพลาดสัมพัทธ์จากการวัดมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 1.00 นอกจากนี้จากผลการทดลองใช้กับอาสาสมัครจำนวน 10 คน พบว่าอุณหภูมิของอาสาสมัครที่วัดได้มีความผิดพลาดสัมพัทธ์ต่ำกว่าร้อยละ 1.00 ทุกคน เมื่อเทียบกับเครื่องวัดอุณหภูมิที่ผ่านการทดสอบจากกองวิศวกรรมการแพทย์ และเมื่อทดสอบระบบวัดส่วนสูงและชั่งน้ำหนักโดยเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน พบว่าส่วนสูงและน้ำหนักของอาสาสมัครที่วัดได้มีความผิดพลาดสัมพัทธ์ต่ำกว่าร้อยละ 1.00 ทุกคน

เอกสารอ้างอิง

[1] T. J. Erinle, D. H. Oladebeye, and I. B. Ademiloye, "Parametric Design of Height and Weight Measuring System," *International Journal of Innovative Research in Electrical, Electronics, Instrumentation and Control Engineering*, vol. 8, pp. 22-34, July 2020.

[2] W. Yu, C. Luo, and K. Wang, "Body Temperature Detection and Data Collection during COVID-19," *International Academic Exchange Conference on Science and Technology Innovation*., China., Guangzhou, 2021, pp. 1-4.

[3] H. R. Fajrin, M. R. Ilahi, B. S. Handoko, and I. P. Sari, "Body Temperature Monitoring based on telemedicine," *International Conference on Engineering and Applied Science*., Indonesia., Madiun, 2019, pp. 1-8.

[4] B.Varshini, H. R.Yogesh, S. D. Pasha, M. Suhail, V. Madhumitha, and A. Sasi, "IOT-Enabled smart doors for monitoring body temperature and face mask detection," *Global Transitions Proceedings*, vol. 2, pp. 246-254, November 2021.

[5] T. Wongke, P. Awikunprasert, and C. Awikunprasert, "Digital height meter using ultrasinic sensor," *Journal of Associated Medical Sciences*, vol. 50, pp. 435-441, september 2017.

[6] ตวงพร กตัญญุตานนท์, ธนาธร ทองศิริ, อารยา พิชิตชัยณรงค์, ธันยพร กิ่งดอกไม้, สุภาพ ธรรมกุล, ภาวลิน แสนคำราง และชัยนี่ บิลก่อเด็ม "ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการป้องกันโรคโควิด-19 ของนักศึกษาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ," *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี หัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ*, ปีที่ 7, ฉบับที่ 1, หน้า 1 – 14, มกราคม-มิถุนายน 2564

[7] รัตนสุดา สุภดนัยสร, ธีรถวัลย์ ปานกลาง, และจุรีพร ศรีชุมแสง "การออกแบบและสร้างระบบวัดดัชนีมวลกาย(BMI) อัตโนมัติแสดงผลผ่านหน้าจอเครือข่ายอินเทอร์เน็ต," *วารสารวิชาการเทพสตรี I-TECH*, ปีที่ 14, ฉบับที่ 2, หน้า 73 – 85, กรกฎาคม-ธันวาคม 2562

การออกแบบระบบแสงสว่างในห้องประชุมขนาดใหญ่เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

Illumination design in large meeting rooms for energy conservation

ณัฐพงศ์ พันธุนะ[1*] กัญญารัตน์ ศรีอ่อน ไอรดา[1] ตั้งสกุลยิ่งเจริญ[1] และ ปิยธิดา พันธุนะ[2]

[1]คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

[2]คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนประชาราษฎร์สาย 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯมหานคร 10800 อีเมล์ nattapong.p@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและออกแบบระบบแสงสว่างตามซีน (scene) สำหรับห้องประชุมจำนวน 4 ห้อง ประกอบด้วย ห้องประชุมเฟืองเหนือ ห้องประชุมเฟืองเพชร ห้องประชุมเฟืองทอง และห้องประชุมเฟืองเงิน ในคณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.พระนคร เพื่อสำรวจปัญหาในการใช้พลังงานจากแสงสว่างว่ามีความเพียงพอหรือเหมาะสมต่อการใช้งานหรือไม่ ขั้นแรกเริ่มจากทำการเก็บข้อมูลต่าง ๆ ของห้องประชุมทั้ง 4 ห้อง โดยทำการวัดค่าแสงสว่างและขนาดของพื้นที่ภายในห้องประชุมแต่ละห้อง หลังจากนั้นจึงสร้างแบบจำลองห้องประชุมแบบ 3 มิติ ด้วยโปรแกรม Sketch Up ให้มีความใกล้เคียงกับห้องประชุมจริงมากที่สุด โดยนำแบบจำลองห้องประชุมแบบ 3 มิติ ที่ได้จากโปรแกรม Sketch Up มาใส่ในโปรแกรม DIALUX เพื่อจำลองการวางโคมไฟและคำนวณค่าแสงสว่างที่ได้ ซึ่งสามารถเลือกแบบของโคมและหลอดไฟ ให้สวยงามและเหมาะสมต่อการใช้งาน สำหรับค่าของแสงสว่างจะมีค่ามากหรือน้อยนั้น จะต้องขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมด้วย การออกแบบในงานวิจัยนี้ อ้างอิงตาม มาตรฐานสมาคมแสงสว่างแห่งประเทศไทย และมาตรฐาน IES (Illuminating Engineering Society)

คำสำคัญ : ห้องประชุม; แสงสว่าง ; 3 มิติ

Abstract

The objective of this research is to study and design lighting systems divided by scene for four meeting rooms, as Phuong Nuea, Phuong Phet, Phuong Thong and Phuong Ngern, in faculty of Engineering of RMUTP. This study explored the problem of using light energy whether it is sufficient or suitable usage or not. First, we collected various information of all 4 meeting rooms by measuring the light and the size of the space within the meeting rooms. After that, the 3D model of the meeting rooms was created with the Sketch Up program to be as similar as possible to the actual meeting rooms. The 3D model of the meeting room obtained from the Sketch Up program was put into the DIALUX program to simulate the placement of lamps and calculate the resulting illumination. This program can choose the type of lamps and bulbs to be beautiful and appropriate according to usage. For another reason, the amount of light will be more or less depending on the environment. The design in this research is based on the Lighting Society of Thailand and IES (Illuminating Engineering Society) standards.

Keywords: meeting room; light; 3D

1. บทนำ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ได้รับการสถาปนาขึ้นในพระราชบัญญัติมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล เมื่อวันที่ 18 มกราคม พ.ศ. 2548 ซึ่งเป็นสถาบันการศึกษาที่มีชื่อเสียงและมีความเชี่ยวชาญด้านวิชาชีพมาเป็นเวลาช้านาน จากเดิมที่รวมอยู่กับสถาบันเทคโนโลยีราชมงคลซึ่งเป็นสถานศึกษาที่จัดการเรียนการสอนสายวิชาชีพ อันประกอบด้วยวิทยาเขตต่าง ๆ มากกว่า 35 วิทยาเขตทั่วประเทศ และเมื่อมีการปรับเปลี่ยนสถานภาพจาก สถาบัน มาเป็นมหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2548 โดยใช้ชื่อว่า “มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร” เนื่องจาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครก่อตั้งมาเป็นเวลายาวนานและไม่ได้มีการปรับปรุงระบบต่าง ๆของอาคารอย่างต่อเนื่อง

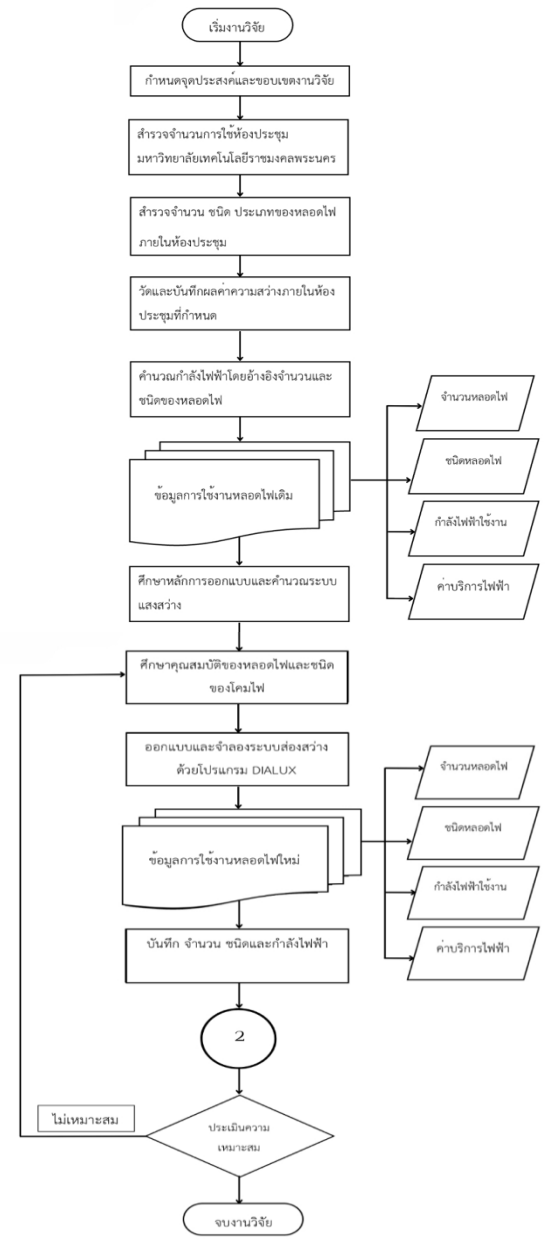
ห้องประชุมรวมทั้ง 4 ห้องใน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร มีดังนี้ ห้องประชุมเฟืองเพชร ห้องประชุมเฟืองเหนือ ห้องประชุมเฟืองเงิน และห้องประชุมเฟืองทอง วัตถุประสงค์ในการใช้ห้องประชุมจึงแบ่งเป็นทั้งหมด 3 ซีน ในการใช้งาน คือ ใช้สำหรับทำการแสดง ใช้เป็นห้องรับรอง และใช้สำหรับกิจกรรมต่าง ๆ

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาและแนวทางการปรับปรุงระบบแสงสว่างในห้องประชุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จึงทำการศึกษาและแนะนำการปรับปรุงโดยใช้มาตรฐาน IES (Illuminating Engineering Society) และ มาตรฐานสมาคมแสงสว่างแห่งประเทศไทย โดยใช้ โปรแกรม Sketch Up เพื่อขึ้นแบบห้องประชุมแบบ 3 มิติ โปรแกรม DIALUX สำหรับออกแบบระบบแสงสว่าง [1], [2] โดยใช้เครื่องมือ Lux Meter [3], [4] ในการวัดค่าความเข้มแสงในห้องประชุม วัดขนาดของพื้นที่ เพื่อนำข้อมูลไปวิจัยตามมาตรฐานในการนำไปปรับปรุง

2.วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและออกแบบระบบแสงสว่างและหาค่าความสว่างที่เหมาะสมโดยใช้โปรแกรม Sketch Up และ โปรแกรม DIALUX ในการจำลองสถานการณ์ของห้องประชุม
2. เพื่อออกแบบและปรับปรุงระบบแสงสว่างในห้องประชุมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานให้ได้ตามมาตราฐาน
3. เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการออกแบบระบบแสงสว่างของหลอดไฟที่ไม่เหมาะสม

3. วิธีดำเนินงาน



รูปที่ 1 Flow Chart แสดงวิธีดำเนินงาน

3.1 สำรวจหลอดไฟในห้องประชุมของมหาวิทยาลัย

ใช้อุปกรณ์ลักซ์มิเตอร์วัดแสงสว่าง จากฝ้าเพดานถึงโต๊ะทำงาน และใช้อุปกรณ์เลเซอร์สำหรับวัดระยะพื้นที่ทั้งหมดจะได้ข้อมูลดังในตาราง ที่ 1 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1 แสดงค่าความสว่างเฉลี่ยและชนิดของหลอดไฟ

ห้องประชุมใน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	ขนาดของพื้นที่			ชนิดหลอดไฟ	จำนวน	ความสว่างเฉลี่ย (ลักซ์)
	กว้าง (ม.)	ยาว(ม.)	สูง(ม.)	ผลิตภัณฑ์		
ห้องประชุมเฟืองเหนือ	31.18	33.75	8.7	PHILIPS หลอดเมทัลฮาไลท์ 400W/645	40	315
				PHILIPS TORNADO 24W/CDL 24 W DL	57	
				LAMPTAN หลอดไฟนีออน T8 36 W	12	เวที 546
ห้องประชุมเฟืองเพชร	20.97	10.42	3.26	LUMAX หลอด LED ECO PLUS 6 W DL	30	275
				PHILIPS TORNADO 24W/CDL 24 W DL	9	
ห้องประชุมเฟืองทอง	12.3	22.14	2.72	RACER 28 W TUA-T510	81	314
						เวที 593
ห้องประชุมเฟืองเงิน	10.37	22.14	2.95	PHILIPS รุ่น MR16 CLOSE 50W WW	118	595
				LAMPTAN หลอดไฟนีออน T8 36 W	21	

3.2 คำนวณพลังงานไฟฟ้า (เดิม)

การหาค่าพลังงานไฟฟ้า สามารถคำนวณจากสมการ ดังต่อไปนี้

กรณีห้องประชุมเฟืองเหนือ

ห้องนี้มีการใช้งานหลอดเมทัลฮาไลท์ ขนาด 400 W จำนวน 40 หลอด ดาวน์ไลท์ 24 W จำนวน 57 หลอด T8 ขนาด 36 W จำนวน 12 หลอด ในปีการศึกษา 2565 มีการใช้ห้องเรียนดังต่อไปนี้ ภาคเรียนที่ 1 มีการใช้งาน 192 ชั่วโมง และภาคเรียนที่ 2 มีการใช้งาน 256 ชั่วโมง ดังนั้น ห้องประชุมเฟืองเหนือ จะมีการใช้พลังงานเท่าใด

วิธีการคำนวณ

หลอดเมทัลฮาไลท์ ขนาด 400 W จำนวน 40 หลอด

ดาวน์ไลท์ 24 W จำนวน 57 หลอด

T8 ขนาด 36 W จำนวน 12 หลอด

จำนวนการใช้พลังงานไฟฟ้า = (400 + 24 + 36) = 460 W

จำนวนการใช้งานปี การศึกษา 2565 = (192 + 256) = 448 ชั่วโมง

จำนวนหน่วยไฟฟ้า

= (กำลังไฟฟ้า × จำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้า)xจำนวนชั่วโมง / 1,000

จำนวนหน่วยไฟฟ้า = [(400 × 40) + (24 × 57) + (36 x 12)] / 1,000

= 7974.4 หน่วย

มีการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งสิ้น 7974.4 หน่วย

ตารางที่ 2 การใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละห้องประชุมต่อในสองภาคเรียน

ห้องประชุม	ชั่วโมงการใช้งาน			จำนวนการใช้พลังงาน		
	ภาคเรียนที่ 1 (ชั่วโมง)	ภาคเรียนที่ 2 (ชั่วโมง)	รวม (ชั่วโมง)	ภาคเรียนที่ 1 (วัตต์)	ภาคเรียนที่2 (วัตต์)	รวมพลังงาน (วัตต์)
ห้องประชุมเฟืองเหนือ	192	256	448	3417.6	4556.8	7974.4
ห้องประชุมเฟืองเพชร	66	96	162	26.136	38.016	64.152
ห้องประชุมเฟืองทอง	120	170	290	272.16	46.2672	318.4272
ห้องประชุมเฟืองเงิน	128	200	328	851.968	1331.2	2183.168

ตารางที่ 3 ค่าบริการไฟฟ้าสามารถคำนวณได้ตามหลักการคำนวณจากการไฟฟ้า

ห้องประชุม	รวมพลังงาน (วัตต์)	ค่าไฟฟ้าฐาน (บาท)	ค่า ft (บาท)	ภาษี 7 % (บาท)	ค่าใช้ไฟฟ้าใน 1 ปีการศึกษา (บาท)
ห้องประชุมเฟืองเหนือ	7974.4	27,622.56	12,389.57	2,800.85	42,812.98
ห้องประชุมเฟืองเพชร	64.152	531.31	99.38	44.15	674.84
ห้องประชุมเฟืองทอง	318.4272	1,399.64	493.31	132.51	2,025.45
ห้องประชุมเฟืองเงิน	2,183.17	7,767.54	3,382.16	780.48	11,930.18

3.3 เขียนแบบจำลองห้องประชุมในโปรแกรม Sketch up

SketchUp คือโปรแกรมสำหรับออกแบบโมเดล 3 มิติที่ได้รับความนิยมอย่างมากสำหรับการสร้างสถาปัตยกรรม วิศวกรรม การตกแต่งภายใน ไปจนถึงการออกแบบผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ โปรแกรม SketchUp มีจุดเด่นมากมายทั้งในส่วนของการทั่วไปสำหรับมือใหม่ พร้อมฟีเจอร์เสริมต่าง ๆ สำหรับมืออาชีพที่ช่วยให้งานของนักออกแบบง่ายขึ้น



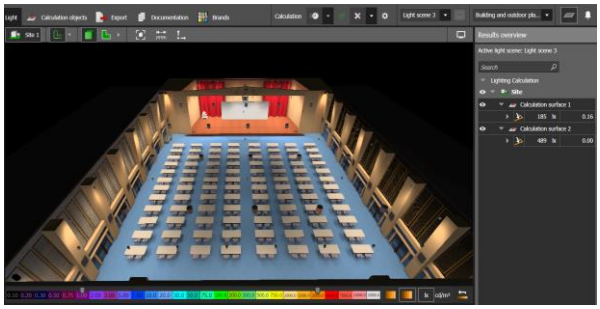
รูปที่ 2 แบบจำลองห้องประชุมเฟืองเหนือ

3.4 การออกแบบการวางโคมในโปรแกรม DIALUX

นำแบบจำลอง 3 มิติ จาก Sketch up import เข้าสู่โปรแกรม DIALUX แล้วทำการวางโคมและออกแบบตามความเหมาะสม



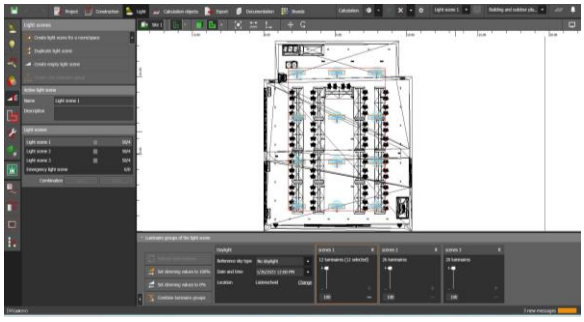
รูปที่ 3 เปิดแบบจำลองห้องประชุมในโปรแกรม DIALUX



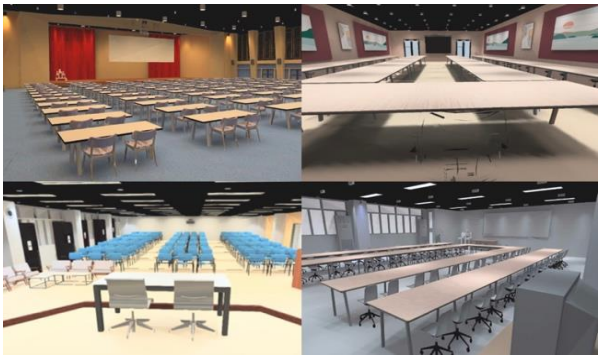
รูปที่ 4 กำหนดตำแหน่งของโคมไฟ

หลักการจำลองการเลือกใช้งานในแต่ละ Scene การใช้งาน

- กดที่ แถบเมนู เลือกไปที่ Light > Light scene > Create light scene for room/space > Duplicate light scene > Create empty light scene
- จากนั้น ให้ทำการเลือกหลอดไฟที่จะทำการกำหนดการใช้งานใน Scene นั้น ๆ ดังภาพ
- ทำการ Calculation ทั้ง 2-4 Scenes



รูปที่ 5 กำหนด Scene การใช้งาน



รูปที่ 6 แบบจำลองการวางตำแหน่งโคมไฟทั้ง 4 ห้องประชุม

3.5 คำนวณพลังงานไฟฟ้า (ใหม่)

ตารางที่ 4 การใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละห้องประชุมต่อในสองภาคเรียน

ห้องประชุม	ชั่วโมงการใช้งาน			จำนวนการใช้พลังงาน		
	ภาคเรียนที่ 1 (ชั่วโมง)	ภาคเรียนที่ 2 (ชั่วโมง)	รวม (ชั่วโมง)	ภาคเรียนที่ 1 (วัตต์)	ภาคเรียนที่ 2 (วัตต์)	รวมพลังงาน (วัตต์)
ห้องประชุมเพชรเหนือ	192	256	448	2696.928	3595.904	8347.83495
ห้องประชุมเพชร	66	96	162	55.7502	81.0912	136.8414
ห้องประชุมเพชรทอง	120	170	290	271.392	384.472	655.864
ห้องประชุมเพชรเงิน	128	200	328	102.5536	160.24	262.7936

ตารางที่ 5 ค่าบริการไฟฟ้าสามารถคำนวณได้ตามหลักการคำนวณจากการไฟฟ้า

ห้องประชุม	รวมพลังงาน (วัตต์)	ค่าไฟฟ้าฐาน (บาท)	ค่า ft (บาท)	ภาษี 7 % (บาท)	ค่าใช้ไฟฟ้าใน 1 ปีการศึกษา (บาท)
ห้องประชุมเพชรเหนือ	8347.83495	28,819.26	12,932.47	2,922.62	44,674.35
ห้องประชุมเพชร	136.8414	779.54	211.99	69.41	1,060.94
ห้องประชุมเพชรทอง	655.864	2,551.95	1,016.06	249.76	3,817.78
ห้องประชุมเพชรเงิน	261.7936	1,209.65	407.12	113.17	1,729.94
Total					51,283.01

3.6 การอภิปรายการใช้พลังงานไฟฟ้า

เมื่อนำทั้งสองตารางมาเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้า และค่าใช้ไฟฟ้าภายใน 1 ปีการศึกษานั้น จากที่ได้มีการออกแบบโคมไฟใหม่จะ

ห้องประชุม	รวมพลังงาน (วัตต์)	ค่าไฟฟ้าฐาน (บาท)	ค่า ft (บาท)	ภาษี 7 % (บาท)	ค่าใช้ไฟฟ้าใน 1 ปีการศึกษา (บาท)
แบบเดิม					
ห้องประชุมเพชรเหนือ	7974.4	27,622.56	12,389.57	2,800.85	42,812.98
ห้องประชุมเพชร	64.152	531.31	99.38	44.15	674.84
ห้องประชุมเพชรทอง	318.4272	1,399.64	493.31	132.51	2,025.45
ห้องประชุมเพชรเงิน	2,183.17	7,767.54	3,382.16	780.48	11,930.18
				Total	57,443.45
แบบใหม่					
ห้องประชุมเพชรเหนือ	8347.83495	28,819.26	12,932.47	2,922.62	44,674.35
ห้องประชุมเพชร	136.8414	779.54	211.99	69.41	1,060.94
ห้องประชุมเพชรทอง	655.864	2,551.95	1,016.06	249.76	3,817.78
ห้องประชุมเพชรเงิน	262.7936	1,209.65	407.12	113.17	1,729.94
				Total	51,283.01

ประหยัดไฟมากกว่าแบบเก่า เนื่องจากการเลือกใช้หลอดไฟแบบใหม่ ที่มีประสิทธิภาพ และ มีความความสว่างที่ดี โดยสังเกตจากข้อมูลในตารางที่ 6 เปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้า และค่าใช้ไฟฟ้าภายใน 1 ปีการศึกษา

4.สรุป

จากผลการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้หลอดไฟ LED เมื่อพิจารณาผลการทดลอง การให้ค่าความสว่างตามข้อกำหนดการใช้พลังงานไฟฟ้า ค่าบริการการใช้พลังงานและ การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ ผู้วิจัย สรุปได้ว่า เมื่อห้องประชุมทั้งสี่ ใช้หลอดไฟ LED ออกแบบใหม่ ภายในห้องประชุม สามารถใช้งานได้ ตามเงื่อนไขการทดลองที่กำหนดไว้ว่าในแต่ละ scene สามารถใช้งานได้อย่างถูกต้องตามมาตรฐาน IES (Illuminating Engineering Society) และ มาตรฐานสมาคมแสงสว่างแห่งประเทศไทย แนวทางการปรับปรุงได้ คือ เปลี่ยนหลอดและเพิ่มจำนวนหลอดไฟฟ้าเพื่อให้ได้ความส่องสว่างที่มากขึ้นตามมาตรฐานที่กำหนดเอาไว้ การออกแบบครั้งนี้อาจต้องมีการปรับปรุงฝ้าและเพดาน ของห้องประชุม การปรับปรุงนี้หรือทางมหาวิทยาลัยต้องการให้มีความเรียบร้อย สวยงามและลดจำนวนหลอดไฟที่จะใช้งานในห้องประชุมควรพิจารณาเงื่อนไขการใช้งานในแต่ละ Scene ดังนั้นถึงแม้ว่า LED แบบสำเร็จรูปจะมีราคาแพงและมีความจำเป็นต้องปรับปรุงห้องประชุมก็ตาม

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนในการดำเนินการจากคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ขอขอบพระคุณ ทุกหน่วยงานภายในที่ให้ความสะดวกในการทำงานวิจัยนี้ได้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] T. M. Buriol and S. Scheer, "CAD and CAE integration through scientific visualization techniques for illumination design," in Tsinghua Science and Technology, vol. 13, no. S1, pp. 26-33, Oct. 2008, doi: 10.1016/S1007-0214(08)70122-6.

[2] Y. Fu and H. Zhang, "Illumination condition model system of exhibition hall design based on computer aided design," 2021 IEEE 4th International Conference on Information Systems and Computer Aided Education (ICISCAE), Dalian, China, 2021, pp. 377-381, doi: 10.1109/ICISCAE52414.2021.9590818.

[3] J. Ni and J. Zhang, "Balance System Design of Landscape Sculpture and Urban Planning and Design based on Illumination Image Back Shadow Prediction Algorithm," 2022 4th International Conference on Inventive Research in Computing Applications (ICIRCA), Coimbatore, India, 2022, pp. 727-730, doi: 10.1109/ICIRCA54612.2022.9985754.

[4] W. Aswanuwat and K. Srichanpivom, "The Development of Teaching Model using Research-Based Learning in the Illumination System Design," 2021 6th Conference (iSTEM-Ed), Pattaya, Thailand, 2021, pp. 1-4, doi: 10.1109/iSTEM-Ed52129.2021.9625130.

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

การศึกษาลักษณะการวางและระยะห่างระหว่างตัวส่งสัญญาณกับตัวรับสัญญาณที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการอัดประจุแบตเตอรี่แบบไร้สายขนาด 300 วัตต์

Study of Placement and Distance between Transmitter and Receiver to Find Efficiency of Charging 300W Wireless Charger

อุดมศักดิ์ โชติมงคล[1*] และ จิรวัตน์ กรุณา[1]

[1]สาขาวิชาเทคโนโลยียานยนต์สมัยใหม่ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

46 ถนนจรัญสนิทวงศ์ แขวงวัดท่าพระ เขตบางกอกใหญ่ กรุงเทพฯ 10600 E-mail: chotimongkol@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการอัดประจุแบตเตอรี่แบบไร้สาย ขนาด 300 วัตต์ เพื่อประจุไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่ลิเธียมฟอสเฟต ขนาด 12V 24Ah การทดลองแบ่งเป็น 3 กรณี คือ 1) ตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณวางอยู่ในตำแหน่งตรงศูนย์ โดยมีระยะห่างของตัวรับสัญญาณออกจากตัวส่งสัญญาณที่ 0 มม.10 มม. 20 มม. 30 มม. 40 มม. และ 50 มม. 2) ตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณวางอยู่ในตำแหน่งเยื้องศูนย์ โดยมีระยะเยื้องศูนย์ของตัวรับสัญญาณออกจากตัวส่งสัญญาณที่ 10 มม. 20มม. 30 มม. 40 มม. และ 50 มม. 3) ตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณทำมุม โดยมีมุมของตัวรับสัญญาณออกจากตัวส่งสัญญาณที่ 10° 20° 30° และ40° ผลการทดลองพบว่าเมื่อวางตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณอยู่ในตำแหน่งตรงศูนย์ที่ระยะ 0 มม. ให้ประสิทธิภาพการอัดประจุสูงสุดคือ 76.87% เมื่อเพิ่มระยะห่างระหว่างตัวส่งและตัวรับที่ระยะ 50 มม. ให้ค่าประสิทธิภาพต่ำสุดคือ 53.90% เมื่อวางตัวส่งและตัวรับเยื้องศูนย์ 10 มม. ที่ระยะห่าง 50 มม. ให้ค่าประสิทธิภาพการอัดประจุต่ำสุด 53.51% และเมื่อวางตัวส่งและตัวรับทำมุม 20° ที่ระยะห่าง 30 มม. ให้ค่าประสิทธิภาพการอัดประจุต่ำสุด 53.12%

คำสำคัญ : การอัดประจุแบตเตอรี่แบบไร้สาย; ลักษณะการวาง;ระยะห่าง; ตัวส่งสัญญาณ;ตัวรับสัญญาณ

Abstract

This article is a study to find the efficiency of charging of 300 W wireless charger to charge 12V 24Ah lithium iron phosphate battery. The experiment is divided into three cases are 1) The transmitter and receiver are placed in the center position using the distance 0 mm. 10 mm. 20 mm. 30 mm. 40 mm. and 50 mm 2) The transmitter and receiver are placed in misalignment position using the distance 10 mm. 20 mm. 30 mm. 40 mm. and 50 mm 3) The transmitter and receiver are placed in angle position using the angle 10° 20° 30° and 40°. The results showed that the transmitter and receiver were placed in the center position at distance 0 mm, the maximum charging efficiency 76.87%, if the transmitter and receiver were placed in the center position at distance 50 mm, the minimum charging efficiency was 53.90%. The transmitter and receiver were placed in misalignment position at 10 mm. and the distance 50 mm. the minimum charging efficiency was 53.51%. The transmitter and receiver were placed at an angle of 20° and the distance 30 mm., the minimum charging efficiency was 53.12%.

Keywords: Wireless Charging; Placement; Distance; Transmitter; Receiver

1. บทนำ

ปัจจุบันการส่งกำลังไฟฟ้าแบบไร้สายเป็นเทคโนโลยีที่ส่งพลังงานจากอุปกรณ์หนึ่งไปสู่อีกอุปกรณ์หนึ่ง โดยไม่ต้องใช้สายไฟหรือสายตัวนำสัญญาณเป็นตัวเชื่อมต่อ ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น แท่นชาร์จแบตเตอรี่สำหรับโทรศัพท์มือถือ ระบบชาร์จพลังงานของรถยนต์และยานพาหนะอื่นๆ [1-2] ข้อดีของระบบชาร์จแบตเตอรี่แบบไร้สายคือความสะดวกสบายและความปลอดภัยของผู้ใช้งาน ใช้งานง่าย ข้องเกี่ยวกับผู้ใช้งานน้อย ไม่ต้องสัมผัส ไม่ต้องเสียบปลั๊กและถอดปลั๊ก [3-4] หลักการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าด้วยสนามแม่เหล็กเป็นหลักการดั้งเดิมที่ใช้ในหม้อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับโดยใช้หลักการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กระยะใกล้ [5] ซึ่งมีขายในปัจจุบัน

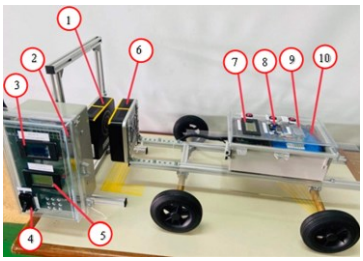
อย่างไรก็ตามพบว่าหลักการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก มีประสิทธิภาพสูงในการใช้งานระยะใกล้เท่านั้น แต่ให้ประสิทธิภาพต่ำเมื่อนำมาใช้ในระยะไกล โดยที่ประสิทธิภาพการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าของระบบการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าแบบไร้สายจะขึ้นอยู่กับสมรรถนะของสายอากาศส่งและสายอากาศรับเป็นสำคัญ สายอากาศส่งและสายอากาศรับจะต้องออกแบบให้ทำงานที่ย่านความถี่ใช้งานเดียวกันโดยใช้หลักการการเชื่อมต่อเหนี่ยวนำเรโซแนนซ์ [5-6]

จากการศึกษาแนวคิดพื้นฐานของระบบการส่งกำลังไฟฟ้าแบบไร้สาย ทางผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษาประสิทธิภาพการอัดประจุแบตเตอรี่แบบไร้สายโดยกำหนดลักษณะการวาง ระยะห่างระหว่างตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณในตำแหน่งเยื้องศูนย์ และทำมุมเอียง เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการออกแบบและพัฒนาระบบการอัดประจุแบตเตอรี่แบบไร้สายต่อไป

2. วิธีการดำเนินงาน

2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองคือ ชุดอัดประจุแบตเตอรี่แบบไร้สายขนาด 300 วัตต์ ซึ่งในชุดประกอบด้วย



รูปที่ 1 ชุดอัดประจุแบตเตอรี่ไร้สายขนาด 300 วัตต์

1. ตัวส่งสัญญาณ
2. สวิตชิ่งพาวเวอร์ซัพพลาย 48 VDC
3. วัตต์มิเตอร์กระแสสลับ (AC)
4. เซอร์กิตเบรกเกอร์ 10 Amp
5. วัตต์มิเตอร์กระแสตรง (DC)
6. ตัวรับสัญญาณ
7. วัตต์มิเตอร์กระแสตรง (DC)
8. DC-DC Boost Converter Step up, 12VDC to 25 VDC
9. โวลต์มิเตอร์
10. แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนฟอสเฟต (LiFePO4) 12V 24Ah

ชุดอัดประจุแบตเตอรีแบบไร้สายใช้ความถี่ในการอัดประจุอยู่ที่ 10 ~ 50kHz ซึ่งจะปรับความถี่เองตามระยะห่างของตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณ เพื่อให้กำลังไฟฟ้าขาออกของชุดรับสัญญาณมีค่าคงที่

2.2 ขั้นตอนการทดลอง

การทดลองหาประสิทธิภาพการอัดประจุแบตเตอรี่แบบไร้สาย ขนาด 300 วัตต์ แบ่งเป็น 3 กรณี คือ

กรณีที่ 1.ทดลองหาประสิทธิภาพตามระยะห่างระหว่างตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณ ทั้งหมด 6 รูปแบบ

รูปแบบที่ 1 ระยะห่างระหว่างตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณ 0 มม.

รูปแบบที่ 2 ระยะห่างระหว่างตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณ 10 มม.

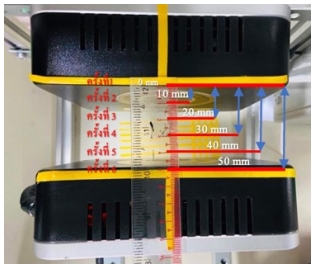
รูปแบบที่ 3 ระยะห่างระหว่างตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณ 20 มม.

รูปแบบที่ 4 ระยะห่างระหว่างตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณ 30 มม.

รูปแบบที่ 5 ระยะห่างระหว่างตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณ 40 มม.

รูปแบบที่ 6 ระยะห่างระหว่างตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณ 50 มม.

ในการทดลองแต่ละรูปแบบ มีการวัดกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าก่อนเข้าตัวส่งสัญญาณและหลังตัวรับสัญญาณ เพื่อนำค่ามาหาประสิทธิภาพของการอัดประจุแบบไร้สาย ขนาด 300 วัตต์



รูปที่ 2 ทดลองหาประสิทธิภาพตามระยะห่าง

กรณีที่ 2. ทดลองหาประสิทธิภาพตามระยะเยื้องระหว่างตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณ ทั้งหมด 5 รูปแบบ

รูปแบบที่ 1 ระยะเยื้องระหว่างตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณ 10 มม.

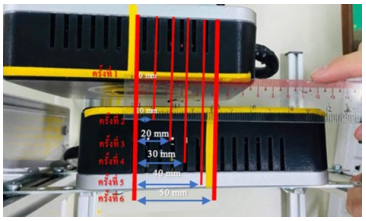
รูปแบบที่ 2 ระยะเยื้องระหว่างตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณ 20 มม.

รูปแบบที่ 3 ระยะเยื้องระหว่างตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณ 30 มม.

รูปแบบที่ 4 ระยะเยื้องระหว่างตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณ 40 มม.

รูปแบบที่ 5 ระยะเยื้องระหว่างตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณ 50 มม.

โดยทั้ง 5 รูปแบบ กำหนดระยะห่างระหว่างตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณ 0 มม. 10 มม. 20มม. 30 มม. 40 มม. และ 50 มม.



รูปที่ 3 ทดลองหาประสิทธิภาพตามระยะเยื้อง

กรณี 3. ทดลองหาประสิทธิภาพการทำมุมกันระหว่างตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณ ทั้งหมด 4 รูปแบบ

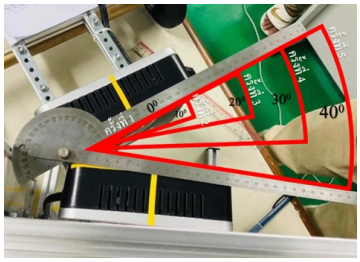
รูปแบบที่ 1 ระยะเยื้องระหว่างตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณ 10 มม.

รูปแบบที่ 2 ระยะเยื้องระหว่างตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณ 20 มม.

รูปแบบที่ 3 ระยะเยื้องระหว่างตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณ 30 มม.

รูปแบบที่ 4 ระยะเยื้องระหว่างตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณ 40 มม.

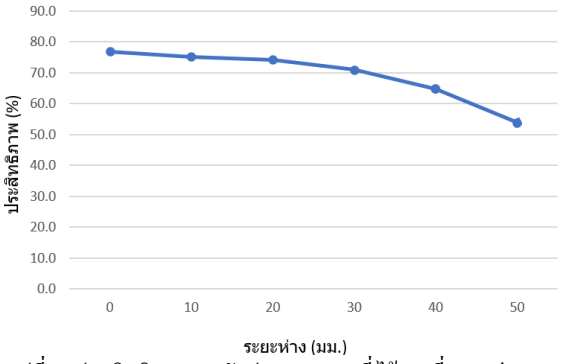
โดยทั้ง 4 รูปแบบ กำหนดระยะห่างระหว่างตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณ 0 มม. 10 มม. 20มม. 30 มม. 40 มม. และ 50 มม.



รูปที่ 4 ทดลองหาประสิทธิภาพโดยการเพิ่มมุม

2.3 ผลการทดลอง

จากรูปที่ 5 แสดงผลการทดลองประสิทธิภาพการอัดประจุแบตเตอรี่ไร้สาย กรณีวางตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณที่ระยะห่าง 0 มม. 10 มม. 20 มม. 30 มม. 40 มม และ 50 มม. พบว่ามีประสิทธิภาพ 76.87% 75.23% 74.29 % 71.00% 64.74% และ 53.90% ตามลำดับ



รูปที่ 5 ประสิทธิภาพการอัดประจุแบตเตอรี่ไร้สายที่ระยะห่าง 0-50 มม.

จากรูปที่ 6 แสดงผลการทดลองประสิทธิภาพการอัดประจุแบตเตอรี่ไร้สาย กรณีวางตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณเยื้องกัน 10 มม. 20 มม. 30 มม. 40 มม.และ 50 มม.

ระยะห่าง 0 มม. พบว่ามีประสิทธิภาพ 76.87% 76.87% 76.70% 73.91% 71.17% และ 62.50%

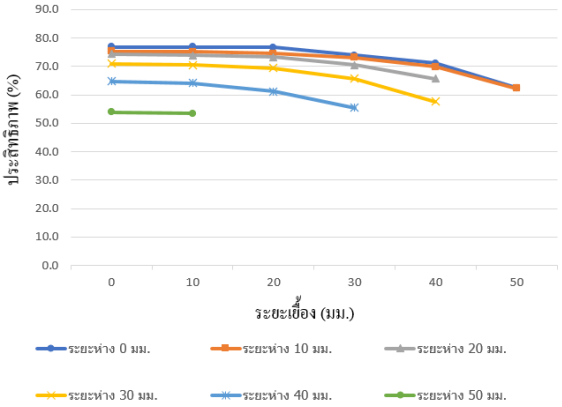
ระยะห่าง 10 มม. พบว่ามีประสิทธิภาพ 75.23% 75.18% 74.45% 73.16% 69.90% และ 62.24%

ระยะห่าง 20 มม. พบว่ามีประสิทธิภาพ 74.29% 73.92% 73.29% 70.43% และ 65.74%

ระยะห่าง 30 มม. พบว่ามีประสิทธิภาพ 71.00% 70.41% 69.34% 65.74% และ 57.64%

ระยะห่าง 40 มม. พบว่ามีประสิทธิภาพ 64.74% 64.18% 61.27% และ 55.42%

ระยะห่าง 50 มม. พบว่ามีประสิทธิภาพ 53.90% และ 53.51%



รูปที่ 6 ประสิทธิภาพการอัดประจุแบตเตอรี่ไร้สายที่ระยะเยื้อง 0-50 มม.

จากรูปที่ 7 แสดงผลการทดลองประสิทธิภาพการอัดประจุแบตเตอรี่ไร้สาย กรณีวางตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณทำมุม 10° 20° 30° และ40°

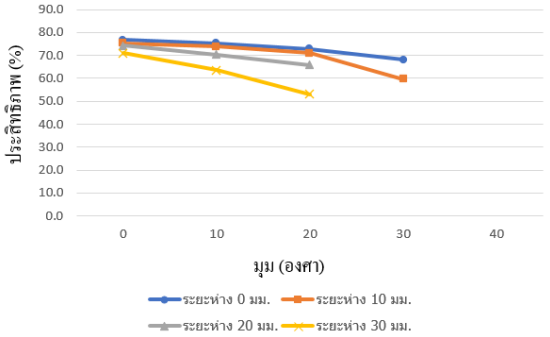
ระยะห่าง 0 มม. พบว่ามีประสิทธิภาพ 76.87% 75.36% 72.95% และ 68.16%

ระยะห่าง 10 มม. พบว่ามีประสิทธิภาพ 75.23% 73.82% 71.00% และ 59.61%

ระยะห่าง 20 มม. พบว่ามีประสิทธิภาพ 74.29% 70.41% และ 65.88%

ระยะห่าง 30 มม. พบว่ามีประสิทธิภาพ 71.00% 63.68% และ 53.12%

ระยะห่าง 40 มม. ไม่สามารถอัดประจุได้



รูปที่ 7 ประสิทธิภาพการอัดประจุแบตเตอรี่ไร้สายที่มุม 0°-40°

3. สรุป

การอัดประจุแบตเตอรี่แบบไร้สายขนาด 300 วัตต์ มีประสิทธิภาพลดลงตามระยะห่าง ระยะเยื้องศูนย์ และมุมเอียงที่เพิ่มขึ้นของตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณ โดยค่าประสิทธิภาพการอัดสูงสุดอยู่ที่ตำแหน่งตรงศูนย์ ระยะห่าง 0 มม. คือ 76.87% ค่าประสิทธิภาพการอัดต่ำสุดเมื่อวางเยื้องศูนย์ 10 มม. ระยะห่าง 50 มม. คือ 53.51% และเมื่อวางทำมุมเอียง 20° ที่ระยะห่าง 30 มม. ให้ค่าประสิทธิภาพการอัดประจุต่ำสุด 53.12%

4. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาเทคโนโลยียานยนต์สมัยใหม่ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม สำหรับเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาทดลองงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] S.Shin et al., “Wireless power transfer system for high power application and a method of segmentation” 2013 IEEE Wireless Power Transfer (WPT), Perugia, Italy, pp. 76-78,2013.

[2] M.Dionigi Life Fellow IEEE, G.Franceschetti Life Fellow IEEE, M.Monigiardo Fellow IEEE “Resonant Wireless Power Transfer Investigation of radiating resonance.” IEEE Conference, 2013.

[3] Xiaolin Mou, Hongjian Sun,“Wireless Power Transfer: Survey and Roadmap.” IEEE Wireless Communications, vol. 20, no. 4, pp. 140-145, August 2013.

[4] Chunbo Zhu, Kai Liu, Chunlai Yu, Rui Ma, and Hexiao Cheng, “Simulation and Experimental Analysis on Wireless Energy Transfer Based on Magnetic Resonances.” IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), September 3-5, 2008.

[5] C.G. Kim, D.H. Seo, J.S. You, J.H. Park, and B.H. Cho, “Design of a contactless battery charger for cellular phone.” IEEE Transactions on Industrial Electronics., vol. 48, no. 6, pp. 1238-1247, Dec. 2001.

[6] F. Wang, H. Xu, K. Qian, F. Wan, W. Ru, P. Zeng, H. Yuan and T. Jing, “Experiment research on an inductive power transmission system for blood pumps,” 2010 international conference on Electrical and Control Engineering (ICECE), pp. 3722-3724, 25-27 June 2010.

บทความวิจัย

อุตสาหการ

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

กระถางเพาะชำชีวภาพจากฟางข้าว

BIO-PLANTING POTS MADE FROM RICE STRAW

อติศักดิ์ ไสวอมร[1*] วิทฤทธิ์ โคตรมณี[2] และ สุประวิทย์ เมืองเจริญ[2]

Atisak Sawaiamon[1*] Wittarit Khotmanee[2] and Supavit Muangjaroen[2]

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ 72130

[2]สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ 72130

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการผลิตกล้าไม้ของเกษตรกรเกษตรกรจะปลูกหรือชำกล้าไม้ในถุงเพาะชำพลาสติก อาจทำให้กระทบกระเทือนต่อรากของต้นกล้าได้และนอกจากนั้นเศษถุงพลาสติกยังเป็นขยะที่ย่อย สลายยาก งานวิจัยนี้เป็นการอัดขึ้นรูปกระถางเพาะชำชีวภาพสำหรับเพาะกล้าไม้ขนาดเล็ก โดยวัสดุ จากธรรมชาติ คือฟางข้าว เพื่อใช้แทนถุงพลาสติก โดยสามารถย่อยสลายได้ง่าย ไม่เป็นมลพิษและไม่ส่งผลกระทบกับกล้าไม้ที่จะนำไปปลูกลงดิน งานวิจัยนี้ศึกษาหาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการอัดขึ้นรูปกระถางเพาะชำชีวภาพ ที่ อุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 205 °C 225 °C และ 245 °C เวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปกระถาง 4 นาที 5 นาที และ 6 นาที โดยวิธีการขึ้นรูปร้อนทุกครั้ง ในการทดลองใช้อัตราส่วนผสมคือ แป้ง 40 กรัม น้ำ 80 มิลลิลิตร และฟางข้าว 80 กรัม สภาวะการอัดขึ้นรูปกระถางเพาะชำชีวภาพทุกครั้งใช้ใบตองและน้ำมันพืช ช่วยลดการติดของแม่พิมพ์ วิเคราะห์ผลจากจำนวนกระถางที่อยู่ในเกณฑ์ ยอมรับได้ โดยพิจารณาจากลักษณะรูปร่างของกระถางและขนาดของกระถาง ซึ่งการยอมรับได้ในที่นี้ คือ การยอมรับได้ตรงกัน ทั้งลักษณะรูปร่างของกระถางและขนาดของกระถาง การอัดขึ้นรูปกระถางเพาะชำชีวภาพจากฟางข้าว จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสม ที่สุดในเวลาทั้ง 3 ระดับ คือ 245 °C เวลาในการอัดขึ้นรูปกระถางเพาะชำชีวภาพที่เหมาะสม คือ 4 นาที เนื่องจากใช้ เวลาในการอัดขึ้นรูปกระถางน้อยกว่าในเวลา 5 นาที และ 6 นาที

คำสำคัญ : การอัดขึ้นรูปร้อน, กระถางเพาะชำ, ฟางข้าว

Abstract

At present, the production of seedling farmers, farmer will plant or cut the seedlings in plastic bags. As plastic bags are easily available and cheap. When farmers plant the seedlings in the ground, they have to tear plastic bags can cause an impact to the roots of the seedlings. In addition, the plastic bag waste is difficult to decompose. This research is the extrusion of biological plant pots used for cultivating small seedlings. The natural material is rice straw to use instead of plastic bags. It is easily degradable and unpolluted. Also, it does not affect the seedlings that will be planted into the ground. This research aims to investigate the optimum temperature and period of time for extrusion of bio plant nursery pots. At three temperature levels was 205 °C, 225 °C and 245 °C. The extrusion time for bio plant nursery pots were 4 min, 5 min and 6 min. According to the hot forming method, each time of the experiment farmers the mixing ratio of 40 g of starch, 80 ml of water and 80 g of rice straw under the extrusion condition of the bio plant pots was performed. Banana leaves and vegetable oil were used to reduce fungal adhesion by analyzing the results from the number of bioavailable seedlings. Considering the shape of the bio plant nursery pot and the size of the bio plant pot are accepted. Both the shape of the bio plant pot and the size of the bio plant are the same acceptance. Extrusion of biological plant pot from rice straw was found that the optimum temperature with all 3 levels was 245 °C. As a percentage of 100 %, the optimum time for extrusion of biological plant pots is 4 minutes. In conclusion, the time to compress the biological nursery pots is less in 5 or 6 minutes.

Keywords: Heat extrusion, Plant Pot, Rice Straw

1. บทนำ

การเปลี่ยนแปลงของสภาวะอากาศที่เป็นผลมาจากการกระทำของมนุษย์ไม่ว่าทางตรงหรือทางอ้อมที่มีผลทำให้บรรยากาศของโลกเปลี่ยนแปลงไปนอกเหนือจากการเปลี่ยนแปลงของโลกโดยธรรมชาติที่สังเกตได้ในช่วงระยะเวลาเดียวกัน ได้แก่ อุณหภูมิความชื้นปริมาณน้ำฝนฤดูกาลซึ่งเป็น ปัจจัยสำคัญในการดำรงอยู่ของสิ่งมีชีวิตที่จะต้องปรับตัวให้เข้ากับสภาพภูมิอากาศในบริเวณที่สิ่งมีชีวิต นั้นอาศัยอยู่ในภาวะที่อากาศเป็นมลพิษมากขนาดนี้เราในฐานะสมาชิกคนหนึ่งของโลกควรจะมีส่วน ช่วยกันทำนุบำรุงรักษาให้สภาพแวดล้อมไม่เลวร้ายไปกว่านี้และสามารถฟื้นคืนกลับสภาพที่บริสุทธิ์ได้ ในอนาคตพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวทรงมีพระราชดำริส่งเสริมการลดภาวะมลพิษทั้งทางน้ำและทางอากาศโครงการกระถางจากผักตบชวาซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา พระราชวังดุสิตกระถางผักตบชวานั้นนำไปใช้ในการเพาะต้นกล้าหรือต้นไม้แทนการใช้ถุงพลาสติก [1] เมื่อต้นไม้โตพอที่จะลงดินหรือลงกระถางใหญ่ได้แล้วก็สามารถนำไปลงดินทั้งกระถางได้เลยเมื่อกระถาง ย่อยสลายก็จะกลายเป็นปุ๋ยของต้นไม้ต่อไป ปัจจุบันการผลิตกล้าไม้ของเกษตรกรเกษตรกรจะปลูกหรือชำกล้าไม้ในถุงเพาะชำพลาสติก [2] หรือกระถางเพาะชำที่ทำจากพลาสติกซึ่งหาซื้อได้สะดวกและมีราคาถูก แต่เมื่อถึงเวลาปลูกลงดิน เกษตรกรจะต้องฉีกถุงพลาสติกหรือนำต้นกล้าออกจากกระถางพลาสติกอาจทำให้กระทบกระเทือนต่อ รากของต้นกล้าได้และนอกจากนั้นเศษถุงพลาสติก

ยังเป็นขยะที่ย่อยสลายยากส่วนกระถางพลาสติก [3] แทนที่จะนำไปใช้เพาะชำได้ใหม่ก็ทำไม่ได้เพราะไม่มีการซื้อคืนเนื่องจากกระถางพลาสติกเก่ามีราคาถูก จนไม่คุ้มกับที่จะนำกลับมาใช้ใหม่จึงต้องถูกทิ้งเป็นขยะย่อยสลายยาก จากแนวคิดในการรณรงค์การลดภาวะมลพิษ (การปลูกต้นไม้) โดยเฉพาะกล้าไม้ขนาดเล็ก คณะผู้จัดทำจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาการจัดทำกระถางต้นไม้สำหรับกล้าไม้ขนาดเล็กโดยใช้วัสดุจาก ธรรมชาติแทนถุงพลาสติกในการเพาะกล้าไม้เพื่อย่อยสลายง่ายไม่เป็นมลพิษและไม่ส่งผลกระทบกับ กล้าไม้ที่จะนำไปปลูกต่อไป [4-7]

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอัดขึ้นรูปกระถางเพาะชำชีวภาพ

2.2 เพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการอัดขึ้นรูปกระถางเพาะชำชีวภาพ

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 กำหนดปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบ ซึ่งพิจารณาปัจจัยหลักจาก มาตรฐานการทำงานของเครื่องอัดขึ้นรูป

3.1.1 อุณหภูมิ (Temperature) การให้ความร้อนกับวัสดุที่จะทำการขึ้นรูป สิ่งที่สำคัญ คือการกำหนดอุณหภูมิให้เหมาะสมกับวัสดุทำให้ตัวประสานอยู่ในช่วงที่ตัวประสานมีความ เหนียว สามารถยึดเกาะฟางข้าวและอุณหภูมิที่ตัวประสานจะเซ็ตตัวกับฟางข้าว จากการทดลองอัดขึ้น รูปกระถางเพาะชำชีวภาพ พบว่าช่วงอุณหภูมิที่สามารถขึ้นรูปกระถางได้ อยู่ในช่วงอุณหภูมิ 205-245 °C มาจากการทดลองเบื้องต้น อุณหภูมิ 225°C เป็นค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่ทำการทดลองเบื้องต้น ดังนั้น อุณหภูมิ แบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ 205°C 225°C และ 245°C กำหนดให้ปัจจัยเป็นสัญลักษณ์ A

3.1.2 ระยะเวลาให้ความร้อน (Heating time) การพิจารณาช่วงเวลาในการให้ความร้อน ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ เวลาเริ่มต้นที่สามารถขึ้นรูปได้ อยู่ที่ 4 นาที ถ้าน้อยกว่า 4 นาที ไม่สามารถขึ้นรูปได้ในอุณหภูมิที่ 205 °C ถ้ามากกว่า 6 นาที ในอุณหภูมิที่ 245 °C จะทำให้กระถางที่ขึ้นรูปไหม้จน ไม่สามารถขึ้นรูปได้ เวลาที่ 4-6 นาที มาจากการทดลองเบื้องต้น เวลาที่ 5 นาที เป็นค่าเฉลี่ยที่ทำการ ทดลองเบื้องต้น ดังนั้นระยะเวลาให้ความร้อน แบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ 4 นาที5 นาที และ6 นาที กำหนดให้ปัจจัยเป็นสัญลักษณ์ B[8]

ตารางที่ 1 ปัจจัยที่ใช้ในการทดลองผลการวิจัย

ปัจจัย	สัญลักษณ์	ระดับของปัจจัย		
		1	2	3
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	A	205	225	245
ระยะเวลาให้ความร้อน (นาที)	B	4	5	6

3.2 การเตรียมวัสดุ-อุปกรณ์ สำหรับการอัดขึ้นรูปกระถางด้วยฟางข้าว



รูปที่ 1 การเตรียมวัสดุ-อุปกรณ์สำหรับการอัดขึ้นรูปกระถางด้วยฟางข้าว

รูปที่ 1 การเตรียมวัสดุ-อุปกรณ์ ต่างๆ เช่น เครื่องอัดขึ้นรูปกระถางเพาะชำชีวภาพ, กระถางที่ทำการทดลอง, ฟางข้าว, มันสำปะหลัง, ใบตอง เป็นต้น

3.3 ขั้นตอนการอัดขึ้นรูปกระถางเพาะชำชีวภาพ

3.3.1 วัดความชื้นฟางข้าว วิธีการวัดค่าความชื้น ใช้หัว Prude วัดไปที่ฟางข้าว การวัดความชื้นของฟางข้าวความชื้นที่ใช้ 8-10 %



รูปที่ 2 การวัดความชื้นฟางข้าว

3.3.2 สัดส่วนของการขึ้นรูปกระถาง



รูปที่ 3 สัดส่วนของการขึ้นรูปกระถาง

จากรูปที่ 3 เป็นการผสมสัดส่วนของการขึ้นรูปกระถาง โดยมีสัดส่วนดังนี้ แป้ง 40 กรัม, น้ำ 80 มิลลิลิตร, ฟางข้าว 80 กรัม การอัดขึ้น

รูปกับแม่พิมพ์ที่อุณหภูมิ 205 °C 225 °C และ245 °C ในเวลาที่ 4 นาที 5 นาที และ 6 นาที ฮีทเตอร์ที่ใช้ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 0-290 °C

4. ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาการผลิตกระถางเพาะชำชีวภาพจากฟางข้าว มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมต่อการอัดขึ้นรูปกระถางเพาะชำชีวภาพ จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ค่าสถิติที่ใช้ ได้แก่ ร้อยละ (Percentage) ค่าเฉลี่ย (Mean) ผลการวิจัยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 การทดลองอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมต่อการผลิตกระถางเพาะชำชีวภาพจากฟางข้าว

ตารางที่ 2 การทดลองอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมต่อการผลิตกระถางเพาะชำชีวภาพจากฟางข้าว

อัตราส่วน			ผลการทดลอง
แป้ง (กรัม)	น้ำ (มิลลิลิตร)	ฟางข้าว (กรัม)	
20	100	80	
40	60	100	
40	80	80	

จากตารางที่ 2 อัตราส่วนที่เหมาะสมกับการขึ้นรูปนั้น พิจารณาจากอัตราส่วนที่สามารถขึ้นรูปได้ง่าย เมื่อขึ้นรูปแล้วคงสภาพได้ไม่บิดเบี้ยว จากการสังเกตลักษณะดังกล่าว พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการขึ้นรูปกระถางเพาะชำชีวภาพ คืออัตราส่วนระหว่าง แป้ง 40 กรัม น้ำ 80 มิลลิลิตร และฟางข้าว 80 กรัม

4.2 การทดลองหาช่วงอุณหภูที่จะทำการขึ้นรูปได้

ตารางที่ 3 ผลการทดลองหาช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสม

ชุดการทดลอง	เวลา (นาที)	อุณภูมิ (องศาเซลเซียส)	ผลการทดลอง
1	3-5	180-190	เป็นช่วงอุณหภูมิที่ตัวประสานเริ่มหลอมละลาย มีลักษณะเหลว ทำให้ฟางข้าวไม่เกาะตัว
2	3-5	200-210	เป็นช่วงที่อุณหภูมิที่ตัวประสานมีลักษณะเหนียวข้นซึ่งสามารถทำให้ฟางข้าวเกาะตัวกัน
3	3-5	220-230	เป็นช่วงอุณหภูมิที่ตัวประสานมีความเหนียว ฟางข้าวเกาะตัวกันแน่น
4	3-5	240-250	เป็นช่วงอุณหภูมิที่ทำให้ตัวประสานเซ็ตตัวกับฟางข้าวและสามารถขึ้นรูปได้
5	3-5	265-270	เนื่องจากความร้อนสูงเกินไปทำให้แม่พิมพ์ไหม้ และไม่สามารถขึ้นรูปได้ และต้องถอดแม่พิมพ์ออกมาทำความสะอาด

จากตารางที่ 3 พบว่า การทดลองอัดขึ้นรูปกระถางเพาะชำชีวภาพ ในอุณหภูมิที่ 205 °C เป็นอุณหภูมิที่ทำให้ตัวประสานมีลักษณะเหนียวข้น ซึ่งสามารถทำให้ฟางข้าวเกาะตัวกัน และอุณหภูมิที่ 245 °C เป็นอุณหภูมิที่ตัวประสานจะเซ็ตตัวเข้ากับฟางข้าวได้ดีที่สุด

คณะผู้วิจัยได้พิจารณาอุณหภูมิที่จะทำการทดลองจากอุณหภูมิที่ตัวประสานสามารถยึดเกาะฟางข้าว ซึ่งก็คืออุณหภูมิที่ทำให้ตัวประสานมีลักษณะเหนียวข้น จนถึงอุณหภูมิที่ตัวประสานเซ็ตตัวกับฟางข้าว จากตารางข้างต้น พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอัดขึ้นรูปกระถางเพาะชำชีวภาพ คือ 205°C ถึง 245 °C

4.3 การทดลองหาช่วงเวลาที่จะทำการขึ้นรูปได้

ตารางที่ 4 ผลการทดลองหาช่วงเวลาที่เหาะสม

ชุดการทดลอง	เวลา (นาที)	อุณภูมิ (องศาเซลเซียส)	ผลการทดลอง
1	3	225	ไม่สามารถขึ้นรูปได้ ตัวประสานไม่แห้งทำให้ติดกับแม่พิมพ์ ไม่สามารถนำออกมาได้
2	4	225	สามารถขึ้นรูปได้ แต่ตัวประสานยังไม่แห้งทำให้ผิวภายนอกที่ติดกับแม่พิมพ์ถูกดึงหลุด
3	5	225	สามารถขึ้นรูปได้ ตัวประสานเริ่มแห้ง ทำให้มีการติดแม่พิมพ์น้อยลง
4	6	225	สามารถขึ้นรูปได้ดี มีผิวเรียบแต่มีสีน้ำตาลออกไหม้
5	7	225	สามารถขึ้นรูปได้ ฟางข้าวมีความไหม้ ทำให้เกิดช่องว่าง

จากตารางที่ 4 พบว่าเวลาที่เหมาะสมในการอัดขึ้นรูปอยู่ที่ 4 นาที 5 นาที และ6 นาที ซึ่งเป็นเวลาที่สามารถอัดขึ้นรูปกระถางเพาะชำชีวภาพได้ แต่ลักษณะจะแตกต่างกันออกไป ในเวลาที่ 3 นาที ไม่สามารถขึ้นรูปได้ และ7 นาที ฟางข้าวมีความไหม้ ซึ่งไม่เหมาะกับการอัดขึ้นรูป

5. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ศึกษาหาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการอัดขึ้นรูปกระถางเพาะชำชีวภาพ ที่ อุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 205 °C 225 °C และ 245 °C เวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปกระถาง 4 นาที 5 นาที และ 6 นาที โดยวิธีการขึ้นรูปร้อนทุกครั้งในการทดลองใช้อัตราส่วนผสมคือ แป้ง 40 กรัม น้ำ 80 มิลลิลิตร และฟางข้าว 80 กรัม สภาวะการอัดขึ้นรูปกระถางเพาะชำชีวภาพทุกครั้ง ใช้ใบตองและน้ำมันพืช ช่วยลดการติดของแม่พิมพ์ วิเคราะห์ผลจากจำนวนกระถางที่อยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ โดยพิจารณาจากลักษณะรูปร่างของกระถางและขนาดของกระถาง ซึ่งการยอมรับได้ในที่นี้ คือ การยอมรับได้ตรงกัน ทั้งลักษณะรูปร่างของกระถางและขนาดของกระถาง

การอัดขึ้นรูปกระถางเพาะชำชีวภาพจากฟางข้าว จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในเวลาทั้ง 3 ระดับ คือ 245 °C เวลาในการอัดขึ้นรูปกระถางเพาะชำชีวภาพที่เหมาะสม คือ 4 นาที เนื่องจากใช้เวลาในการอัดขึ้นรูปกระถางน้อยกว่าในเวลา 5 นาที และ 6 นาที

งานวิจัยนี้เป็นการอัดขึ้นรูปกระถางเพาะชำชีวภาพสำหรับเพาะกล้าไม้ขนาดเล็ก โดยวัสดุจากธรรมชาติ คือฟางข้าว เพื่อใช้แทนถุงพลาสติก โดยสามารถย่อยสลายได้ง่าย ไม่เป็นมลพิษและไม่ส่งผลกระทบกับกล้าไม้ที่จะนำไปปลูกลงดิน

6. ข้อเสนอแนะ

1.การศึกษาครั้งต่อไปควรศึกษาแรงที่ใช้ในการกดอัด

2.การศึกษาครั้งต่อไปควรศึกษาเรื่องของวัสดุอื่น

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากนักศึกษาภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์สุพรรณบุรี ที่ได้ช่วยรวบรวมเก็บข้อมูลผลการทดลองในครั้งนี้

8. เอกสารอ้างอิง

[1] พินทุม รุ่งทองศรี, สุชานันท์ สิริอัจฉรานนท์. เครื่องอัดกระถางผักตบชวาระบบไฮดรอลิก. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรม ศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. นครปฐม; 2556.

[2] อนนท์ สุขสวัสดิ์. 2543. การจัดการฟางข้าวเพื่อการปรับปรุงดินและเพิ่มผลผลิตข้าว.กรมวิชาการ เกษตร.

[3] นุชนาฎ นิลออ และกนกรัตน์ รัตนพันธุ์. (2561). การผลิตกระถางเพาะชำต้นไม้จากวัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน. การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 10 “ราชมงคลขับเคลื่อนนวัตกรรมก้าวไกลสู่ Thailand 4.0”. วันที่ 1 – 3 สิงหาคม 2561, โรงแรมเรือรัษฎา จังหวัดตรัง. 674-686.

[4] พินทุม รุ่งทองศรี, สุชานันท์ สิริอัจฉรานนท์. เครื่องอัดกระถางผักตบชวาระบบไฮดรอลิก. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรม ศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. นครปฐม; 2556.

[5] กิตติชัย โสพันนา, วิชชุดา ภาโสม, กนกวรรณ วรดง, อนันตสิทธิ์ ไชยวังราช. การประดิษฐ์และสมบัติของกระถาง ชีวภาพ. SNRU J Sci Tech 2558;7(2):1-7.

[6] ธีทร ม่วงเอี่ยม และคณะ.การศึกษาลักษณะทางกายภาพของภาชนะจากธรรมชาติ,”วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ปีที่ ,3 ฉบับที่ 1, พ.ศ. 2564.

[7] ประเสริฐ ชุมปัญญา และคณะ.(2554). การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการขึ้นรูปด้วยระบบสุญญากาศสำหรับพลาสติกชนิดโพลิไวนิลคลอไรด์

[8] เตือนใจ ปียัง และคณะ. กระถางต้นไม้ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มวัสดุเหลือทิ้งจากการเพาะเห็ดปีที่ 10, ฉบับที่ 3, กันยายน - ธันวาคม 2561



นายอติศักดิ์ ไสวอมร

- อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ งานวิจัยที่สนใจ คือ การวิเคราะห์ความเสี่ยงของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวโดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ความบกพร่องและผลกระทบ



ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิทฤทธิ์ โคตรมณี

- อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ งานวิจัยที่สนใจ คือ การออกแบบการเรียนการสอนทางวิศวกรรมศาสตร์, วิศวกรรมไมโครเวฟและความถี่สูง



ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุประวิทย์ เมืองเจริญ

- อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ผลงานวิจัยที่สนใจคือวงจรอิเล็กทรอนิกส์ การออกแบบวงจรกรองความถี่ และระบบควบคุมหุ่นยนต์

แชทบอทประชาสัมพันธ์ข้อมูลสายรถโดยสาร: กรณีศึกษาโรงงานผลิตระบบส่งกำลัง

Bus Line Information Chatbot: A Powertrain Factory Case Study

ปณัฐ มณีพงษ์เศรษฐ* กุลวลัญช์ วรุณสิน และ นันทวรรณ อ่ำเอี่ยม

สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรมและเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

282 ถนนรามคำแหง หัวหมาก บางกะปิ กรุงเทพมหานคร 10240 อีเมล์ของผู้แต่ง 6414940003@rumail.ru.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาแชทบอทประชาสัมพันธ์ข้อมูลสายรถโดยสารในองค์กร กรณีศึกษาโรงงานผลิตระบบส่งกำลังแห่งหนึ่ง โดยผู้วิจัยได้ทำการศึกษาสภาพปัจจุบันของการประชาสัมพันธ์ข้อมูลสายรถในกลุ่มพนักงานสายการผลิตนั้นเป็นแบบเสียงตามสายและบอร์ดประชาสัมพันธ์ อย่างไรก็ตามยังคงพบปัญหาร้องเรียนจากพนักงานเรื่องการประชาสัมพันธ์ที่ไม่ทั่วถึงและมีความผิดพลาดในการประชาสัมพันธ์ข้อมูลสายรถโดยสาร ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้พัฒนาแชทบอทประชาสัมพันธ์สายข้อมูลรถโดยสารในองค์กรบนแอปพลิเคชันไลน์ (Line Application) ร่วมกับบนแพลตฟอร์มบอทน้อย (Botnoi platform) โดยมีการทดสอบใช้งานเป็นระยะเวลา 6 เดือน ระหว่างเดือนตุลาคม 2565 ถึง มีนาคม 2566 ผลการสำรวจความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างจำนวน 108 คน อ้างอิงจากการใช้งานประสิทธิภาพในแบบสอบถามแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ อยู่ในกลุ่มคะแนนเฉลี่ย 4.51 - 5.00 หมายถึงผู้ใช้งานระบบมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด นอกจากนี้ผลการสำรวจสามารถนำเอาความคิดเห็นเพิ่มเติมมาต่อยอดและพัฒนาแชทบอทให้ตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานได้ในอนาคต

คำสำคัญ : แชทบอท รถโดยสาร ปัญญาประดิษฐ์

Abstract

This research is a Chatbot application developed for bus line information service: a case study of a powertrain factory. The researchers studied the current state of public relations for employees through voice publicity and public boards. However, there are still complaints from employees due to inadequate public relations and mistakes in bus publicity. As a result, this research has developed a Chatbot to promote the organization's bus information on the Line application using the Botnoi platform and tested it for 6 months, from October 2022 to March 2023. The satisfaction survey results of 108 samples are based on the performance of the questionnaire on a rating scale of 5 levels, with an average score of 4.51 to 5.00, indicating that users are satisfied system Chatbot. Moreover, survey results can provide additional opinions to help develop Chatbot that will fulfill the demands of users in the future.

Keywords: Chatbot, Bus Information, Artificial Intelligence

1. บทนำ

โรงงานในประเทศไทยส่วนมากจะมีสวัสดิการรถรับส่งเพื่ออำนวยความสะดวกสำหรับพนักงานในการเดินทางไปยังโรงงานและกลับบ้าน ดังนั้นการให้บริการรถรับส่งพนักงานจึงเป็นสวัสดิการที่สำคัญและอาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการผลิตรวมถึงความพึงพอใจของพนักงาน ผู้วิจัยได้ศึกษาสภาพปัจจุบันของโรงงานผลิตระบบส่งกำลังแห่งหนึ่งพบว่ามีโอกาสที่จะนำเอาเทคโนโลยีแชทบอทเข้ามาบูรณาการร่วมกับประชาสัมพันธ์ข้อมูลสายรถโดยสารในองค์กรได้

แชทบอทเป็นแอปพลิเคชันซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการสนทนากับมนุษย์อย่างเป็นธรรมชาติ และถูกนำมาใช้อุตสาหกรรมต่างๆ อย่างแพร่หลายด้วยวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน เช่น แชทบอทเพื่ออำนวยความสะดวกในการให้บริการในงานอุตสาหกรรมต่างๆ เช่นการจองโรงแรม [1] การพัฒนาแชทบอทเพื่อช่วยอำนวยความสะดวกในการให้บริการลูกค้าเพื่อดำเนินการซื้อสินค้าและบริการด้วยสื่ออิเล็กทรอนิกส์ผ่านระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์บนอินเทอร์เน็ต หรือการซื้อขายแบบออนไลน์ (e-commerce) [2] แชทบอทที่ดีสามารถการแยกวิเคราะห์ข้อมูลได้ตรงตามความต้องการของผู้ใช้งานด้วยการประมวลผลทางภาษา (Natural Language Processing: NLP) ตามไวยากรณ์อันเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับผู้ใช้งานแชทบอทเพื่อให้แชทบอทสามารถตอบคำถามได้ตรงตามความต้องการของผู้ใช้ ทำให้ผู้ใช้งานมีประสบการณ์ที่ดีกับการใช้งานแชทบอทและกลับมาใช้บริการใหม่ ดังนั้นการบริหารแชทบอทที่ดีจึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการพัฒนาแชทบอทให้มีประสิทธิภาพ ตัวอย่างการพัฒนาระบบแชทบอทเพื่อการประชาสัมพันธ์หลักสูตรแบบอัตโนมัติ กรณีศึกษาโปรแกรมวิชาวิทยาการสารสนเทศ [3] และพัฒนาแชทบอทเพื่อการสื่อสารบริการการแพทย์ฉุกเฉินบริเวณพื้นที่เมืองพิษณุโลก [4]

แชทบอทเป็นคำย่อมาจากแชท (Chat) และโรบอท (Robot) หมายถึงโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับสื่อสารโต้ตอบกับผู้มาติดต่ออัตโนมัติ โดยสามารถพัฒนาให้โต้ตอบลื่นไหลเหมือนการพูดคุยแทนคนจริงๆ ตัวโปรแกรมจะทำงานอยู่บนระบบเก็บข้อมูลที่สามารใช้งานได้ตลอดเวลาได้ทุกที่ ไม่จำเป็นต้องมีเครื่องเซิร์ฟเวอร์มาตั้งอยู่ภายในสำนักงาน (cloud sever) อีกทั้งแชทบอทสามารถสื่อสารผ่าน ข้อความ รูปภาพ เสียง เป็นต้น นอกจากนั้นแชทบอทยังสามารถ เชื่อมต่อกับระบบการสอนให้เครื่องได้เรียนรู้จากประสบการณ์ก่อนหน้า (Machine Learning: ML) ที่ซับซ้อน ที่เป็นเทคนิคหนึ่งในการสร้างประบบปัญญาประดิษฐ์ ดังนั้น ML เป็นเครื่องมือสำคัญอีกชิ้นหนึ่งในการพัฒนาแชทบอทให้โต้ตอบผู้ใช้งานได้ใกล้เคียงกับคนจริงๆ ได้ระดับหนึ่ง ซึ่งเป็นประโยชน์ที่ได้รับจากการเปลี่ยนแปลงอันมีสาเหตุมาจากการพัฒนา

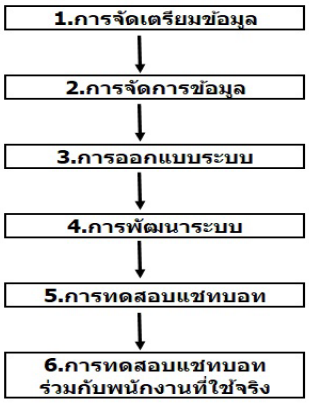
ของเทคโนโลยีที่มีความล้ำสมัย (Digital Disruption) ทำให้เกิดนวัตกรรมใหม่ที่สามารถช่วยทำงานร่วมกับมนุษย์ได้ดียิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อพัฒนาแชทบอทประชาสัมพันธ์สายข้อมูลรถโดยสารในองค์กรบนแอปพลิเคชันไลน์ในโรงงานผลิตระบบส่งกำลังแห่งหนึ่งเนื่องจากพบปัญหาการประชาสัมพันธ์ข้อมูลสายรถโดยสารที่ไม่ทั่วถึงในพนักงานบางกลุ่ม เช่น พนักงานที่ต้องทำงานนอกสถานที่ หรือ พนักงานที่ต้องทำงานในสถานที่มีเสียงดัง เช่น เครื่องจักรที่มีเสียงดัง และยังพบการประกาศเสียงตามสายที่มีความผิดพลาด งานวิจัยนี้จึงนำแชทบอทซึ่งเป็นแอปพลิเคชันซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการสนทนากับมนุษย์ด้วยการประมวลผลทางภาษาที่สร้างการสนทนาสำหรับการใช้งานในรูปแบบต่างๆ เพื่อเป็นประโยชน์ต่อบริษัท ลูกค้า และพนักงาน ทั้งนี้แชทบอทสามารถใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ด้วยวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกันได้ โดยในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาแชทบอทบนแพลตฟอร์มบอทน้อยร่วมกับเทคนิคการรู้จำอักขระด้วยแสง (Optical Character Recognition: OCR) และ แพลตฟอร์ม Google Apps script ที่ช่วยในการพัฒนาแอปพลิเคชันด้วยการเขียนโค้ดที่น้อยลง (Low-Code) ทำให้สามารถขยายฟังก์ชันการทำงานใหม่ๆ ได้ด้วยตนเอง นอกจากนี้ยังสามารถปรับให้เป็นระบบอัตโนมัติได้อย่างรวดเร็วและง่ายดาย ผลการพัฒนาพบว่าแชทบอทประชาสัมพันธ์ข้อมูลสายรถโดยสารเป็นสิ่งใหม่ที่ไม่เคยมีมาก่อนในโรงงานผลิตระบบส่งกำลังแห่งนี้ ทำให้พนักงานรวมทั้งผู้บริหารเกิดความสนใจอย่างมาก พบว่าพนักงานทุกคนสามารถรับบริการข้อมูลการประชาสัมพันธ์ได้รวดเร็ว ถูกต้อง และค้นหาข้อมูลสายรถโดยสารได้ตลอดเวลา จึงทำให้พนักงานมีความพึงพอใจกับการรับบริการรับข้อมูลข่าวสารกับทางโรงงานได้เป็นอย่างดี

2. กระบวนการวิจัย

รายละเอียดขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยและการวิเคราะห์ข้อมูลมีดังนี้

2.1 วิธีดำเนินการวิจัย



รูปที่ 1 ขั้นตอนวิธีการวิจัย

รูปที่ 1 อธิบายขั้นตอนการวิจัยประกอบด้วย 1) การจัดเตรียมข้อมูลปัจจุบัน ศึกษาปัญหาและความต้องการของพนักงาน 2) การจัดการข้อมูล โดยเรียบเรียงข้อมูลผ่านการจำแนกกลุ่มของข้อมูลเพื่อวิเคราะห์หาแนวทางแก้ไข 3) ออกแบบแชทบอท 4) การพัฒนาระบบเป็นการจัดเก็บข้อมูลสายรถโดยสารใน Google Sheets แอปพลิเคชันและเชื่อมต่อฐานข้อมูลด้วยการสร้างส่วนการเชื่อต่อ (API) เพื่อให้แชทบอทติดต่อกับฐานข้อมูลได้อย่างสะดวก 5) การทดสอบแชทบอทร่วมกับบุคคลที่ใช้งานจริงบางส่วนและผู้รับผิดชอบเปลี่ยนบทบาทตัวเองเป็นผู้ทดสอบระบบ 6) การใช้งานแชทบอทโดยพนักงานเพื่อติดตามการใช้งานของผู้ใช้บริการแชทบอทเพื่อค้นหาสายรถโดยสาร และเก็บบทสนทนาใหม่ ๆ เข้าสู่กระบวนการปรับปรุง การพัฒนาบทสนทนา (Dialogue) เพื่อที่จะทำให้แชทบอทมีความสามารถครอบคลุมคำใหม่ๆ และเป็นการปรับปรุงบทสนทนาอยู่เสมอ

2.1.1 ประชากรที่ใช้ในการวิจัย

จำนวนกลุ่มเป้าหมายของการศึกษาวิจัยประเมินความพึงพอใจสามารถคำนวณได้จากการใช้สูตรของทาโร่ ยามาเน่ [5] ดังแสดงในสมการที่ (1)

$$n = N / (1+Ne^2) \quad (1)$$
$$n = 148 / (1+148(0.05^2))$$
$$n = 108$$

โดยที่ n คือ ขนาดของกลุ่มประชากรตัวอย่าง N คือ ขนาดของประชากร e คือ ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ ร้อยละ 5 หรือ 5% ทำให้มีค่า e เท่ากับ 0.05)

ดังนั้นจำนวนข้อมูลที่ใช้สำรวจสำหรับงานวิจัยในโรงงานกรณีศึกษาระหว่างช่วงเดือนตุลาคม 2565 ถึง มีนาคม 2566 จำนวน 108 ราย ซึ่งแบ่งเป็นพนักงานโรงงานที่ใช้รถบริการคิดเป็น 91% พนักงานที่ดูแลกำกับรถบริการคิดเป็น 6% ผู้บริหารที่ดูแลกำกับรถบริการคิดเป็น 3% โดยผู้ตอบแบบสำรวจประกอบด้วยพนักงานโรงงานเพศชายคิดเป็น 69% และพนักงานโรงงานเพศหญิงคิดเป็น 31%

2.1.2 การจัดเก็บรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์ปัญหา

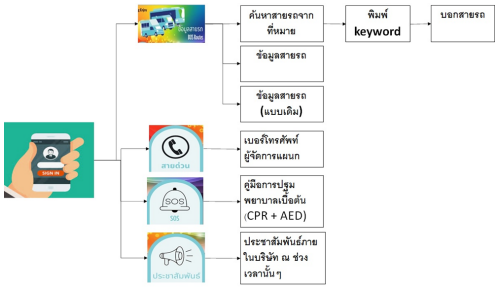
งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลของฝ่ายกิจการทั่วไปของโรงงานผลิตระบบส่งกำลัง ในส่วนของข้อมูลปัญหาร้องเรียน จากการสำรวจความพึงพอใจของพนักงานเพื่อการศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาเบื้องต้น จากการวิเคราะห์พบปัญหาการประชาสัมพันธ์ข้อมูลสายรถโดยสารเป็นปัญหาที่มีน้ำหนักความสำคัญมากที่สุด และส่งผลกระทบโดยตรงกับพนักงานและโรงงานจึงควรมีการพัฒนาระบบหรือเทคโนโลยีแบบใหม่เข้ามาช่วยประชาสัมพันธ์ข้อมูลสายรถโดยสารให้มีความทันสมัย รวดเร็ว และถูกต้อง

2.2 การออกแบบและพัฒนาแชทบอทประชาสัมพันธ์สายข้อมูลระโดยสาร

ขั้นตอนการออกแบบและพัฒนาแชทบอทประชาสัมพันธ์สายข้อมูลระโดยสาร สามารถแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

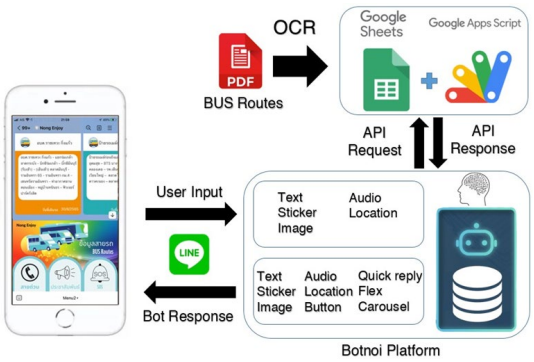
2.2.1 การออกแบบพัฒนา

แชทบอทสามารถออกแบบการทำงานออกเป็น 4 จุดประสงค์ คือ การค้นหาสายรถโดยสาร การให้ข้อมูลสายด่วน การติดต่อกรณีฉุกเฉิน และข่าวประชาสัมพันธ์ ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 การออกแบบพัฒนาแชทบอทประชาสัมพันธ์ข้อมูลสายรถ

2.2.2 การพัฒนาระบบ



รูปที่ 3 การพัฒนาระบบแชทบอทประชาสัมพันธ์ข้อมูลสายรถ

เมื่อผู้ใช้งานร้องขอการค้นหาสายรถผ่านแชทบอทผ่านช่องทาง LINE Messaging API ด้วยจุดหมายเฉพาะของตนเอง แชทบอทจะส่งข้อมูลจุดหมายของผู้ใช้งานผ่าน API และรอคำตอบกลับซึ่งก็คือเลขที่สายรถ เส้นทางเดินรถ และข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสายรถนั้น จากนั้นแชทบอทจะนำคำตอบเหล่านั้นส่งเป็นข้อมูลให้กับผู้ใช้งานในรูปแบบข้อความแบบการ์ดออกแบบเองได้ (flex) ทันที

กรณีที่ผู้ใช้ต้องการข้อมูลด้านอื่นที่มักจะมีผู้ใช้หลายคน โดยเป็นคำถามซ้ำๆ และต้องการค้นข้อมูลอย่างรวดเร็ว เช่น ข้อมูลสายด่วน การติดต่อกรณีฉุกเฉิน และ ข่าวประชาสัมพันธ์ ผู้ใช้สามารถเลือกใช้บริการจาก Rich Menu ของแชทบอท เพิ่มเติมจากการที่ผู้ใช้งานจะพิมพ์ค้นหาข้อมูลด้วยตนเองได้อีกด้วย หลังจากได้รับข้อมูลที่ทราบเจตนาหรือความต้องการของผู้ใช้งานแล้วแชทบอทจะตอบด้วยข้อความในเวลาที่รวดเร็ว ตามรูปแบบต่างๆ ที่ออกแบบไว้ก่อนหน้านี้ เช่น ข้อความ (Text message), ข้อความรูปภาพ (Image), ข้อความแบบปุ่มกด (Button), ข้อความแบบ Imagemap, ข้อความแบบการ์ด (Carousel), ข้อความแบบการ์ดออกแบบเองได้ (Flex) และข้อความปุ่มกดตัวเลือก (Quick reply) ดังแสดงในรูปที่ 3

ภาพรวมการพัฒนาแชทบอทสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3 โดยเริ่มต้นระบบจะใช้การเชื่อมต่อฐานข้อมูล สายรถบริการที่มาในรูปแบบของไฟล์เอกสาร เช่น PDF แปลงเป็นฐานข้อมูลจัดเก็บในแอปพลิเคชัน Google Sheets ด้วยการใช้เทคนิคเทคนิคการรู้จำอักขระด้วยแสง (OCR) บนแพลตฟอร์ม Google Suit โดย OCR เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ระบบคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการเปลี่ยนลายมือหรือข้อความจากไฟล์เอกสารให้อยู่ในรูปของตัวอักษรที่ระบบคอมพิวเตอร์สามารถเข้าใจได้ จากนั้นเมื่อมีการร้องขอข้อมูลการค้นหาสายรถจากแชทบอทที่พัฒนาบนแพลตฟอร์มของไลน์และบอทน้อย [5,6] ส่วน Google Apps script จะทำหน้าที่เป็นการเชื่อมต่อจากระบบแชทบอทไปสู่การค้นหาข้อมูลในระบบฐานข้อมูล ด้วยเทคโนโลยีของ API (Application Programming Interface) เพื่อให้ซอฟต์แวร์ภายนอกเข้าถึงข้อมูลนั้นๆได้ โดยทำหน้าที่รองรับการร้องขอข้อมูลจากผู้ใช้งานผ่านช่องทาง LINE Messaging API ไม่ว่าจะเป็นการค้นหาสายรถ ขอข้อมูลสายด่วน การติดต่อกรณีฉุกเฉิน และ ข่าว ประชาสัมพันธ์ ผู้ใช้สามารถเลือกใช้บริการจาก Rich Menu ของแชทบอทได้อย่างสะดวก

3. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยแฟลตฟอร์มบอทน้อยสำหรับพัฒนาแชทบอทในแอปพลิเคชันไลน์ ร่วมกับเทคนิคการรู้จำอักขระด้วยแสง (OCR) และ แพลตฟอร์ม Google Apps script ของ Google Suit โดยมีรายละเอียดการวิเคราะห์ผลการทดสอบดังนี้

3.1 ผลการทดสอบใช้งานแชทบอท

เมื่อผู้ใช้งานเพิ่มแชทบอทเป็นเพื่อน ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงเมนูหลักของแชทบอทเรียกว่าริชเมนู (Rich Menu) แสดงดังรูปที่ 4 โดยในแชทบอทนี้ประกอบด้วย 4 เมนูหลัก คือ

1) ข้อมูลสายรถบริการ: ข้อมูลสายรถจะประกอบไปด้วยเมนูย่อย 3 หัวข้อ คือ การค้นหาสายรถจากที่หมาย โดยสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5, ข้อมูลสายหลัก แสดงดังรูปที่ 6 และข้อมูลสายรถแบบเดิมแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 4 ริชเมนูแชทบอทประชาสัมพันธ์ข้อมูลสายรถ



รูปที่ 5 การค้นหาสายรถในแชทบอท
แสดงในรูปแบบข้อความปุ่มกดตัวเลือก (Quick reply)

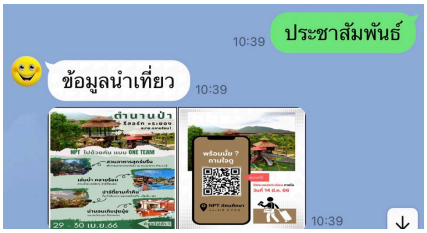


รูปที่ 6 ตัวอย่างผลการค้นหาสายรถ
แสดงในรูปแบบการ์ดออกแบบเองได้ (Flex)

2) สายด่วน: แจ้งสายด่วนผู้จัดการแสดงรูปที่ 7
3) ประชาสัมพันธ์: ข้อมูลข่าวสารประชาสัมพันธ์ภายในแสดง รูปที่ 8
4) SOS: ประชาสัมพันธ์สายด่วนและวิธีการทำ CPR, AED ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 7 แชทบอทประชาสัมพันธ์ข้อมูลสายด่วน
แสดงในรูปแบบ Imagemap



รูปที่ 8 ตัวอย่างแสดงผลประชาสัมพันธ์ข้อมูล
ในรูปแบบข้อความ (Text message) และข้อความรูปภาพ (Image)



รูปที่ 9 ตัวอย่างแสดงผล SOS ในรูปแบบข้อความรูปภาพ (Image)

3.2 ผลการประเมินความพึงพอใจ

รายละเอียดการประเมินผลความพึงพอใจในหัวข้อความเที่ยงตรงของแบบสอบถาม วิธีการเก็บรวบรวมผลสำรวจ และการใช้งานแชทบอทประชาสัมพันธ์สายข้อมูลรถโดยสารในองค์กร สามารถแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

3.2.1 ความเที่ยงตรงของแบบสอบถาม IOC (Index of item objective congruence) ผลการพิจารณาความเที่ยงตรงของแบบสอบถามจากผู้เชี่ยวชาญในเรื่องของข้อคำถามมีค่า IOC ตั้งแต่ 0.50-1.00 สามารถแสดงดังตารางที่ 1 พบว่ามีค่าความเที่ยงตรงใช้ได้

ตารางที่ 1 ผลการประเมินความเที่ยงตรงของแบบสอบถาม (IOC)

หัวข้อ	ผลการผลการพิจารณาจากผู้เชี่ยวชาญ									∑R	IOC= ∑R/N	สรุป
	ผู้จัดการฝ่ายกิจการทั่วไป			ผู้จัดการทั่วไปกิจการทั่วไป			อาจารย์ประจำสาขาวิชาการจัดการวิศวกรรมฯ					
	1	0	-1	1	0	-1	1	0	-1			
1) รูปแบบการใช้งานระบบ	1			1			1			3	1	ใช้ได้
2) การทำงานของระบบ	1			1			1			3	1	ใช้ได้
3) การออกแบบใช้งานง่าย	1			1			1			3	1	ใช้ได้
4) การใช้เทคโนโลยีเพื่อการประชาสัมพันธ์ในองค์กร	1			1			1			3	1	ใช้ได้
5) สามารถสื่อสารได้รวดเร็ว	1			1			1			3	1	ใช้ได้
6) สามารถเข้าถึงผู้รับบริการได้ทั่วถึง	1			1			1			3	1	ใช้ได้
7) ประหยัดเวลาของการประชาสัมพันธ์และรับข่าวสาร	1			1			1			3	1	ใช้ได้
8) สามารถสื่อสารได้อย่างแม่นยำ		0		1			1			2	0.7	ใช้ได้
9) สามารถลดความผิดพลาดของการประชาสัมพันธ์	1			1			1			3	1	ใช้ได้
10) ความพึงพอใจของผู้รับบริการเมื่อเทียบกับแบบ	1			1			1			3	1	ใช้ได้

3.2.2 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล ใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบไม่ใช้ทฤษฎีความน่าจะเป็น (Non Probability Sampling) กำหนดกลุ่มตัวอย่างแบบบังเอิญ (Accidental Sampling) จำนวน 108 ราย ผู้ที่รับบริการของพนักงานที่ใช้รถบริการรับส่งรวมถึงพนักงานและผู้บริหาร ผลการตอบแบบสอบถามการใช้งานประสิทธิภาพในแบบสอบถามแบบมาตราส่วน

ประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ สามารถแสดงดังตารางที่ 2 พบว่าอยู่ในกลุ่มคะแนนเฉลี่ย 4.51 - 5.00 หมายถึงผู้ใช้งานระบบมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด

ตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจของพนักงานและผู้บริหาร

หัวข้อ	ค่าเฉลี่ย (5)
1) รูปแบบการใช้งานระบบ	4.78
2) การทำงานของระบบ	4.80
3) การออกแบบใช้งานง่าย	4.75
4) การใช้เทคโนโลยีเพื่อการประชาสัมพันธ์ในองค์กร	4.80
5) สามารถสื่อสารได้รวดเร็ว	4.77
6) สามารถเข้าถึงผู้รับบริการได้ทั่วถึง	4.76
7) ประหยัดเวลาของการประชาสัมพันธ์และรับข่าวสาร	4.78
8) สามารถสื่อสารได้อย่างแม่นยำ	4.74
9) สามารถลดความผิดพลาดของการประชาสัมพันธ์	4.75
10) ความพึงพอใจของผู้รับบริการเทียบกับแบบปัจจุบัน	4.75
ภาพของการประเมินรวม	4.77

3.2.3 การเปรียบเทียบความพึงพอใจการใช้บริการแชทบอท

1) การเปรียบเทียบความพึงพอใจการใช้บริการแชทบอทในเรื่องความสามารถในการสื่อสารได้รวดเร็วก่อนและหลังการใช้บริการแชทบอท จากการวิเคราะห์สถิติโดยใช้การทดสอบทางเดียว (One Way Anova) พบว่าความพึงพอใจการใช้บริการแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (P value = 0.00) และการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Tukey Test พบว่า ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน โดยความพึงพอใจเรื่องความสามารถในการสื่อสารได้รวดเร็วหลังการใช้บริการแชทบอทเพิ่มขึ้นจาก 2.30 เป็น 4.90 คิดเป็น 113.04%

2) การเปรียบเทียบความพึงพอใจในเรื่องของการประชาสัมพันธ์ที่สามารถเข้าถึงผู้รับบริการได้อย่างรวดเร็วและทั่วถึงเปรียบเทียบก่อนและหลังการใช้แชทบอท จากการวิเคราะห์สถิติโดยใช้การทดสอบทางเดียว (One Way Anova) พบว่า ความพึงพอใจการใช้บริการแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (P value = 0.00) และการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Tukey Test พบว่า ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน โดยค่าเฉลี่ยความพึงพอใจเรื่องความสามารถในการเข้าถึงผู้รับบริการได้อย่างทั่วถึงหลังการใช้บริการแชทบอทเพิ่มขึ้นจาก 2.58 เป็น 4.90 คิดเป็น 89.92%

4. สรุป

แชทบอทเป็นแอปพลิเคชันซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการสนทนากับมนุษย์ด้วยการประมวลผลทางภาษาที่สร้างการสนทนาสำหรับการใช้งานในรูปแบบต่างๆ เพื่อเป็นประโยชน์ต่อบริษัท ลูกค้า และพนักงาน

ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้พัฒนาแชทบอทประชาสัมพันธ์สายข้อมูลรถโดยสารในองค์กรบนแอปพลิเคชันไลน์ในโรงงานผลิตระบบส่งกำลังแห่งหนึ่ง ทำการทดสอบใช้งานเป็นระยะเวลา 6 เดือน ระหว่างเดือนตุลาคม 2565 ถึง มีนาคม 2566 ข้อสรุปที่ได้จากการพัฒนาแชทบอทประชาสัมพันธ์ข้อมูลสายรถโดยสารในองค์กรคือ

1. สามารถช่วยให้การประชาสัมพันธ์เข้าถึงพนักงานทุกคน 100%
2. สามารถให้บริการตอบคำถาม ค้นหาข้อมูลที่ผู้ใช้บริการต้องการได้ 24 ชั่วโมง
3. สามารถลดเวลาการทำงานของการประชาสัมพันธ์ได้ 35 นาทีต่อวัน
4. แชทบอทสามารถช่วยยกระดับความสัมพันธ์ระหว่างพนักงานและโรงงานให้ดีขึ้น

ผลการพิจารณาความเที่ยงตรงของแบบสอบถามจากผู้เชี่ยวชาญในเรื่องของข้อคำถาม (IOC) พบว่ามีค่าความเที่ยงตรงใช้ได้ ส่วนผลการวิเคราะห์แบบประเมินความพึงพอใจพนักงานและผู้บริหารจำนวน108 คน ด้วยการสุ่มแบบบังเอิญ เมื่อพิจารณาภาพรวมมีระดับความพึงพอใจในระดับมากที่สุด สำหรับการเปรียบเทียบความพึงพอใจการใช้บริการแชทบอทในเรื่องความสามารถในการสื่อสารได้รวดเร็วโดยใช้ Tukey Test พบว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยความพึงพอใจเรื่องความสามารถในการสื่อสารได้รวดเร็วหลังการใช้บริการแชทบอทเพิ่มขึ้นจาก 2.30 เป็น 4.90 คิดเป็น 113.04% ขณะที่การเปรียบเทียบความพึงพอใจในเรื่องของการประชาสัมพันธ์ที่สามารถเข้าถึงผู้รับบริการได้อย่างรวดเร็วและทั่วถึงโดยใช้ Tukey Test พบว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน โดยค่าเฉลี่ยความพึงพอใจเรื่องความสามารถในการเข้าถึงผู้รับบริการได้อย่างทั่วถึงหลังการใช้บริการแชทบอทเพิ่มขึ้นจาก 2.58 เป็น 4.90 คิดเป็น 89.92%

จากผลการพัฒนาแชทบอทพบว่าสามารถต่อยอดในอนาคตกับงานอื่นๆ เช่น การประชาสัมพันธ์ข้อมูลที่ใช้บ่อยหรือผู้ใช้งานมีคำค้นหาเป็นประจำมาเพิ่มเข้าไปในเมนูหลัก เพื่อให้บริการตอบคำถาม ค้นหาข้อมูลที่ผู้ใช้บริการต้องการ ลดเวลา ลดค่าใช้จ่ายในการประชาสัมพันธ์ของหน่วยงาน และช่วยยกระดับความสัมพันธ์ระหว่างพนักงานและองค์กรให้ดีขึ้น จากผลสำรวจหัวข้อบทสนทนาที่ควรเพิ่มขึ้นคือ การเช็ควันลาคงเหลือ, การเช็คสถานะงานต่าง, การแจ้งประชาสัมพันธ์ทั่วไป และ การแสดงผลในรูปแบบของคลิปวิดีโอเพื่อแสดงตัวอย่างการช่วยเหลือกรณีฉุกเฉิน เป็นต้น

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ โรงงานกรณีศึกษา โรงงานผลิตระบบส่งกำลังซึ่งเป็นผู้ให้คำแนะนำและข้อมูลต่างๆที่เป็นประโยชน์ เอื้อต่อการทำงานวิจัยจนสามารถทำงานวิจัยสำเร็จไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] J. Bozic, OA. Tazl and F. Wotawa, “Chatbot Testing Using AI Planning”, *IEEE International Conference On Artificial Intelligence Testing (AITest)*, 2019, pp. 37–44.

[2] Manik Rakhra, Gurram Gopinadh, Narasimha Sai Addepalli, Gurasis Singh, Shaik Aliraja, Vennapusa Siva Ganeshwar Reddy,

and Muthumula Navaneeswar Redd, “E-Commerce Assistance with a Smart Chatbot using Artificial Intelligence”, *The 2nd International Conference on Intelligent Engineering and Management (ICIEM)*, 2021, pp. 144–148.

[3] เจนนิสา ยศอินทร์ และ วีรอร อุดมพันธ์ (2564). การพัฒนาระบบแชทบอทเพื่อการประชาสัมพันธ์หลักสูตรแบบอัตโนมัติกรณีศึกษาโปรแกรมวิชาวิทยาการสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา.

[4] สโรชา ครุธจับนาค (2564). การศึกษาและพัฒนาแชตบอทเพื่อการสื่อสารบริการการแพทย์ฉุกเฉินบริเวณพื้นที่เมืองพิษณุโลก. วิทยานิพนธ์ คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร.

[5] Jirawatee. (2561).ฉีกกฎการแสดงผลข้อความแบบเดิมๆใน LINE Messaging API ด้วย Flex Message. Published in LINE Developers Thailand. [สืบค้นออนไลน์] ที่ https://medium.com/linedevth/ฉีกกฎการแสดงผลข้อความแบบเดิมๆใน-line-messaging-api-ด้วย-flex-message-4ad4370562f ค้นเมื่อ 22 ตุลาคม 2565.

[6] Win Voravuthikunchai (2562). https://medium.com/linedevth/แชทบอท-แอพลิเคชั่น-ai-ที่ใช้งานอย่างกว้างขวาง-ตอนที่-2-เจาะลึก-66ef91ebf118 ค้นเมื่อ 22 ตุลาคม 2565.

[7] ภัทรานิษฐ์ เหมาะทอง ,วนิดา ทองโคตร ,สุพรรณี อึ้งปัญสัตวงศ์. (ม.ป.ป.) การกำหนดขนาดตัวอย่างโดยใช้สูตร Yamane. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. สืบค้นจาก http://sc2.kku.ac.th/stat/statweb/images/Eventpic/60/Seminar/01_9_Yamane.pdf



ประวัติผู้เขียนบทความ

ว่าที่ร้อยตรี ปณัฐ มณีพงษ์เศรษฐ

จบการศึกษา มหาวิทยาลัยรามคำแหง

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ปี การศึกษา 2547

งานวิจัยที่สนใจ Digital Transformation , Sustainable energy development

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

การวิเคราะห์พฤติกรรมลูกค้าด้วยการเรียนรู้ของเครื่องจักรเพื่อการคัดเลือกสินค้าและให้บริการ กรณีศึกษาบริษัทวางระบบรักษาความปลอดภัย

Analysis of Customer Behavior using Machine Learning for Product Selection and Service: A Case Study of Security System Company

เกรียงวุฒิ วรุณสิน* **เลิศเลขา ศรีรัตนะ** **นันทวรรณ อ่ำเอี่ยม และ บุญธรรม หาญพาณิชย์**

สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรมและเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

282 ถนนรามคำแหง หัวหมาก บางกะปิ กรุงเทพมหานคร 10240. 6414940017@rumail.ru.ac.th*

บทคัดย่อ

ปัจจุบันระบบรักษาความปลอดภัยอัตโนมัติได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในชีวิตประจำวัน ขณะเดียวกันผลิตภัณฑ์ระบบรักษาความปลอดภัยอัตโนมัติมีหลากหลายรูปแบบจึงทำให้ผู้บริโภคมีทางเลือกที่หลากหลาย ดังนั้นการสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้าโดยการนำเสนอสินค้าและบริการที่เหมาะสมจึงเป็นกลยุทธ์ทางการตลาดที่สำคัญอย่างหนึ่งที่สามารถสร้างความสามารถในการแข่งขันให้กับผู้ประกอบการได้ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมการซื้อสินค้าโดยการแบ่งกลุ่มลูกค้าของบริษัทวางระบบรักษาความปลอดภัยแห่งหนึ่งซึ่งใช้เป็นกรณีศึกษา จากการแบ่งกลุ่มโดยใช้เทคนิคการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอนเคมีน (K-Mean Unsupervised Learning Technique) และใช้ข้อมูล 14 ปัจจัย ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเอลโบ (Elbow) สามารถแบ่งกลุ่มลูกค้าที่เหมาะสมที่สุดได้ 4 กลุ่ม คือ กลุ่มลูกค้าซื้อกล้องวงจรปิดชนิด Robot (36%) กลุ่มลูกค้าติดตั้งระบบรักษาความปลอดภัย (34%) กลุ่มลูกค้าซื้ออุปกรณ์เสริม (26%) และกลุ่มลูกค้าช่าง (4%) ซึ่งผลที่ได้สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์แนวโน้มความต้องการสินค้าชนิดใหม่ที่สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้า รวมถึงการวางกลยุทธ์การขายและการให้บริการที่เหมาะสมกับลูกค้าแต่ละกลุ่มได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย

คำสำคัญ : การแบ่งกลุ่มลูกค้า พฤติกรรมการบริโภค การเรียนรู้เครื่องจักร เทคนิคการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอนเคมีน ระบบรักษาความปลอดภัย

Abstract

At present, automated security system plays an important role in daily lives. However, the wide range of automation security products also offers consumers a wide range of choices. Therefore, providing satisfaction by offering appropriate products and services for customers is one of the powerful marketing strategies that can create competitiveness for entrepreneurs. This study aims to analyze the purchasing behaviour by clustering customers of a security system company used as a case study. The K-Mean unsupervised learning technique and 14-factors data were applied for customer segmentation. From Elbow analysis, the customers can be mainly divided into 4 sectors: Robot CCTV camera sector (36%), security system installation sector (34%), accessory sector (26%), and technician sector (4%). These results can be further used to analyze the trend of demand for new products that can meet the needs of customers, as well as to develop sales and service strategies that are suitable for each sector of customers, effectively.

Keywords: Customer Clustering, Purchasing Behavior, Machine Learning, K-Mean Unsupervised Learning Technique, Security System

1. บทนำ

เทคโนโลยีสมัยใหม่กำลังเข้ามาปฏิรูปโครงสร้างภาคอุตสาหกรรมการผลิตและบริการอย่างกว้างขวางและรวดเร็ว เทคโนโลยีหลักที่จะเข้ามามีบทบาทต่อภาคธุรกิจในยุคนี้ เช่น อินเตอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things: IoT) วิทยาการหุ่นยนต์ (Robotics) ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) เครือข่าย 5G การวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ (Data Analytics) เป็นต้น สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลเป็นศาสตร์การวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data) อย่างเป็นระบบเพื่อช่วยผู้ประกอบการนำเสนอบริการและผลิตภัณฑ์ที่ตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค เช่นการนำไปใช้ในธุรกิจท่องเที่ยว โดยการวิเคราะห์ข้อมูลในอดีตเพื่อคาดการณ์การเติบโตของอุปสงค์และเสนอแพ็กเกจท่องเที่ยวที่เป็นไปตามความต้องการของนักท่องเที่ยวรายบุคคล

จากความเจริญก้าวหน้าของเทคโนโลยีดิจิตอลนี้เอง ทำให้ผู้ประกอบการต่างนำเทคโนโลยีมาใช้ในการจัดเก็บธุรกรรมต่างๆ เป็นข้อมูลขนาดใหญ่ โดยผู้ประกอบการสามารถนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้ในการสนับสนุนการทำงานด้วยการศึกษาและวิเคราะห์ สร้างกลยุทธ์ส่งเสริมการตลาดแบบฉวยโอกาสรอบตัวมาเป็นยอดขาย (Contextual Marketing) เพื่อจูงใจให้ผู้บริโภคมาใช้ซื้อสินค้าและบริการมากขึ้น เทคนิคพื้นฐานที่ผู้ประกอบการนิยมใช้คือการแบ่งกลุ่มลูกค้า (Customer Segmentation) จากพฤติกรรมการซื้อสินค้าทำให้เข้าใจพฤติกรรมการซื้อ

สินค้าและบริการของผู้บริโภคมากขึ้น เช่นปัจจัยใดที่ส่งผลให้ผู้บริโภคตัดสินใจซื้อสินค้าได้ง่ายขึ้น ผู้บริโภคมีกระบวนการซื้อสินค้าและบริการแตกต่างกันอย่างไร ผลประโยชน์ใดมีความสำคัญต่อการตัดสินใจซื้อสินค้าจากผู้บริโภค เป็นต้น เหมืองข้อมูลจึงเป็นขุมข้อมูลเทคโนโลยีสารสนเทศขนาดใหญ่ที่มีประโยชน์และเต็มไปด้วยข้อมูลเชิงลึกซ่อนเร้นอยู่ในข้อมูลขนาดใหญ่เหล่านั้น การนำเทคโนโลยีต่างๆ เช่น การวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่มาบูรณาการด้วยการทำความเข้าใจและจัดการด้วยการเรียบเรียง วิเคราะห์ และนำผลลัพธ์กลับไปเป็นเครื่องมือทางธุรกิจจึงเป็นการสร้างกลยุทธ์สำหรับการบริหารสถานประกอบการได้อย่างสมบูรณ์มากขึ้น เช่น การบริหารงานลูกค้าสัมพันธ์ (Customer Relationship Management: CRM) [1,2]

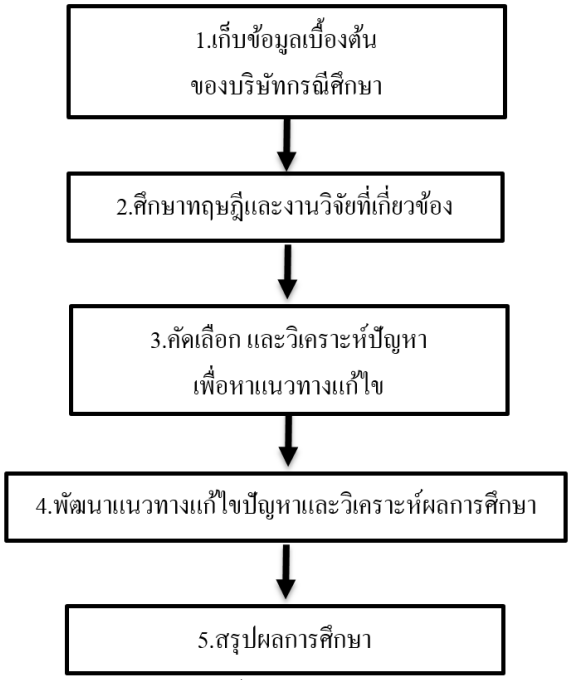
เทคนิคการแบ่งกลุ่มได้ถูกนำไปใช้ในด้านต่างๆ ในธุรกิจ เช่น การแบ่งกลุ่มเพื่อวิเคราะห์ความคิดเห็นลูกค้าเพื่อช่วยในการทำความเข้าใจความต้องการและคาดการณ์ความต้องการในอนาคตของลูกค้าด้วยการใช้เทคนิคการประมวลผลด้วยภาษา (Natural Language Processing: NLP) ร่วมกับการเรียนรู้ด้วยเครื่องจักร (Machine Learning: ML)[3] การสร้างแบบจำลอง RMF/P ด้วยการนำ 4 ปัจจัยประกอบด้วย ระยะเวลาที่ลูกค้าซื้อสินค้าล่าสุด (Recency: R) จำนวนครั้งที่ลูกค้าซื้อต่อหน่วย (Frequency: F) ยอดรวมที่ลูกค้าซื้อสินค้าต่อหน่วยเวลา (Monetary: M) และมูลค่าเงินแตกต่างกันไปตามประเภทผลิตภัณฑ์ (Product: P) โดยแบบจำลองสามารถช่วยในการวิเคราะห์แบ่งกลุ่มลูกค้าเพื่อให้ผู้ประกอบการได้เปิดมุมมองของลูกค้า ผลิตภัณฑ์ และการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของลูกค้าต่อผลิตภัณฑ์ใหม่ [4] นอกจากนี้การแบ่งกลุ่มลูกค้ายังสามารถนำมาใช้ในธุรกิจผลิตอาหารสัตว์เลี้ยงโดยใช้ข้อมูลการซื้อผลิตภัณฑ์และศึกษาลักษณะเฉพาะของแต่ละกลุ่มได้อีกด้วย [5]

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อแบ่งกลุ่มลูกค้าด้วยพฤติกรรมการซื้อสินค้าเกี่ยวกับงานระบบรักษาความปลอดภัยในบริษัทกรณีศึกษาแห่งหนึ่ง เนื่องจากพบปัญหาการนำเสนอสินค้าและปัญหาเกี่ยวกับการให้บริการซึ่งยังไม่สอดคล้องกับความต้องการของลูกค้า จึงได้นำเทคนิคเคมีนซึ่งเป็นเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องจักรแบบไม่มีผู้สอนมาประยุกต์ร่วมกับเทคนิคเอลโบ (Elbow) เพื่อวิเคราะห์แบ่งกลุ่มลูกค้าจากปัจจัยประกอบทั้งหมด 14 ปัจจัย ผลการแบ่งกลุ่มทำให้ผู้ประกอบการสามารถเข้าใจลักษณะลูกค้าของบริษัทวางระบบรักษาความปลอดภัยในแต่ละกลุ่มได้มากยิ่งขึ้น ส่งผลให้สามารถกำหนดเป้าหมายการขาย ปรับเปลี่ยนและพัฒนาสินค้าและบริการ เสนอสินค้าที่ตอบสนองความต้องการลูกค้าได้ดียิ่งขึ้น และสามารถนำไปเพิ่มผลประโยชน์ให้กับบริษัทได้

2. กระบวนการวิจัย

รายละเอียดขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยและการวิเคราะห์ข้อมูลมีดังนี้

2.1 วิธีดำเนินงานวิจัย



รูปที่ 1 ขั้นตอนวิธีการวิจัย

รูปที่ 1 แสดงขั้นตอนการวิจัยประกอบด้วย 1.) การเก็บรวบรวมข้อมูลที่มีอยู่เดิมในส่วนของข้อมูลพื้นฐาน เช่น ชื่อ ที่อยู่ รายการสินค้า ราคาสินค้าของบริษัทกรณีศึกษา 2.) การศึกษาทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยทำการค้นคว้าจากการสืบค้นจากแหล่งข้อมูลต่างๆ 3.) การวิเคราะห์ปัญหาในภาพรวมจากข้อมูล บริษัท และคัดเลือกปัญหาเพื่อทำการวิเคราะห์สาเหตุและแนวทางแก้ไขปัญหา 4.) การพัฒนาแนวทางแก้ไขปัญหาโดยสร้างกระบวนการที่เหมาะสม เพื่อนำไปสู่แนวทางการปฏิบัติตามหลักการบริหารจัดการเชิงกลยุทธ์จากการวิเคราะห์ผลการศึกษา และ 5.) สรุป และอภิปรายผลการศึกษา โดยมีรายละเอียดการศึกษาดังนี้

2.1.1 ประชากรที่ใช้ในการวิจัย

ข้อมูลลูกค้าของบริษัทกรณีศึกษาในช่วงเดือนมกราคม 2565 ถึงธันวาคม 2565 จำนวน 50 ราย ซึ่งแบ่งเป็น ลูกค้ากลุ่มโรงงานอุตสาหกรรม คิดเป็น 20% ลูกค้ากลุ่มสถานศึกษา, โรงพยาบาล คิดเป็น 15% ลูกค้ากลุ่มช่างติดตั้งคิดเป็น 5% ลูกค้ากลุ่มค้าปลีกรายย่อยคิดเป็น 60%

2.1.2 การจัดเก็บรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์ปัญหา

งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลระบบบัญชีบริษัท ในส่วนของข้อมูลลูกค้า การเข้ารับบริการ การใช้บริการในส่วนของงานติดตั้ง งานบริการ งานค้าปลีก เพื่อการศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาเบื้องต้น จากการวิเคราะห์พบปัญหาการนำเสนอสินค้าและบริการที่ไม่สอดคล้องกับความต้องการของลูกค้าซึ่งเป็นปัญหาที่มีน้ำหนักความสำคัญมากที่สุด จึงควรมีการพัฒนา

กลยุทธ์ด้านการขายและบริการที่เหมาะสมกับลูกค้าในแต่ละกลุ่ม โดยวิเคราะห์จากพฤติกรรมการซื้อสินค้า ซึ่งต้องมีการพัฒนากระบวนการวิเคราะห์และจัดกลุ่มลูกค้าที่เหมาะสมด้วย

2.2 การพัฒนากระบวนการวิเคราะห์และการจัดกลุ่มข้อมูล

ฐานข้อมูลในงานวิจัยคือข้อมูลการซื้อสินค้าและบริการของบริษัทวางระบบรักษาความปลอดภัยตั้งแต่เดือนมกราคม 2565 ถึง เดือนธันวาคม 2565 มีจำนวนทั้งสิ้น 740 รายการ โดยสามารถแสดงตัวแปรและความหมายข้อมูลการซื้อสินค้าและบริการของบริษัทกรณีศึกษาได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวแปรและความหมายข้อมูลการซื้อสินค้าและบริการ

ที่	ตัวแปร	ความหมาย
1	Date	วันที่ใช้บริการ
2	Customer ID	รหัสลูกค้า
3	Customer Type	ประเภทลูกค้า
4	Product type	ประเภทผลิตภัฑฑ์
5	Service Type	ประเภทบริการ
6	Product Code	รหัสสินค้า
7	Quantity	จำนวนสินค้า
8	Amount (บาท)	มูลค่ารวม

การเตรียมข้อมูลให้อยู่ในรูปที่พร้อมนำไปวิเคราะห์ต่อ รวมไปถึงการทำความสะอาดข้อมูลประกอบด้วย 4 วิธีย่อย ประกอบด้วยการรวบรวมข้อมูล (Data Compilation) การทำความสะอาดข้อมูล (Data Cleaning) การเลือกข้อมูล (Data Selection) และการแปลงข้อมูล (Data Transform) โดยสามารถสร้างตัวแปรจากข้อมูลการซื้อสินค้าดังตารางที่ 2 ด้วยการแปรใหม่เพิ่มขึ้นจากรหัสสินค้า (Product Code) ทำให้งานวิจัยใช้ข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์แบ่งกลุ่มทั้งหมด 14 ปัจจัย โดยไม่รวมตัวแปรวันที่ใช้บริการ

ตารางที่ 2 ตัวแปรที่สร้างขึ้นจากข้อมูลการซื้อสินค้า

ที่	ตัวแปร	ความหมาย
1	Brand	แบรนด์ผลิตภัณฑ์
2	Resolution CAM	ประเภทผลิตภัฑฑ์
3	AI CAM	คุณลักษณะ AI ในผลิตภัณฑ์กล้องวงจรปิด
4	WIFI CAM	คุณลักษณะ WIFI ในกล้องวงจรปิด
5	4G CAM	คุณลักษณะ 4G ในกล้องวงจรปิด
6	Infrared CAM	คุณลักษณะ Infrared ในกล้องวงจรปิด
7	POE CAM	คุณลักษณะ Power over Ethernet

2.2.1 การแบ่งกลุ่มลูกค้า

การจัดกลุ่มเป็นแนวคิดสำคัญของการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (Unsupervised Learning) เป็นเทคนิคหนึ่งในการเรียนรู้เครื่องจักร (Machine Learning) ซึ่งส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับการค้นหาโครงสร้างหรือรูปแบบในการรวบรวมข้อมูลที่ไม่มีการจัดหมวดหมู่อัลกอริทึม และไม่ใช่การหาผลลัพธ์ที่ต้องการวัดค่าความแม่นยำ แต่เป็นการนำชุดข้อมูลตั้งต้นมาหาความสัมพันธ์อีกรูปแบบหนึ่ง อัลกอริทึมการจัดกลุ่มจะประมวลผลข้อมูลและค้นหากลุ่มธรรมชาติ (กลุ่ม)โดยในระหว่างการสร้างแบบจำลอง จำนวนกลุ่มอัลกอริทึมสามารถแก้ไขได้ และสามารถปรับความละเอียดของกลุ่มเหล่านี้ได้ สำหรับการแบ่งกลุ่มแบบไม่มีผู้สอนมีหลายวิธีได้แก่ เคมีน (K-Means), การจัดกลุ่มแบบคลุมเครือ (Fuzzy C Means) คือการยอมให้ข้อมูลแต่ละตัวสามารถเป็นสมาชิกได้มากกว่าหนึ่งกลุ่มและ การจัดลุ่มตามลำดับชั้น (Hierarchical Clustering) [6] ตัวอย่างการจัดกลุ่มแบบไม่มีผู้สอนสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ตัวอย่างการแบ่งกลุ่ม [6]

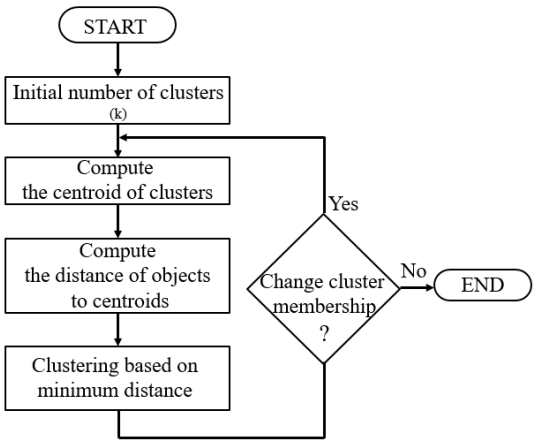
2.2.2 เทคนิคการจัดกลุ่มด้วยเทคนิคเคมีน (K-Means)

เคมีนเป็นเทคนิคการแบ่งกลุ่มที่นิยมใช้เนื่องจากใช้งานง่าย ไม่ยุ่งยากซับซ้อน โดยแต่ละกลุ่มมีศูนย์กลางหรือค่าเฉลี่ยที่เป็นตัวแทนของกลุ่ม ทั้งนี้เคมีนเป็นอัลกอริทึมวัดระยะห่างแบบยูคลิด (Euclidean distance) ดังสมการที่ (1) โดยวัดระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของกลุ่มไปยังข้อมูลแต่ละตัว สามารถแสดงแผนผังการทำงานได้ดังรูปที่ 3

$$d = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \qquad (1)$$

เมื่อ d คือระยะห่างระหว่างจุดทั้งสอง x_1, y_1 คือตำแหน่งของจุดศูนย์กลางของกลุ่มและ x_2, y_2 คือตำแหน่งของจุดข้อมูล

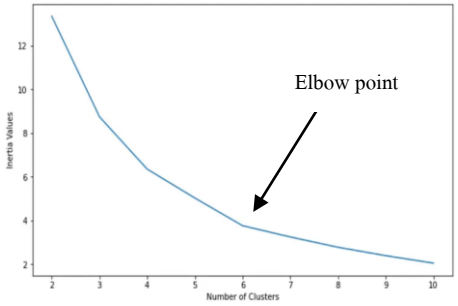
รูปที่ 3 แสดงผังการแบ่งกลุ่มแบบเคมีน เริ่มต้นด้วยการกำหนดจำนวน k กลุ่มที่ต้องการจัดกลุ่ม จากนั้นกำหนดจุดศูนย์กลางจำนวน k จุด จัดข้อมูลเข้ากลุ่มต่างๆ ด้วยการหาระยะห่างระหว่างข้อมูลกับจุดศูนย์กลางกลุ่ม โดยข้อมูลแต่ละตัวจะต้องมีระยะห่างจากจุดศูนย์กลางน้อยที่สุดด้วยการวัดแบบยูคลิด เมื่อจัดกลุ่มให้กับข้อมูลทุกตัวแล้ว ทำการตรวจสอบโดยการหาค่าเฉลี่ยของจุดศูนย์กลางใหม่จากค่าเฉลี่ยข้อมูลทุกตัวภายในกลุ่ม หากค่าเฉลี่ยของทุกกลุ่มไม่เปลี่ยนแปลงสมาชิกทุกตัวในกลุ่มคือผลลัพธ์ที่ได้จากการแบ่งกลุ่ม [7]



รูปที่ 3 ผังการแบ่งกลุ่มด้วยเทคนิคเคมีน [7]

2.2.3 การกำหนดจำนวนกลุ่มที่เหมาะสมด้วยเทคนิคเอลโบ (Elbow)

ปัญหาของการจัดกลุ่มด้วยวิธีเคมีนคือการกำหนดจำนวนกลุ่มที่เหมาะสมเพื่อนำไปเป็นค่าเริ่มต้นก่อนใช้เทคนิคเคมีน ดังนั้นการหาจำนวนกลุ่มที่เหมาะสมจะต้องสุ่มจำนวนกลุ่มเริ่มต้นและทดลองวัดค่าผลรวมระยะห่างยูคลิดว่ามีกี่กลุ่มถึงจะเหมาะสมที่สุด ในงานวิจัยนี้ได้นำเทคนิคการกำหนดจำนวนกลุ่มที่เหมาะสมคือเทคนิคเอลโบ (Elbow) [8] ที่ใช้หลักการลดระยะห่างภายในกลุ่มให้น้อยที่สุดในขณะที่เพิ่มระยะห่างระหว่างกลุ่มให้ได้มากที่สุด มีวิธีการประเมินที่กำหนดจำนวนกลุ่มที่เหมาะสมตามหลักการนี้ ด้วยการวัดผลรวมของระยะทางกำลังสองของข้อมูลแต่ละตัวไปยังศูนย์กลางคลัสเตอร์ที่ใกล้ที่สุด ด้วยจำนวนกลุ่มที่ทดสอบ ระยะทางที่น้อยกว่าบ่งชี้ถึงผลการจัดกลุ่มที่ดีกว่าเรียกว่า วิธีข้อศอก (Elbow) ตัวอย่างการกำหนดจำนวนกลุ่มที่เหมาะสมที่สุดด้วยการพิจารณาที่จุดเปลี่ยน (จุดข้อศอก) แสดงดังรูปที่ 4 และในกรณีนี้คือ 6 กลุ่ม



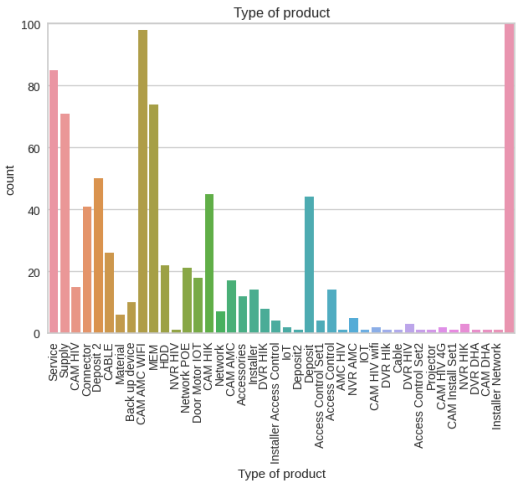
รูปที่ 4 การกำหนดจำนวนกลุ่มที่เหมาะสมด้วยด้วยเทคนิคเอลโบ [8]

3. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยนี้พัฒนาด้วยภาษาไพธอน (python) บนคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ Google Colab ร่วมกับการพัฒนาการเรียนรู้เชิงลึกด้วยชุดคำสั่ง Keras สามารถประมวลผลชุดข้อมูลการซื้อสินค้าและบริการของบริษัทวางระบบรักษาความปลอดภัยตั้งแต่เดือนมกราคม 2565 ถึง เดือนธันวาคม 2565 มีจำนวนทั้งสิ้น 740 รายการ โดยมีรายละเอียดการวิเคราะห์ผลดังนี้

3.1 กระบวนการสำรวจข้อมูลเบื้องต้น (EDA)

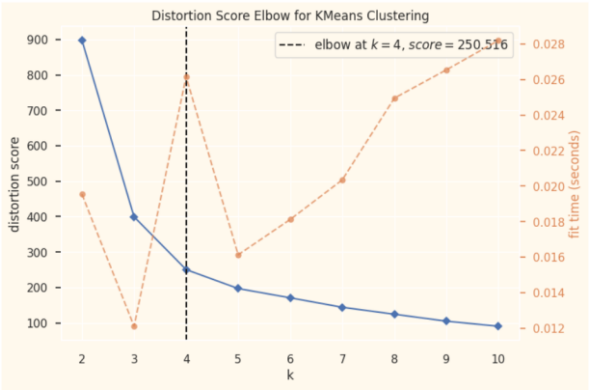
การสำรวจข้อมูลเบื้องต้น (Exploratory Data Analysis: EDA) คือการวิเคราะห์ข้อมูลที่จำเป็นก่อนที่จะวิเคราะห์ข้อมูลในขั้นตอนถัดไป พบว่าจำนวนชนิดของสินค้าและบริการที่จำหน่ายมากที่สุด 3 อันดับแรก คือ งานติดตั้งกล้องวงจรปิดใหม่, กล้อง AMC WIFI CAM และงานบริการปรับปรุงเพิ่มหรืองานซ่อมกรณีนอกเงื่อนไขประกัน ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 จำนวนสินค้าที่จำหน่ายในช่วงเวลา ม.ค. 65 ถึง ธ.ค. 65

3.2 การวิเคราะห์การแบ่งกลุ่มที่เหมาะสม

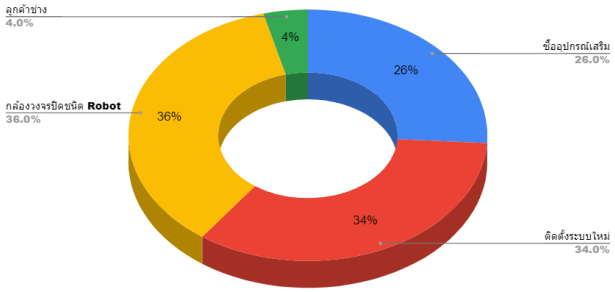
ผลการวิเคราะห์จำนวนกลุ่มที่เหมาะสมด้วยเทคนิคเอลโบร่วมกับข้อมูลการซื้อสินค้าและบริการของบริษัทวางระบบรักษาความปลอดภัยตั้งแต่เดือนมกราคม 2565 ถึง เดือนธันวาคม 2565 พบว่าจำนวนกลุ่มที่เหมาะสมคือ 4 กลุ่ม ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ผลลัพธ์การกำหนดจำนวนกลุ่มที่เหมาสมสำหรับข้อมูลการซื้อสินค้าและบริการของบริษัทวางระบบรักษาความปลอดภัย

3.3 ผลการแบ่งกลุ่มลูกค้าโดยใช้พฤติกรรมการซื้อสินค้าด้วยเทคนิคเคมีน

ผลการแบ่งกลุ่มลูกค้าโดยใช้ข้อมูลการซื้อสินค้าและบริการของบริษัทวางระบบรักษาความปลอดภัยตั้งแต่เดือนมกราคม 2565 ถึงเดือนธันวาคม 2565 สามารถแบ่งได้ 4 กลุ่มดังรูปที่ 7 คือกลุ่มลูกค้าซื้ออุปกรณ์เสริม กลุ่มลูกค้าติดตั้งระบบรักษาความปลอดภัยใหม่ กลุ่มลูกค้าซื้อกล้อง Robot และกลุ่มลูกค้าช่าง



รูปที่ 7 ผลลัพธ์แบ่งกลุ่มลูกค้าโดยใช้พฤติกรรมการซื้อสินค้า

4 สรุปและอภิปรายผล

การแบ่งกลุ่มลูกค้าเป็นวิธีการหนึ่งที่ทำให้ผู้ประกอบการสามารถนำข้อมูลการจัดเก็บธุรกรรมต่างๆ มาใช้ในการสนับสนุนการทำงานด้วยการศึกษาและวิเคราะห์เพื่อสร้างกลยุทธส่งเสริมการตลาดและจูงใจให้ผู้บริโภคมาใช้ซื้อสินค้าและบริการมากขึ้น เทคนิคพื้นฐานที่ผู้ประกอบการนิยมใช้คือการแบ่งกลุ่มลูกค้าจากพฤติกรรมการซื้อสินค้าซึ่งทำให้เข้าใจความต้องการสินค้าและบริการของผู้บริโภคมากขึ้น

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อแบ่งกลุ่มลูกค้าของบริษัทวางระบบรักษาความปลอดภัยแห่งหนึ่ง อ้างอิงจากพฤติกรรมการซื้อสินค้าโดยใช้เทคนิคการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอนเคมีนและใช้ข้อมูล 14 ปัจจัย ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเอลโบ (Elbow) สามารถแบ่งกลุ่มที่เหมาะสมที่สุดได้ 4 กลุ่ม คือ กลุ่มลูกค้าซื้ออุปกรณ์เสริม (26%) กลุ่มลูกค้าติดตั้งระบบรักษาความปลอดภัย (34%) กลุ่มลูกค้าซื้อกล้องวงจรปิดชนิด Robot (36%) และกลุ่มลูกค้าช่าง (4%) โดยแต่ละกลุ่มมีแผนกลยุทธด้านการขายและการให้บริการลูกค้าดังนี้

กลุ่มที่ 1 กลุ่มลูกค้าซื้ออุปกรณ์เสริม คือกลุ่มลูกค้าปลีกซื้อสินค้าจากหน้าร้านค้าโดยประกอบด้วยสินค้าประเภท การ์ดหน่วยความจำ อุปกรณ์จ่ายไฟ AC ฮาร์ดิสก์ อุปกรณ์ต่อเชื่อมเครือข่าย เป็นต้น สำหรับการส่งเสริมการขายให้กับลูกค้ากลุ่มนี้คือ เพิ่มช่องทางการขายทางสื่อสังคมออนไลน์ เนื่องจากความก้าวหน้าของการสื่อสารในปัจจุบันทำให้ผู้คนเข้าถึงสินค้าได้อย่างรวดเร็วและตลอดเวลา ทำให้สามารถสร้างกลยุทธส่งเสริมการตลาดแบบฉวยโอกาสรอบตัวมาเป็นยอดขายได้หลายช่องทาง

กลุ่มที่ 2 กลุ่มลูกค้าติดตั้งระบบรักษาความปลอดภัย คือกลุ่มลูกค้าที่ต้องการติดตั้งระบบรักษาความปลอดภัย 4 จุดขึ้นไป โดยจะต้องมีการสำรวจ วางแผนจุดติดตั้ง และออกแบบอุปกรณ์ระบบรักษาความปลอดภัยตามความต้องการของลูกค้าก่อน ประกอบด้วยกลุ่มลูกค้าโรงงาน บริษัท โรงเรียน โรงพยาบาล หน่วยราชการ บ้านจัดสรร เป็นต้น แผนดำเนินการสำหรับลูกค้ากลุ่มนี้คืออาศัยหลักการทำแผน PMC (Project Model Canvas) โดยให้ความสำคัญในมุมที่ชัดเจนของการพัฒนาคุณภาพงานติดตั้งอย่างต่อเนื่องด้วยวงจร PDCA (Plan, Do, Check, Act) ที่เป็นหัวใจของการบริหารงานคุณภาพ 4 ขั้นตอน อีกทั้งเป็นเครื่องมือหนึ่งที่ทำให้เกิดระบบ TQM (Total Quality Management) เพื่อให้สินค้ามีประสิทธิภาพสูงสุด ขณะเดียวกันการให้ข้อมูลที่จำเป็นกับลูกค้าในการติดตั้งระบบ รับฟังความต้องการของลูกค้าอย่างเข้าใจโดยวิศวกรผู้ชำนาญการ เน้นการให้บริการที่สุภาพและเป็นมิตรด้วยการให้ความสำคัญกับระบบ CRM (Customer Relation Management) ที่เน้นด้านการบริหารความสัมพันธ์กับลูกค้าเพื่อให้มั่นใจว่าการสร้างความสัมพันธ์ที่ดีในระยะยาวกับลูกค้าจะเป็นไปได้อย่างต่อเนื่อง เนื่องจากลูกค้าที่ติดตั้งแล้วกลุ่มนี้สามารถแนะนำและบอกต่อสินค้าเพื่อให้บริษัทสามารถขยายการให้บริการได้ทั่วประเทศ

กลุ่มที่ 3 กลุ่มลูกค้าซื้อกล้องวงจรปิดชนิด Robot กลุ่มนี้จัดว่าเป็นกลุ่มข้อมูลเชิงลึกที่เป็นผลจากการวิเคราะห์การจัดกลุ่มด้วยศาสตร์ทางด้านปัญญาประดิษฐ์ โดยพบว่าลูกค้ากลุ่มนี้มีสัดส่วนสูงสุดคือ 36% เป็นกลุ่มที่มีการใช้สินค้าที่มีพัฒนาการทางเทคโนโลยีที่ล้ำสมัยมากขึ้น จัดเป็นนวัตกรรมตอบรับการดำเนินชีวิตควบคู่กับระบบรักษาความปลอดภัยที่พบได้ชัดเจนมากขึ้นในยุคปัจจุบัน ซึ่งจากเดิมจะมีเพียงลูกค้ากลุ่มที่ 2 โดยสินค้าประเภทนี้เรียกว่าอินเตอร์เน็ตของสรรพสิ่งหรือ IoT สินค้าประเภทนี้เหมาะกับลูกค้าที่มีงบประมาณจำกัดสามารถใช้ระบบรักษาความปลอดภัยที่ติดตั้งเองได้อย่างสะดวก โดยติดตั้งเฉพาะจุดที่ต้องการ ไม่ต้องเชื่อมสายสัญญาณเนื่องจากเป็นการสื่อสารแบบ WIFI สอดรับกับการใช้ชีวิตประจำวันในสังคมของผู้คนได้อย่างลงตัว ดังนั้นสินค้าในกลุ่มนี้จัดเป็นสินค้าที่มีแนวโน้มความต้องการจากลูกค้ามากขึ้น ส่วนการให้บริการสามารถใช้แนวทางเดียวกับลูกค้ากลุ่มที่ 2 ได้ และสามารถใช้แผนดำเนินการที่มีความพร้อมรอบด้านเพื่อหวังผลในการเพิ่มปริมาณลูกค้าโดยใช้หลักการกลยุทธ์การเจริญเติบโต (Growth Strategy) ในหัวข้อการเจริญเติบโตอย่างเข้มข้น (Intensive Growth Strategy) ที่เป็นกลยุทธ์ที่เกี่ยวข้องกับการตลาดและส่วนแบ่งการตลาด ประกอบด้วย 3 กลยุทธ์คือกลยุทธ์เน้นการเจาะตลาด (Marketing Penetration) เพื่อเพิ่มยอดขาย การขยายส่วนแบ่งตลาด กลยุทธ์การพัฒนาตลาด (Marketing Development) เพิ่มช่องทางการส่งเสริมการขาย และกลยุทธ์การพัฒนาอุตสาหกรรม (Product Development) คือการปรับปรุงหรือดัดแปลงผลิตภัณฑ์หรือบริการใหม่ๆให้ดึงดูดใจลูกค้าในตลาดมากขึ้น

กลุ่มที่ 4 กลุ่มลูกค้าช่าง ลูกค้ากลุ่มนี้จะมีทักษะสำหรับการติดตั้งระบบรักษาความปลอดภัย ดังนั้นสินค้าของลูกค้าประเภทนี้คืออุปกรณ์ที่จำหน่ายภายในร้านทั้งหมด แต่ลูกค้ากลุ่มนี้จะได้ส่วนลดพิเศษจากการวิเคราะห์เพื่อแบ่งกลุ่มพบว่ามีสัดส่วนน้อยที่สุด แต่สามารถเพิ่มลูกค้ากลุ่มช่างได้ โดยส่งเสริมการขายด้วยการสร้างระบบสมาชิก สะสมคะแนนการซื้อสินค้า ให้บริการข้อมูลทางเทคนิคของสินค้าเพื่อให้ลูกค้าช่างสามารถนำไปให้บริการลูกค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีระบบช่วยเหลืออัตโนมัติเช่นแชทบอทในกรณีที่ติดปัญหาต่างๆ เพื่อสร้างเครือข่ายช่างบริการ

แผนกลยุทธ์ต่างๆ สำหรับลูกค้าแต่ละกลุ่มเป็นเพียงแผนเบื้องต้นซึ่งบริษัทสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดแผนงาน ด้านการขาย การตลาด และการให้บริการที่เหมาะสมกับลูกค้าแต่ละกลุ่มต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] Fayyad, U., Piatetsky-Shapiro, G, and Smyth, P., "Knowledge Discovery and Data Mining: Towards a Unifying Framework," In *KDD-96 Proceedings*, 1996, pp. 82-88.

[2] วิระพงศ์ จันทร์สนาม, "ผลกระทบของ การบริหารลูกค้าสัมพันธ์ต่อความจงรักภักดี ของลูกค้าของธุรกิจพาณิชย์เล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย," (วิทยานิพนธ์ ปริญญาบริหารธุรกิจ มหาบัณฑิต), มหาสารคาม, มหาวิทยาลัย มหาสารคาม, 2551.

[3] Vishwa Shrirame, Juyee Sabade, Hitesh Soneta, and M Vijayalakshmi, "Consumer Behavior Analytics using Machine Learning Algorithms," *IEEE International Conference on Electronics, Computing and Communication Technologies (CONECCT)*, 2020, p. 1-6.

[4] Heldt, R., Silvera, C. S. and Luce, F. B., "Predicting customer value per product: From RFM to RFM/P",. *Journal of Business Research*, 2021, pp. 444-453.

[5] ณรรฐคุณ วิรุฬห์ศรี, ลัทธพล โชครัตน์ประภา, ณัฐณิชา ศรีสมาน, และ พรทิพย์ เดชพิชัย, "การวิเคราะห์แบ่งกลุ่มลูกค้าโดยใช้พฤติกรรมการซื้อเชิงลึก : กรณีศึกษา บริษัทผู้ผลิตอาหารสัตว์เลี้ยงแห่งหนึ่ง," *วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง*, ปีที่ 31, ฉบับที่ 1, หน้า 103 – 119, เดือนมกราคม-มิถุนายน 2565.

[6] Supervised vs Unsupervised Learning: Difference Between Them, https://www.guru99.com/supervised-vs-unsupervised-learning.html, ค้นเมื่อ 20 สิงหาคม 2565.

[7] Zhu, Jian, Wang, Hanshi, "An improved K-means clustering algorithm", *IEEE International Conference on Information Management and Engineering,* 2010, pp.190-192.

[8] Clustering Algorithm for Customer Segmentation, https://towards-datascience.com/clustering-algorithm-for-customer-segmentation-e2d79e28cbc3, ค้นเมื่อ 20 สิงหาคม 2565.



ประวัติผู้เขียนบทความ
นาย เกรียงวุฒิ วรุณสิน
จบการศึกษาระดับปริญญาตรี คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
งานวิจัยที่สนใจ เทคโนโลยีการใช้ข้อมูลเพื่อสร้างและพัฒนาผลิตภัณฑ์ บริการ

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

การเพิ่มประสิทธิภาพสายการผลิต โดยเทคนิคการผลิตแบบลีน กรณีศึกษา: กระบวนการเย็บกางเกง

Increasing Efficiency of Production Line by Lean Production Techniques: A Case Study of Sewing Trousers Process

ประภัสรา ว่องวัฒนกูล* และ ประจวบ กล่อมจิตร

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

E-mail: Wongwatthana_p@silpakorn.edu

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยฉบับนี้คือ การเพิ่มประสิทธิภาพสายการผลิตในกระบวนการเย็บกางเกงของโรงงานผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูปส่งออก จากการศึกษาพบว่า ปัจจุบันระบบการผลิตในโรงงานกรณีศึกษาแผนกเย็บกางเกง ยังประสบปัญหาประสิทธิภาพสายการผลิตไม่เป็นไปตามเป้าหมายที่ทางโรงงานตั้งไว้ เนื่องจากมีการจัดวางผังเครื่องจักรที่ไม่มีประสิทธิภาพทำให้เป็นอุปสรรคในการไหลของงาน มีการแยกชิ้นส่วนการไหล ที่ทำให้เกิดจุดคอขวด และความสูญเปล่าในสายการผลิต ส่งผลให้จำนวนงานออกต่อวันไม่เป็นไปตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการปรับปรุง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสายการผลิต โดยผลการวิจัยพบว่า ก่อนการปรับปรุงประสิทธิภาพสายการผลิต ในเดือน พ.ค., มิ.ย., ก.ค. จำนวนงานออกเฉลี่ย ก่อนปรับปรุง อยู่ที่ 105, 84, 110 ตัวต่อวัน ตามลำดับ และ หลังปรับปรุงในเดือน ส.ค., ก.ย., ต.ค. อยู่ที่ 125, 134, 139 ตัวต่อวันตามลำดับ ส่งผลให้มีค่าประสิทธิภาพเฉลี่ย ในเดือน พ.ค., มิ.ย., ก.ค. อยู่ที่ 31, 25, 33 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน ตามลำดับ และ เดือน ส.ค., ก.ย., ต.ค. อยู่ที่ 37, 40, 41 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน ตามลำดับ

คำสำคัญ : เครื่องมือการผลิตแบบลีน; การจัดสมดุลสายการผลิต; การศึกษาการทำงาน; เทคนิคการปรับปรุงงาน

Abstract

The purpose of this study is to improve the efficiency of the production line during the sewing process of pants in export garment factories. Research has found the current factory's production system, case studies, and pants sewing department. The efficiency of the production line did not meet the factory's set goals. Due to inefficient machine layout, it hinders workflow. Flow separation leads to bottlenecks. The waste of the production line resulted in the daily workload not meeting the target. Therefore, the researchers improved To improve the efficiency of the production line, research has found that the average attendance before the production line efficiency increases in May, June, and July. Before the renovation, it was 105, 84, and 110 characters per day, while in August, September, and October, it was 125, 134, and 139 characters per day, respectively. Therefore, the average efficiency in May, June, and July is 31%, 25%, and 33% per day, respectively, and in August and September. In October, it was 37%, 40%, and 41% per day, respectively.

Keywords: Lean Tools; Line Balancing; Work Study; ECRS

1. บทนำ

ในสถานการณ์ปัจจุบันอุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่ม เป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจ และมีบทบาทอย่างมากในการสร้างอาชีพและรายได้ให้กับแรงงานไทย นอกจากนี้อุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่มยังมีความต้องการของผลิตภัณฑ์จากลูกค้าที่เพิ่มมากขึ้น โดยโรงงานกรณีศึกษา มีจำนวนการสั่งซื้อเข้ามาอย่างต่อเนื่องและมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น จึงทำให้ประสบปัญหาเกี่ยวกับต้นทุนในกระบวนการผลิตสูงและยอดการผลิตต่ำ ส่งผลให้ต้องเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตเพื่อชดเชยกับต้นทุนที่เพิ่มสูงขึ้น อีกทั้งการแข่งขันที่เพิ่มมากขึ้นในปัจจุบัน ทำให้ธุรกิจต้องพร้อมที่จะเปลี่ยนแปลงโดยการเพิ่มผลผลิต ดังนั้นธุรกิจจึงจำเป็นต้องเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตเพื่อสร้างความได้เปรียบในการแข่งขัน

ปัจจุบันระบบการผลิตในโรงงานกรณีศึกษา แผนกเย็บกางเกง ยังประสบปัญหาประสิทธิภาพสายการผลิตไม่เป็นไปตามเป้าหมายที่ทางโรงงานตั้งไว้ เนื่องจากมีการจัดวางผังเครื่องจักรที่ไม่มีประสิทธิภาพทำให้เป็นอุปสรรคในการไหลของงาน กล่าวคือ การจัดวางกระบวนการต่างๆ ยังเป็นอุปสรรคทำให้งานไหลไม่ต่อเนื่องไปในทิศทางเดียวกัน มีการแยกชิ้นส่วนการไหล ที่ทำให้เกิดจุดคอขวด และความสูญเปล่าในสายการผลิต ส่งผลให้จำนวนงานออกต่อวันไม่เป็นไปตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการวางผังเครื่องจักรใหม่เพื่อให้รองรับต่อการปรับปรุงสายการผลิตโดยใช้เทคนิคการผลิตแบบลีน การจัดสายการผลิตแบบเซลลูล่าร์ ซึ่งเป็นเครื่องมือที่สามารถช่วยลดความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตลง และยังส่งผลให้เกิดการทำงานที่สะดวกรวดเร็ว ลดเวลาการทำงานที่ไม่จำเป็น ทำให้งานไหลอย่างต่อเนื่องไม่เกิดจุดคอขวด รวมทั้งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในสายการผลิตได้อีกด้วย

2. หลักการและทฤษฎี

2.1 หลักการ

อดิชา วัชรานุรักษ์ [1] กล่าวว่า การนำระบบการผลิตแบบลีนมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมเสื้อผ้าสำเร็จรูป โดยเลือกกระบวนการผลิตเสื้อโปโลเชิ้ตของบริษัทเครื่องนุ่งห่มสำเร็จรูป จำกัด เป็นกรณีศึกษา จากการนำเครื่องมือการผลิตแบบลีนมาประยุกต์ใช้งาน แบ่งได้ 4 กลุ่ม คือ กลุ่มที่หนึ่ง อัตราการไหลของชิ้นงาน กลุ่มที่สอง คือ กระบวนการทำงานที่มีความยืดหยุ่น กลุ่มที่สาม คือ ลดเวลาในการทำงาน และกลุ่ม

สุดท้าย คือ การพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เช่น การใช้กรรมวิธีแบบไคเซ็น การวิเคราะห์ที่มาของปัญหา และการแก้ไขปัญหาร่วมกันเป็นทีม ผลจากการทดลองการประยุกต์ใช้งาน สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ร้อยละ 16 ลดปริมาณการเสียหายในกระบวนการผลิต ร้อยละ 8 และลดปริมาณงานค้างระหว่างการผลิต ร้อยละ 41

กิตติชัย อธิกุลรัตน์ และ ภัทรพงษ์ ภาคภูมิ [2] กล่าวว่า การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต โดยประยุกต์ใช้แนวคิดระบบการผลิตแบบลีน เพื่อลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิต เพื่อให้เกิดการไหลอย่างต่อเนื่อง ผู้วิจัยดำเนินการศึกษาสภาพปัจจุบันของกิจการเพื่อหาผลิตภัณฑ์ที่ใช้สำหรับการปรับปรุง จากนั้นประยุกต์ใช้แนวคิดระบบการผลิตแบบลีน เพื่อวาดภาพสายธารคุณค่าปัจจุบันและสายธารคุณค่าในอนาคตของผลิตภัณฑ์ จากนั้นประยุกต์ใช้การศึกษาวิธีการทำงาน เพื่อปรับปรุงการทำงาน ลดความสูญเปล่าในกระบวนการโดยการประยุกต์ใช้ 5 ส. ในการปรับปรุง ผลการวิจัย ทำให้สามารถเพิ่มกำลังการผลิตจากเดิม 125 เป็น 160 ชิ้นต่อชั่วโมงหรือเพิ่มขึ้น ร้อยละ 28 อีกทั้งยังสามารถปรับปรุงสภาพแวดล้อมในการปฏิบัติงาน ทำให้ลดระยะทางเคลื่อนย้ายงานได้ จากเดิม 14 เมตร เหลือ 10 เมตร หรือลดลง ร้อยละ 28.57

2.2 แนวคิดและทฤษฎีเครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการผลิตแบบลีน [3]

แนวคิดของการผลิตเริ่มขึ้นทศวรรษที่ 1940 (พ.ศ.2483) โดยบริษัทผลิตรถยนต์โตโยต้า ตามแนวความคิดในสายการผลิตของ Taichi Ono และ Shigeo Shigo วิศวกรของบริษัท ที่เรียกกันว่า ระบบทันเวลาพอดี (Just-In-Time: JIT) หรือระบบการผลิตแบบโตโยต้า (Toyota Production System: TPS) เป็นวิธีการของการผลิตมีเป้าหมายที่การใช้ทรัพยากรให้น้อยและใช้ตามความต้องการของลูกค้าและสร้างกระบวนการผลิตแบบชิ้นเดียว (One Piece Flow) และมุ่งเน้นในเรื่องการจำแนกและจำกัดของเสียจากการผลิต

เครื่องมือปรับปรุง อัตราการไหล (Flow)

1. ตารางการผลิตแบบดึง (Pull Production Scheduling) หรือระบบคัมบัง (Kanban System) ภาษาญี่ปุ่น ที่ให้ความหมายว่า เป็นสัญญาณหนึ่งในเครื่องมือพื้นฐานของระบบทันเวลาพอดี ที่เป็นสัญญาณเติมเต็มการผลิตและวัสดุให้มีการไหลอย่างเป็นลำดับและต่อเนื่องทั้งกระบวนการอย่างมีประสิทธิภาพ

2. การไหลทีละชิ้น (One Piece Flow) คือ การผลิต ตรวจสอบและส่งมอบงานทีละชิ้น โดยมีหลักการที่กำหนดรอบเวลาการทำงานให้ตรงกับความต้องการสินค้าของลูกค้าหรือตลาด หลักการนี้สามารถนำไปใช้กับการบริการได้เช่นกัน คือทำการกำหนดระยะเวลาการให้บริการแก่ลูกค้าให้ทันกับปริมาณของลูกค้าที่เข้ามาใช้บริการ

3. การผลิตโดยอิงเวลามาตรฐาน (Production to Takt Time) คือ การสร้างสมดุลการทำงานโดยให้ระยะรอบของการทำงาน เท่ากับเวลาที่ลูกค้าต้องการสินค้าถูกกำหนดเป็นจังหวะสำหรับรอบเวลาของผู้ปฏิบัติงาน เป็นเวลาทั้งหมดที่ต้องการสำหรับผู้ปฏิบัติงานหนึ่งคนทำงานสำเร็จ 1 ชิ้น

2.3 แนวคิดและทฤษฎีการปรับปรุงกระบวนการด้วยหลักการ ECRS [4]

ECRS เป็นแนวคิดที่สามารถนำมาบริหารจัดการงานให้มีประสิทธิผล โดยเน้นการที่พนักงานทุกคนมีส่วนร่วมเพื่อแสวงหาแนวทางใหม่ๆ นำมาปรับปรุงการทำงาน และสภาพแวดล้อมในการทำงานให้ดีขึ้นอยู่เสมอ หัวใจสำคัญอยู่ที่ต้องมีการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องไม่มีทางสิ้นสุด แนวทางง่าย ๆ ที่สามารถใช้ปรับปรุงสิ่งต่าง ๆ ได้ด้วยการหยุด การลด การเปลี่ยน การรวม และการทำงานให้ง่ายหรือหลักการของ ECRS ดังนี้

E (Eliminate) คือ การตัดขั้นตอนการทำงานที่ไม่จำเป็นในกระบวนการออกไป

C (Combine) คือ การรวมขั้นตอนการทำงานเข้าด้วยกัน เพื่อประหยัดเวลาหรือแรงงานในการทำงาน

R (Rearrange) คือ การจัดลำดับงานใหม่ให้เหมาะสม

S (Simplify) คือ ปรับปรุงวิธีการทำงาน หรือสร้างอุปกรณ์ช่วยทำงานได้ง่ายขึ้น

2.4 ระบบการผลิตแบบโตโยต้า (Toyota Production System: TPS) [5]

ระบบการผลิตแบบโตโยต้า (Toyota Production System: TPS) คือ ระบบการผลิตของ TOYOTA ที่มุ่งเน้นการลดต้นทุนการผลิตด้วยการกำจัดของเหลือหรือของส่วนเกินต่าง ๆ จากกระบวนการผลิต

หลักการสำคัญในการลดต้นทุนการผลิตของ TOYOTA คือ Just In Time (JIT) และ JIDOKA

- ทำให้มากขึ้นใช้ให้น้อยลง: ใช้เวลา แรงงาน ทรัพยากรพื้นที่น้อยลง เป็นต้น

- เป้าหมายของ TPS คือ กำจัดของเสีย และระบบการผลิตแบบกระชับโดยใช้การไหลของงานแบบต่อเนื่องและผลิตเมื่อลูกค้าต้องการ

- ลดเวลาการผลิต สินค้าได้รับการพัฒนาคุณภาพ มีความยืดหยุ่นในการผลิต

2.5 สมดุลการผลิต Line Balancing [6]

Line balancing เป็นกลยุทธ์ในการผลิตที่เกี่ยวข้องกับผู้ปฏิบัติงานและเครื่องจักรเพื่อให้สอดคล้องกับอัตราการผลิตกับ Takt Time ความสามารถของกระบวนการทำงานเพื่อให้การไหลเวียน (Flow) ค่อนข้างต่อเนื่อง และสม่ำเสมอในกระบวนการผลิต สำหรับสายการผลิตหากเวลาในการผลิตเท่ากับ Takt Time สายการผลิตนั้นจะมีความสมดุลอย่างลงตัว หากเวลาการในผลิตมากกว่า Takt Time ควรจัดเรียงลำดับงานใหม่เพื่อแก้ปัญหาคอขวดที่เกิดขึ้น

การจัดสมดุลสายการผลิต มีขั้นตอนที่สำคัญทั้งหมด 5 ขั้นตอน ได้แก่

1. การกำหนด และแบ่งงานย่อยให้กับสายการผลิต
2. การกำหนดความสัมพันธ์ก่อนหลังให้กับงานย่อย
3. การหาจำนวนต่ำที่สุดของสถานีการผลิตที่ต้องการ
4. กำหนดงานย่อยให้กับสถานีงาน
5. คำนวณหาประสิทธิภาพของสายการผลิต

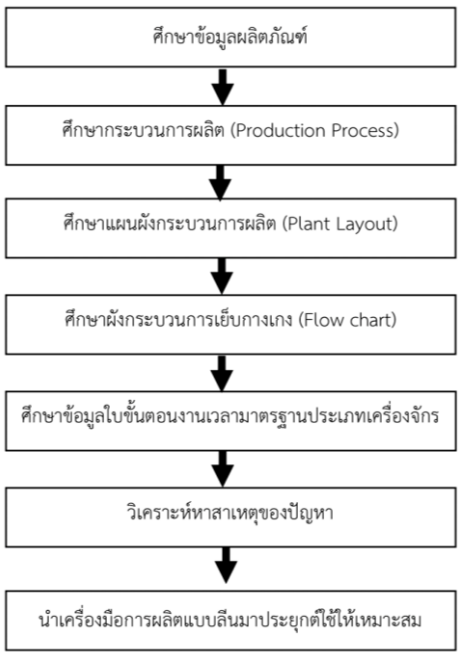
2.6 การผลิตแบบเซลลูล่าร์ [7]

การผลิตแบบเซลลูล่าร์ (Cellular Manufacturing) คือ วิธีการหนึ่งของการผลิตแบบลีน (Lean Manufacturing) ในการผลิตแบบเซลลูล่าร์ อุปกรณ์ และสถานีงาน (Workstation) จะถูกจัดเรียงไว้ตามลำดับซึ่งจะช่วยให้วัสดุ และส่วนประกอบต่างๆ สามารถไหลผ่านตลอดทั้งกระบวนการไปได้อย่างราบรื่น โดยมีการขนส่งหรือความล่าช้าเกิดขึ้นน้อยที่สุด การผลิตแบบเซลลูล่าร์นี้ ได้ชื่อมาจากคำว่า เซลล์ (Cell) ซึ่งเซลล์การผลิต (Manufacturing Cell) จะประกอบด้วยคน และเครื่องจักรหรือสถานีงานที่ต้องการใช้ในการดำเนินขั้นตอนต่างๆ ในกระบวนการหรือส่วนของกระบวนการ (Process Segment) โดยมีเครื่องจักรถูกจัดเรียงอยู่ตามลำดับของกระบวนการผลิต การจัดเรียงคนและอุปกรณ์ใส่ในเซลล์การผลิต ช่วยให้บริษัทบรรลุสู่เป้าหมายสำคัญของการผลิตแบบลีนทั้งสองอย่าง นั่นคือการไหลแบบทีละชิ้นและการผลิตแบบมีความหลากหลายสูง

การไหลแบบทีละชิ้น (One-piece Flow) คือ สภาวการณ์ที่จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อผลิตภัณฑ์มีการเคลื่อนผ่านเข้าไปกระบวนการผลิตเพียง 1 ชิ้น ณ ช่วงเวลาหนึ่ง โดยจะมีการกำหนดอัตราการไหลตามความต้องการของลูกค้า

3. การดำเนินงานและผลการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้เริ่มต้นจากการศึกษาข้อมูลผลิตภัณฑ์ ศึกษากระบวนการ และขั้นตอนการเย็บกางเกงโรงงานกรณีศึกษา แล้วทำการวิเคราะห์ข้อมูลหาสาเหตุของปัญหา หาวิธีการปรับปรุง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิต กำหนดขอบเขต กำหนดวัตถุประสงค์ของงานวิจัย จากนั้นศึกษางานทฤษฎีต่างๆ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยสรุปเป็นขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

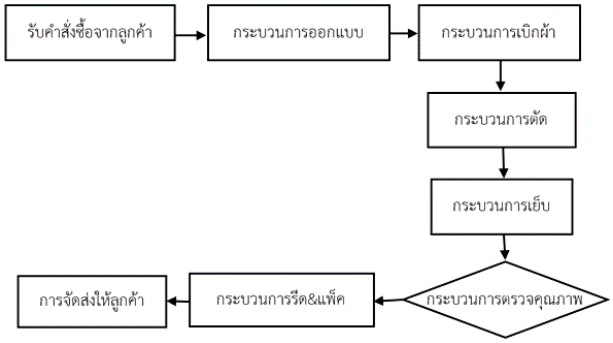
3.1 ศึกษาข้อมูลผลิตภัณฑ์

ข้อมูลผลิตภัณฑ์กางเกงโดยมีลูกค้าหลัก แบ่งเป็น 5 กลุ่ม ดังนี้

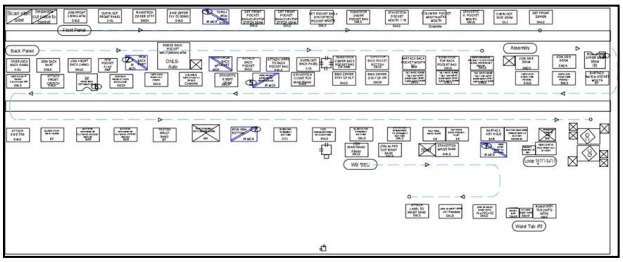
1. PROPER CLOTH (PPC)
2. J -Hilburn (JHI)
3. ALTON LANE (ALT)
4. SIZE STREAM (SIZ)
5. STANTT (STT)

3.2 ศึกษากระบวนการผลิต (Production Process)

รูปที่ 2 กระบวนการผลิตกางเกง



3.3 ศึกษาแผนผังกระบวนการผลิต (Plant Layout)



รูปที่ 3 แผนผังกระบวนการผลิตกางเกง (Plant Layout)

3.4 ศึกษากระบวนการไหลของงาน

ก่อนการปรับปรุง โรงงานกรณีศึกษา แบ่งกระบวนการไหลของการเย็บกางเกง 1 ตัว ออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

1. การเย็บชิ้นหน้า
2. การเย็บชิ้นหลัง
3. การประกอบตัว

โดยแบ่งเป็นขั้นตอนย่อย ได้ดังนี้

1. การเย็บชิ้นหน้า แบ่งเป็น 8 ขั้นตอน ดังนี้
   1.1 เย็บซับใน
   1.2 แซ็กชิ้นหน้า
   1.3 เย็บซิป
   1.4 เย็บสาปกระเป๋า

1.5 แปะกระเป๋า
1.6 โคลัมเบียกระเป๋า
1.7 ทับเส้นปากกระเป๋า
1.8 ประกบซิป
2. การเย็บชิ้นหลัง แบ่งเป็น 9 ขั้นตอน
2.1 เย็บจีบหลัง
2.2 รีดจีบหลัง
2.3 เจาะกระเป๋าหลัง
2.4 รีดลิ้นกระเป๋าหลัง
2.5 เย็บสาปลิ้นกระเป๋า, ติดตรากระเป๋า
2.6 แซ็กชิ้นหลัง
2.7 วนใบมีดกระเป๋าหลัง
2.8 ย้ำหนอนตัวดีกระเป๋าหลัง
2.9 ทับเส้นกระเป๋าหลัง
3. การประกอบตัว แบ่งเป็น 23 ขั้นตอน
3.1 เข้าข้าง
3.2 รีดข้าง
3.3 ย้ำหนอนกระเป๋าเหรียญ
3.4 ห่อข้าง
3.5 เข้าขอบ
3.6 รีดขอบ
3.7 เนาโค้งซิป
3.8 โคลัมเบียซิป
3.9 ทับเส้นโค้งซิป
3.10 เย็บกระโดง
3.11 รีดกระโดง
3.12 ล็อคกระโดง
3.13 ห่อเป้า
3.14 สอยขอบ
3.15 ย้ำหู, ย้ำหนอน
3.16 ย้ำเม็ด
3.17 วัด, ตัดปลายขา
3.18 แซ็กปลายขา
3.19 สอยปลายขา
3.20 เจาะรังกระดุม
3.21 ย้ำหางรังกระดุม
3.22 ติดกระดุม
3.23 พันขากระดุม

3.5 วิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา

ตารางที่ 1 ตารางแสดงสาเหตุ วิธีการ และเครื่องมือที่ใช้ในการปรับปรุง

สาเหตุของปัญหา	วิธีการปัจจุบัน	เครื่องมือการผลิต
1. เครื่องจักรอยู่ตำแหน่งที่ไม่เหมาะสม	ผังการผลิตแบบดั้งเดิม	- ผังการผลิตแบบต่อเนื่อง - การจัดสายการผลิตแบบเซลลูล่าร์
2. เครื่องจักรที่เป็นคอขวด	ทำตามวิธีการที่ถูกกำหนดไว้	พัฒนาเครื่องจักรให้ตอบสนองวิธีการทำงานมากยิ่งขึ้น (ECRS)
3. พนักงานไม่ปฏิบัติงานตามวิธีการที่ถูกต้อง	ไม่มีวิธีการทำงานที่ชัดเจน	ระบุวิธีการทำงานที่ชัดเจน
4. พนักงานปฏิบัติงานไม่ได้ตามเป้าต่อชั่วโมง	ไม่มีการกำหนดเป้าต่อชั่วโมง และไม่มีการเดินเก็บข้อมูลรายชั่วโมง	- จัดสมดุลสายการผลิต - มีการกำหนดเป้าต่อชั่วโมง และเดินเก็บข้อมูลรายชั่วโมง
5. มีชิ้นงานรอเข้าสู่กระบวนการ	แยกชิ้นส่วนในการผลิตชิ้นหน้า และชิ้นหลัง	- รวมชิ้นส่วนเข้าด้วยกัน - การผลิตแบบเซลลูล่าร์
6.ขนาด สีและชิ้นส่วนผ้าที่แตกต่างกัน	ไม่มีการเลือกเฉดสีผ้าที่คล้ายกันไว้ใกล้กัน	เลือกเฉดสีผ้าที่คล้ายกันไว้ใกล้กัน
7. ไม่มีการตรวจสอบชิ้นงาน	การผลิตแบบกลุ่ม	การไหลของงานทีละชิ้น
8. วิธีการเย็บที่แตกต่างกัน	โหลดงานเข้าเย็บในรูปแบบอิสระ	โหลดงานเข้าเย็บแยกตามกลุ่มลูกค้า
9. ขั้นตอนการปฏิบัติงานไม่เหมาะสม	ระบบการผลิตแบบผลัก	ระบบการผลิตแบบดึง

3.6 ผลการดำเนินงาน

จากการศึกษาสภาพปัญหาของโรงงานตัวอย่างพบว่า โรงงานตัวอย่างยังประสบปัญหาประสิทธิภาพสายการผลิตไม่เป็นไปตามเป้าหมายที่ทางโรงงานตั้งไว้ และจากการวิเคราะห์ข้อมูลของโรงงานในด้านต่างๆ ที่ได้กล่าวมาก่อนหน้านี้ พบปัญหาที่เกิดขึ้นในสายการผลิตดังนี้

1.ขาดผังการผลิตแบบต่อเนื่อง ทำให้มีการไหลของงานไม่ต่อเนื่อง เกิดการรอที่สูญเปล่า

2.ขาดการจัดสมดุล (Line Balancing) ในสายการผลิต ทำให้เกิดปัญหาคอขวด และปัญหางานกอง ในสายการผลิตที่ส่งผลให้ไม่ได้ผลผลิตตามเป้าหมายที่คาดหวังไว้

3.ขาดการวิเคราะห์ และปรับปรุงวิธีการในขั้นตอนการผลิตเพื่อลดเวลาในการทำงานของพนักงาน

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้นำเครื่องมือการผลิตแบบลีน การจัดสมดุลสายการผลิต การศึกษาวิธีการทำงาน และหลักการ ECRS มาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาความสมดุลในไลน์ผลิต เพื่อให้การไหลของงานต่อเนื่อง เกิดความสูญเปล่าให้น้อยที่สุด และเพิ่มความสะดวกให้กับพนักงานในการเปลี่ยนไปยังตำแหน่งต่างๆ เพื่อความสมดุลในไลน์ผลิต และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสายการผลิต โดยทำการศึกษาใบขั้นตอนงาน จับเวลาและเก็บข้อมูลเพื่อนำมาคำนวณหาค่า Takt times หลังจากนั้นทำการออกแบบไลน์ผลิตซึ่งประกอบไปด้วยการออกแบบ 3 ขั้นตอน ดังนี้ ขั้นตอนแรก ทำการออกแบบการไหลของขั้นตอนงาน โดยการทำสายธารมูลค่า (VSM) ขั้นตอนที่ 2 ทำการออกแบบการไหลของวัตถุดิบโดยการออกแบบแผนผัง (Layout Design) ด้วยเอกสารมาตรฐานการทำงาน และขั้นตอนสุดท้าย ทำการออกแบบการไหลของพนักงาน โดยการจัดทำเอกสารมาตรฐานการทำงาน (Standard Work Sheet) โดยสรุปขั้นตอนการออกแบบไลน์ผลิต ดังตารางที่ 2

ดังตารางที่ 2 ตารางสรุปขั้นตอนการออกแบบไลน์ผลิต

ขั้นตอน	วิธีการ	เครื่องมือ
1. การออกแบบการไหลของขั้นตอนงาน	1.1 สร้างสายธารมูลค่า (VSM) / แผนภูมิการไหลของขั้นตอนงาน 1.2 กำหนดเวลาขั้นตอนงาน	สายธารมูลค่า
2. การออกแบบการไหลของวัตถุดิบ	2.1 กำหนดแทคไทม์ 2.2 กำหนดจำนวนเครื่องจักร 2.3 ออกแบบแผนผังด้วยเอกสารมาตรฐานการทำงาน	เอกสารมาตรฐานการทำงาน
3. การออกแบบการไหลของพนักงาน	3.1 สร้างแผนภูมิงานของพนักงานเพื่อโหลดพนักงาน 3.2 ออกแบบการไหลของพนักงานด้วยเอกสารมาตรฐานการทำงาน	แผนภูมิปริมาณงานพนักงาน

วิธีการคำนวณเวลาในขั้นตอนงาน

1. จำนวนพนักงานเท่ากับ 33 คน
2. ชั่วโมงการทำงานเท่ากับ 11 ชั่วโมง
3. เป้าประสิทธิภาพในการผลิตเท่ากับ 40%
4. เวลารวมทั้งหมดของกระบวนการเท่ากับ 3,023 วินาที
5. ค่า SMV เท่ากับ 62.98 นาที
6. จำนวนงานออกต่อวัน โดยคิดจาก

จำนวนงานออก/วัน = (เวลาการทำงาน(ชม.) x จำนวนพนักงาน x ค่าประสิทธิภาพ%)/ค่า SMV (1)

เมื่อแทนค่าลงไปจะได้ จำนวนงานออกต่อวันเท่ากับ 138 ตัว

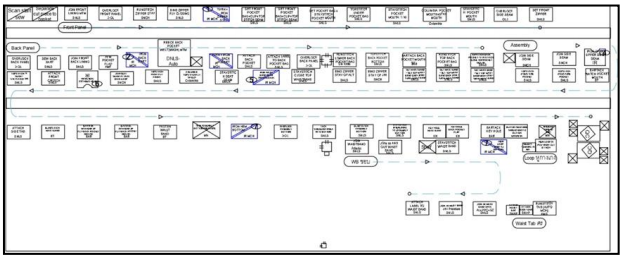
7. ค่า Takt times โดยคิดจาก

Takt times = เวลารวมทั้งหมดของกระบวนการ/จำนวนพนักงาน (2)

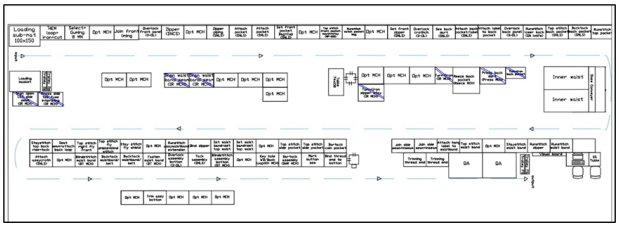
เมื่อแทนค่าลงไปจะได้ Takt times เท่ากับ 91.60 วินาที

3.6.1 ผลจากการจัดสมดุลการผลิต (Line balance)

จากผลการศึกษาพบว่า ก่อนการปรับปรุง แผนผังกระบวนการผลิต มีการแยกการไหลของกระบวนการเย็บกางเกงออกเป็น 3 ส่วน โดยส่วนแรก เป็นส่วนชิ้นหน้าของกางเกง ส่วนที่สอง เป็นส่วนชิ้นหลังกางเกง และส่วนสุดท้าย เป็นการนำส่วนแรก และส่วนที่สองมาประกอบกัน ดังแสดงในรูปที่ 4 จึงทำให้การไหลของกระบวนการไม่ต่อเนื่อง และเกิดจุดคอขวด หลังจากการปรับปรุงแผนผังกระบวนการผลิต ได้ทำการรวมการไหลของการผลิตเข้าด้วยกัน โดยเริ่มจากการเย็บชิ้นหน้าของกางเกง ต่อด้วยการเย็บชิ้นหลังของกางเกง และสุดท้ายเป็นการนำชิ้นหน้า และชิ้นหลังของกางเกงมาประกอบกัน ดังแสดงในรูปที่ 5 ทำให้เกิดการไหลของกระบวนการเย็บกางเกงอย่างต่อเนื่องไปในทิศทางเดียวกัน



รูปที่ 4 แผนผังกระบวนการผลิต (Plant Layout) ก่อนปรับปรุง



รูปที่ 5 แผนผังกระบวนการผลิต (Plant Layout) หลังปรับปรุง

3.6.2 ประสิทธิภาพสายการผลิต (Efficiency) ก่อน-หลังปรับปรุง

จากผลการศึกษาพบว่า ก่อนการปรับปรุงประสิทธิภาพสายการผลิต (Efficiency) มีค่าประสิทธิภาพต่อวัน เฉลี่ยในเดือน พ.ค.

มิ.ย. และ ก.ค. อยู่ที่ 31, 25 และ 33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และหลังจากการปรับปรุงประสิทธิภาพสายการผลิต (Efficiency) ค่าประสิทธิภาพต่อวัน เฉลี่ยในเดือน ส.ค. ก.ย. และ ต.ค. อยู่ที่ 37, 40 และ 41 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

4. สรุป

จากผลการศึกษาพบว่า ก่อนการปรับปรุงประสิทธิภาพสายการผลิต ในเดือน พ.ค., มิ.ย., ก.ค. จำนวนงานออก ก่อนปรับปรุง อยู่ที่ 105, 84, 110 ตัวต่อวัน ตามลำดับ และหลังปรับปรุงในเดือน ส.ค., ก.ย., ต.ค. จำนวนงานออกอยู่ที่ 125, 134, 139 ตัวต่อวันตามลำดับ โดยคิดเป็นค่าเฉลี่ย 3 เดือน ก่อนปรับปรุงอยู่ที่ 100 ตัวต่อวัน และหลังปรับปรุงอยู่ที่ 133 ตัวต่อวัน โดยหลังปรับปรุงจำนวนงานออกเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจากเดิม 33 ตัวต่อวัน ส่งผลให้มีค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยในเดือน พ.ค., มิ.ย., ก.ค. อยู่ที่ 31, 25, 33 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน ตามลำดับ และในเดือน ส.ค., ก.ย., ต.ค. อยู่ที่ 37, 40, 41 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน ตามลำดับ โดยคิดเป็นค่าเฉลี่ย 3 เดือน ก่อนปรับปรุงอยู่ที่ 30 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน และหลังปรับปรุงอยู่ที่ 39 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน โดยหลังปรับปรุงมีค่าประสิทธิภาพสายการผลิต เพิ่มขึ้นจากเดิม 9 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน

เอกสารอ้างอิง

[1] อติชา วัชรานุรักษ์. "การประยุกต์ใช้ระบบลีนในกระบวนการผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูป กรณีศึกษา การผลิตเสื้อโปโลเชิ้ต." หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาสิ่งทอ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

[2] กิตติชัย อธิกุลรัตน์ และภัทรพงษ์ ภาคภูมิ. "การประยุกต์ระบบการผลิตแบบลีนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต กรณีศึกษา บริษัท ยู.พี.เอส. อุตสาหกรรม จำกัด." สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

I.S. Jacobs and C.P. Bean, “Fine particles, thin films and exchange anisotropy,” in *Magnetism*, vol. III, G.T. Ra do and H. Suhl, Eds. New York: Academic, 1963, pp. 271-350.

[3] Womack, J., Jones, D., and Roos, D. (1990). The Machine that Changed the World. n.p: Harper Perennial.

[4] ธารชุดา พันธ์นิกุล และคณะ. (2557). "การปรับปรุงประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตด้วยเครื่องมือทางวิศวกรรมอตุสาหการ กรณีศึกษา: โรงงานประกอบรถจักรยาน." เอกสารนำเสนอที่การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ. 2557, 30-31 ตุลาคม 2557, สมุทรปราการ.

[5] Suthikarnnarunai, N. (2008, March 18 – 21). Automotive Supply Chain and Logistics Management. Paper presented at the Proceeding of International Multi-conference of Engineering and Computer Scientists, HongKong.

[6] บริษัท ไออี บิสซิเนส โซลูชั่น จำกัด. ขั้นตอนในการจัดสมดุลสายการผลิต - IE Business Solution (ieprosoft.com).

[7] ยุพา กลอนกลาง. การผลิตแบบเซลลูล่าร์ (Cellular Manufacturing: One-piece Flow for Work teams.) (วิทยา สุหฤทดำรง, ผู้แปล.) กรุงเทพฯ: อี.ไอ.สแควร์ พับลิชชิ่ง.



ประวัติผู้เขียนบทความ

ชื่อ-สกุล ประภัสรา ว่องวัฒนกูล

วัน เดือน ปี เกิด 2 มิถุนายน 2541

วุฒิการศึกษา

พ.ศ. 2563 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม จากมหาวิทยาลัยศิลปากร พระราชวังสนามจันทร์ นครปฐม

พ.ศ. 2564 ศึกษาต่อระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาการจัดการงานวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม จากมหาวิทยาลัยศิลปากร พระราชวังสนามจันทร์ นครปฐม

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

การลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนประกอบขดลวดนำโดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง

Waste Reduction in Manufacturing of Components of Guide Wire by Applying Design of Experiment

ธวัชชัย ภัทรดนัย* และ ประจวบ กล่อมจิตร

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

E-mail: Pattaradanai_t2@silpakorn.edu

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์คือการลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนกระกอบขดลวดนำโดยใช้วิธีการออกแบบการทดลอง จากการศึกษาพบว่าขั้นตอนกระบวนการขึ้นรูปมุมเกิดของเสียจำนวนมาก ซึ่งพบว่าปัญหาของเสียที่ส่งผลกระทบต่อการผลิตมากที่สุด คือ ปัญหามุมชิ้นงานสูงกว่ามาตรฐาน จึงนำมาทำการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุที่เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องเบื้องต้นของการเกิดของเสีย โดยผู้วิจัยใช้หลักการ 4M เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ปัญหาและหาสาเหตุ พบว่าเกิดจากการปรับตั้งค่าของเครื่องเตาอบ ซึ่งมีทั้งหมด 3 ปัจจัย คือ 1.อุณหภูมิในการอบ 2.ระยะเวลาในการอบ 3.แรงดันในการอบ ดังนั้นผู้วิจัยจึงใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบ 2^k Full Factorial Design เพื่อหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเกิดของเสีย จากนั้นทำการวิเคราะห์ระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้หลักการ Response Optimization ในการหาค่าของพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ซึ่งการนำพารามิเตอร์มาใช้ปรับตั้งค่าเครื่องเตาอบในกระบวนการผลิตสามารถลดของเสียประเภทมุมชิ้นงานสูงกว่ามาตรฐานจาก 75.45 % เป็น 20.32 % สามารถลดของเสียได้ถึง 73.07 %

คำสำคัญ : การออกแบบการทดลอง, การลดของเสีย, ขดลวดนำ

Abstract

The objective of this research is to reduce the waste in the Guide Wire assembly manufacturing process by using Design of Experiment. We found that in angle forming process has a lot of defects. Then found the main problems are 5 defects. From these data, Pareto chart was used for problem analysis. The results show that the main causes are the damaged Angle higher than the standard problem, these data analyze to find the cause related defected. The researcher uses the 4M principle to analyze the problem and find the cause. It was found caused by adjustment of the oven machine. There are 3 factors, 1.Temperature 2. Time 3. Pressure and used 2-Full Experimental Design (2k Full Factorial Design) to find the factors that affect the defection. And then analyze the optimal value by using Response Optimization principle to find parameter the appropriate for applying in production processes, it can reduced Angle higher than the standard problem from 75.45% to 20.32% and reduced waste up to 73.07%

Keywords: Design of Experiment, Waste Reduction, Guide Wire

1. บทนำ

อุตสาหกรรมการผลิตอุปกรณ์การแพทย์มีการแข่งขันทางด้านธุรกิจที่รุนแรงและมีแนวโน้มการเติบโตอย่างต่อเนื่อง ดังจะเห็นได้จากประชากรโลกที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และการเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ (Aging Society) ของประเทศชั้นนำทั่วโลกยิ่งกระตุ้นให้ความต้องการการใช้อุปกรณ์การแพทย์เพิ่มมากขึ้น บริษัทกรณีศึกษา เป็นบริษัทที่ประกอบกิจการเกี่ยวกับอุตสาหกรรมการผลิตอุปกรณ์และชิ้นส่วนประกอบเครื่องมือการแพทย์ ซึ่งผลิตภัณฑ์มีความสำคัญอย่างมากเนื่องจากเกี่ยวข้องกับการใช้รักษาชีวิตของผู้ป่วยโดยตรง ตัวอย่างผลิตภัณฑ์เช่น ขดลวดนำ ใช้สำหรับสอดนำสายสวนหลอดเลือดขนาดเล็กพิเศษ (microcatheter) ไปยังตำแหน่งที่มีความผิดปกติของเนื้อเยื่ออวัยวะของร่างกาย ดังนั้นส่วนปลายของขดลวดนำจึงจำเป็นที่ต้องโค้งงอได้ง่าย (flexible) และมีการบิดหมุนได้ดี (torque performance) เพื่อที่จะสามารถสอดไปยังตำแหน่งหลอดเลือดที่ต้องการได้ง่าย และหากส่วนปลายของขดลวดนำมีข้อบกพร่องบนชิ้นงานทำให้สมบัติดังกล่าวลดลง ซึ่งอาจจะเป็นอันตรายหรือส่งผลโดยตรงต่อการรักษาผู้ป่วย

ปัจจุบันบริษัทประสบปัญหาเกี่ยวกับการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ จากการเก็บข้อมูลพบว่ามีของเสียในกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมาก ได้แก่ มุมสูงกว่ามาตรฐาน มุมต่ำกว่ามาตรฐาน ขนาดชิ้นงานไม่ได้มาตรฐานความยาวไม่ได้มาตรฐาน สีชิ้นงานเปลี่ยนและอื่นๆ ทำให้บริษัทสูญเสียรายได้จากของเสียที่เกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก ซึ่งผลิตภัณฑ์มีมูลค่า 428.53 บาทต่อชิ้น จากข้อมูลการผลิตในเดือนธันวาคม พ.ศ.2564–พฤษภาคม พ.ศ. 2565 พบว่ามีของเสียรวมทั้งหมด 8,659 ชิ้น ทำให้บริษัทต้องสูญเสียรายได้ทั้งหมด 3,710,641.27 บาท

2. หลักการและทฤษฎี

2.1 เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด [1]

เครื่องมือควบคุมคุณภาพ เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการแก้ไขปัญหาทางด้านคุณภาพของกระบวนการผลิต ซึ่งช่วยศึกษาสภาพทั่วไปของปัญหา คัดเลือกหรือจัดลำดับความสำคัญของปัญหา การสำรวจสภาพปัจจุบันของปัญหา การค้นหาและวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาที่แท้จริง เพื่อให้สามารถแก้ไขได้อย่างถูกต้องรวมทั้งติดตามผลอย่างต่อเนื่อง ตลอดจนช่วยในการจัดทำมาตรฐาน

2.2 การออกแบบการทดลอง [2]

การออกแบบการทดลองเพื่อตรวจดูว่าปัจจัย (Factor) ใดหรือตัวแปร (Input Variable) ใดที่มีผลต่อสิ่งที่ให้ความสำคัญ (หรือความสนใจ) ในผลิตภัณฑ์ที่ออกมา (Output Response) ปัจจัย (Factor) ในการผลิตสามารถแบ่งเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในการผลิตและปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่ไม่สามารถกำหนดค่าจองปัจจัยนั้นได้ในการผลิตการออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์ได้ว่า ปัจจัยใดมีผลต่อผลิตภัณฑ์หรือไม่ต้องทำการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยอย่างน้อย 2 ระดับ แล้วจะทำการทดลองจากนั้นจึงวิเคราะห์ผลการทดลอง ปฐมพงษ์ หอมศรี และ จักรพรรณ คงธนะ [3] ได้ทำการศึกษาการลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจากการผลิตในงานฉีดพลาสติกแบบ Injection Molding โดยใช้หลักการทางสถิติมาช่วยทำการวิเคราะห์หาสาเหตุและปัจจัยต่างๆที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เพื่อที่จะทำการปรับปรุง สภาพปัญหาของโรงงานก่อนดำเนินการแก้ไขมีของเสียประเภทขนาดไม่ได้มาตรฐาน (มีขนาดโตกว่ากำหนด) ซึ่งส่งผลกระทบต่อโรงงานอย่างมากในด้านค่าใช้จ่ายต่างๆที่เกิดขึ้น การวิจัยจึงเริ่มดำเนินการจากวิเคราะห์หาสาเหตุด้วยแผนภาพสาเหตุและผลของงานที่มีปริมาณของเสียมากที่สุดแล้วจึงทำการคัดเลือกปัจจัย เพื่อนำปัจจัยที่มีลำดับความสำคัญมาก 3 อันดับแรกมาทำการพิจารณาจากการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องของผลกระทบพบว่าปัจจัยที่มีลำดับความสำคัญมากอยู่ในส่วนของวิธีการได้แก่ แรงดันย้ำ (Holding pressure), อุณหภูมิแม่พิมพ์ (Mold Temperature) และ รอบการทำงาน (Cycle Time) แล้วจึงนำปัจจัยที่ได้มาทำการออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยเหล่านั้นโดยใช้การออกแบบ 2k Factorial Design จากผลการทดลองพบว่าปัจจัยทั้งสามมีผลกระทบต่อขนาดของชิ้นงานทั้งแบบ Main Effect และ Interaction จากนั้นจึงดำเนินการปรับปรุงแก้ไขปัญหาของโรงงานในเรื่องของเสียประเภทขนาดไม่ได้มาตรฐาน (มีขนาดโต กว่ากำหนด) โดยการปรับค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 ตัวแล้วดำเนินการผลิตพบว่าสามารถลดปริมาณของเสียได้จากเดิมร้อยละ 39.05 ลดลงมาเป็นร้อยละ 2.78

2.3 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล [4]

การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลใช้กับการทดลองที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยหลายปัจจัย ที่ต้องการจะศึกษาถึงผลร่วมที่มีผลต่อผลตอบสนองที่เกิดขึ้นจากปัจจัยเหล่านั้น การทดลองแบบแฟกทอเรียลเป็นแผนการทดลองที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการตรวจสอบอิทธิพลของหลายๆ ปัจจัย (Factor) พร้อมกัน คำว่าแฟกทอเรียล หมายถึง การทดลองที่สมบูรณ์ในแต่ละครั้ง กล่าวคือ มีการใช้ระดับของปัจจัยต่างๆ ร่วมกันจึงสามารถตรวจสอบอิทธิพลต่างๆ ในการทดลองครั้งหนึ่งๆ ได้พร้อมกัน เช่น ถ้าปัจจัย A ประกอบด้วย a ระดับ และปัจจัย B ประกอบด้วย b ระดับ ในแต่ละการทดลองซ้ำ จะประกอบด้วยการทดลองทั้งหมด ab การทดลอง และปัจจัยในการทดลองในรูปแบบของการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลสามารถแบ่งรูปแบบการทดลอง (Treatment Combination) ได้ 2 ประเภท ได้แก่ อิทธิพลหลัก (Main Effect) คือ อิทธิพลของปัจจัยที่แสดงต่อตัวแปรตอบสนองด้วยตัวของมันเองเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยที่เกิดขึ้นและอิทธิพลร่วม (Interaction Effect) คือ อิทธิพลของปัจจัยหนึ่งที่จะเปลี่ยนไปเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยร่วมกัน บุญชัย แซ่สิ้ว และ ณัฐธยาน์ โสกุล [5] ได้ทำการ ศึกษาการลดของเสียจากกระบวนการบรรจุที่เกิดจากอาการซองรั่วโดยศึกษาระดับปัจจัยในการปรับตั้งค่าเครื่องจักรให้เหมาะสม โดยใช้หลักการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k ในการออกแบบการทดลองซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่าประกอบด้วย 4 ปัจจัยหลัก ได้แก่ ความเร็วรอบ อุณหภูมิแรงกด และเวลาในการซีล โดยทำการทดลองซ้ำแบบละ 3 ครั้ง จำนวนผลการทดลองทั้งสิ้น 48 การทดลอง ผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงสถิติ จากผลที่ได้จากการทดลองและนำระดับปัจจัยไปใช้ในการปรับตั้งเครื่องจักรที่เหมาะสม พบว่ามูลค่าของเสียที่เกิดจากอาการซองรั่วลดลงจากเดิมคิดเป็นอัตราร้อยละ 30.29

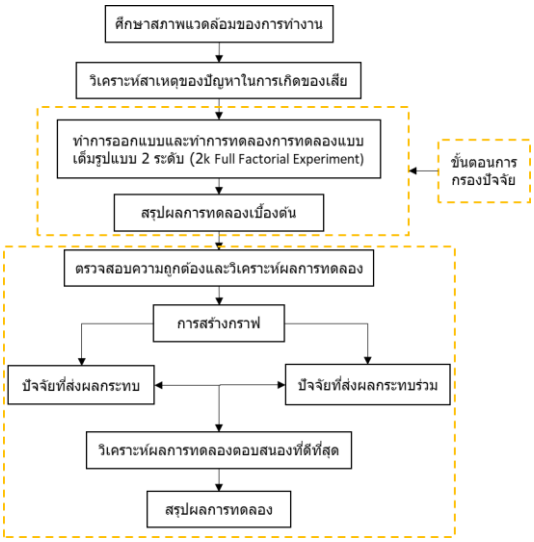
2.4 หลักการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล 2^k แบบเต็มรูปแบบ [6]

เป็นการออกแบบการทดลองแบบ Full Factorial ซึ่งรูปแบบการออกแบบการทดลองที่นิยมใช้เป็นอย่างมากและมีประสิทธิภาพ ผู้ทดลองจะต้องทำการทดลองทั้งหมดเท่ากับ 2^k โดยที่ k คือจำนวนปัจจัยหรือ Main effect โดยในแต่ละปัจจัยสามารถเปลี่ยนแปลงได้ 2 ระดับ และเป็นการออกแบบการทดลองที่ให้ผลจำนวน Run น้อยกว่าวิธีอื่นๆ การใช้ Full Factorial Design กำหนดให้แต่ละ Factor มีเพียง 2 ระดับ (Level) เท่านั้น ดังนั้นจึงต้องออกแบบ 2^k ภายใต้สมมติฐานของ Factor ทั้งหมดมีผลกระทบต่อ Response เป็นแบบเชิงเส้นตลอดย่านของค่าต่ำสุดถึงค่าสูงสุดที่ได้ออกแบบไว้ ฉัตรชัย ฉายะรถี และ ศักดิ์ชาย รักการ [7] ได้ทำการศึกษาปัญหาการลดของเสียในกระบวนการชุบโครเมี่ยมในการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ ซึ่งพบของเสียจากปัญหาเม็ดชุดที่มีสูงถึง 22.02% ต่อเดือน ซึ่งในการศึกษานี้ได้กำหนดสาเหตุที่เกิดเม็ดชุบที่เกิดในกระบวนชุบโครเมี่ยมบนผิวพลาสติก โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองเชิงวิศวกรรม ด้วยการทดสอบแบบ 2^k Full Factorial โดยกำหนดปัจจัยในการทดสอบ ประกอบด้วย 5 ปัจจัย ได้แก่ กระแสไฟฟ้า, อุณหภูมิของน้ำยาชุบ, รอบการกรองเคมี, ระดับความเข้มข้นของน้ำยาชุบ และจิ๊บชุบกับจำนวนที่ใช้ทดสอบทั้งหมด 48 ครั้ง จากผลการทดลองพบว่ามี 2 ปัจจัยส่งผลเชิงเดี่ยวเท่านั้น คือ ปัจจัยรอบการกรองเคมี และปัจจัยประเภทของจิ๊ก หลังจากนั้นนำ 2 ปัจจัยดังกล่าวที่ส่งผลมาทำการปรับปรุง ซึ่งผลของการแก้ไขปัญหาทั้งหมดนี้ ทำให้พบว่าสามารถลดจำนวนงานเสียจากปัญหาเม็ด 8.42% ต่อเดือน

3.วิธีการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตเป็นหลัก โดยการประยุกต์ใช้หลักการออกแบบการทดลองแบบ 2^k Full Factorial Design เพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัย โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังนี้

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย



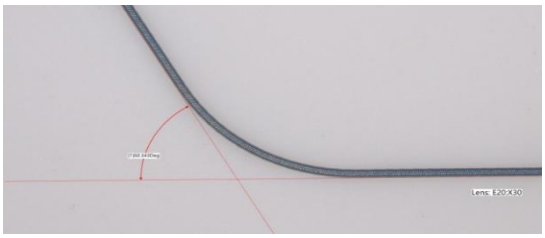
รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.2 ศึกษาสภาพการทำงาน

จากข้อมูลย้อนหลังโรงงานกรณีศึกษาพบว่าการผลิตชิ้นส่วนประกอบขดลวดนำ มีของเสียที่ส่งผลกระทบกับการผลิตในกระบวนการเปลี่ยนรูปที่มีความถี่มากในการเกิดของเสีย 5 ลักษณะ โดยผู้วิจัยเก็บข้อมูลภายในเดือนธันวาคม 2564–พฤษภาคม 2565 พบว่าเกิดของเสียจากการเปลี่ยนรูปทั้งหมด 8,659 ชิ้น ดังตารางที่ 1 และตัวอย่างลักษณะของเสียประเภทมุมชิ้นงานสูงดังรูปที่ 2

ตารางที่ 1 ข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนประกอบขดลวดนำ

ปัญหาที่พบ	ปริมาณที่พบ (ชิ้น)	สัดส่วนของเสีย %	% สะสม
มุมชิ้นงานสูง (W)	6533	75.45	75.45
มุมชิ้นงานต่ำ (N)	1054	12.17	87.62
สีชิ้นงานเปลี่ยน	505	5.83	93.45
เส้นผ่าศูนย์กลางเล็ก	343	3.96	97.41
อื่นๆ	224	2.59	100



รูปที่ 2 ตัวอย่างลักษณะของเสียประเภทมุมชิ้นงานสูง

3.2.1 ศึกษากระบวนการผลิตส่วนประกอบขดลวดนำ

จากกระบวนการแรกตั้งแต่เริ่มกระบวนการจนถึงกระบวนการสุดท้าย มีกระบวนการหลักๆ ดังนี้

1. กระบวนการรับวัตถุดิบเข้าและตรวจสอบวัตถุดิบ (Incoming Inspection) เป็นการรับวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต ได้แก่ บ็อบบิ้น , ลวด เป็นต้น มาตรวจสอบมาตรฐานของวัตถุดิบ

2. กระบวนการรีดลวด (Wire Drawing Process) เมื่อวัตถุดิบถูกตรวจสอบเรียบแล้วจะเข้าสู่กระบวนการผลิต จะถูกนำไปรีดให้ได้ขนาดและลักษณะที่ต้องการโดยเครื่องรีดลวด

3. กระบวนการพันเกลียว (Stranding Process) เมื่อลวดถูกรีดให้ได้ขนาดที่ต้องการจะถูกนำมาพันเกลียว โดยที่มีลวดที่เป็นแกนกลางและลวดที่พันอยู่รอบๆแกนกลางด้วยเครื่องพันเกลียว

4. กระบวนการอบให้ความร้อน (Continuous Heating Process) เป็นกระบวนการหลังจากที่พันเกลียวเสร็จแล้วจะนำมาอบด้วยความร้อนเพื่อให้เกลียวและระยะห่างระหว่างเกลียวคงตัว

5. กระบวนการกรองงาน (Winding Process) เป็นกระบวนการกรองงานเข้าสู่จิ๊กในการเข้าสู่กระบวนการขึ้นรูปมุม

6. กระบวนการขึ้นรูปมุม (Angle forming process) หลังจากที่กรองงานเข้าสู่จิ๊กแล้วจะนำมาขึ้นรูปมุมด้วยการเข้าตู้อบด้วยอุณหภูมิสูงเพื่อทำให้ลวดอ่อนตัวและถูกดัดโดยจิ๊กที่ใส่ไว้

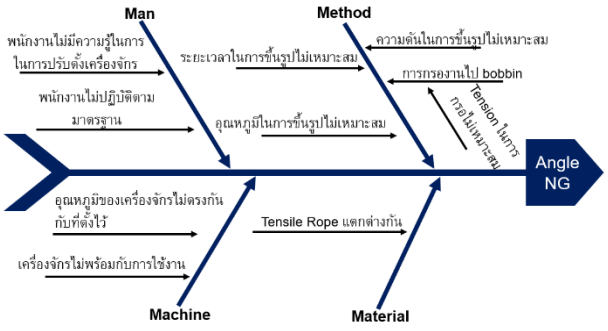
7. กระบวนการตัดชิ้นงาน (Cutting process) เป็นกระบวนการตัดชิ้นงานออกจากจิ๊กให้ได้ความยาวที่กำหนด

8. กระบวนการทำความสะอาดชิ้นงาน (Ultrasonic process) เป็นกระบวนการทำความสะอาดชิ้นงานโดยการสั่นด้วยเครื่องอัลตร้าโซนิค

9. กระบวนการตรวจสอบชิ้นงาน (Inspection process) เป็นกระบวนการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ให้อยู่ในมาตรฐานที่ลูกค้ากำหนด โดยจะพิจารณาจากลักษณะภายนอกและมุมของผลิตภัณฑ์ก่อนที่จะเตรียมบรรจุผลิตภัณฑ์ลงกล่องส่งมอบให้ลูกค้า

3.3 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

ผู้วิจัยนำหลักการ 4M ที่นำไปสู่การระบุปัจจัยในการออกแบบการทดลอง ซึ่งในการวิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยที่เป็นสาเหตุ ผู้วิจัยได้ทำการระดมความคิดจากผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตทั้งหมดร่วมกัน



รูปที่ 3 แผนผังก้างปลาปัจจัยที่เกี่ยวข้องและสาเหตุของปัญหา

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ 4M ของปัญหาการเกิดของเสีย

ปัจจัย	ปัญหา	การตรวจสอบ	ผล
Man (คน)	-พนักงานไม่มีความรู้ในการในการปรับตั้งเครื่องจักร -พนักงานไม่ปฏิบัติตามมาตรฐาน	-มีการอบรมพนักงานเกี่ยวกับมาตรฐานการผลิตก่อนที่จะปฏิบัติงาน	ไม่มีผลกับของเสียโดยตรง
Material (วัตถุดิบ)	-Tensile Rope แตกต่างกัน	-พบว่าค่า Tensile ที่มีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน ทำให้เกิดของเสียเพราะมุมของชิ้นงานสูง	มีผลกับของเสียโดยตรง
Machine (เครื่องจักร)	-อุณหภูมิของเครื่องจักรไม่ตรงกันกับที่ตั้งไว้ -เครื่องจักรไม่พร้อมกับการใช้งาน	-มีการตรวจสอบอุณหภูมิของเครื่องจักรทุกๆหนึ่งปีโดยมีการทำรายงานบันทึกไว้ -มีการตรวจสอบเครื่องจักรทุกวัน ก่อนการใช้งาน โดยทำการบันทึกการทำงานของเครื่องจักร	ไม่มีผลกับของเสียโดยตรง
Method (วิธีการ)	-ค่า Tension ในการกรองานไป Bobbin -ระยะเวลาในการขึ้นรูปไม่เหมาะสม -อุณหภูมิในการขึ้นรูปไม่เหมาะสม -ความดันในการขึ้นรูปไม่เหมาะสม	-ได้ทำการเปลี่ยนค่า Tension ในการกรองงานพบว่ามุมของชิ้นงานที่ได้เหมือนกัน -พบว่าระยะเวลา อุณหภูมิ และความดันในการขึ้นรูปมีการใช้พารามิเตอร์ของเครื่องจักรรวมกัน ไม่มีการแยกชนิดของงาน ทำให้เกิดของเสียเพราะพารามิเตอร์ไม่เหมาะสมกับการผลิต	-ไม่มีผลกับของเสียโดยตรง -มีผลกับของเสียโดยตรง

พบปัจจัยที่มีผลกระทบกับการเกิดของเสียโดยตรง คือ อุณหภูมิในการอบ, ระยะเวลาในการอบ และ แรงดันภายในตู้ จึงนำมากำหนดเป็นปัจจัยในการทดลองในลำดับต่อไป

3.4 การกำหนดระดับปัจจัย

จากที่กล่าวมาข้างต้น ปัจจัยหลักในการทำการทดลองสามารถแบ่งระดับปัจจัยเป็น 2 ระดับ คือ ระดับ “สูง” และระดับ “ต่ำ” จากการทดลองการขึ้นรูปชิ้นส่วนประกอบขดลวดนำ

ตารางที่ 3 การแบ่งระดับปัจจัย

Factor	สัญลักษณ์	Number of Factor		หน่วย
		ระดับต่ำ (-)	ระดับสูง (+)	
อุณหภูมิ	A	540	560	°C
ระยะเวลา	B	50	60	Minute
ความดัน	C	1.2	1.5	kPa

4. ผลการวิจัย

4.1 การดำเนินการทดลองโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบ 2^k Full Factorial Design

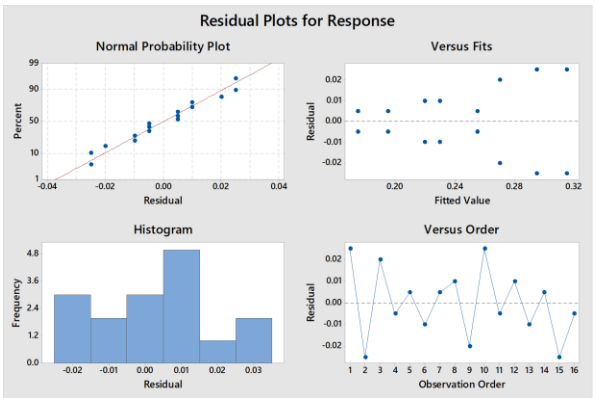
การกรองปัจจัยเบื้องต้นด้วยวิธี 2^k Full Factorial Design จะต้องทำการทดลองให้ครบทุกเงื่อนไข จะประกอบด้วย 3 ปัจจัย แต่ละปัจจัยประกอบไปด้วย 2 ระดับ ซึ่งทำการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสมบูรณ์จะต้องทำการทดลองเท่ากับ $2^3 = 8$ การทดลอง และทำการทดลอง 2 ครั้งรวม 16 การทดลอง โดยการทดลองจะจัดลำดับการทดลองแบบสุ่มและทำการบันทึกผลการทดลองได้ดังนี้

ตารางที่ 4 ผลการทดลอง

StdOrder	RunOrder	Factor			Response
		อุณหภูมิ (°C)	ระยะเวลา (Min)	ความดัน (kPa)	
1	11	540	50	1.2	0.17
2	16	560	50	1.2	0.25
3	6	540	60	1.2	0.22
4	1	560	60	1.2	0.32
5	4	540	50	1.5	0.19
6	3	560	50	1.5	0.29
7	8	540	60	1.5	0.23
8	10	560	60	1.5	0.34
9	5	540	50	1.2	0.18
10	14	560	50	1.2	0.26
11	12	540	60	1.2	0.24
12	2	560	60	1.2	0.27
13	7	540	50	1.5	0.20
14	9	560	50	1.5	0.25
15	13	540	60	1.5	0.21
16	15	560	60	1.5	0.29

4.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k Full Factorial Design

หลังจากทำการทดลองครบถ้วนแล้วผู้วิจัยได้นำค่าตอบสนองจากผลการทดลองมาวิเคราะห์ผลเพื่อหาปัจจัยที่มีอิทธิพลกับการเกิดของเสียประเภทชิ้นงานมีมุมสูงกว่ามาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญ ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การตรวจสอบคุณสมบัติของข้อมูลการทดลอง

จากการวิเคราะห์สัดส่วนของข้อมูลจะเห็นว่าการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง (Residual) พบว่าการกระจายแบบปกติลักษณะจุดตกค้างเรียงตัวกันบนเส้นมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง มีความเป็นอิสระต่อกันและกราฟระหว่างค่าของส่วนตกค้างกับลำดับการทดลองไม่มีลักษณะเป็นแนวโน้ม ดังนั้นสามารถที่จะสรุปได้ว่าเป็นอิสระต่อกันไม่ขึ้นอยู่กับการทดลอง จึงถือว่าการทดลองนี้ถูกต้อง การทดสอบโดย Histogram เมื่อพิจารณาการกระจายของข้อมูลบนแผนภูมิ พบว่าการกระจายตัวของ Residual มีรูปแบบที่เป็นอิสระ ไม่มีรูปแบบที่แน่นอนหรือไม่สามารถประมาณรูปแบบที่แน่นอนได้ แสดงให้เห็นว่าค่า Residual มีความเป็นอิสระต่อกัน (Independent)

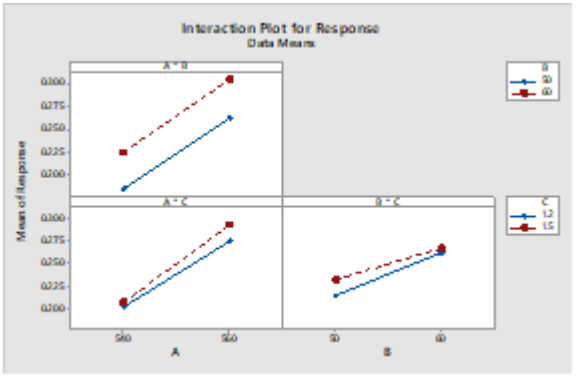
4.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของชิ้นส่วนประกอบขดลวดนำที่มีของเสียประเภทชิ้นงานมีมุมสูงกว่ามาตรฐาน จากการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลองพบว่าไม่มีความผิดปกติของการทดลองเกิดขึ้น ผู้วิจัยจึงนำข้อมูลที่ได้จากตารางที่ 6 มาวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อศึกษาอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งหมดโดยกำหนดระดับความเชื่อมั่นของการวิเคราะห์อยู่ที่ 95% ($\alpha = 0.050$) ดังตารางที่ 5

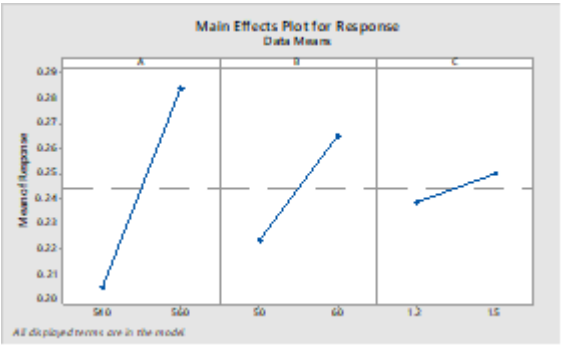
ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลการทดลอง

Factorial Fit: response versus A,B,C					
Estimated Effect and Coefficient for response (coded units)					
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		0.24437	0.00548	44.56	0.000
A	0.07875	0.03938	0.00548	7.18	0.000
B	0.04125	0.02063	0.00548	3.76	0.006
C	0.01125	0.00562	0.00548	1.03	0.335
A*B	0.00125	0.0063	0.00548	0.11	0.912
A*C	0.00625	0.00312	0.00548	0.57	0.584
B*C	-0.00625	-0.00312	-0.00548	-0.57	0.584
A*B*C	0.00875	0.00437	0.00548	0.80	0.448
S = 0.0219374		R-sq = 89.48 %		R-sq (adj) = 80.27 %	

จากตารางที่ 5 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลอง โดยพิจารณาปัจจัยที่มีผลกระทบร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญ (P-value < 0.050) พบว่าค่า P-value ของปัจจัยอุณหภูมิในการอบ (A) และระยะเวลาในการอบ (B) มีค่าน้อยกว่า 0.05 ซึ่งแสดงว่าปัจจัยทั้ง 2 ส่งผลต่อปริมาณของเสียประเภทชิ้นงานมีมุมสูงกว่ามาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนปัจจัยความดันมีค่า P-value มากกว่า 0.05 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความดันในเตาอบไม่ส่งผลต่อปริมาณของเสียประเภทชิ้นงานมุมสูงกว่ามาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญ และไม่มีผลกระทบร่วมเนื่องจาก (P-value > 0.05) จากข้อมูลของตารางที่ 5 สามารถแสดงเป็นแผนภูมิผลกระทบดังภาพที่ 5 และ 6



รูปที่ 5 แผนภูมิปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีผลต่อค่าตอบสนองของปริมาณของเสีย



รูปที่ 6 แผนภูมิการวิเคราะห์ปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่าตอบสนองของปริมาณของเสีย

4.5 การหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีการ Response Optimization

จากผลการทดลองที่ได้กรองปัจจัยมาเบื้องต้นแล้ว (Screening) ทำให้ได้ทราบว่าปัจจัยใดบ้างที่มีอิทธิพลต่อการเกิดของเสีย จากนั้นผู้วิจัยมีความสนใจที่จะกำหนดค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อใช้ในกระบวนการขึ้นรูปเพื่อลดจำนวนของเสีย โดยจะทำการทดลองเพื่อหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมด้วยวิธีการ Response Optimization ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ Response ด้วยโปรแกรม Minitab ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 Output Optimize Point

Response Optimization						
Parameters						
Response	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	import
	Minimize	0.17	0.17	0.34	1	1
A = 540						
B = 50						
C = 1.2						
Predicted Response						
Response = 0.1750 desirablity = 0.97059						
Composite Desirability = 0.97059						

จากตารางที่ 6 แสดงการวิเคราะห์ Response Optimization จากโปรแกรม Minitab พบว่าปัจจัยที่เหมาะสมในแต่ละระดับปัจจัย คือ อุณหภูมิในการอบที่ระดับปัจจัย 540°C ระยะเวลาในการอบที่ระดับปัจจัย 50 นาที และแรงดันภายในเตาอบ 1.2 kPa จะทำให้เกิดสัดส่วนของเสียน้อยที่สุดคือ 0.1750

4.6 การเปรียบเทียบผลก่อนและหลังปรับปรุง

เพื่อเป็นการยืนยันผลการวิจัยว่าสามารถลดของเสียปัญหาชิ้นงานมุมสูงกว่ามาตรฐาน ผู้วิจัยจึงทำการทดสอบและกำหนดค่าตามระดับปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการผลิต จากนั้นนำข้อมูลจำนวนของเสียก่อนและหลังการทำการวิจัยมาทำการเปรียบเทียบก่อนและหลังทำการปรับปรุง

ตารางที่ 7 สรุปผลการผลิตก่อนและหลังปรับปรุง

ระยะเวลาที่ผลิต	จำนวนยอดการผลิต (ชิ้น)	จำนวนของดี (ชิ้น)	จำนวนของเสีย (ชิ้น)	จำนวนของเสียประเภทมุมสูงกว่ามาตรฐาน (ชิ้น)	เปอร์เซ็นต์ของเสีย (%)	เปอร์เซ็นต์ของเสียประเภทมุมสูงกว่ามาตรฐาน (%)	% yield
ธ.ค.2564-พ.ค.2565	29,150	20,491	8,659	6,533	29.70	75.45	70.30
ต.ค.2565-พ.ย.2565	11,430	9,816	1,614	328	14.12	20.32	85.88

จากตารางที่ 7 จะเห็นว่ายอดจำนวนการผลิตเท่ากับ 29,150 ชิ้น และมีจำนวนของเสียประเภทมุมชิ้นงานสูงกว่ามาตรฐานเท่ากับ 6,533 คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของเสียเท่ากับ 75.45% เมื่อทำการทดลองโดยนำค่าอุณหภูมิในการอบเท่ากับ 540°C, ระยะเวลาในการอบ 50 นาที และแรงดันในภายในเตาอบเท่ากับ 1.2 kPA ซึ่งเป็นระดับปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในกระกวนการผลิตแล้ว พบว่าหลังการปรับปรุงมียอดจำนวนการผลิตเท่ากับ 11,430 ชิ้น และมีจำนวนของเสียประเภทมุมชิ้นงานสูงกว่ามาตรฐานเท่ากับ 328 ชิ้น คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของเสียเท่ากับ 20.32%

5.สรุปและอภิปลายผล

การศึกษาปัญหาที่พบเกิดขึ้นในกระบวนการผลิตจากการเก็บข้อมูลพบเกิดของเสียที่เกิดจากปัญหามุมชิ้นงานสูงกว่ามาตรฐาน โดยประยุกต์ใช้เครื่องมือคุณภาพ เพื่อทราบถึงปัญหา และที่มาของปัจจัยที่ทำให้เกิดปัญหาทั้งหมด จากนั้นได้นำการออกแบบการทดลองมาประยุกต์ใช้เพื่อค้นหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อปัญหามุมชิ้นงานสูงกว่ามาตรฐาน และวิเคราะห์ผลเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุด เพื่อใช้ในการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องอบรักษาความร้อน พบว่ามี 3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปัญหามุมชิ้นงานสูงกว่ามาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญ และพบว่าค่าที่เหมาะสมที่สุดในแต่ละปัจจัยเป็นดังนี้ อุณหภูมิในการอบ 540°C เวลาในการอบ 50 นาที และ แรงดันภายในเตาอบ 1.2 kPA จากการนำระดับค่าพารามิเตอร์ของปัจจัยดังกล่าวไปปรับใช้ในเครื่องจักร พบว่าของเสียในการผลิตชิ้นส่วนประกอบขดลวดนำจากปัญหามุมชิ้นงานสูงกว่ามาตรฐานลดลงจาก 6,533 ชิ้น เหลือ 328 ชิ้น และทำให้ส่งผลต่อของเสียโดยรวมจาก 8,659 ชิ้น ลดลงเหลือ 1,614 จึงทำให้ %Yield เพิ่มขึ้นจาก 70.30 เป็น 85.88 ซึ่งเป็นไปตามที่บริษัทกรณีศึกษากำหนด

เอกสารอ้างอิง

[1] เรืองลักษณ์ บัตรเพ็ชร, จุฑาวรรณ อ้นสุวรรณ และธิดาเดียว มยุรีสวรรค์, เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 ชนิด (7 Quality Control Tools), ข้อมูลจาก http://sc2.kku.ac.th/statweb/images/Eventpic/60/Seminar/02_13_-7-.pdf. (วันที่สืบค้นข้อมูล 16 กันยายน 2565)

[2] วิมลศรี สิทธิกูล. (2557). “การลดของเสียของกระบวนการผลิตท่อช่วยหายใจโดยประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา: บริษัทผลิตอุปกรณ์การแพทย์.” หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการงานวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ มหาวิทยาลัยศิลปากร.

[3] ปฐมพงษ์ หอมศรี และ จักรพรรณ คงชนะ, “การลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนฉีดพลาสติกสำหรับชิ้นส่วนยานยนต์โดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง,” วารสารวิศวกรรมเกษมบัณฑิต, ปีที่ 3, ฉบับที่ 2, กรกฎาคม - ธันวาคม 2556

[4] พิชิตพล อยู่พะเนียด. (2561). “การประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองในการลดของเสียของกระบวนการอบนึ่งยางล้อรถยนต์ กรณีศึกษา บริษัท ตัวอย่าง.” หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการงานวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ มหาวิทยาลัยศิลปากร.

[5] บุญชัย แซ่สิ้ว และณัฐธยาน์ โสกุล, “การลดของเสียในขั้นตอนกระบวนการบรรจุ โดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา: บริษัทผลิตขนมขบเคี้ยว,” วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง, ปีที่ 9, ฉบับที่ 2, กรกฎาคม - ธันวาคม 2559

[6] ปาพจนี ปาลกะวงศ์ ณ อยุธยา. (2561). “การออกแบบการทดลองเพื่อลดของเสียในกระบวนการฉีดพลาสติกของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์,” หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการงานวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ มหาวิทยาลัยศิลปากร.

[7] ฉัตรชัย ฉายะรถี และศักดิ์ชาย รักการ, “การลดของเสียในกระบวนการชุบโครเมี่ยมด้วยวิธีการออกแบบการทดลองเชิงวิศวกรรม,” วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, ปีที่ 1, ฉบับที่ 1, มกราคม - มิถุนายน 2564



ประวัติผู้เขียนบทความ

ชื่อ-สกุล ธวัชชัย ภัทรดนัย

วุฒิการศึกษา

พ.ศ. 2563 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยศิลปากร

พ.ศ. 2564 ศึกษาต่อระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาการจัดการงานวิศวกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

การบริหารจัดการลดข้อร้องเรียนเกี่ยวกับคุณภาพสินค้าประเภทอาหารแปรรูป กรณีศึกษา บริษัท ผู้ผลิตสินค้าอาหารแปรรูป

A management to reduce quality complaints about food products: A case study of a food processing company.

นพพล รุ่งเรือง[1*] ดร. ศักดิ์ชาย รักการ[2] ผศ.อิงอร ตั้นพันธ์[3] และพจนีย์ ศรีวิเชียร[4]

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

วิทยาเขตพัฒนาการ 1761 ถนนพัฒนาการ แขวงพัฒนาการ เขตสวนหลวง กรุงเทพมหานคร 10250

noppol_ru@chaixi.co.th[1*], sakchai.rak@kbu.ac.th[2], ing-orn.tan@ kbu.ac.th[3], podchanee.sri@kbu.ac.th[4]

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาลดปัญหาข้อร้องเรียนสินค้าอาหารแปรรูป โดยจากข้อมูลพบว่าระหว่างเดือนมกราคมถึงเมษายนปี 2565 มีข้อร้องเรียนเกิดขึ้นจำนวน 74 ครั้ง คิดเป็นมูลค่าของเสีย 277,146บาท ซึ่งเกิดจากข้อร้องเรียนผลิตภัณฑ์หมูบดถึงร้อยละ 71.6 วิธีการดำเนินการวิจัยโดยใช้แผนภูมิความคิด Mind Map และหลักการวิเคราะห์ปรากฏการณ์แบบ Why-Why Analysis ทำให้เห็นถึงสาเหตุที่แท้จริงอย่างเป็นระบบ จากนั้นจึงนำสาเหตุที่พบทั้งหมดมากำหนดการแก้ปัญหา โดยปรับปรุงสถานที่ผลิตอาหาร เครื่องจักรการผลิตและการขนส่งให้ถูกสุขลักษณะ หลังจากการศึกษาวิจัย พบว่าสามารถลดจำนวนข้อร้องเรียนสินค้าอาหารแปรรูปทั้งหมดเหลือเฉลี่ย 2 ครั้งต่อเดือน ซึ่งลดลงร้อยละ 89 จากก่อนทำการปรับปรุงเกิดขึ้นเฉลี่ย 18.5 ครั้งต่อเดือน รวมทั้งมียอดขายจากผลิตภัณฑ์เกิดใหม่จำนวน 3 SKUs โดยมียอดสั่งซื้อในเดือนพฤศจิกายน เป็นเงิน 1,062,729 บาท และเดือนธันวาคม มียอดขายเติบโตกว่าเดือนพฤศจิกายนถึงร้อยละ 3.92 โดยอายุโครงการคือ 10 ปีมีอัตราผลตอบแทนคิดลด (Internal Rate of Return: IRR)ร้อยละ 32.9 ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB) ของโครงการนี้คือ 2.86 ปี

คำสำคัญ : ลดข้อร้องเรียน; อาหารแปรรูป; สถานที่ผลิตอาหาร

Abstract

This research studies a problem of the reduction complaints for food products. From the data source is between January and April 2022. There were 74 compliances with resulting in losing of 277,146 baht, which error from ground pork products up to 71.6 % This problem is analyzed by everyone in the using Mind Map and Why-Why analysis. reveals the root cause systematically and then all causes are applied to determine the method for solution. By improving the food processing plant, process machinery, and transportation to be standard hygienic. After that it is found that the number of complaints for all processed food products is reduced to an average of 2 times per month, which is 89% lower than before the improvement, which occurred on average 18.5 times per month. Moreover sale of new products are added in the amount of 3 SKUs. The orders are in November to 1,062,729 baht. And in December, there is a sales growth of 3.92% over November with a project life of 10 years with an internal rate of return (IRR) of 32.9%. The payback period (PB) of this project is 2.86 years.

Keywords: reduce complaints; processed food; food manufacturing

1. บทนำ

คำร้องเรียนของลูกค้า (Customer Complaint) เป็นเสมือนกระจกเงา สะท้อนการบริการที่มีต่อลูกค้า เป็นเสียงที่ชัดเจน ทำให้เรารู้ได้ทันทีว่าลูกค้ามีปัญหาอะไร ต้องการอะไร มีอะไรที่กำลังไม่พอใจ และเราจะช่วยทำอะไรได้บ้าง ที่จะเป็นการแก้ปัญหา และลดความไม่พึงพอใจของลูกค้า ให้กลับกลายเป็นการสร้างความประทับใจในบริการของเราแก่ลูกค้า [1] ดังนั้นการร้องเรียนคุณภาพสินค้าของลูกค้านั้น จึงมีบทบาทสำคัญมากสำหรับธุรกิจในปัจจุบัน แม้ว่าในพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 ไม่ได้กำหนดสิทธิของผู้บริโภคไว้ในกฎหมาย แต่สามารถใช้เป็นหลักในการควบคุมจัดการ หากพบปัญหาเรื่องอาหารไม่ปลอดภัย ไม่ว่าจะเป็นอาหารไม่บริสุทธิ์ อาหารปลอม อาหารผิดมาตรฐาน หรือ โฆษณาอาหารเกินจริงเป็นเท็จสามารถนำปัญหาที่เกิดขึ้น ไปร้องเรียนกับพนักงานเจ้าหน้าที่ เพื่อดำเนินการตามกฎหมายได้ นอกจากนี้ยังมีข้อกฎหมายที่สามารถใช้เพื่อคุ้มครองผู้บริโภค ในกรณีที่พบเจอกับปัญหาอาหารไม่ปลอดภัย [2]

โดยหลายธุรกิจตระหนักถึงการจัดการข้อร้องเรียน [3] ได้ศึกษาข้อร้องเรียนบริษัทซึ่งให้บริการด้านการจัดเลี้ยง เพื่อกำหนดหัวข้อด้านความปลอดภัยของอาหารที่บริษัทเหล่านี้ควรให้ความสำคัญ ผ่านระบบการจัดการความพึงพอใจของลูกค้า (CSMS -ISO 10002:2018) ในภาคส่วนธุรกิจร้านอาหาร [4]ได้ศึกษาแนวทางการแก้ไขปัญหาข้อร้องเรียนคุณภาพอาหารในร้านพิซซ่าทั้งระบบโดยใช้หลักการ Customer Complaint Management System นอกจากการรับมือกับการร้องเรียนของลูกค้าแล้ว ทางภาคส่วนธุรกิจควรมีส่วนร่วมในการส่งเสริมและให้ความรู้ผู้บริโภค [5]ได้ศึกษาแบบจำลองแนวคิดเพื่อสนับสนุนความไว้วางใจของผู้บริโภคในความปลอดภัยของอาหาร โดยการใช้เทคโนโลยีเพื่อส่งเสริมความรู้ผู้บริโภค สุดท้ายภาคส่วนธุรกิจควรจัดการสถานที่ผลิตอาหารและเครื่องมือให้ถูกสุขลักษณะ [6] ทำการวิจัยเรื่องการปรับปรุงการดำเนินงานเพื่อเข้าสู่ระบบ GMP และ HACCP สำหรับอุตสาหกรรมแปรรูปจากเนื้อสุกร เพื่อเพิ่มความสามารถในการแข่งขันในตลาด และ [7] ทำการวิจัยเรื่องปัจจัยพื้นฐานในการออกแบบอุปกรณ์แปรรูปอาหารให้ถูกสุขลักษณะและความสามารถในการทำความสะอาดโดยมีความเสี่ยงจากการปนเปื้อนน้อยที่สุด

ดังนั้นในการวิจัยในครั้งนี้จะศึกษาปัญหาข้อร้องเรียนที่มี 74 ครั้ง ซึ่งสะสมระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน 2565 โดยประยุกต์ใช้หลักการและทฤษฎีในการจัดการงานวิศวกรรมเข้ามา

แก้ปัญหา และกำหนดแนวทางวิธีการแก้ปัญหาที่นำไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพขององค์กรต่อไป โดยตั้งเป้าลดข้อร้องเรียนสินค้าอาหารแปรรูปลงร้อยละ 50 ของข้อร้องเรียนผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปเดือนมกราคม ถึงเมษายน ปี 2565

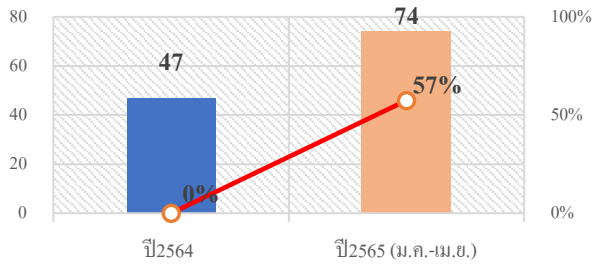
2. วิธีการดำเนินการวิจัย

กระบวนการดำเนินงาน ศึกษา วิเคราะห์และประยุกต์การจัดการงานวิศวกรรมเพื่อปรับปรุงลดข้อร้องเรียนสินค้าอาหารแปรรูป โดยมีลำดับขั้นตอนก่อนหลังดังนี้

1) ศึกษาข้อมูลข้อร้องเรียนเดือนมกราคม ถึงเมษายน ปี 2565
2) วิเคราะห์ข้อมูลต้นเหตุของปัญหาข้อร้องเรียน
3) ดำเนินการปรับปรุงแก้ไขปัญหา

2.1 ศึกษาข้อมูลข้อร้องเรียนเดือนมกราคมถึงเมษายน 2565

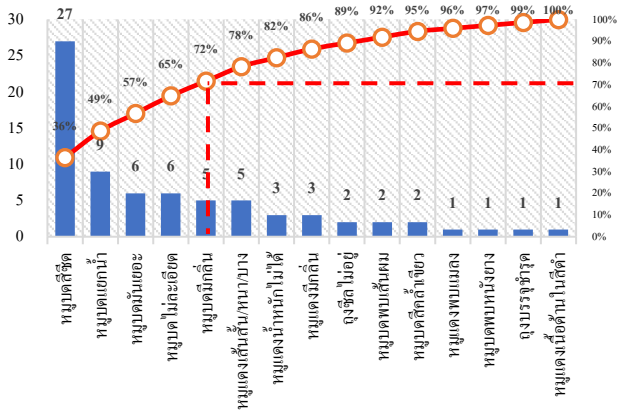
จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า ในเดือนมกราคม ถึงเมษายน ปี 2565 เกิดข้อร้องเรียนสินค้าประเภทสินค้าอาหารแปรรูป จำนวน 74 ครั้ง โดยเพิ่มขึ้นจากปี 2564 ร้อยละ 57 คิดเป็นมูลค่าความเสียหายที่เกิดขึ้น 277,146 บาท ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 จำนวนข้อร้องเรียนระหว่างปี 2564 เทียบ ม.ค.-เม.ย.ปี2565

2.2 วิเคราะห์ข้อมูลต้นเหตุของปัญหาข้อร้องเรียน

นำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์ สามารถสรุปปัญหาโดยใช้เครื่องมือพาเรโตแยกตามข้อร้องเรียนที่ได้รับ ดังรูปที่ 2

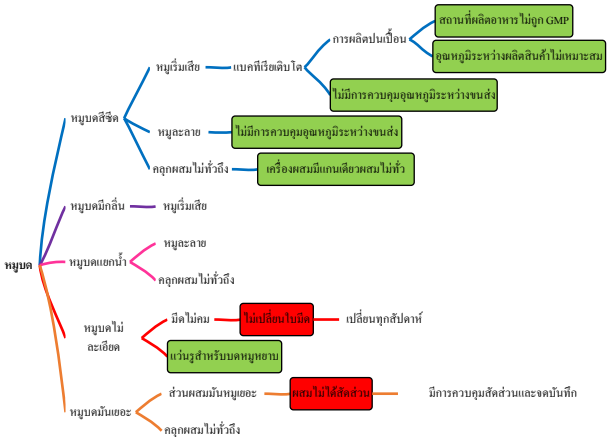


รูปที่ 2 วิเคราะห์ข้อมูลข้อร้องเรียนปี 2565 โดยใช้พาเรโต

พบว่า 5 อันดับแรกของปัญหา คิดเป็นร้อยละ 71.6 ของปัญหาข้อร้องเรียนผลิตภัณฑ์สินค้าอาหารแปรรูปทั้งหมดที่เกิดขึ้น เกิดจากปัญหาของผลิตภัณฑ์หมูบดเป็นหลักได้แก่

1) หมูบดสีชีด 36.5%
2) หมูบดแยกน้ำ 12.2%
3) หมูบดมันเยอะ 8.1%
4) หมูบดไม่ละเอียด 8.1%
5) หมูบดมีกลิ่น 6.8%

ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้ จึงมีแนวทางลดข้อร้องเรียนของผลิตภัณฑ์หมูบด จากการวิเคราะห์ปัญหาผลิตภัณฑ์หมูบดโดยเครื่องมือ Mind map พบว่าต้นเหตุของปัญหาได้แก่ 1) สถานที่ผลิตอาหารไม่สอดคล้องตามข้อกำหนด GMP 2) อุณหภูมิระหว่างการผลิตสินค้าไม่เหมาะสม 3) ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิระหว่างขนส่งสินค้า 4) เครื่องผสมคลุกเคล้าไม่ทั่ว 5) ขนาดแว่นรูบดหมูหยาบเกินไป ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 วิเคราะห์ข้อมูลต้นเหตุของปัญหาข้อร้องเรียนผลิตภัณฑ์หมูบด

3. ดำเนินการแก้ไขปรับปรุงแก้ไขปัญหา

3.1 ปรับปรุงสถานที่ผลิตให้สอดคล้องตามข้อกำหนด GMP

การแก้ไขปรับปรุงอาคารสิ่งปลูกสร้างในครั้งนี้ ดำเนินการแก้ไขเพื่อให้สอดคล้องตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 420) พ.ศ. 2563 ออกตามความในพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 เรื่อง วิธีการผลิต เครื่องมือเครื่องใช้ในการผลิตและการเก็บรักษาอาหาร [8] และอ้างอิงค่าความเข้มแสงตามประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่องมาตรฐานความเข้มของแสงสว่าง [9] ปรับปรุงโดย

กำหนดทางเข้าออกพนักงานและผลิตภัณฑ์ชัดเจน มีทางระบายน้ำภายในอาคารที่นำน้ำเสียออกสู่กระบวนการบำบัดต่อไป

กำหนดพื้นอาคารในห้องผลิต ทางเดินและห้อง Lab เป็นพื้นคอนกรีตเคลือบทับด้วย PU ความหนา 6 มม. ทั่วทั้งบริเวณโดยข้อดีของการเคลือบพื้นผิวด้วย PU คือ พื้นไม่มีรอยต่อและลดการสะสมของเชื้อโรคและแบคทีเรีย ตลอดแนวของมุมห้องกำหนดให้ปั้นบัวเชิงผนังโค้งด้วย PU หรือใส่มุมอลูมิเนียมแบบโค้ง เพื่อลดโอกาสในการสะสมของฝุ่น รวมทั้งช่วยให้สามารถทำความสะอาดได้ง่าย [10]

กำหนดผนังอาคารและแผ่นฝ้าทั้งหมดใช้แผ่น Sandwich panel ติดตั้งแทนผนังอิฐมวลเบาเดิม ข้อดีคือสามารถทำความสะอาดได้ง่าย ติดตั้งสะดวกรวดเร็ว น้ำหนักเบาและเป็นฉนวนกันความร้อนในตัว ซึ่งช่วยประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้า [11]

กำหนดโคมไฟที่ใช้ในพื้นที่ผลิตกำหนดให้ใช้โคมไฟแบบมีฝาครอบพลาสติกเพื่อลดโอกาสปนเปื้อนของหลอดไฟกรณีที่มีการแตกชำรุดเสียหาย ช่วยให้ลดการสะสมของฝุ่นและสามารถทำความสะอาดได้ง่าย โดยกำหนดให้พื้นที่ทำงานทั้งหมดมีความเข้มแสงเฉลี่ย 500 lux ตามประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่องมาตรฐานความเข้มของแสงสว่าง [9] โดยมีการดำเนินการติดตั้งดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 พื้นที่ผลิตหลังปรับปรุง

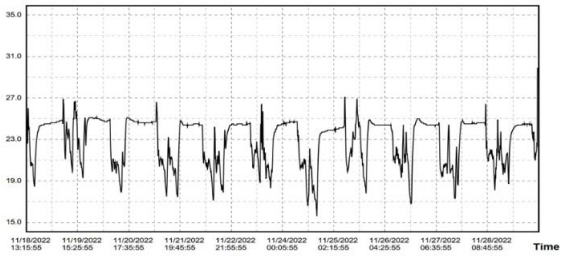
3.2 ปรับปรุงอุณหภูมิระหว่างการผลิตสินค้า

ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 420) พ.ศ. 2563 ระบุว่า “การระบายอากาศด้วยวิธีการทำให้เย็นโดยใช้เครื่องปรับอากาศ ควรตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 20-25 องศาเซลเซียส ความชื้นในช่วงร้อยละ 30-70 เพื่อควบคุมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ช่วยให้การทำงานของผู้ปฏิบัติงานมีประสิทธิภาพ” [8] โดยทำการติดตั้งระบบทำความเย็นในพื้นที่ผลิตอาหาร เลือกใช้ตามการคำนวนด้วยแอพพลิเคชั่น Cold Room Calculator และโปรแกรม BITZER Software ได้ผลลัพธ์ระบบทำความเย็นที่ใช้ในพื้นที่จำนวน 3 ชุดด้วยกันคือ 3 แรงม้า 12 แรงม้า และ 22 แรงม้า กระจายตามห้องต่างในการผลิต โดยติดตั้งดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ติดตั้งระบบทำความเย็นอาคาร

หลังติดตั้งทำการตรวจวัดโดยใช้เครื่องมือวัด Data logger วัดบริเวณห้อง ที่มีส่วนในการผลิตผลิตภัณฑ์หมูบด พบว่าอุณหภูมิต่ำสุดที่ทำได้ คือ 15.6 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 22.9 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ผลการวัดอุณหภูมิบริเวณห้องผลิตสินค้า

3.3 ปรับปรุงการขนส่งสินค้า

ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่องหลักเกณฑ์ และวิธีการกำหนดอุณหภูมิในการเก็บรักษาอาหารสด ในสถานที่จำหน่ายสินค้า พ.ศ. 2561 โดยให้คำจำกัดความการแช่เยือกแข็ง หมายความว่าการเก็บรักษาอาหารสดไว้ในอุณหภูมิต่ำกว่าลบ 18 องศาเซลเซียส เหมาะสำหรับการเก็บเป็นระยะเวลานาน [12]

โดยการปรับปรุงแก้ไขในครั้งนี้ใช้วิธีนำตู้คอนเทนเนอร์เย็นที่มีอยู่ติดตั้งบริเวณพ่วงรถสิบล้อแทนตู้เดิม ซึ่งสามารถทำความเย็นได้ต่ำสุดคือ -25 องศาเซลเซียส และทำการติดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อเป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้าสำหรับตู้คอนเทนเนอร์เย็น โดยตู้คอนเทนเนอร์เย็นมีกำลัง 10 แรงม้า โดยจะใช้กระแสไฟฟ้าประมาณ 17.71 A ต้องมีการเผื่อค่ากระแสตอนสตาร์ทอย่างน้อย 4 เท่า [13] โดยเลือกเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้เหมาะสมโดยการคำนวณดังแสดงในสมการที่ (1)

$$P = 1.732 \times VI \times PF \times eff \quad (1)$$

$$=1.732 \times 380V.x\ (17.71x4) \times 0.8 \times 0.8$$

$$= 29.84\ kWh.$$

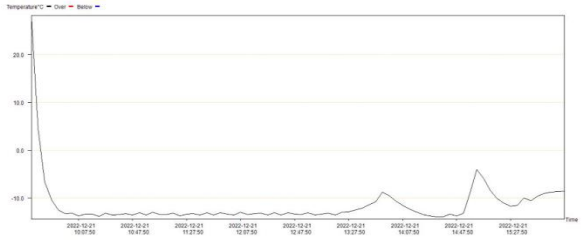
ปกติเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะให้ใช้ไฟฟ้าไม่เกินร้อยละ 80 ของค่าพิกัดสูงสุดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถผลิตได้ ดังนั้นขนาดเครื่องที่เหมาะสมคือ 37.3 kVA และเลือกใช้เครื่องที่มีในท้องตลาดคือ 35 kVA และติดตั้งดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ติดตั้งตู้คอนเทนเนอร์เย็นและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

หลังติดตั้งทำการตรวจวัดโดยใช้เครื่องมือวัด Data logger โดยเริ่มทดสอบ ระหว่างเวลา 9.30 – 16.00 น. เป็นการทดสอบการทำความเย็นโดยมีสินค้าภายในตู้คอนเทนเนอร์ ทดสอบเป็นเวลา 6.30 ชม. โดยเดินทางจากจังหวัดปทุมธานี ถึง จังหวัดมหาสารคาม พบว่าอุณหภูมิต่ำสุดที่ทำได้คือ -14 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ -11.5 องศาเซลเซียส ซึ่งไม่

สอดคล้องตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข สืบเนื่องจากผลิตภัณฑ์ก่อนการขนส่ง มีอุณหภูมิเฉลี่ย -10 องศาเซลเซียส โดยผลการตรวจวัดดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 ผลการวัดอุณหภูมิระหว่างขนส่ง

3.4 ปรับปรุงเครื่องจักร

เปลี่ยนขนาดแว่นรูเครื่องบดหมูจากเดิม ใช้แว่นรูขนาด 4 มม. ทำการบด 2 ครั้ง ปรับปรุงโดยบดครั้งที่ 1 ใช้แว่นรูขนาด 4 มม. บดครั้งที่ 2 ใช้แว่นรูขนาด 3 มม. เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบดเนื้อหมูให้ละเอียดกว่าของเดิม ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 แว่นรูเครื่องบดหมู ขนาดรู 3 มม.

เปลี่ยนเครื่องคลุกผสม เดิมเครื่องมีลักษณะแกนเพลาใบคลุกผสมแบบแกนเดี่ยว ทำให้การคลุกผสมนั้นเป็นการคลุกผสมแบบทางเดียว รวมทั้งมีหมูติดบริเวณด้านข้างถังจำนวนมาก เปลี่ยนเป็นแกนเพลาใบคลุกผสมแบบคู่ โดยลักษณะการหมุนของเพลาทั้ง 2 ชุด จะหมุนเข้าหาและหมุนออกจากกันสลับกันไป เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการคลุกผสมให้ทั่วถึง สามารถเพิ่มปริมาณในการคลุกผสมจากเดิมผสมได้ 85 กก./รอบ เป็น 170 กก./รอบ สามารถลดเวลาคลุกผสมได้จากเดิมใช้เวลา 20 นาที/รอบ เหลือเพียง 18 นาที/รอบ ซึ่งสามารถลดระยะเวลาการทำงานของพนักงานลง 2 ชม./วัน ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 เครื่องคลุกผสมเดิมและเครื่องคลุกผสมใหม่

4.ผลการดำเนินการวิจัย

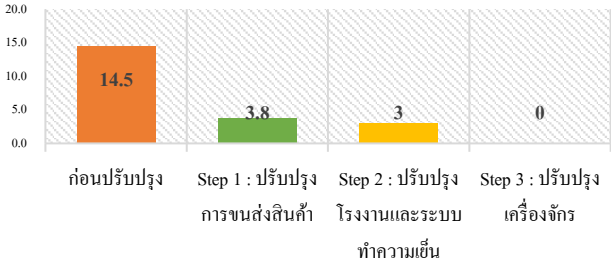
4.1 ผลลัพธ์ด้านการลดข้อร้องเรียนลูกค้า

งานวิจัยในครั้งนี้มีการวัดผลการแก้ไขปรับปรุงจำนวน 3 ช่วงเวลา โดยเรียงตามลำดับงานที่มีการแก้ไขก่อนหลัง

ช่วงที่ 1 เริ่มวัดผลหลังจากปรับปรุงการขนส่งสินค้า ไปศูนย์กระจายสินค้า พบว่าจำนวนข้อร้องเรียนผลิตภัณฑ์หมูบด จากเฉลี่ยเดือนละ 14.5 ครั้ง ลดลงเหลือเพียงเฉลี่ยเดือนละ 3.8 ครั้ง ซึ่งลดลงร้อยละ 67 โดยเก็บข้อมูลตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนกันยายน 2565

ช่วงที่ 2 เริ่มวัดผลหลังจากการปรับปรุงอาคารสถานที่ในการผลิตอาหารและระบบทำความเย็นพื้นที่ผลิตอาหาร พบว่าจำนวนข้อร้องเรียนผลิตภัณฑ์หมูบดหลังจากปรับปรุงช่วงที่ 1 เฉลี่ยเดือนละ 3.8 ครั้ง ลดลงเหลือเพียงเฉลี่ยเดือนละ 3 ครั้ง ซึ่งลดลงร้อยละ 21 โดยเก็บข้อมูลเดือนตุลาคม เพียง 1 เดือน

ช่วงที่ 3 เริ่มวัดผลหลังจากการปรับปรุงเครื่องจักรในการผลิต พบว่าไม่พบข้อร้องเรียนผลิตภัณฑ์หมูบด โดยเก็บข้อมูลตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน ถึงเดือนธันวาคม 2565 ดังแสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 11 จำนวนข้อร้องเรียนผลิตภัณฑ์หมูบดเฉลี่ยก่อนและหลังปรับปรุง

4.2 ผลลัพธ์ด้านการเพิ่มโอกาสทางการขาย

นอกจากประโยชน์ที่ได้รับทางตรง จากการที่สามารถลดข้อร้องเรียนผลิตภัณฑ์หมูบด ยังมีประโยชน์ทางอ้อม จากการปรับปรุงแก้ไขสถานที่ผลิตอาหารแปรรูปและระบบปรับอากาศโรงงานผลิต คือ เพิ่มช่องทางการจัดจำหน่ายของกลุ่มลูกค้า Modern Trade ซึ่งถือเป็นช่องทางการจัดจำหน่ายใหม่ พบว่าหลังจากเริ่มใช้งานอาคารผลิตใหม่ สามารถเสนอขายผลิตภัณฑ์ใหม่ให้ลูกค้ากลุ่ม Modern Trade ได้จำนวน 3 SKUs โดยมียอดสั่งซื้อในเดือนพฤศจิกายน เป็นจำนวนเงิน 1,062,729 บาท และเดือนธันวาคม มียอดขายเติบโตกว่าเดือนพฤศจิกายนถึงร้อยละ 3.92 เป็นผลสืบเนื่องจากการปรับปรุงอาคารให้สอดคล้องตามข้อกำหนด GMP และปรับปรุงอุณหภูมิระหว่างผลิตสินค้า ดังตารางที่ 1

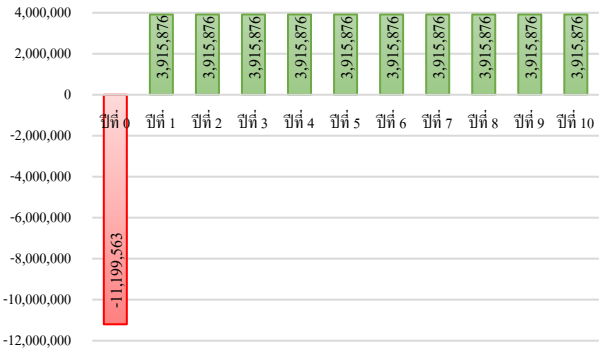
ตารางที่ 1 ยอดการสั่งซื้อผลิตภัณฑ์สินค้าใหม่

สินค้า	ยอดสั่งซื้อ (บาท)	
	พฤศจิกายน	ธันวาคม
1.บะหมี่หยกแห้งหมูแดงเกี๊ยวกุ้งไรซ์ฯ	333,888	337,440
2.เกี๊ยวกุ้งโกลด์ พร้อมน้ำจิ้ม	159,241	139,289
3.เป็ดย่าง	569,600	627,692
รวม	1,062,729	1,104,421

4.3 ผลลัพธ์ด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

งานปรับปรุงในแต่ละหัวข้อนั้น มีค่าใช้จ่ายที่จำเป็นต้องใช้เพื่อลงทุน ประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายเพื่อแก้ไขปรับปรุงสถานที่ผลิตสินค้าอาหารแปรรูป แก้ไขระบบทำความเย็นอาคาร จัดหาเครื่องจักรและ

อุปกรณ์ ใช้การวิเคราะห์หาอัตราผลตอบแทนคิดลด และระยะเวลาการคืนทุน เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจและสื่อสารกับผู้บริหาร ถึงความคุ้มค่าของการลงทุน โดยมีกระแสเงินสดรับและจ่ายในโครงการ ดังรูปที่12



รูปที่ 12 กระแสเงินสดรับและเงินลงทุนสุทธิเริ่มโครงการ

เงินลงทุนสุทธิเริ่มโครงการมีมูลค่า 11,199,563 บาท จากการลงทุนปรับปรุงสถานที่ผลิตอาหาร ปรับปรุงอุณหภูมิระหว่างการผลิต ปรับปรุงการขนส่งและปรับปรุงเครื่องจักร ต้นทุนของเงินทุนหรือดอกเบี้ยเงินกู้จากสถาบันการเงินร้อยละ 3.25 ต่อปี มีกำหนดการชำระเงินต้นคืนภายใน 10 ปี โดยมีกระแสเงินสดรับของโครงการมีมูลค่า 3,915,876 บาทต่อปี ได้มาจากมูลค่าของเสียที่ลดลงและกำไรจากยอดการสั่งซื้อผลิตภัณฑ์ใหม่ โครงการนี้กำหนดให้เมื่อสิ้นสุดโครงการมูลค่าซากที่เกิดขึ้นหลังสิ้นสุดโครงการมีมูลค่า 0 บาท

1) อัตราผลตอบแทนคิดลด (Internal Rate of Return: IRR) ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับสุทธิตลอดอายุโครงการ เท่ากับเงินสดจ่ายลงทุนสุทธิพอดี เกณฑ์ตัดสินใจว่าจะลงทุนหรือไม่นั้นจะพิจารณาหาก IRR มากกว่าต้นทุนของเงินทุน ให้ตัดสินใจลงทุน หาก IRR น้อยกว่าต้นทุนของเงินทุนให้ตัดสินใจไม่ลงทุน [14] ดังแสดงในสมการที่ (2)

$$\text{เงินลงทุนในโครงการ} = \sum_{t=0}^{N} \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} \qquad (2)$$

$$11,199,563 = \frac{3,915,876}{(1+IRR)^1} + \ldots + \frac{3,915,876}{(1+IRR)^{10}}$$

$$IRR = 32.9\%$$

ดังนั้นอัตราผลตอบแทนคิดลดของการลงทุนในครั้งนี้ มีค่าร้อยละ 32.9 ซึ่งมีค่ามากกว่าดอกเบี้ยเงินกู้จากสถาบันการเงิน

2) ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB) คือระยะเวลาของการลงทุนที่กระแสเงินสดรับสุทธิจากโครงการเท่ากับกระแสเงินสดจ่ายสุทธิพอดี พิจารณาจากระยะเวลาคืนทุนที่คำนวณได้เปรียบเทียบกับระยะเวลาที่ยอมรับได้ ซึ่งอาจแตกต่างกันไปในแต่ละโครงการขึ้นอยู่กับว่าโครงการนั้นมีความต้องการเงินต้นคืนกลับมาในช่วงเวลาใด [14] ดังแสดงในสมการที่ (3)

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = I_0 - \text{กระแสเงินสดรับสุทธิรายปีสะสม ถึงเงินจ่ายลงทุนสุทธิเริ่มโครงการเท่ากับศูนย์} \qquad (3)$$

I_0 = เงินลงทุนสุทธิเริ่มโครงการ

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = 11,199,563 - 3,915,876 - 3,915,876 = 2 \text{ --- (4)}$$

$$\frac{3,367,810.71}{3,915,876} = 0.86 \qquad \text{--- (5)}$$

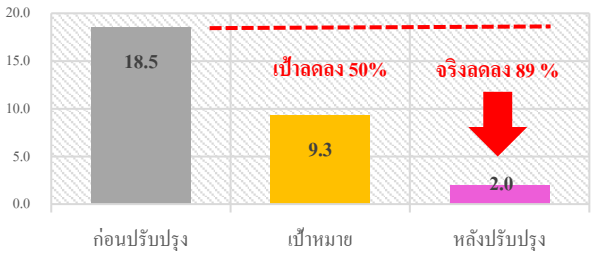
(4) + (5) = 2+0.86 = 2.86 ปี

ดังนั้นระยะเวลาคืนทุนโครงการนี้เท่ากับ 2.86 ปี ซึ่งระยะเวลาโครงการทั้งหมดมีอายุ 10 ปี

5. สรุปผลการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ได้รวมข้อมูลข้อร้องเรียนคุณภาพสินค้าอาหารแปรรูป ปี 2564 เปรียบเทียบเดือนมกราคม ถึงเมษายน ปี 2565 โดยข้อร้องเรียนด้านคุณภาพเพิ่มขึ้นจากปี 2564 ร้อยละ 57 เมื่อนำปัญหาข้อร้องเรียนมาวิเคราะห์ พบว่ามีข้อเรียนจากผลิตภัณฑ์หมูบดร้อยละ 71.6 จึงมุ่งเน้นแก้ไขปัญหาที่เกิดจากผลิตภัณฑ์หมูบด ได้แก่ 1) ปรับปรุงสถานที่ผลิตให้สอดคล้องตามข้อกำหนด GMP 2) ปรับปรุงอุณหภูมิระหว่างการผลิตสินค้า 3) ปรับปรุงการขนส่งสินค้า 4) ปรับปรุงเครื่องจักร หลังดำเนินการแก้ไขปรับปรุงเรียบร้อย ไม่พบปัญหาข้อร้องเรียนคุณภาพสินค้าผลิตภัณฑ์หมูบดเกิดซ้ำ

เมื่อทำการชี้วัดผลตามวัตถุประสงค์ คือลดข้อร้องเรียนสินค้าประเภทสินค้าอาหารแปรรูปทั้งหมดลงร้อยละ 50 ของข้อร้องเรียนผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูป เดือนมกราคมถึงเมษายน 2565 พบว่า จำนวนข้อร้องเรียนสินค้าอาหารแปรรูปลดลง ก่อนปรับปรุงมีข้อร้องเรียนเฉลี่ย 18.5 ครั้ง/เดือน หลังปรับปรุงมีข้อร้องเรียนเฉลี่ย 2 ครั้ง/เดือน ซึ่งลดลงร้อยละ 89 ซึ่งสามารถลดได้มากกว่าเป้าหมายที่กำหนดในวัตถุประสงค์ ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 ข้อร้องเรียนสินค้าอาหารแปรรูปทั้งหมดก่อนและหลังปรับปรุง

หลังปรับปรุงอาคารให้สอดคล้องตามข้อกำหนด GMP ส่งผลให้สามารถเสนอขายผลิตภัณฑ์ใหม่ให้ลูกค้ากลุ่ม Modern Trade โดยมียอดสั่งซื้อในเดือนพฤศจิกายน เป็นจำนวนเงิน 1,062,729 บาท และเดือนธันวาคม มียอดขายเติบโตกว่าเดือนพฤศจิกายนถึงร้อยละ 3.92

อายุโครงการมีอายุ 10 ปี โครงการสามารถคืนทุนได้ภายใน 2.86 ปี และได้ผลตอบแทนคิดลดร้อยละ 32.9 สูงกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินกู้จากสถาบันการเงินถึง 10 เท่า

6.กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บริษัทผู้ผลิตอาหารแปรรูปในกรณีศึกษาที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ด้านข้อมูล อุปกรณ์ และเครื่องมือในการศึกษาค้นคว้าวิจัยเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

[1] รุ่งระวี พันธานนท์, "การสร้างความประทับใจจากข้อร้องเรียนของลูกค้า," 11 มกราคม 2560. [Online]. Available: www. callcentermaster. com/ Article/ Customer- Impression- and-Complaint-Handling.html. [Accessed 3 เมษายน 2566].

[2] สภาองค์กรของผู้บริโภค, "คู่มือรับเรื่องร้องเรียนด้านอาหาร," 29 ธันวาคม 2564. [Online]. Available: www. tcc. or. th/ wp-content/uploads/2021/12/คู่มือรับเรื่องร้องเรียนด้านอาหาร.pdf. [Accessed 10 มีนาคม 2566].

[3] M. DOGAN and M. AY, "Evaluation of Customer Complaints to Catering Services in Terms of Food Safety," *JOURNAL OF TOURISM AND GASTRONOMY STUDIES,* no. ISSN: 2147 – 8775, pp. 2387-2401, 2020.

[4] M. A. MacLeish, "Customer Complaint Management Systems," James Madison University, 2015.

[5] T. Lam, J. Heales, N. Hartley and C. Hodkinson, "Consumer Trust in Food Safety Requires Information Transparency," *Australasian Journal of Information Systems,* no. 24, pp. 1-28, 2020.

[6] พิชญา ไกรมาก, "การปรับปรุงการดำเนินงานเพื่อเข้าสู่ระบบ GMP และ HACCP สำหรับอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์แปรรูปจากเนื้อสุกร," 2548. [Online]. Available: http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/8726. [Accessed 10 มิถุนายน 2565].

[7] T. Matuszek, "BASIC FACTORS FOR FOOD PROCESSING EQUIPMENT HYGIENIC DESIGN," *Journal of Hygienic Engineering and Design,* pp. 38-45, 2020.

[8] สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, "การออกแบบสถานที่ผลิต," [Online]. Available: www.fda.moph.go.th/sites/food/Shared. [Accessed 15 มิถุนายน 2565].

[9] กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน, "ประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่อง มาตรฐานความเข้มของแสงสว่าง," [Online]. Available: https://osh.labour.go.th/index.php?option=com_phocadownload&view=category&download=340%3A-m-m-s&id=57%. [Accessed 15 มิถุนายน 2565].

[10] M. A. M. a. J. H. H. L. M. Lelieveld, Handbook of hygiene control, Cambridge, England: Woodhead Publishing Limited, 2005.

[11] รศ.จรัญพัฒน์ ภูวนันท์, "Structural Sandwich Panels: An Alternative Construction System for Energy Housing," *หน้าจั่ว,* no. 19, pp. 126-136, 2546.

[12] กรมอนามัย, "ประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการกำหนดอุณหภูมิในการเก็บรักษาอาหารสด พ.ศ. 2561," 9 พฤศจิกายน 2563. [Online]. Available: https://laws.anamai.moph.go.th/th/doh-annuance/204278. [Accessed 15 มิถุนายน 2565].

[13] Bangkokgen, "ขั้นตอนการคำนวณค่าไฟ เพื่อเลือกเครื่องปั่นไฟให้เหมาะสม," 2564 ธันวาคม 11. [Online]. Available: https://bangkokgen.co.th/เครื่องปั่นไฟคำนวณไฟ/. [Accessed 15 มิถุนายน 2565].

[14] มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, "ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการวิเคราะห์และประเมินโครงการ," [Online]. Available: www. stou. ac. th/ stouonline/ lom/ data/ sec/ Lom14/ 04- 02. html. [Accessed 15 มิถุนายน 2565].



นพพล รุ่งเรือง ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้จัดการฝ่ายวิศวกรรม บริษัท ชายสี่บะหมี่เกี๊ยว จำกัด
วศ.บ.แมคคาทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
วศ.ม.การจัดการงานวิศวกรรม มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต



ศักดิ์ชาย รักการ ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้อำนวยการหลักสูตร วศ.ม.การจัดการงานวิศวกรรม มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
Ph.D systems and Control, Case Western Reserve University, Ohio, USA
วศ.ม.วิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วศ.บ.วิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต



ผศ.อิงอร ตั้นพันธ์ ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้ช่วยอธิการบดีฝ่ายวิชาการและผู้อำนวยการหลักสูตรบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
บธ.บ. บริหารการเงิน มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
บช.ม. การเงินและการธนาคาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



พจนีย์ ศรีวิเชียร ปัจจุบันดำรงตำแหน่งอาจารย์ประจำบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
ศศ.ม.ภูมิศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

การคงอยู่ในองค์กรของพนักงานโรงงานอุตสาหกรรม : กรณีศึกษากลุ่มโรงงานนิคมอุตสาหกรรมบางปู

PERSISTENCE IN THE ORGANIZATION OF INDUSTRIAL FACTORY EMPLOYEES : A CASE STUDY OF BANGPOO INDUSTRIAL ESTATE FACTORY GROUP

สมพงษ์ เชื้อพระคา* กระสุน จุลพันธ์ อภิวัฒน์ เพ็งพันธ์ พรพิศ ศิริมา และ พิษณุ ทองขาว

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการคงอยู่ในองค์กรของพนักงานในบริษัทในองค์กรในโรงงานอุตสาหกรรมและเพื่อนำไปกำหนดนโยบายในการส่งเสริมการคงอยู่ในองค์กรของพนักงาน กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้คือพนักงานในโรงงานอุตสาหกรรม6แห่งจำนวน 300 คนโดยใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูล สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลได้แก่ความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและการทดสอบสมมติฐานเพื่อหาว่าปัจจัยทุกปัจจัยนั้นส่งผลต่อการคงอยู่ในองค์กรของพนักงานในโรงงานอุตสาหกรรมอย่างแตกต่างกันหรือไม่ จากผลการวิจัยพบว่ากลุ่มตัวอย่างจำนวน 169คน ปัจจัยที่ส่งผลต่อการคงอยู่ในองค์กรของพนักงานในโรงงานอุตสาหกรรมพบว่า 1)ความพึงพอใจในแต่ละปัจจัยของกลุ่มตัวอย่างนั้นอยู่ในระดับที่สูง 2)ระดับการคงอยู่ในองค์กรของกลุ่มตัวอย่างอยู่ในระดับปานกลาง 3)ปัจจัยที่ส่งผลให้กลุ่มประชากรคงอยู่ในองค์กรได้แก่ลักษณะงานที่ได้รับมอบหมายด้านชื่อเสียงขององค์กรด้านการจ่ายค่าตอบแทนและสวัสดิการต่างๆและปัจจัยด้านความก้าวหน้าในสายอาชีพ จากผลการวิจัยในครั้งนี้ช่วยให้องค์กรสามารถที่จะนำผลวิจัยไปใช้ในการกำหนดนโยบายการบริหารทรัพยากรมนุษย์ขององค์กรให้มีความตอบสนองต่อความพึงพอใจที่จะส่งผลให้พนักงานในโรงงานอุตสาหกรรมที่เป็นกลุ่มประชากรที่มีจำนวนมากที่สุดและยังเป็นกำลังสำคัญในการปฏิบัติงานให้กับองค์กรมีแนวโน้มที่จะคงอยู่กับองค์กรเพื่อลดอัตราการลาออกและตำแหน่งงานว่างในองค์กรที่ยังมีแนวโน้มที่อยู่ในระดับสูงอยู่ในขณะนี้

คำสำคัญ : การคงอยู่ในองค์กร อัตราการลาออกและตำแหน่งงานว่าง การทดสอบสมมติฐาน

Abstract

The purpose of this research was to study factors influencing organizational retention of employees in companies in industrial factories and to determine policies for promoting employee retention. In this study 6 industrial workers, 300 people were used questionnaires as a data collection tool. Statistics used for data analysis were frequency, percentage, mean, standard deviation and hypothesis testing. To find out whether all factors affect organizational retention of employees in industrial factories differently or not. From the research results, it was found that the number of samples 169 people. Factors affecting the organizational retention of industrial workers found that, 1) the satisfaction of each factor of the sample group was at a high level, 2) the level of organizational retention of the sample. 3) Factors affecting population retention in the organization were job assignments, reputation of the organization, compensation , welfare and career progression factors. This time allows the organization to be able to apply research results in the human resource management policy of the organization to respond to satisfaction that will result in employees in the industrial group. The population that has the largest number and is a major work force for the organization tends to stay with the organization to reduce the turnover rate and job vacancies in the organization that are still likely to be at a high level now.

Keywords: Persistence in the organization Turnover and jobvacancies Hypothesis testing

1. บทนำ

ในปัจจุบันมีโรงงานอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นมากมายทำให้มีความต้องการของพนักงานและบุคลากรเพิ่มขึ้นอย่างมากซึ่งส่งผลให้ให้ผู้ประกอบการของโรงงานอุตสาหกรรมมีความต้องการพนักงานที่มีทักษะและความสามารถเพิ่มมากขึ้นโดยองค์กรที่มีความต้องการทรัพยากรมนุษย์ที่มีความสามารถให้ทำงานอยู่คู่กับองค์กรให้ยาวนานเนื่องจากในการพัฒนาบุคลากรให้มีความเชี่ยวชาญนั้นจะต้องใช้เวลานะประสบการณ์ในการฝึกฝนเป็นเวลานาน หากบุคลากร เหล่านั้นออกจากองค์กรไปก็จะต้องเสียเวลาในการฝึกฝนบุคลากรใหม่ที่เข้ามาทดแทนองค์กรจึงมีความ จำเป็นที่จะต้องมีการดูแลบุคลากรของตนให้มีดุลยภาพชีวิตที่ดี มิเช่นนั้นอาจเป็นเหตุให้บุคลากรเกิดความ รู้สึกไม่มีความสุขในชีวิตการทำงานและลาออกจากองค์กรเพื่อหาทางเลือกใหม่ที่ดีกว่า โดยสาเหตุที่พนักงานเลือกที่จะไม่ปฏิบัติงานต่อองค์กรต่ออาจมีสาเหตุดังนี้ 1.งานหรือที่ทำงานไม่เป็นไปตามที่วาดภาพไว้ ทั้งนี้เพราะพนักงานเข้า

ใหม่จำนวนมากเข้าทำงานกับบริษัทโดยพกพาความคาดหวังที่เกินจริง 2. งานกับคนไม่เหมาะกันความรู้ความสามารถของพนักงานไม่เหมาะสมกับงานโดยอาจเกิดจากการรีบว่าจ้างเข้าทำงานเพื่อเติมตำแหน่งที่ว่างลงหรือเชื่อว่าแม้ผู้สมัครอาจขาดคุณสมบัติที่เหมาะสมกับงาน 3.ไม่มีการสอนงาน และไม่มีการป้อนกลับผลการทำงาน ผู้จัดการส่วนมากโค้ชงานและให้ feedbackพนักงานปีละครั้งหรือสองครั้งตามที่องค์กรกำหนดเพื่อไปผูกกับการขึ้นเงินเดือนเท่านั้น ซึ่งความจริงผู้จัดการจะต้องสอนงานและ feedback บ่อยๆ เป็นระยะๆ 4.ไม่ค่อยมีโอกาสเติบโตและก้าวหน้าในสายงาน นโยบายอายุงานที่ขัดขวางการเลื่อนตำแหน่งและการที่หัวหน้างานหวงพนักงานที่มีความสามารถไว้ในแผนกตัวเองทำให้ปิดกั้นโอกาสการขึ้นตำแหน่งในแผนกงานอื่นๆ 5.รู้สึกถูกตีค่าต่ำไป และผลงานที่ดีไม่ได้การตอบสนอง พนักงานรู้สึกว่าไม่ได้รับการชื่นชมผลงานที่ทำได้ดี, ไม่ได้รับเงินเดือนที่ยุติธรรมในตำแหน่งงานที่เหมือนกัน หัวหน้าปฏิบัติต่อเขาอย่างไม่ให้เกียรติ หรือต้องทำงานในสภาพแวดล้อมที่แย่ยอมรับไม่ได้ 6.เครียดจากงานมากเกินและขาดสมดุลระหว่างงานกับชีวิต พนักงานกว่า 40% บอกว่า งานที่ทำเป็นงานที่หนักและกดดันมาก 70% บอกว่าไม่มีสมดุลระหว่างงานกับชีวิตถึงขนาดที่ 60% บอกว่า ยอมลดเงินเดือนลงให้มีเวลาอยู่กับครอบครัวได้มากขึ้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการคงอยู่ของพนักงาน ปัจจัยส่วนบุคคล ด้านอายุ สถานภาพ ระดับความศึกษา ระยะเวลาในการปฏิบัติงานรายได้ต่อเดือน ตำแหน่งรายได้ต่อเดือน ปัจจัยความพึงพอใจในการปฏิบัติงาน ด้านนโยบายบริษัทและการบริหารงาน ด้านความสัมพันธ์ระหว่างบุคคล ด้านความมั่นคงในการทำงาน ด้านสภาพแวดล้อมในการทำงาน ด้านเงินเดือนและสวัสดิการ ด้านการควบคุมบังคับบัญชา ด้านความสำเร็จในการทำงาน ด้านการได้รับการยอมรับนับถือ ด้านลักษณะของงานที่ปฏิบัติ ด้านความรับผิดชอบในงานที่ทำ ด้านความก้าวหน้าปัจจัยความผูกผัน ด้านจิตใจ ที่มีผลต่อการคงอยู่ของพนักงานโดยข้อมูลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการรักษาทรัพยากรบุคคลให้คงที่ เพื่อที่จะได้ช่วยให้ผู้บริหารสามารถนำไปเป็นแนวทางลดปัจจัยเสี่ยงที่จะสูญเสียบุคลากรที่เป็นกำลังสำคัญในการขับเคลื่อนองค์กร และยังเป็นแนวทางในการสงวนรักษาบุคลากรที่มีทักษะเฉพาะให้คงอยู่กับองค์กรได้ ดังนั้นผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่างๆจาก [2] ศึกษาความสมดุลระหว่างชีวิตและการทำงาน : กรณีศึกษา: โรงพยาบาลวิภาวดี [3] ศึกษาคุณภาพชีวิตในการทำงาน ความผูกพันต่อองค์กรกับความตั้งใจลาออกของพนักงานระดับปฏิบัติการ : กรณีศึกษาบริษัทฟาร์มเลี้ยง ไก่ปู่-ย่าพันธุ์แห่งหนึ่ง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ [4] ศึกษาปัจจัยที่ทำให้เกิดการคงอยู่ของพยาบาลวิชาชีพ ในโรงพยาบาลธรรมศาสตร์เฉลิมพระเกียรติ จังหวัดปทุมธานี [5] ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการคงอยู่ในองค์การของพนักงานเจนเนอเรชั่นวาย และศึกษาว่าปัจจัยแต่ละปัจจัยนั้นมีน้ำหนักความสำคัญที่ส่งผลต่อการคงอยู่ในองค์การที่แตกต่างกันหรือไม่ และยังเป็นการศึกษาแนวโน้มของการคงอยู่ในองค์การของพนักงานในงานวิจัยนี้ด้วย

2. วิธีการศึกษา

การวิจัยเรื่อง การคงอยู่ในองค์กรของพนักงานในโรงงานอุตสาหกรรม เป็นการศึกษาวิจัยเชิงสำรวจ (Survey Research) โดยจะใช้วิธีระเบียบวิจัยเชิงพรรณนา (Descriptive Method) โดยจะใช้วิธีการศึกษาวิจัยเชิงประมาณ (Quantitative Research) ทำการสำรวจความคิดเห็นของพนักงานโดยใช้แบบสอบถาม ประกอบกับ การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ เพื่อเป็นการศึกษาถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อการคงอยู่ในองค์กรของพนักงานในโรงงานอุตสาหกรรมภายในขอบเขตกลุ่มตัวอย่างที่กำหนด โดยจะเป็นการศึกษาที่ครอบคลุมถึงความสัมพันธ์และ ค่าน้ำหนักในแต่ละปัจจัย

2.1 ประชากรและการกำหนดกลุ่มตัวอย่างในการวิจัย

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ พนักงานในบริษัทในนิคมอุตสาหกรรมบางปู มีประชากรที่ทำการศึกษาทั้งหมด 300 คน ซึ่งแบ่งเป็น 6 บริษัทคือ

1.บริษัท ฮิตาชิ เอนเนอร์ยี่ จำกัด (มหาชน)
2.บริษัท เดลต้า อีเลคโทรนิคส์ จำกัด (มหาชน)
3.บริษัท ไทยอินเตอร์เนชั่นแนลไดเมคกิ้ง จำกัด
4.บริษัท ไอ.พี. วัน จำกัด
5.บริษัท ไทย โกเบลโก้ เวลดิ้ง จำกัด
6.บริษัท เอ็น เอช เค สปริง (ประเทศไทย) จำกัด

สำหรับกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยเชิงปริมาณผู้วิจัยได้กำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างโดยใช้ตารางของ เครสซี่ และ มอร์แกน (Krejcie & Morgan, 1970) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ความคลาดเคลื่อน 5% จากตารางที่ 1พบว่าขนาดประชากรจำนวน 300 คน ต้องใช้ตัวอย่าง 169 คน

ตารางที่ 1 ขนาดตัวอย่าง

ขนาดประชากร	ขนาดตัวอย่าง	ขนาดประชากร	ขนาดตัวอย่าง	ขนาดประชากร	ขนาดตัวอย่าง
10	10	270	159	1,300	297
15	14	280	162	1,400	302
20	19	290	165	1,500	308
25	24	300	169	1,600	310
30	28	320	175	1,700	313
35	32	340	181	1,800	317
40	36	360	186	1,900	320
45	40	380	191	2,000	322

2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา [2-5]

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ แบบสอบถาม (Questionnaire) โดยผู้วิจัยได้ทำ การทบทวนศึกษาเอกสาร ตำรา และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำข้อมูลที่ปรากฏนั้นมาใช้เป็นแนวทาง ในการสร้างข้อคำถามในแบบสอบถาม โดยที่แบบสอบถามนี้จะประกอบไปด้วย 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 เป็นแบบสอบถามที่ถามเกี่ยวกับข้อมูลส่วนบุคคลของพนักงาน ได้แก่เพศ อายุ สถานภาพ ระดับการศึกษา ระดับตำแหน่ง ระดับเงินเดือน อายุงาน ส่วนที่ 2 เป็นแบบสอบถามเกี่ยวกับปัจจัยจูงใจที่ทำให้พนักงานคงอยู่กับองค์กร ซึ่ง ประกอบด้วยปัจจัยทางด้านบุคลากร ได้แก่ ความสัมพันธ์กับเพื่อนร่วมงาน, ปัจจัยทางด้านงาน ได้แก่ ลักษณะงานที่ได้รับมอบหมาย, ปัจจัยทางด้านองค์กร ได้แก่ การจ่ายค่าตอบแทนและสวัสดิการต่างๆ ความก้าวหน้าในสายอาชีพ บรรยากาศในการทำงาน และชื่อเสียงขององค์กร และปัจจัยทางด้านหัวหน้างาน ได้แก่ การสนับสนุนและให้ความช่วยเหลือจากหัวหน้างาน โดยจะเป็นแบบสอบถาม ปลายปิด ใช้มาตรวัดแบบ Likert Scale สำหรับตอบค้าถามจะใช้วิธีการกำหนดค่าให้เลือกตอบ โดย แบ่งออกเป็น 5 ตัวเลือก คือ เห็นด้วยอย่างยิ่ง เห็นด้วย ไม่แน่ใจ ไม่เห็นด้วย ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง

2.3 การวิเคราะห์ข้อมูล [1]

ผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมข้อมูลที่ได้รับจากแบบสอบถามนั้นมาประมวลผล โดยใช้คือ โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติเพื่อการวิจัยทางสังคมศาสตร์ (SPSS: Statistics Packages for the Social Science) โดยใช้ค่าสถิติเพื่อการวิเคราะห์ข้อมูลและทดสอบสมมติฐาน ดังนี้

1) การวิเคราะห์เชิงสถิติพรรณนา (Descriptive) เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จาก แบบสอบถามในด้านของข้อมูลที่เป็นข้อมูลส่วนบุคคลของกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งค่าสถิติที่นำมาใช้ ได้แก่ ความถี่ (Frequency) และค่าสถิติร้อยละ (Percentage) เพื่อนำเอาค่าทางสถิตินี้มาใช้ในการอธิบาย ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ เพศ อายุ สถานภาพ ระดับการศึกษา ระดับตำแหน่ง ระดับ เงินเดือน อายุงาน สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลของแต่ละตัวแปรหรือปัจจัยที่ทำให้พนักงานคงอยู่กับองค์กรนั้นจะใช้ค่าสถิติที่เป็นค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) 2) การวิเคราะห์สถิติเชิงอนุมาน (Inferential) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ใช้ในการวิจัย โดยการทดสอบค่าทางสถิติที่สามารถวัดค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม โดยใช้ แบบของการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson's Product Movement Correlation Coefficient) เพื่อแสดงค่าความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระและตัวแปรตามว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่ และมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางใด มีความขัดแย้งหรือสอดคล้องกันผู้วิจัยแบ่งช่วงระดับคะแนนโดยใช้เกณฑ์การพิจารณาความกว้างของแต่ละอันตรภาคชั้น

ความกว้างของอันตรภาคชั้น $= \frac{\text{คะแนนสูงสุด} - \text{คะแนนต่ำสุด}}{\text{จำนวนชั้น}} = \frac{(5-1)}{5}$

$= 0.8$

จากการค้านวณความกว้างของอันตรภาคชั้น ผู้วิจัยจึงได้น้าเอาค่าคะแนนที่ได้มาแบ่ง ระดับออกเป็น 5 ระดับ และกำหนดการให้ความหมายของแต่ละช่วงคะแนน ดังนี้

คะแนนเฉลี่ยตั้งแต่ 1.00 – 1.80 หมายความว่า ระดับความเห็นต่ำมาก

คะแนนเฉลี่ยตั้งแต่ 1.81 – 2.60 หมายความว่า ระดับความเห็นต่ำ

คะแนนเฉลี่ยตั้งแต่ 2.61 – 3.40 หมายความว่า ระดับความเห็นปานกลาง

คะแนนเฉลี่ยตั้งแต่ 3.41 – 4.20 หมายความว่า ระดับความเห็นสูง

คะแนนเฉลี่ยตั้งแต่ 4.21 – 5.00 หมายความว่า ระดับความเห็นสูงมาก

และได้กำหนดหลักเกณฑ์ในการให้ความหมายของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(Correlation Coefficient) ระหว่างปัจจัยที่ส่งผลต่อการคงอยู่ในองค์กรของพนักงานในโรงงานอุตสาหกรรม โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 2

3. ผลการศึกษา

3.1 การวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ประกอบด้วยเพศอายุสถานภาพระดับการศึกษาประสบการณ์การทำงานและรายได้ต่อเดือน โดยการหาค่าความถี่ค่าร้อยละและผลการวิเคราะห์ข้อมูลได้ตามตารางที่ 3-9

ตารางที่ 2 ความหมายของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพัทธ์	ความหมาย
0.8 ขึ้นไป	มีความสัมพันธ์อยู่ในระดับมาก
0.61 – 0.80	มีความสัมพันธ์อยู่ในระดับค่อนข้างมาก
0.41 – 0.60	มีความสัมพันธ์อยู่ในระดับปานกลาง
0.21 – 0.40	มีความสัมพันธ์อยู่ในระดับค่อนข้างน้อย
0.01 – 0.20	มีความสัมพันธ์อยู่ในระดับน้อย
0.00	ไม่มีความสัมพันธ์

ตารางที่ 3 แสดงจำนวนความถี่และค่าร้อยละของพนักงานที่จำแนกตามเพศ

เพศ	จำนวน(คน)	ร้อยละ

ชาย	133	76.9
หญิง	36	23.1
รวม	**169**	**100.00**

ตารางที่ 4 แสดงจำนวนความถี่และค่าร้อยละของพนักงานที่จำแนกตามสถานภาพ

สถานภาพ	**จำนวน(คน)**	**ร้อยละ**
โสด	76	45
สมรส	64	37.9

ตารางที่ 5 แสดงจำนวนความถี่และค่าร้อยละของพนักงานที่จำแนกตามสถานภาพ(ต่อ)

สถานภาพ	**จำนวน(คน)**	**ร้อยละ**
หม้าย/หย่าร้าง/	29	17.2
รวม	**169**	**100.00**

ตารางที่ 6 แสดงจำนวนความถี่และค่าร้อยละของพนักงานที่จำแนกตามอายุ

อายุ	**จำนวน(คน)**	**ร้อยละ**
ต่ำกว่า20ปี	8	4.7
20-29ปี	67	39.6
30-39ปี	64	37.9
40-49ปี	22	13.0
50ปีขึ้นไป	8	4.7
รวม	**169**	**100.00**

ตารางที่ 7 แสดงจำนวนความถี่และค่าร้อยละของพนักงานที่จำแนกตามระดับการศึกษา

ระดับการศึกษา	**จำนวน(คน)**	**ร้อยละ**
มัธยมศึกษา/ปวช.	15	8.9
อนุปริญญา/ปวส.	73	43.1
ปริญญาตรี	64	37.9
สูงกว่าปริญญาตรี	17	10.1
รวม	**169**	**100.00**

ตารางที่ 8 แสดงจำนวนความถี่และค่าร้อยละของพนักงานที่จำแนกตามอายุงานในองค์กร

อายุงานในองค์กร	**จำนวน(คน)**	**ร้อยละ**
ต่ำกว่า 1 ปี	15	8.9
1-3 ปี	43	25.3
3-5 ปี	53	31.4
5-7 ปี	39	23.1
7 ปีขึ้นไป	19	11.2
รวม	**169**	**100.00**

ตารางที่ 9 แสดงจำนวนความถี่และค่าร้อยละของพนักงานที่จำแนกตามระดับเงินเดือน

ระดับเงินเดือน	**จำนวน(คน)**	**ร้อยละ**
10,000 - 20,000 บาท	31	18.3
20,001 - 30,000 บาท	88	52.1
30,001 - 40,000 บาท	31	18.3
40,001 - 50,000 บาท	14	8.3
50,001 บาทขึ้นไป	5	3.0
รวม	**169**	**100.00**

3.2 ทัศนคติด้านปัจจัยที่ส่งผลต่อการคงอยู่ในองค์กรของพนักงานในโรงงานอุตสาหกรรม ระดับทัศนคติที่ได้จากการตอบความคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่างลงในแบบสอบถาม นั้น จะวิเคราะห์โดยใช้ ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) เพื่อเป็นตัว แสดงผลระดับความคิดเห็นจากคำถามจากทั้ง 7 ปัจจัย ดังนี้

ตารางที่ 10 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและระดับความหมายของทัศนคติต่อปัจจัยของพนักงาน

หัวข้อปัจจัย	$\bar{x}$	**S.D.**	**ความคิดเห็น**
1.ด้านความสัมพันธ์กับเพื่อนร่วมงาน	4.28	0.640	สูงมาก
2.ด้านลักษณะงานที่ได้รับมอบหมาย	4.29	0.559	สูงมาก
3.ด้านการจ่ายค่าตอบแทนและสวัสดิการต่างๆ	4.22	0.644	สูงมาก
4.ด้านความก้าวหน้า	4.21	0.657	สูงมาก

ในสายอาชีพ			
5.ด้านบรรยากาศในการทำงาน	4.27	0.696	สูงมาก
6.ด้านชื่อเสียงขององค์กร	4.30	0.611	สูงมาก
7.การให้ความสนับสนุนและช่วยเหลือจากหัวหน้า	4.20	0.730	สูง
รวม	**4.25**	**0.499**	**สูงมาก**

4.สรุปผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดสอบสมมติฐานงานวิจัย

จากการทำการทดสอบสมมติฐานจึงสรุปออกมาตามตารางที่ 11 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 11 ผลการทำการทดสอบสมมติฐาน

สมมติฐานการวิจัย	ผลการทดสอบสมมติฐาน
1.ความสัมพันธ์กับเพื่อร่วมงานมีผลต่อการคงอยู่ในองค์กรของพนักงาน	ยอมรับสมมติฐาน
2.ลักษณะงานที่ได้รับมอบหมายผลต่อการคงอยู่ในองค์กรของพนักงาน	ยอมรับสมมติฐาน
3.การจ่ายค่าตอบแทนและสวัสดิการต่างๆมีผลต่อการคงอยู่ในองค์กรของพนักงาน	ยอมรับสมมติฐาน
4.ความก้าวหน้าในสายอาชีพมีผลต่อการคงอยู่ในองค์กรของพนักงาน	ยอมรับสมมติฐาน
5.บรรยากาศในการทำงานมีผลต่อการคงอยู่ในองค์กรของพนักงาน	ยอมรับสมมติฐาน
6.บรรยากาศในการทำงานมีผลต่อการคงอยู่ในองค์กรของพนักงาน	ยอมรับสมมติฐาน
7.การให้ความสนับสนุนและช่วยเหลือจากหัวหน้างานมีผลต่อการคงอยู่ในองค์กรของพนักงาน	ยอมรับสมมติฐาน

4.2 การอภิปรายผลเชิงบริหาร

1. เรื่องลักษณะงานที่ได้รับมอบหมาย โดยองค์กรควรมุ่งเน้นการมอบหมายงานที่มีความชัดเจนและตรงกับตำแหน่งงานหรือแผนกงานที่พนักงานนั้นๆ

2. เรื่องชื่อเสียงขององค์กร องค์กรควรที่จะวางแผนและกำหนดกลยุทธ์ทางด้านการบริหารทรัพยากรมนุษย์และปัจจัยด้านอื่น อาทิเช่น สถานที่ทำงานหรืออุปกรณ์สำนักงาน เพื่อที่จะทำให้พนักงานเกิดความพึงพอใจในการทำงานและคงอยู่กับองค์กร

3. เรื่องเงินเดือนและสวัสดิการต่างๆ องค์กรอาจจะมีการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบกับราคาค่าจ้างเงินเดือนในตลาดเพื่อให้ค่าจ้างเงินเดือนขององค์กรสามารถที่จะแข่งขันกับตลาดได้

4. เรื่องความก้าวหน้าในสายอาชีพ องค์กรควรที่จะมีการจัดการทางด้านการเติบโตทางสายอาชีพที่ชัดเจน เพื่อช่วยให้พนักงานที่มีความต้องการที่จะประสบความสำเร็จและเติบโตในสายอาชีพนั้นได้

4.3 การอภิปรายผลเชิงปฏิบัติ

1.การรักษาพนักงานที่อายุยังน้อย เนื่องด้วยพนักงานเหล่านี้เป็นคนรุ่นใหม่ มีความคิดสร้างสรรค์มีความเป็นผู้นำสูง ทำงานเก่งเหมาะกับการนำมาพัฒนาองค์กรให้เจริญก้าวหน้า โดยการสร้างแรงจูงใจให้กับพนักงานกลุ่มนี้ ด้วยการส่งพนักงานให้เรียนต่อในสาขาที่เกี่ยวข้องกับธุรกิจองค์กรหลังจากเรียนจบก็กลับมาทำงานในองค์กร หรือการส่งพนักงานไปศึกษาดูงานต่างประเทศเพื่อนำความรู้ที่ได้มาพัฒนาองค์กรให้มีโอกาสทางการแข่งขันเพิ่มมากขึ้น

2.การรักษาพนักงานที่มีสถานภาพที่แตกต่างกัน ควรสร้างแรงจูงใจให้พนักงานโดยการสร้างเป้าหมายให้พนักงานกลุ่มนี้ให้เห็นถึงความก้าวหน้าในงาน หรือโอกาสในการเลื่อนขั้น ทำให้รู้สึกว่าตนเป็นตัวขับเคลื่อนขององค์กรและเป็นส่วนหนึ่งของวงการ

3.การรักษาพนักงานให้คงอยู่กับองค์กร องค์กรควรสร้างความพึงพอใจในงานให้แก่พนักงาน ในส่วนที่ควรเพิ่มเติม ด้านเงินเดือนหรือสวัสดิการที่ควรได้รับควรต้องมีความเหมาะสมกับหน้าที่รับผิดชอบ โดยเน้นหลักความยุติธรรมเป็นหลักไม่มีการแบ่งพรรคแบ่งพวกองค์กรควรสร้างความผูกพันต่อองค์กร การทำให้พนักงานรู้สึกเป็นส่วนหนึ่งขององค์กร และทำให้ความสำคัญกับพนักงานทุกคนเสมือนเป็นบุคคลในครอบครัวจากการศึกษาเรื่อง ปัจจัยต่อการคงอยู่ในองค์กรของพนักงานในโรงงานอุตสาหกรรม กรณีศึกษา นิคมอุตสาหกรรมบางปู ผลการวิเคราะห์ข้อมูลซึ่งอภิปรายผลได้ดังนี้

1.ปัจจัยด้านประชากรศาสตร์ที่มีผลต่อการคงอยู่ในงาน

เพศที่แตกต่างกันมี ผลต่อการคงอยู่ในงานไม่แตกต่างกัน อาจเป็นไปได้ว่าพนักงานไม่ว่าจะเป็นเพศชายหรือเพศหญิงได้รับการปฏิบัติจากองค์กรในลักษณะเดียวกัน มีการให้ความสำคัญแก่ทุกคนมีความเท่าเทียมกันและแต่ละบุคคลมีความรับผิดชอบที่แตกต่างกันเพื่อให้การทำงานลุล่วงไปได้ด้วยดีทุกคนล้วนมีเป้าหมายเดียวกันในการทำงานเพื่อ

องค์กรดังนั้นจึงทำให้การคงอยู่ในงานของพนักงานไม่ต่างกัน อายุที่แตกต่างกันมี ผลต่อการคงอยู่ในงานแตกต่างกันจะเห็นได้ว่า พนักงานในโรงงานส่วนมากมีอายุอยู่ในช่วง 20–39 ปี สถานภาพที่แตกต่างกันมีผลต่อการคงอยู่ในงานแตกต่างกัน จะเห็นได้ว่าสถานภาพโสดและสมรสมีอัตราการคงอยู่สูงกว่าสถานภาพหย่าร้าง/หม้าย/แยกกันอยู่เนื่องด้วยพนักงานที่ยังไม่มีครอบครัวหรืออย่าร้าง/หม้าย/แยกกันอยู่มีภาระไม่มากเพราะอยู่ตัวคนเดียวไม่คิดที่จะสร้างอนาคต ส่วนพนักงานที่มีครอบครัวหรือสมรสแล้วมีภาระที่เพิ่มมากขึ้นดังนั้นที่ทำให้พนักงานที่มีสถานภาพที่แตกต่างกันมีผลต่อการคงอยู่ในงานที่แตกต่างกัน ระดับการศึกษาที่แตกต่างกัน มีผลต่อการคงอยู่ในงานไม่แตกต่างกัน จะเห็นได้ว่าพนักงานในบริษัท มีความพอใจในงานที่ได้รับมอบหมายมีความเหมาะสมกับระดับการศึกษาของตน ดังนั้นจึงทำให้พนักงานที่มีระดับการศึกษาที่แตกต่างกันมีผลต่อการคงอยู่ในงานของพนักงานไม่แตกต่างกัน

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.พระนครและโรงงานตัวอย่างที่ช่วยสนับสนุนในการทำวิจัยในครั้งในลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และ พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์, สถิติวิศวกรรม (ฉบับปรับปรุงใหม่),สำนักพิมพ์ท้อป,2559.

[2] จุฑาภรณ์ หนูบุตร,ความสมดุลระหว่างชีวิตและการทำงาน : กรณีศึกษา: โรงพยาบาลวิภาวดีมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, [Online], แหล่งที่มา: http://digi. library.tu.ac.th/thesis/ac/0714/approval-biography.pdf. [28/1/2566],2554.

[3] ฉัตรชัย ชุมวงศ์,คุณภาพชีวิตในการทำงาน ความผูกพันต่อองค์กรกับความตั้งใจลาออกของพนักงานระดับปฏิบัติการ : กรณีศึกษาบริษัทฟาร์มเลี้ยง ไก่ปู่-ย่าพันธุ์แห่งหนึ่งมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, [Online] แหล่งที่มา: http://digi.library.tu.ac.th/thesis/ib/1019/title-biography.pdf, [28/1/2566],2554.

[4] พิมณพัฒน์ แฉล้มเขตต์,ปัจจัยที่ทำให้เกิดการคงอยู่ของพยาบาลวิชาชีพ ในโรงพยาบาลธรรมศาสตร์เฉลิมพระเกียรติ จังหวัดปทุมธานี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, [Online] แหล่งที่มา: http://www.rcpository.rmutt.ac.th/bitstream/handle/123456789/2891/RMUTT-154363.pdf?sequence=1, [28/1/2566],2559.

[5] ธนพร ปทุมรังสรรค,ปัจจัยที่ส่งผลต่อการคงอยู่ในองค์การของพนักงานกลุ่ม Generation Y: กรณีศึกษากลุ่มธุรกิจออนไลน์แห่งหนึ่ง,[Online]แหล่งที่มา: http://ethesisarchive.library.tu.ac.th/thesis/2014/TU_2014_5602036088

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

การปรับปรุงสายการประกอบสปริงเช็ควาล์ว SCV15 กรณีศึกษา : บริษัทผลิตอุปกรณ์ประปา

ASSEMBLY LINE IMPROVEMENT OF SPRING CHECK VALVE FOR SCV15 CODE OF PLUMBING EQUIPMENT FACTORY

พรพิศ ศิริมา อารวี ถูใหญ่ ธิรเดช ฤกษ์วิธี พิษณุ ทองขาว และสมพงษ์ เชื้อพระคา*

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการปรับปรุงสายการประกอบสปริงเช็ควาล์ว SCV15 กรณีศึกษา กรณีศึกษาบริษัทผลิตอุปกรณ์ประปาคุณภาพสูง โดยทำการผลิตตามคำสั่งซื้อลูกค้า จากการศึกษาข้อมูลพบว่าสายการประกอบสถานีงานที่ 7 ขั้นตอนการกลึงปอกผิว เกิดปัญหาสภาพคอขวด เนื่องจากใช้เวลาในการผลิตสูงเกินกว่ารอบจังหวะการผลิตที่ต้องการ จนทำให้เกิดการสะสมงานระหว่างการผลิต เกิดความล่าช้าและไม่สามารถดำเนินการสถานีถัดไปได้ เกิดความสูญเปล่าด้านเวลาในการรอคอย ส่งผลให้พนักงานจำเป็นต้องทำงานล่วงเวลาเพื่อให้ได้ปริมาณตามแผนการผลิต การวิเคราะห์ข้อมูลเริ่มจากการศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นโดยใช้แผนผังแสดงเหตุและผลมาประยุกต์เพื่อหาสาเหตุและหาแนวทางแก้ไขและนำทฤษฎี 5W1H มาตั้งคำถามและตัดสินใจในการแก้ปัญหา พบว่า ปัญหาสภาพคอขวดสถานีที่ 7 การกลึงปอกผิว มี 2 สาเหตุ คือ 1) เครื่องจักรใช้เวลาในขั้นตอนการผลิตนาน เกิดการสะสมของงานที่สถานี และ 2) วิธีการขั้นตอนการปฏิบัติงานที่ไม่ถูกกำหนดเวลามาตรฐานไว้ซึ่งทำให้เวลาที่ใช้ในการปฏิบัติที่สูง จากนั้นนำหลักการศึกษางานมาประยุกต์ใช้เพื่อศึกษาเวลาในการผลิตและขั้นตอนการปฏิบัติงาน และจึงทำการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นโดยใช้ทฤษฎีลดความสูญเปล่าด้วยการกำจัด, การรวม, การจัดใหม่และการทำให้ง่ายขึ้น (Eliminate, Combine, Rearrange, and Simplify: ECRS) และทฤษฎีการจัดตารางการผลิตเพื่อหาแนวทางในการจัดลำดับการผลิต ผลการปรับปรุงสายการประกอบเพื่อเป็นแนวทางในการแก้ไขแสดงให้เห็นว่าสามารถลดขั้นตอนการทำงานจาก 11 ขั้นตอน เหลือ 9 ขั้นตอน และเวลาปฏิบัติงานรวมลดลงจากเดิม 73.48 วินาที/ชิ้น เหลือ 56.40 วินาที/ชิ้น ประสิทธิภาพการประกอบเพิ่มขึ้นจาก 59.33% เป็น 83.85% สำหรับวิธีการจัดตารางการผลิตสามารถตัดสินใจเพื่อเป็นแนวทางโดยใช้กฎ SPT ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่เหมาะสมที่สุดจากปัจจัยที่มี สรุปได้ว่างานวิจัยนี้สามารถบรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

คำสำคัญ : สภาพคอขวด การลดเวลา การศึกษางาน ECRS การจัดตารางการผลิต

Abstract

The objective of this research is to improve the SCV15 spring check valve assembly line. Case study of plumbing equipment Factory Production according to customer orders. The study found that Work at Station 7 has a bottleneck. problem. Because the cycle time is higher than the Takt Time causing cumulative work during production. There was a delay and couldn't be processed. employees have to work overtime in order to produce according to the production per day. The data analysis begins with studying the problems. The cause-and-effect diagram was applied to analyze the cause and guide for solving problems. Applied the 5W1H theory to make decisions in solving problems. It was found that there were 2 causes of the problem of bottlenecks at the 7th station: 1) the machine took a long time in the process; There is an accumulation of work in the work station. 2) Procedure methods that aren't standardized, resulting in high execution time. Then apply the principles of the work-study to identify the operational takt time and procedures. solving problems using the theory of ECRS and production scheduling theory To find a way to organize the production order. The result of as a that able to reduce the working process from 11 steps to 9 steps. and total operating time decreased from 73.48 seconds/piece to 56.40 seconds/piece. Assembly efficiency increased from 59.33% to 83.85%. As for the production scheduling method, a guideline decision can be made using the SPT rule, which is the optimal criterion based on the available factors. It can be concluded that this research able to achieve the set objectives.

Keywords: Bottleneck Time Reduction Work Study ECRS production scheduling

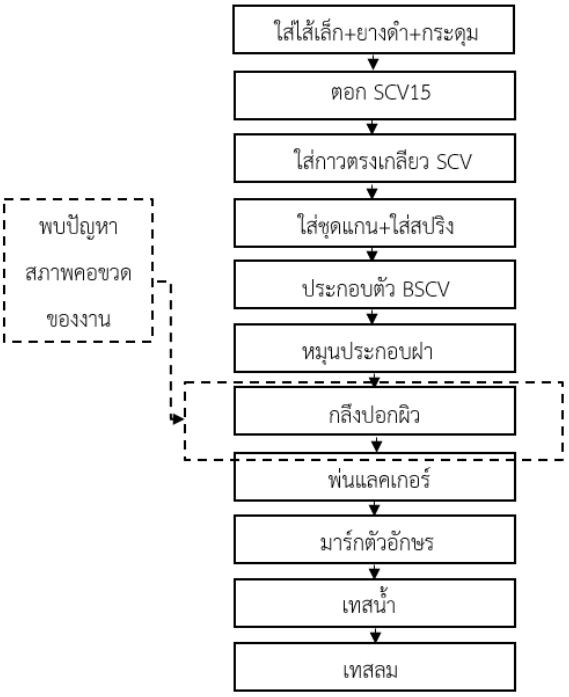
1. บทนำ

บริษัทผลิตอุปกรณ์ประปาคุณภาพสูงแห่งหนึ่งเป็นผู้ผลิตและจัดจำหน่ายอุปกรณ์มาตรวัดน้ำประปา ที่ทีมผู้วิจัยได้นำมาเป็นโรงงานกรณีศึกษาตั้งอยู่จังหวัดสมุทรปราการ ก่อตั้งขึ้นในปีพ.ศ 2524 ในปัจจุบันบริษัทดำเนินการผลิตและจัดจำหน่ายอุปกรณ์ประปาคุณภาพสูง ให้องค์กรหรือกลุ่มอุตสาหกรรมภายในประเทศในสัดส่วน 70 เปอร์เซ็นต์จากจำนวนทั้งหมด และส่งออกไปยังต่างประเทศกลุ่มลูกค้าประเทศตะวันออกกลาง และกลุ่มประเทศอาเซียน ในสัดส่วน 30 เปอร์เซ็นต์จากทั้งหมด โดยตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ผลิตและจัดจำหน่ายเช่น มาตรวัดน้ำ (Water Meter) บอลวาล์ว (Ball Valve) ประตูน้ำ (Gate Valve) ลูกลอย (Float Valve) สปริงเช็ควาล์ว (Spring Check Valve) เช็ควาล์ว (Check Valve) และอื่น ๆ ลักษณะการผลิตของโรงงานเป็นแบบการผลิตตามคำสั่งซื้อลูกค้า (Made to Order) โดยจะแบ่งการผลิตออกเป็นกลุ่มสายการผลิตย่อย ๆ ตัวอย่างเช่น กลุ่มการผลิตที่ 1 ผลิตสปริงเช็ควาล์ว

เช็ควาล์ว ลูกลอย กลุ่มการผลิตถัดไปก็จะดำเนินการผลิต ผลิตภัณฑ์ชนิดอื่น ๆ จากโรงงานกรณีศึกษาให้ดำเนินการศึกษาและเก็บข้อมูลในสายการประกอบกลุ่มประตูน้ำกลุ่มที่ 1 ซึ่งทำการศึกษาและเก็บข้อมูลสายการประกอบตั้งแต่วันที่ 2 มิถุนายน 2565 จนถึง 7 ตุลาคม 2565 โดยทีมผู้วิจัยทำการเลือกศึกษาผลิตภัณฑ์สปริงเช็ควาล์ว (Spring Check Valve) ขนาด 15 มิลลิเมตร เพียงขนาดเดียวจากทั้งหมด 3 ขนาดคือ 15, 20, 25 มิลลิเมตร เนื่องจากมียอดความต้องการมากที่สุด เพื่อความสะดวกในการเรียกชื่อผู้วิจัยขออนุญาตเรียกชื่อผลิตภัณฑ์พร้อมกับขนาดสปริงเช็ควาล์วที่ศึกษาว่า ชิ้นงาน SCV15 ดังภาพที่ 1 แสดงตัวอย่างลักษณะผลิตภัณฑ์ โดยลำดับของสายการประกอบสปริงเช็ควาล์วจะผ่านกระบวนการผลิตทั้งหมด 11 สถานีตามลำดับดังนี้ 1) สถานีการใส่ไส้เล็ก+ยางดำ+กระดุม, 2) สถานีตอก SCV15, 3) สถานีใส่กาวตรงเกลียว SCV, 4) สถานีใส่ชุดแกน+ใส่สปริง, 5) สถานีประกอบตัว BSCV, 6) สถานีหมุนประกอบฝา, 7) สถานีกลึงปอกผิว, 8) สถานีพ่นแล็คเกอร์, 9) สถานีมาร์กตัวอักษร, 10) สถานีเทสน้ำ, 11) สถานีเทสลม, ดังแสดงในรูปที่ 1.2 สถานีในสายการประกอบสปริงเช็ควาล์ว SCV15 แสดงถึงตำแหน่งสถานีงานที่พบว่าเกิดปัญหาในสายการประกอบ



ภาพที่ 1 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์สปริงเช็ควาล์ว SCV15



ภาพที่ 2 สถานีการประกอบผลิตภัณฑ์สปริงเช็ควาล์ว SCV15 และแสดงตำแหน่งที่เกิดปัญหาในสายการประกอบ

จากการศึกษาข้อมูลสายการประกอบสปริงเช็ควาล์ว SCV15 ลักษณะในการผลิตชิ้นงานเป็นการผลิตแบบกลุ่ม (Batch Production) จะผลิตตามลำดับขั้นตอนตามแผนจำนวนการผลิตที่ได้วางไว้ของแต่ละวัน ล่วงหน้าจากนั้นเมื่อผลิตได้ตามจำนวนที่วางไว้ในแต่ละวันหลังจากสิ้นสุดสถานีที่ 11 ขั้นตอนเทสลม ก็จะถูกส่งต่อให้ไปยังสถานีบรรจุสินค้าลงกล่องต่อไปซึ่งสถานีบรรจุจะเป็นผู้รับชิ้นงานไปเอง ปัจจุบันสายการประกอบสปริงเช็ควาล์วสามารถผลิตสปริงเช็ควาล์ว SCV15 ปัญหาสายการประกอบพบว่างานเกิดการคอขวด ที่สถานีงานที่ 7 ขั้นตอนการกลึงปอกผิวใช้เวลาในการผลิตนานที่สุด ซึ่งเวลาที่ใช้การผลิต (Cycle Time) ไม่ทันต่อรอบจังหวะการผลิต ของลูกค้าที่ต้องการ (Takt Time) จึงส่งผลให้พนักงาน 6 คนของสายการประกอบสปริงเช็ควาล์วต้องทำงานล่วงเวลา วันละ 4 ชั่วโมง ทำให้มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 1,485 บาท หากคิดมูลค่าเป็นรายปีจากข้อมูลการทำงานล่วงเวลาทั้งหมด 6 เดือนจะมีมูลค่ารวมเท่ากับ 187,110 บาท จากการตรวจสอบปัญหาพบว่าเกิดจากสาเหตุ 2 ส่วน คือ 1 เกิดจากเครื่องจักรมีการสะสมของงานจำนวนมากที่สถานีที่ 7 ขั้นตอนการกลึงปอกจากการใช้เวลานาน จนทำให้งานเกิดความล่าช้า ทำให้ไม่สามารถดำเนินการในสถานีงานถัดไปได้ ส่วนที่ 2 คือ เกิดจากวิธีการ ขั้นตอนการปฏิบัติงานที่ไม่ได้กำหนดเวลามาตรฐานไว้ซึ่งทำให้เวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงานสูง ทำให้บริษัทต้องมีค่าใช้จ่ายล่วงเวลาเพิ่มขึ้น จากปัญหาดังกล่าวข้างต้น ทีมผู้วิจัยจึงนำข้อมูลที่ศึกษามาทำการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุและดำเนินการแก้ไขโดยวิเคราะห์ปัญหาขั้นตอนการปฏิบัติงานโดยการใช้ทฤษฎี 5W1H เพื่อตั้งคำถามกับขั้นตอนในการทำงาน ใช้หลักการศึกษาการทำงาน (Work Study) กับทฤษฎีการลดความสูญเปล่าด้วยการกำจัด, การรวม, การจัดใหม่และการทำให้ง่ายขึ้น (Eliminate, Combine, Rearrange, and Simplify: ECRS) จัดทำเวลามาตรฐานในการทำงาน, ปรับปรุงจำนวนสถานีงานการประกอบที่ไม่จำเป็นเพื่อนำพนักงานไปเสริมในสถานีงานที่เกิดปัญหา ใช้กฎการจัดตารางการผลิตให้กับสถานีการกลึงซึ่งเปิดใช้งานเครื่องจักรที่ไม่ได้ใช้ในสถานีอีก 1 เครื่อง เพื่อจัดลำดับในการผลิตชิ้นงานสถานีการกลึงปอกส่งผลให้สามารถสามารถลดรอบเวลาการผลิต ทำการผลิตได้ตามเป้าหมายในเวลาทำงานโดยไม่จำเป็นต้องทำงานล่วงเวลา และสามารถทำการผลิตได้ต่อเนื่อง ทำให้สายการประกอบมีประสิทธิภาพมากขึ้น [1] ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับเสนอแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้กับบริษัท สวนหลวงราชไมตรี อำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี จากที่ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลในกระบวนการผลิต พบว่า มีหลายขั้นตอนใช้เวลาทำงานเกินเวลา Takt Time ทำให้กระบวนการผลิตแผ่นยางพาราเกิดปัญหาความล่าช้าดังนั้นผู้วิจัยจึงนำปัญหาดังกล่าวมาวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุที่แท้จริง ด้วยแผนผังก้างปลา (Cause and Effect Diagram) และพบว่ามี 5 สาเหตุที่ส่งผลทาให้กระบวนการผลิตมีความล่าช้า ได้แก่ ความเมื่อยล้า การรอคอย ระยะทางไกล อุปกรณ์ไม่เหมาะสมกับงาน และแสงสว่างไม่เพียงพอ จึงนำหลักการ ECRS มาใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตแผ่นยางพารา โดยเสนอให้บริษัททาการเปลี่ยนอุปกรณ์ในการทางานและปรับเปลี่ยนตำแหน่งการวางผังใหม่ในขั้นตอนที่ 2 และขั้นตอนที่ 4 เพื่อลดเวลาในการทางานและลดระยะทางในการเคลื่อนย้ายวัตถุดิบ [2] วิจัยเพื่อลดเวลาและความสูญเปล่าในสายการผลิตเบรกเกอร์ โดยพยายามขจัดและลดเวลาที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่ม ต่อตัวผลิตภัณฑ์ อาทิเช่น ความสูญเปล่า เนื่องจากการรอคอย การเคลื่อนไหวที่เกินความจำเป็น ความสูญเปล่าเนื่องจากงานเสีย หรืองานที่ต้องนำกลับมาทำใหม่ เป็นต้น ซึ่งสาเหตุที่กล่าวมานี้ทำให้โรงงาน

ตัวอย่างมีต้นทุนที่ต้องสูญเสียเป็น 2,000,000 บาท ในปี 2550 โดยการดำเนินการวิจัยเริ่มต้นจาก การศึกษาปัญหาและรวบรวมข้อมูล จากนั้น ใช้หลักการ 3T ในการวิเคราะห์หาเวลาสูญเปล่าที่เกิดขึ้นทั้งในส่วนของเวลาที่ใช้ในการผลิตจริง (T1) เวลาส่วนเกิน (T2) และเวลาไร้ประสิทธิภาพ (T3) และใช้เทคนิค แผนภูมิคน-เครื่องจักร Why – Why analysis ,แผนภูมิก้างปลา, 5W1H, ECRS และเครื่องมือคุณภาพ เป็นเครื่องมือหลักที่จะช่วยในการหารากเหง้าของปัญหา และปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดความสูญเปล่าซึ่งผลจากการที่ได้ปรับปรุงในส่วนของสายการผลิต พบว่า ความสูญเสียต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมานั้น มีแนวโน้มลดลง จึงทำให้สัดส่วนของเวลาที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่า ลดลงจากเดิม 41 เปอร์เซ็นต์ เหลือ 28 เปอร์เซ็นต์ ส่วนผลผลิตต่อคน ของผลิตภัณฑ์รุ่น 1 โพล เพิ่มขึ้นจากเดิม 122 ชิ้นต่อคนเป็น 159 ชิ้นต่อคน ส่วนผลิตภัณฑ์รุ่น 2.3 โพล จาก 89 ชิ้นต่อคน เพิ่มเป็น 116 ชิ้นต่อคน ซึ่งการเพิ่มขึ้นดังกล่าวมีผลทำให้ประสิทธิภาพการทำงานเพิ่มขึ้นจากเดิม 79 เปอร์เซ็นต์ เป็น 85 เปอร์เซ็นต์

2. วิธีการศึกษา

ผู้วิจัยศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทีมผู้วิจัยจึงนำข้อมูลที่ศึกษามาทำการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุและดำเนินการแก้ไขโดยวิเคราะห์ปัญหาขั้นตอนการปฏิบัติงานโดยการใช้ทฤษฎี 5W1H เพื่อตั้งคำถามกับขั้นตอนในการทำงาน ใช้หลักการศึกษาการทำงาน (Work Study) กับทฤษฎีการลดความสูญเปล่าด้วยการกำจัด, การรวม, การจัดใหม่และการทำให้ง่ายขึ้น (Eliminate, Combine, Rearrange, and Simplify: ECRS) จัดทำเวลามาตรฐานในการทำงาน, ปรับปรุงจำนวนสถานีงานการประกอบที่ไม่จำเป็นเพื่อนำพนักงานไปเสริมในสถานีงานที่เกิดปัญหา ใช้กฎการจัดตารางการผลิตให้กับสถานีการกลึงซึ่งเปิดใช้งานเครื่องจักรที่ไม่ได้ใช้ในสถานีอีก 1 เครื่อง เพื่อจัดลำดับในการผลิตชิ้นงานสถานีการกลึงปอก [1-7]

3. ผลการศึกษา

3.1 การศึกษาปัญหา สาเหตุแนวทางการแก้ไขปัญหา [6]

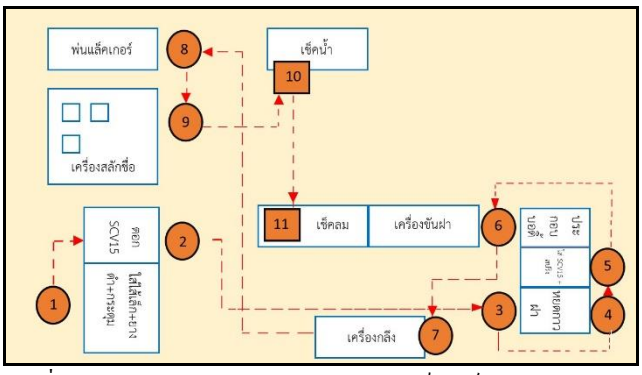
จากการวิเคราะห์กระบวนการผลิตของสายการประกอบสปริงเคว่าล์ว SCV15 ประกอบ มีขั้นตอนทั้งหมด 11 ขั้นตอน หรือนับเป็น 11 สถานี โดยใช้ทฤษฎี 5W1H ในการตั้งคำถามกับขั้นตอนเพื่อหาความสำคัญของขั้นตอนการทำงาน แผนผังก้างปลาเพื่อหาสาเหตุของปัญหา หลังจากนั้นทำการศึกษาการทำงาน (Work Study) และใช้ทฤษฎีการลดความสูญเปล่าในการผลิตด้วยการกำจัด, การรวม, การจัดใหม่และการทำให้ง่ายขึ้น สุดท้ายเพิ่มประสิทธิภาพของสายการประกอบโดยใช้กฎต่างๆของการจัดตารางการผลิตเพื่อจัดลำดับการผลิตด้วย สามารถสรุปผลพอสังเขปได้ดังนี้ จากการศึกษาสภาพปัญหาพบว่าเกิดสภาพคอขวดในขั้นตอนที่ 7 การกลึงปอกผิว เนื่องจากเครื่องจักรในขั้นตอนใช้เวลาในการผลิตมาก และมีการนำงานนอกเข้ามาร่วมใช้งานเครื่องจักรเดียวกันนั้นส่งผลให้เกิดความล่าในการส่งมอบงานไปยังสถานีถัดไป ทำให้เกิดการรอคอย ดังนั้นการเกิดปัญหาเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุและแนวทางแก้ไขจึงสรุปได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สรุปปัญหา สาเหตุ แนวทางแก้ไขในสายการประกอบสปริงเช็ควาล์ว SCV15

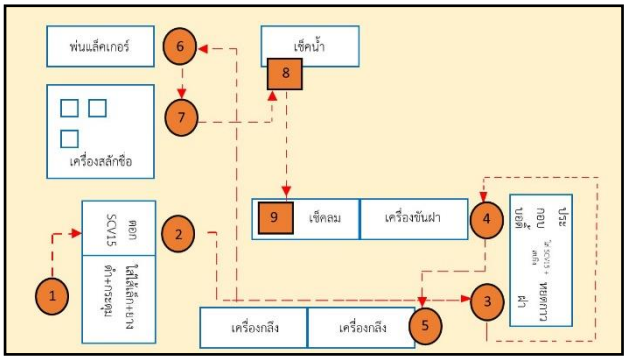
ปัญหา	สาเหตุ	แนวทางแก้ไข
ปัญหาสภาพคอขวด (Bottleneck)	1) เครื่องจักร -เครื่องกลึงปอกผิว ใช้เวลาในการกลึงปอกเกินรอบจังหวะเวลาการผลิต -การใช้เครื่องจักรได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ	1) ใช้ทฤษฎี Work study ศึกษาเวลาในสายการประกอบ 2) ใช้ทฤษฎี Work Study ในการหาเวลามาตรฐาน 3) ใช้ทฤษฎีการจัดตารางการผลิต เพื่อหาแนวทางจัดลำดับการผลิตใหม่
	3) วิธีการ -ไม่มีการกำหนดเวลามาตรฐานในการทำงาน	4) ใช้หลักการ 5W1H วิเคราะห์หาความจำเป็นของขั้นตอนทำงาน 5) ใช้ทฤษฎี ECRS หาแนวทางเพื่อปรับปรุงวิธีการทำงานใหม่

3.2 การแก้ไขและปรับปรุงขั้นตอนการปฏิบัติงานในสายการประกอบ [3-4]

การปรับปรุงขั้นตอนการปฏิบัติงานและเวลา จากการใช้หลักการศึกษาการทำงาน (Work Study), ทฤษฎีลดความสูญเปล่าด้วยการกำจัด, การรวม, การจัดใหม่ และการทำให้ง่ายขึ้น ซึ่งได้แก้ไขปรับปรุง



ภาพที่ 3 แผนผังของกระบวนการประกอบสปริงเช็ควาล์ว SCV15 (ก่อนปรับปรุง)



ภาพที่ 4 แผนผังของกระบวนการประกอบสปริงเช็ควาล์ว SCV15 (หลังปรับปรุง)

แผนภูมิกระบวนการไหล (Flow Process chart)									
	กิจกรรม		ปัจจุบัน			หลังปรับปรุง		ลดลง	
วิธีทำงาน ปัจจุบัน/หลังปรับปรุง	การดำเนินงาน		9			7		2	
	การขนส่ง								
	การรอคอย								
	การตรวจสอบ		2			2		0	
สถานที่ : กลุ่มงานที่ 1	การเก็บรักษา								
	เวลา (วินาที)		56.40						
คำอธิบาย	เวลา (วินาที)	ระยะทาง (เมตร)	สัญลักษณ์					หมายเหตุ	
1.ใส่ไส้เล็ก+ยางดำ+กระดุม	4.23		●	⇨	D	□	▽		
2.ตอก SCV15	2.80		●	⇨	D	□	▽		
3.ใส่กาวตรงเกลียว SCV15 ใส่ SCV15 + สปริงประกอบบอดี้	6.75		●	⇨	D	□	▽		
4.ประกอบตัว BSCV	4.21		●	⇨	D	□	▽		
5.กลึงปอกผิว	10.32		●	⇨	D	□	▽		
6.พ่นแลคเกอร์	4.16		●	⇨	D	□	▽		
7.สลักขือโลโก้	11.21		●	⇨	D	□	▽		
8. เช็คน้ำ	8		○	⇨	D	■	▽		
9. เช็คลม	4.72		○	⇨	D	■	▽		
รวม	56.40		7			2			

ภาพที่ 5 แผนภูมิกระบวนการไหลของสายการประกอบสปริงเช็ควาล์ว SCV15

ขั้นตอนการทำงานที่เกิดขึ้น โดยเกิดจากปัญหาสภาพคอขวด (Bottleneck) โดยทำการปรับปรุง 3 สถานีการทำงาน ได้แก่ สถานีที่ 3 ใส่กาวตรงเกลียว SCV15 ในขั้นตอนที่ 4 ใส่ชุดแกน+ใส่สปริง นำชิ้นส่วนฝา SCV15 และขั้นตอนที่ 7 กลึงปอกผิว ในขั้นตอนกลึงปอกผิวเป็นการผลิตที่ใช้เวลานานที่สุด จึงทำให้เกิดปัญหาคอขวดขึ้น โดยแสดงรายละเอียดการแก้ไขปัญหาของทั้ง 4 สถานี โดยในการแก้ไขปัญหาในสถานีที่ 3 ได้ทำการใส่กาวตรงเกลียว SCV15 สามารถใช้การรวม (Combine) ขั้นตอนที่ 4 ใส่ชุดแกน+ใส่สปริง นำชิ้นส่วนฝา SCV15 และสามารถใช้การรวม (Combine) ในขั้นตอนที่ 5 ประกอบตัว BSCV สามารถใช้การกำจัด (Eliminate) และ การรวม (Combine) ได้โดยไม่มีความซับซ้อนและไม่มีการทำงานร่วมกับเครื่องจักรเดียวกัน ลักษณะงานสามารถรวมขั้นตอนกับสถานีที่ 3 เพื่อใส่กาวตรงเกลียว ได้ผลการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นเพื่อให้ลดขั้นตอนการทำงาน สำหรับการบันทึกข้อมูลในแผนภูมิการไหลของสายการประกอบสปริงเช็ควาล์ว SCV15 ก่อน และหลังปรับปรุง จากศึกษาขั้นตอนการปฏิบัติงานสายการประกอบสปริงเช็ควาล์ว SCV15 ทีมผู้วิจัยได้ทำการบันทึกข้อมูลขั้นตอน โดยการสังเกตการปฏิบัติงานและสอบถามจากพนักงานที่ปฏิบัติงานต่อหน้าที่นั้น ๆ หลังจากทำการบันทึกลงแผนภูมิวิเคราะห์การทำงาน แผนภูมิกระบวนการไหลของสายการประกอบ โดยมีขั้นตอนที่ปรับปรุงแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นสามารถทำให้ลดลงจาก 11 ขั้นตอน เหลือ 9 ขั้นตอน แสดงได้ดังภาพที่ 3 -5 ในส่วนของเวลาในการปฏิบัติงานที่ได้ลดลงจาก 73.48 วินาที/ชิ้น เหลือ 56.40 วินาที/ชิ้นนั้น ดังแสดงผลการคำนวณประสิทธิภาพของกระบวนการประกอบก่อนและหลังการปรับปรุงสายการประกอบสปริงเช็ควาล์ว SCV15 โดยมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นดังนี้

ประสิทธิภาพกระบวนการประกอบก่อนปรับปรุง คือ

$$\frac{\text{ผลรวมรอบเวลาการประกอบ} \times 100}{\text{เวลาสูงสุด} \times \text{จำนวนพนักงาน}} = \frac{73.48 \times 100}{20.64 \times 6} = 59.33\% \quad (1)$$

ประสิทธิภาพกระบวนการประกอบหลังปรับปรุงคือ

$$\frac{\text{ผลรวมรอบเวลาการประกอบ} \times 100}{\text{เวลาสูงสุด} \times \text{จำนวนพนักงาน}} = \frac{56.33 \times 100}{11.21 \times 6} = 83.85\% \quad (2)$$

ตารางที่ 2 รอบเวลาการผลิตของสายการประกอบสปริงเช็ควาล์ว SCV15 (หลังปรับปรุง)

ขั้นตอนการทำงาน	เวลารอบเวลาในการผลิต (วินาที/ชิ้น)
1. ใส่ไส้เล็ก + ยางดำ + กระดุม	4.23
2. ตอก SCV15	2.80
3. ใส่กาวตรงเกลียว SCV15 ใส่ชุดแกน+ใส่สปริง นำชิ้นส่วนฝา SCV15ประกอบตัว BSCV	6.75
4. หมุนประกอบฝา	4.21
5. กลึงปอกผิว	10.32
6. พ่นแล็กเกอร์	4.16
7. มาร์กตัวอักษร	11.21
8. เทสน้ำ	8
9. เทสลม	4.72
ผลรวมรอบเวลาการประกอบ (Cycle Time) ทั้ง 11 ขั้นตอน = 56.40 วินาที/ชิ้น	

และแสดงผลรอบเวลาการผลิตของสายการประกอบสปริงเช็ควาล์ว SCV15 หลังปรับปรุง ดังตารางที่ 2 จากการนำข้อมูลแต่ละขั้นตอนสายการประกอบสปริงเช็ควาล์ว SCV15 มาวิเคราะห์จะพบว่าการทำงานโดยใช้แผนภาพการไหลเพื่อให้สามารถเห็นภาพรวมสายการการประกอบสปริงเช็ควาล์ว SCV15 ที่ปรับปรุงแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นสามารถทำให้ขั้นตอนลดลงและ เวลาในการปฏิบัติงานลดลงเช่นกัน [7]

3.3 รอบเวลาการผลิตและเพิ่มประสิทธิภาพในสายการผลิต

นำรอบเวลาในการผลิต (Cycle Time) หลังจากการปรับปรุงเปรียบเทียบกับรอบเวลาในการผลิตก่อนปรับปรุงที่ได้เก็บข้อมูลไว้ก่อนโดยแสดงไว้ในตารางที่ 4.3 พบว่าจากเดิมมีรอบเวลาในการผลิต 73.48 วินาที/ชิ้น ลดลงเหลือ 56.40 วินาที/ชิ้น ลดลง 17.08 วินาที/ชิ้น ทำให้มีประสิทธิภาพในกระบวนการประกอบจากเดิม 59.33% เพิ่มขึ้นเป็น 83.85% ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การปรับปรุงกระบวนการผลิต ก่อนปรับปรุง-หลังการปรับปรุง

รายละเอียด	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
1.เวลารวมในการผลิต (วินาที/ชิ้น)	73.48 วินาที/ชิ้น	59.40 วินาที/ชิ้น
2.รอบเวลาในการผลิต (Cycle Time)	20.64 วินาที/ชิ้น	10.32 วินาที/ชิ้น
3.ประสิทธิภาพการผลิต	59.33%	83.85%

3.4 การจัดตารางการผลิต [5]

หลังจากในสายการประกอบสปริงเช็ควาล์ว SCV15 ปรับปรุงขั้นตอนการทำงานโดยใช้หลักการศึกษาการทำงาน (Work Study) ร่วมกับทฤษฎีลดความสูญเปล่าด้วยการกำจัด, การรวม, การจัดใหม่และการทำให้ง่าย ทำให้จำนวนสถานีงานหลังปรับปรุงลดลงซึ่งสถานีงานที่ 5 ประกอบตัว BSCV ซึ่งถูกกำจัดสถานีเพื่อรวมกับสถานีที่ 3 ใส่กาวตรงเกลียว SCV15 และสถานีที่ 4 ใส่ชุดแกน+ใส่สปริง นำชิ้นส่วนฝา SCV15 พนักงานจึงถูกนำไปดำเนินการในสถานีงานที่ 7 กลึงปอกผิว เนื่องจากสถานีงานมีเครื่องจักรว่างจากการผลิตและรอบเวลาที่ใช้ในการผลิตของเครื่องจักรสถานีสูงกว่ารอบจังหวะในการผลิต จึงทำการจัดลำดับการผลิตให้กับเครื่องกลึงใหม่เพื่อลำดับความสำคัญการเลือกงานเพื่อผลิตและลดรอบเวลาในการผลิตให้ทันต่อรอบจังหวะในการผลิต ดังตารางที่ 4 จากตารางผลการคำนวณหาวิธีการจัดลำดับการผลิต การวัดประสิทธิภาพของการจัดตารางการผลิตผู้วิจัยได้กำหนดตัวชี้วัดผลในตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่าเกณฑ์การจัดลำดับการผลิตที่เหมาะสมที่สุดของกระบวนการคือหลักการเวลาผลิตสั้นที่สุด(Shortest Processing Time: SPT) เหมาะสมที่จะนำไปจัดตารางการผลิตให้กับเครื่องจักรในสถานีที่ 5 สถานีกลึงปอก ซึ่งโรงงานตัวอย่างมีวัตถุประสงค์ต้องการปรับปรุงสายการประกอบให้มีความสูญเปล่าน้อยลง ประสิทธิภาพในการผลิตมากขึ้น ที่หลังจากทำการปรับปรุงขั้นตอนการทำงานเรียบร้อยแล้ว

ตารางที่ 4 การจัดลับดับการผลิต

รายละเอียด	SPT	LPT	EDD
เวลาไหลในระบบโดยเฉลี่ย	115.31	116.74	175.44
จำนวนงานที่สาย	0	0	5
เวลาส่งไม่ทันกำหนดโดยเฉลี่ย	0	0	29.5

4. สรุปผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากการที่ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลของปัญหาภายในโรงงานกรณีศึกษา โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดเวลาสูญเปล่าของกระบวนการผลิตและเพิ่มประสิทธิภาพสายการประกอบสปริงเช็ควาล์ว ผลการปรับปรุงสายการประกอบ เป็นการปรับปรุงขั้นตอนการผลิตให้มีจำนวนที่น้อยลงโดยขั้นตอนในการดำเนินการเริ่มจาก การเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับงานและเครื่องจักร เช่น การศึกษาหาเวลามาตรฐาน การศึกษาลำดับขั้นตอนการผลิต การศึกษาผลิตภัณฑ์ จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ โดยใช้หลักการศึกษาการทำงาน (Work Study), ทฤษฎีลดความสูญเปล่าด้วยการกำจัด, การรวม, การจัดใหม่ และการทำให้ง่ายขึ้น ให้ได้ผลการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นสามารถทำให้จาก 11 ขั้นตอน เหลือ 9 ขั้นตอน เวลาในการปฏิบัติงานลดลง จาก 73.48 วินาที/ชิ้น เหลือ 56.40 วินาที/ชิ้น ดังนั้นผลการสายการประกอบสปริงเช็ควาล์ว SCV15 มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 24.52% ในส่วนของการจัดลำดับการผลิตเครื่องกลึงใหม่ ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บข้อมูลที่มีความเกี่ยวข้องกับเครื่องจักรทั้ง ข้อมูลแผนการผลิตสินค้าปัจจุบัน ปริมาณความต้องการชิ้นงานที่ศึกษาและที่เกี่ยวข้อง ระยะเวลาที่กำหนดส่งชิ้นงานที่ศึกษา เวลาที่ใช้ในการผลิต แล้วจึงนำมาวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางในการจัดลำดับในการผลิตของเครื่องกลึงทั้งหมด ให้งานดำเนินไปได้อย่างต่อเนื่อง หลังจากทราบเกณฑ์ที่เหมาะสมในการจัดลำดับการผลิตแล้ว จึงนำไปเป็นแนวทางเพื่อตัดสินใจเลือกใช้ในกระบวนการผลิตต่อไป สามารถสรุปผลการดำเนินงานตามวัตถุประสงค์โดย ลดความสูญเปล่าของกระบวนการผลิต เพิ่มประสิทธิภาพสายการประกอบสปริงเช็ควาล์ว SCV15 ลดค่าใช้จ่ายในการทำงานล่วงเวลา ขจัดต้นทุนที่สูญเปล่าในกระบวนการผลิต และสามารถเป็นแนวทางการปรับปรุงให้กับกระบวนการผลิตที่มีลักษณะใกล้เคียงได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.พระนครและโรงงานตัวอย่างที่ช่วยสนับสนุนในการทำวิจัยในครั้งในลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] ปรัชภรณ์ เศรษฐเสถียร, กฤติยา เกิดผล และพงศธร จันทร์ตรี, การวิเคราะห์กระบวนการผลิตแผ่นยางพารา กรณีศึกษา: สวนหลวงราชไมตรี อำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี, กรุงเทพฯ: คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี, 2562.

[2] ภาวิณี อาจปรุ, 2551, การลดเวลาสูญเปล่าในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เบรกเกอร์ [Online], แหล่งที่มา: https://dric.nrct.go.th/Search/SearchDetail/206285. [28/7/2565],2565.

[3] รัชต์วรรณ กาญจนปัญญาคม,การศึกษางานในอุตสาหกรรม,ฉบับปรับปรุงใหม่2562,หนังสือภาษาไทย-Top Publishing,2562.

[4] พิชิต สุขเจริญพงษ์, การจัดการวิศวกรรมการผลิต, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ: บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, 2546.

[5] พิษณุ ทองขาว, การปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตโดยการวางแผนและจัดตารางการผลิต กรณีศึกษา อุตสาหกรรมการผลิตคอยล์, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต,สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2547.

[6] วันเฉลิม วรรณสถิตย์ แผนกที่ปรึกษา,เครื่องมือคุณภาพ 7 QC Tool,[ออนไลน์],แหล่งที่มา : http://www.tpif.or.th/WebDev/index.php (สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)[29/07/2559],2559.

[7] ขนิษฐา ปั้นสวย และเฉลอกชกร สังสุด, การปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อแก้ปัญหาสภาพคอขวดในสายการผลิตเครื่องปรุงแกงแดงไร้สาร : กรณีศึกษาอุตสาหกรรมแปรรูปอาหาร, วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, 2564.

การลดของเสียในกระบวนการฉีดแก้วกาแฟ: กรณีศึกษา บริษัท ตัวอย่าง

THE REDUCE WASTE IN THE COFFEE CUP INJECTION PROCESS:A CASE STUDY EXAMPLE COMPANY

พิษณุ ทองขาว ศุภวิชญ์ ตั้งพรโชติช่วง อัฐสนัย ขุนไชยรักษ์ พรพิศ ศิริมา และสมพงษ์ เชื้อพระคา*

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษากระบวนการฉีดแก้วกาแฟโดยผู้วิจัยได้เห็นปัญหาในกระบวนการผลิตพบว่าปัญหาหลักคือของเสียประเภทจุดดำมีจำนวนเป็นร้อยละ6ของจำนวนการผลิตทั้งหมดซึ่งเป็นปริมาณของเสียที่มีจำนวนมาก ผู้วิจัยได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตตั้งแต่นำวัตถุดิบเข้าตลอดจนส่งมอบสินค้าให้กับลูกค้าพบว่าสาเหตุที่เกิดจากข้อบกพร่องในกระบวนการผลิต ไม่ว่าจะเป็นการจัดเก็บวัตถุดิบที่ไม่เหมาะสม,และวิธีการที่ไม่ชัดเจนให้กับพนักงาน ส่งผลให้ผลิตของเสียมาเป็นจำนวนมาก จึงทำการระดมความคิดโดยใช้หลักการ 4M 1E มาแบ่งกลุ่มปัจจัยที่ก่อให้เกิดของเสีย และได้นำ 7QC tools มาเป็นตัวช่วยในการวิเคราะห์สาเหตุ พบว่าสามารถลดของเสียประเภทจุดดำในกระบวนการฉีดแก้วกาแฟได้ร้อยละ 98.67 เปอร์เซ็น

คำสำคัญ : กระบวนการฉีดแก้วกาแฟ ของเสีย จุดดำ

Abstract

This research studies the coffee cup injection process, the researcher has seen problems in the production process and found that the main problem is that the black spot type waste amounts to 6 percent of the total production amount which is the amount of a lot waste. The researcher has studied the production process from importing raw materials to delivering products to customers found that the cause was caused by defects in the production process, such as improper storage of raw materials and methods that did not clear to employees. Resulting in producing a lot of waste, so brainstorming using the 4M 1E principle to group the factors that cause waste and using 7QC tools to help in the analysis of the causes found that it can reduce 98.67 percent of black point waste in the coffee cup injection process.

Keywords: Coffee cup injection process Waste Back point

1. บทนำ

พลาสติกนั้นเป็นวัสดุที่มีบทบาทอย่างมากในชีวิตประจำวันของมนุษย์และมีแนวโนวการใช้งานเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากพลาสติกมีคุณสมบัติแข็งแรง มีน้ำหนักเบาและราคาถูก สามารภแปรรูปได้เป็นผลิตภัณฑ์ได้หลากหลายรูปแบบจึงมีความต้องการต่อตลาดมาก ถึงแม้ว่าจะมีความต้องการต่อมนุษย์มาก ปริมาณการใช้ที่มากก็จะส่งผลต่อการจัดเก็บและการทำลาย อาจส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศได้เป็นอย่างมาก สำหรับในกระบวนการผลิตแก้วกาแฟพลาสติกนั้นถ้ามีจำนวนของเสียออกมาตลอดก็จะส่งผลต่อความสูญเสียทั้งปัจจัยการผลิตต่างๆที่ต้องใช้ทรัพยากรเกินความจำเป็น ซึ่งจะทำให้ต้นทุนสูงขึ้นแต่ผลผลิตได้เท่าเดิมหรือน้อยกว่าหากลดของเสียได้หรือลดปริมาณการใช้หรื อมีการใช้ที่น้อยลงเท่าที่จำเป็นก็จะสามารถลดเวลาในการผลิตได้และยังลดต้นทุนในการผลิตด้วย การเก็บข้อมูลย้อนหลังของโรงงานตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยตั้งแต่เดือนกรกฎาคม ถึงกันยายน2565 พบว่ายอดการผลิตทั้งหมด 5,984,354 ชิ้น ผลิตได้ของดี 6,221,705 ชิ้น ของเสียประเภทจุดดำ 358,874 ชิ้น คิดเป็นร้อยละ 6 ของจำนวนการผลิตดังตารางที่ 1 ดังนั้นผู้วิจัยจึงให้ความสำคัญกับของเสียที่เกิดขึ้น จึงมีแนวคิดที่จะลดของเสียในกระบวนการผลิตโดยมุ้งเน้นไปในการนำหลักกการ 4M1Eและ7QC มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลทำให้เกิดของเสีย และทำการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้แก่ [2] ศึกษาการลดของเสียในกระบวนการฉีดพลาสติกในกระบวนการขึ้นรูปฉีดพลาสติก [5] ศึกษาการของเสียประเภทจุดเพื่อลดของเสียประเภทจุดดำ [6] ใช้เครื่องมือคุณภาพ 7 QC ในงานวิจัย [7] ศึกษาการลดของเสียในกระบวนการผลิตเตาเหล็กหล่อ [8] ทำการลดของเสียในกระบวนการผลิตการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์พลาสติก และ [9] ศึกษาการลดของเสียและเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตกรณีศึกษาโรงงานถุงพลาสติกเช่นกัน

2. วิธีการวิจัย

2.1 ศึกษาข้อมูลการผลิต

ดำเนินการศึกษาการผลิตเดิม ทำการเก็บข้อมูลย้อนหลังในเดือนกรกฎาคม ถึงกันยายน2565 พบว่ายอดการผลิตทั้งหมด 5,984,354 ชิ้น ผลิตได้ของดี 6,221,705 ชิ้น ของเสียประเภทจุดดำ 358,874 ชิ้น คิดเป็นร้อยละ 6 ของจำนวนการผลิต หลังจากนั้นทำการศึกษาข้อมูลต่างๆ เช่นวิเคราะห์หาสาเหตุและวิธีการแก้ปัญหาเพื่อทำการปรับปรุงตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2565 ถึงเดือน มกราคม 2566

2.2 การวิเคราห์ปัญหาและดำเนินการแก้ไข [7]

นำหลักการ 4M1E มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดปัญหาโดยการแบ่งกลุ่มปัจจัยได้ดังนี้

1) M Man คนงานหรือพนักงาน

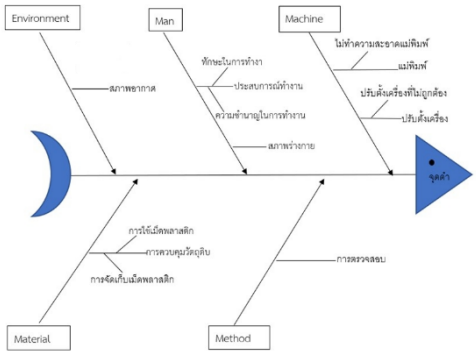
2) M Machine เครื่องจักรหรืออุปกรณ์อำนวยความสะดวก

3) M Material วัตถุดิบ

4) M Method กระบวนการทำงาน

5) E Environment สภาพแวดล้อมในการทำงาน

ในการวิเคราห์ปัญหาโดยแผนผังแสดงเหตุและผล ทำการวิเคราะห์สาเหตุและปัญหาของการเกิดของเสีย ทางบริษัทกรณีศึกษา ไม่ได้มุ่งเน้นหรือให้ความสำคัญกับการคอบคุมปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต จึงทำให้เกิดของเสียในอัตราที่สูง ดังนั้นการวิเคราะห์ข้อมูลหาสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นจากกระบวนการบนพื้นฐานหลักวิเคราะห์ 4M 1E ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แผนผังแสดงเหตุและผล

จากภาพที่ 1 วิเคราะห์สาเหตุจากปัจจัย 4M1E คือ คน เครื่องจักร วัตถุดิบ วิธีการ และสิ่งแวดล้อม พบว่าโดยปกติแล้วเครื่องจักรจะทำงานก็ต่อเมื่อคนปรับตั้งหรือสั่งการให้เครื่องจักรทำงานตามที่ต้องการ วิธีการจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่จะทำให้คนมีความรู้ในเรื่องการปรับตั้งเครื่องจักร รวมทั้งเรื่องการบำรุงรักษาเครื่องจักรเพื่อที่จะทำให้เครื่องจักรทำงานไปอย่างไม่มีข้อบกพร่อง และส่วนของวัตถุดิบจะมีการตรวจสอบคุณภาพในขั้นตอนการรับวัตถุดิบโดยใช้การตรวจสอบด้วยตาและจัดหาที่จัดเก็บที่เหมาะสมกับการเก็บเม็ดวัตถุดิบ ดังนั้นจากการระดมความคิดจึงถือว่าวิธีการเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่ทำให้เกิดของเสียประเภทจุดดำในกระบวนการผลิต และให้ความสำคัญที่ปัจจัยรองลงมาคือ คน เครื่องจักร สิ่งแวดล้อม และวัตถุดิบ ตามลำดับ โดยรูปภาพสามารถค้นหาสาเหตุที่มีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตซึ่งเกิดจาก 4M 1E ผลวิเคราะห์ดังนี้

1) สาเหตุที่มาจากวิธีการที่เป็นปัญหาหลักคือ ความถี่ในการตรวจสอบเครื่องจักรที่น้อยเกินไปจนส่งผลให้อุปกรณ์ต่างๆของเครื่องจักรชำรุด และวิธีการเติมเม็ดที่ไม่มีการทำความสะอาดถุงบรรจุเม็ดพลาสติกและถังคอปเปอร์

ตารางที่ 1 ข้อมูลการผลิตเดือนกรกฎาคม ถึงกันยายน2565

2)

เดือน	ยอดทั้งหมด	ของดี	ของเสีย	%ของเสีย
ก.ค	2,047,504	1,930,800	113,451	5.54
ส.ค	2,238,548	2,709,905	128,643	5.75
ก.ย	1,698,302	1,581,000	116,780	6.88
รวม	5,984,354	6,221,705	358,874	6.00

สาเหตุที่มาจากคนที่เป็นปัญหาคือ ขาดความรู้และความเข้าใจในการทำงานของเครื่องจักร พนักงานมาใหม่ไม่มีความรู้เกี่ยวกับเครื่องจักรและขาดการฝึกอบรมก่อนปฏิบัติงาน

3) สาเหตุที่มาจากเครื่องจักรปัญหาคือ มีการทำความสะอาดแม่พิมพ์น้อยครั้งหรือไม่ทำเลย จะทำก็ต่อเมื่อเกิดของเสียออกมาเป็นจำนวนมากจึงจะมีการทำความสะอาดที่แม่พิมพ์

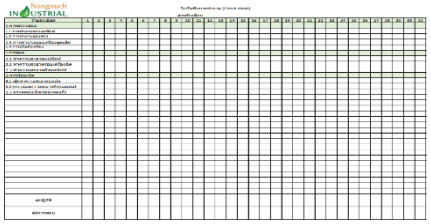
4) สาเหตุที่เกิดจากสิ่งแวดล้อมปัญหาคือ อุณหภูมิในสายการผลิตที่ไม่คงที่และพื้นที่ปฏิบัติงานมีฝุ่นละออง โดยปกติแล้วในสายการผลิตจะเป็นห้องที่มีเครื่องปรับอากาศอยู่แล้วแต่ค่อนข้างมีปัญหาบ่อยครั้งจึงส่งผลต่ออุณหภูมิห้องที่ไม่คงที่และส่งผลต่อกระบวนการฉีดแก้วAll café ส่วนพื้นที่ปฏิบัติงานมีฝุ่นละอองเนื่องจากการมีการเข้าออกในห้องฉีดพลาสติกค่อนข้างบ่อยจึงส่งผลให้มีฝุ่นเข้าไปเกาะเครื่องจักรหรือเข้าไปในกระบวนการฉีดพลาสติกจึงส่งผลให้ผลิตของเสียออกมาเพิ่มขึ้น

5) สาเหตุที่เกิดจากวัตถุดิบปัญหาคือ พื้นที่ในการจัดเก็บเม็ดพลาสติกที่ไม่เหมาะสมและทำให้ฝุ่นละอองเกาะติดที่ถุงของเม็ดพลาสติกจึงส่งให้ให้เวลาเติมเม็ดพลาสติกทำให้มีฝุ่นละอองเจือปนไปกับเม็ดพลาสติกซึ่งทำให้ในกระบวนการฉีดมีสิ่งสกปรกเข้าไปในกระบวนการฉีด

2.3 ดำเนินการปรับปรุงและแก้ไขปัญหา [3,4]

จากการศึกษากระบวนการผลิตและวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาจากการใช้หลักการ 4M 1E และทำเป็นแผนผังเหตุและผล จึงทำการระดมความคิดจากวิศกรที่ดูแลในแผนก และพนักงานที่อยู่สายการผลิต จึงมีแนวทางแก้ไขดังนี้

1)กำหนดให้มีการบันทึกการตรวจสอบและการทำความสะอาดของเครื่องจักร โดยจะมีการตรวจสอบเครื่องจักรในการปรับตั้งเครื่องจักรและการทำความสะอาดของแม่พิมพ์กับถังคอบเปอร์ โดยจะกำหนดเวลาในการตรวจเช็ค 2 ครั้งต่อวัน เวลาในการบันทึก 08.00น.-08.10น. และ 20.00น.-20.10น. ซึ่งจะเป็นเวลาในการผลัดเปลี่ยนกะทำงาน โดยจะนำ check sheet มาให้พนักงานบันทึกดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ใบบันทึกการทำงาน

2) ทำการฝึกอบรมแนะนำข้อปฏิบัติและขั้นตอนกานทำงานที่ถูกต้องกับพนักงานทุกคนโดยจะมีการจัดอบรมทุกๆ 6 เดือน ส่วนพนักงานที่เข้ามาใหม่ไม่ได้เข้าการอบรมจะให้หัวหน้าที่รับชอบเป็นคนอบรมแนะนำข้อปฏิบัติและขั้นตอนการทำงานที่ถูกต้องให้กับพนักงานใหม่

3) กำหนดให้ช่างที่เกี่ยวข้องทำความสะอาดแม่พิมพ์ โดยการใช้น้ำยากันสนิมเช็ดทำความสะอาดแม่พิมพ์ก่อนจะเริ่มเปิดเครื่องจักรทุกครั้ง



ภาพที่ 3 พนักงานทำความสะอาดแม่พิมพ์แก้วกาแฟ

4)กำหนดให้พนักงานเกี่ยวข้องทำความสะอาดพื้นที่ก่อนและหลังปฏิบัติงานทุกวัน โดยจะมีหัวหน้าในแผนกคอยตรวจเช็คความเรียบร้อยและปรับอุณหภูมิในห้องฉีดพลาสติกให้คงที่



ภาพที่ 4 พนักงานทำความสะอาดบริเวณพื้นที่ทำงาน

5)เนื่องจากทางโรงงานไม่มีการเตรียมพื้นที่จัดเก็บของวัตถุดิบให้เพียงพอ จึงมีทางแก้ไขโดยให้พนักงานซีนพาเลตของเม็ดพลาสติกทุกครั้งที่จัดเก็บเม็ดพลาสติกเพื่อป้องกันไม่ให้ฝุ่นละอองไปเกาะติดกับถุงเม็ดพลาสติกได้ เวลาใช้งานก็จะให้พนักงานทำความสะอาดถังคอบเปอร์และถุงก่อนเทเม็ดพลาสติกลงคอบเปอร์ทุกครั้ง

3.ผลการดำเนินงานวิจัย

จากการดำเนินการจัดการแก้ไขในการลดปริมาณของเสียในกระบวนการฉีดแก้วกาแฟ โดยมีเป้าหมายในการเพิ่มปริมาณผลิตภัณฑ์แก้วกาแฟโดยสัดส่วนของการลดของเสียจากเดิม 6 %ให้เหลือ 0.80 % ซึ่งหลังจากการประยุกต์นำหลักการวิเคราะห์ทางวิศวกรรมมาช่วยในการวางแผนดำเนินการปรับปรุงและแก้ไขปัญหาตามที่วางไว้จนลุล่วงได้ด้วยดี โดยได้เก็บรวบนวมผลการดำเนินการในช่วงเดือนสิงหาคม ถึงตุลาคม 2565 สรุปผลการดำเนินการดังตารางที่ 2 และภาพที่ 5

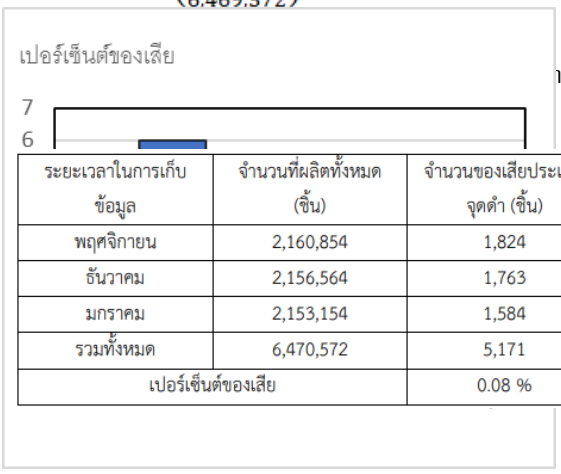
3.1 การหาเปอร์เซ็นของเสียประเภทจุดดำ

สามารถหาได้ จากสมการที่ 1

$$\text{เปอร์เซ็นต์ของเสีย} = \left(\frac{\text{จำนวนของเสียของผลิตภัณฑ์}}{\text{จำนวนการผลิตทั้งหมด}} X\ 100\right) \quad (1)$$

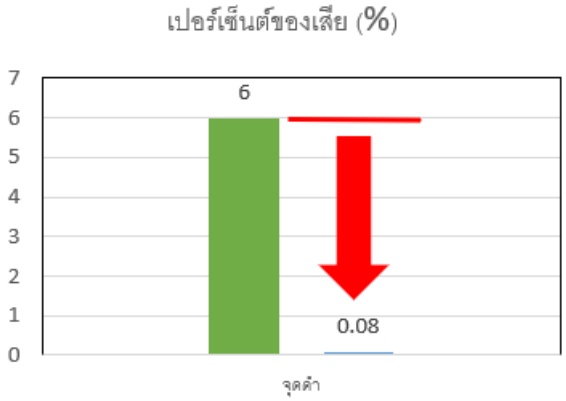
$$\text{ของเสียก่อนแก้ไข} = \left(\frac{358,874}{5,984,354}\right) X100 = 6.00\ \%$$

$$\text{ของเสียหลังแก้ไข} = \left(\frac{5,171}{6,469,572}\right) X100 = 0.08\ \%$$



ารผลิต

ระยะเวลาในการเก็บข้อมูล	จำนวนที่ผลิตทั้งหมด (ชิ้น)	จำนวนของเสียประเภทจุดดำ (ชิ้น)
พฤศจิกายน	2,160,854	1,824
ธันวาคม	2,156,564	1,763
มกราคม	2,153,154	1,584
รวมทั้งหมด	6,470,572	5,171
เปอร์เซ็นต์ของเสีย		0.08 %



ภาพที่ 5 แสดง%ของเสียประเภทจุดดำที่เกิดจากกระบวนการผลิตแก้วกาแฟ หลังการปรับปรุง

3.2 หาเปอร์เซ็นต์ของเสียที่ลดลง

$$\text{เปอร์เซ็นต์ลดลง} = 100 - \left(\frac{\text{ของเสียหลังปรับปรุง}}{\text{ของเสียก่อนปรับปรุง}} \times 100\right) \quad (2)$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ลดลงของจุดดำ} = 100 - \left(\frac{0.08}{6} \times 100\right)$$

$$= 98.67\ \%$$

4. สรุปผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากการที่ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลของปัญหาภายในโรงงานกรณีศึกษา โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตแก้วกาแฟ หลังจากการปรับปรุงของเสียประเภทจุดดำที่เดิดขึ้นในกระบวนการผลิตแก้วกาแฟ ผู้ศึกษาได้ทำการวิเคราะห์หาสาเหตุ และทำการระดม ความคิดกับฝ่ายที่เกี่ยวข้องในการสรุปหาแนวทางในการแก้ไขปัญหา โดยเมื่อดำเนินการแก้ไข ปัญหาแล้ว ได้นำผลการแก้ไขปัญหามาเปรียบเทียบกัน ระหว่างข้อมูลก่อนการปรับปรุงกับข้อมูล หลังการปรับปรุงแล้วพบว่าอัตราการลดลงของเสียนั้นสามารถลด

ปริมาณของเสียได้ โดยหลังจากการปรับปรุงของเสียประเภทจุดดำที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตแก้วกาแฟที่เกิดขึ้นในกระบวนผลิตก่อนการปรับปรุงเท่ากับ 6% และหลังจากการแก้ไขปรับปรุงแล้วพบว่ามีของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตเท่ากับ 0.08% โดยคิดเป็นอัตราลดลงได้ 98.67 %

การอภิปรายผล

จากการศึกษาการลดของเสียประเภทจุดดำในการฉีดแก้วพลาสติกด้วยหลักการ4M 1E หลังจากการปรับปรุงแก้ไขทำ ให้ของเสียประเภทจุดดำ ลดลงแต่เมื่อพิจารณา จะพบว่า อัตราการลดลงของเสียจุดดำ 98.67% ผู้วิจัยจึงมีข้อเสนอแนะเป็นแนวทางการปรับปรุงเพิ่มเติม คือ ในขั้นตอนของการวิเคราะห์หา สาเหตุจนไปถึงแนวทางการแก้ไขปัญหา การตัด สินใจของผู้ตัด สินใจแต่ละท่านจะแตกต่างกัน ไป ตามประสบการณ์และหน่วยงานที่ได้รับผิดชอบ จึงอาจทำ ให้ผู้ตัดสินใจรู้ไม่ครบทุกด้าน ดังนั้นควร มีการให้ความรู้และทำ กิจกรรมร่วมกัน ในเรื่องนี้จะทำให้ข้อมูลที่ได้แม่นยำสมบูรณ์และง่ายต่อการ ตัดสินใจมากยิ่งขึ้น เช่น ฝ่ายขายมีหน้าที่ประสานรายละเอียด และข้อแม้ต่างๆ ถึงความต้องการใน การผลิตชิ้นงาน เช่น ต้องการงานพลาสติกชนิด สี, ราคา, ระยะเวลาในการส่งมอบ ส่วนฝ่าย QC นอกเหนือจากการตรวจชิ้นงานหน้าเครื่อง ต้องขอความร่วมมือและทำ ความเข้าใจในการช่วยดูแลสอดส่องความสะอาดบริเวณพื้นที่ปฏิบัติงาน ซึ่งอาจจะต้องมีการปรับเปลี่ยนวิธีการในการดำเนินงานให้เหมาะสมกับกระบวนการผลิตเพื่อลดของเสียให้เหลือน้อยที่สุด

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.พระนครและโรงงานตัวอย่างที่ช่วยสนับสนุนในการทำวิจัยในครั้งในลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] ฝ่ายวิชาการ , การเพิ่มผลผลิต, พิมพ์ครั้งที่ 1,สกายบุ๊กส์, กรุงเทพฯ ,2543.

[2] โชคชัย เชื่อรื่น และคณะ,การลดของเสียในกระบวนการฉีดพลาสติกในกระบวนการขึ้นรูปฉีดพลาสติก,[Online] แหล่งที่มา: http://re.kbu.ac.th/pdf_read.php?p_id=38723C29-D1AD-451A-9DB7-DF9698A7AB3D&type=abs, [22/1/2566],2561.

[3] รัชต์วรรณ กาญจนปัญญาคม,การศึกษางานในอุตสาหกรรม,ฉบับปรับปรุงใหม่2562,หนังสือภาษาไทย-Top Publishing,2562.

[4] พิชิต สุขเจริญพงษ์, การจัดการวิศวกรรมการผลิต, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ: บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, 2546.

[5] ธนกฤษ ชุ่นแช่ง,การลดของเสียในกระบวนการฉีดพลาสติกกรณีศึกษา ของเสียประเภทจุดเพื่อลดของเสียประเภทจุดดำ ,[Online] แหล่งที่มา: https://doi.nrct.go.th/ListDoi/listDetail?Resolve_DOI=10.14458/DPU.the.2014.110,, [22/1/2566],2557.

[6] วันเฉลิม วรรณสถิตย์ แผนกที่ปรึกษา,เครื่องมือคุณภาพ 7 QC Tool,[ออนไลน์] แหล่งที่มา: : http://www.tpif.or.th/WebDev/index.php (สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)[29/07/2559],2559.

[7] ยุทธณรงค์ จงจันทร์ และคณะ,การลดของเสียในกระบวนการผลิตเตาเหล็กหล่อ, (2554)[Online]แหล่งที่มา: :http://www.sar.rmutt.ac.th/?wpfb_dl=1257, [22/1/2566],2554.

[8] ฐาปนันดร์ เขียวสังข์ และศุภรัชชัย วรรัตน์,การลดของเสียในกระบวนการผลิตการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์พลาสติก,[Online] แหล่งที่มา:www.dms.eng.su.ac.th/,filebox/FileData/QMS006.pdf,[12/1/2566],2555.

[9] ปิยมน โกศลชัย,การลดของเสียและเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตกรณีศึกษาโรงงานถุงพลาสติก,[Online] แหล่งที่มา: https://rsujournals.rsu.ac.th/index.php/rgrc/article/download/2179/1937/,[12/1/2566],2561.

บทความวิจัย
อิเล็กทรอนิกส์
และโทรคมนาคม

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับปัญหากระจัดกระจายของคลื่นระนาบสม่ำเสมอบนไดอิเล็กตริกทรงกระบอกหน้าตัดรูปวงกลมที่ไม่มีการสูญเสีย

Finite Element Analysis for a Scattering Problem of Uniform Plane Wave on a Lossless Dielectric Circular Cylinder

พลกฤษณ์ จริยตันติเวทย์* และ ฉัตรแก้ว จริยตันติเวทย์

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพ 10700 (email : ponlakit.j@rmutp.ac.th)

บทคัดย่อ

บทความนี้อธิบายการวิเคราะห์ปัญหาการกระจัดกระจายของคลื่นระนาบสม่ำเสมอบนวัสดุไดอิเล็กตริกรูปทรงกระบอกที่มีหน้าตัดเป็นรูปวงกลม แบบจำลองทางทฤษฎีและจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์พร้อมกับเงื่อนไขขอบของเบลิส-เทอเคิลได้ถูกนำมาใช้สำหรับการศึกษาและเปรียบเทียบ ในการทดลองโมเดลของไดอิเล็กตริกรูปวงกลมที่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้า $\epsilon_r = 3$ $\mu_r = 1$ และ $\sigma = 0$ ถูกนำมาใช้เป็นตัวอย่างสำหรับการตกกระทบของคลื่นระนาบสม่ำเสมอ โครงข่ายสามเหลี่ยมขนาด 696 องค์ประกอบถูกใช้กับแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ ผลการคำนวณสนามไฟฟ้าระหว่างทฤษฎีกับค่าประมาณจากแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์แสดงความสอดคล้องกันระหว่างทฤษฎีกับการจำลอง

คำสำคัญ : ปัญหาการกระจัดกระจาย; คลื่นระนาบสม่ำเสมอ; ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

Abstract

This article describes the simulation of a scattering problem of uniform plane wave on a lossless dielectric circular cylinder. The theoretical model and the finite element model with Bayliss-Turkel boundary conditions for the problem are studied and then the calculated results of electric field are compared. In the experiment, the model of a dielectric material with the dielectric properties of $\epsilon_r = 3$, $\mu_r = 1$ and $\sigma = 0$ is utilized. The triangular mesh of 696 elements is applied for the FEM model. The calculated result using the FEM model is well agreed with those of the theoretical model.

Keywords: EM scattering problem; uniform plane wave; finite element method

1. บทนำ

ปัจจุบันสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าถูกนำไปประยุกต์ใช้กับงานอย่างแพร่หลายและในหลากหลายอุตสาหกรรม เช่น การสื่อสารโทรคมนาคม การแพทย์ โรงงานอุตสาหกรรม และทางการทหาร เป็นต้น ในความเป็นจริงแล้วเครื่องใช้ไฟฟ้า เครื่องมือวัดทางไฟฟ้า เครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรมและไม่ว่าระบบใดก็ตามที่ใช้ไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานย่อมเกิดการแผ่พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าด้วยกันทั้งสิ้น ซึ่งผลกระทบของการแผ่พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้านั้นอาจส่งผลกระทบกับระบบไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ได้

ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขสำหรับช่วยจำลองผลของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กต่างถูกพัฒนาขึ้นเพื่อวิเคราะห์ผลกระทบจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า หรือสังเคราะห์และพัฒนาระบบหรืออุปกรณ์มีประสิทธิ์ภาพสูงขึ้นได้ [1] โดยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขสำหรับปัญหาแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถแบ่งได้ตามสมการครอบคลุมปัญหา (1) สมการครอบคลุมปัญหาแบบสมการเชิงอนุพันธ์ (Differential Equation) เช่น ระเบียบวิธีผลต่างสืบเนื่อง (Finite Difference Method) และระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) และ (2) สมการครอบคลุมปัญหาแบบสมการเชิงปริพันธ์ (Integral Equation) เช่น ระเบียบวิธีโมเมนต์ (Moment Method) [2,3]

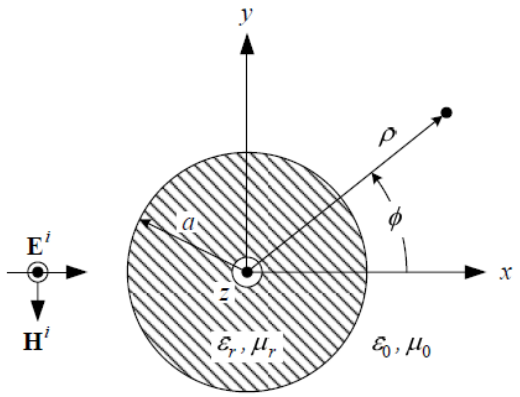
ปัญหาคลื่นระนาบสม่ำเสมอตกกระทบบนวัสดุไดอิเล็กตริกรูปทรงกระบอกนั้นเป็นปัญหาพื้นฐานที่พบเห็นได้ทั่วไปแต่มีความสำคัญ [4-7] งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กับปัญหาดังกล่าว เนื่องจากโดเมนปัญหามีคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่แตกต่างกัน กล่าวคือมีทั้งบริเวณที่เป็นอวกาศว่างและบริเวณที่เป็นไดอิเล็กตริกซึ่งปัญหาในลักษณะนี้เหมาะสมสำหรับการใช้สมการครอบคลุมปัญหาแบบสมการเชิงอนุพันธ์ ยิ่งไปกว่านั้น ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ยังใช้โครงข่ายรูปสามเหลี่ยมเพื่อแบ่งโดเมนปัญหาออกเป็นโดเมนย่อย ซึ่งสอดรับกับรูปร่างของปัญหาและช่วยลดการเกิดความผิดพลาดจากปัญหาขั้นบันได (Staircase Problem) จากกระแบ่งโดเมนย่อย [4]

2. ทฤษฎี

2.1 ปัญหาการกระจัดกระจายและแบบจำลองทางทฤษฎี

ปัญหาการกระจัดกระจายของคลื่นระนาบที่ตกกระทบอย่างตั้งฉากลงบนวัสดุไดอิเล็กตริกรูปทรงกระบอกที่มีรูปหน้าตัดของทรงกระบอกเป็นรูปวงกลม แม้ว่าปัญหาการกระจัดกระจายนี้จะเป็นปัญหา 3 มิติ แต่หากเราพิจารณาว่าไดอิเล็กตริกนี้เป็นทรงกระบอกยาวอนันต์เราสามารถพิจารณาปัญหานี้แบบ 2 มิติได้โดยหน้าตัดสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1

รูปที่ 1 ปัญหาคลื่นระนาบสม่ำเสมอที่ตกกระทบอย่างตั้งฉากลงบนวัสดุ



ไดอิเล็กตริกทรงกระบอกหน้าตัดรูปวงกลมที่ไม่มีการสูญเสีย [1]

จากรูปที่ 1 รัศมีของไดอิเล็กตริกนี้เป็น a และเป็นไดอิเล็กตริกสมบูรณ์หรือมีสภาพนำไฟฟ้าเป็นศูนย์ และมีสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์ ϵ_r และสภาพซึมซาบสัมพัทธ์ μ_r โดยตัวกลางบริเวณโดยรอบเป็นอวกาศว่างซึ่งมีภาพยอมและสภาพซึมซาบเป็น ϵ_0 และ μ_0 ตามลำดับ และคลื่นระนาบของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กตามโมด TM^z ที่เดินทางในอวกาศว่างตามแนวแกน $+x$ แสดงได้ด้วย $\mathbf{E}^i$ และ $\mathbf{H}^i$ ตามลำดับ

ผลเฉลยทางทฤษฎีสำหรับสนามไฟฟ้าของปัญหาดังกล่าวนี้ได้แสดงไว้โดย [1]

$$\mathbf{E}^i = \hat{a}_z E_0 \sum_{n=-\infty}^{+\infty} j^{-n} J_n(\beta_0\rho) e^{jn\phi} \tag{1}$$

$$\mathbf{E}^s = \hat{a}_z E_0 \sum_{n=-\infty}^{+\infty} a_n H_n^{(2)}(\beta_0\rho) e^{jn\phi} \tag{2}$$

$$\mathbf{E}^d = \hat{a}_z E_0 \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \left[b_n J_n(\beta_1\rho) + c_n Y_n(\beta_1\rho) \right] e^{jn\phi} \tag{3}$$

เมื่อ $\mathbf{E}^i$ คือสนามไฟฟ้าตกกระทบ $\mathbf{E}^s$ คือสนามไฟฟ้ากระจัดกระจาย และ $\mathbf{E}^d$ คือสนามไฟฟ้าส่งผ่านเข้าไปในไดอิเล็กตริก ซึ่งสนามไฟฟ้านี้แสดงไว้ในรูปของเบสเซลฟังก์ชั่น ส่วนสัมประสิทธิ์ของแอมปลิจูดของคลื่นเป็น

$$c_n = 0 \tag{4}$$

$$a_n = j^{-n} \frac{J_n'(\beta_0 a) J_n(\beta_1 a) - \sqrt{\epsilon_r/\mu_r}\, J_n(\beta_0 a) J_n'(\beta_1 a)}{\sqrt{\epsilon_r/\mu_r}\, J_n'(\beta_1 a) H_n^{(2)}(\beta_0 a) - J_n(\beta_1 a) H_n^{(2)\prime}(\beta_0 a)} \tag{5}$$

$$b_n = j^{-n} \frac{J_n(\beta_0 a) H_n^{(2)\prime}(\beta_1 a) - J_n'(\beta_0 a) H_n^{(2)}(\beta_0 a)}{J_n(\beta_1 a) H_n^{(2)\prime}(\beta_0 a) - \sqrt{\epsilon_r/\mu_r}\, J_n'(\beta_1 a) H_n^{(2)}(\beta_0 a)} \tag{6}$$

2.2 ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับสมการเฮล์มโฮลทซ์

จากสมการเฮล์มโฮลทซ์ (Helmholtz Equation) สำหรับสนามไฟฟ้าสามารถเขียนได้อยู่ในรูป [3,4]

$$\nabla \cdot \frac{1}{\mu_r} \nabla E_z + k_0^2 \epsilon_r E_z = 0 \tag{7}$$

เราสามารถแปลงให้อยู่ในรูปแบบวีค (Weak Form) โดยใช้วิธีเศษเหลือถ่วงน้ำหนัก (Weighted Residual Approach) โดยการคูณทั้งสองข้างของ (7) ด้วยฟังก์ชั่นทดสอบ T แล้วจึงอินทิเกรทตลอดโดเมน Γ ซึ่งจะได้

$$\iint_{\Gamma} T \left(\nabla \cdot \frac{1}{\mu_r} \nabla E_z + k_0^2 \epsilon_r E_z \right) dS = 0 \tag{8}$$

หลังจากนั้นใช้เอกลักษณ์เวกเตอร์ $\nabla \cdot (\psi A) = A \cdot \nabla \psi + \psi \nabla \cdot A$ และทฤษฎีบทไดเวอร์เจนท์สำหรับโดเมนแบบสองมิติกับ (8) จะได้

$$\iint_{\Gamma} \left(\frac{1}{\mu_r} \nabla T \cdot \nabla E_z - k_0^2 \epsilon_r T E_z \right) dS = \oint_{\partial\Gamma} \frac{1}{\mu_r} T \frac{\partial E_z}{\partial n} dl \tag{9}$$

เมื่อ $\partial\Gamma$ คือขอบของโดเมน Γ สมการ (9) จะถูกใช้สำหรับหนึ่งองค์ประกอบของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งสามารถเขียนได้เป็น

$$\iint_{\Delta} \left(\frac{1}{\mu_r} \nabla T \cdot \nabla E_z^e - k_0^2 \epsilon_r T E_z^e \right) dS = \oint_{\partial\Delta} \frac{1}{\mu_r} T \frac{\partial E_z^e}{\partial n} dl \tag{10}$$

โดยที่ช่วงของการอินทิเกรททั้ง Δ และ $\partial\Delta$ หมายถึงพื้นที่ของหนึ่งองค์ประกอบ และขอบของหนึ่งองค์ประกอบตามลำดับ $E_z^e(x,y)$ คือสนามไฟฟ้า ณ ตำแหน่งใด ๆ ในองค์ประกอบ ซึ่งสามารถเขียนได้ว่าเป็นผลรวมของผลคูณระหว่างสนามไฟฟ้าที่โนด e_i และฟังก์ชั่นการอินเตอร์โปเลท N_i ของทุกโนดในหนึ่งองค์ประกอบ ซึ่งสามารถเขียนได้เป็น

$$E_z^e(x,y) = \sum_{i=1}^{3} e_i N_i(x,y) \tag{11}$$

โดยที่ i คือดัชนีของโนดขององค์ประกอบ สนามไฟฟ้ารวมสามารถเขียนได้ว่าเป็นผลรวมของสนามไฟฟ้าของทุกองค์ประกอบ เมื่อ N_t คือจำนวนองค์ประกอบทั้งหมดของโครงข่ายไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งเขียนเป็น

$$E_z(x,y) = \sum_{e=1}^{N_t} E_z^e(x,y) \tag{12}$$

เมื่ออาศัยเทคนิคของเกอลาคิน (Gerlerkin's Technique) ฟังก์ชั่นทดสอบจะถูกเลือกว่าเหมือนกันกับฟังก์ชั่นอินเตอร์โปเลท เมื่อประกอบรวมทุกองค์ประกอบเข้าด้วยกัน จะเขียนสมการ (9) ใหม่ได้เป็น

$$\sum_{i=1}^{N_t} e_i \iint_{\Gamma} \left(\frac{1}{\mu_r} \nabla N_i \cdot \nabla N_j - k_0^2 \epsilon_r N_i N_j \right) dS = \oint_{\partial\Gamma} \frac{1}{\mu_r} N_i \frac{\partial E_z}{\partial n} dl \qquad ; j = 1, 2, \ldots, N_t \tag{13}$$

เนื่องจากปัญหาการกระจัดกระจายดังกล่าวเป็นปัญหาแบบพื้นที่เปิด (Open-Area Problem) เราจึงจำเป็นต้องจำกัดโดเมนของปัญหาโดยใช้เงื่อนไขขอบที่ลดการสะท้อนของคลื่น (Absorbing Boundary Condition) จากเทอม $\partial E_z / \partial n$ ทางด้านขวาของ (13) สามารถกระจายออกว่าเป็น $\partial E_z^i / \partial n + \partial E_z^s / \partial n$ และประยุกต์ใช้เงื่อนไขขอบของเบลิส-เทอเคิล (Bayliss-Turkel Boundary Condition) [4]

$$\frac{\partial E_z^s}{\partial \rho} = \alpha(\rho) E_z^s + \beta(\rho) \frac{\partial^2 E_z^s}{\partial \phi^2} \tag{14}$$

โดยที่

$$\alpha(\rho) = \frac{-jk - 3/(2\rho) + j3/(8k\rho^3)}{1 - j/(k\rho)} \tag{15}$$

$$\beta(\rho) = \frac{-j/(2k\rho^2)}{1 - j/(k\rho)} \tag{16}$$

บนขอบของโดเมนของปัญหาเพื่อลดขนาดของโดเมนของปัญหาลง ดังนั้นจะเขียน (13) ใหม่ได้เป็น

$$\begin{aligned} &\sum_{i=1}^{N_t} e_i \iint_{\Gamma} \left(\frac{1}{\mu_r} \nabla N_i \cdot \nabla N_j - k_0^2 \epsilon_r N_i N_j \right) dS \\ &= \oint_{\partial\Gamma} \frac{1}{\mu_r} N_i \left(-\alpha E_z + \beta \frac{\partial^2 E_z}{\partial \phi^2} \right) \rho d\phi \\ &+ \oint_{\partial\Gamma} \frac{1}{\mu_r} N_i \left(\frac{\partial E_z^i}{\partial \rho} - \alpha E_z^i - \beta \frac{\partial^2 E_z^i}{\partial \phi^2} \right) \rho d\phi \quad ; j = 1, 2, \ldots, N_t \end{aligned} \tag{17}$$

หรือ

$$\begin{aligned} &\sum_{i=1}^{N_t} e_i \iint_{\Gamma} \left(\frac{1}{\mu_r} \nabla N_i \cdot \nabla N_j - k_0^2 \epsilon_r N_i N_j \right) dS \\ &= \sum_{i=1}^{N_t} e_i \int_{\partial\Gamma} \frac{1}{\mu_r} N_i \left(-\alpha N_i N_j + \beta \frac{\partial N_i}{\partial \phi} \frac{\partial N_j}{\partial \phi} \right) \rho d\phi \\ &+ \sum_{i=1}^{N_t} e_i \int_{\partial\Gamma} \frac{1}{\mu_r} N_i \left(\frac{\partial E_z^i}{\partial \rho} - \alpha E_z^i - \beta \frac{\partial^2 E_z^i}{\partial \phi^2} \right) \rho d\phi \quad ; j = 1, 2, \ldots, N_t \end{aligned} \tag{18}$$

ซึ่งสามารถจัดให้อยู่ในรูปของปัญหาสมการเชิงเส้นดังสมการต่อไปนี้

$$[A]\{e\} = \{b\} \tag{19}$$

เมื่อ

$$[A] = [K] - [M] - [I] \tag{20}$$

โดยที่

$$K_{ij} = \frac{1}{\mu_r} \iint_{\Gamma} \nabla N_i \cdot \nabla N_j dS \tag{21}$$

$$M_{ij} = k_0^2 \epsilon_r \iint_{\Gamma} N_i N_j dS \tag{22}$$

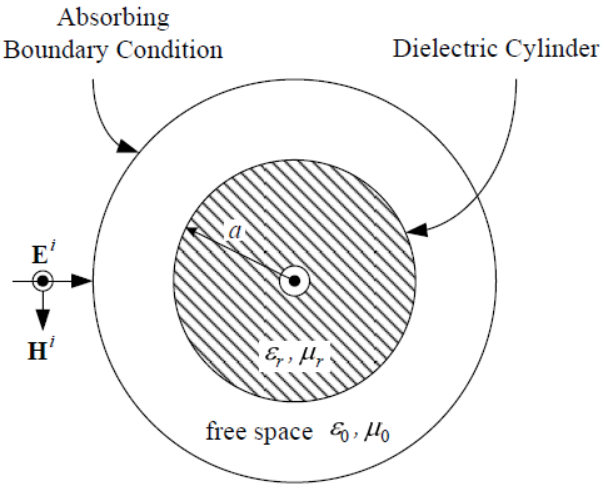
$$I_{ij} = \int_{\partial\Gamma} \left(\alpha N_i N_j - \beta \frac{\partial N_i}{\partial \phi} \frac{\partial N_j}{\partial \phi} \right) \rho d\phi \tag{23}$$

$$b_j = \int_{\partial\Gamma} N_i \left(\frac{\partial E_z^i}{\partial \rho} - \alpha E_z^i - \beta \frac{\partial^2 E_z^i}{\partial \phi^2} \right) \rho d\phi \tag{24}$$

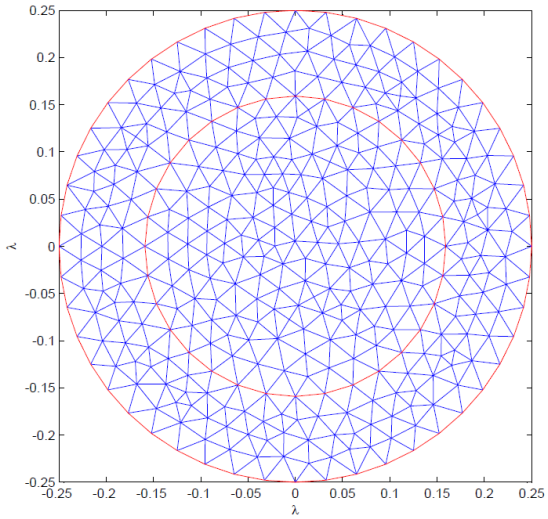
ซึ่งจาก (19) – (24) นั้นเป็นสมการที่ได้จัดรูปขึ้นมาเพื่อใช้กับจำลองปัญหาการกระจัดกระจายของคลื่นระนาบสม่ำเสมอบนไดอิเล็กตริกพร้อมกับใช้เงื่อนไขขอบของเบลิส-เทอเคิลเพื่อดูดซับการสะท้อนของคลื่นบริเวณขอบของโดเมนที่ตัดทอนลง โดยเราสามารถพิจารณาว่า $[A]$ คือเมตริกคุณลักษณะหรือแสดงถึงพฤติกรรมของปัญหา $\{b\}$ คือเวกเตอร์ของแหล่งกำเนิดซึ่งทราบค่าและให้เป็นคลื่นระนาบสม่ำเสมอ $\{e\}$ คือเวกเตอร์ของสนามไฟฟ้าที่ไม่ทราบค่า (Unknown Variables) ณ ตำแหน่งทุกโนดในโครงข่าย ซึ่งสามารถหาคำตอบได้จาก $\{e\} = [A]^{-1}\{b\}$

3. วิธีการทดลอง

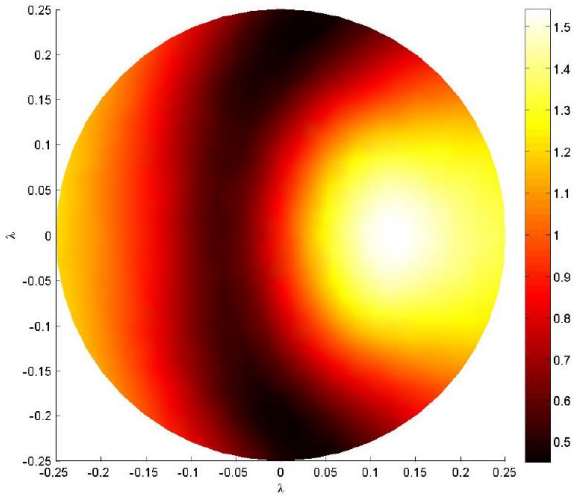
จากแบบจำลองทั้งทางทฤษฎีในหัวข้อ 2.1 และแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับการหาคำตอบโดยประมาณในหัวข้อ 2.2 ได้ถูกพัฒนาเป็นโปรแกรมและนำมาคำนวณด้วยโปรแกรม Matlab โดยโดเมนของปัญหาพร้อมกับเงื่อนไขขอบกำหนดไว้แสดงได้ดังรูปที่ 2



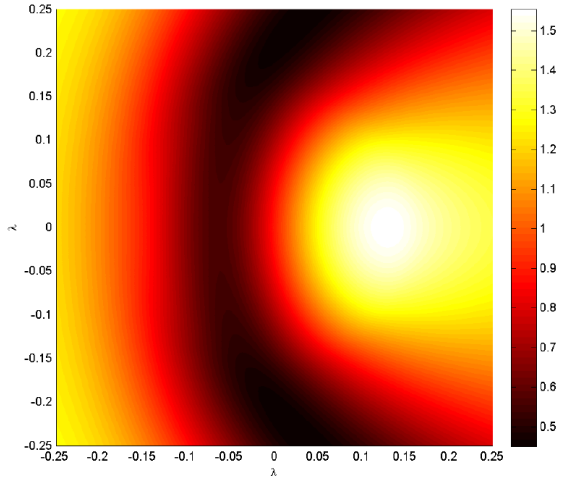
รูปที่ 2 โดเมนของปัญหาการกระจัดกระจายพร้อมบริเวณเงื่อนไขขอบ



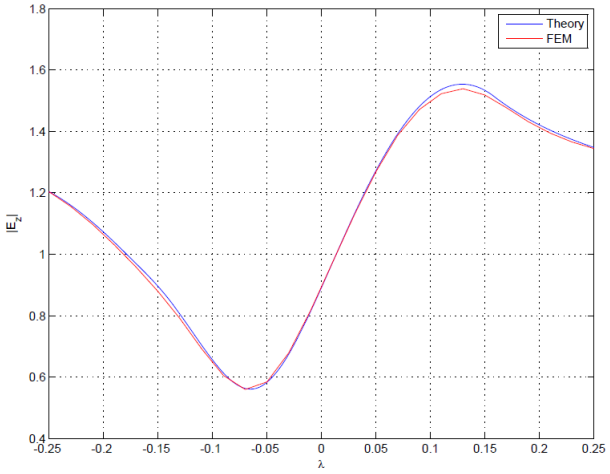
รูปที่ 3 โครงข่ายสามเหลี่ยมสำหรับการจำลองปัญหาการกระจัดกระจายด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์



รูปที่ 5 ผลการคำนวณด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของสนามไฟฟ้ารวมของการกระจัดกระจายของคลื่นระนาบสม่ำเสมอบนไดอิเล็กตริก



รูปที่ 4 ผลการคำนวณตามทฤษฎีของสนามไฟฟ้ารวมของการกระจัดกระจายของคลื่นระนาบสม่ำเสมอบนไดอิเล็กตริก



รูปที่ 6 การเปรียบเทียบผลการคำนวณสนามไฟฟ้าระหว่างทฤษฎีกับการใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ตามเส้นตัด $y = 0$

พารามิเตอร์ของไดอิเล็กตริกสมบูรณ์มีคุณสมบัติทางไฟฟ้า $\epsilon_r = 3$ $\mu_r = 1$ และ $\sigma = 0$ เป็นรูปวงกลมรัศมี $a = (1/2\pi)\lambda$ โดยได้คำนวณในช่วง $-\lambda_0/4 \le (x, y) \le \lambda_0/4$ ส่วนโครงข่ายสามเหลี่ยมที่ใช้กับระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นั้นแสดงได้ดังรูปที่ 3 โดยมีวงกลมภายในรัศมี a ส่วนวงกลมนอกเป็นส่วนขยายออกสำหรับใส่เงื่อนไขขอบ ซึ่งมีรัศมี $\lambda_0/4$ และมีจำนวนองค์ประกอบรวมทั้งหมด 696 องค์ประกอบ

4. ผลการทดลอง

ผลการคำนวณสนามไฟฟ้ารวม $|E_z|$ ทั้งข้างในไดอิเล็กตริก E_d และข้างนอกไดอิเล็กตริก $E_s + E_i$ ตามทฤษฎีโดยใช้ (1)-(6) และพารามิเตอร์ที่กำหนดไว้ในหัวข้อ 3 แสดงได้ดังรูปที่ 4 หลังจากนั้นคำนวณหาค่าคำตอบโดยประมาณของ $|E_z|$ ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ดังหัวข้อ 2.2 ดังสมการที่ (19)-(24) และได้แสดงไว้ดังรูปที่ 5

จากผลการทดลองในรูปที่ 4 และรูปที่ 5 แสดงขนาดของความเข้มสนามไฟฟ้าในโมด TM^z หรือ $|E_z|$ สนามไฟฟ้าถูกแสดงด้วยค่าสีตามแถบสี (Colorbar) อ้างอิงไว้ด้านข้างโดยมีหน่วยเป็น โวลท์ต่อเมตร (V/m) จะเห็นว่าสนามที่คำนวณได้ทั้งสองมีลักษณะที่สอดคล้องกัน อย่างไรก็ตามอาจเห็นความแตกต่างระหว่างผลการคำนวณทั้งสองได้ยาก ดังนั้นหากพิจารณาขนาดของของสนามไฟฟ้ารวมเฉพาะตามเส้นตัด $y = 0$ ระหว่างทฤษฎี ดังข้อมูลตามรูปที่ 4 และผลการจำลองด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ดังข้อมูลตามรูปที่ 5 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6 และจากการหาค่าความผิดพลาดแบบ rms พบว่ามีค่าความผิดพลาดของ $|E_z|$ ระหว่างผลการประมาณจาก FEM เทียบกับทฤษฎีเป็น 0.6994 % หรือน้อยกว่า 0.7 % โดยคิดเฉพาะตามแนวเส้นตัด $y = 0$ เท่านั้น

5. สรุป

งานวิจัยนี้แสดงผลการคำนวณของคลื่นระนาบสนามไฟฟ้าสนามไฟฟ้าที่ตกกระทบอย่างตั้งฉากลงบนไดอิเล็กตริกสมบูรณ์รูปทรงกระบอกโดยอาศัยแบบจำลองทางทฤษฎีที่ได้จาก [1] และเปรียบเทียบกับผลการคำนวณค่าประมาณโดยอาศัยแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ได้จาก [3,4] ผลการศึกษาพบว่าค่าสนามไฟฟ้าที่ได้จากแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์มีความสอดคล้องกันอย่างมากกับค่าจริง โดยมีความผิดพลาดแบบ rms น้อยกว่า 0.7 % เมื่อคิดเฉพาะตามแนวเส้นตัดกึ่งกลางของไดอิเล็กตริกเท่านั้น อย่างไรก็ตามหากคิดค่าความผิดพลาดตลอดทั่วทั้งพื้นที่ของไดอิเล็กตริกแล้วผู้วิจัยคาดว่าความผิดพลาดน่าจะมีค่าสูงขึ้น

ในงานวิจัยนี้ โครงข่ายสามเหลี่ยมที่ใช้กับระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มีเพียงโครงข่ายเดียว การพัฒนางานวิจัยต่อไปสามารถศึกษาผลกระทบของจำนวนองค์ประกอบของโครงข่ายที่มีต่อความถูกต้องแม่นยำของผลการคำนวณได้ หรืออาจเปรียบเทียบโครงข่ายที่ได้จากโปรแกรม Matlab กับโครงข่ายที่ได้จากโปรแกรมอื่น เช่น Gmsh ได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร สำหรับการสนับสนุนงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] C. A. Balanis, *Advanced Engineering Electromagnetics*, New York: John Wiley & Sons, 1989.

[2] M. N. O. Sadiku, *Numerical Techniques in Electromagnetics with MATLAB*, 3rd ed., Boca Raton, FL: CRC Press, 2009.

[3] C. J. Reddy, D. D. Deshpande, C. R. Cockrell, and F. B. Beck, *Finite element method for eigenvalue problems in electromagnetic* , NASA Technical Paper 3485, Dec. 1994.

[4] A. F. Peterson, S. L. Ray, and R. Mittra, *Computational Methods for Electromagnetics*, New York; IEEE Press, 1998.

[5] E. A. Velichko and A. P. Nickolaenko, “Modeling of Plane Electromagnetic Wave Scattering by Dielectric and Meta-Material Cylinders,” *2010 INTERNATIONAL KHARKOV SYMPOSIUM ON PHYSICS AND ENGINEERING OF MICROWAVES, MILLIMETER AND SUBMILLIMETER WAVES*, Kharkiv, Ukraine, 2010, pp. 1-3, doi: 10.1109/MSMW.2010.5546022.

[6] E. A. Velichko and A. P. Nickolaenko, “"Focusing" of a Plane Electromagnetic Wave by a Uniform Dielectric Cylinder with a Graphene Coating,” *2019 European Microwave Conference in Central Europe (EuMCE)*, Prague, Czech Republic, 2019, pp. 583-586.

[7] N. P. Balabukha, D. A. Konyaev, N. E. Shapkina and K. M. Shitikova, “Simulation of the Electromagnetic Far-Field Scattered by an Object Based on Measurements of the Near-Field on a Scanning Segment in the Scalar Two-Dimensional Case,” *2021 Radiation and Scattering of Electromagnetic Waves (RSEMW)*, Divnomorskoe, Russia, 2021, pp. 139-142, doi: 10.1109/RSEMW52378.2021.9494113

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

สายอากาศโมโนโพลที่มีเรโซเนเตอร์วงแหวนแยกสำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดิน

Split-Ring Resonator Loaded Monopole Antenna for Digital Television Reception

มานะชัย พรมดี[1*] ประชา โอษคลัง[2]

[1]สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าศึกษา ครุศาสตร์อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น 150 ถนนศรีจันทร์ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40000

Corresponding Author E-Mail: Manachai.pr@rmuti.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการพัฒนาสายอากาศไมโครสตริปแบบโมโนโพลสำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัลภาคพื้นดินย่านความถี่ 470MHz – 862MHz โดยจะสร้างบนแผ่นวงจรพิมพ์ชนิด FR-4 ที่มีค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ (ε_r) เท่ากับ 4.3 ความหนาฐานรองวัสดุ (h) เท่ากับ 1.6 มม. มีความกว้าง 45 มม. และความยาว 220 มม. การแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบรอบทิศทาง อิมพีแดนซ์ขาเข้าเท่ากับ 50 โอห์ม โดยใช้เทคนิคการเซาะร่องเรโซเนเตอร์วงแหวนแยกร่วมกับระนาบกราวด์ ที่ทำการบากร่องสี่เหลี่ยมและเพิ่ม Sleeve เข้าไปทั้ง 2 ข้างของระนาบกราวด์ เพื่อทำให้แถบความถี่มีการเรโซแนนซ์ที่สองช่วงความถี่ ทำให้อิมพีแดนซ์ความกว้างแถบของสายอากาศมีความกว้างเพิ่มขึ้น และขนาดของแพทซ์มีขนาดลดลง จากนั้นทำการจำลองด้วยโปรแกรม CST Studio ซึ่งผลจากการจำลองคุณสมบัติของสายอากาศที่สร้างขึ้นนี้สามารถตอบสนองความถี่อยู่ระหว่าง 468.14 MHz – 863.19 MHz ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนต่ำกว่า -10dB ค่าอัตราขยายต่ำสุดเท่ากับ 1.93 dBi ที่ความถี่ 468.14 MHz และค่าสูงสุดเท่ากับ 2.51 dBi ที่ความถี่ 863.19 MHz

คำสำคัญ : สายอากาศไมโครสตริปแบบโมโนโพล; เทคนิคการเซาะร่องเรโซเนเตอร์วงแหวนแยกร่วม; โทรทัศน์ระบบดิจิทัลภาคพื้นดิน

Abstract

This paper presents the development of a monopole microstrip antenna for receiving digital terrestrial television signals in the range of frequency 470 MHz – 862 MHz. The proposed antenna created on the printed circuit board (PCB) FR-4 substrate with dielectric constant 4.3 and the thickness (h) 1.6 mm. The propagation pattern is omni-directional and input impedance is 50 ohms. The techniques of Split-Ring Resonator Loaded and ground plane with two planar sleeves to produce the frequency band resonant at two frequency bands resulting the impedance band width of the antenna increased and the size of the patch has decreased in size, simulation by CST Studio to obtain the parameters suitable for this antenna. the results of the properties simulation prototype antenna can be responded to the frequency band is 468.14 MHz – 863.19 MHz at return loss -10dB. the minimum gain of antenna is 1.93 dBi at 468.14 MHz and maximum gain is 2.51 dBi at 863.19 MHz.

Keyword: Monopole microstrip antenna; Split-Ring Resonator Loaded technique; digital terrestrial television (DTV)

1. บทนำ

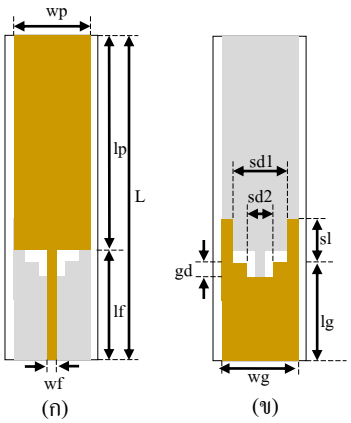
ปัจจุบันการรับข้อมูลข่าวสารนับว่าเป็นสิ่งสำคัญและมีบทบาทในชีวิตประจำวันเป็นอย่างมาก การรับข่าวสารผ่านทางระบบโทรทัศน์เป็นช่องทางหนึ่งที่ผู้รับสามารถเข้าถึงข่าวสารได้ง่ายและวิวัฒนาการของเทคโนโลยีดิจิทัล ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในกิจการแทบทุกประเภท รวมถึงกิจการด้านการแพร่สัญญาณภาพและกระจายเสียง (Broadcasting) จากการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นส่งผลให้เกิดการพัฒนาระบบการแพร่สัญญาณโทรทัศน์จากระบบแอนาล็อกสู่ระบบดิจิทัลในหลายภูมิภาคทั่วโลก โดยการแพร่สัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินอาจมาจากการถ่ายทอดสดหรือจากการบันทึกเทป ซึ่งสามารถส่งสัญญาณได้หลายช่องทาง ได้แก่ การส่งสัญญาณผ่านดาวเทียม การส่งสัญญาณผ่านเคเบิล และการส่งสัญญาณภาคพื้นดิน สำหรับการส่งสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัลภาคพื้นดิน (System Second Generation Digital Terrestrial Television Broad-casting System : DVB-T2) บนย่านความถี่สูงยิ่ง (Ultra High Frequency : UHF) แต่ละภูมิภาคนั้น มีการเลือกใช้มาตรฐานระบบการแพร่สัญญาณโทรทัศน์ที่แตกต่างกันไป [1] ดังนั้นสายอากาศจึงจัดได้ว่าเป็นอุปกรณ์หนึ่งที่สำคัญสำหรับการรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัลภาคพื้นดิน ซึ่งสายอากาศที่ออกแบบมาจะต้องคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการลักษณะการนำไปใช้งาน โดยทั่วไปสายอากาศที่ใช้รับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัลภาคพื้นดิน จะเป็นสายอากาศที่มีคุณสมบัติการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง เพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ของการแพร่ภาพโทรทัศน์ระบบดิจิตอลย่านความถี่ยูเอชเอฟตั้งแต่ 470 MHz ถึง 860 MHz ดังนั้นการพัฒนาสายอากาศที่มีต้นทุนราคาถูก จึงมีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่ง

ที่ผ่านมาได้มีการศึกษาและวิจัยพัฒนาสายอากาศประเภทต่างๆอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการใช้งานและรองรับกับเทคโนโลยีที่เปลี่ยนแปลง สายอากาศแบบโมโนโพลก็เป็นสายอากาศอีกประเภทหนึ่งที่ได้รับความนิยมกันอย่างกว้างขว้าง โดยมีผู้วิจัย

สายอากาศโมโนโพลสี่เหลี่ยมบนแผ่นวงจรพิมพ์เนื่องจากแผ่นวงจรพิมพ์มีน้ำหนักเบา สามารถหาซื้อได้ทั่วไปและง่ายในการสร้างสายอากาศต้นแบบ ซึ่งเป็นสายอากาศที่มีโครงสร้างระนาบร่วม หรือโครงสร้างที่มีส่วนของสายนำสัญญาณและส่วนของระนาบกราวนด์อยู่ในด้านเดียวกันบนแผ่นวงจรพิมพ์ ดังต่อไปนี้ สายอากาศโมโนโพลสี่เหลี่ยมป้อนด้วยสายนำสัญญาณระนาบร่วมสำหรับใช้งานย่านความถี่กว้างยิ่งยวด [2 - 4] ซึ่งให้ความกว้างแถบ (Bandwidth) ที่กว้างมาก โดยมีคุณลักษณะที่สำคัญต่อการแมตช์ของอิมพีแดนซ์ คือขนาดความกว้างของระนาบกราวนด์และระยะของจุดป้อนระหว่างสายนำสัญญาณกับตัวแพร่กระจาย นอกจากนี้ยังมีผู้วิจัยสายอากาศที่มีโครงสร้างระนาบกราวนด์แบบไม่เต็มแผ่นที่มีเส้นป้อนสัญญาณไมโครสตริป หรือโครงสร้างที่มีส่วนของสายนำสัญญาณและส่วนของระนาบกราวนด์อยู่อีกด้านของแผ่นวงจรพิมพ์ [5 - 11] และ สายอากาศที่เกี่ยวข้องในการออกแบบสายอากาศรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัลภาคพื้นดิน [12 - 16]

2. โครงสร้างสายอากาศและการจำลอง

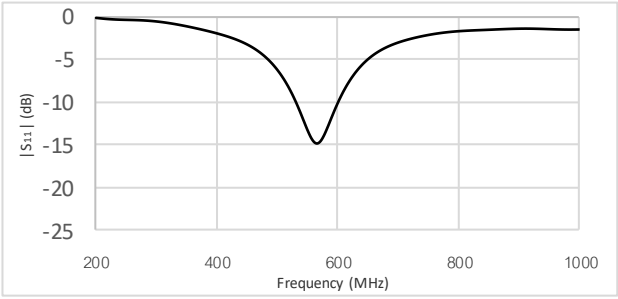
ในขั้นตอนเริ่มต้นของการออกแบบสายอากาศจะอยู่บนพื้นฐานการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นสี่เหลี่ยม[10] ร่วมกับระนาบกราวด์ไม่เต็มแผ่นโดยใช้เทคนิคบากร่องและเพิ่ม Sleeve เข้าไปทั้ง 2 ข้างของระนาบกราวด์ [11], [12] ที่ป้อนสัญญาณด้วยสายนำสัญญาณไมโครสตริป (Microstrip line) มีอิมพีแดนซ์ขาเข้า 50 โอห์ม บนวัสดุชนิด FR-4 มีค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ของวัสดุฐานรอง (Dielectric : ε_r) เท่ากับ 4.3 ความสูงของวัสดุฐานรอง (h) เท่ากับ1.6 มม. และความหนาของทองแดง (t) เท่ากับ 0.035 มม. โดยแสดงโครงสร้างขั้นตอนการออกแบบ แสดงดังรูปที่ 1



(ก) (ข)

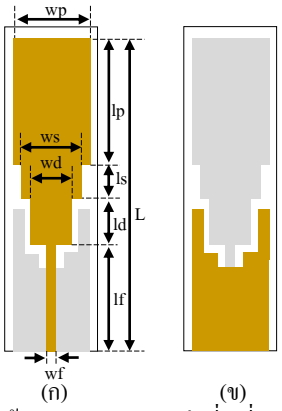
รูปที่ 1 โครงสร้างสายอากาศแบบแผ่นสี่เหลี่ยม
(ก) ด้านหน้า (ข) ด้านหลัง

การออกแบบสายอากาศให้ตอบสนองในย่านช่วงความถี่ต่ำโดยมีพารามิเตอร์ของสายอากาศ ดังต่อไปนี้ wf = 3 มม. wp = 45 มม. wg = 45 มม. L = 230 มม. lf = 95 มม. lp = 125 มม. lg = 80 มม. sl = 39 มม. sd1 = 27 มม. และ sd2 = 7.3 มม. ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศตอบสนองที่ช่วงความถี่ 506.86MHz – 570MHz แสดงดังรูปที่ 2 ซึ่งยังไม่คลอบคลุมการใช้งานในช่วงความถี่ต่ำ



รูปที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศแบบแผ่นสี่เหลี่ยม

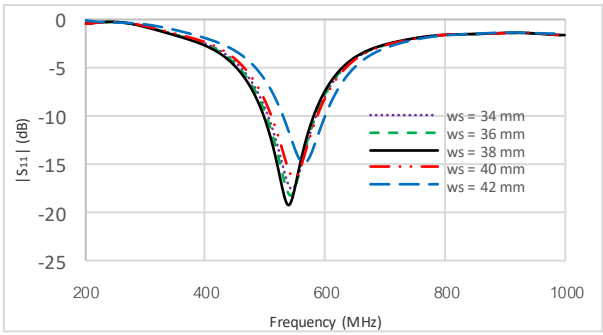
ทำการปรับปรุงอิมพีแดนซ์ความกว้างแถบของสายอากาศให้ดีขึ้นโดยการตัดที่มุมส่วนล่างสองข้างของแพตช์สี่เหลี่ยมเป็นขั้นบันได [9] เพื่อให้เกิดการคัปปลิ้งระหว่างแพตช์และระนาบกราวนด์ เพื่อให้ช่วงความถี่ต่ำของสายอากาศมีความกว้างแถบที่เพิ่มขึ้น โดยกำหนดพารามิเตอร์เริ่มต้นที่ ls = 20 มม. และ ld = 30 มม. แสดงดังรูปที่ 3



(ก) (ข)

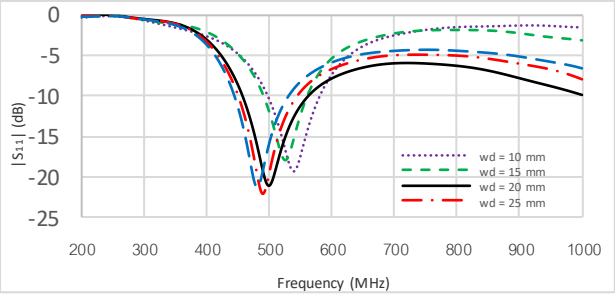
รูปที่ 3 โครงสร้างสายอากาศแบบแผ่นสี่เหลี่ยมขั้นบันได
ก) ด้านหน้า (ข) ด้านหลัง

โดยทำการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ ws ที่ขนาด 34 มม. 36 มม. 38 มม. 40 มม. และ 42 มม. ซึ่งการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวจะได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมคือ ws เท่ากับ 38 มม. แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเมื่อปรับค่าพารามิเตอร์ ws

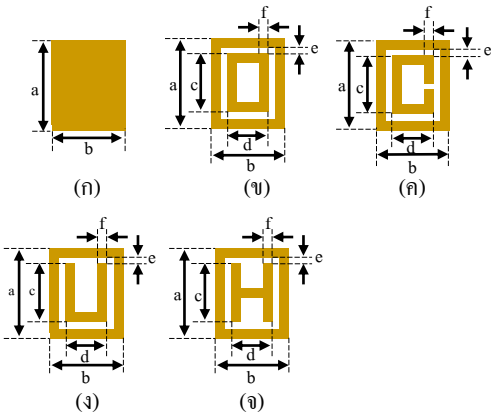
ขั้นตอนต่อมาทำการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ wd ที่ขนาด 10 มม. 15 มม. 20 มม. 25 มม. และ 30 มม. ซึ่งการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวจะได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมคือ wd เท่ากับ 20 มม. แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเมื่อปรับค่าพารามิเตอร์ wd

สายอากาศครอบคลุมช่วงความถี่คู่

ในขั้นตอนนี้ทำการออกแบบให้สายอากาศเกิดเรโซแนนซ์ที่สองช่วงความถี่โดยใช้เทคนิคเรโซเนเตอร์วงแหวนแยก [13], [14], [15], บนตัวของสายอากาศแสดงดังรูปที่ 6

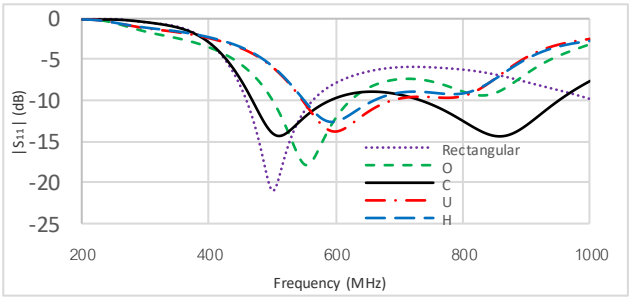


รูปที่ 6 พารามิเตอร์การเรโซเนเตอร์วงแหวนแยก
(ก) สี่เหลี่ยม (ข) ตัวโอ (ค) ตัวซี (ง) ตัวยู (ค) ตัวเฮช

ค่าพารามิเตอร์ของเรโซเนเตอร์วงแหวนแยกทั้ง 5 รูปแบบดังแสดงตารางที่ 3

ตารางที่ 1.6 พารามิเตอร์ของเรโซเนเตอร์วงแหวนแยก

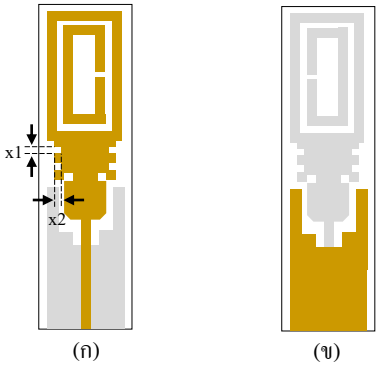
พารามิเตอร์	ขนาด (มม.)	พารามิเตอร์	ขนาด (มม.)
a	75	d	20
b	45	e	6
c	50	f	6



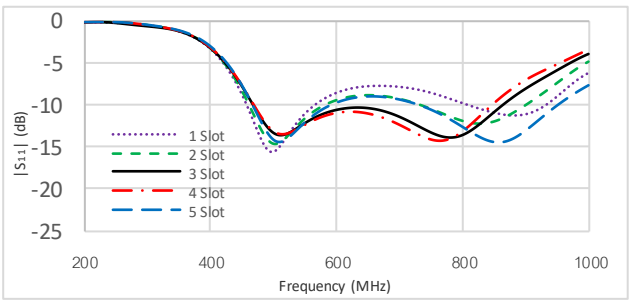
รูปที่ 7 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเมื่อใช้เทคนิคเรโซเนเตอร์วงแหวนแยก ทั้ง 5 รูปแบบ

จากรูปที่ 7 พบว่าการใช้เทคนิคเรโซเนเตอร์วงแหวนแยกแบบตัวซี ส่งผลให้ขนาดของแพทช์มีขนาดที่ลดลง สายอากาศสามารถตอบสนองย่านความถี่โทรทัศน์ระบบดิจิทัลภาคพื้นดิน เกิดการเรโซแนนซ์ที่สองช่วงความถี่ แต่ยังไม่สามารถครอบคลุมย่านความถี่ที่ใช้งาน

ขั้นตอนสุดท้ายทำการบากร่องบนโครงสร้างของสายอากาศในส่วนล่างทั้งสองข้างของแพตช์สี่เหลี่ยม [16], [17] เพื่อให้เกิดการขยายความกว้างแถบตอบสนองความถี่ในย่าน UHF (470 MHz – 862MHz) โดยกำหนดพารามิเตอร์ของสายอากาศ ดังต่อไปนี้ x1= 0.4 มม. x2 = 0.5 มม. แสดงดังรูปที่ 8

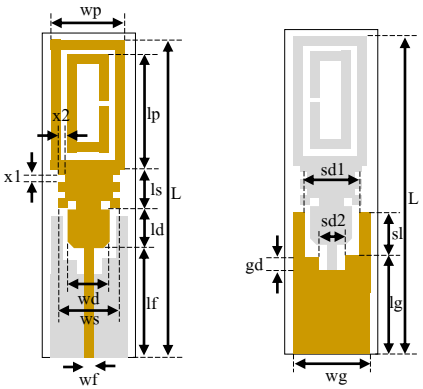


รูปที่ 8 โครงสร้างสายอากาศเมื่อทำการเซาะร่องเพิ่ม
(ก) ด้านหน้า (ข) ด้านหลัง



รูปที่ 9 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศเมื่อทำการบากร่อง

จากรูปที่ 9 ทำการบากร่องบนโครงสร้างของสายอากาศในส่วนล่างทั้งสองข้างของแพตช์สี่เหลี่ยมค่าพารามิเตอร์ที่เหมะสมที่สุด คือ 3 ร่อง โดยโครงสร้างและขนาดพารามิเตอร์ของสายอากาศ แสดงดังรูปที่ 10 และตารางที่ 1.9



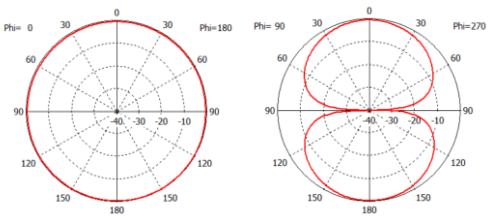
(ก) (ข)

รูปที่ 10 โครงสร้างสายอากาศต้นแบบที่ได้พัฒนาขึ้น
(ก) ด้านหน้า (ข) ด้านหลัง

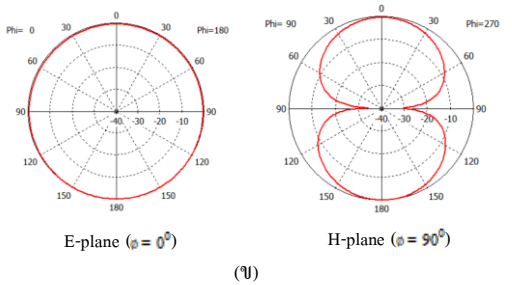
ตารางที่ 1.9 ขนาดพารามิเตอร์ของสายอากาศ

พารามิเตอร์	ขนาด (มม.)	พารามิเตอร์	ขนาด (มม.)
W	45.0	gd	10.0
L	220.0	sd1	27.0
wf	3.0	sd2	7.3
wp	45.0	lf	95.0
wg	45.0	ld	32.0
wd	20.0	ls	22.0
ws	38.0	lp	71.0
x1	0.4	sl	39.0
x2	0.5	lg	80.0

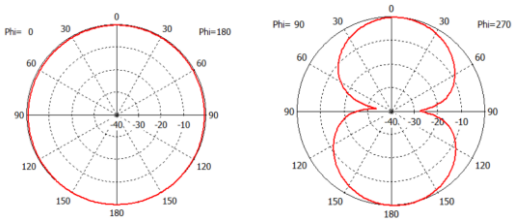
จากการผลการจำลองออกแบบสายอากาศในหัวข้อที่ผ่านมา ทำตามขนาดและโครงสร้างดังรูปที่ 10 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศ มีค่าต่ำกว่า -10 dB ที่ช่วงความถี่ 468.14 MHz – 683.19 MHz มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง แสดงดังรูปที่ 11



(ก)



(ข)

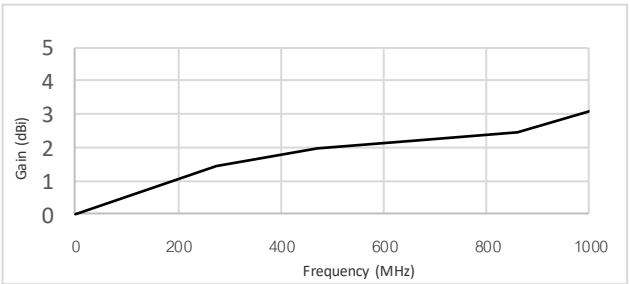


(ค)

รูปที่ 11 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ
(ก) ความถี่ 470 MHz (ข) ความถี่ 666 MHz (ค) ความถี่ 862 MHz

อัตราการขยาย

ผลการจำลองอัตราขยายของสายอากาศในช่วงความถี่ใช้งานตั้งแต่ 470 MHz ถึง 860 MHz มีค่าต่ำสุด 1.93 dBi ที่ความถี่ 468.14 MHz และค่าสูงสุดเท่ากับ 2.51 dBi ที่ความถี่ 863.19 MHz



รูปที่ 11 ผลการจำลองอัตราขยายของสายอากาศ

3. สรุป

สายอากาศไมโครสตริปแบบโมโนโพลที่ใช้สำหรับการรับสัญญาณโทรทัศน์ภาคพื้นดินระบบดิจิทัลที่นำเสนอในครั้งนี้ จะเป็นการออกแบบบนแผ่นวงจรพิมพ์ FR-4 โดยใช้เทคนิคการเซาะร่องเรโซเนเตอร์วงแหวนแยกรูปแบบตัวซี จากนั้นทำการจำลองด้วยโปรแกรม CST Studio ซึ่งผลการจำลองพบว่าสามารถตอบสนองต่อความถี่ในย่าน 468.14 MHz – 863.19MHz ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศต่ำกว่า -10 dB ค่าอัตราขยายต่ำสุดเท่ากับ 1.96 dBi ที่ความถี่ 470 MHz และค่าสูงสุดเท่ากับ 2.46 dBi ที่ความถี่ 862 MHz

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักวิศวกรรมและเทคโนโลยีกระจายเสียงและโทรทัศน์ สำนักงาน กสทช. (2559). ความรู้เกี่ยวกับสายอากาศรับสัญญาณดิจิตอลทีวี. https://broadcast.nbtc.go.th/data/academic/file/590700000003.pdf

[2] Roy Francis Navea, Emmanuel Trinidad, "Design and Analysis of a Microstrip Patch Antenna for TV White Space Data Applications," International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering, Volume 10, No.3, May - June 2021.

[3] Fang Lei, Zengrui Li, Limei Luo, Hui Zhang, Yaoqing Yang, "A Novel Monopole Antenna for Digital Television Receiving Application," ISAPE2012.

[4] Chih-Yu Huang, Bo-Ming Jeng, and Jieh-Sen Kuo, "Grating Monopole Antenna for DVB-T Applications, " IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION, VOL. 56, NO. 6, JUNE 2008.

[5] C. Zebiri, M. Lashab, F. Benabdelaziz, R. A. Abd-Alhameed and F. Elmegri, "A Grating Monopole Antenna on Metamaterial Using MSRR for DVB-T Application, " Applied Mechanics and Materials Vols. 789-790 (2015) pp 989-992.

[6] J. Owusu, M.R.B. Hamid, S. Tweneboah-Koduahetal., "Omnidirectional antenna with modified ground plane for wideband DVB in handheld devices,"Scientific African 13 (2021).

[7] Teguh Firmansyah, Herudin, and Setio Dwi Cahyo1 , "Wideband Microstrip Antenna with Defected Ground Structure Method for Digital Video Broadcasting–Terrestrial 2(DVB-T2) Applications," International Conference on Basic Sciences 2018.

[8] M. Y. Abou Shahine, M. Al-Husseini, Y. Nasser,K. Y. Kabalan, and A. El-Hajj, "A Recon¯gurable Miniaturized Spiral Monopole Antenna for TV White Spaces," PIERS Proceedings, Stockholm, Sweden, Aug. 12-15, 2013.

[9] S.-G. Zhou, J.-L. Guo, Y.-H. Huang, and Q.-Z. Liu, "WIDEBAND AND OMNI-DIRECTIONAL ANTENNA FOR DVB/GSM APPLICATIONS, " J. of Electromagn. Waves and Appl., Vol. 23, 2143–2151, 2009.

[10] Dominique L. Paul, Michael G. Paterson, and Geoffrey S. Hilton, "A Low-Profile Textile Antenna for Reception of Digital Television and Wireless Communications, " IEEE Radioand Wireless Symposium 15-18 Jan. 2012.

[11] B.-M. Jeng, C.-M. Lee, and C.-H. Luo , "MULTIPLE-RING MONOPOLE ANTENNA WITH SLEEVE-SHAPED GROUND FOR DVB-T APPLICATIONS, " Progress In Electromagnetics Research C, Vol. 14, 155–161, 2010

[12] Horng-Dean Chen, "Compact Broadband Microstrip-Line-Fed SleeveMonopole Antenna for DTV Applicationand Ground Plane Effect," IEEE ANTENNAS AND WIRELESS PROPAGATION LETTERS, VOL. 7, 2008

[13] Gurpreet Bharti and Jagtar S. Sivia, "A Design of Multiband Nested Square Shaped Ring Fractal Antenna with Circular Ring Elements for Wireless Applications" Progress In Electromagnetics Research C, Vol. 108, 115–125, 2021.

[14] I. M. Ibrahim, Ahmed Jamal Abdullah Al-Gburi, Z. Zakaria, H. A. Bakar, "Parametric Study of Modified U-shaped Split Ring Resonator Structure Dimension at Ultra-Wide-band Monopole Antenna," Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering, Vol. 10, 2–5, 2018.

[15] R. Samson Daniel, R. Pandeeswari, and S. Raghavan, "PMultiband monopole antenna loaded with complementary split ring resonatorand C-shaped slots," International Journal of Electronics and Communications, 3 March 2017.

[16] Gurpreet Kumar, Rajeev Kumar, "A survey on planar ultra-wideband antennas with band notch characteristics: Principle, design, and applications," Int. J. Electron. Commun. (AEÜ) 109 (2019) 76–98

[17] H.K. Yoon, Y.J. Yoon, H. Kim, C.-H. Lee, "Flexible ultra-wideband polarisation diversity antennawith band-notch function," IET Microw. Antennas Propag., 2011, Vol. 5, Iss. 12, pp. 1463–1470



มานะชัย พรมดี สำเร็จ วศ.บ. (วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปัจจุบันเป็นนักศึกษาสาขาวิศวกรรมไฟฟ้าศึกษา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น



ประชา โอษคลัง สำเร็จ วศ.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า) ศูนย์กลางสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วศ.ม. (วิศวกรรมโทรคมนาคม) และ วศ.ด. (วิศวกรรมไฟฟ้า) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง งานวิจัยที่สนใจระบบสื่อสารไร้สาย ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำสาขาอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

แหล่งจ่ายไฟฟ้าไฮบริดเซลล์เชื้อเพลิงและตัวเก็บประจุแบบยิ่งยวดที่ใช้วงจรแปลงผันแบบบูสต์เพียงวงจรเดียว

Hybrid Fuel Cell and Supercapacitor source with a boost converter

ณัฏฐกิตติ์ พลเมืองดี[1*] ไชยนรินทร์ อัครวโรดม[2] และ เมธีพจน์ พัฒนศักดิ์[3]

[1,2]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือวัดและอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1518 ถนน ประชาราษฎร์1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ 10800 E-mail: pholamuangdee@gmail.com

[3]ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1518 ถนน ประชาราษฎร์1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ 10800

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้งานวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์ที่ควบคุมการจ่ายพลังงานในรูปแบบไฮบริดระหว่างเซลล์เชื้อเพลิงและตัวเก็บประจุแบบยิ่งยวด โดยใช้เทคนิคการควบคุมแบบคาสเคด ลูปในใช้ตัวควบคุมแบบสไลด์ดิงโหมดเพื่อควบคุมกระแสเซลล์เชื้อเพลิง และลูปนอกใช้การควบคุมพลังงานเก็บในตัวเก็บประจุแบบยิ่งยวด ประสิทธิภาพในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้านั้นขึ้นอยู่กับการสูญเสียพลังงานจากค่าความต้านทานแฝงต่างๆในวงจร ตัวเหนี่ยวนำ รวมทั้งการสูญเสียที่เกิดขึ้นในอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ หากวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ามีอุปกรณ์น้อยการสูญเสียที่เกิดขึ้นก็จะน้อยลงไปด้วย แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวงจรบูสต์ได้สร้างขึ้นเพื่อเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวงจรไฮบริดแบบคลาสสิคและจำลองการทำงานด้วยโปรแกรมแมทแลป

คำสำคัญ : ตัวเก็บประจุแบบยิ่งยวด; สไลด์ดิงโหมด; การสูญเสียในอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ; ไฮบริด

Abstract

This paper presents the application of a boost converter circuit to control the power supply hybridized between a fuel cell and a supercapacitor. The boost converter is controlled in a cascade manner. The sliding mode control is used to control the fuel cell current, while the outer loop is based on controlling the energy stored in the supercapacitor. The power converter circuit's efficiency depends on the circuit's different parasitic resistances, including losses in the inductor and semiconductor devices. The fewer devices in the power converter circuit, the lesser the losses are. The mathematical model of the proposed one and the classical hybrid topology are developed and compared with the using MATLAB R2022a

Keywords: supercapacitor; sliding mode; loss; hybrid

1.บทนำ

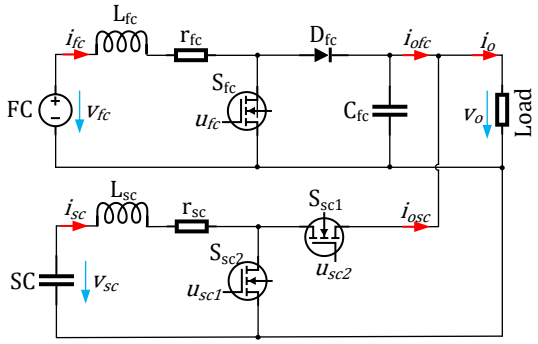
เมื่อโลกได้ส่งสัญญาณเตือนรอบท้ายๆไปยังมนุษย์ด้วยภัยพิบัติทางธรรมชาติที่รุนแรงในรอบหลายศตวรรษ อันเนื่องมาจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างมหาศาลจากน้ำมือมนุษย์ ส่งผลให้สภาพอากาศของโลกเปลี่ยนแปลงไป มนุษย์จึงต้องหาทางลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เป็นต้นเหตุของภัยพิบัติอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ โดยหันไปใช้พลังงานสะอาดแทนการใช้พลังฟอสซิลหรือน้ำมัน พลังงานสะอาดส่วนใหญ่นั้นไม่ว่าจะเป็น พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ หรือพลังงานที่ได้จากปฏิกิริยาทางเคมีที่ไม่ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกนั้นจำเป็นต้องมีการแปลงผันพลังงาน เมื่อมีการแปลงผันพลังงานจะเกิดการสูญเสียเกิดขึ้น ดังนั้นตัวกลางในการแปลงผันพลังงานที่มีประสิทธิภาพสูงจึงเป็นปัจจัยสำคัญในการส่งเสริมให้เกิดการใช้พลังงานสะอาดที่ไม่ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

เซลล์เชื้อเพลิงเป็นการนำข้อดีของเครื่องยนต์และแบตเตอร์รี่มารวมกัน คือเป็นการผลิตไฟฟ้าจากการทำปฏิกิริยาทางเคมีของไฮโดรเจนกับออกซิเจน ที่จ่ายเข้าไปเป็นเชื้อเพลิงให้กับเซลล์เชื้อเพลิง ผลลัพธ์ที่ออกมาจากการทำปฏิกิริยาทางเคมีนอกจากพลังงานไฟฟ้าแล้วยังมีน้ำออกมาและนำไปใช้ประโยชน์ได้อีกด้วย แต่เซลล์เชื้อเพลิงไม่สามารถกักเก็บพลังงานไว้ได้ นี่เป็นข้อแตกต่างที่เห็นได้ชัดของเซลล์เชื้อเพลิงกับแบตเตอร์รี่ รวมถึงระหว่างเครื่องยนต์กับเซลล์เชื้อเพลิงมีข้อแตกต่างคือถึงแม้ว่าทั้งเครื่องยนต์สันดาปและเซลล์เชื้อเพลิงผลิตพลังงานจากการป้อนเชื้อเพลิงเหมือนกัน แต่เซลล์เชื้อเพลิงไม่มีส่วนเคลื่อนไหวทางกลแบบเครื่องยนต์สันดาป [1]

บทความนำเสนอวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์ ที่ทำหน้าที่ควบคุมพลังงานที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิงและตัวเก็บประจุแบบยิ่งยวด ปัจจุบันมีงานวิจัยมากมายเกี่ยวกับตัวแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบไฮบริด ทั้งที่ใช้กับโซล่าเซลล์ [2] และใช้กับเซลล์เชื้อเพลิง [3] แต่ข้อเสียของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าที่เห็นได้ชัด คือพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียจากค่าความต้านทานแฝงต่างๆ ในวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดจากอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ [4] ดังนั้นการลดจำนวนของสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์และอุปกรณ์ต่างๆ ในวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าลงจะช่วยลดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในวงจรที่เกิดขึ้นได้ จึงเลือกวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์ที่มีสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์เพียงตัวเดียว และอุปกรณ์ประกอบในวงจรน้อย เพื่อศึกษาทั้งส่วนของผลกระทบที่เกิดจากค่าศักย์ไฟฟ้าสูญเสียเนื่องจากผลของการถ่ายโอนมวล (η_{com}) ของเซลล์เชื้อเพลิงว่าจะมีผลดีและผลเสียอย่างไร และยังมุ่งเน้นที่จะศึกษาลักษณะการตอบสนองของแรงดันเอาต์พุตของโหลดที่ต่อขนานกับตัวเก็บประจุแบบยิ่งยวด รวมถึงพลังงานไฟฟ้าสูญเสียจากค่าความต้านทานแฝงในวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียในอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

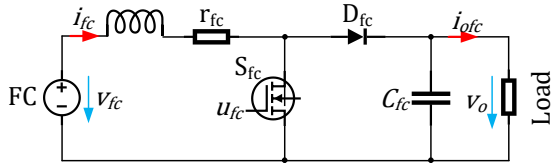
2. วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบไฮบริดดั้งเดิม

แนวคิดของวงจรไฮบริดแบบดั้งเดิมเป็นการนำวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบบูสต์กับแบบบัค – บูสต์ มาทำงานร่วมกันโดยรูปแบบการทำงานสามารถแบ่งออกได้เป็นสามรูปแบบ ดังนี้



รูปที่ 1 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบไฮบริดดั้งเดิม

2.1) รูปแบบวงจรบูสต์ เป็นการทำงานร่วมกับเซลล์เชื้อเพลิง ในรูปแบบนี้ใช้พลังงานที่ได้รับจากเซลล์เชื้อเพลิงเป็นหลักในการส่งผ่านพลังงานไปยังโหลด โดยสามารถเขียนวงจรรูปแบบบูสต์ได้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 รูปแบบวงจรบูสต์ที่ทำงานร่วมกับเซลล์เชื้อเพลิง

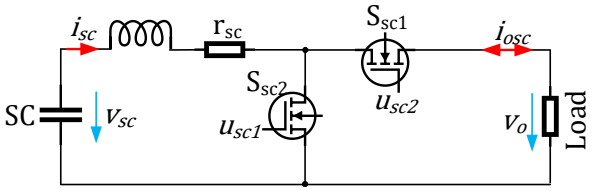
จากรูปที่ 2 ประกอบด้วยมอสเฟต $\boldsymbol{S_{fc}}$ ตัวเหนี่ยวนำ $\boldsymbol{L_{fc}}$ และมีค่าความต้านทานแฝงในตัวเหนี่ยวนำเป็น $\boldsymbol{r_{Lfc}}$ ตัวเก็บประจุทางด้านเอาต์พุต $\boldsymbol{C_{fc}}$ และไดโอด $\boldsymbol{D_{fc}}$ เมื่อทำงานร่วมกันสามารถยกระดับแรงดันที่มีระดับต่ำของอินพุตให้สูงขึ้นได้ ลักษณะการทำงานนั้นเหมือนกับวงจรบูสต์แบบปกติ และสามารถประยุกต์กฎกระแสของเคอร์ชอฟฟ์เขียนสมการของวงจรได้ว่า[5]

$$L_{fc}\frac{di_{fc}}{dt} = v_{fc} - r_{Lfc}i_{fc} - (1-u_{fc})v_o \qquad (1)$$

$$C_{fc}\frac{dv_o}{dt} = (1-u_{fc})i_{fc} - i_{ofc} \qquad (2)$$

เมื่อ v_{fc} คือแรงดันของเซลล์เชื้อเพลิง, i_{fc} คือกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ L_{fc}, i_{ofc} คือ กระแสเอาต์พุตของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบไฮบริดดั้งเดิมเมื่อทำงานแบบบูสต์ และ u_{fc} คือ สัญญาณควบคุมมอสเฟต S_{fc}

2.2) รูปแบบวงจรบัค-บูสต์ เป็นการทำงานร่วมกับตัวเก็บประจุแบบยิ่งยวด เป็นหลัก เพื่อส่งผ่านพลังงานไปยังโหลด และนำพลังงานจากโหลดกลับมาประจุตัวเก็บประจุแบบยิ่งยวด



รูปที่ 3 รูปวงจรแบบบัค-บูสต์ที่ทำงานร่วมกับตัวเก็บประจุแบบยิ่งยวด

จากรูปที่ 3 ประกอบด้วยมอสเฟต S_{sc1} และ S_{sc2} ตัวเหนี่ยวนำ L_{sc} และมีค่าความต้านทานแฝงในตัวเหนี่ยวนำเป็น r_{Lsc} โดยสามารถยกระดับแรงดันของตัวเก็บประจุแบบยิ่งยวดที่มีระดับต่ำให้สูงขึ้นเพื่อส่งผ่านพลังงานให้โหลด และลดระดับของแรงดันเอาต์พุตให้เหมาะสมกับตัวเก็บประจุแบบยิ่งยวด เพื่อเป็นการนำพลังงานจากเอาต์พุตไปประจุให้แก่ตัวเก็บประจุแบบยิ่งยวด โดยสามารถเขียนสมการได้ว่า [5]

$$L_{sc}\frac{di_{sc}}{dt} = v_{sc} - r_{Lsc}i_{sc} - v_o u_{sc12} \qquad (3)$$

$$i_{osc} = i_{sc}u_{sc12} \qquad (4)$$

$$u_{sc12} = s(1-u_{sc1}) + (1-s)u_{sc2} \qquad (5)$$

กำหนดให้ s เป็นเงื่อนไขของสวิตช์ชิ่ง และ u_{sc12} คือสัญญาณควบคุมมอสเฟต S_{sc1} และ S_{sc2}

$$s = \begin{cases} 0, & i_{scref} < 0 \ (Buck\ mode) \\ 1, & i_{scref} > 0 \ (Boost\ mode) \end{cases} \qquad (6)$$

เมื่อ v_{sc} คือแรงดันของตัวเก็บประจุแบบยิ่งยวด, i_{sc} คือกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ L_{sc}, i_{osc} คือ กระแสเอาต์พุตของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบไฮบริดดั้งเดิมเมื่อทำงานแบบบัค - บูสต์

2.3) รูปแบบไฮบริด เป็นรูปแบบร่วมกันทำงานของรูปแบบที่ 2.1 กับ 2.2 และจากสมการที่ (1) สมการที่ (2) สมการที่ (3) และสมการที่ (4) นำมาเขียนใหม่ในรูปแบบไฮบริดได้ว่า [5]

$$L_{fc}\frac{di_{fc}}{dt} = v_{fc} - r_{Lfc}i_{fc} - (1-u_{fc})v_o \qquad (7)$$

$$L_{sc}\frac{di_{sc}}{dt} = v_{sc} - r_{Lsc}i_{sc} - v_o u_{sc12} \qquad (8)$$

$$C_{fc}\frac{dv_o}{dt} = (1-u_{fc})i_{fc} + i_{sc}u_{sc12} - i_o \qquad (9)$$

$$i_o = (i_{ofc} + i_{osc}) \qquad (10)$$

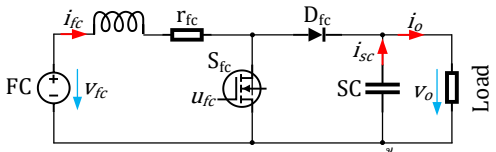
หากไม่นับรวมการสูญเสียที่เกิดจากสมบัติเฉพาะของแหล่งจ่ายเซลล์เชื้อเพลิงกับตัวเก็บประจุแบบยิ่งยวด สามารถเขียนสมการกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบไฮบริดดั้งเดิมคือ

$$P_{loss} = P_{Lfc} + P_{Sfc} + P_{Dfc} + P_{Cfc} + P_{Lsc} + P_{Ssc1} + P_{Ssc2} \quad (11)$$

เมื่อ P_{Lfc} คือกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในตัวเหนี่ยวนำ L_{fc}, P_{Sfc} คือกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในมอสเฟส S_{fc}, P_{Dfc} คือกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในไดโอด D_{fc} , P_{Cfc} คือกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในตัวเก็บประจุ C_{fc} , P_{Lsc} คือกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในตัวเหนี่ยวนำ L_{sc}, P_{Ssc1} และ P_{Ssc1} คือกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในมอสเฟส S_{sc1}และ S_{sc2} ตามลำดับ

3. วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าไฮบริดแบบบูสต์

แนวคิดของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบไฮบริดที่นำเสนอในบทความนี้จะใช้รูปแบบของวงจรบูสต์เพียงอย่างเดียวเท่านั้น โดยนำตัวเก็บประจุแบบยิ่งยวดไปแทนตัวเก็บประจุธรรมดาทางด้านเอาต์พุตดังรูปที่ 4 โดยมีสมมติฐานว่าแรงดันเอาต์พุตต้องสูงกว่าแรงดันเซลล์เชื้อเพลิง การทำงานของวงจรในรูปที่ 4 สามารถแบ่งได้ดังนี้

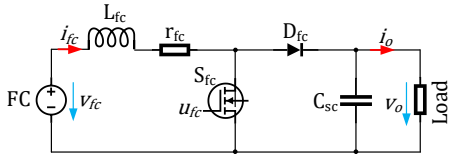


รูปที่ 4 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบไฮบริดเซลล์เชื้อเพลิงและตัวเก็บประจุแบบยิ่งยวด

3.1 รูปแบบปกติ (Normal mode) เงื่อนไขของรูปแบบนี้คือกำลังไฟฟ้าทางด้านอินพุตสูงสุด P_{fcmax} มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับกำลังไฟฟ้าของโหลด P_{load} ที่ต้องการ ณ ขณะนั้น เมื่อ $P_{fcmax} \geq P_{load}$ สามารถเขียนสมการได้ว่า

$$L_{fc}\frac{di_{fc}}{dt} = v_{fc} - r_{Lfc}i_{fc} - (1-u_{fc})v_o \quad (12)$$

$$C_{sc}\frac{dv_o}{dt} = (1-u_{fc})i_{fc} - i_o \quad (13)$$



รูปที่ 5 รูปแบบปกติของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบไฮบริดเซลล์เชื้อเพลิงและตัวเก็บประจุแบบยิ่งยวด

จากสมการที่ (13) หากกระแส $i_{sc} = 0$ จะได้ว่า

$$i_o = (1-u_{fc})i_{fc} \quad (14)$$

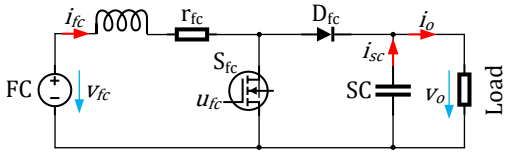
เมื่อ C_{sc} คือค่าของตัวเก็บประจุแบบยิ่งยวด ในรูปแบบนี้วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบบูสต์จะทำหน้าที่ยกระดับแรงดันของเซลล์เชื้อเพลิงทางด้านอินพุตให้สูงขึ้นและส่งผ่านพลังงานไปตามที่โหลดต้องการ

3.2 รูปแบบโอเวอร์โหลด (Over load) ในรูปแบบนี้เงื่อนไขคือกำลังไฟฟ้าสูงสุดทางด้านอินพุต P_{fcmax} มีค่าน้อยกว่ากำลังไฟฟ้าที่โหลด P_{load} ที่ต้องการ ดังนั้นเมื่อ $P_{fcmax} < P_{load}$ กำลังไฟฟ้าส่วนเกินจะถูกจ่ายโดยตัวเก็บประจุแบบยิ่งยวด จึงสามารถเขียนสมการได้ว่า

$$\boldsymbol{P_{load} = P_{fcmax} + P_{sc}} \quad (15)$$

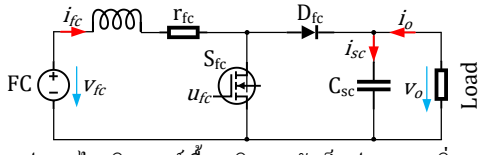
$$i_o = (1-u_{fc})i_{fc} + i_{sc} \quad (16)$$

เมื่อ P_{sc} คือ กำลังไฟฟ้าของตัวเก็บประจุแบบยิ่งยวดที่ส่งผ่านไปยังโหลด และ i_{sc} คือกระแสของตัวเก็บประจุแบบยิ่งยวด และรูปที่ 6 แสดงรูปแบบไฮบริดของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบไฮบริดเซลล์เชื้อเพลิงและตัวเก็บประจุแบบยิ่งยวดที่นำเสนอ



รูปที่ 6 รูปแบบไฮบริดเซลล์เชื้อเพลิงและตัวเก็บประจุแบบยิ่งยวดที่ใช้วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าในสภาวะโอเวอร์โหลด

3.3 รูปแบบคืนตัว (Recover mode) ในรูปแบบนี้กำลังไฟฟ้าของโหลดนั้นมีค่าเป็นลบ และจากรูปที่ 7 ไดโอด D_{fc} ป้องการย้อนกลับของพลังงานไปเซลล์เชื้อเพลิง ดังนั้นพลังงานไฟฟ้าจากโหลดจะประจุไปยังตัวเก็บประจุแบบยิ่งยวด ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 รูปแบบไฮบริดเซลล์เชื้อเพลิงและตัวเก็บประจุแบบยิ่งยวดที่ใช้วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าในสภาวะโอเวอร์โหลดในสภาวะคืนตัว

$$\boldsymbol{-P_{sc} = -(P_{load} + P_{fc})} \quad (17)$$

หากกำหนดให้ $i_{fc} = 0$ จะได้

$$-i_o = -i_{sc} \quad (18)$$

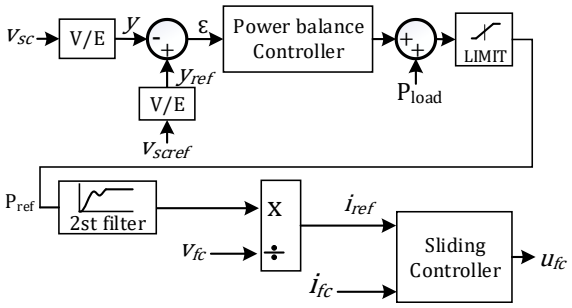
หากไม่นำความสูญเสียที่เกิดจากสมบัติเฉพาะของแหล่งจ่ายเซลล์เชื้อเพลิงกับตัวเก็บประจุแบบยิ่งยวดมาคำนวณ เขียนสมการการสูญเสียของกำลังไฟฟ้าได้ว่า

$$P_{loss} = P_{Lfc} + P_{Sfc} + P_{Dfc} \quad (19)$$

4. วิธีการควบคุม

เป้าหมายในการควบคุมวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบไฮบริดเซลล์เชื้อเพลิงและตัวเก็บประจุแบบยิ่งยวด คือการรักษาระดับแรงดันเอาต์พุต v_o ที่สภาวะคงตัวให้เป็นไปต้องการ และตอบสนองการทำงานในรูปแบบไฮบริดได้ ที่สำคัญคือเมื่อแหล่งจ่ายหลักในระบบคือเซลล์เชื้อเพลิง ดังนั้นหากมีการเปลี่ยนแปลงความต้องการกำลังไฟฟ้าของโหลดแบบทันทีทันใด และมีค่าสูงใกล้พิกัดของเซลล์เชื้อเพลง อาจทำให้เกิดสภาวะ ค่าศักย์ไฟฟ้าสูญเสียเนื่องจากผลของการถ่ายโอนมวลแก่เซลล์เชื้อเพลิงขึ้นได้ รวมทั้งจะต้องมีกระบวนการป้องกันการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าที่มากเกินกว่ากำลังไฟฟ้าสูงของเซลล์เชื้อเพลิง

การควบคุมจะแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ การควบคุมส่วนนอก (Outer loop) ที่จะใช้เป็นตัวกำหนดกระแสอ้างอิง (I_{ref}) ที่ได้จากการกำหนดแรงดันอ้างอิงของตัวเก็บประจุแบบยิ่งยวด [6] และการควบคุมส่วนใน (Inner loop) จะควบคุมกระแสของเซลล์เชื้อเพลิง i_{fc} ให้เป็นไปตามกระแสอ้างอิงที่ได้จากเอาต์พุตของระบบความคุมส่วนนอก



รูปที่ 8 ระบบควบคุมวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบไฮบริดเซลล์เชื้อเพลิงและตัวเก็บประจุแบบยิ่งยวด

4.1) ระบบควบคุมส่วนนอก (Outer loop) ระบบควบคุมส่วนนอกมีหน้าที่ในการหากระอ้างอิง I_{ref} เพื่อส่งต่อให้ระบบควบคุมส่วนใน โดยที่กระแสอ้างอิงนั้นสามารถหาได้จากการใช้เทคนิคสมดุลของพลังงาน (Power balance) ดังสมการที่ (20) [6]

$$i_{ref} = (P_{load} - \dot{y})/v_{fc} \quad (20)$$

เมื่อ $\dot{y}$ คือการเปลี่ยนแปลงพลังงานในตัวเก็บประจุแบบยิ่งยวด และ y คือพลังที่อยู่ในตัวเก็บประจุแบบยิ่งยวดหาได้จาก $y = \left(\frac{1}{2}\right) C_{sc} V_{sc}^2$ ดังนั้นสมการควบคุมส่วนนอกจะได้ว่า

$$0 = (\dot{y}_{ref} - \dot{y}) + K_1(y_{ref} - y) + K_2 \int (y_{ref} - y) d\tau \quad (21)$$

โดยที่ค่าของ K_1 และ K_2 จะเลือกโดยให้ผลตอบสนองของระบบอันดับสอง จะได้ $K_1 = 2\xi w_n$ กับ $K_2 = w_n^2$ และ $y_{ref} = \left(\frac{1}{2}\right) C_{sc} V_{scref}^2$ นอกจากนั้นเพื่อป้องกันการเกิด ค่าศักย์ไฟฟ้าสูญเสียเนื่องจากผลของการถ่ายโอนมวลแก่เซลล์เชื้อเพลิง จึงมีการจำกัดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์เชื้อเพลิงและเพิ่มวงจรกรองความถี่อันดับที่สองเข้าไปสำหรับกำลังไฟฟ้าอ้างอิงในระบบควบคุมส่วนนอก

4.1) ระบบควบคุมส่วนใน (Inner loop) การออกแบบระบบควบคุมส่วนในจะใช้กระแสอ้างอิงที่ได้จากระบบควบคุมส่วนนอกร่วมกันการควบคุมแบบสไลด์ดิงโหมด และกำหนดให้ค่าของ K_i กับ λ เป็นค่าแบนด์วิดท์ของการควบคุมลูปปิด จึงสามารถเขียนสมการได้ว่า

$$s = \varepsilon + k_i \int \varepsilon \, dt \quad (22)$$

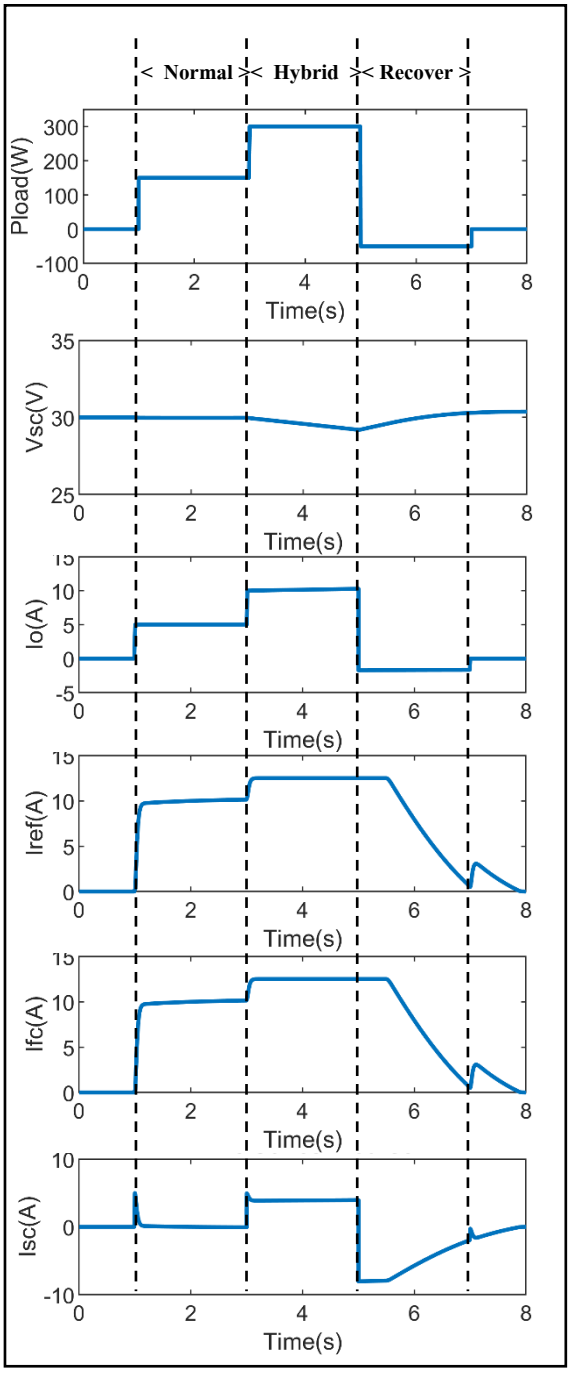
$$\dot{s} = -\lambda s \quad (23)$$

เมื่อ $\varepsilon = i_{fc} - i_{ref}$ จากสมการที่ (12) สมการที่ (22) และสมการที่ (23) สามารถหาสวิตช์ชิ่งฟังก์ชัน u_{fc} เพื่อควบคุมกระแส i_{fc} เขียนสมการได้ว่า

$$u_{fc} = \frac{\{(-\lambda s + i_{ref} - k_i \varepsilon) L_{fc} + r_{Lfc} i_{fc} + v_o - v_{fc}\}}{v_o} \quad (24)$$

5. ผลการจำลองการทำงาน

เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง จึงได้มีการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบไฮบริดเซลล์เชื้อเพลิงและตัวเก็บประจุแบบยิ่งยวด และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบควบคุมไปจำลองการทำงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์คือโปรแกรม MATLAB/Simulink R2022a ด้วยค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆของระบบในตารางที่ 1 ผลตอบสนองของระบบและพฤติกรรมของระบบทั้งใน รูปแบบปกติ(Normal mode) รูปแบบไฮบริด(Hybrid mode) และรูปแบบฟื้นตัว(Recovery mode) แสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 ผลการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink

จากรูปที่ 9 กำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์เชื้อเพลิงคือ 200W และกำหนดให้โหลดมีการเปลี่ยนแปลงความต้องการกำลังไฟฟ้าที่เวลา 1วินาที 3 วินาที และ 5 วินาที เป็น 150W 300W และ -50W ตามลำดับทำให้สามารถแสดงผลตอบสนองของระบบได้ครบทั้งสามรูปแบบ โดยทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงความต้องการกำลังไฟฟ้าของโหลดนั้นระบบจะป้องกันการเกิด ค่าศักย์ไฟฟ้าสูญเสียเนื่องจากผลของการถ่ายโอนมวลของเซลล์เชื้อเพลิงด้วยการไม่ส่งผ่านกำลังไฟฟ้าทันที และชดเชยกำลังไฟฟ้าที่ขาดไป ณ เวลานั้นด้วยส่งผ่านกำลังไฟฟ้าของตัวเก็บประจุแบบยิ่งยวดไปยังโหลดแทน ในรูปแบบปกติ ณ เวลาวินาทีที่ 1 กำลังไฟฟ้า 150W ที่ส่งผ่านให้โหลดนั้นมาจากเซลล์เชื้อเพลิงเท่านั้น ต่อมาในวินาทีที่ 3 เป็นการทำงานในรูปแบบไฮบริดกำลังไฟฟ้าที่โหลดต้องการคือ 300W แต่เซลล์เชื้อเพลิงถูกจำกัดพลังงานสูงสุดไว้ที่ 200W เท่านั้น อีก 50W เป็นกำลังไฟฟ้าที่ตัวเก็บประจุแบบยิ่งยวดส่งไปยังโหลด และในรูปแบบคืนตัวเมื่อกำลังไฟฟ้าของโหลดเป็น -50W ตัวเก็บประจุแบบยิ่งยวดจะทำงานประจุไฟฟ้าให้ตัวเอง

6. สรุป

วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าในระบบไฮบริดเซลล์เชื้อเพลิงและตัวเก็บประจุแบบยิ่งยวดมีพื้นฐานมาจากวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบบูสต์ เมื่อตัวเก็บประจุธรรมดาที่เอาต์พุตถูกทดแทนด้วยตัวเก็บประจุแบบยิ่งยวดแล้ว ระบบนี้ทำงานและตอบสนองเหมือนกับรูปแบบของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบไฮบริดแบบดั้งเดิมได้ และยังมีอุปกรณ์ต่าง ๆ น้อยกว่าทำให้การสูญเสียที่เกิดขึ้นจากลักษณะสมบัติเฉพาะของอุปกรณ์นั้นลดลงไปด้วย ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองการทำงานแสดงในตารางที่ 1 อย่างไรก็ดีเพื่อให้วงจรบูสต์ทำงานได้และสามารถควบคุมไดนามิกส์ของกระแสเซลล์เชื้อเพลิงได้ แรงดันเอาต์พุตต้องสูงกว่าแรงดันเซลล์เชื้อเพลิงเสมอ

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองการทำงาน

พารามิเตอร์	ค่า	หน่วย
Maximum FC power, P_{fcmax}	200	W
Maximum FC voltage, v_{fc}	16	V
Maximum SC voltage, v_{sc}	30	V
Switching frequency, f_s	20	kHz
C_{sc}	100	F
L_{fc}	3	mH
r_{Lfc}	0.1	Ω
$\lambda = k_i$	$2\pi f_s/10$	Rad/s
ω_n	$\lambda/100$	Rad/s
ξ	0.707	-
K_1	$2\xi\omega_n$	Rad/s
K_2	${\omega_n}^2$	(Rad/s)^2

7. กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีเพราะได้รับคำแนะนำจากท่านอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. ไชยนรินทร์ อัครวโรดม และศ.ดร. เมธีพจน์ พัฒนศักดิ์ และขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือวัดและอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือที่ให้การสนับสนุนในงานวิจัย

แอกสารอ้างอิง

[1] Ryan P. and O'Hayre, "Fuel cells for electrochemical energy conversion," International Conference on New Frontiers in Physics, vol. 182, August 2017.

[2] Sheng-Yu Tseng, Chien-Chih Chen, and Hung-Yuan Wang, "Buck-Boost/Forward Hybrid Converter for PV Energy Conversion Applications," Hindawi Publishing Corporation International Journal of Photoenergy, vol. 2014, August 2014.

[3] Muhammad Saqib Nazir, Iftikhar Ahmad, Muhammad Jawad Khan, Yasar Ayaz and Hammad Armghan, "Adaptive Control of Fuel Cell and Supercapacitor Based Hybrid Electric Vehicles," Energies MDPI journals, October 2020.

[4] Volodymyr Ivakhno, Volodymyr Zamaruiev and Olga Ilina, "Estimation of Semiconductor Switching Losses under Hard Switching using Matlab/Simulink Subsystem," Journal of Applied Sciences ResearchGate, May 2013.

[5] A. Siangsanoh, M. Bahrami, W. Kaewmanee, R. Gavagsaz-Ghoachani, M. Phattanasak, J.P. Martin, B. Nahid-Mobarakeh, M. Weber, S. Pierfederici, G. Maranzana and S. Didierjean, "Series hybrid Fuel cell/Supercapacitor Power source," ELECTRIMACS 2019, Salerno, Italy, 21st-23rd, May 2019.

[6] Hanifi Guldemir, "Sliding Mode Control of Dc-Dc Boost Converter," Journal of Applied Sciences ResearchGate, March 2005.S



ศ. ดร. เมธีพจน์ พัฒนศักดิ์
ภาควิชา ครุศาสตร์ไฟฟ้า
คณะ ครุศาสตร์อุตสาหกรรมภาควิชา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
พระนคเหนือ



รศ. ดร. ไชยนรินทร์ อัครวโรดม
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือวัดและ
อิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
พระนคเหนือ



นาย ณัฏฐกิตติ์ พลเมืองดี
ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องมือวัดและ
อิเล็กทรอนิกส์
คณะ วิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
พระนคเหนือ

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

ระบบป้องกันและควบคุมเหตุเพลิงไหม้ภายในบ้าน

Home Fire Protection and Extinguishing System

ธนะกิจ วัฒกีกำธร กมลทิพย์ วัฒกีกำธร โชติรส แซ่ลิ้ม และสหัสวรรษ วังทอง

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร thanakit.w@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้มีจุดเริ่มต้นมาจากผู้จัดทำได้สังเกตเห็นปัญหาของการเกิดเหตุเพลิงไหม้ในบ้านเรือนเกิดขึ้นบ่อยครั้ง ทำให้สร้างความเสียหายต่อทรัพย์สินและชีวิตเป็นอย่างมาก เพราะระบบที่ใช้ในการป้องกันการเกิดเหตุเพลิงไหม้ที่มีอยู่ในปัจจุบันไม่ค่อยได้รับความนิยมติดตั้งภายในบ้าน เนื่องจากมีราคาสูงและไม่จำเป็น ทำให้นิยมติดตั้งภายในอาคารมากกว่า ทำให้บ้านเรือนส่วนใหญ่ไม่มีระบบป้องกันเพลิงไหม้ภายในบ้านนั้นเอง ผู้จัดทำจึงได้ออกแบบและสร้างระบบป้องกันและควบคุมเหตุเพลิงไหม้ภายในบ้านขึ้น โดยใช้โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ (PLC) ในการประมวณผลการทำงาน และใช้อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนและอุปกรณ์ตรวจจับควัน ในการตรวจจับควันไฟ้และความร้อนในบริเวณที่ติดตั้งระบบป้องกันและควบคุมเหตุเพลิงไหม้ภายในบ้าน ผลการทดสอบระบบป้องกันและควบคุมเหตุเพลิงไหม้ภายในบ้านสามารถทำได้โดยเมื่ออุปกรณ์ตรวจจับควันทำงาน และอุณหภูมิที่จะทำให้อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนทำงานมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 59.2°C เมื่ออุปกรณ์ตรวจจับควันตรวจพบควัน หรือ อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนตรวจพบความร้อน จะส่งสัญญาณไปยังพีแอลซี เพื่อให้ประมวณผลและสั่งการให้ ไฟไซเรนพร้อมเสียงไซเรน ไฟแจ้งเตือนสถานะ การแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ และระบบปล่อยน้ำทำงาน สามารถควบคุมการทำการผ่านทางหน้ากล่องควบคุม และ แอปพลิเคชันจอสัมผัส HMI อีกทั้งมีกดสวิตช์ฉุกเฉินได้เมื่อระบบเกิดการขัดข้อง

คำสำคัญ : โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์; แอปพลิเคชันไลน์; แอปพลิเคชันจอสัมผัส HMI

Abstract

This article presented, According to the frequently home fire accident, that damage the home and affect many damaged values. We found that the most of fire protection system is widely used in a building, not a home. There is because of the costly price must be paid. Therefore, you will see many homes do not have the fire protection system.

That is the reason why we decide and invent the “Home Fire Protection and Extinguishing System”, by using PLC as a processor unit, with the smoke and heat detector for sensing of the smoke and heat from the fire area.

From the test results, we found the “Home Fire Protection and Extinguishing System” will energize when the smoke detector found the smoke signal, and the heat detector critically senses at 59.2 °C by average. When both of detectors found the smoke and heat, it will send the digital signal to the Programable Logic Control (PLC) unit for processing. Then discharge the water extinguishing, indicate the Siren light and sound, Status light, LINE application alerts. By the system can control by the control panel at the unit, and Application HMI Client. In the case of malfunction or failure, the fire protection system can be operated by the emergency switch.

Keywords: PLC ; Application Line; Application HMI client

1. บทนำ

การเกิดเหตุเพลิงไหม้ภายในบ้าน เกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุด้วยกัน จากที่ผ่านมาพบว่าสาเหตุส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากความประมาทในการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้า ไฟฟ้าลัดวงจร การลุกไหม้ขึ้นเอง การใช้เชื้อเพลิงทั้งน้ำมันและแก๊ส หรือการใช้เครื่องใช้เครื่องไฟฟ้าต่างๆ เมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้ภายในบ้านที่ไม่สามารถควบคุมเพลิงไหม้ได้ จะส่งผลกระทบและสร้างความเสียหายต่อทรัพย์สินและความปลอดภัยของผู้อยู่อาศัย

ในปัจจุบันการเกิดเหตุเพลิงไหม้ภายในบ้านเรือนเกิดขึ้นบ่อยครั้ง การเกิดเพลิงไหม้อาจเกิดจากประกายไฟที่มาจากเครื่องใช้ไฟฟ้าที่เกิดจากความประมาทจากการใช้งาน รวมถึงการขาดการบำรุงรักษา ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดไฟฟ้าลัดวงจรและอุบัติเหตุที่เกิดจากการใช้งานอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าส่งผลให้เกิดการไฟลุกไหม้หรือเกิดระเบิดขึ้นได้ ระบบที่ใช้ในการแจ้งเตือนและการป้องกันการเกิดเหตุเพลิงไหม้ที่มีอยู่ในปัจจุบันไม่ค่อยได้รับความนิยมติดตั้งภายในบ้านมากนัก เพราะมีราคาที่ค่อนข้างสูง มีความยุ่งยากซับซ้อน และถูกมองว่าไม่มีความจำเป็น ทำให้เมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้ขึ้น ปัญหาที่พบคือ มักเกิดเหตุเพลิงไหม้ในเวลาที่ไม่มีผู้คนอาศัยอยู่ภายในบ้าน หรือ เกิดเพลิงไหม้ในสถานที่ที่ผู้อาศัยไม่ทันได้สังเกต ทำให้เมื่อพบว่าเกิดเหตุเพลิงไหม้ก็อาจจะเกิดความเสียหายไปมากแล้ว หรือ ไม่สามารถควบคุมเพลิงไหม้ได้แล้ว ซึ่งส่งผลกระทบและสร้างความเสียหายที่เกิดขึ้นอย่างรุนแรงต่อทรัพย์สินและความปลอดภัยในชีวิตของผู้พักอาศัย จากเหตุการณ์นี้ทำให้เห็นถึงความจำเป็นที่ต้องมีระบบป้องกันเหตุเพลิงไหม้ติดตั้งไว้ภายในบ้าน เพื่อช่วยป้องกันและลดความเสียหายที่จะเกิดขึ้นได้ จากการศึกษาจากบทความเรื่องระบบเฝ้าระวังเหตุเพลิงไหม้ในอาคารของนายมุกระวี มะดะเรส [1] ที่ใช้ส่วนควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ที่อาจจะไม่เสถียรนักเมื่อเปิดเครื่องทิ้งไว้เป็นเวลานานๆ

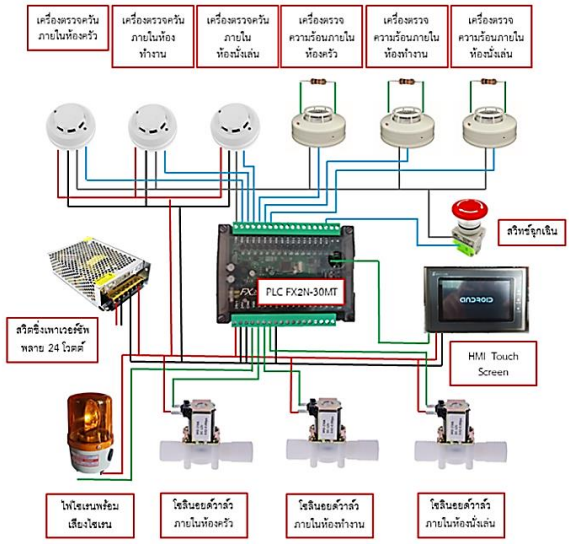
จากปัญหาดังกล่าวจึงมีความสนใจที่จะทำระบบป้องกันและควบคุมเหตุเพลิงไหม้ภายในบ้านขึ้น โดยการนำระบบป้องกันและควบคุมเหตุเพลิงไหม้ภายในบ้านที่ควบคุมโดยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ (PLC) [2] มาเพื่อแก้ไข้ปัญญาเมื่อเกิดเพลิงไหม้ภายในบ้านขึ้น เพื่อลดความเสียหายและป้องกันเหตุเพลิงไหม้ที่จะเกิดขึ้นได้

2. หลักการและการออกแบบ

การออกแบบและการสร้างระบบป้องกันและควบคุมเหตุเพลิงไหม้ภายในบ้าน จะต้องมีการออกแบบสร้างระบบทั้งหมดของการควบคุม โดยเริ่มจากขั้นตอนการออกแบบโครงสร้าง และกล่องควบคุมการทำงาน รวมไปถึงขั้นตอนในการสร้างระบบควบคุมในแต่ละขั้นตอน ส่วนการทำงานของระบบควบคุมจะแสดงตามบล็อกไดอะแกรม

2.1 หลักการทำงานของระบบป้องกันและควบคุมเหตุเพลิงไหม้ภายในบ้าน

การทำงานของระบบป้องกันและควบคุมเหตุเพลิงไหม้ภายในบ้าน ประกอบไปด้วย อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนแบบ Fix Temp อุปกรณ์ตรวจจับควัน สวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย ไฟไซเรนพร้อมเสียงไซเรน โซลินอยด์วาล์ว หัวสเปรย์เกลียวหางหมู จอสัมผัส HMI สมาร์ทโฟนและ PLC FX2N-30MT ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ไดอะแกรมระบบป้องกันและควบคุมเหตุเพลิงไหม้ภายในบ้าน

จากรูปที่ 1 ไดอะแกรมระบบป้องกันและควบคุมเหตุเพลิงไหม้ภายในบ้าน มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) PLC รุ่น FX2N-30MT เป็นคอนโทรเลอร์ที่ถูกพัฒนาโดยบริษัท Mitsubishi โดย PLC รุ่นนี้มีอินพุตทั้งหมด 16 พอร์ตและเอาต์พุต 14 พอร์ต ใช้คำสั่ง Ladder diagram หรือ คำสั่งเชิงลักษณ์เป็นตัวสั่งการทำงานให้ระบบป้องกันและควบคุมเหตุเพลิงไหม้ภายในบ้านทำงานตามขั้นตอนที่กำหนดไว้

2) จอสัมผัส HMI ยี่ห้อ SAMKOON รุ่น AK-043AW-R (WiFi) [3] เป็นอุปกรณ์ที่ทำการสื่อสารกับ PLC โดยทำหน้าที่แสดงสถานะการทำงานของระบบป้องกันและควบคุมเหตุเพลิงไหม้ภายในบ้าน และ สั่งการควบคุมการทำงานของ PLC ผ่านทางหน้าจอสัมผัส HMI เมื่อได้รับสัญญาณที่ส่งมาจาก PLC แล้วที่จอสัมผัส HMI จะทำการส่งข้อความแจ้งเตือน ผ่านทางแอปพลิเคชันไลน์ ผ่านสัญญาณ WiFi ภายในบ้าน

3) สวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย 24 โวลต์ เป็นอุปกรณ์ที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆในระบบป้องกันและควบคุมเหตุเพลิงไหม้ภายในบ้าน โดยทำหน้าที่แปลงระดับไฟฟ้ากระสลับ เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง เนื่องจากอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในระบบป้องกันและควบคุมเหตุเพลิงไหม้ภายในบ้าน ต้องการแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อให้อุปกรณ์ทำงานได้

4) อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนแบบ Fix Temp รุ่น CL-181 [4] ทำหน้าที่ตรวจจับความร้อน เมื่ออุณหภูมิบริเวณนั้นๆ มีค่าสูงกว่า 52 °C อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนจะส่งสัญญาณไปยัง PLC เพื่อประมวณผลและ สั่งการให้จอสัมผัส HMI แจ้งเตือนไปยังโทรศัพท์มือถือ และสั่งการให้ ไฟไซเรนพร้อมเสียงไซเรน และโซลินอยด์วาล์วทำงาน

5) อุปกรณ์ตรวจจับควัน ชนิดโฟโต้อิเลคทริกรุ่น SCN-300-S2 [5] ทำหน้าที่ตรวจจับควัน เมื่อเกิดควันขึ้นเซนเซอร์จะส่งสัญญาณไปยัง PLC เพื่อประมวณผล และ สั่งการให้จอสัมผัส HMI แจ้งเตือนไปยังโทรศัพท์มือถือ และสั่งการให้ ไฟไซเรนพร้อมเสียงไซเรน และ โซลินอยด์วาล์วทำงาน

6) แอปพลิเคชันไลน์ เป็นแอปพลิเคชันที่ให้บริการ ส่งข้อความสั้นๆ ไปยังกลุ่มแชต ส่งข้อความ ภาพ คลิปวิดีโอ หรือจะพูดคุยโทรศัพท์แบบเสียงก็ได้ โดยข้อมูลที่ถูกส่งขึ้นไปนั้นไม่เสียค่าบริการ ทำหน้าที่รับข้อความแจ้งเตือนจากจอสัมผัส HMI ผ่านทางไลน์ โดยหลังเสร็จสิ้นการเชื่อมต่อกับจอสัมผัส HMI แล้ว จะได้รับการแจ้งเตือนจากบัญชีทางการของ LINE Notify ซึ่งให้บริการโดย แอปพลิเคชันไลน์

7) โซลินอยด์วาล์ว เป็นอุปกรณ์ที่ทำงานด้วยไฟฟ้าที่ใช้ควบคุมปริมาตรของของไหลที่ไหลผ่านท่อ ทำหน้าที่ควบคุมการ เปิด ปิดน้ำ เมื่ออุปกรณ์ตรวจจับความร้อน หรือ อุปกรณ์ตรวจจับควัน ส่งสัญญาณไปยัง PLC แล้ว จะได้รับคำสั่งจากบอร์ด PLC ให้โซลินอยด์วาล์วเริ่มทำงาน

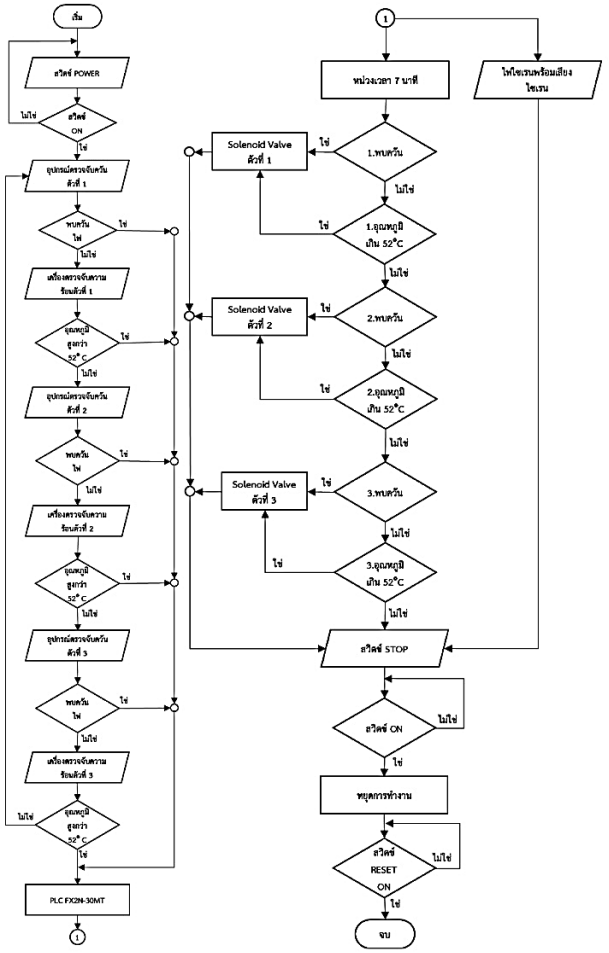
8) ไฟไซเรนพร้อมเสียงไซเรน เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ส่งสัญญาณแจ้งเตือนออกมาในรูปแบบ ของไฟแสงสว่างและสัญญาณเสียง ทำหน้าที่แสดงไฟแจ้งเตือนและส่งเสียงแจ้งเตือนเมื่ออุปกรณ์ตรวจจับความร้อนหรือ อุปกรณ์ตรวจจับควัน ส่งสัญญาณไปยัง PLC แล้ว จะได้รับคำสั่งจากบอร์ด PLC ให้ไฟไซเรนพร้อมเสียงไซเรนเริ่มทำงาน

2.2 ผังงานโปรแกรมของระบบป้องกันและควบคุมเหตุเพลิงไหม้ภายในบ้าน

ผังงานการทำงานของระบบป้องกันและควบคุมเหตุเพลิงไหม้ภายในบ้าน มีการออกแบบให้ผังงานแสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมของระบบป้องกันและควบคุมเหตุเพลิงไหม้ภายในบ้าน เพื่อให้ง่ายต่อการเขียนและสะดวกต่อการแก้ไขโปรแกรมในควบคุมการทำงานต่างๆ ของระบบป้องกันและควบคุมเหตุเพลิงไหม้ภายในบ้าน

1) ผังการทำงานของระบบป้องกันและควบคุมเหตุเพลิงไหม้ภายในบ้าน โดยมีหลักการทำงานดังนี้ เมื่อ ON สวิตช์ POWER ระบบป้องกันและควบคุมเหตุเพลิงไหม้ภายในบ้านจะเริ่มต้นการทำงาน โดยเมื่อเครื่องตรวจจับควันตัวใดตัวหนึ่ง จากจำนวน 3 ตัว ตรวจพบกลุ่มควันไฟได้ หรือ เครื่องตรวจจับความร้อนตัวใดตัวหนึ่ง จากจำนวน 3 ตัว ตรวจพบว่ามีอุณหภูมิสูงกว่า 52 °C จะทำการส่งสัญญาณไปยังอินพุต PLC จากนั้น PLC จะส่งสัญญาณเอาต์พุตไปยังไฟไซเรนพร้อมเสียง

ไซเรนจะเริ่มทำงาน ขณะเดียวกันที่อุปกรณ์จอสัมผัส HMI จะทำการส่งข้อความแจ้งเตือนไปยังห้องไลน์ที่ได้ติดตั้งไว้ โดยข้อความที่แสดง จะระบุถึงประเภทที่ตรวจพบว่าเป็นควันไฟ หรือค่าความร้อน ณ ที่ติดตั้งอุปกรณ์ ได้แก่ตำแหน่งห้องครัว ห้องนั่งเล่นหรือห้องนอนได้ พร้อมทั้งเริ่มจับเวลา ถ้าหากไม่มีการกดสวิตช์ STOP ภายในระยะเวลาที่กำหนดไว้ในตัว PLC ภายในเวลา 7 นาที PLC จะส่งสัญญาณไปยังตัวระบบกระจายน้ำจะเริ่มทำงานที่ตัวโซลินอยด์วาวล์ที่ได้ติดตั้งไว้ ณ ตำแหน่งที่ตรวจพบกลุ่มควันไฟ หรือความร้อน ให้ใดห้องหนึ่ง จากทั้งหมด 3 ห้อง แต่ถ้าหากมีการกดสวิตช์ STOP ภายในระยะเวลา 7 นาทีนี้ PLC จะหยุดส่งสัญญาณไฟไซเรนพร้อมดับเสียงไซเรนและระบบกระจายน้ำ(โซลินอยวาล์ว) จะหยุดการทำงาน ตรวจสอบว่าไม่มีอุปกรณ์ในระบบป้องกันและควบคุมเหตุเพลิงไหม้ภายในบ้านทำงานอยู่ เมื่อกดสวิตช์ RESET ระบบป้องกันและควบคุมเหตุเพลิงไหม้ภายในบ้านจะจบการทำงาน ดังรูปที่ 2

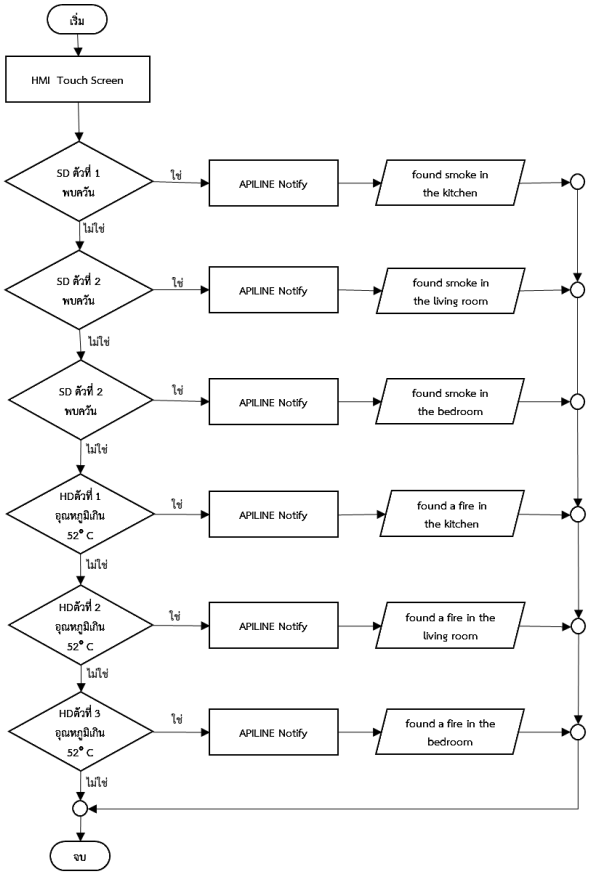


รูปที่ 2 ผังงานการทำงานของระบบป้องกันและควบคุมเหตุเพลิงไหม้ภายในบ้าน

ผังงานการทำงานการแจ้งเตือนของระบบป้องกันและควบคุมเหตุเพลิงไหม้ภายในบ้าน รูปที่ 3 โดยมีหลักการทำงานดังนี้ เมื่อเครื่องตรวจจับควัน หรือ เครื่องตรวจจับควันความร้อน ตรวจพบควัน หรือ พบว่าอุณหภูมิสูงกว่า 52 °C จอสัมผัส HMI จะทำการส่งสัญญาณติดต่อเข้ากับ Access Token และใช้ APILINE Notify ส่งข้อความที่กำหนดไว้ ดังรูปที่ 3

การสื่อความหมายที่อุปกรณ์ตรวจจับกลุ่มควันไฟ, อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนเกิน 52°C และข้อความที่ปรากฏในแอปพลิเคชันไลน์ มีความหมายดังต่อไปนี้

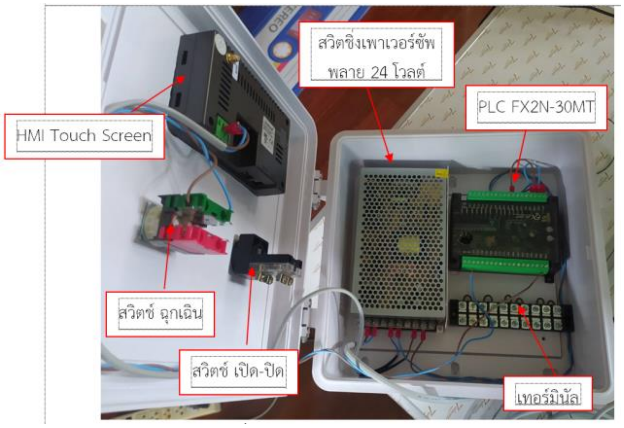
- เมื่ออุปกรณ์ตรวจจับควันไฟ ตำแหน่งติดตั้งในห้องครัวทำงาน ที่แอปพลิเคชันไลน์จะแสดงข้อความเตือน “found smoke in the kitchen”
- เมื่ออุปกรณ์ตรวจจับควันไฟ ตำแหน่งติดตั้งในห้องนั่งเล่นทำงาน ที่แอปพลิเคชันไลน์จะแสดงข้อความเตือน “found smoke in the living room”
- เมื่ออุปกรณ์ตรวจจับควันไฟ ตำแหน่งติดตั้งในห้องนอนทำงาน ที่แอปพลิเคชันไลน์จะแสดงข้อความเตือน “found smoke in the bedroom”



รูปที่ 3 ผังงานการแจ้งเตือนของระบบป้องกันและควบคุมเหตุเพลิงไหม้ภายในบ้าน

- เมื่ออุปกรณ์ตรวจจับความร้อน ตำแหน่งติดตั้งในห้องครัวทำงาน ที่แอปพลิเคชันไลน์จะแสดงข้อความเตือน “found a fire in the kitchen”
- เมื่ออุปกรณ์ตรวจจับความร้อน ตำแหน่งติดตั้งในห้องนั่งเล่นทำงานที่แอปพลิเคชันไลน์จะแสดงข้อความเตือน “found a fire in the living room”
- เมื่ออุปกรณ์ตรวจจับความร้อน ตำแหน่งติดตั้งในห้องนอนทำงานที่แอปพลิเคชันไลน์จะแสดงข้อความเตือน “found a fire in the bedroom”

2.3 โครงสร้างของเครื่องระบบป้องกันและควบคุมเหตุเพลิงไหม้ภายในบ้าน



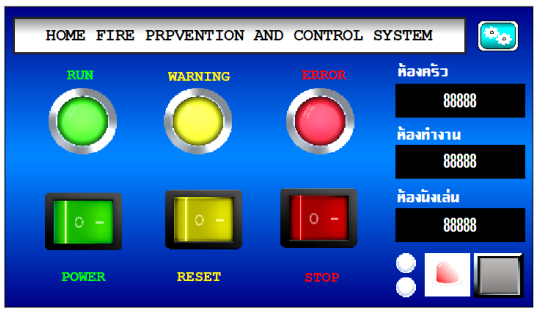
(ก) อุปกรณ์ต่างๆ ภายในกล่อง



(ข) อุปกรณ์ต่างๆ ภายนอกกล่อง

รูปที่ 4 โครงสร้างเครื่องระบบป้องกันและควบคุมเหตุเพลิงไหม้ภายในบ้าน

โครงสร้างของเครื่องระบบป้องกันและควบคุมเหตุเพลิงไหม้ภายในบ้าน แสดงดังในรูปที่ 4 การเขียนคำสั่งต่างๆ ในการอัพโหลดเข้าอุปกรณ์ จะมี 2 ส่วนคือ ส่วนที่ 1 คำสั่ง Ladder จะใช้โปรแกรม GX Work 2 และส่วนที่ 2 การสร้างสวิตช์ปุ่มกดและแสดงผลผ่านหน้าจอควบคุมการทำงานผ่านจอสัมผัส HMI จะใช้โปรแกรม AK workshop ดังรูปที่ 5 แสดงหน้าจอสัมผัส HMI ทั้ง 4 หน้าจอที่สร้างขึ้นพร้อมใช้งาน พร้อม download ลงตัวจอสัมผัส HMI



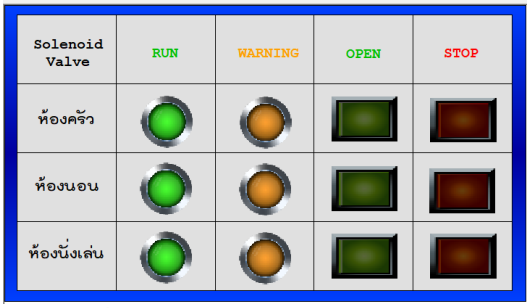
(ก) หน้าที่ 1 หน้าจอหลัก HMI



(ข) หน้าที่ 2 หน้าจอย่อย HMI แสดงสภาวะตัวตรวจจับกลุ่มควันไฟ



(ค) หน้าที่ 3 หน้าจอย่อย HMI แสดงสภาวะตัวตรวจจับความร้อน



(ง) หน้าที่ 4 หน้าจอย่อย HMI แสดงสภาวะตัวโซลินอยด์

รูปที่ 5 หน้าจอสัมผัส HMI ทั้ง 4 หน้าจอ

3. การทดสอบ

ในการทดลองระบบป้องกันและควบคุมเหตุเพลิงไหม้ภายในบ้านจะทำการติดตั้งและทดสอบการทำงานของระบบป้องกันและควบคุมเหตุเพลิงไหม้ภายในบ้าน โดยจะแยกทดสอบการทำงานของแต่ละอุปกรณ์ ได้แก่การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับควันและอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน

3.1 การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับควัน



รูปที่ 6 จับเวลาการตรวจจับควันด้วยธูป 1 ดอก

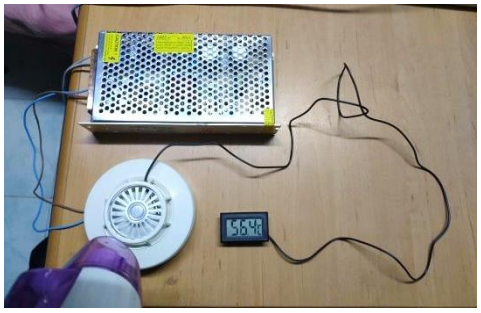
การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับควันดังรูปที่ 6 เป็นการหาประสิทธิภาพของอุปกรณ์ตรวจจับควัน จะทำการทดลองโดยการนำธูปมาใช้เป็นตัวสร้างปริมาณควันมีระยะห่างระหว่างธูปและอุปกรณ์ตรวจจับควันประมาณ 50 เซนติเมตร ใช้นาฬิกาแบบดิจิตอลเป็นตัวจับเวลา ตั้งแต่ธูปเริ่มสร้างควันจนกว่าอุปกรณ์ตรวจจับควันจะสามารถตรวจพบควันไฟได้ โดยเมื่ออุปกรณ์ตรวจจับควันตรวจพบควันไฟ ไฟ LED บนตัวอุปกรณ์จะกระพริบขึ้น เริ่มต้นการทดสอบโดยใช้ธูปตั้งแต่ 1 ดอก และเพิ่มขึ้นที่ละ 1 ดอก จนถึง 5 ดอก ทำการทดสอบทั้งหมดอย่างละ 2 ครั้ง จากตารางที่ 1 เวลาเฉลี่ยที่อุปกรณ์ตรวจจับควันสามารถตรวจพบควันได้ โดยใช้ธูป 1 ดอกจะมีเวลาอยู่ที่ 28:19 นาที ธูป 2 ดอกจะมีเวลาอยู่ที่ 13:32 นาที ธูป 3 ดอกจะมีเวลาอยู่ที่ 10:05 นาที ธูป 4 ดอกจะมีเวลาอยู่ที่ 04:42 นาที และ ธูป 5 ดอกจะมีเวลาอยู่ที่ 02:58 นาที

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับควัน

จำนวนธูป	เวลาที่ตรวจพบควัน ครั้งที่ 1 (นาที)	เวลาที่ตรวจพบควัน ครั้งที่ 2 (นาที)	ค่าเฉลี่ย
1	27:25	29:12	28:19
2	13:50	13:18	13:32
3	09:37	10:33	10:05
4	04:35	04:49	04:42
5	03:19	02:36	02:58

3.2 การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน

จากการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน ดังรูปที่ 7 เพื่อให้ทราบว่าอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนมีประสิทธิภาพหรือไม่ โดยจะนำไดร์เป่าผมมาทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น และสังเกตว่าอุณหภูมิเท่าไหร่ที่จะทำให้อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนทำงาน โดยสังเกตจากหลอดไฟ LED บนตัวอุปกรณ์จะติดสว่างขึ้น ซึ่งจะใช้เครื่องวัดอุณหภูมิเป็นตัววัดค่าความร้อน โดยเมื่อมีอุณหภูมิสูงเกินกว่าที่กำหนดและอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนทำงาน จะสังเกตอุณหภูมิที่อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนเริ่มทำงาน จากการทดลอง 5 ครั้ง ผลจากตารางที่ 2 คือ การทดลองครั้งที่ 1 อุณหูมิที่อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนทำงานอยู่ที่ 59.5 °C ครั้งที่ 2 อยู่ที่ 60.2 °C ครั้งที่ 3 อยู่ที่ 56.4 °C ครั้งที่ 4 อยู่ที่ 58.6 °C ครั้งที่ 5 อยู่ที่ 61.1 °C โดยอุณหูมิที่อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนทำงานจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 59.2 °C



รูปที่ 7 ไฟ LED สีแดงแสดงการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน

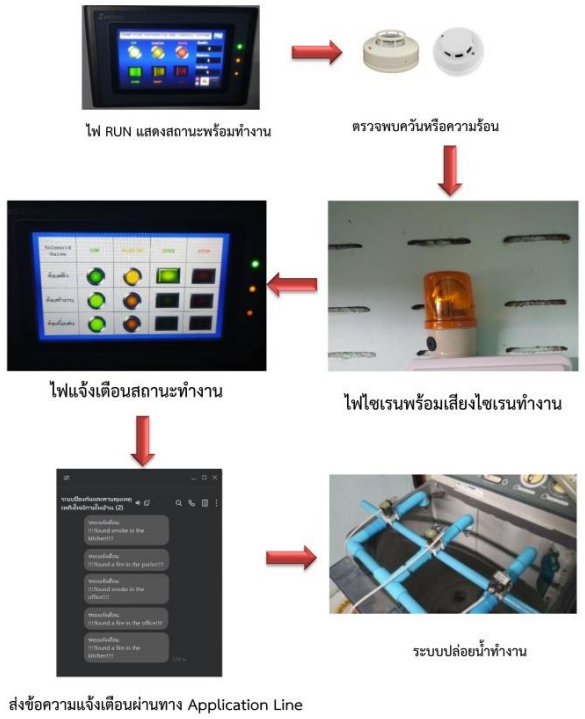
ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน

ครั้งที่	อุณหูมิที่อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนทำงาน
1	59.5 °C
2	60.2 °C
3	56.4 °C
4	58.6 °C
5	61.1 °C
ค่าเฉลี่ย	59.2 °C

3.3 การทดสอบประสิทธิภาพของระบบป้องกันและควบคุมเหตุเพลิงไหม้ภายในบ้าน

เมื่ออุปกรณ์ตรวจจับควันสามารถตรวจพบควัน หรือ อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนสามารถตรวจพบความร้อน ระบบป้องกันและควบคุมเหตุเพลิงไหม้ภายในบ้านจะเริ่มทำงาน จากนั้นไฟไซเรนพร้อมเสียงไซเรน และไฟแจ้งเตือนสถานะจะเริ่มทำงาน พร้อมส่งข้อความแจ้งเตือนผ่านทาง Application line ทำการหน่วยเวลา 7 นาที เพื่อสั่งการให้ระบบปล่อยน้ำเริ่มทำงาน โดยจะติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับควัน อุปกรณ์ตรวจจับความร้อน และระบบปล่อยน้ำไว้ทั้งหมด 3 ตำแหน่งดังรูปที่ 8

ตารางที่ 3 เป็นการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบป้องกันและควบคุมเหตุเพลิงไหม้ภายในบ้าน สามารถทำได้ตามที่ออกแบบไว้ โดยจะให้อุปกรณ์ตรวจจับควันและอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนในแต่ละบริเวณส่งสัญญาณให้ระบบป้องกันและควบคุมเหตุเพลิงไหม้ภายในบ้านทำงาน และสังเกตว่าในแต่ละขั้นตอนของระบบป้องกันและควบคุมเหตุเพลิงไหม้ภายในบ้านสามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง



รูปที่ 8 ทดสอบประสิทธิภาพของระบบป้องกันและควบคุมเหตุเพลิงไหม้ภายในบ้าน

ตารางที่ 3 ทดสอบประสิทธิภาพของระบบป้องกันและควบคุมเหตุเพลิงไหม้ภายในบ้าน

อุปกรณ์	ไฟไซเรนพร้อมเสียงไซเรน	ไฟแจ้งเตือนสถานะ	การแจ้งเตือนผ่านLine	ระบบปล่อยน้ำ
เครื่องตรวจควันภายในห้องครัว	✓	✓	✓	✓
เครื่องตรวจควันภายในห้องทำงาน	✓	✓	✓	✓
เครื่องตรวจควันภายในห้องนั่งเล่น	✓	✓	✓	✓
เครื่องตรวจความร้อนภายในห้องครัว	✓	✓	✓	✓
เครื่องตรวจความร้อนภายในห้องทำงาน	✓	✓	✓	✓
เครื่องตรวจความร้อนภายในห้องนั่งเล่น	✓	✓	✓	✓

หมายเหตุ เครื่องหมาย ✓ คือ ระบบทำงานปกติ
เครื่องหมาย × คือ ระบบไม่ทำงาน

ซึ่งจะทดสอบทุกขั้นตอนของระบบ ได้แก่ ไฟไซเรนพร้อมเสียงไซเรน ไฟแจ้งเตือนสถานะ ข้อความแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ และระบบปล่อยน้ำ จากตารางที่ 3 เป็นสรุปผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบป้องกันและควบคุมเหตุเพลิงไหม้ภายในบ้าน สรุปได้ว่าระบบป้องกันและควบคุมเหตุเพลิงไหม้ภายในบ้านทุกขั้นตอนสามารถทำงานได้ปกติ ประสิทธิภาพการทำงานของระบบป้องกันและควบคุมเหตุเพลิงไหม้ภายในบ้านทำงานได้เป็นไปตามที่ต้องการ

4. บทสรุป

ระบบควบคุมและป้องกันเพลิงไหม้ภายในบ้าน การทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับควันจะใช้ธูป 5 ดอก เฉลี่ยเวลาอยู่ที่ 02:58 นาทีในการทำให้อุปกรณ์ตรวจจับควันทำงาน และอุณหภูมิที่จะทำให้อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนทำงานมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 59.2°C เมื่ออุปกรณ์ตรวจจับควันตรวจพบควัน หรือ อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนตรวจพบความร้อน LED สีแดงที่ตัวอุปกรณ์จะสว่างขึ้น ไฟไซเรนพร้อมเสียงไซเรน ไฟแจ้งเตือนสถานะ การแจ้งเตือนผ่าน Line และระบบปล่อยน้ำ สามารถทำงานได้ตามปกติ สวิตช์ควบคุมการทำงานต่างๆของระบบสามารถทำงานได้ตามปกติ และการทำงานของระบบควบคุมและป้องกันเพลิงไหม้ภายในบ้านสามารถทำได้ปกติทุกขั้นตอน ระบบจะหยุดทำงานเมื่อกดปุ่มสวิตช์ฉุกเฉิน แต่อุปกรณ์ตรวจจับควันและอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนจะยังสามารถทำงานได้เหมือนเดิมโดยที่ระบบควบคุมและป้องกันเพลิงไหม้ภายในบ้านจะไม่ทำงาน

เอกสารอ้างอิง

[1] มุกระวี มะดะเรส, “ระบบเฝ้าระวังเหตุเพลิงไหม้ในอาคาร,” Journal of Information Science and Technology (JIST), Vol.8, No.2, JUL-DEC, pp. 56-64, 2018.

[2] สยามออโตเมชัน, “Programmable Logic Controller (PLC) คืออะไร,” SIAM-AUTOMTIN, สืบค้นเมื่อ 30 มกราคม, 2565, http://www.siam-automation.com/article/2/programmable-logic-controller-plc-คืออะไร.

[3] ร้านอินดี้ ซัพพลาย, “SAMKOON AK-043AW HMI 4.3" (WIFI),” indy supply , สืบค้นเมื่อ 30 มกราคม, 2565, https://www.indy-supply.com/product/347/samkoon-ak-043aw-hmi-4-3-wifi.

[4] บจก.แชมป์มาร์เก็ตติ้ง, “CL-181 เครื่องตรวจจับความร้อนชนิด Fixed Temp 57°C ,24VDC ,2-wire,” Champ Marketing Co.,Ltd. สืบค้นเมื่อ 30 มกราคม, 2565, http://www.champmarketing.com/products/Alarm-System/Conventional/Heat-Detectors/CL-181-Fixed-Temp-Heat-Detector.html.

[5] บริษัท นูเมนส์ (ประเทศไทย) จำกัด, “Smork Detector SKU : Model. SCN-300-S2,” สืบค้นเมื่อ 10 เมษายน, 2566, https://www.numensthailand.com/product/15305-15067/smoke-detector.

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

เครื่องเพาะเห็ดนางฟ้าควบคุมด้วยระบบเสียงแบบ IOT

The Fairy Mushroom Cultivation Machine Controlled by IOT Sound Systems

คชพงศ์ สุมานนท์[1*] พลกฤษณ์ จริยตันติเวทย์[1] อานนท์ สิงห์เสถียร[2] และเวทรินทร์ ธัญสิประเสริฐ[2]

[1]อาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร E-mail: kotchapong.s@rmutp.ac.th

[2]อาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร E-mail: wetarin.t@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอเครื่องเพาะเห็ดนางฟ้าควบคุมด้วยระบบเสียงแบบ IOT ซึ่งคุณลักษณะของเครื่องนี้สามารถเพาะปลูกเห็ดในพื้นที่จำกัด มีโหมดการทำงานอยู่ 2 โหมด คือ โหมดอัตโนมัติ และโหมดใช้เสียงควบคุม ซึ่งโหมดอัตโนมัติทำการรักษาอุณหภูมิในช่วง 28 °C -32°C และความชื้นที่ 75%-80% ส่วนโหมดใช้เสียงควบคุมจะออกเสียงประโยควลี เพื่อควบคุมการปิดเปิดปั๊ม และพัดลมดูดอากาศทั้ง 4 ตัว

นอกจากนี้ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องเพาะเห็ดที่นำเสนอได้ใช้เวลาเฉลี่ยที่แตกต่างกัน ระหว่างโหมดใช้เสียงควบคุมกับโหมดอัตโนมัติ ซึ่งผลต่างเวลาเฉลี่ยเริ่มเปิดปั๊มน้ำผ่าน Blynk ประมาณ 3.71 sec ผลต่างเวลาเฉลี่ยเริ่มเปิดพัดลมคู่แรก ที่ 5.31 sec และผลต่างเวลาเฉลี่ยเริ่มเปิดพัดลมคู่ที่สอง ที่ 5.58 sec แต่อย่างไรก็ตาม ผลต่างเวลาเฉลี่ยเริ่มปิด ปั๊มน้ำ พัดลมคู่แรกและพัดลมคู่ที่ สอง เริ่มหยุดทำงานที่ 5.32 sec 6.64 sec และ4.49 sec ตามลำดับ

คำสำคัญ : โหนดเอ็มซียู; ระบบเสียง; เห็ดนางฟ้า

Abstract

This article presents the automatic controller machine via Iot sounding system for a fairy mushroom plant. The highlight characteristics of this machine is illustrated to cultivate within an investigation area which compose the multi-function modes such as, the first that on the automatic mode: which can define the constant temperature based on 28-32 celsius and the range of relative humidity as 75-80 percents. the second, is shown that the sounding controller mode: it is utilized voice control for tum on / turn off the water pump and 4 of the ventilation fans respectively.

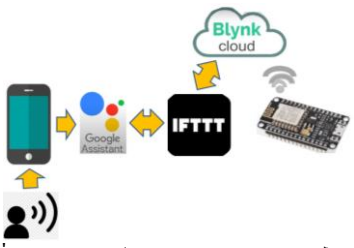
Moreover, the testing performance of this machine can be demonstrated based on the difference of average time via Blynk (between the automatic and the sounding mode). As mentioned above, the effective of machine is evaluated through the measuring results of the difference of average time (DAT) as follows: the DAT of starting water pump as shown on 3.71 second, the DAT of starting for number 1 with number 2 and number 3 with number 4 of the ventilation fans are 5.31 and 5.58 second. However, these are initially turned off based on the DAT as 5.32, 6.64, and 4.49 second respectively.

Keywords: nodemcu; sounding system; fairy mushroom

1. บทนำ

ในปัจจุบันพบว่าคนไทยนิยมบริโภคเห็ดในปริมาณที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเห็ดมีคุณค่าทางอาหารและใช้เป็นยารักษาโรค พร้อมกับยังสร้างรายได้เสริมให้กับครัวเรือน ซึ่งมีนักวิจัยหลายกลุ่มให้ความสนใจในการเพาะปลูกเห็ดแบบใหม่ โดยใช้ระบบ IOT [1] และการเพาะปลูกเห็ดแบบใหม่ ได้มีการประยุกต์ใช้พลังงานสะอาด เพื่อมาป้อนให้กับระบบการเพาะเห็ดใน [2] จึงทำให้ประหยัดพลังงาน แต่อย่างไรก็ตาม พื้นที่การเพาะเห็ดใน [1] จะใช้พื้นที่การปลูกมาก ไม่เหมาะกับบริเวณพื้นที่คอนโดมิเนียม หรือ อพาร์ทเม้นท์ อีกทั้งเมื่อพิจารณาบทความใน [3] จะทำให้เกิดแนวคิดและการนำเสียงมาประยุกต์ใช้ในการเปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้า นั่นจึงเป็นเหตุผลที่สนใจจะนำเสียงมาประยุกต์ใช้ในการเพาะเห็ด

ดังนั้นในบทความนี้นำเสนอ “เครื่องเพาะเห็ดนางฟ้าควบคุมด้วยระบบเสียงแบบ IOT” ซึ่งข้อได้เปรียบของเครื่องที่นำเสนอสามารถแบ่งโหมดการทำงานออกเป็น 2 โหมด เงื่อนไข 1) โหมดอัตโนมัติ 2) โหมดที่ใช้เสียงควบคุม โดยโหมด 1) จะทำงานแบบอัตโนมัติได้ด้วยการตั้งพารามิเตอร์ช่วงอุณหภูมิ ส่วนโหมด 2) เป็นโหมดที่ต้องการให้น้ำเห็ดบ่อยครั้ง มากกว่าเดิม โดยการออกเสียง "ประโยควลี" และใช้เสียงควบคุมการปิด-เปิดพัดลม ซึ่งพัดลมนี้จะคอยรักษาอุณหภูมิและความชื้นให้กับตัวเครื่องเพาะเห็ดได้อย่างเหมาะสม พร้อมทั้งโครงสร้างภายในจะมีการป้องกันแมลงหวี่โดยใช้พลาสติกใสห่อหุ้ม ซึ่งแมลงหวี่นั้นจะเป็นสาเหตุที่ทำให้เห็ดเน่าเกิดการเสียได้ พร้อมทั้งตัวเครื่องนี้มีระบบน้ำหมุนเวียนได้จาก การทำงานของปั๊มน้ำที่อยู่ในภาชนะใส่น้ำ ดังนั้นหลักการทำงานของโหมดเสียงควบคุมจะใช้แอปพลิเคชั่น Google Assistant ในมือถือนั่นเอง



รูปที่ 1 หลักการใช้เสียงพูดควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า

จากรูปที่ 1 หลักการใช้เสียงควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้านั้นจะประกอบไปด้วยส่วนต่างๆดังต่อไปนี้

1) เสียงจากมนุษย์ มีหน้าที่ แหล่งกำเนิดเสียงที่เปล่งออกมาเป็นประโยควลีสั้นๆ

2) โทรศัพท์เคลื่อนที่ชนิดแอนดรอย์มีหน้าที่ ติดต่อแอพปลิเคชั่น Blynk กับ แอปพลิเคชัน Google Assistant และ แอปพลิเคชัน IFTTT

3) แอปพลิเคชัน Google Assistant ทำหน้าที่ระบบสั่งงานด้วยเสียงจากคำพูดของมนุษย์ ปกติแล้วระบบนี้จะอยู่ในมือถือแอนดรอยด์ หรือใช้งานกับ IOS ได้เช่นกันอีกทั้งข้อดีที่เหนือกว่าแอปอื่นๆ เช่น Apple Siri, Samsung Bixby, Google Now, Amazon Alexa แต่นั่นก็เป็นการใช้งานที่ค่อนข้างจำกัด ดังนั้น Google Assistant นี้สามารถแยกเสียงคน และเสียงภายนอกได้

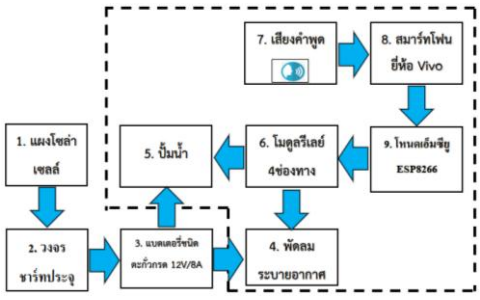
4) แอปพลิเคชัน IFTTT ย่อมาจาก IF This Then That : คือบริการออนไลน์ที่ช่วยให้ผู้ ใช้สามารถตั้งค่าการทำงานได้อย่างยืดหยุ่นตามเงื่อนไขที่เราต้องการ

5) แอพปลิเคชัน Blynk ทำหน้าที่แสดงผลของข้อมูลออกเป็นกราฟแบบเวลาจริง (Real time) และบันทึกข้อมูลไปเก็บไว้บนคลาวน์

6) โหนดเอ็มซียู V3 ทำหน้าที่ รับข้อมูลเพื่อไปประมวลผลสัญญาณสำหรับควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆต่อไป

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการทำงานของเครื่องเพาะเห็ดนางฟ้าควบคุมด้วยระบบเสียงแบบ IOT

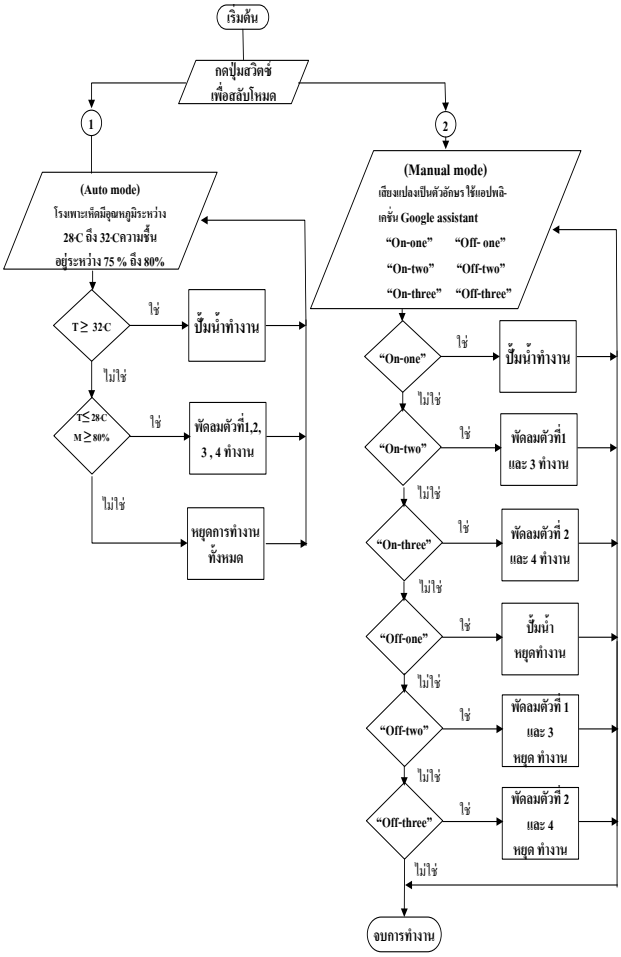


รูปที่ 2 บล็อกไดอะแกรมเครื่องเพาะเห็ดนางฟ้าควบคุมด้วยระบบเสียงแบบ IOT

จากรูปที่ 2 เมื่อพิจารณาบล็อกการทำงานดังต่อไปนี้ เริ่มจากแผงโซล่าเซลล์เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง โดยวงจรชาร์ทประจุ จะชาร์ทกระแสไฟฟ้าให้มีปริมาณเพิ่มขึ้น ก่อนไปกักเก็บพลังงานที่แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด 12V/8A ในขณะเดียวกัน ปั๊มน้ำ และพัดลมาระบายอากาศจะทำตามสถานะการปิด-เปิดของโมดูรีเลย์ ทั้ง 4 ช่องทาง ซึ่งการทำงานทั้งหมดจะถูกควบคุมด้วยโหนดเอ็มซียู ESP8266 โดยการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์นี้จะรับสัญญาณผ่านมือถือที่ผู้ใช้เป็นคนออกเสียงที่ต้องการไว้

2.2 ทางด้านซอฟท์แวร์ของตัวเครื่อง

แผนผังการทำงานของเครื่องเพาะเห็ดนางฟ้าควบคุมด้วยระบบเสียงแบบ IOT ได้แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนผังเครื่องเพาะเห็ดนางฟ้าควบคุมด้วยระบบเสียงแบบ IOT

จากรูปที่ 3 แผนผังของเครื่องเพาะเห็ดที่นำเสนอจะแบ่งโหมดการทำงานออกเป็น 2 โหมดด้วยกัน คือ โหมดอัตโนมัติ และโหมดที่ใช้เสียงควบคุมอุปกรณ์ ซึ่งโหมดอัตโนมัติจะรักษาอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 28°C ถึง 32 °C ถ้าอุณหภูมิมากกว่า 32 °C ปั๊มน้ำก็จะทำงานแล้วก็ดูดน้ำสำหรับพ่นน้ำไปที่กลุ่มก้อนเห็ด แต่เมื่ออุณหภูมิน้อยกว่า 28°C พัดลมระบายอากาศทั้งสี่ก็ทำงานเพื่อรักษาอุณหภูมิและความชื้นให้คงที่ ส่วนอีกโหมดหนึ่ง คือ โหมดที่ใช้เสียงควบคุมอุปกรณ์ผ่านทาง Google assistant โดยโหมดนี้จะออกเสียงตามประโยควลีภาษาอังกฤษ เช่นพูดเสียง “One-on” จนถึง “Off-three”ในการควบคุมอุปกรณ์ด้วยรีเลย์ในการปิด-เปิดปั๊มน้ำ และพัดลมระบายอากาศทั้ง 4 ตัว สำหรับการปลูกเห็ดตามลำดับ



รูปที่ 4 เครื่องเพาะเห็ดนางฟ้าควบคุมด้วยระบบเสียงแบบ IOT (ในทางปฏิบัติ)

จากรูปที่ 4 อุปกรณ์ที่ใช้เป็นส่วนประกอบของการทำเครื่องเพาะเห็ดนางฟ้าควบคุมด้วยระบบเสียงแบบ IOT จะมีชิ้นส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้ 1) แผงโซล่าเซลล์ ทำหน้าที่ แปลงพลังงานแสงแดดไปเป็นไฟฟ้ากระแสตรง 2)กล่องควบคุม ทำหน้าที่ บรรจุวงจรต่างๆและตัวประมวลผล 3) พัดลมระบายอากาศ ทำหน้าที่ เป็นอุปกรณ์คอยระบายอากาศและรักษาอุณหภูมิและความชื้นในเครื่องเพาะเห็ดให้อยู่ในช่วงที่ได้ออกแบบไว้ 4) ก้อนเห็ดนางฟ้าทำหน้าที่ เป็นภาชนะมีไว้ทำให้เห็ดเกาะและเป็นแหล่งอาหารสำหรับเห็ด 5) ภาชนะใส่น้ำ ทำหน้าที่ กักเก็บน้ำเพื่อใช้สำหรับรดเห็ดตอนที่ความชื้นลดลง 6) ปั๊มน้ำไฟฟ้ากระแสตรง ทำหน้าที่ดูดน้ำขึ้นมาจากภาชนะใส่น้ำสำหรับพ่นน้ำให้เห็ดนั่นเอง

2.3 ขั้นตอนการทดลอง

ในหัวข้อนี้ได้ทำการทดลองเพื่อหาสมรรถนะของตัวเครื่องเพาะเห็ดที่นำเสนอ โดยการทดลองนี้จะถูกแบ่งโหมดการทำงานออกเป็น 2 โหมด คือ 1)โหมดแบบอัตโนมัติ (Auto mode) และ 2) โหมดแบบทำด้วยมือ หรือโหมดที่ใช้เสียงควบคุม (Manual mode)

ขั้นตอนการทดลองปรับเปลี่ยนโหมดผ่านแอปพลิเคชั่น Blynk

1) ปรับโหมดในแอปพลิเคชั่น Blynk ให้เป็น โหมดทำงานอัตโนมัติ (Auto) ดังรูปที่ 5 (ก) หน้าจอบนตัวเครื่องจะเป็นดังรูปที่ 5 (ข)





(ข) ด้านหน้าตัวเครื่อง เป็นโหมดทำงานอัตโนมัติ

(ก) แอปพลิเคชั่น Blynk เป็นโหมดทำงานอัตโนมัติ

รูปที่ 5 ปรับโหมดในแอปพลิเคชั่น Blynk เป็นโหมดอัตโนมัติ

2) ปรับโหมดในแอปพลิเคชั่น Blynk ให้เป็น โหมดทำงานด้วยมือหรือเสียง (Manual) ดังรูปที่ 6 (ก) หน้าจอบนตัวเครื่องจะเป็นดังรูปที่ 6 (ข)





(ข) ด้านหน้าตัวเครื่อง เป็นโหมดทำงานด้วยมือ(Manual)หรือเสียง

(ก) แอปพลิเคชั่น Blynk เป็นโหมดทำงานด้วยมือหรือเสียง

รูปที่ 6 ปรับโหมดแอปพลิเคชั่น Blynk เป็นโหมดทำด้วยมือ หรือเสียง

2.4 การทดสอบสมรรถนะเครื่องเพาะเห็ดนางฟ้าที่นำเสนอ

จากเครื่องเพาะเห็ดนางฟ้าที่นำเสนอมีคุณสมบัติต่างจากการเพาะเห็ดแบบธรรมดา คือ มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นแบบอัตโนมัติ ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตเห็ดชนิดนี้ [4] แต่ในบทความนี้จะพิจารณาการทดสอบความไวของอุปกรณ์ที่ใช้ภายในเครื่องเช่น ปั๊มน้ำ (PUMP) พัดลมตัวที่ 1 (FAN 1) และพัดลมตัวที่ 2 (FAN 2) ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ทดสอบความไว ปั๊มน้ำ ผ่าน Blynk ที่ปุ่มกด PUMP (มือถือ)

จำนวนทดลองครั้งที่	กดปุ่มชื่อ PUMP		จับเวลาปั๊มน้ำเริ่มทำงาน(sec)	จำนวนทดลองครั้งที่	กดปุ่มชื่อ PUMP		จับเวลาปั๊มน้ำหยุดทำงาน(sec)
1	OFF	ON	1.05	1	ON	OFF	0.85
2	OFF	ON	0.98	2	ON	OFF	0.79
3	OFF	ON	0.84	3	ON	OFF	0.68
4	OFF	ON	0.76	4	ON	OFF	0.62
ค่าเฉลี่ย			0.91	ค่าเฉลี่ย			0.74

ตารางที่ 2 ทดสอบความไวพัดลมดูดอากาศเข้า (FAN1) ผ่าน Blynk ที่ปุ่มกด FAN1 (มือถือ)

จำนวนทดลองครั้งที่	กดปุ่มชื่อ FAN1		จับเวลาพัดลมเริ่มทำงาน(sec)	จำนวนทดลองครั้งที่	กดปุ่มชื่อ FAN1		จับเวลาพัดลมหยุดทำงาน(sec)
1	OFF	ON	1.15	1	ON	OFF	0.9
2	OFF	ON	0.98	2	ON	OFF	0.84
3	OFF	ON	1.05	3	ON	OFF	0.78
4	OFF	ON	0.93	4	ON	OFF	0.72
ค่าเฉลี่ย			1.03	ค่าเฉลี่ย			0.81

ตารางที่ 3 ทดสอบความไวของพัดลมดูดอากาศออก (FAN2)ผ่าน Blynk ที่ปุ่มกด FAN 2 (มือถือ)

จำนวนทดลองครั้งที่	กดปุ่มชื่อ FAN2		จับเวลาพัดลมเริ่มทำงาน(sec)	จำนวนทดลองครั้งที่	กดปุ่มชื่อ FAN2		จับเวลาพัดลมหยุดทำงาน(sec)
1	OFF	ON	1.02	1	ON	OFF	0.95
2	OFF	ON	0.93	2	ON	OFF	0.69
3	OFF	ON	0.81	3	ON	OFF	0.73
4	OFF	ON	0.60	4	ON	OFF	0.60
ค่าเฉลี่ย			0.84	ค่าเฉลี่ย			0.74

ตารางที่ 4 ทดสอบความไวของปั๊มน้ำด้วยการออกเสียงว่า On- one และ Off -one ที่แอป Google assistant ที่มือถือ

จำนวนทดลองครั้งที่	ออกเสียงว่า “ ”	จับเวลาปั๊มน้ำเริ่มทำงาน(sec)	จำนวนทดลองครั้งที่	ออกเสียงว่า “ ”	จับเวลาเมื่อปั๊มน้ำหยุดทำงาน(sec)
1	On one	4.53	1	Off one	5.72
2	On one	4.92	2	Off one	5.63
3	On one	4.59	3	Off one	5.98
4	On one	4.43	4	Off one	5.53
ค่าเฉลี่ย		4.62	ค่าเฉลี่ย		5.72

ตารางที่ 5 ทดสอบการเปิด-ปิดพัดลมดูดอากาศ (FAN 1) ด้วยการออกเสียงว่า On- two และ Off- two ที่แอป Google assistant ที่มือถือ

จำนวนทดลองครั้งที่	ออกเสียงว่า “ ”	จับเวลา FAN1 เริ่มทำงาน(sec)	จำนวนทดลองครั้งที่	ออกเสียงว่า “ ”	จับเวลา FAN1 หยุดทำงาน(sec)
1	On two	6.45	1	Off two	7.40
2	On two	6.32	2	Off two	7.46
3	On two	6.30	3	Off two	7.35
4	On two	6.29	4	Off two	7.32
ค่าเฉลี่ย		6.34	ค่าเฉลี่ย		7.38

ตารางที่ 6 ทดสอบการเปิด-ปิดพัดลมดูดอากาศ (FAN 2) ด้วยการออกเสียงว่า On- three และ Off -three ที่แอป Google assistant ที่มือถือ

จำนวนทดลองครั้งที่	ออกเสียงว่า “ ”	จับเวลา FAN2 เริ่มทำงาน(sec)	จำนวนทดลองครั้งที่	ออกเสียงว่า “ ”	จับเวลา FAN2 หยุดทำงาน(sec)
1	On three	6.54	1	Off three	5.35
2	On three	6.38	2	Off three	5.30
3	On three	6.42	3	Off three	5.29
4	On three	6.33	4	Off three	5.23
ค่าเฉลี่ย		6.42	ค่าเฉลี่ย		5.29

จากตารางที่ 1 ได้ทดสอบความไวของปั๊มน้ำที่โหมดอัตโนมัติเริ่มจากทดสอบกดปุ่ม PUMP (มือถือ) จาก OFF ไปเป็น ON ดังรูปที่ 5 (ก) ซึ่งผลการทดสอบค่าเวลาเฉลี่ยที่ปั๊มน้ำเริ่มทำงาน 0.91 sec และเมื่อกดปุ่ม ON ไปเป็น OFF ค่าเวลาเฉลี่ยที่ปั๊มน้ำเริ่มหยุดทำงาน 0.74 sec ส่วนตารางที่ 2 ทำการทดสอบความไวของพัดลมดูดอากาศเข้า ที่ปุ่มชื่อ FAN1(มือถือ) ผลที่ได้เวลาเฉลี่ยพัดลมเริ่มทำงาน 1.03 sec เมื่อกดปุ่ม OFF ไปเป็น ON และค่าเวลาเฉลี่ยพัดลมเริ่มหยุดทำงาน 0.81 sec (กดปุ่ม ON ไปเป็น OFF) ในขณะเดียวกันตารางที่ 3 ทำการทดสอบความไวของพัดลมดูดอากาศเข้า ที่ปุ่มชื่อ FAN 2 (มือถือ) ผลที่ได้เวลาเฉลี่ยพัดลมเริ่มทำงาน 0.84 sec และเวลาเฉลี่ยที่เวลาพัดลมเริ่มหยุดทำงาน 0.74 sec จากตารางที่ 4 ตารางที่ 5 และตารางที่ 6 เป็นการทดลอบเครื่องเพาะเห็ดที่นำเสนอในโหมดทำด้วยมือหรือเสียง ซึ่งตารางที่ 4 เป็นการทดสอบโดยการออกเสียงว่า “On-one” ผลที่ได้ใช้เวลาเฉลี่ยที่ปั๊มน้ำเริ่มทำงาน 4.62 sec และ ได้ออกเสียงว่า “Off-one” ผลที่ได้เวลาเฉลี่ยที่ปั๊มน้ำเริ่มหยุดทำงาน 5.72 sec ส่วนตารางที่ 5 ผลการทดสอบ เมื่อออกเสียงว่า “On-two” ผลที่ได้ ใช้เวลาเฉลี่ยที่พัดลมดูดอากาศเข้า (FAN1) เริ่มทำงาน 6.34 sec และ ได้ออกเสียงว่า “Off-two” ผลเวลาเฉลี่ยที่พัดลมดูดอากาศเข้า (FAN1) เริ่มหยุดทำงาน 7.38 sec ในตารางที่ 6 ได้ออกเสียงว่า “On-three” และ“Off-three” ซึ่งผล เวลาเฉลี่ยที่พัดลมดูดอากาศออก (FAN2) เริ่มทำงาน 6.42 sec และ เริ่มหยุดทำงาน 5.29 sec

3. สรุป

การทดสอบสมรรถนะของตัวเครื่องเพาะเห็ดที่นำเสนอในโหมดอัตโนมัติได้ใช้เวลาเฉลี่ยสำหรับสั่งให้ปั๊มน้ำ พัดลมคู่ที่หนึ่ง และพัดลมคู่ที่สอง (เริ่มทำงาน) และ(เริ่มหยุดทำงาน) มีเวลาเฉลี่ยค่าน้อยกว่าโหมดการทำงานด้วยมือหรือเสียง แต่ในทางกลับกันข้อได้เปรียบของโหมดทำงานด้วยเสียงจะสั่งการโดยไม่ต้องคำนึงถึงการสัมผัสหน้าจอ

เอกสารอ้างอิง

[1] วีรศักดิ์ ฟองเงิน สุรพงษ์ เพชรหาญ และรัฐสิทธิ์ ยะจ่อ “การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีไอโอทีควบคุมฟาร์มอัจฉริยะในโรงเรือนเพาะเห็ดนางฟ้า” วารสารวิชาการการจัดการ เทคโนโลยี สารสนเทศและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม, ปีที่ 5, ฉบับที่ 1 หน้า 172-182, มกราคม-มิถุนายน 2561.

[2] ยุทธนา หกสี นูรฟาติน เจ๊าะเจ๊ะยี๊ะ และสมใจ จิตคำนึงสุข (2563). ระบบควบคุมการเปิด-ปิดไฟและเครื่องใช้ไฟฟ้าด้วยคำสั่งเสียงในรูปแบบเสียงภาษาไทย. การประชุมวิชาการระดับชาติด้านวิทยา - ศาสตร์และเทคโนโลยี เครือข่ายสถาบันอุดมศึกษาภาคใต้ ครั้งที่ 5 (น.511-523). นครศรีธรรมราช: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.

[3] ทอฝัน มาลี บุญสิตาวรรณ สีหะวงษ์ และหทัยรัตน์ สุภาพ. ระบบเปิด-ปิดไฟอัตโนมัติจากพลังงานเซลล์สุริยะ” คณะครุศาสตร์ สาขาวิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

[4] ที่มาของแหล่งข้อมูลได้มาจากเว็บไซต์ https://ppi.psu.ac.th/upload/forum/project_1324_5dbbb67205e7f5dbb.pdf

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

การประเมินความเป็นไปได้ในการใช้งานร่วมกันระหว่าง 5G และกิจการดาวเทียม สำหรับย่านความถี่ 28 GHz ในประเทศไทย

FEASIBILITY ASSESSMENT OF COEXISTENCE BETWEEN 5G AND SATELLITE SERVICE FOR 28 GHZ IN THAILAND

ญาตินันท์ ทองเนียม[1*] และ จิรศิลป์ จยาวรรณ[2]

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

126 ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร 10140 E-mail: yatinan.thon@kmutt.ac.th[1], chirasil.cha@kmutt.ac.th[2]

บทคัดย่อ

บทความนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์การรบกวนการใช้คลื่นความถี่ 28GHz ร่วมกัน (co-channel) ระหว่างดาวเทียมและกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล (IMT) ซึ่งได้รับการตรวจสอบโดยมีการสำรวจทั้งสถานีฐานและอุปกรณ์ของผู้ใช้พร้อมกับสถานีดาวเทียมภาคพื้นดินที่จัดสรรในย่านความถี่ 28 GHZ เพื่อหาระยะห่างระหว่างสถานีดาวเทียมภาคพื้นดินและ 5G พารามิเตอร์ที่สำคัญ ได้แก่ ระยะทางของเครื่องส่งสัญญาณ กำลังของเครื่องส่งสัญญาณ การลดทอนของสัญญาณจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับในสภาวะแวดล้อมต่างๆ ล้วนถูกนำมาใช้ในการทดลองนี้ ผลการวิจัยแสดงให้เห็นถึงระยะห่างระหว่างกิจการทั้งสองในประเทศไทยได้อย่างเหมาะสม

คำสำคัญ : 5G, กิจการประจำที่ผ่านดาวเทียม, 28GHz, การใช้คลื่นความถี่ร่วมกัน

Abstract

This paper intends to analysis of 2 8 GHz co-channel interference between satellites and the International Mobile Telecommunications (IMT), which is examined with a simultaneous survey of both base stations and user devices with satellite earth stations allocated in the 28 GHZ band to determine the distance between satellite earth stations and 5G. The significant parameters including the distance of the transmitter, transmitter power, the attenuation of the signal from transmitter to receiver in various environments was used in this experiment. The results show the efficient separation that can be appropriately used in separation between these two technologies in Thailand.

Keywords: 5G, Fixed-satellite service, coexistence, 28GHz protection distance

1. บทนำ

เทคโนโลยี 5G เป็นระบบสื่อสารไร้สายระดับโลกที่เชื่อมต่อกับเทคโนโลยีต่างๆ ด้วยความเร็วในการรับส่งข้อมูลสูงถึง 20 Gbps [1] การปรับปรุงเครือข่าย 5G มีเป้าหมายเพื่อรองรับความเร็วบรอดแบนด์บนมือถือที่เร็วขึ้น ความหน่วงต่ำ และการเชื่อมต่อระหว่าง Machine to Machine (M2M) [2] เครือข่าย 5G ให้ความเร็วในการรับส่งข้อมูลสูงกว่าการรับส่งข้อมูลของเครือข่าย 4G ถึง 4 เท่า [3] ในปัจจุบันสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (ITU) ได้แบ่งคลื่นความถี่สำหรับ 5G ออกเป็น 3 ย่านความถี่ ได้แก่ ย่านความถี่ต่ำ (600-900 MHz), ย่านความถี่กลาง (1 GHz และ 6 GHz) และย่านความถี่สูง (ตั้งแต่ 24 GHz เป็นต้นไป) โดยย่านความถี่สูง มีความยาวคลื่นสั้นในระดับคลื่นมิลลิเมตร (mmWave) มีแบนด์วิธกว้าง ความจุสูงและความหน่วงต่ำ อย่างไรก็ตาม ย่านความถี่สูงจะมีข้อจำกัดในเรื่องของความอ่อนไหวของสัญญาณ และจะถูกรบกวนได้ง่าย

เนื่องด้วยปัจจุบันในประเทศไทย ย่านความถี่ต่ำ (Low Band) และย่านความถี่กลาง (Mid Band) มีการใช้งานอย่างหนาแน่น ตั้งแต่ย่าน 700 MHz 900 MHz 1800 MHz และ 2100 MHz ซึ่งได้ถูกจัดสรรให้ใช้งานสำหรับกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล (IMT) และรวมไปถึง 26 GHz ซึ่งเป็นหนึ่งในคลื่นความถี่ย่านสูง (High Band) ที่ได้ถูกประมูลให้กับผู้ประกอบการโทรคมนาคมไปเป็นที่เรียบร้อยแล้ว นอกเหนือจากย่าน 26 GHz แล้ว ย่านความถี่ 28 GHz ก็เป็นหนึ่งในย่านที่มีความสำคัญและในต่างประเทศให้ความสนใจในการนำย่านความถี่ดังกล่าวมาใช้ในกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล (IMT) ยกตัวอย่างเช่น ประเทศญี่ปุ่น ประเทศเกาหลีใต้ [4] ฯลฯ ในอนาคต หากประเทศไทยจะพิจารณานำย่าน 28 GHz มาใช้งานในโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล (IMT) จึงจำเป็นต้องพิจารณาถึงสัญญาณรบกวนที่อาจเกิดขึ้น รวมถึงความเป็นไปได้ในการใช้คลื่นความถี่ร่วมกันกับกิจการที่ใช้งานอยู่เดิม และเพื่อให้การจัดสรรคลื่นความถี่เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ด้วยเหตุผลที่กล่าวมานี้ การศึกษาและทดลองการรบกวนการใช้คลื่นความถี่ย่าน 28 GHz ระหว่างกิจการดาวเทียมและกิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล (IMT) จะเป็นประโยชน์ในการจัดทำหลักเกณฑ์การจัดสรรคลื่นความถี่ที่เหมาะสมเพื่อป้องกันการรบกวนคลื่นความถี่ที่จะเกิดขึ้นได้ต่อไป

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 แบบจำลองการสูญเสียการแพร่กระจายคลื่น (Path Loss Models)

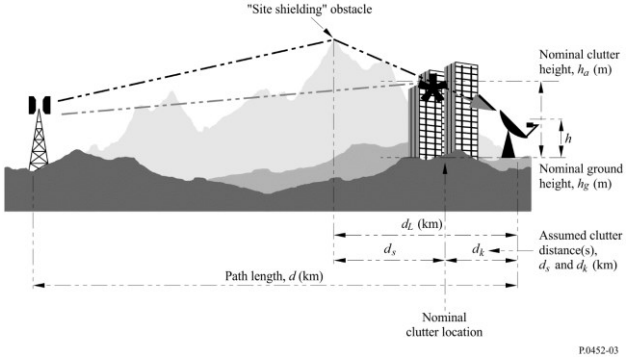
แบบจำลองการสูญเสียการแพร่กระจายคลื่น (Path Loss Models) เป็นหนึ่งในองค์ประกอบสำคัญที่จะเกิดขึ้นเมื่อสัญญาณจากตัวส่งไปถึงตัวรับสูงกว่าการสื่อสารแบบใช้สายนำสัญญาณ ซึ่ง Path Loss Models มีหลากหลายรูปแบบตามสภาพแวดล้อมและคลื่นความถี่ที่แตกต่างกันไป [5] ทำให้สมการการคำนวณจึงแตกต่างกันไป ในวิจัยนี้ได้นำแบบจำลองจาก ITU-R P.452-17 [6] ซึ่งเป็นการคาดการณ์

การประเมินการรบกวนระหว่างสถานีบนพื้นผิวโลกที่คลื่นความถี่สูงกว่า 0.1 GHz ขึ้นไป สามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$PL = 92.5 + 20\log(f) + 20\log(d) + GA + CL \quad (1)$$

d คือ ระยะห่างระหว่าง FSS ES และ 5G (km)
f คือ คลื่นความถี่ (GHz)
GA คือ การลดทอนในชั้นบรรยากาศ
CL คือ Clutter loss

Clutter Loss เป็นอุปสรรคอย่างหนึ่งของการรับส่งสัญญาณ เช่น สิ่งปลูกสร้างบนพื้นดิน ซึ่งในการทดลองควรเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมตามความถี่ สภาพแวดล้อมรอบ ๆ เทอร์มินัลและรูปแบบของเส้นทาง วิจัยนี้ได้นำ Clutter Loss จาก ITU-R P.2108 [7] ซึ่งเป็นการทำนายการสูญเสีย Clutter Loss ได้อย่างเหมาะสม



รูปที่ 1 Clutter Loss

ซึ่งจะพิจารณาตามสมการดังนี้

$$Ak = 10.25F_{fc}e^{-dk}\left(1 - \tanh\left(6\left(\frac{h}{h_a} - 0.625\right)\right)\right) - 0.33 \quad (2)$$

$$F_{fc} = 0.25 + 0.375\left(1 + \tanh\left(7.5(f - 0.5)\right)\right) \quad (3)$$

dk คือ ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของสิ่งกีดขวางถึงสายอากาศ (km)
h คือ ความสูงของสายอากาศเหนือระดับพื้นดิน (m)

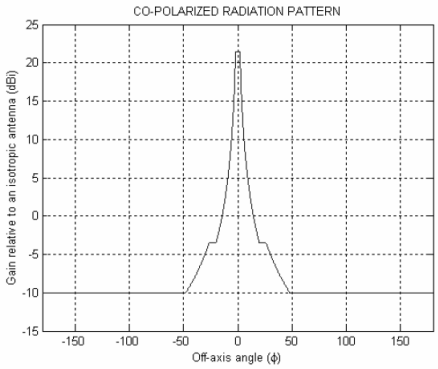
2.2 แบบจำลองการสูญเสียการแพร่กระจายคลื่น (Path Loss Models)

สำหรับการสูญเสียการแพร่กระจายระหว่างสถานีฐาน 5G และอุปกรณ์ผู้ใช้ โมเดล Pathloss สำหรับ 5G สำหรับคลื่นความถี่ตั้งแต่ 0.5 ถึง 100 GHz (3GPP TR 38.901 version 16.1.0 Release 16) ได้ถูกนำมาใช้ในงานวิจัยนี้ โดยแบบจำลองดังกล่าวได้รับการตรวจสอบทั้งในสภาพแวดล้อมในเมืองที่มีตึกสูงและสภาพแวดล้อมในชนบท

2.3 รูปแบบการแพร่กระจายสายอากาศ (Antenna Pattern)

ในแบบจำลองวิเคราะห์สัญญาณรบกวน จะพิจารณาอัตราขยายสายอากาศของ 5G ซึ่งถูกกำหนดโดยมุมราบและมุมเงย โดยใช้แบบจำลอง ITU-R M.2101 [8] ลักษณะของโมเดลนี้ใช้บีมฟอร์มมิ่งของสายอากาศของสถานีดาวเทียมภาคพื้นดินถูกกำหนดโดย Off-axis Angle และอัตราขยายสายอากาศของสถานีภาคพื้นดินในกิจการประจำที่เป็นไปตามประกาศ กทช. ว่าด้วยมาตรฐานทางเทคนิคสำหรับอุปกรณ์โทรคมนาคมและสายอากาศของสถานีภาคพื้นดินในกิจการประจำที่ผ่านดาวเทียม (fixed-satellite service) ที่ใช้วงโคจรประจำที่ (geostationary-satellite orbit) [9] ซึ่งค่าอัตราขยายสายอากาศจะแตกต่างกันไป ขึ้นกับมุมวัดจากแนวแกนในทิศทางการแผ่พลังงานสูงสุดของพูคลื่นหลัก (main-lobe)

$$\begin{aligned} G_{ES}(\varphi) &= 29 - 25\log\varphi \quad \text{dBi}, 2^\circ \le \varphi < 20^\circ \\ &= -3.5 \quad \text{dBi}, 20^\circ \le \varphi < 26.3^\circ \\ &= 32 - 25\log\varphi \quad \text{dBi}, 26.3^\circ \le \varphi < 48^\circ \\ &= -10 \quad \text{dBi}, 48^\circ \le \varphi \le 180^\circ \end{aligned} \quad (4)$$



รูปที่ 2 Co-Polarized Radiation Pattern

2.4 การวิเคราะห์การรบกวน (Interference Analysis)

สัญญาณรบกวนเป็นสิ่งที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ และมีโอกาสเกิดขึ้นตลอดเวลา ปัจจัยการรบกวนนั้นอาจเกิดจากสภาพแวดล้อม สภาพอากาศ เป็นต้น ดังนั้น จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องตระหนักถึงการใช้คลื่นความถี่อย่างไรให้เกิดการรบกวนกันน้อยที่สุด ในวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์การใช้งานคลื่นความถี่ร่วมระหว่างดาวเทียมและระบบ 5G ในย่านความถี่ 28 GHz โดยหาค่าสัญญาณจากสถานีดาวเทียมภาคพื้นดินรบกวน 5G ดังนี้

$$I = P_{ES} + G_{5G}(\phi, \theta) + G_{ES}(\varphi) - PL \quad \text{(dBm)} \quad (5)$$

P_{ES} คือ กำลังส่งของ ES
G_{ES} คือ เกนสายอากาศภาคส่งของ ES
G_{BS} คือ เกนสายอากาศภาครับของ Base station
PL คือ Propagation Loss

กำลังของสัญญาณรบกวน (Noise Power) คำนวณได้จาก

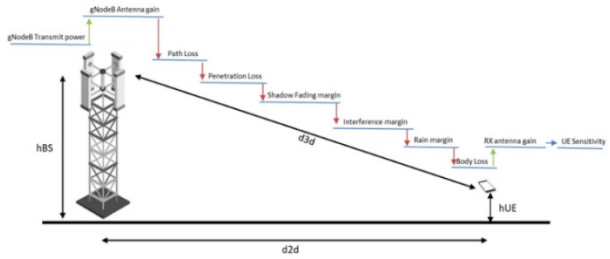
$$N = -174 + 10log\ (B) \quad (6)$$

B คือ แบนด์วิทด์ หน่วยเป็น Hz

ในวิจัยนี้จะวิเคราะห์การรบกวนโดยใช้ Interference-to-Noise Ratio (I/N) นำมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์การป้องกันการรบกวน (I/Nth) หากว่า I/N ที่ได้รับน้อกว่าเท่ากับเกณฑ์การป้องกันการรบกวนที่กำหนด [10] จะถือว่าระยะระหว่างสถานีฐานและสถานีดาวเทียมภาคพื้นดินนั้นอยู่ในระยะขั้นต่ำที่ยอมรับการรบกวนซึ่งกันและกันได้

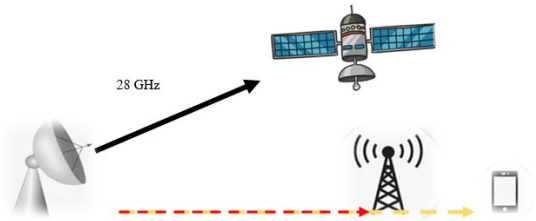
2.5 Link Budget

Link Budget เป็นค่าผลรวมของกำลังส่งสัญญาณที่มาถึงปลายทาง (Receiver) ซึ่งจะได้รับการสูญเสียพลังงานจากเครื่องส่ง ผ่านตัวกลางในการสื่อสาร ซึ่งในระหว่างการส่งสัญญาณจะมีการสูญเสียกำลังส่งที่ออกมา (Loss) เช่น การสูญเสียในสายนำสัญญาณ (Feeder Loss) การสูญเสียในขั้วต่อ (Connector Loss) การสูญเสียในสายอากาศเอง (Antenna Loss) เป็นต้น เมื่อสัญญาณส่งออกไป กำลังส่งจากต้นทางจะถูกลดทอนลงไป



รูปที่ 3 Link Budget ของ 5G

3. วิธีการวิจัย และผลการทดลอง



รูปที่ 4 การจำลองสถาการณ์การรบกวน

จากรูปเป็นการจำลองสถานการณ์การรบกวนของสถานีดาวเทียมภาคพื้นดินเบื้องต้น โดยที่สถานีดาวเทียมภาคพื้นดินส่งสัญญาณขาขึ้น (Uplink) ไปยังดาวเทียมที่ 28 GHz และสมมติให้สถานีฐาน (Base Station) และอุปกรณ์ผู้ใช้ (User Equipment) ของ 5G ในระแวกนั้น ได้รับสัญญาณแทรกสอดจากสถานีดาวเทียมภาคพื้นดินในกิจการประจำที่ (FSS ES) กำหนดให้สถานีดาวเทียมภาคพื้นดิน และ 5G อยู่ในระดับภาคพื้นเดียวกัน วิจัยนี้จะคำนวณการรบกวนที่ 5G BS ได้รับ จากนั้น จะเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพการสื่อสารของระบบ 5G

3.1 พารามิเตอร์

วิจัยนี้ได้กำหนดพารามิเตอร์ดังนี้

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ของสถานีดาวเทียมภาคพื้นดิน

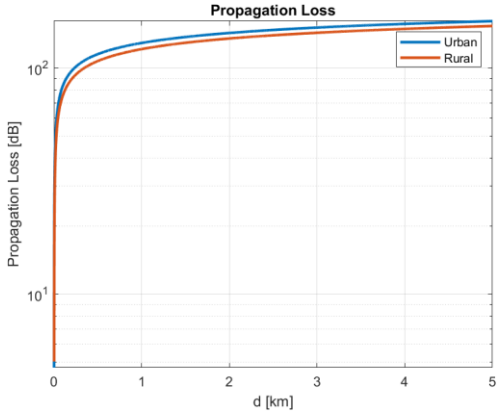
พารามิเตอร์	สถานีดาวเทียมภาคพื้นดิน
Frequency	28 GHz
Bandwidth	50 MHz
Transmission power	43 dBm
Antenna gain	0
Antenna high	5 m
Elevation angle	15,60 degrees
Transmission antenna pattern	ITU-R S.465-6

ตารางที่ 2 IMT-2020 5G พารามิเตอร์

พารามิเตอร์	Rural	Urban
Transmission Power	37 dBm	
Antenna gain Tx	26 dBi	
Bandwidth TX	100 MHz	
Antenna gain Rx	20 dBi	
Cable loss Tx	3 dB	
Foliage loss	8 dB	
Body loss	15 dB	
Interference margin	1 dB	
Rain Ice margin	3 dB	
Fading margin	5 dB	7 dB

3.2. คำนวณการสูญเสียการแพร่กระจายของ FSS ES และ 5G

ค่าการสูญเสียแพร่กระจายคลื่น (Propagation Loss) ของวิจัยนี้คำนวณได้จาก ITU-R P.452-17 มาคำนวณเพื่อหาระยะลดทอนที่เกิดขึ้น โดยจะพิจารณาจาก Clutter Loss ในสถานการณ์ต่างๆ ได้แก่ ภายในเมือง (Urban) และชนบท (Rural) หลังจากได้ค่าการลดทอนของสัญญาณดังกล่าวแล้ว จากนั้นจะหาสัญญาณรบกวนที่เครื่องรับได้รับ โดยจะใช้โปรแกรม MATLAB เป็นเครื่องมือในการคำนวณ

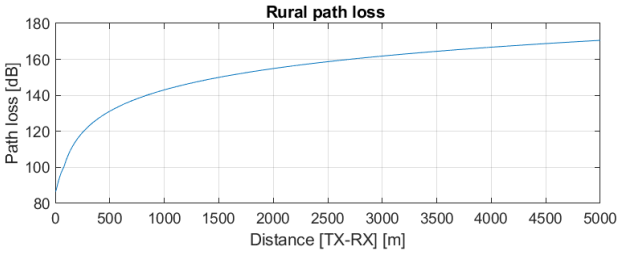


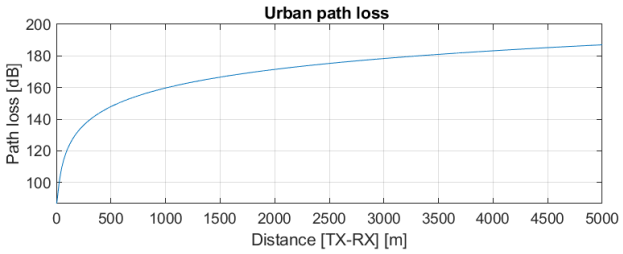
รูปที่ 5 การจำลองสถาการณ์การรบกวน

จากรูปจะเห็นว่าระดับการลดทอนการแพร่กระจายคลื่น (Propagation Loss) จะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะห่างระหว่างจุดปล่อยสัญญาณและจุดที่ทำการตรวจวัดมีระยะตั้งแต่ 1 เมตร ถึง 5000 เมตร และจะเพิ่มขึ้นอย่างคงที่ ระดับค่าการลดทอนสัญญาณของความถี่ในสภาพแวดล้อมแบบในเมือง (Urban environment) จะสูงกว่าสภาพแวดล้อมแบบชานเมือง (Rural environment) เนื่องจากสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ค่าการสูญเสียเพิ่มเติมของความยุ่งเหยิงสัญญาณ (Clutter Loss) ในเมืองจะมีค่ามากกว่าชานเมือง

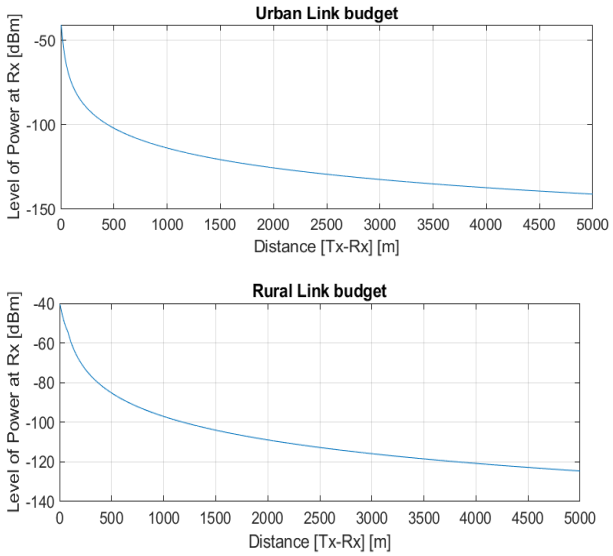
3.3 Link Budget สำหรับ 5G

เมื่อได้ทำการหาค่า Path Loss ในสภาพแวดล้อมชานเมืองตั้งแต่ระยะ 1 ถึง 5000 เมตร เพื่อนำมาคำนวณค่า Link Budget ที่ตัวรับจะได้ดังนี้





รูปที่ 6 (1) Path loss ของสภาพแวดล้อมในเมืองและชานเมือง



รูปที่ 6 (2) Link Budget ของสภาพแวดล้อมในเมืองและชานเมือง

จากรูปความสัมพันธ์ระหว่างระยะทาง (m) และความแรงของสัญญาณที่ได้รับ ซึ่งระดับความแรงของสัญญาณที่เครื่องรับได้รับในระยะทางต่างๆ และเมื่อเปรียบเทียบความแรงของสัญญาณกับความไวของเครื่องรับที่ -88 dBm ดังรูป ที่กำหนดไว้ในงานวิจัยนี้ ผลลัพธ์นี้ระยะทางสุดท้ายของพื้นที่ครอบคลุมการแพร่กระจายในสภาพแวดล้อมในเมือง 589 ม. จากจุดปล่อยและในสภาพแวดล้อมในชนบท 220 ม. จากจุดปล่อยตามลำดับ

3.4 อัตราส่วนสัญญาณรบกวนต่อสัญญาณรบกวน

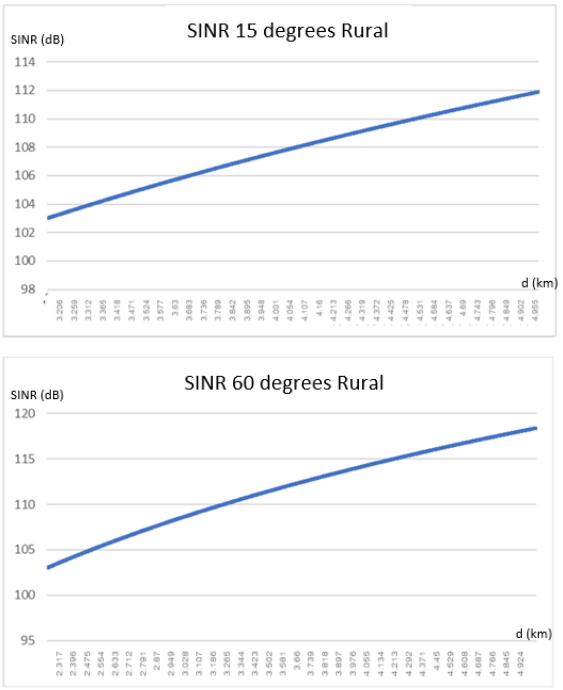
เมื่อทำการหาค่าของการรบกวนรวมที่สถานีฐาน 5G แล้ว จะทำการคำนวณ I/N เพื่อนำค่ามาเปรียบเทียบกับเกณฑ์การรบกวน I/Nth (-6) ที่สถานีฐาน 5G จะสามารถรับการรบกวนจากสถานีดาวเทียมภาคพื้นดินได้ ดังนี้

ตาราง 3 ระยะสัญญาณรบกวนที่ยอมรับได้ระหว่างสถานีภาคพื้นดินและสถานีฐาน 5G (กม.)

ระยะห่างที่ยอมรับการรบกวนได้ระหว่างสถานีดาวเทียมภาคพื้นดินและสถานีฐาน 5G (กม.)			
RMA 15°	RMA 60°	UMA 15°	UMA 60°
3.206	2.317	2.17	1.568

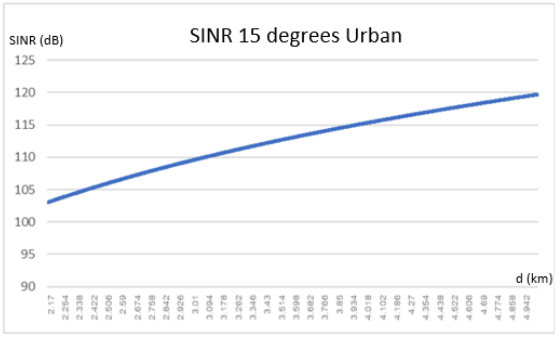
3.5 Interference Analysis

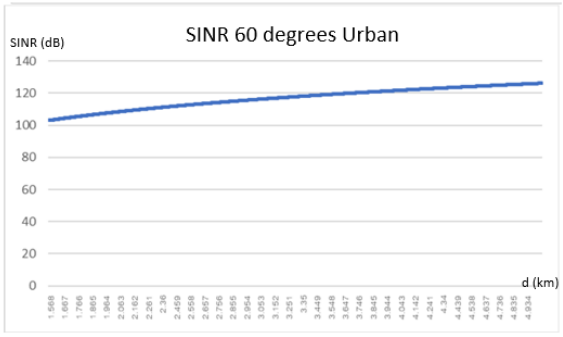
เมื่อได้ค่า Link Budget และระยะที่อุปกรณ์จะสามารถทนต่อค่า Sensitivity ได้แล้ว จะทำการหาค่า SINR ของระบบ 5G ในสภาพแวดล้อมชานเมือง โดยจะทำการเพิ่มระยะห่างระหว่างสถานีดาวเทียมภาคพื้นดินและสถานีฐาน 5G ตั้งแต่ 3206 - 5000 เมตร ในมุมเงย 15° และ 2.317 – 5000 เมตร ในมุมเงย 60° และให้อุปกรณ์ผู้ใช้อยู่ในระยะสุดท้ายของพื้นที่ครอบคลุมการแพร่คลื่นความถี่สำหรับการแพร่คลื่นในสภาพแวดล้อมแบบชานเมืองอยู่ที่ระยะ 589 เมตร จากจุดปล่อยสัญญาณ จะได้ค่า SINR ดังนี้



รูปที่ 7 ระดับ SINR ของสภาพแวดล้อมชานเมือง

สำหรับระบบ 5G ในสภาพแวดล้อมในเมือง จะทำการเพิ่มระยะห่างระหว่างสถานีดาวเทียมภาคพื้นดินและสถานีฐาน 5G ตั้งแต่ 2170 - 5000 เมตร ในมุมเงย 15° และ 1568 – 5000 เมตร ในมุมเงย 60° และให้อุปกรณ์ผู้ใช้อยู่ในระยะสุดท้ายของพื้นที่ครอบคลุมการแพร่คลื่นความถี่ในสภาพแวดล้อมแบบในเมืองอยู่ที่ระยะ 220 เมตร จากจุดปล่อยสัญญาณ จะได้ค่า SINR ดังนี้





รูปที่ 8 ระดับ SINR ของสภาพแวดล้อมในเมือง

จากรูปที่ 7 และ 8 จะเห็นได้ว่าในสภาพแวดล้อมในเมืองและชานเมือง ขณะที่อุปกรณ์ของผู้ใช้อยู่สุดขอบของพื้นที่ ค่า SINR จะเพิ่มขึ้นตามระยะทางที่เพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพการส่งสัญญาณระหว่างสถานีฐานและอุปกรณ์ของผู้ใช้ ยิ่งห่างจากสถานีฐานมากเท่าใด SINR ก็จะยิ่งสูงขึ้นตามไปด้วย

4. สรุป

ผลลัพธ์ของการจำลองสัญญาณรบกวนของความเป็นไปได้ของการใช้งานคลื่นความถี่ระหว่าง 5G และกิจการดาวเทียม ระยะทางขั้นต่ำที่ยอมรับได้ในสภาพแวดล้อมชานเมือง ระยะห่างระหว่างสถานีฐาน 5G และสถานีภาคพื้นดินของดาวเทียม ที่มุมเงย 15 องศา เท่ากับ 3.206 กิโลเมตร และมุมเงย 60 องศา เท่ากับ 2.317 กิโลเมตร ในสภาพแวดล้อมในเมือง มุมเงย 15 องศา เท่ากับ 2.17 กิโลเมตร และมุมเงย 60 องศา เท่ากับ 1.568 กิโลเมตร เมื่อพิจารณา SINR พบว่าสัญญาณจากสถานีภาคพื้นดินอาจรบกวนระบบ 5G ซึ่งอาจส่งผลต่อประสิทธิภาพการสื่อสารของสถานีฐานและอุปกรณ์ของผู้ใช้

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีที่สนับสนุนงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] Sustainability 2023, "5G Frequency Standardization, Technologies, Channel Models, and Network Deployment: Advances, Challenges, and Future Directions" (https://doi.org/10.3390/su15065173)

[2] Comset, "WHAT IS 5G?" "(https://comset.com.au/what-is-5g/)

[3] "Understanding 5G on the 700 MHz, how to use it to get the most benefit",(https://mgronline.com/cyberbiz/detail/9640000004148)

[4] "Japan assigns 5G spectrum to four operators" (https://5gobservatory.eu/japan-assigns-5g-spectrum-to-four-operators/)

[5] Vijay K. Garg, in Wireless Communications & Networking, 2007," Radio Propagation and Propagation Path-Loss Models", (https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/path-loss-model)

[6] ITU-R P.452-17 "Prediction procedure for the evaluation of interference between stations on the surface of the Earth at frequencies above about 0.1 GHz", September 2021.

[7] ITU-R P.2108 "Prediction of clutter loss", September 2021.

[8] ITU-R M.2101 "Modelling and simulation of IMT networks and systems for use in sharing and compatibility studies".

[9] Notification of the National Broadcasting and Telecommunications Commission on technical standards for telecommunications equipment and antenna equipment of earth station in fixed-satellite service in fixed orbit (geostationary - satellite orbit)

[10] ITU-R WP5D Temporary Document 265 "Characteristics of terrestrial IMT systems for frequency sharing/interference analyses in the frequency range between 24.25 GHz and 86 GHz",2017.



ญาตินันท์ ทองเนียม สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อปี พ.ศ. 2559



จิรศิลป์ จยาวรรณ สำเร็จการศึกษา Ph.D. (Electrical Engineering), Florida Atlantic University, U.S.A. (2002) ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรม ศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

บทความวิจัย
คอมพิวเตอร์
และเทคโนโลยีสารสนเทศ

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

การแสดงผลข้อมูลด้วยภาพสำหรับวัดไทยในจังหวัดนนทบุรี

Data Visualization for Thai Temple in Nonthaburi Province

วีรวรรณ จันทนะทรัพย์[1*] นริศรา นาคเมธี[2] และ สยาม ลางคุลเสน[3]

หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิตสาขาวิชาวิทยาการข้อมูลและเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ที่เลขที่ 1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

veerawan.j@rmutp.ac.th[1], narisara.n@rmutp.ac.th[2], siam.l@rmutp.ac.th[3]

บทคัดย่อ

การแสดงผลข้อมูลด้วยภาพเป็นเทคโนโลยีที่ใช้กราฟิกเพื่อแสดงข้อมูลและสารสนเทศด้วยการใช้ แผนภูมิ กราฟ และแผนที่ เป็นต้น ซึ่งทำให้ผู้ใช้งานเข้าใจข้อมูลในเชิงลึกได้อย่างง่ายดาย ในยุคของข้อมูลที่มีจำนวนมหาศาล เทคโนโลยีการแสดงผลข้อมูลด้วยภาพจึงเป็นเครื่องมือที่จำเป็นในการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณมาก และช่วยตัดสินใจที่ใช้ข้อมูลเป็นพื้นฐาน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอข้อมูลวัดในจังหวัดนนทบุรีในรูปแบบแดชบอร์ดข้อมูล และดำเนินการศึกษาระดับความพึงพอใจของผู้ใช้งาน โดยใช้เครื่องมือซอฟต์แวร์ลุกเคอร์สตูดิโอสำหรับพัฒนาแดชบอร์ด และตัวกรองข้อมูลจำนวน 5 ตัว ผลการทดสอบพบว่า ประสิทธิภาพการทำงานตัวกรองข้อมูลบนหน้าแดชบอร์ดมีค่าความถูกต้องร้อยละ 97.97 นอกจากนั้นผลการสำรวจข้อมูลพบว่าผู้ใช้งานจำนวน 100 ราย ซึ่งเป็นกลุ่มตัวอย่างที่อาศัยอยู่ในจังหวัดนนทบุรี มีความพึงพอใจในภาพรวมอยู่ในระดับมากสุดที่ค่าเฉลี่ย 3.80 ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ผลลัพธ์ของงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลวัดกับหน่วยงานสำนักงานพระพุทธศาสนาอื่นที่มีลักษณะคล้ายกัน

คำสำคัญ : วัดไทย; การนำเสนอข้อมูลด้วยภาพ

Abstract

Data visualization is the technology of graphically presenting information and data using visual aids such as charts, graphs, and maps, users can easily comprehend complex information. In the era of Big Data, data visualization technology is an essential tool for analyzing vast amounts of information and making data-driven decisions. The purpose of this research is to develop the data dashboard of Thai temple data in Nonthaburi province and finding out the users' satisfaction with the dashboard. The Looker Studio software tool is utilized for the development of both the dashboard and 5 data filters. The test results showed that the data filter's performance on the dashboard was 97.97% accurate. In addition, a survey of 100 users, who were residents of Nonthaburi province, was extremely high, with a mean score of 3.80. Therefore, these results can be utilized by any Office of Buddhism facing similar data analytics challenges.

Keywords: Thai Temple; Data Visualization

1. บทนำ

ในศาสนาพุทธ “วัด” คือคำเรียกของสถานที่สำหรับประกอบศาสนกิจทางศาสนา สำหรับชาวพุทธแล้ววัดเป็นศูนย์กลางจิตใจของพุทธศาสนิกชน ศูนย์รวมของชุมชน ศูนย์กลางแห่งความเคารพ เชื่อถือ และประกอบกิจกรรมทางศาสนา ทั้งในส่วนของวันสำคัญทางศาสนาพุทธเอง หรือกิจกรรมด้านการประกอบพิธีกรรมต่าง ๆ นอกจากนั้นในอดีตวัดยังเป็นสถานที่สำหรับการศึกษาเล่าเรียนอีกด้วย ซึ่งกล่าวได้ว่า วัดมีความสำคัญและผูกผันกับวิถีการดำเนินชีวิตของผู้คนเปรียบเสมือนที่ยึดเหนี่ยวทางจิตใจของประชาชนของประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศไทยที่มีศาสนาพุทธเป็นศาสนาประจำชาติ ปัจจุบันวัดในประเทศไทยมีจำนวน 42,468 วัด [1] ประกอบด้วย วัดประเภทอารามหลวง วัดราษฎร์ โดยวัดยังแบ่งออกเป็นนิกายต่าง ๆ คือ มหานิกาย ธรรมยุต จีนนิกาย และอนัมนิกาย วัดเหล่านี้มีสภาพเป็นนิติบุคคลตามกฎหมายแห่งพระราชบัญญัติคณะสงฆ์ ปี พ.ศ. 2505 โดยการบริหารจัดการของวัดนั้นเป็นอำนาจหน้าที่โดยตรงของเจ้าอาวาส [2] จากข้อมูลต่าง ๆ ที่กล่าวมาถือเป็นข้อมูลสำคัญของพุทธศาสนิกชน ทั้งนี้ก็เนื่องจากวัดเป็นส่วนหนึ่งของการดำเนินชีวิต และประกอบกิจกรรมทางศาสนาต่าง ๆ ของคนในชุมชน และหน้าที่หนึ่งของพุทธศาสนิกชนก็คือ การทำนุบำรุงวัด อันเป็นการทำนุบำรุงศิลปวัฒนธรรมไทยอีกนัยหนึ่งด้วย อย่างไรก็ตามในยุคสมัยที่ผู้คนในสังคมต่างรีบเร่งในการทำมาหาเลี้ยงชีพ รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงของสังคมที่ก้าวเข้าสู่ยุคดิจิทัล ความเจริญตามแบบตะวันตกเข้าสู่สังคมและการดำรงชีวิตของคนไทยอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ดังนั้นวัดจึงต้องปรับบทบาทให้ทันต่อยุคสมัยที่เปลี่ยนไปของชุมชนเมืองที่ขับเคลื่อนด้วยเทคโนโลยี และความก้าวหน้าของดิจิทัล ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดพัฒนาแอปพลิเคชันนำเสนอข้อมูลวัดในมิติแสดงข้อมูลด้วยภาพ (Data Visualization) โดยบูรณาการศาสตร์ด้านวิทยาการข้อมูล (Data Science) และศาสตร์ความรู้ด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ (Information Technology) เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูล และพัฒนาขั้นตอนวิธีการสำหรับการจัดระเบียบข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบการนำเสนอข้อมูลด้วยภาพ เพื่อให้ได้แพลตฟอร์มบริการข้อมูลของวัดให้แก่ประชาชนโดยเฉพาะประชาชนในชุมชนของวัด

สำหรับการเรียบเรียงบทความจะเป็นดังนี้ ในหัวข้อที่ 2 อธิบายทฤษฎี และวิจัยที่เกี่ยวข้องในงานการนำเสนอข้อมูลด้วยภาพ หัวข้อที่ 3 อธิบายขั้นตอนวิธีการดำเนินงานวิจัย ในหัวข้อที่ 4 ผลการวิจัย หัวข้อที่ 5 สรุปผลการวิจัย และสุดท้ายหัวข้อกิตติกรรมประกาศ

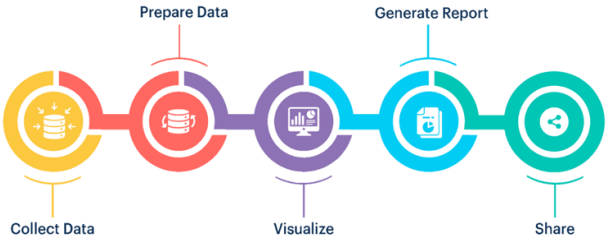
2. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การนำเสนอข้อมูลด้วยภาพ

การนำเสนอข้อมูลด้วยภาพ (Data Visualization) คือ ศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายทอดข้อมูลในเชิงปริมาณให้อยู่ในรูปแบบของกราฟ หรือแผนภูมิทั้งในรูปแบบ 2 มิติ หรือ 3 มิติ รวมทั้งการโต้ตอบ (Interactive) อย่างมีประสิทธิผล โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อเข้าใจลักษณะและคุณสมบัติของข้อมูล กระบวนการนำเสนอข้อมูลด้วยภาพจะถูกนำมาใช้ก่อนและหลังการวิเคราะห์ข้อมูลในศาสตร์ด้านวิทยาศาสตร์ข้อมูล โดยการนำเสนอข้อมูลด้วยภาพมีความเป็นมาอย่างยาวนาน [3] เมื่อโลกของเราก้าวเข้าสู่ศตวรรษที่ 21 เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ และเทคโนโลยีสารสนเทศ ถูกกำหนดให้เป็นเทคโนโลยีเพื่อพัฒนาด้านอุตสาหกรรมของโลก ความสามารถของคอมพิวเตอร์ด้านกราฟฟิกถูกพัฒนาแบบไร้ขีดจำกัด ภายใต้แนวคิดปฏิสัมพันธ์แบบเชิงโต้ตอบ รวมทั้งภาษา ซอฟต์แวร์ และอัลกอริทึมก็ถูกคิดค้นและพัฒนาไปพร้อมกันด้วย ยุคนี้เป็นยุคที่ข้อมูลเป็นปัจจัยสำคัญในการดำเนินธุรกิจ และเครื่องมือที่ทันสมัยถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อช่วยตัดสินใจในการบริการจัดการองค์กร บริหารงาน และการดำเนินธุรกิจต่าง ๆ และหนึ่งในเครื่องมือที่นำมาช่วยให้เห็นข้อมูลในเชิงลึกที่กำลังได้รับความนิยมและใช้งานอย่างกว้างขวาง คือ แดชบอร์ดข้อมูล (Data Dashboard) สำหรับนิยามของแดชบอร์ดข้อมูล คือ หน้าจอหรือรายงานที่สรุปข้อมูลในโดเมนต่าง ๆ ที่สนใจไว้เพียง 1 หน้าจอ โดยนำเสนอข้อมูลในรูปแบบของแผนภูมิ หรือกราฟชนิดต่าง ๆ เพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจข้อมูล และอีกหนึ่งคุณสมบัติที่เป็นข้อดีของแดชบอร์ดข้อมูล คือ การนำเสนอด้วยเทคนิคเชิงโต้ตอบกับผู้ใช้ (Interactive Interface) และสามารถนำเสนอข้อมูลที่เป็นปัจจุบันอยู่ตลอดเวลา อันเป็นการติดตามข้อมูลแบบเรียลไทม์ด้วยการเขียนชุดสคริปต์สั่งการปรับปรุงข้อมูล นอกจากนั้นยังสามารถประยุกต์กับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และสถิติ เพื่อนำเสนอการพยากรณ์ข้อมูลได้ในอนาคตอีกด้วย ปัจจุบันมีหน่วยงานต่าง ๆ ได้นำแดชบอร์ดข้อมูลมาใช้ในการนำเสนอข้อมูลจำนวนมาก อาทิ แดชบอร์ดนำเสนอข้อมูลสถานการณ์โรคระบาด COVID-19 ของกรมควบคุมโรค [4] แดชบอร์ดนำเสนอข้อมูลการใช้จ่ายงบประมาณปี 2565 ของภาครัฐของระบบจัดซื้อจัดจ้างภาครัฐด้วยอิเล็กทรอนิกส์ (e-Government Procurement : e-GP) [5] Intelligence Dashboard สำหรับผู้ประกอบการขนาดเล็กของธนาคารไทยพาณิชย์ [6] หรือแดชบอร์ดนำเสนอภาพรวมสถิติตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย [7] เป็นต้น สำหรับผลงานวิจัยด้านการนำเสนอแดชบอร์ดข้อมูล อาทิ แดชบอร์ดนำเสนอข้อมูลพื้นฐานตำบลห้วยเตย จังหวัดมหาสารคาม [8] การนำเสนอข้อมูลมหาวิทยาลัยไทยด้วยแดชบอร์ดเชิงโต้ตอบ [9] เป็นต้น ปัจจุบันมีซอฟต์แวร์สำหรับสร้างแดชบอร์ดข้อมูลที่ได้รับความนิยม อาทิ Power BI, Tableau, Zoho Analysis และ Looker Studio เป็นต้น โดยซอฟต์แวร์เหล่านี้มีทั้งในส่วนของเปิดบริการให้ใช้ฟรี และเก็บค่าบริการ

2.2 หลักการนำเสนอข้อมูลด้วยแดชบอร์ด

แดชบอร์ดนำเสนอข้อมูล เป็นเครื่องมือสำคัญและได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางในหน่วยงานภาครัฐ ภาคเอกชน และนักวิจัยด้านการนำเสนอข้อมูลด้วยภาพในปัจจุบัน เพราะเป็นเครื่องมือที่ช่วยให้ผู้บริหารหรือผู้ใช้งานมองเห็น และทราบถึงข้อมูลในเชิงลึกได้ง่ายและรวดเร็ว รวมทั้งการทำงานที่มีรูปแบบปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้แบบอินเตอร์แอคทีฟ (Interactive Interface) และยังสามารถประยุกต์กับภาษาการเขียนโปรแกรม และแบบจำลองการเรียนรู้เครื่อง (Machine Learning) ได้อีกด้วย โดยทั่วไปหลักการนำเสนอข้อมูลด้วยเครื่องมือแดชบอร์ดประกอบด้วย 5 ขั้นตอนหลัก รายละเอียดดังภาพที่ 1



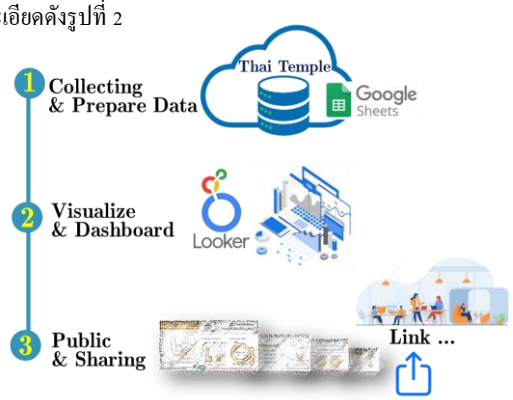
รูปที่ 1 แบบจำลองขั้นตอนการสร้างแดชบอร์ดนำเสนอข้อมูล [10]

จากภาพแบบจำลองขั้นตอนการสร้างแดชบอร์ดนำเสนอข้อมูลข้างต้น อธิบายได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การเก็บรวบรวมข้อมูล (Collecting Data)
ขั้นตอนที่ 2 การจัดเตรียมข้อมูล (Prepare Data)
ขั้นตอนที่ 3 การนำเสนอข้อมูลด้วยภาพ (Visualize Data)
ขั้นตอนที่ 4 การสร้างแดชบอร์ดข้อมูล (Dashboard Data)
ขั้นตอนที่ 5 การเผยแพร่แดชบอร์ดข้อมูล (Share Dashboard)

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

สำหรับวิธีการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ ดำเนินการตามหลักการนำเสนอข้อมูลด้วยแดชบอร์ดข้างต้น โดยดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลจากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ จากนั้นดำเนินการจัดเตรียมข้อมูลเพื่อให้ข้อมูลพร้อมก่อนนำเข้าสู่ขั้นตอนการนำเสนอข้อมูลและสร้างแดชบอร์ด พร้อมเผยแพร่แดชบอร์ดที่พัฒนาขึ้น โดยดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อจัดทำสถาปัตยกรรมข้อมูล (Information Architecture; IA) และให้ได้โครงสร้างข้อมูลที่ต้องการนำเสนอ ในขั้นตอนการสร้าง IA ผู้วิจัยดำเนินการนำข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้จากขั้นตอนการเตรียมข้อมูลมานิยาม (Ontology) จัดหมวดหมู่และเรียงลำดับ (Taxonomy) และกำหนดรูปแบบการเข้าถึงของผู้ใช้งาน (Choreography) โดยแบบจำลองแสดงขั้นตอนการพัฒนาแดชบอร์ดข้อมูลวัดไทยในจังหวัดนนทบุรี รายละเอียดดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แบบจำลองขั้นตอนพัฒนาแดชบอร์ดวัดไทยในจังหวัดนนทบุรี

3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล และจัดเตรียมข้อมูล

การเก็บข้อมูลรวบรวมข้อมูล (Collecting Data) คือ ขั้นตอนวิธีได้มาซึ่งข้อมูล ซึ่งวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลอาจมาได้จากหลายวิธีการร่วมกันกับเครื่องมือ (Tool) และเทคนิคทางภาษาคอมพิวเตอร์ต่าง ๆ สำหรับงานวิจัยนี้ดำเนินการเลือกและเก็บรวบรวมข้อมูลจากแหล่งข้อมูล 5 แห่ง รายละเอียดดังนี้

1) ชุดข้อมูลวัดในจังหวัดนนทบุรีจากระบบทะเบียนวัด สำนักงานพระพุทธศาสนาแห่งชาติ (National Office of Buddhism) ข้อมูลจัดเก็บในรูปแบบตารางสเปรดชีตรูปแบบ .xlsx ประกอบด้วย 196 แถว (Row) และ 10 คอลัมน์ (Column) โดยข้อมูลทะเบียนวัดของสำนักงานพระพุทธศาสนาแห่งชาติถือเป็นแหล่งข้อมูลหลักในการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

2) ชุดข้อมูลจำนวนวัดในประเทศไทยรายจังหวัดปี พ.ศ. 2555-2564 จากสำนักงานพระพุทธศาสนาแห่งชาติ ข้อมูลจัดเก็บในรูปแบบตารางสเปรดชีตรูปแบบ .xlsx ซึ่งข้อมูลดังกล่าวต้องนำมาเข้าสู่กระบวนการทำความสะอาดข้อมูลก่อนนำไปใช้งาน

3) ข้อมูลพื้นฐานทางพระพุทธศาสนาปี 2561-2563 จัดเก็บในไฟล์รายงาน .pdf ของสำนักงานพระพุทธศาสนาแห่งชาติ คณะผู้วิจัยดำเนินการบันทึกข้อมูลจากเอกสารลงในตารางข้อมูลรูปแบบ .xlsx

4) ข้อมูลพิกัดทางภูมิศาสตร์ของวัดในจังหวัดนนทบุรี ผู้วิจัยรวบรวมและจัดเก็บข้อมูลด้วยเทคนิคการเขียนโปรแกรมเพื่อรับข้อมูลละติจูดกับลองจิจูดจาก API ของ Google Map เพื่อนำพิกัดทางภูมิศาสตร์มาใช้ในการแสดงผลข้อมูลบนแผนภูมิแผนที่

5) ข้อมูลโบราณสถานทางพระพุทธศาสนาในจังหวัดนนทบุรี จากระบบภูมิสารสนเทศ แหล่งมรดกทางศิลปะวัฒนธรรม กรมศิลปากร สำหรับข้อมูลนี้ผู้วิจัยใช้เทคนิคดึงข้อมูลบนหน้าเว็บ (Web Scraping) ด้วยภาษาไพธอน

ข้อมูลที่รวบรวมและจัดเก็บได้ด้วยเทคนิควิธีต่าง ๆ ข้างต้นถูกนำมาผ่านกระบวนการจัดเตรียมข้อมูล (Prepare Data) ซึ่งเป็นขั้นตอนที่นำข้อมูลทั้งหมดที่ได้เก็บรวบรวมมาผ่านกระบวนการทำความสะอาดข้อมูล เริ่มต้นจากสำรวจเพื่อแจกแจงข้อมูล (Parsing Data) การแก้ไขข้อมูลที่ผิดพลาด (Correcting Data) ทั้งในส่วนข้อมูลขาดหาย รูปแบบที่ผิดพลาด แยกข้อมูลออกจากมิติเดียวกัน การรวมข้อมูล (Beading) และแทนค่าข้อมูล จากนั้นกำหนดรูปแบบข้อมูลให้สอดคล้องกัน ดำเนินการอัปโหลดข้อมูลทั้งหมดขึ้นสู่แหล่งเก็บข้อมูลออนไลน์ โดยงานวิจัยนี้เลือกใช้แหล่งเก็บข้อมูล Google Drive จากนั้นดำเนินการแปลงรูปแบบข้อมูล (Data Transformation) จากรูปแบบ .xlsx เป็นข้อมูล Google Sheet ทั้งนี้ก็เพื่อสะดวกต่อการเชื่อมต่อข้อมูลกับเครื่องมือสร้างแดชบอร์ดที่เลือกใช้ คือ Looker Studio นอกจากนั้นการจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบของ Google Sheet ยังช่วยปรับปรุงข้อมูลแบบเรียลไทม์ในภายหลังได้โดยง่าย สำหรับรายละเอียดชุดข้อมูลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายละเอียดชุดข้อมูลวัดไทย

ชื่อชุดข้อมูล	จำนวนมิติ	จำนวนแถว
ทะเบียนวัดไทยในจังหวัดนนทบุรี	29	196
สถิติบุคลากรทางพระพุทธศาสนา 2552-2563	5	96
โบราณสถานทางศาสนาในจังหวัดนนทบุรี	12	50

3.2 การนำเสนอข้อมูลด้วยภาพ และสร้างแดชบอร์ด

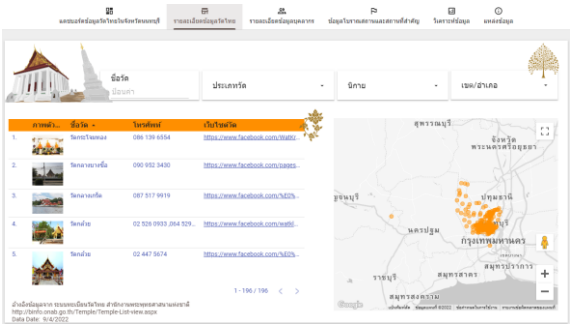
การนำเสนอข้อมูลด้วยภาพ (Visualize Data) เป็นกระบวนการหรือขั้นตอนนำเสนอข้อมูลในเชิงปริมาณให้อยู่ในรูปแบบของกราฟ หรือแผนภูมิต่าง ๆ โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อสื่อสารให้เข้าใจข้อมูลเชิงลึก (Data Insight) อาทิ ความสัมพันธ์ (Correlations) รูปแบบ (Patterns) และแนวโน้ม (Trends) เป็นต้น ได้อย่างง่ายและรวดเร็ว โดยงานวิจัยนี้เลือกใช้เครื่องมือพัฒนาแผนภูมินำเสนอข้อมูล และพัฒนาแดชบอร์ดข้อมูลด้วยซอฟต์แวร์ Looker Studio โดย Looker เป็นเว็บแอปพลิเคชันสำหรับสร้างแดชบอร์ด หรือรายงานนำเสนอข้อมูล จากบริษัท Google ซึ่งปัจจุบันเปิดบริการให้ใช้งาน 2 รุ่น คือ รุ่นพื้นฐาน (Basic Version) และรุ่นมืออาชีพ (Professional Version) สำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้งานในรุ่นพื้นฐาน เนื่องจากเปิดบริการให้ใช้งานฟรี ดำเนินการวิเคราะห์และออกแบบส่วนต่อประสานสำหรับนำเสนอข้อมูลทั้งสิ้นจำนวน 6 หน้าจอ ประกอบด้วย

1) แดชบอร์ดนำเสนอข้อมูลวัดไทยในจังหวัดนนทบุรี
2) รายงานรายละเอียดข้อมูลวัดไทยในจังหวัดนนทบุรี
3) รายงานข้อมูลบุคลากรทางพระพุทธศาสนา
4) รายงานข้อมูลโบราณสถานทางพระพุทธศาสนา
5) รายงานวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเปรียบเทียบ
6) รายละเอียดแหล่งข้อมูลอ้างอิงหลัก

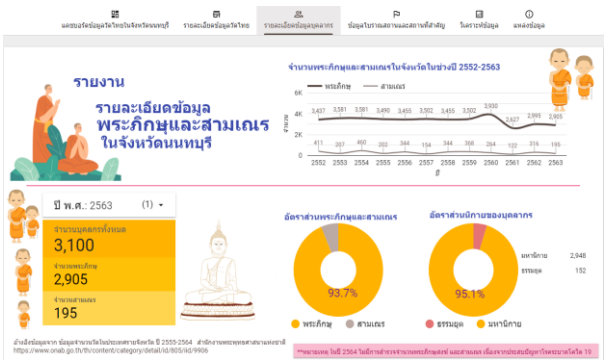
ตัวอย่างผลงานการนำเสนอข้อมูลวัดไทยดังรูปที่ 3-8 ตามลำดับ



รูปที่ 3 แดชบอร์ดวัดไทยในจังหวัดนนทบุรี



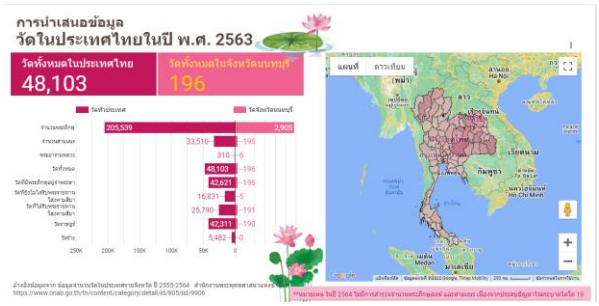
รูปที่ 4 รายงานรายละเอียดข้อมูลวัดไทยในจังหวัดนนทบุรี



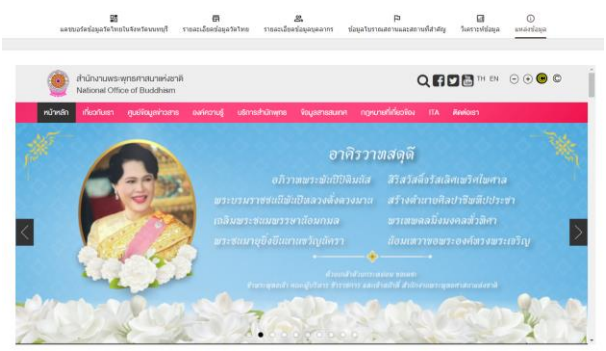
รูปที่ 5 รายงานข้อมูลบุคลากรทางพระพุทธศาสนา



รูปที่ 6 รายงานข้อมูลโบราณสถานทางพระพุทธศาสนา



รูปที่ 7 รายงานวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเปรียบเทียบ



รูปที่ 8 รายละเอียดแหล่งข้อมูลอ้างอิงหลัก

ในการออกแบบแดชบอร์ดและรายงานนำเสนอข้อมูลวัดไทยในจังหวัดนนทบุรีในแต่ละหน้า ข้อมูลถูกนำเสนอด้วยแผนภูมิชนิดต่าง ๆ ประกอบด้วย แผนภูมิตารางสรุปสถิติ (Scorecard) แผนภูมิวงกลมโดนัท (Donut Chart) แผนภูมิแท่ง (Bar Chart) แผนภูมิเส้น (Line Chart) และแผนภูมิภูมิศาสตร์แผนที่ (Map Chart) เป็นต้น ดำเนินการออกแบบกราฟิกภาพประกอบเพื่อเพิ่มความน่าสนใจ และความสวยงามน่าใจงานให้กับแดชบอร์ดและรายงานข้อมูล แสดงผลข้อมูลแบบอินเตอร์แอคทีฟ (Interactive Interface) และทำงานร่วมกับตัวกรองข้อมูล (Filter Data) โดยตัวกรองข้อมูลเป็นเครื่องมือสำหรับการกรองข้อมูลที่ต้องการนำเสนอบนหน้าแดชบอร์ดหรือรายงาน โดยผู้ใช้งาน (Users) โดยตัวกรองทั้งหมดมีจำนวน 5 ตัวกรอง ตัวอย่างตัวกรองข้อมูลบนหน้าแดชบอร์ดรายงานรายข้อมูลวัดไทยดังรูปที่ 4 ข้างต้น มีตัวกรองข้อมูลจำนวน 4 ตัว คือ ตัวกรองข้อมูลชื่อวัด ตัวกรองข้อมูลประเภทวัด ตัวกรองข้อมูลนิกาย และตัวกรองข้อมูลอำเภอ รายละเอียดดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 ตัวกรองหน้ารายงานรายละเอียดข้อมูลวัดไทย

3.3 การเผยแพร่

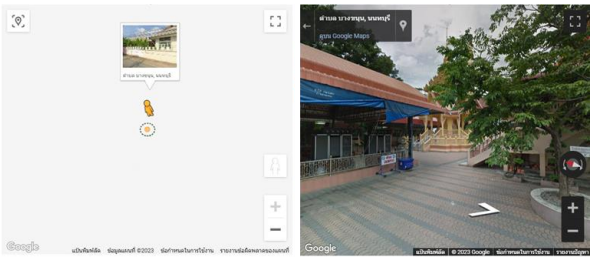
การเผยแพร่ (Public or Share) เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการพัฒนาแดชบอร์ดหรือรายงานข้อมูล กล่าวคือ เป็นขั้นตอนนำแดชบอร์ดหรือรายงานข้อมูลถ่ายทอดไปยังผู้ใช้งาน สำหรับงานวิจัยนี้เผยแพร่ผ่านผ่านลิงก์ตำแหน่งทางอิเล็กทรอนิกส์ หรือ URL

4. ผลการวิจัย

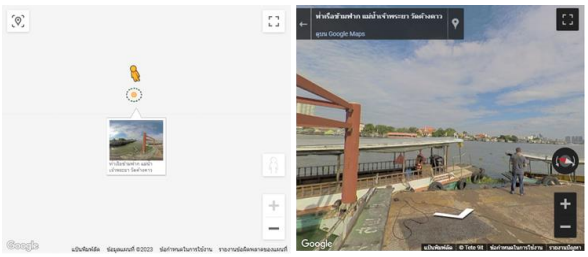
คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการทดสอบการใช้งานแดชบอร์ดข้อมูลวัดไทยในจังหวัดนนทบุรี 2 ส่วน คือ ส่วนแรกดำเนินการหาประสิทธิภาพการกรองข้อมูลเพื่อนำเสนอข้อมูลภายใต้เงื่อนไขการกำหนดค่าจากเครื่องมือตัวกรองข้อมูลกับตัวกรอง 5 ตัว คือ 1) ตัวกรองชื่อวัด 2) ตัวกรองประเภทวัด 3) ตัวกรองนิกาย 4) ตัวกรองอำเภอ 5) ตัวกรองปี พ.ศ. โดยตัวกรอง 1-4 ประมวลผลแบบผสานกัน นอกจากนั้นยังทำการทดสอบการทำงานของแผนภูมิแผนที่ Google Map ในการแสดงผลพิกัดภูมิศาสตร์ของวัดต่าง ๆ ในรูปแบบ Street View ดำเนินการวัดประสิทธิภาพความถูกต้องของการนำเสนอข้อมูลของตัวกรองและการแสดงตำแหน่งด้วยค่าความถูกต้อง (Accuracy Score) โดยดำเนินการทดสอบกับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 10 ราย

ส่วนที่สองดำเนินการศึกษาความพึงพอใจกับกลุ่มตัวอย่างซึ่งเป็นผู้อาศัยอยู่ในจังหวัดนนทบุรี จำนวน 100 ราย ด้วยเครื่องมือแบบสอบถามออนไลน์ ด้วยประเด็นคำถามจำนวน 5 ข้อ ประกอบด้วย 1) คุณค่าหรือประโยชน์ของข้อมูลที่นำเสนอ 2) ความยากง่ายในการใช้งานตัวกรองข้อมูล 3) การสื่อสารข้อมูลมีความเข้าใจง่าย 4) ความสวยงาม น่าใช้งานของแผนภูมิต่าง ๆ และ 5) ภาพประกอบมีความเหมาะสม

ผลการทดสอบประสิทธิภาพการนำเสนอข้อมูลด้วยตัวกรองข้อมูลทั้ง 5 เครื่องมือ กับผู้ทดสอบจำนวน 10 ราย พบว่ามีค่าความถูกต้องร้อยละ 97.97 โดยผู้ทดสอบส่วนใหญ่ใช้งานแดชบอร์ดได้อย่างถูกต้อง อย่างไรก็ตามพบว่า ผู้ใช้งานบางรายไม่คุ้นชินกับปฏิสัมพันธ์ของเครื่องมือ Looker ที่ต้องล้างเงื่อนไขตัวกรอง (Reset Filter) ก่อนการกำหนดเงื่อนไขใหม่จึงส่งผลให้ข้อมูลผลลัพธ์คลาดเคลื่อน ในส่วนของการทำงานของแผนภูมิภูมิศาสตร์ Google Map ด้วยการนำเสนอในรูปแบบ Street View พบค่าความแม่นยำในการระบุตำแหน่งร้อยละ 96.50 ที่ระดับการซูมสูงสุดบนแผนภูมิ Google Map ตัวอย่างภาพผลลัพธ์การแสดงผลแบบ Street View แสดงดังรูปที่ 10 และ รูปที่ 11 ตามลำดับ



รูปที่ 10 ผลลัพธ์การแสดงผลแบบ Street View ถูกต้องของวัดจำปา



รูปที่ 11 ผลลัพธ์การแสดงผลแบบ Street View ไม่ถูกต้องของวัดค้างคาว

สำหรับผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานโดยใช้เครื่องมือแบบสอบถามออนไลน์ จากการเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ค่าทางสถิติ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า ผู้ใช้งานส่วนใหญ่มีความพึงพอใจต่อแดชบอร์ดที่พัฒนาขึ้นในระดับมาก ที่ค่าเฉลี่ย 3.80 และเห็นว่าแดชบอร์ดข้อมูลมีประโยชน์ในการศึกษาข้อมูลวัดในจังหวัดนนทบุรี และสามารถใช้เป็นช่องทางติดต่อข่าวสารต่าง ๆ ของทางวัดได้ รวมทั้งยังเป็นประโยชน์ต่อการเดินทางไปยังวัดต่าง ๆ จากข้อมูลพิกัดบนแผนภูมิภูมิศาสตร์แผนที่อีกด้วย นอกจากนั้นงานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์จากผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 1 ราย คือ ผู้อำนวยการสำนักงานพระพุทธศาสนาจังหวัดนนทบุรี ประเมินผลงานวิจัยและการนำไปใช้ประโยชน์สาธารณะ โดยใช้เครื่องมือแบบสอบถามออนไลน์และมีประเด็นข้อคำถามเช่นเดียวกันกับกลุ่มเป้าหมายข้างต้น ผลการประเมินเป็นไปในแนวทางเดียวกัน กล่าวคือ ผลการประเมินในภาพรวม พบว่าผู้ทรงคุณวุฒิมีความเห็นต่อแดชบอร์ดวัดไทยในจังหวัดนนทบุรี ในระดับมากที่ค่าเฉลี่ย 3.60 และผลงานวิจัยสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการนำเสนอข้อมูลทางด้านพระพุทธศาสนาในจังหวัดนนทบุรีได้

5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้พัฒนาแดชบอร์ดนำเสนอข้อมูลวัดไทยและโบราณสถานทางพระพุทธศาสนาในจังหวัดนนทบุรี โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างองค์ความรู้ด้วยทักษะในศตวรรษที่ 21 ด้านวิทยาการข้อมูลและเทคโนโลยีสารสนเทศ และเพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับงานการนำเสนอข้อมูลสารสนเทศของข้อมูลทางด้านพระพุทธศาสนา ด้วยเทคนิคการนำเสนอข้อมูล อันเป็นการสร้างองค์ความรู้เชิงประยุกต์และบูรณาการกับงานทำนุบำรุงศิลปวัฒนธรรม โดยการศึกษาวิจัยในครั้งนี้คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการตามศาสตร์ด้านวิทยาการข้อมูล ประกอบด้วย การเตรียมชุดข้อมูล การวิเคราะห์และออกแบบ การพัฒนาแดชบอร์ดข้อมูลด้วยหลักการนำเสนอข้อมูลด้วยภาพ โดยเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาประกอบด้วย ซอฟต์แวร์ภาษาไพธอนและไลบรารีที่เกี่ยวข้องสำหรับเก็บรวบรวมข้อมูล งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลหลักจากระบบงานทะเบียนวัดของสำนักงานพระพุทธศาสนาแห่งชาติ ร่วมกับการเก็บรวบรวมข้อมูลจากหน้าเว็บต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องโดยใช้เทคนิคการดึงข้อมูลจากหน้าเว็บ (Web Scraping) ข้อมูลที่เก็บรวบรวมจะถูกนำมาวิเคราะห์และออกแบบโดยจัดเก็บในรูปแบบสเปรดชีตด้วยซอฟต์แวร์ Google Sheet จากนั้นเชื่อมต่อข้อมูลกับซอฟต์แวร์นำเสนอข้อมูลด้วยภาพ Looker Studio เพื่อนำเสนอแดชบอร์ดข้อมูล และรายงานต่าง ๆ ในรูปแบบออนไลน์ที่ทำงานโต้ตอบแบบอินเตอร์แอคทีฟ (Interactive Interface) กับผู้ใช้งาน โดยผลการพัฒนางานวิจัยนี้ได้แดชบอร์ดข้อมูลวัดไทยในจังหวัดนนทบุรีจำนวน 1 หน้า และรายงานนำเสนอรายละเอียดข้อมูลจำนวน 5 หน้า

เมื่อพัฒนาตามหลักการและขั้นตอนข้างต้นเสร็จสิ้น คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการทดสอบการทำงานกับผลลัพธ์จากตัวกรองข้อมูลซึ่งผลลัพธ์มีความถูกต้องค่อนข้างสูง และดำเนินการประเมินผลความคิดเห็นกับผู้ทรงคุณวุฒิและผู้ใช้งานกลุ่มตัวอย่างที่มีต่อแดชบอร์ดนำเสนอข้อมูลวัดไทยในจังหวัดนนทบุรีที่ได้พัฒนาขึ้น ผลการวิจัยสรุปได้ว่า ผู้ใช้งานและผู้ทรงคุณวุฒิมีความพึงพอใจในระดับมาก และยังมีความคิดเห็นที่สอดคล้องตรงกันว่าแดชบอร์ดที่พัฒนาขึ้นมีประโยชน์และสามารถใช้เป็นเครื่องมือสำหรับการให้ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับข้อมูลวัดและโบราณสถานทางพระพุทธศาสนาของจังหวัดนนทบุรีได้ อย่างไรก็ตามพบว่ารูปแบบของปฏิสัมพันธ์บนเครื่องมือ Looker ยังเป็นรูปแบบที่ผู้ใช้งานยังไม่คุ้นชิน ในการใช้งานตัวกรองข้อมูลแต่ละครั้งต้องมีการล้างค่าเงื่อนไขก่อนหน้าออกทุกครั้ง ก่อนเริ่มต้นใช้ตัวกรองใหม่ เพราะเงื่อนไขการกรองข้อมูลเดิมจะยังคงค้างอยู่ทุกครั้งเมื่อมีใช้งานตัวกรอง ซึ่งในการทดสอบมีหลายครั้งที่ผู้ทดสอบไม่ล้างค่าเงื่อนไขตัวกรองก่อนสั่งการเงื่อนไขใหม่ จึงส่งผลให้ผลลัพธ์การกรองข้อมูลไม่ถูกต้อง ซึ่งปัญหาดังกล่าวเป็นประเด็นของความคุ้นชินการใช้งานในรูปแบบปฏิสัมพันธ์ของเครื่องมือ Looker ซึ่งหากผู้ใช้มีความคุ้นชินการใช้งานก็จะทำให้การใช้งานมีความรวดเร็ว และการกรองข้อมูลถูกต้องมากยิ่งขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี หน่วยงานต้นสังกัดของคณะผู้วิจัย ที่ให้การสนับสนุนทุนในการดำเนินงานวิจัย และขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการนำเสนอบทความในการประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ครั้งที่ 7 นี้

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานพระพุทธศาสนาแห่งชาติ. [ออนไลน์]. “ข้อมูลวัดและพระทั่วประเทศ พ.ศ.2564”. สืบค้นวันที่ 26 พฤศจิกายน 2565. เข้าถึงได้จาก https://www.onab.go.th/th/page/item/index/id/1

[2] สำนักงานคณะกรรมการกฤษฎีกา. (2535). พระราชบัญญัติคณะสงฆ์ (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2535. ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 109/ตอนที่ 16, หน้าที่ 5-11, 4 มีนาคม 2536.

[3] M. Friendly, H. Wainer, A History of Data Visualization and Graphic Communication. Harvard University Press, Cambridge, 2021.

[4] กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข. [ออนไลน์]. “แดชบอร์ดและรายงานนำเสนอข้อมูลผู้ติดเชื้อโรคระบาดโควิด 19”. สืบค้นวันที่ 10 กันยายน 2565 เข้าถึงได้จาก https://ddc.moph.go.th/covid19-dashboard/?dashboard=main

[5] สำนักงานพัฒนารัฐบาลดิจิทัล. [ออนไลน์]. “แดชบอร์ดและนำเสนอข้อมูลการใช้จ่ายงบประมาณของภาครัฐในแต่ละปีงบประมาณ 2565 ระบบข้อมูลการใช้จ่ายภาครัฐ”. สืบค้นวันที่ 10 กันยายน 2565. เข้าถึงได้จาก http://www.govspending.data.go.th/dashboard

[6] ธนาคารไทยพาณิชย์. [ออนไลน์]. “โรบินฮู้ด ฟู้ดเดลิเวอรี แทคทีม เอสซีบี ดีแบงก์ มุ่งมั่นช่วยร้านเล็กส่ง Intelligence Dashboard วิเคราะห์เจาะลึกให้ร้านค้าสองแสนร้าน”. สืบค้นวันที่ 22 มีนาคม 2566. เข้าถึงได้จาก https://www.scb.co.th/th/about-us/news/dec-2564/rbh-dashboard.html

[7] ตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย. [ออนไลน์]. “ภาพรวมสถิติตลาดหลักทรัพย์ไทย”. สืบค้นวันที่ 22 มีนาคม 2566. เข้าถึงได้จาก https://www.set.or.th/th/home

[8] กนกวรรณ สีเนหะ, วราปภา อารีราษฎร์, และกาญจนา ดงสงคราม, “การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีแดชบอร์ดเพื่อนำเสนอข้อมูลพื้นฐานตำบลห้วยเตย จังหวัดมหาสารคาม”, *วารสารวิชาการประยุกต์เทคโนโลยีสารสนเทศ*, ปีที่ 8, ฉบับที่ 1, หน้า 78-89, มกราคม-มิถุนายน 2565.

[9] สุทธิดา แซ่เฮ้ง และคณะ. (2565). การนำเสนอข้อมูลมหาวิทยาลัยไทยด้วยแดชบอร์ดเชิงโต้ตอบ. การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 6 (น. 61-64). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

[10] Sigma Data System. [Online]. “Data Visualization Process”. Retrieve Date 10 Jun,2022. Available from https://www.sigmadatasys.com/wp-content/uploads/2019/10/05-data-visualization.svg?x88783



วีรวรรณ จันทนะทรัพย์
อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
งานวิจัยที่สนใจ: การประมวลผลภาพดิจิทัล, การนำเสนอข้อมูลด้วยภาพ, ระบบปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์กับคอมพิวเตอร์



นริศรา นาคเมธี
อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
งานวิจัยที่สนใจ: การประมวลผลภาษาธรรมชาติ, การค้นคืนข้อมูล, เหมืองข้อมูล



สยาม ลางคุลเสน
อาจารย์ประจำหมวดวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
งานวิจัยที่สนใจ: งานวิจัยด้านสถิติประยุกต์

ระบบสืบค้นผ้าซิ่นสำหรับศูนย์วัฒนธรรมศึกษาจังหวัดน่าน

SarongSearching System for Culture Education Center,Nan Province

สุขสวรรค์ คำวงศ์[1*] เกวรินทร์ จันทร์ดำ[2] และสิทธิเดช วชิราศรีศิริกุล[3]

[1,2]คณะเทคโนโลยีและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา ตำบลแม่กา อำเภอเมือง พะเยา 56000

[3]คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยาตำบลแม่กา อำเภอเมือง พะเยา 56000

61323061@up.ac.th,Kaewarin.ja@up.ac.th and sitthidet.va@up.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ (1)เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบสืบค้นผ้าซิ่นของศูนย์วัฒนธรรมศึกษาน่าน ที่สามารถสืบค้นข้อมูลตาม สี ลายผ้า และโอกาสสวมใส่ บนเว็บแอปพลิเคชัน (2) เพื่อประเมินประสิทธิภาพด้านการใช้งานของระบบ (3) เพื่อประเมินผลความพึงพอใจต่อการใช้งานระบบ กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย ผู้เชี่ยวชาญด้านวัดและประเมินผล จำนวน 3 คน ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา จำนวน 3 คน และด้านการออกแบบระบบ จำนวน 3 คน และบุคลากรเพศหญิงในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาน่าน จำนวน 110 คนและนักท่องเที่ยวจำนวน 100 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยได้แก่ แบบประเมินคุณภาพ แบบสัมภาษณ์ และแบบสอบถามความพึงพอใจ สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลได้แก่ ความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัยพบว่า 1) ผลการออกแบบและพัฒนาระบบมีคุณภาพในระดับมาก ($\bar{x}$=4.48, S.D. = 0.77) 2) ผลการประเมินประสิทธิภาพด้านการใช้งานของระบบที่ พัฒนาขึ้นมีคุณภาพระดับมาก ($\bar{x}$= 4.41, S.D. = 0.71) และ 3)ผลการประเมินผลความพึงพอใจต่อการใช้งานระบบที่พัฒนาขึ้นในภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$= 4.36, S.D. = 0.82)

คำสำคัญ : ระบบสืบค้น; ผ้าซิ่น

Abstract

The purposes of this research were : 1) design and develop The Sarong Searching System for Culture Education Center, Nan Province 2) evaluate the efficiency of system and 3) evaluate user's satisfaction of system. The population and samples group were 1) System specialist on content design, measurement, and evaluation aspects in a total of 9 persons. 2) Female in Rajamagala University Technology Lanna, Nan in a total of 110 persons and tourist in a total of 100 persons. Research instruments were interviews, a Quality assessment form, and a satisfaction questionnaire. The results of the research were shown that 1) The result of Design and Develop System had high quality. ($\bar{x}$= 4.48, S.D. = 0.77) 2) the result of system efficiency had high quality . ($\bar{x}$= 4.41, S.D. = 0.71) 3) The satisfaction of the users of the The Sarong Searching System was high ($\bar{x}$= 4.36, S.D. = 0.82).

Keywords: Searching System; Sarong

1. บทนำ

ผ้าทอเมืองน่านเป็นผ้าที่ทอจากฝ้าย ในอดีตนั้นจะใช้ฝ้ายที่มีในท้องถิ่น โดยเริ่มจากการปลูกฝ้าย และเข้าสู่กระบวนการผลิตเป็นเส้นด้าย โดยภูมิปัญญาของท้องถิ่นทั้งหมด รวมทั้งกรรมวิธีย้อมสีธรรมชาติ เช่น สีดำจากผลมะเกลือ สีแดงจากครั่ง สีเหลืองจากขมิ้น แก่นขนุนและสีน้ำตาลได้จากเปลือกต้นสน เป็นต้น การสืบทอดทางวัฒนธรรม พบว่า ผู้ที่มีอาชีพทอผ้าส่วนใหญ่สืบเชื้อสายมาจากชาวไทยลื้อโบราณ

ศูนย์วัฒนธรรมศึกษาน่าน เป็นหน่วยงานในสังกัดมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา มีบทบาทหน้าที่สำคัญทางด้านศิลปวัฒนธรรม คือเป็นศูนย์กลางในการให้บริการทางการศึกษา ส่งเสริมและเผยแพร่ศิลปวัฒนธรรมไทยสาขาต่าง ๆ แก่เยาวชนและสังคม เพื่อให้นักศึกษาตระหนักถึงคุณค่าของวัฒนธรรมไทย วัฒนธรรมท้องถิ่น เกิดความรักหวงแหน มรดกทางวัฒนธรรมของชาติ และช่วยกันรักษาไว้เป็นศักดิ์ศรี และเกียรติภูมิของชาติสืบไป นอกจากนี้ยังเป็นสถานที่สำหรับเก็บรวบรวมข้อมูลทางทางวัฒนธรรม ได้แก่เครื่องปั้นดินเผา เครื่องดนตรี และผ้าซิ่น เป็นต้น ในปัจจุบันการเก็บรักษาผ้าซิ่น เก็บอย่างกระจัดกระจายโดยใส่รวมกันไว้บนชั้นในห้องศูนย์วัฒนธรรมศึกษา ไม่ได้มีการแบ่งแยกชนิดประเภท ทำให้ไม่เป็นระบบระเบียบในการหาของ หรือ การสำรวจครุภัณฑ์ ต้องใช้เวลาหลายวันถึงจะสำรวจเสร็จ มีของไหนยังคงอยู่ ชำรุด เสียหาย หรือสูญ

หายก็ไม่รู้แน่ชัด อีกทั้งการปัจจุบันมีการรณรงค์ให้สวมใส่ผ้าไทย ผ้าชิ่นจึงได้ถูกฟื้นฟูให้กลับมาเป็นที่นิยมและเพื่อการอนุรักษ์ศิลปวัฒนธรรมอีกครั้ง การเลือกใช้ผ้าชิ่นจึงมีความสำคัญ เพราะการเลือกสวมใส่ผ้าชิ่น อาจเลือกสวมใส่ตามโอกาส ลักษณะงาน เลือกสวมใส่ตามวัน เลือกสวมใส่ตามธีมงาน

การค้นหาข้อมูลบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตที่มีอยู่ในปัจจุบันมีเป็นจำนวนมาก การที่จะค้นหาข้อมูลให้ พบอย่างรวดเร็วจะต้องใช้เว็บไซต์สำหรับการค้นหาข้อมูลที่เรียกว่า Search Engine Site ซึ่งจะทำหน้าที่รวบรวมรายชื่อเว็บไซต์ต่าง ๆ ไว้ โดยจัดแยกเป็นหมวดหมู่ ผู้ใช้งานเพียงแต่ทราบหัวข้อที่ ต้องการค้นหาแล้วป้อนคำหรือข้อความของหัวข้อนั้น ๆ ลงไปในช่องที่กำหนด คลิกปุ่มค้นหา จากนั้นรายชื่อเว็บไซต์ที่เกี่ยวข้องจะปรากฏให้เข้าไป ศึกษาเพิ่มเติมได้ทันที [1]การใช้โปรแกรมค้นหา ที่ถูกออกแบบมาเป็นเครื่องมือใช้งานในการสืบค้นข้อมูลต่างๆ โดยโปรแกรมส่วนมากที่ใช้สำหรับการค้นหาข้อมูลบนเว็บไซต์ Search engines จะมีวิธีการค้นหาโดยการกรอกข้อมูลหรือคำที่ต้องการสืบค้นลงไป แล้วเว็บไซต์จะทำการประมวลผลลัพธ์ต่างๆ ออกมาให้ผู้สืบค้นข้อมูลทราบ ซึ่งคำค้นหาที่ใช้จะเรียกว่าเป็น Keyword (คีย์เวิร์ด) ของการสืบค้นข้อมูล ในปัจจุบันเทคโนโลยีของ Search Engine ได้มีการพัฒนาและปรับปรุงคุณภาพให้สูงมากยิ่งขึ้น โดยหลังจากที่ทำการค้นหาเรียบร้อยแล้ว ระบบจะสามารถทำการเลือกผลลัพธ์ของผู้ใช้ และบันทึกประวัติการค้นหาไว้สำหรับการกรองผลลัพธ์การค้นหาครั้งต่อไป เพื่อช่วยให้ผู้สืบค้นข้อมูล สามารถทำการค้นหาข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ถูกต้องแม่นยำ [2] ในการพัฒนา ระบบสารสนเทศ ประกอบด้วยขั้นตอนในการปฏิบัติงานหลายขั้นตอน เพื่อให้การปฏิบัติงานเป็นไป อย่างมีประสิทธิภาพและสำเร็จลุล่วงตามระยะเวลาที่กำหนด จึงมีการกำหนดขั้นตอนการปฏิบัติงาน เป็นลำดับที่ชัดเจน ตั้งแต่เริ่มโครงการจนกระทั่งสิ้นสุดโครงการ เรียกว่า วงจรการพัฒนาระบบ (System Development life Cycle: SDLC) เป็นวงจรที่แสดงถึงกิจกรรมที่เป็นลำดับขั้นในการ พัฒนาระบบสารสนเทศ ประกอบด้วยกิจกรรม 7 กิจกรรม ดังนี้ 1) การกำหนดปัญหา 2) การวิเคราะห์ 3) การออกแบบ 4) การพัฒนา 5) การทดสอบ 6) การติดตั้งและการใช้งาน 7) การบำรุงรักษา[3]

เพื่อเป็นการอนุรักษ์ศิลปวัฒนธรรมทางด้านการแต่งกายเครื่องนุ่งห่มสตรี โดยเฉพาะผ้าชิ่น ด้วยการนำเทคโนโลยีเข้ามาประยุกต์ใช้ ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษา ระบบสืบค้นผ้าชิ่นในศูนย์วัฒนธรรมศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จึงใช้แนวทางของระบบฐานการสืบค้นและใช้วงจรการพัฒนาระบบเป็นแนวทางในการออกแบบและพัฒนาระบบ เพื่อให้ระบบสืบค้นผ้าชิ่นตาม สี ลายผ้าและโอกาสสวมใส่ และให้ง่ายต่อการค้นหาตัวผ้าชิ่นจึงได้ออกแบบให้แสดงตำแหน่งที่จัดเก็บของผ้าชิ่นต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1) เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบสืบค้นผ้าชิ่นของศูนย์วัฒนธรรมศึกษาน่าน ที่สามารถสืบค้นข้อมูลตาม สี ลายผ้า และโอกาสสวมใส่ บนเว็บแอปพลิเคชัน

2) เพื่อประเมินประสิทธิภาพด้านการใช้งานของระบบ

3) เพื่อประเมินผลความพึงพอใจต่อการใช้งานระบบ

3.ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1) ประชากร ผู้เชี่ยวชาญด้านวัดและประเมินผล จำนวน 3 คน ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา จำนวน 3 คน และด้านการออกแบบระบบ จำนวน 3 คน

2) บุคลากรเพศหญิงในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาน่าน จำนวน 110 คน และนักท่องเที่ยว จำนวน 100 คน

3.2 ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยและพัฒนา (Research and Development) เพื่อการศึกษาและพัฒนาระบบสืบค้นผ้าชิ่นในศูนย์วัฒนธรรมศึกษา น่าน ในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาน่าน เนื้อหางานได้แก่ สิ่งที่ศึกษาคือ การออกแบบและพัฒนาระบบสืบค้นผ้าชิ่นของศูนย์วัฒนธรรมศึกษาน่าน ผลของงานได้แก่ ผลของคุณภาพการออกแบบและพัฒนาระบบ ผลของประสิทธิภาพด้านการใช้งานระบบ และผลการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานระบบ ส่วนเนื้อหาด้านการใช้งานระบบ คือ การสืบค้นผ้าชิ่นโดยใช้คำค้นจาก สี ลายผ้าและโอกาสสวมใส่ โดยจะแสดงภาพผ้าชิ่น ตามสี ลายผ้า โอกาสสวมใส่ และตำแหน่งการจัดเก็บ

3.3 เครื่องมือที่ใช้ ประกอบด้วย

1) แบบสัมภาษณ์ 2) ระบบสืบค้นผ้าชิ่นสำหรับศูนย์วัฒนธรรมศึกษา 3) แบบประเมินคุณภาพ และ 4) แบบประเมินความพึงพอใจ

3.4 การสร้างเครื่องมือในการวิจัยและการเก็บรวบรวมข้อมูล

1) แบบสอบถาม โดยศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้อง สร้างแบบสัมภาษณ์ เสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ ก่อนดำเนินการสัมภาษณ์ ชี้แจง

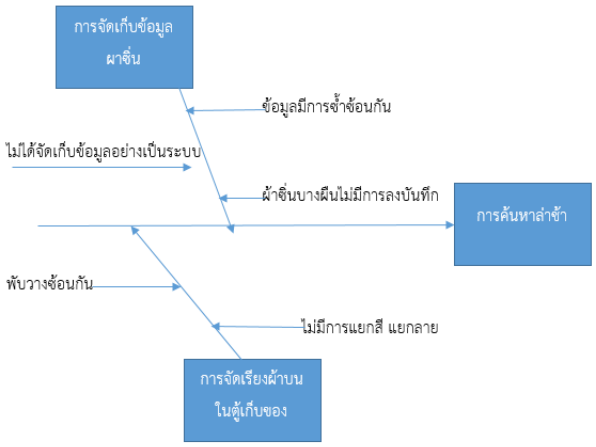
วัตถุประสงค์ในเรื่องที่ทำการศึกษา ผู้เชี่ยวชาญ นัดเวลาสถานที่และดำเนินการสัมภาษณ์ โดย ผู้เชี่ยวชาญประกอบด้วย ผู้เชี่ยวชาญด้านการวัดและประเมินผล จำนวน 3 คน เกี่ยวกับข้อคำถามและสถิติที่ใช้ในการสอบถาม ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา 3 คน เกี่ยวกับเนื้อหาผ้าชิ่นได้แก่ความถูกต้องของลายและสีผ้าชิ่น และผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบระบบ จำนวน 3 คน เกี่ยวกับการออกแบบและพัฒนาระบบ เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง ปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญก่อนนำไปใช้จริงและมีการแบ่งระดับคะแนนตามมาตราวัดแบบ Likert-type-Scale ได้มีการกำหนดระดับคะแนน ดังนี้ คะแนน 5 หมายถึง พอใจมากที่สุด, คะแนน 4 หมายถึง พอใจมาก, คะแนน 3 หมายถึง พอใจปานกลาง , คะแนน 2 หมายถึง พอใจน้อย และคะแนน 1 หมายถึง พอใจน้อยที่สุด

2) ระบบสืบค้นผ้าชิ่นในศูนย์วัฒนธรรมศึกษาน่าน ผู้วิจัยได้สังเคราะห์ วงจรการพัฒนาระบบมาประยุกต์ใช้ โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

2.1) การวางแผนโครงการ ตั้งแต่งานขั้นตอนการออกแบบและพัฒนาระบบสืบค้นผ้าชิ่นในศูนย์วัฒนธรรมศึกษาและวางแผนการนำแบบสัมภาษณ์มาสร้างเพื่อเก็บข้อมูลในขั้นการวิเคราะห์ต่อไป

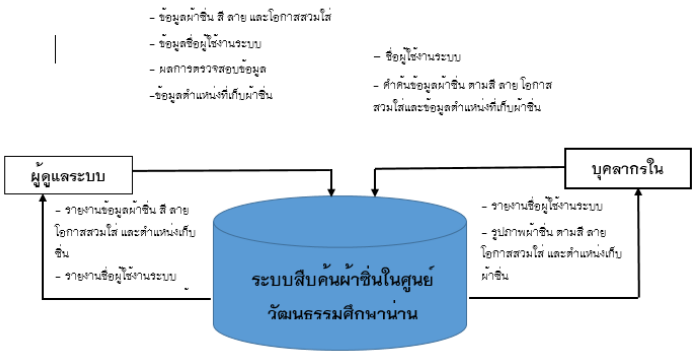
2.2) การวิเคราะห์ระบบ

ลำดับขั้นที่ 1 การศึกษาระบบเดิม เมื่อมีการยืมผ้าชิ่นจากศูนย์วัฒนธรรมศึกษาการค้นหาเกิดการล่าช้าเพราะมีการจัดพับวางซ้อนๆกัน ไม่มีการแยกสี และการจัดเก็บผ้าชิ่นนั้น ไม่มีการจัดเก็บข้อมูลอย่างเป็นระบบ และข้อมูลมีความซ้ำซ้อน ดังภาพที่ 1



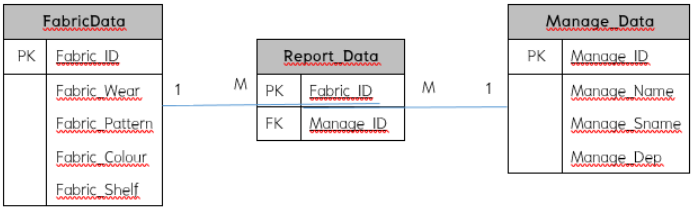
ภาพที่ 1 แผนผังก้างปลา (Cause and-effect Diagram)

ลำดับขั้นที่ 2 แผนภาพบริบท (Context Diagram) ระบบสืบค้นผ้าชิ่นในศูนย์วัฒนธรรมศึกษาน่าน ประกอบด้วย 1) ผู้ดูแลระบบ หมายถึงผู้ดูและระบบสืบค้นผ้าชิ่นในศูนย์วัฒนธรรมศึกษาน่าน 2) บุคลกร หมายถึง ผู้ใช้งานระบบสืบค้นผ้าชิ่น เพื่อการสืบค้นหาผ้าชิ่นตามคำค้นด้วย สี ลายผ้า โอกาสสวมใส่ ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แผนภาพบริบท (Context Diagram)

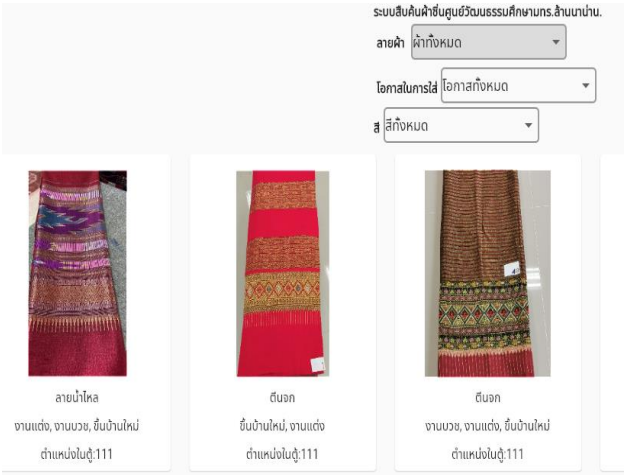
ลำดับขั้นที่ 3 จัดทำแผนภาพจำลองแนวคิด E-R Diagram ซึ่งจะแสดงความสัมพันธ์ของฐานข้อมูล เช่น ข้อมูลผ้าประกอบด้วย รหัสผ้า สี ลายผ้า โอกาสสวมใส่ และตำแหน่งเก็บผ้า ส่วนฐานข้อมูลผู้ดูแลระบบ ประกอบด้วย รหัสผู้ดูแล ชื่อ สกุล และแผนกสังกัด ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แผนภาพจำลองแนวคิด (E-R Diagram)

2.3) ขั้นตอนการออกแบบ

การออกแบบหน้าจอ ให้แสดงข้อมูลการสืบค้นผ้าชิ่นด้วยคำค้น แสดงตามรายการ(List Box) เช่น ลายผ้า จะแสดงหัวข้อย่อย เช่น ลายน้ำไหล ตีนจก คำเคิบ ม่าน ป้อง โครงสร้างพิเศษ ส่วนคำค้นด้วยสี จะแสดงหัวข้อย่อย ตาม สีแดง สีม่วง สีน้ำตาล สีเทา สีเขียว และคำค้นด้วยโอกาสสวมใส่ จะแสดงหัวข้อย่อย คือ งานบวช งานแต่งงาน งานขึ้นบ้านใหม่ และงานศพ ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การออกแบบหน้าจอ

2.4) การพัฒนาระบบ

การวิจัยครั้งนี้ ได้ศึกษาเอกสาร ตำรา และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์และการพัฒนาระบบสารสนเทศ ระบบฐานข้อมูล ระบบสืบค้น ความรู้เกี่ยวผ้าซิ่น โดยใช้หลักทฤษฎีวงจรการพัฒนาระบบและทำการหาประสิทธิภาพของระบบ และโปรแกรมที่ใช้ในการพัฒนาคือ Flutter ซึ่งFlutter คือ Framework ที่ใช้สร้าง UI สำหรับ mobile application ที่สามารถทำงานข้ามแพลตฟอร์มได้ทั้ง iOS และ Android ได้ในเวลาเดียวกัน โดยภาษาที่ใช้ใน Flutter นั้นจะเป็นภาษา dart ซึ่งถูกพัฒนาโดย Google และที่สำคัญคือเป็น open sourceผลที่ได้จากการออกแบบและพัฒนาคือ “ระบบสืบค้นผ้าซิ่นศูนย์วัฒนธรรมศึกษาน่าน ” https://amthai-61415.web.app/#/”

3) แบบประเมินคุณภาพระบบสืบค้นผ้าซิ่นในศูนย์วัฒนธรรมศึกษา ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องเพื่อทำการสร้างแบบประเมินคุณภาพนำเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญด้านการวัดและประเมินผล จำนวน 3คน ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา 3 คน และผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบระบบ จำนวน 3 คน เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง ปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ จากนั้นนำไปใช้งานจริง

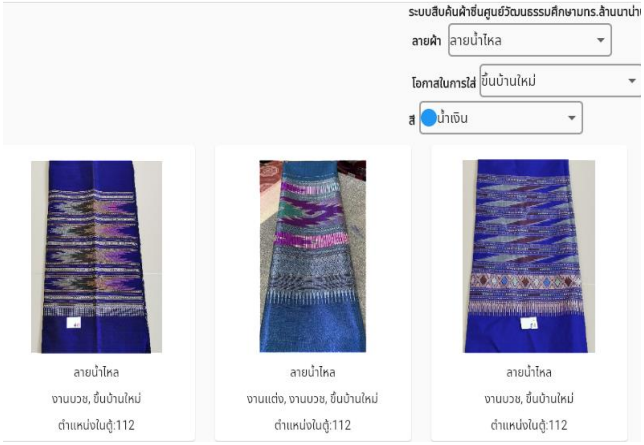
4) แบบประเมินความพึงพอใจ ผู้วิจัยรวบรวมข้อมูลเกี่ยวข้องกับการวิจัย จัดทำแบบประเมินเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ เพื่อพิจารณาตรวจสอบความเที่ยงตรงในเนื้อหา (Content Validity) โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความสอดคล้อง(IOC: Index of Item-Objective Congruence) โดยเกณฑ์ที่ใช้ มีค่า IOC ตั้งแต่ 0.50 ขึ้นไปถือว่าเป็นข้อคำถามที่ใช้ได้ ซึ่งผลการประเมินมีข้อคำถามที่นำมาใช้ในการประเมินรวมทั้งสิ้น 10 ข้อ

3.5 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการประเมินระบบสืบค้นผ้าซิ่นศูนย์วัฒนธรรมศึกษา เพื่อหาประสิทธิภาพของระบบนั้นได้ใช้สถิติเชิงปริมาณได้แก่ ค่าความถี่ ร้อยละค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

4. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. ผลการวิจัยระบบสืบค้นผ้าซิ่นในศูนย์วัฒนธรรมศึกษาน่านโดยใช้คำค้นจากสี ลายผ้า และโอกาสสวมใส่ และจะแสดง สี ลายผ้า โอกาสสวมใส่ และ ตำแหน่งที่เก็บ ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ผ้าซิ่น คำค้น จาก สี ลายผ้า โอกาสสวมใส่

ตารางที่ 1 ผลการหาคุณภาพของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญ

ประเด็นการประเมิน	$\bar{x}$	S.D.	ระดับ
1.ประเมินความถูกต้องและประสิทธิภาพของระบบตรงกับความต้องการของผู้ใช้	4.45	0.57	มาก
2.ประเมินความถูกต้องและประสิทธิภาพ ในการทำงานของระบบตามตามฟังก์ชั่นการทำงาน	4.50	0.86	มากที่สุด
3 .ประเมินลักษณะการออกแบบระบบ ที่มีความยากง่ายต่อการใช้งาน	4.57	0.71	มากที่สุด
4.ประเมินระบบในด้านการรักษาความปลอดภัยของระบบ	4.25	0.73	มาก
ค่าเฉลี่ยรวมทุกข้อ	4.44	0.71	มาก

จากตารางที่ 1 ผลการหาคุณภาพของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญผลการประเมิน พบว่าค่าเฉลี่ยทุกด้านมีประสิทธิภาพอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$=

4.44, S.D. = 0.71) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน โดยเรียงลำดับค่าเฉลี่ยจากมากไปหาน้อย คือ การประเมินการออกแบบระบบ ที่มีความยากง่ายต่อการใช้งาน การประเมินด้านความถูกต้องและประสิทธิภาพในการทำงานของระบบตามตามฟังก์ชั่นการทำงานด้านความถูกต้องและประสิทธิภาพของระบบตรงตามความต้องการของผู้ใช้งานระบบ และ ด้านระบบในด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลในระบบ ตามลำดับ

ตารางที่ 2 การหาคุณภาพของ การวิเคราะห์ ออกแบบ และพัฒนาของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญ

ประเด็นการประเมิน	$\bar{x}$	S.D.	ระดับ
ด้านการใช้งาน			
1. ระบบการสืบค้นผ้าชิ่น ช่วยลดขั้นตอนในการค้นหา	4.64	0.71	มากที่สุด
2. การค้นหาข้อมูล ในระบบ ได้ผลลัพธ์ตรงกับความต้องการ	4.50	0.74	มากที่สุด
3. ระบบค้นหาผ้าชิ่น ช่วยให้สะดวกต่อการเข้าถึงข้อมูลผ้าชิ่น	4.38	0.72	มาก
4. การสืบค้นผ้าชิ่นโดยใช้สี ลายผ้า และโอกาสสวมใส่ มีความสะดวก	4.65	0.73	มากที่สุด
5. ระบบการสืบค้นผ้าชิ่น ช่วยลดขั้นตอนในการแก้ไขข้อมูลผ้าชิ่น	4.59	0.86	มากที่สุด
ด้านการออกแบบหน้าจอ			
1. สีของตัวอักษร รูปแบบและขนาดตัวอักษร ที่ใช้มีเหมาะสม	4.38	0.83	มาก
2. ใช้ภาษาที่เข้าใจง่าย	4.50	0.73	มากที่สุด
3. การแสดงผลจัดเรียง เป็นลำดับขั้นตอน	4.45	0.79	มาก
4. การแสดงตำแหน่งที่เก็บผ้า ทำให้ง่ายต่อการค้นหา	4.30	0.87	มาก
5. เนื้อหา มีความถูกต้อง ชัดเจน และเข้าใจง่าย	4.43	0.77	มาก
ค่าเฉลี่ยรวมทุกข้อ	4.48	0.77	มาก

จากตารางที่ 2 ผลการประเมินประสิทธิภาพจากผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 คน พบว่าค่าเฉลี่ยรวมทุกด้านมีประสิทธิภาพอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$= 4.48 S.D. = 0.77) พบว่าด้านการใช้งานมีระดับคะแนนมากที่สุด คือการสืบค้นผ้าชิ่นโดยใช้สี ลายผ้า และโอกาสสวมใส่ มีความสะดวกส่วนด้านการออกแบบหน้าจอ รายการที่มีระดับดับคะแนนมากที่สุดคือ การใช้ภาษาที่เข้าใจง่าย

ตารางที่ 3 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบสืบค้นผ้าชิ่นของศูนย์วัฒนธรรมศึกษา

ประเด็นการประเมิน	$\bar{x}$	S.D.	ระดับ
1.ความสามารถของระบบในการจัดการข้อมูล	4.15	0.79	มาก
2.ความถูกต้องในการค้นหาข้อมูล	4.38	0.75	มาก
3.ความสามารถของระบบสารสนเทศ	4.20	0.83	มาก
4.ความถูกต้องของผลลัพธ์ในการแสดงผลข้อมูล	4.72	0.85	มากที่สุด
5.ขนาดของภาพมองเห็นได้ชัดเจน	4.54	0.87	มากที่สุด
6.ขนาดของตัวอักษรมองเห็นได้ชัดเจน	4.31	0.76	มาก
7.ความง่ายต่อการใช้งาน	4.25	0.86	มาก
8.ความเป็นมาตรฐานเดียวกันในการออกแบบหน้าจอ	4.58	0.76	มากที่สุด
9.ความเหมาะสมของช่องทางการติดต่อ สอบถามและให้ข้อเสนอแนะ	3.81	0.88	มาก
10.ข้อมูลมีประโยชน์ต่อการนำไปใช้	4.57	0.84	มาก
ค่าเฉลี่ยรวมทุกข้อ	4.35	0.82	มาก

จากตารางที่ 3 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$= 4.35, S.D. = 0.82) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน โดยเรียงลำดับค่าเฉลี่ยจากมากไปหาน้อย คือ ความถูกต้องของผลลัพธ์ในการแสดงผลข้อมูล ($\bar{x}$= 4.72, S.D. = 0.85) รองลงมา ความเป็นมาตรฐานเดียวกันในการออกแบบหน้าจอ($\bar{x}$= 4.58, S.D. = 0.76) และข้อมูลมีประโยชน์ต่อการนำไปใช้($\bar{x}$= 4.57, S.D. = 0.84) ตามลำดับ

5. สรุปผลและอภิปรายผล

1) ผลการศึกษาการออกแบบและพัฒนาระบบสืบค้นในการเลือกผ้าซิ่นของศูนย์ วัฒนธรรมศึกษาน่าน ที่สามารถสืบค้นข้อมูลตาม สี ลายผ้า และโอกาสสวมใส่ บนเว็บแอปพลิเคชัน ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบและพัฒนาระบบสืบค้นผ้าซิ่น สรุปได้ว่า การสืบค้นผ้าซิ่นโดยใช้สี ลายผ้า และโอกาสสวมใส่ มีความสะดวก ระบบการสืบค้นผ้าซิ่น ช่วยลดขั้นตอนในการค้นหา ระบบการสืบค้นผ้าซิ่น ช่วยลดขั้นตอนในการแก้ไขข้อมูลผ้าซิ่น การค้นหาข้อมูล ในระบบ ได้ผลลัพธ์ตรงกับความต้องการ และระบบค้นหาผ้าซิ่น ช่วยให้สะดวกต่อการเข้าถึงข้อมูลผ้าซิ่น อาจเป็นเพราะว่าผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้หลักการออกแบบและพัฒนาระบบ[3] และสอดคล้องกับวรนุช จันทร์โอ และณฐกร สาระรัมย์. (2560)[4] การพัฒนาระบบจัดเก็บครุภัณฑ์ทางคอมพิวเตอร์ ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โรงพยาบาลชัยนาทนเรนทร พบว่าการพัฒนาระบบจัดเก็บครุภัณฑ์ทางคอมพิวเตอร์ผ่าน เครือข่ายอินเทอร์เน็ตสามารถช่วยแก้ไขปัญหาการจัดเก็บและตรวจสอบครุภัณฑ์ ทางคอมพิวเตอร์ของโรงพยาบาลชัยนาทนเรนทรให้มี ความสะดวกรวดเร็วยิ่งขึ้น ผลการประเมินประสิทธิภาพด้านการใช้งานของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน พบว่า ประสิทธิภาพของระบบอยู่ ในระดับมาก ค่าเฉลี่ย 4.41 ผลการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานของผู้ใชอยู่ในระดับมาก ค่าเฉลี่ย 4.29 และสอดคล้องกับจารุณี ภัทรวงษ์ธนา และคณะ. (2560)[5]ได้ทำการศึกษาเรื่อง การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการสำหรับการจัดทำแผนพัฒนาชุมชนในพื้นที่ชุมชนกึ่งเมือง ตำบลสารภีอำเภอสารภีจังหวัดเชียงใหม่เพื่อรองรับการบริหารจัดการชุมชนแบบมีส่วนร่วมสู่การพัฒนาอย่างยั่งยืน ภายใต้วงจรพัฒนาระบบ ในการจัดเก็บข้อมูลในส่วนของการออกแบบเว็ปไซต์ของระบบสารสนเทศ ใช้เทคนิคการออกแบบการแสดงผลในลักษณะ ResponsiveWebsite ผลของการพัฒนาระบบที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วย (1) ระบบบริหารจัดการฐาน ข้อมูลเพื่อใช้ในการบริหารจัดการข้อมูล (2) ระบบบริหารจัดการข้อมูลผู้ใช้ระบบ (3) ระบบสืบค้นสารสนเทศ (4) ระบบการออกรายงาน การประเมินผลการใช้ พบว่าด้านการใช้งานระบบมี ค่าเฉลี่ยของผลการประเมินความพึงพอใจในระดับเหมาะสมมากที่สุด ($\bar{x}$=4.51) ผลการประเมินด้านการออกแบบระบบมีค่าเฉลี่ยของ ผลการประเมินความพึงพอใจในระดับเหมาะสมมากที่สุด (4.63) ส่วนผลการประเมินด้านประสิทธิภาพ ของระบบมีมีค่าเฉลี่ยของผลการประเมินความพึงพอใจในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$=4.51) และชัณษา สีแดงและคณะ.(2565)[6] ได้ทำการศึกษา การพัฒนาคลังสารสนเทศ เพื่อสนับสนุนการเรียนการสอน คณะมนุษยศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยใช้แนวคิดการออกแบบบริการ โดยระบบการทำงานประกอบด้วย ระบบจัดการผลงาน ระบบสืบค้นข้อมูล ระบบกรองผลการสืบค้น และระบบแสดงรายละเอียดข้อมูล จากผลการประเมินความพึงพอใจการใช้ คลังสารสนเทศโดยรวมพบว่าทั้งด้านการออกแบบและด้านการใช้งานผู้ใช้บริการมีความพึงพอใจระดับมาก และผู้ใช้บริการมีความพึงพอใจระดับมากที่สุด คือระบบใช้งานง่าย ไม่ซับซ้อน สอดคล้องกับแนวคิดการออกแบบบริการที่ต้องการให้ผู้ใช้สามารถใช้งานระบบได้ง่าย สะดวก รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ ซึ่งส่งผลต่อ การสร้างประสบการณ์ที่ดีให้กับผู้ใช้ นำไปสู่ความประทับใจในการใช้งาน การประยุกต์แนวคิดการออกแบบบริการจากการศึกษานี้พบว่าแนวคิดการออกแบบบริการสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นวงจรการพัฒนาระบบ เพื่อให้ประสบการณ์ที่ดีในการใช้งาน มีระบบการทำงานที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับผู้ใช้บริการในแต่ละบริบท

2) ผลการประเมินประสิทธิภาพด้านการใช้งานของระบบอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$= 4.26, S.D. = 0.77) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน โดยเรียงลำดับค่าเฉลี่ยจากมากไปหาน้อย คือ ความถูกต้องของผลลัพธ์ในการแสดงผลข้อมูล ($\bar{x}$= 4.63, S.D. = 0.76) รองลงมา ความเป็นมาตรฐานเดียวกันในการออกแบบหน้าจอ ($\bar{x}$= 4.59, S.D. = 0.76) และขนาดของภาพมองเห็นได้ชัดเจน ($\bar{x}$= 4.54, S.D. = 0.73) การแสดงตำแหน่งที่เก็บผ้า ทำให้ง่ายต่อการค้นหา ซึ่งสอดคล้องกับ Cheng Guo, RuhanZhuang,Chin-Cheng Chang and Qiongqiong Yuan. (2019)[7] ได้ทำการวิจัยเรื่อง Dynamic multi-keyword ranked search based on Bloom filter over encrypted Cloud Data พบว่า มีการเสนอวิธีการค้นหาที่ปลอดภัยและมีประสิทธิภาพด้วยวิธี multi-keyword จัดอันดับเหนือข้อมูลคลาวด์ที่เข้ารหัส นอกจากนี้ยังมีรูปแบบที่สนับสนุนการทำงานแบบไดนามิก ที่มีการลบหรือการแทรกในเอกสารได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น เพื่อทำการค้นหาที่มีหลายคำหลักโดยใช้โมเดลพื้นที่เวกเตอร์รวมกับ TF × IDF กฎและการวัดความคล้ายคลึงกันของโคไซน์ เพื่อประเมินความคล้ายคลึงกันระหว่างเอกสารและคำขอค้นหา ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ารูปแบบนี้สามารถบรรลุเป้าหมายการออกแบบได้อย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล และได้สอดคล้องYufei Tao and Cheng Sheng.(2014) [8] ได้ทำการศึกษา Fast Nearest Neighbor Search with Keywords พบว่า แอปพลิเคชั่นนี้สามารถค้นหาได้หลากหลาย เสิร์ชเอ็นจิ้นที่สามารถรองรับรูปแบบใหม่ของการค้นหาเชิงพื้นที่บวกกับการค้นหาคำหลัก วิธีการแก้ปัญหาที่มีอยู่ของข้อความค้นหาดังกล่าวอาจต้องใช้พื้นที่ที่ต้องห้ามหรือไม่สามารถให้คำตอบที่แท้จริงได้ ช่วยแก้ไขสถานการณ์โดยการพัฒนาวิธีการเข้าถึงที่เรียกว่า the spatial

inverted index (ดัชนี SI) SI-index นั้น ช่วยให้ประหยัดพื้นที่ อีกทั้งยังมีความสามารถในการค้นหาคำที่ใกล้เคียงที่สุดที่เพิ่มคำหลักใช้เวลาอันสั้น และสอดคล้องกับ มยุรี รัตนเสริมพงศ์.(2565) [9] ได้ทำการศึกษา การพัฒนาระบบฐานข้อมูลเอกสารจดหมายเหตุของมหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี พบว่า 1) ระบบสามารถจัดเก็บเอกสารจดหมายเหตุได้เป็นหมวดหมู่อย่างเป็นระบบตามหลักของการจัดหมู่หมวด สืบค้นได้ตามคำดรรชนี คำสำคัญ หัวเรื่อง หรือชื่อเรื่องโดยการพิมพ์คำสั่ง รองรับการเข้าใช้ของผู้ใช้ได้หลายคนพร้อมกัน มีความยืดหยุ่น ประมวลผลด้านการเพิ่ม ลบ แก้ไขข้อมูลและเรียกใช้ข้อมูลได้รวดเร็ว รวมถึงการแสดงผลออกมาเป็นรูปแบบรายการบรรณานุกรม และ 2) ผลการประเมินด้านประสิทธิภาพการทำงานของระบบ พบว่า ภาพรวมมีความเหมาะสมอยู่ในระดับดี เมื่อเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย 3 อันดับแรก คือ ด้านการรักษาความมั่นคงปลอดภัยของข้อมูล ด้านความสามารถของระบบ และด้านความถูกต้องในการทำงานของระบบ ส่วนความพึงพอใจของผู้ใช้บริการ พบว่า ภาพรวมมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากเมื่อเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย 3 อันดับแรก คือ ด้านความถูกต้องของฐานข้อมูล ด้านผลการสืบค้น และด้านขอบเขตของฐานข้อมูล

3) ผลการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานระบบ

ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$= 4.35, S.D. = 0.82) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน โดยเรียงลำดับค่าเฉลี่ยจากมากไปหาน้อย คือ ความถูกต้องของผลลัพธ์ในการแสดงผลข้อมูล ($\bar{x}$= 4.72, S.D. = 0.85) รองลงมา ความเป็นมาตรฐานเดียวกันในการออกแบบหน้าจอ($\bar{x}$= 4.58, S.D. = 0.76) และข้อมูลมีประโยชน์ต่อการนำไปใช้($\bar{x}$= 4.57, S.D. = 0.84) ซึ่งสอดคล้องกับ สิทธิชัย วรโชติกำจร และ พัชราภรณ์ วรโชติกำจร. (2561) [10] ได้ทำการศึกษาการพัฒนาระบบจัดเก็บและค้นคืนเอกสารงานสารบรรณ พบว่า พึงพอใจต่อระบบโดยรวมในส่วนของผู้ใช้งานมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 4.55 และ สิริลักษณ์ สินธุพาชี และสมพร เรืองอ่อน. (2565) [11] ได้ทำการศึกษาระบบฐานข้อมูลความหลากหลายของการใช้สมุนไพรที่ใช้เป็นสูตรยาพื้นบ้านของชมรมแพทย์แผนไทยอำเภอชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช พบว่าจากการรวบรวม ข้อมูลและจัดเก็บในรูปแบบแอปพลิเคชัน ใช้งานผ่านระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์และไอโอเอส ที่ผู้ใช้ สามารถสืบค้นด้วยคำค้นสั้น ๆ ผ่านเครื่องมือสื่อสารและประเมินความพึงพอใจในการใช้งานแอปพลิเคชัน ด้วยตัวแทนนักวิชาการ นักเรียนหรือนักศึกษา และประชาชน พบว่าความพึงพอใจอยู่ในระดับดีมาก (ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจรวมเท่ากับ 4.65) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.40

6. สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษาระบบสืบค้นผ้าชิ่นในศูนย์วัฒนธรรมศึกษาน่าน พบว่า 1) ผลการประเมินประสิทธิภาพจากผู้เชี่ยวชาญ พบว่าทุกด้านมีประสิทธิภาพอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$= 4.44, S.D. = 0.71) โดยเรียงลำดับค่าเฉลี่ยจากมากไปหาน้อย คือ ด้านการประเมินลักษณะการออกแบบระบบ ที่มีความยากง่ายต่อการใช้งาน ด้านด้านการประเมินความถูกต้องและประสิทธิภาพในการทำงานของระบบตามตามฟังก์ชั่นการทำงาน ด้านความถูกต้องและประสิทธิภาพของระบบตรงตามความต้องการของผู้ใช้งานระบบ และ ด้านระบบในด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลในระบบ 2) ผลการประเมินประสิทธิภาพจากผู้เชี่ยวชาญ พบว่าค่าเฉลี่ยวรวมทุกด้านมีประสิทธิภาพอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$= 4.48 S.D. = 0.77) พบว่าด้านการใช้งานมีระดับคะแนนมากที่สุด คือการสืบค้นผ้าชิ่นโดยใช้สี ลายผ้า และโอกาสสวมใส่ มีความสะดวก ส่วนด้านการออกแบบหน้าจอ รายการที่มีระดับดับคะแนนมากที่สุดคือ การใช้ภาษาที่เข้าใจง่าย และ 3) ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$= 4.35, S.D. = 0.82) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน โดยเรียงลำดับค่าเฉลี่ยจากมากไปหาน้อย คือ ความถูกต้องของผลลัพธ์ในการแสดงผลข้อมูล ($\bar{x}$= 4.72, S.D. = 0.85) รองลงมา ความเป็นมาตรฐานเดียวกันในการออกแบบหน้าจอ ($\bar{x}$= 4.58, S.D. = 0.76) และข้อมูลมีประโยชน์ต่อการนำไปใช้ ($\bar{x}$= 4.57, S.D. = 0.84)

แนวทางในการพัฒนาในอนาคต 1) ควรประยุกต์ใช้ระบบสืบค้นผ้าชิ่น ขยายผลกับระบบการจัดเก็บครุภัณฑ์ต่าง ๆ ภายในหน่วยงานอื่น ๆ 2) ควรทำวิจัยระบบการสืบค้นผ้าชิ่น ด้วยการสืบค้นด้วยภาพ

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ผู้เชี่ยวชาญ หัวหน้าศูนย์วัฒนธรรมศึกษาน่าน เจ้าหน้าที่ และบุคลากรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาน่าน ที่อนุเคราะห์ข้อมูล และข้อแนะนำ ความรู้ด้านต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัย

8. เอกสารอ้างอิง

[1] มินตรา ตรงต่อการ, “แนวคิดเกี่ยวกับการสืบค้นสารสนเทศจากอินเทอร์เน็ต”, จาก http://mintrablog.blogspot.com/2009/06/blog-

post_21.html, (สืบค้นเมื่อ 30 มีนาคม 2562).

[2] วันบีลิฟ, **"**Search Engin**",** จาก https://www.1belief.com/article/search-engines/, (สืบค้นเมื่อ 30 มีนาคม 2562).

[3] โอภาส เอี่ยมสิริวงศ์, ***วงจรการพัฒนาระบบ*****,** กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น**,** 2562**.**

[4] วรนุช จันทร์โอ และณฐกร สาระรัมย์, *การพัฒนาระบบจัดเก็บครุภัณฑ์ทางคอมพิวเตอร์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตโรงพยาบาลชัยนาทนเรนทร*, นนทบุรี: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ, 2560.

[5] จารุณี ภัทรวงษ์ธนาและคณะ, "การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการสำหรับการจัดทำแผนพัฒนาชุมชนในพื้นที่ชุมชนกึ่งเมืองตำบลสารภีอำเภอสารภีจังหวัดเชียงใหม่" *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยฟาร์อีสเทอร์น*, ปีที่ 11, ฉบับที่ 4, หน้า 128-146, ตุลาคม -ธันวาคม 2560.

[6] ชัณษา สีแดงและคณะ, "การพัฒนาคลังสารสนเทศเพื่อสนับสนุนการเรียนการสอน คณะมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยใช้แนวคิดการออกแบบบริการ" *มนุษศาสตร์วารสาร*, ปีที่ 23, ฉบับที่ 2, หน้า 50 - 66, 2565.

[7] Cheng Guo and Ruhan Zhuang, et al., *Dynamic multi-keywordranked search based on Bloom filter over encrypted Cloud Data.* in IEEE, 2019.

[8] Yufei Tao and Cheng Sheng. *Fast Nearest Neighbor Search with Keywords*. in IEEE, 2014.

[9] มยุรี รัตนเสริมพงศ์, "การพัฒนาระบบฐานข้อมูลเอกสารจดหมายเหตุของมหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี" *วารสารวิชาการคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์*, ปีที่ 13, ฉบับที่ 2, หน้า 107-124, พฤษภาคม – สิงหาคม 2565.

[10] สิทธิชัย วรโชติกำจร และ พัชราภรณ์ วรโชติกำจร, "การพัฒนาระบบจัดเก็บและค้นคืนเอกสารงานสารบรรณ" *วารสารวิชาการนวัตกรรมสื่อสารสังคม*, ปีที่ 6, ฉบับที่ 1, หน้า 137-145, มกราคม – มิถุนายน 2561.

[11] สิริลักษณ์ สินธุพาชี และสมพร เรืองอ่อน, "ระบบฐานข้อมูลความหลากหลายของการใช้สมุนไพรที่ใช้เป็นสูตรยาพื้นบ้านของชมรมแพทย์แผนไทยอำเภอชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช" *วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, ปีที่ 41, ฉบับที่ 1, หน้า 49-64, มกราคม - มิถุนายน 2565.



นางสุขสวรรค์ คำวงศ์

นิสิตระดับปริญญาโท สาขาการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศสมัยใหม่ มหาวิทยาลัยพะเยา

งานวิจัยที่สนใจ Ecommerce



ดร.เกวรินทร์ จันทร์ดำ

อาจารย์ประจำหลักสูตรสาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีและข้อมูลดิจิทัล มหาวิทยาลัยพะเยา

งานวิจัยที่สนใจ Machine Learning , Ecommerce



รศ.ดร.สิทธิเดช วชิราศรีศิริกุล

อาจารย์ประจำหลักสูตร สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยพะเยา

งานวิจัยที่สนใจ Machine Learning ,Optimization

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

ระบบจัดการต้นทุนสำหรับเช่ารถทัวร์
Cost Management System for Tour Bus Rental

ธนพันธ์ นววงศานันต์[1] และ นันทิกา ปริญญาพล[2*]

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

110/1-4 ถนนประชาชื่น หลักสี่ กทม 10210 645159010025@dpu.ac.th[1], nantika.pri@dpu.ac.th[2]

บทคัดย่อ

ประเทศไทยเป็นหนึ่งในประเทศที่นักท่องเที่ยวนิยมมาเที่ยวในช่วงระยะเวลา 10 ปีที่ผ่านมา แต่หลังจากเกิดวิกฤตโควิด-19 มีผลต่อเศรษฐกิจและธุรกิจที่เกี่ยวข้องกับการเดินทาง ทำให้ผู้ประกอบการเผชิญกับปัญหาขาดทุน จำนวนนักท่องเที่ยวที่ลดลงทำให้ขาดรายได้ รายจ่ายมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ผู้ประกอบการได้ตระหนักถึงแนวทางการควบคุมค่าใช้จ่ายและต้นทุนแฝงที่เกิดจากการจัดการทรัพยากรไม่เหมาะสม บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อเช่ารถทัวร์ มีการคำนวณด้วยสูตรต้นทุนเพื่อช่วยวิเคราะห์ค่าใช้จ่าย และลดต้นทุน เช่น ค่าน้ำมัน ด้วยเทคนิคปัญหาของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem: TSP) เพื่อหาระยะทางที่สั้นที่สุดของเส้นทางเดินทาง โดยใช้ Solver ซึ่งส่งผลทำให้ต้นทุนค่าน้ำมันลดลง จากผลการทดลองเดินทางจากเทศบาลนครรังสิตไปเทศบาลนครปฐมจากเดิมมีระยะทาง 201 กิโลเมตร คิดเป็นต้นทุนค่าน้ำมัน 2,571 บาท และเมื่อใช้เทคนิค TSP ด้วย Solver ทำให้ได้ระยะทาง 174.574 กิโลเมตร คิดเป็นต้นทุนค่าน้ำมัน 2,232.98 บาท สามารถลดระยะทางได้ 26.426 กิโลเมตร ดังนั้นจะเห็นได้ว่าสามารถลดต้นทุนค่าน้ำมันในการเดินทางได้ 338.02 บาท คิดเป็นร้อยละ 13.14

คำสำคัญ: ระบบเช่าเหมารถทัวร์, การบริหารต้นทุน, ต้นทุนแฝง, การลดต้นทุน, เว็บแอปพลิเคชัน

Abstract

Thailand is one of the countries that tourists like to visit during the past 10 years, but after the outbreak of the COVID-19 crisis. It affects the economy and business related to travel. Causing entrepreneurs to face problems with losses the decrease in the number of tourists has resulted in a lack of income. Expenses tend to increase. Entrepreneurs are aware of cost control methods and hidden costs caused by inappropriate resource management. This article aims to develop an information system for renting a tour bus. It is calculated with a cost formula to help analyze costs and reduce costs such as fuel costs by using the Traveling Salesman Problem (TSP) technique to find the shortest distance of the traveled route by using Solver, which results in cost. Drop of oil from the experimental results, traveling from Rangsit City Municipality to Nakhon Pathom Municipality from the original distance of 201 kilometers, representing a fuel cost of 2,571 baht, and when using the TSP technique with Solver, resulted in a distance of 174.574 kilometers, representing a fuel cost of 2,232.98 baht. Can be 26.426 kilometers, so it can be seen that it can reduce the cost of traveling fuel by 338.02 baht, representing 13.14 percent.

Keywords: Tour bus rental system, Cost management, Hidden cost, Cost reduction, Web application

1. บทนำ

ในช่วงเศรษฐกิจช่วงโควิด-19 ที่ผ่านมา ทำให้ธุรกิจการท่องเที่ยวซบเซา มีผลกระทบต่อธุรกิจที่เกี่ยวข้องกับการขนส่ง การเดินทาง รวมถึงธุรกิจการเช่ารถโดยสาร/รถทัวร์ ซึ่งทำให้สถานประกอบการหลายที่ต้องมีการปรับเปลี่ยนระบบการจัดการเพื่อลดต้นทุน ควบคุมค่าใช้จ่าย และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้ตอบรับความเปลี่ยนแปลงสู่โลกยุคดิจิทัล

ระบบสารสนเทศสามารถเข้ามาช่วยในการดำเนินกิจการธุรกิจการให้บริการเช่ารถ เนื่องจากทำให้ระบบมีโครงสร้างการจัดเก็บข้อมูลที่เป็นระเบียบ ง่ายต่อการใช้ และสามารถทำงานได้หลายแพลตฟอร์ม การจัดการข้อมูลมีการจัดเก็บฐานข้อมูลที่มีความปลอดภัยทั้งลักษณะ On-Premise หรือ Cloud base ประกอบกับการพัฒนาระบบสารสนเทศบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้รับความนิยมจากสถิติการเข้าใช้งานอินเทอร์เน็ตของประชากรในประเทศไทยแสดงให้เห็นว่าในระยะ 5 ปี มีผู้ใช้อินเทอร์เน็ตเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 52.9 ในปี 2560 เป็นร้อยละ 85.3 ในปี 2564 จากจำนวนประชากร 54.6 ล้านคน [1]

อย่างไรก็ตามธุรกิจการเช่ารถทัวร์ปัจจุบันมีต้นทุนผันแปรและต้นทุนแฝง เช่นค่าที่พัก ค่าน้ำมันหรือค่าสินค้าบริการ และมีขั้นตอนที่ต้องดำเนินการด้วยเจ้าหน้าที่เป็นหลัก ต้องโทรศัพท์ติดต่อกับพนักงานขายเพื่อทำรายการเช่า พนักงานฝ่ายขายคำนวณใบเสนอราคาในรูปแบบเอกสาร การคำนวณราคาค่าบริการผิดพลาดจากต้นทุนผันแปรและต้นทุนแฝงที่ผู้ประกอบการไม่ได้คาดการณ์ไว้ ทำให้ธุรกิจการเช่ารถทัวร์ต้องการการปรับตัว การพัฒนาระบบเป็นเว็บแอปพลิเคชันเพื่อแก้ปัญหาการประเมินค่าใช้จ่ายที่คาดเคลื่อนกับความเป็นจริง

บทความนี้นำเสนอการพัฒนาระบบจัดการต้นทุนสำหรับธุรกิจเช่ารถทัวร์ เพื่อช่วยควบคุมต้นทุนแฝงที่เปลี่ยนแปลงจากปัจจัยภายในและภายนอกบริษัท ราคาค่าบริการ และคำนวณค่าใช้จ่ายที่ถูกต้อง รวมถึงราคาที่พักและราคาประกันชีวิต

2. แนวคิดในการพัฒนาระบบ

2.1 การพัฒนาระบบ (System Development: SDLC)

แนวคิด SDLC (System Development Life) [2] เป็นการแบ่งขั้นตอนกระบวนการพัฒนาระบบ แก้ปัญหา ตอบสนองความต้องการขององค์กร โดยการพัฒนาระบบแบ่งออกเป็น 7 ขั้นตอน คือ 1) ค้นหาปัญหา (Problem Recognition) สำรวจหรือศึกษาปัญหาจากกระบวนการทำงานเดิมที่ปฏิบัติอยู่ 2) ศึกษาความเหมาะสม (Feasibility Study) พิจารณาว่าระบบเดิมที่ใช้งานอยู่มีข้อเสียอะไรและจะใช้เทคโนโลยีให้เหมาะสม

3) การวิเคราะห์ (Analysis) นำปัญหาที่รวบรวมข้อมูลมาทำการวิเคราะห์เพื่อออกแบบระบบหรือกระบวนการใหม่ 4) การออกแบบ (Design) ระบบทั้งด้านส่วนติดต่อผู้ใช้งาน (Front-End) และส่วนที่ไม่ได้ติดต่อผู้ใช้งาน(Back-End) รวมทั้งออกแบบฐานข้อมูลให้ข้อมูลมีความสัมพันธ์กัน 5) การพัฒนาและทดสอบ (Development & Test) ด้วยภาษาโปรแกรมต่างๆ เมื่อพัฒนาระบบเสร็จ ทำการทดสอบระบบกับผู้ใช้ 6) การติดตั้ง (Implementation) เพื่อให้ผู้ใช้งานจริง 7) การซ่อมบำรุงระบบ (System Maintenance) เมื่อใช้งานจริงพบเจอปัญหาสามารถแก้ไขและปรับปรุงให้ระบบใช้งานได้ดี และมีประสิทธิภาพสูงสุด

ผู้ใช้งานต้องการระบบเพื่อช่วยคำนวณราคาใบเสนอราคาและการคำนวณต้นทุนในใบคำนวณราคาให้ฝ่ายตรวจสอบทำการตรวจสอบราคาของต้นทุน รวมทั้งแสดงรายงานและติดตามสถานะของกระบวนการมีรายละเอียดดังนี้

2.2 การบริหารจัดการต้นทุน

การคำนวณต้นทุนค่าเช่ารถทัวร์ เพื่อประเมินราคาค่าบริการเช่ารถทัวร์ไม่ให้ต่ำกว่าหรือเท่าต้นทุนที่กำหนด ลดปัญหาการขาดทุนการทำให้การคิดค่าบริการมีความโปร่งใส ซึ่งแยกตัวแปรของต้นทุนเป็น 2 ประเภทดังต่อไปนี้

ประเภทที่ 1 ต้นทุนทั่วไป จะแบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่กลุ่มต้นทุนคงที่ (Fixed cost) (ดังตารางที่ 1) และกลุ่มต้นทุนผันแปร (ดังตารางที่ 2) โดยต้นทุนดังกล่าวมีกำหนดค่าตามค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น

ประเภทที่ 2 ต้นทุนแฝง ประกอบด้วย ระยะทาง, ระดับมาตรฐานของรถโดยจะแบ่งระดับ 1 ถึง 5 เป็นระดับในด้านการให้บริการและสภาพของรถ, ระยะการใช้งานมี 5 ระยะ ได้แก่ เต็มวัน, ครึ่งวัน, รับ/ส่งสนามบิน, รถเปล่า, และจอดรถรอ, ค่าที่พัก, ค่าประกันชีวิต, สินค้าบริการ, ระยะทางเกินกำหนด *(ถ้ามี)*, เวลาที่เกินกำหนด *(ถ้ามี)* และส่วนลด มีวิธีการคำนวณ 2 ขั้นตอนเพื่อควบคุมต้นทุน ได้แก่

ขั้นตอนที่ 1 คำนวณต้นทุนทั่วไป ด้วยการนำต้นทุนคงที่รวมกับต้นทุนผันแปร

ตารางที่ 1 กลุ่มต้นทุนคงที่

ต้นทุนคงที่ (Fixed cost)	ค่าใช้จ่าย (บาท)
ค่ารถ (แบ่งตามประเภท)	632
ค่าซ่อมบำรุง	500
เงินเดือนพนักงานขับรถ	1,333
เงินเดือนพนักงานต้อนรับบน	673
ค่าทำความสะอาด	100

ตารางที่ 2 กลุ่มต้นทุนผันแปร

ต้นทุนผันแปร (Variable cost)	ค่าใช้จ่าย (บาท)
ค่าน้ำมัน	2,571
ค่าทางด่วน	260

สูตรต้นทุนคงที่

$$F = \text{ค่ารถตามประเภท} + \text{ค่าซ่อมบำรุง} + \text{ค่าจ้างพนักงานขับรถ} + \text{ค่าจ้างพนักงานต้อนรับบนรถ} + \text{ค่าทำความสะอาด} \quad (1)$$

สูตรต้นทุนผันแปร

$$V = \text{ค่าน้ำมัน} + \text{ค่าทางด่วน} \quad (2)$$

สูตรผลรวมต้นทุน

$$C = \text{ต้นทุนคงที่} + \text{ต้นทุนผันแปร} \quad (3)$$

แทนค่าตามสูตร

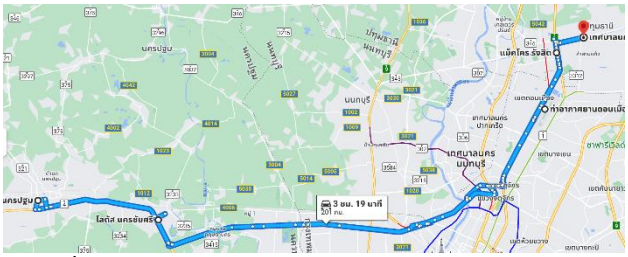
F = 632 + 500 + 1,333 + 673 + 100 = 3,238 บาท

V = 2,571 + 260 = 2,831 บาท

C = 3,238 + 2,831 = 6,069 บาท

ราคาต้นทุนทั่วไป 6,069 บาท โดยนำต้นทุนคงที่จำนวนเงิน 3,238 บาท รวมกับต้นทุนผันแปรจำนวนเงิน 2,831 บาท

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดต้นทุนทั่วไปรวมกับต้นทุนแฝง เพื่อให้ได้จำนวนของต้นทุนทั้ง 2 ประเภท ก่อนจะนำไปหักส่วนลดออก แต่มีบางตัวแปรที่ไม่นำมาคำนวณ จะใช้สำหรับแบ่งเกณฑ์ของราคาเท่านั้น เช่น ระยะทางและระดับมาตรฐานรถ โดยเกณฑ์ระยะทางแรกมีเงื่อนไขตั้งแต่ 1 ถึง 960 กม. (เต็มวัน 12 ชั่วโมง) เกณฑ์ที่สองระยะทางมากกว่า 960 กม. หาระยะทางด้วย Google Maps Direction API ยกตัวอย่างเช่น เดินทางจากเทศบาลนครรังสิตไปเทศบาลนครปฐม โดยผ่านสนามบินดอนเมือง, แม็คโครรังสิตและโลตัสนครชัยศรีและตีรถกลับ ได้ระยะทาง 201 กิโลเมตร (กม.)



รูปที่ 1 ค้นหาระยะทางจากเทศบาลนครรังสิตไปเทศบาลนครปฐม

ซึ่งจะเข้าเงื่อนไขเกณฑ์แรกมีระยะทางไม่เกิน 960 กิโลเมตร (ถ้าเกินจะนำส่วนต่างระยะทางคูณค่าที่กำหนด เช่น กิโลเมตรละ 30 บาท) และมีระดับมาตรฐาน 5 ใช้ระยะเวลาเต็มวัน ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ราคาระดับมาตรฐานรถและระยะใช้งาน

ประเภทรถ	ระดับ	เต็มวัน	ครึ่งวัน	สนามบิน	ตีเปล่า	จอด
รถ 18 ที่นั่ง	3	2,000	1,500	1,000	500	500
รถ 18 ที่นั่ง	4	3,000	2,500	2,000	1,500	1,000
รถ 18 ที่นั่ง	5	4,000	3,500	3,000	2,500	2,000

จากตารางที่ 3 จะพบว่ารถระดับมาตรฐาน 5 ใช้ระยะเวลาเต็มวัน มีราคา 4,000 บาท

ตารางที่ 4 ต้นทุนแฝง

ตัวแปร	รวมราคา	หน่วย
ระดับมาตรฐาน 5 รถ 18 ที่นั่ง	4,000	บาท
ค่าที่พัก	400	บาท
สินค้าบริการ เช่น ขนม/นม/ข้าวกล่อง	100	บาท
ประกันชีวิต	200	บาท
ส่วนลด	5%	เปอร์เซ็นต์
ระยะทางเกินกำหนด	0	บาท
เวลาที่เกินกำหนด	0	บาท

ต้นทุนแฝงมีผลต่อราคาค่าบริการโดยรวม เช่นระยะทางหรือค่าที่พัก อื่นๆ ซึ่งอาจจะเกิดจากปัจจัยภายในหรือภายนอก เช่น ปัจจัยภายในค่าระดับมาตรฐานรถ จะมีราคาที่ไม่เท่ากัน หรือปัจจัยภายนอกระยะทางเกินกำหนดจะขึ้นอยู่กับปลายทางที่จะเดินทางไป มีสูตรการคำนวณต้นทุนแฝงดังนี้

สูตรคำนวณต้นทุนแฝงไม่รวมส่วนลด

$$X = มาตรฐานรถ+ที่พัก+สินค้า+ส่วนต่างระยะทาง+ส่วนต่างเวลา+ประกันชีวิต \quad (4)$$

แทนค่าตามสูตร

$$X = 4{,}000+400+100+0+0+200$$

$$X = 4{,}700 บาท$$

สูตรคำนวณต้นทุนรวม

$$A = (C + X) \quad (5)$$

A คือ ผลรวมต้นทุนทั้งหมด

C คือ ต้นทุนทั่วไป

X คือ ต้นทุนแฝงไม่รวมส่วนลด

แทนค่าตามสูตร

$$A = (6{,}069 + 4{,}700)$$

$$A = 10{,}769 บาท$$

จากการแทนค่าตามสูตร 5 พบว่าราคาต้นทุนทั้งหมดอยู่ที่ 10,769 บาท มีต้นทุนทั่วไป 6,069 บาท ต้นทุนแฝง 4,700 บาท โดยไม่รวมส่วนลด ซึ่งส่วนลดจะถูกนำไปคำนวณหลังจากเพิ่มค่าบริการแล้ว เช่น ต้นทุนทั้งหมดที่คำนวณได้ 10,769 บาท มีการกำหนดค่าบริการเพิ่มเข้าไปอีก 5,000 บาท รวมต้นทุนและค่าบริการได้ 15,769 บาท จึงนำส่วนลด 5% มาคำนวณจะได้ 788.45 บาท เมื่อหักจากราคาทั้งหมดแล้วจะได้ราคา 14,980.55 บาท

2.3 เทคนิค Traveling Salesman Problem : TSP

การคิดค่าเช่ารถทัวร์มีหลายปัจจัยที่ต้องนำมาคิดร่วมกับการบริหารจัดการต้นทุนค่าเช่ารถทัวร์ หากต้องการให้มีกำไรหรือไม่ขาดทุนหรือประหยัดต้นทุนมากที่สุด สิ่งที่ต้องทำคือการลดต้นทุนผันแปรและต้นทุนแฝง เช่นค่าน้ำมัน และเวลา แต่จะลดต้นทุนค่าน้ำมันได้นั้น ต้องเกิดจากการลดระยะทาง ราคาน้ำมัน และอัตราการใช้น้ำมัน เมื่อพิจารณาแล้วจะพบว่าราคาน้ำมันไม่สามารถควบคุมได้ ส่วนอัตราการใช้น้ำมันจะขึ้นอยู่กับประเภทรถที่ใช้งาน ดังนั้นจะเหลือระยะทางการเดินทางที่สามารถควบคุมได้

ต้นทุนผันแปรและต้นทุนแฝง ค่าน้ำมัน เป็นหนึ่งในปัญหาประจำของการคิดค่าเช่ารถทัวร์ที่ทำให้ได้กำไรน้อยหรืออาจจะขาดทุนได้ในบางรายการ ในกรณีนี้จึงได้นำเทคนิคแก้ไขปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (TSP) ด้วยการใช้ Solver ที่มีจุดเด่นในการลดระยะทางในการเดินทาง และบริหารจัดการเส้นทางได้เป็นอย่างดีและให้เป็นไปตามสมการวัตถุประสงค์ของ TSP ซึ่งพิจารณาจากระยะทางระหว่างจุดต้นทางถึงปลายทางของเส้นทางที่เลือกเดินทางไป เพื่อให้ได้ระยะทางที่สั้นที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อลดต้นทุนแฝง ค่าน้ำมันให้ได้มากที่สุด รวมทั้งช่วยเพิ่มเงื่อนไขในการเลือกประเภทรถให้เหมาะสมกับการเดินทางได้อีกด้วย

ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (TSP) เป็นรูปแบบในการในการแก้ไขปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย เพื่อให้ประหยัดระยะทางในการเดินทางไปหาลูกค้า มีอัลกอริทึมหลายตัวเพื่อแก้ไขปัญหา เช่น ประเภทวิทยาการศึกษาสำนึก (heuristic) เป็นอัลกอริทึมที่ทำตามกฎจากสามัญสำนึกของมนุษย์เพื่อหาเส้นทางที่ดีที่สุด ได้แก่ วิธีการค้นหาเพื่อนบ้านใกล้สุด (nearest neighbor algorithm) [3] และวิธีของคริสโตไฟด์ (christofides algorithm) [4] และประเภทเมตาฮิวริสติก (meta-heuristic) เป็นอัลกอริทึมที่ค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดโดยจะสุ่มเลขเพื่อหาคำตอบจนกว่าจะได้คำตอบที่ดีที่สุด ได้แก่ วิธีการซีมูเลท (simulated-annealing) [5], วิธีทางพันธุกรรม (genetic algorithms) [6] เป็นการสร้างคำตอบหลายๆคำตอบในครั้งเดียว และวิธีฝูงมด (ant colony optimization-algorithms) [7]

โดยมีเป้าหมายคือต้องการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดในการเยี่ยมชมแต่ละเมืองเพียงครั้งเดียวและกลับไปที่เมืองเริ่มต้น [8] มีโครงสร้างทางคณิตศาสตร์ดังนี้

ดัชนี (Indices)

i คือเมืองเริ่มต้น โดยที่ i=1, 2, 3, … ,N

j คือเมืองปลายทาง โดยที่ j=1, 2, 3, … ,N

ตัวแปรที่ทราบค่า (Parameter)

D_{ij} ระยะทางระหว่างเมืองต้นทาง i ไปเมืองปลายทาง j

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

X_{ij} กำหนดเมืองที่ไปเป็น 1 และเมืองที่ไม่ไปเป็น 0

สมการวัตถุประสงค์ (Objective Function)

$$min = \sum_{i=1} \sum_{j\neq i, j=1} D_{ij} X_{ij} \quad (6)$$

สมการข้อจำกัด

$$\sum_{i=1, i\neq j} X_{ij} = 1 \qquad \forall \text{ j = 1,...,N} \quad (7)$$

$$\sum_{j=1, j\neq i} X_{ij} = 1 \qquad \forall \text{ i = 1,...,N} \quad (8)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\} \qquad \forall \text{ i,j = 1,...,N} \quad (9)$$

$$\sum_{j,j\in S} X_{ij} \leq |S| - 1 \qquad 2 \leq |S| \leq \text{N - 1} \quad (10)$$

อธิบายความหมายของสมการ 6 เป็นการหาค่าที่น้อยที่สุดโดยคิดจากผลรวมของระยะทางจากเมือง i ไปยังเมือง j คูณกับเมืองที่เดินทางไปเป็น 1 และเมืองที่ไม่เดินทางไปเป็น 0 สมการ 7 และ 8 เป็นการกำหนดให้แต่ละเมืองเข้าและออกได้หนึ่งเส้น สมการ 9 กำหนดให้ i และ j มีค่าเป็น 0 เมื่อไม่ได้เลือกเส้นทางเดินทาง และเมื่อเลือกเส้นทางให้มีค่าเป็น 1 เท่านั้น สมการ 10 เป็นการกำจัดทัวร์ย่อย (subtour elimination constraints) โดย S เป็นเซตของทัวร์ย่อย ที่เกิดการครบรอบขณะที่ลำดับการเดินทางไม่ผ่านจุดทั้งหมด และ |S| เป็นปริมาณจุดของลูกค้าในทัวร์ย่อย

การศึกษานี้จึงได้นำเทคนิค TSP ด้วยการใช้ Solver ในการหาค่าที่น้อยที่สุด ซึ่งได้นำมาประยุกต์ใช้ในการลดต้นทุนผันแปรและต้นทุนแฝงของงานวิจัย โดยนำมาช่วยในการคำนวณค่าใช้จ่ายแฝงที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการจองรถ เช่นระยะทางในการเดินรถ ยกตัวอย่างเดินทางจากเทศบาลนครรังสิตไปเทศบาลนครปฐม โดยมีเมืองที่ต้องไปดังนี้ เทศบาลนครรังสิต, สนามบินดอนเมือง, แม็คโครรังสิต, โลตัสนครชัยศรีและเทศบาลนครปฐม

สูตรหาเส้นทาง (N(N-1))/2 แทนค่า (5(5-1)/2) ได้จำนวน 10 เส้นทาง เช่น

1) เทศบาลนครรังสิต ถึง สนามบินดอนเมือง ระยะทาง 10.777 กม.

2) สนามบินดอนเมือง ถึง เทศบาลนครปฐม ระยะทาง 75.278 กม.

3) เทศบาลนครปฐม ถึง โลตัสนครชัยศรี ระยะทาง 16.428 กม.

4) โลตัสนครชัยศรี ถึง แม็คโครรังสิต ระยะทาง 66.334 กม.
5) แม็คโครรังสิต ถึง เทศบาลนครรังสิต ระยะทาง 5.757 กม.
แทนค่าจากสมการ 6

min = (10.777x1) + (75.278x1) + (16.428x1) + (66.334x1) + (5.757x1)
min = 174.574 กม.

เมื่อแทนค่าตามสมการ 6 พบว่าได้ค่าระยะทาง 174.574 กม. มีจุดเริ่มต้นที่เทศบาลนครรังสิตไปสนามบินดอนเมืองไปเทศบาลนครปฐมไปโลตัสนครชัยศรีไปแม็คโครรังสิตและเดินทางกลับเทศบาลนครรังสิต

ตารางที่ 5 ค้นหาเส้นทางที่สั้นที่สุด

เส้นทาง	ระยะทาง (กม.)
รังสิต > ดอนเมือง > นครปฐม > โลตัสฯ > แม็คโครฯ > รังสิต	174.574
รังสิต > ดอนเมือง > แม็คโครฯ > นครปฐม > โลตัสฯ > รังสิต	195.271
รังสิต > ดอนเมือง > แม็คโครฯ > โลตัสฯ > นครปฐม > รังสิต	201.000
รังสิต > โลตัสฯ > ดอนเมือง > นครปฐม > แม็คโครฯ > รังสิต	296.364
รังสิต > แม็คโครฯ > นครปฐม > ดอนเมือง ->โลตัสฯ > รังสิต	304.962
รังสิต > แม็คโครฯ > โลตัสฯ > ดอนเมือง > นครปฐม > รังสิต	304.962
รังสิต > ดอนเมือง > โลตัสฯ > แม็คโครฯ > นครปฐม > รังสิต	310.283
รังสิต > โลตัสฯ > แม็คโครฯ > ดอนเมือง > นครปฐม > รังสิต	310.284
รังสิต > โลตัสฯ > ดอนเมือง > แม็คโครฯ > นครปฐม > รังสิต	317.061
รังสิต > นครปฐม > แม็คโครฯ > โลตัสฯ > ดอนเมือง > รังสิต	317.048

จากตารางที่ 5 ได้ผลลัพธ์ทุกเส้นทางจากการแทนค่าในสมการที่ 6 จะพบว่าระยะทางที่สั้นที่สุดห่างจากระยะทางปกติอยู่ที่ 26.426 กม. คิดเป็นร้อยละที่ลดได้จำนวน 13.14 เปอร์เซ็นต์ ถ้าเทียบบัญญัติไตรยางค์จากราคาเดิม 201 กม. ต่อ 2,571 บาท (ตารางที่ 2) ในต้นทุนค่าน้ำมันใหม่จะอยู่ที่ 174.574 กม. ต่อ 2,232.98 บาท สามารถลดต้นทุนผันแปรได้ 338.02 บาท และเวลาเดินทางเดิม 3.19 ชั่วโมง เหลือ 2.52 ชั่วโมง (ความเร็ว 80 กม./ชม.) ทำให้ประหยัดเวลาได้ถึง 27 นาที ทำให้ได้กำไรเพิ่มขึ้นจากเดิม 4,211.55 บาท เป็น 4,549.57 บาท คิดเป็นร้อยละ 8.02 เปอร์เซ็นต์

2.4 ภาษาที่ใช้ในการพัฒนาระบบ

JavaScript [9] ถูกใช้ใน Next.js เพื่อพัฒนาโปรแกรม มีจุดเด่นในด้านประมวลผลทั้งฝั่งเซิร์ฟเวอร์และไคลเอ็นต์ มีความเร็วในการประมวลผล จึงเหมาะแก่การนำมาใช้ติดต่อผู้ใช้งานผ่านเว็บเบราว์เซอร์

PHP [10] เป็นภาษาที่สามารถประมวลผลฝั่งเซิร์ฟเวอร์และเชื่อมต่อกับฐานข้อมูลได้ง่าย มีความหลายหลายในการใช้พัฒนาโปรแกรม จึงเหมาะแก่การนำมาใช้เขียนฟังก์ชันต่างๆของโปรแกรม

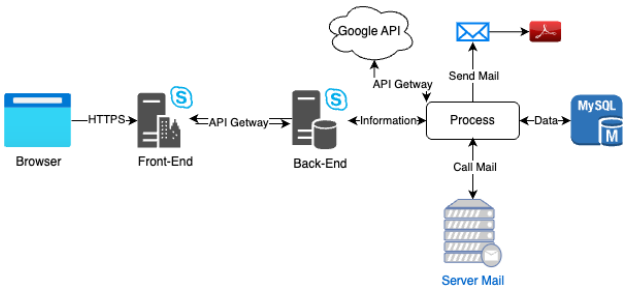
JWT เป็นไลบรารีช่วยเพิ่มความปลอดภัยในการรับส่งข้อมูลระหว่างเซิร์ฟเวอร์และไคลเอ็นต์ ได้รับความนิยมสูง เข้ารหัสข้อมูลด้วยอัลกอริทึม HS256 จึงเหมาะแก่การนำมาใช้เพิ่มความปลอดภัยของข้อมูล

Google Direction API [11] เป็นเอพีไอจาก Google ในการค้นหาระยะทางและเวลา มีคลาดเคลื่อนของข้อมูลเส้นทางน้อย จึงเหมาะแก่การนำมาใช้ค้นหาระยะทางให้ตรงความเป็นจริงในระบบ

3. การดำเนินงาน

3.1 การออกแบบระบบ (System Design)

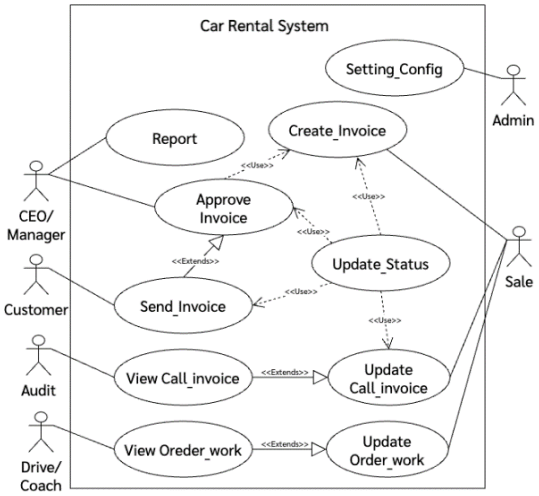
การออกแบบการทำงานของระบบ (ดังรูปที่ 2) ลูกค้าส่งคำร้องความต้องการมายังพนักงานฝ่ายขาย หลังจากที่พนักงานฝ่ายขายได้รับคำร้อง จะทำการสร้างใบเสนอราคา ด้วยการป้อนรายละเอียดเดินทางและหาระยะทางด้วย Google Direction API เพื่อให้ระบบทำการคำนวณต้นทุนและเสนออนุมัติ เมื่อผ่านการอนุมัติแล้วระบบจะเปิดฟังก์ชันส่งใบเสนอราคาให้ลูกค้าในรูปแบบ PDF ผ่านช่องทางอีเมล โดยเก็บข้อมูลลงฐานข้อมูล MySQL ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 Workflow ของระบบ

3.2 การทำงานของระบบ (Use Case Diagram)

Use Case Diagram มีผู้ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ Customer, Admin (ผู้ดูแลระบบ), Sale (พนักงาน), CEO/Manager, Audit (ฝ่ายตรวจสอบ) และ Driver/Coach (พนักงานขับรถและต้อนรับบนรถ) มี 10 กิจกรรม ได้แก่ Setting_Config การตั้งค่าระบบ เช่น กำหนดประเภทของรถและกำหนดต้นทุนเพื่อใช้ในการคำนวณภายในระบบ, Create_Invoice การสร้างใบเสนอราคาเพื่อคำนวณและควบคุมต้นทุน, Report การแสดงรายงาน เช่น รายงานการใช้งานรถ, Approve Invoice การอนุมัติใบเสนอราคาหลังจากคำนวณต้นทุนเพื่อเสนอผู้บริหารอนุมัติ, Update_Status การบันทึกและแสดงสถานะของกระบวนการทำงานภายในระบบ เช่น สถานะยืนยันการเช่ารถทัวร์, Send_Invoice การส่งใบเสนอราคาให้ลูกค้าหลังได้รับการอนุมัติ, Update Call_invoice ฟังก์ชันการคำนวณต้นทุนค่าบริการทั้งหมด, View Call_invoice การแสดงใบคำนวณราคา, Update Order_work การสร้างใบสั่งงานเพื่อส่งให้พนักงานขับรถปฏิบัติตาม และ View Order_work การแสดงใบสั่งงาน ดังรูปที่ 3

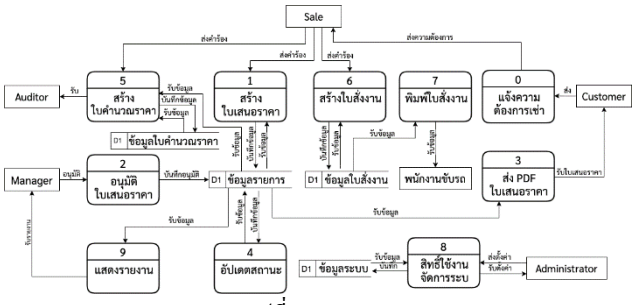


รูปที่ 3 Use Case Diagram

3.3 แผนภาพกระแสข้อมูล (Data Flow Diagram)

Data Flow Diagram มี 5 External Agent ได้แก่ Sale (พนักงานขาย), Auditor (ฝ่ายตรวจสอบ), Manager (ผู้บริหาร), Customer (ลูกค้า)

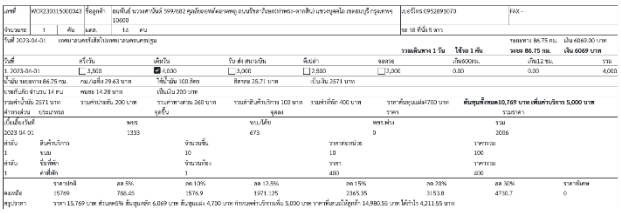
และ Administrator (ผู้ดูแลระบบ) มี 4 Data Store ได้แก่ ข้อมูลใบคำนวณราคา ทำหน้าที่อ่านเขียนข้อมูลในใบเสนอราคาที่ได้รับข้อมูลจากลูกค้าผ่านพนักงานขาย, ข้อมูลใบสั่งงานทำหน้าที่อ่านเขียนใบสั่งงานและข้อปฏิบัติของพนักงานขับรถ, ข้อมูลระบบทำหน้าที่อ่านเขียนการตั้งค่าภายในระบบ และข้อมูลรายการทำหน้าที่อ่านเขียนสถานะและข้อมูลการคำนวณต้นทุนรวมทั้งข้อมูลการขออนุมัติและแสดงรายงาน ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 Data Flow Diagram

3.4 ส่วนติดต่อผู้ใช้งาน (User Interface)

ระบบออกแบบให้ใช้กับอุปกรณ์เคลื่อนที่ ผู้ใช้เข้าใจงานตามสิทธิ์ที่ถูกกำหนด พนักงานฝ่ายขายดำเนินการกำหนดแนวปฏิบัติให้กับพนักงานขับรถและพนักงานต้อนรับบนรถ (ถ้ามี) แสดงตัวอย่างใบคำนวณราคา (จัดการต้นทุน) จากการกำหนดค่าต้นทุนต่าง ๆ ในระบบเพื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าของเส้นทางการเดินทางแต่ละรอบ ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ใบคำนวณราคา (จัดการต้นทุน)

4. ผลการวิจัย

จากการทดลองระบบจัดการต้นทุนสำหรับเช่ารถทัวร์ พบว่าระบบสามารถจัดการต้นทุนได้ง่ายและสะดวกมากขึ้น ช่วยให้ปัญหาค่าใช้จ่ายต้นทุนผันแปรและต้นทุนแฝงที่เพิ่มขึ้นจากปัจจัยภายนอกและภายใน เช่นค่าน้ำมัน มีราคาที่ลดลง ด้วยสูตรการคำนวณควบคุมต้นทุนคงที่ ต้นทุนผันแปรและต้นทุนแฝง ทำให้ราคาของต้นทุนโดยรวมมีมาตรฐานและสามารถตรวจสอบได้ แต่ไม่ได้เพิ่มกำไรจากค่าบริการเช่ารถทัวร์ จึงทำให้ต้องจัดการต้นทุนค่าน้ำมันเพิ่มเติมด้วยการลดระยะทางและลดเวลาเดินทางให้มีค่าน้ำมันที่ลดลงด้วยเทคนิคปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (TSP) นำระยะทางจาก Google ช่วยในการคำนวณ จากการทดลองเดินทางจากเทศบาลนครรังสิตไปเทศบาลนครปฐม ก่อนใช้เทคนิค TSP ระบบคำนวณต้นทุนได้ 15,769 บาท หลังนำเทคนิค TSP เข้ามาช่วยจัดการต้นทุนได้ 15,430.98 บาท สามารถลดต้นทุนได้ร้อยละ 2.14

ซึ่งการศึกษาครั้งนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการบริหารจัดการและควบคุมต้นทุน ให้เกิดกำไรและลดการขาดทุนในการให้บริการเช่ารถทัวร์ รวมถึงมาตรฐานและความโปร่งใสในการคิดค่าบริการ ทำให้สามารถตรวจสอบและวิเคราะห์ต้นทุนได้ง่าย ซึ่งเป็นการนำเทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการเปลี่ยนผ่านจากเอกสารไปสู่ดิจิทัล

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานสถิติแห่งชาติ. “สำรวจการมีการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารในครัวเรือน พ.ศ. 2564 (ไตรมาส 4),” [ออนไลน์]. https://www.nso.go.th/sites/2014/Pages/สำรวจ/เทคโนโลยีสารสนเทศ/เทคโนโลยีในครัวเรือน. (เข้าถึงเมื่อ: 1 ธันวาคม 2565).

[2] A. Mishra, “A Comparative Study of Different Software Development Life Cycle Models in Different Scenarios,” International Journal of Advance Research in Computer Science and Management Studies, vol. 1, pp. 64–69, Oct. 2013.

[3] T. C. Koopmans and M. Beckmann, "Assignment Problems and the Location of Economic Activities," Econometrica, vol. 25, no. 1, pp. 53-76, 1957.

[4] N. Christofides, “Worst-Case Analysis of a New Heuristic for the Travelling Salesman Problem,” Operations Research Forum, vol. 3, no. 1, p. 20, Mar. 2022, doi: 10.1007/s43069-021-00101-z.

[5] S. Kirkpatrick, C. D. Gelatt, and M. P. Vecchi, "Optimization by Simulated Annealing," Science, vol. 220, no. 4598, pp. 671-680, 1983.

[6] P. Larranaga, C. Kuijpers, R. Murga, I. Inza, and S. Dizdarevic, “Genetic Algorithms for the Travelling Salesman Problem: A Review of Representations and Operators,” Artificial Intelligence Review, vol. 13, pp. 129–170, Jan. 1999, doi: 10.1023/A:1006529012972.

[7] M. Dorigo and L. M. Gambardella, "Ant Colony System: A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem," IEEE Transactions on Evolutionary Computation, vol. 1, no. 1, pp. 53-66, 1997.

[8] R. Karp, "Reducibility Among Combinatorial Problems," in Complexity of Computer Computations, Plenum Press, 1972, pp. 85-103.

[9] S. Koch. *JavaScript: A programmer’s companion from basic through DHTML, CSS, and DOM*. Chichester: Wiley, 2003.

[10] ปริญญา น้อยดอนไพร. *การเขียนโปรแกรมบนเว็บด้วย PHP ร่วมกับฐานข้อมูล MySQL*, สุราษฎร์ธานี: มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี, 2558.

[11] Google Developers. Directions API overview. [ออนไลน์]. https://developers.google.com/maps/documentation/directions/overview. (เข้าถึงเมื่อ: 15 มกราคม 2566).

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

"Dischool" บอทดิสคอร์ดสำหรับช่วยจัดการการเรียนการสอนออนไลน์

"Dischool" Discord Bot for Managing the Online Classroom

ศุวิล ชมชัยยา[1*] บุรัสกร อยู่สุข[2] กิตติศักดิ์ สังฆมะรักษ์[1] และ ธีรพงษ์ เอี่ยมอาษา[1]

[1]คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

126 ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร 10140

suvil.cho@kmutt.ac.th minasekoito09@gmail.com akemonai@gmail.com

[2]คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

burasakorn.y@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

ปัจจุบัน Discord เป็นแพลตฟอร์มสำหรับสื่อสารและพูดคุยด้วยทั้งข้อความและเสียงก็กำลังเป็นที่นิยม คณะผู้วิจัยจึงเล็งเห็นว่า Discord สามารถเป็นแพลตฟอร์มสำหรับการเรียนการสอนออนไลน์ได้ เพียงแต่ยังมีบางฟังก์ชันที่ขาดไปสำหรับสนับสนุนการเรียนการสอนออนไลน์ คณะผู้วิจัยจึงได้พัฒนา Discord Bot ที่อำนวยความสะดวกให้ผู้ใช้งานสามารถออกคำสั่ง (Command) กับบอท เพื่อให้บอทจัดการอะไรบางอย่างให้ผู้ใช้งานได้ ซึ่ง Discord Bot ที่พัฒนาขึ้นมีชื่อว่า Dischool โดย Dischool จะมาช่วยจัดการ Discord Server ให้เหมาะสมกับการเรียนการสอนออนไลน์ เช่น การจัดการ Channels, Roles และ Permissions ต่าง ๆ ในการใช้งานเซิร์ฟเวอร์ สำหรับการทดสอบการใช้งาน Dischool จะให้ครูหรือนักเรียนนำบอทไปทดลองใช้ และทำแบบสอบถามความพึงพอใจในการใช้งานผ่านทาง Google Forms ซึ่งผลลัพธ์แบบสอบถามความพึงพอใจจากผู้ใช้งานนักเรียน 23 คน และอาจารย์ 6 คน ได้ผลลัพธ์เป็นที่น่าพอใจและตรงตามที่คาดไว้ โดยผู้ทำแบบสอบถามส่วนใหญ่มีความสนใจที่จะทดลองเรียนและสอนออนไลน์บน Discord ด้วยคะแนนเฉลี่ยจากนักเรียนอยู่ที่ 5.50 และคะแนนเฉลี่ยจากอาจารย์อยู่ที่ 5.67 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ดี

คำสำคัญ : การเรียนการสอนออนไลน์; DiscordJS; Discord Bot

Abstract

Currently, Discord is a popular platform for communication and chat through both text and voice. Researchers have identified that Discord can be a platform for online learning, but there are still some missing features to support online teaching. Therefore, researchers have developed a Discord Bot that allows users to issue commands to manage certain tasks. The developed Discord Bot is called Dischool and it helps manage Discord servers that are suitable for online learning, such as managing channels, roles, and permissions. For testing purposes, teachers and students were asked to use the Dischool bot and provide feedback on their experience through Google Forms. The results of the feedback from 23 students and 6 teachers were satisfactory and in line with expectations. The majority of respondents expressed an interest in learning and teaching online through Discord, with an average score of 5.50 from students and 5.67 from teachers, which is considered good.

Keywords: Online Class; DiscordJS; Discord Bot

1. บทนำ

ในสถานการณ์ปัจจุบันระบบการเรียนการสอนออนไลน์มีบทบาทสำคัญมากขึ้น ซึ่งอาจารย์และนักเรียนจำเป็นต้องใช้แอปพลิเคชันที่ช่วยเป็นสื่อกลางในการเรียนการสอนในหลายวัตถุประสงค์ เช่น แอปพลิเคชัน Microsoft Team และ Zoom สำหรับการสอนสดแบบออนไลน์ และการใช้ Facebook Group หรือ Line Group ในการมอบหมายงาน นัดหมายในเรื่องที่เกี่ยวกับรายวิชา และ Google Drive อัพโหลดวิดีโอการเรียนการสอนออนไลน์ที่ได้บันทึกไว้สำหรับให้นักเรียนได้ศึกษาในภายหลัง ด้วยความหลากหลายของแอปพลิเคชันอาจทำให้เกิดความสับสนยุ่งยากในการเรียนการสอน คณะผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดที่จะพัฒนาระบบที่อำนวยความสะดวกครบถ้วนในหนึ่งเดียว

แอปพลิเคชัน Discord เป็นหนึ่งในแอปพลิเคชันที่สามารถถ่ายทอดสดหน้าจอของผู้สอน และสามารถพูดคุยขณะถ่ายทอดสดไปพร้อมกันได้ อีกทั้งแอปพลิเคชัน Discord ยังสามารถปรับแต่งคุณลักษณะได้อีกมากตามต้องการ ทั้งการสร้างห้องสนทนาด้วยข้อความ (Text Channel) สำหรับพูดคุยทั่วไปเกี่ยวกับรายวิชาหรือมอบหมายงาน, การสร้างห้องสนทนาด้วยเสียง (Voice Channel) ที่ผู้เข้าร่วมสามารถสนทนาด้วยเสียง รวมถึงการสนทนาด้วยวิดีโอและการถ่ายทอดสดหน้าจอของผู้ใช้งาน และการมอบสิทธิ์การเข้าถึงห้องสนทนาต่าง ๆ ให้นักเรียนด้วยบทบาท (Role) ที่แต่ละบทบาทมีสิทธิ์การเข้าถึงห้องสนทนาที่ไม่เท่ากัน และจุดเด่นของ Discord ที่แอปพลิเคชันอื่น ๆ ไม่สามารถทำได้ คือ ผู้ใช้งานที่เป็นเจ้าของเซิร์ฟเวอร์สามารถเชิญบอท (Discord Bot) ที่สร้างขึ้นมาด้วยตัวเองหรือที่ผู้ใช้งานคนอื่นสร้างเอาไว้ เพื่อนำมาช่วยจัดการระบบในเซิร์ฟเวอร์ Discord นั้นได้

คณะผู้วิจัยจึงเล็งเห็นว่าแอปพลิเคชัน Discord สามารถนำมาใช้เป็นแอปพลิเคชันในการเรียนการสอนออนไลน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และจะมีประสิทธิภาพมากขึ้น หากมี Discord Bot ที่ช่วยจัดการเซิร์ฟเวอร์ที่ใช้ในการเรียนการสอนออนไลน์อย่างเป็นระบบ คณะผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษา และพัฒนา Discord Bot เพื่อนำมาช่วยในการจัดการการเรียนการสอนสำหรับอาจารย์และนักเรียนที่ต้องการใช้

แอปพลิเคชัน Discord ในการเรียนการสอนออนไลน์ โดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้

1) เพื่อพัฒนาระบบ Discord Bot เพื่อนำมาช่วยในการจัดการการเรียนการสอนสำหรับอาจารย์และนักเรียนที่ต้องการใช้แอปพลิเคชัน Discord ในการเรียนการสอนออนไลน์

2) เพื่อลดการใช้แอปพลิเคชันที่หลากหลายในการเรียนการสอนออนไลน์โดยไม่จำเป็น

3) เพื่อให้แอปพลิเคชัน Discord สามารถใช้เป็นแอปพลิเคชันสำหรับการเรียนการสอนออนไลน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. ทบทวนวรรณกรรม

2.1 เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 Discord

Discord เป็นโปรแกรมที่ให้พื้นที่สำหรับผู้ใช้งานหลายคนได้มาติดต่อสื่อสารกัน ในรูปแบบของสิ่งที่เรียกว่าเซิร์ฟเวอร์ โดยผู้ใช้งานสามารถเข้าเซิร์ฟเวอร์ที่มีอยู่แล้ว ผ่านการเชิญจากสมาชิกของเซิร์ฟเวอร์นั้น หรือเข้าเซิร์ฟเวอร์ผ่านลิงค์คำเชิญที่ถูกสร้างไว้แล้วได้ หรือจะสร้างเซิร์ฟเวอร์เป็นของตัวเองแล้วเชิญผู้ใช้งานคนอื่นเข้ามาร่วมด้วยก็ได้ โดยภายในเซิร์ฟเวอร์นั้นจะประกอบไปด้วยช่องสำหรับส่งข้อความ (Text Channel) สำหรับการสนทนาด้วยข้อความเหมือนระบบสนทนาทั่วไป และช่องสำหรับสนทนาด้วยเสียง (Voice Channel) สำหรับการพูดคุยด้วยเสียงประหนึ่งการโทรเป็นกลุ่ม โดยมีจุดเด่นคือผู้ใช้งานสามารถเข้ามาและออกไปเมื่อไหร่ก็ได้ด้วยการกดเพียงหนึ่งครั้ง และมีระบบการเปิดวิดีโอและการแชร์หน้าจออีกด้วย โดยผู้ใช้งานที่มีสิทธิ์ในการปรับแต่งเซิร์ฟเวอร์ ก็สามารถที่จะเพิ่มช่องสำหรับส่งข้อความและสนทนา และสามารถจัดหมวดหมู่ได้เองตามใจชอบ นอกจากนี้ ผู้ใช้งานยังสามารถกำหนดบทบาท (Role) ให้กับผู้ใช้งานคนอื่น ๆ ในเซิร์ฟเวอร์ได้ โดยหน้าที่ของบทบาท จะทำให้ผู้ใช้งานมีสิทธิ์ในการเข้าถึง ใช้งาน และปรับแต่งเซิร์ฟเวอร์ได้ไม่เท่ากัน [1]

2.1.2 Discord Bot

Discord bot คือ AI ที่สามารถทำงานอัตโนมัติได้หลากหลายตามความต้องการ และสามารถเรียกใช้คำสั่งของ Bot ได้จากภายในเซิร์ฟเวอร์ เช่นการต้อนรับสมาชิกใหม่ของเซิร์ฟเวอร์ การคัดกรองเนื้อหาและการแบนผู้ใช้งานที่ละเมิดกฎ และยังสามารถเรียกใช้คำสั่งของ Bot ได้เพื่อเพิ่มเพลง ภาพมีม เกม และเนื้อหาอื่น ๆ ลงในเซิร์ฟเวอร์ได้ โดย Discord Bot มีประโยชน์ทั้งผู้ดูแลเซิร์ฟเวอร์ที่ต้องการผู้ช่วยในการดูแลเซิร์ฟเวอร์ หรือผู้ใช้งานทั่วไปที่อยากได้กลวิธีใหม่ ๆ ในการติดต่อกับผู้ใช้งานคนอื่นอีกด้วย [2]

2.1.3 JavaScript & DiscordJS

JavaScript คือ ภาษาคอมพิวเตอร์สำหรับการเขียนโปรแกรมบนระบบอินเทอร์เน็ต ที่กำลังได้รับความนิยมอย่างสูง Java JavaScript เป็น ภาษาสคริปต์เชิงวัตถุ (ที่เรียกกันว่า "สคริปต์" (script) ซึ่งในการสร้างและพัฒนาเว็บไซต์ (ใช่ร่วมกับ HTML) เพื่อให้เว็บไซต์ของเราดูมีการเคลื่อนไหว สามารถตอบสนองผู้ใช้งานได้มากขึ้น ซึ่งมีวิธีการทำงานในลักษณะ "แปลความและดำเนินงานไปทีละคำสั่ง" (interpret) หรือเรียกว่า อ็อบเจ็กโอเรียลเต็ด (Object Oriented Programming) ที่มีเป้าหมายในการ ออกแบบและพัฒนาโปรแกรมในระบบอินเทอร์เน็ตสำหรับผู้เขียนด้วยภาษา HTML สามารถทำงานข้ามแพลตฟอร์มได้ โดยทำงานร่วมกับ ภาษา HTML และภาษา Java ได้ทั้งทางฝั่งไคลเอนต์ (Client) และ ทางฝั่งเซิร์ฟเวอร์ (Server) [3]

DiscordJS เป็น Application Framework ที่พัฒนาจาก Node.js ที่ทำให้สามารถเขียนโปรแกรมโต้ตอบกับ Discord API ได้อย่างง่ายดาย และโปรแกรมมีรูปแบบการเขียนโปรแกรมแบบ อ็อบเจ็กโอเรียลเต็ด (Object Oriented Programming) มากกว่า JS Discord Libraries แบบอื่นทั้งหมด ทำให้ระบบโปรแกรมของบอทนั้นเป็นระเบียบและเข้าใจได้ง่ายมากขึ้น [4]

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Discord platform as an online learning environment for emergencies งานวิจัยนี้ได้นำเสนอผลการวิเคราะห์ของการพัฒนาทางวิทยาศาสตร์ของนักวิทยาศาสตร์ในประเด็นของการสร้างและใช้เครื่องมือในการเรียนทางไกล โดยให้ความสนใจเป็นพิเศษในประเด็นของปัญหาของการเรียนทางไกลและโครงสร้างปัญหานั้น และชี้ให้เห็นว่าระบบการเรียนทางไกลสมัยใหม่ยังไม่ได้รับการพัฒนาที่ดีพอสำหรับการใช้ในกรณีฉุกเฉิน โดยปัญหาหลักคือการพัฒนาไม่เพียงพอในเรื่องของการสร้างช่องทางสำหรับติดต่อสื่อสารแบบมีคุณภาพ ภายใต้เงื่อนไขของการใช้เรียนทางไกล เพื่อที่จะแก้ปัญหานี้จึงได้มีการวิเคราะห์เปรียบเทียบเครื่องมือสำหรับการสื่อสารทางไกลแบบต่าง ๆ รวมถึงคุณลักษณะและความสามารถ และพบการใช้แอปพลิเคชัน Discord ของมหาวิทยาลัยหนึ่ง เป็นเครื่องมือสำหรับสื่อสารและเรียนทางไกล ในช่วงที่ต้องกักตัวเพราะโรคระบาด COVID-19 [5]

ได้มีงานวิจัยการทดลองใช้แอปพลิเคชัน Discord ในการเรียนการสอนในด้านต่างๆ อย่างหลากหลาย เช่น งานวิจัยของ Odinokaya และคณะ [6] ได้มีการใช้ แอปพลิเคชัน Discord ในการเรียนภาษาอังกฤษเป็นภาษาที่สอง (English as a foreign language :EFL) กับนักศึกษามหาวิทยาลัย โดยแบ่งผู้ทดลองเรียนออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่เรียนแบบวิถีปกติ และกลุ่มที่เรียนภายใต้การใช้ Discord สนับสนุนการเรียนการสอนในด้านการเรียนรู้ศัพท์ (Vocabulary) และการพูด (Speaking) ซึ่งกลุ่มที่เรียนรู้ด้วย Discord ได้ผลลัพธ์การเรียนรู้ที่ดีกว่า และงานวิจัยของ Kruglyk และคณะ [7] ที่ได้ใช้ Discord ช่วยเสริมในการฝึกอบรมและการศึกษาทางไกล (Distance Learning) ในภาวะการณ์ฉุกเฉินจากการระบาดของ COVID-19 พบว่าผู้เรียนมีความสนในนำมาใช้ เนื่องจากใช้งานง่ายและสามารถเข้ากันได้กับทุกระบบปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ และให้สัมฤทธิ์ผลการเรียนที่ดีขึ้น นอกจากนี้ งานวิจัยของ Wulanjani [8] ที่ได้มีการนำ แอปพลิเคชัน Discord ในใช้ในการสร้างห้องเรียนเสมือน (Virtual Classroom) สำหรับเรียนภาษาศาสตร์ด้านการฟัง (Listening) ก็พบว่า ผู้เรียนมีความสนใจในวิชาและทัศนคติกในการเรียนที่ดีขึ้น อีกทั้งการโต้ตอบระหว่างผู้เรียนกับผู้สอนที่ดีขึ้นสามารถสร้างแรงจูงใจ (Motivation) ในการเรียนได้เป็นอย่างดี

จากคุณสมบัติของแอปพลิเคชัน Discord ในการเรียนการสอนในด้านต่างๆและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังที่กล่าวมา จึงมีความเป็นไปได้และคว่าน่าในใจที่จะนำ แอปพลิเคชัน Discord มาใช้ในการเรียนการสอนในบริบทของการศึกษาของประเทศไทย เนื่องจากได้รับผลกระทบจากการระบาดของโควิด-19 ที่มีผลกระทบต่อการเรียนการสอนในทุก

ระดับ อีกทั้งประเทศไทยก็มีความตื่นตัวในการใช้เทคโนโลยีต่างๆ มาทดลองใช้ประกอบการเรียนการสอนอยู่อย่างต่อเนื่อง

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 รวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ปัญหาของการเรียนออนไลน์จากการใช้แอปพลิเคชันทั่วไป ด้วยการสัมภาษณ์และสอบถามโดยตรงและเก็บข้อมูลจากผู้ที่มีประสบการณ์การเรียนออนไลน์ และผู้ที่เคยมีประสบการณ์สอนออนไลน์โดยตรง คณะผู้วิจัยมีกำหนดขอบเขตของคำว่า “แอปพลิเคชันทั่วไป” คือแอปพลิเคชันที่เป็นที่นิยมที่มักจะถูกนำมาใช้เป็นแอปพลิเคชันในการเรียนการสอนออนไลน์ เช่น Microsoft Team, Zoom, Facebook เป็นต้น โดยตัวอย่างปัญหาที่พบคือ 1.ไม่สามารถค้นหาไฟล์หรือข้อความสำคัญต่าง ๆ ที่เคยอัพโหลดไว้บนแพลตฟอร์มได้ 2.คุณภาพในการสตรีมมิ่งเสียงและเสียงของแพลตฟอร์มนั้น ๆ ไม่เป็นที่น่าพอใจ 3.การใช้งานแพลตฟอร์มนั้นใช้ทรัพยากรของเครื่องในปริมาณมาก 4. ต้องใช้แพลตฟอร์มหลายตัวสำหรับการเรียนการสอนออนไลน์

3.2 วางแผน ออกแบบคุณลักษณะและวางขอบเขตของ Discord Bot เพื่อแก้ไขปัญหา เริ่มจากการออกแบบการเรียนการสอนออนไลน์ผ่าน Discord แบบไม่มี Discord Bot ก่อนว่าหากจะจัดการเรียนการสอนออนไลน์โดยใช้ Discord จริง ๆ จะต้องใช้งานในรูปแบบไหน มีการสร้าง Text Channel และ Voice Channel อย่างไร ต้องมีการจัดการ Roles และ Permissions แบบไหน หลังจากออกแบบการใช้งาน Discord ในการเรียนการสอนออนไลน์แล้ว ก็เปรียบเทียบฟีเจอร์ที่ Discord ทำได้กับแอปพลิเคชันอื่นที่ใช้ในการเรียนการสอนออนไลน์ เช่น Zoom และ Microsoft Team ว่าตัว Discord เองมีฟีเจอร์ใดที่ทำไม่ได้บ้าง เพื่อที่จะให้ Discord Bot มาช่วยเหลือตรงส่วนนั้น เช่นการสร้าง Breakout Room

3.3 ศึกษาข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการสร้าง Discord Bot เช่น Discord API, JavaScript เพื่อสร้างความคุ้นเคยในการเขียน DiscordJS และการเรียกใช้ Discord API ต่าง ๆ ซึ่งระหว่างนี้ก็มีการปรับเปลี่ยนคุณลักษณะที่ออกแบบไว้ข้างต้นบ้างตามสิ่งที่ DiscordJS และ Discord API สามารถทำได้

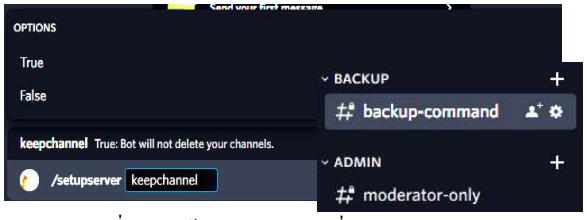
3.4 สร้างและพัฒนา Discord Bot และทำการทดสอบเบื้องต้นเพื่อหาข้อผิดพลาดและแก้ไข โดยเริ่มทำฟังก์ชันและฟีเจอร์ที่คาดว่าจะได้ใช้งานในบอทจริง ๆ เช่น การ setup server ซึ่งก็คือการสร้าง Template ที่เหมาะสมให้กับเซิร์ฟเวอร์สำหรับการเรียนการสอนออนไลน์ เป็นต้น แล้วจึงไปเริ่มทำ Dischool ซึ่งจะเป็นตัวบอทของเราจริง ๆ ในภายหลัง ซึ่งการเริ่มทำตัว Dischool Bot ก็เริ่มพัฒนาตามแผนที่วางไว้โดยไล่ระบบไปทีละส่วน ๆ เพื่อให้เห็นภาพรวมการใช้งานและการทำงานของบอท เช่น เริ่มจากคำสั่ง setupserver และ register ให้เรียบร้อยทั้งเรื่องของ Channel และ Roles ต่าง ๆ หลังจากส่วนนี้เสร็จสิ้นแล้ว จึงทำคำสั่งส่วนของการสร้างห้องเรียนก็คือ createclass และ removeclass ก็จะเห็นภาพรวมมากขึ้นว่าจะจัดการเรียนการสอนออนไลน์บน Discord ได้อย่างไรบ้าง เป็นต้น ซึ่งบางคำสั่งก็จะเชื่อมโยงกันอย่างเช่น createpoll ที่เป็นคำสั่งสำหรับสร้างโพลให้นักเรียนโหวตอะไรบางอย่าง ซึ่งคำสั่งนี้จะใช้งานได้เฉพาะใน Text Channel ที่มีนักเรียนเท่านั้น หรือก็คือใช้ได้เฉพาะใน Text Channel ที่สร้างมาจาก createclass เท่านั้นนั่นเอง ถ้าหากเริ่มพัฒนาคำสั่ง createpoll ก่อนก็จะต้องมาแก้ไขการทำงานของคำสั่งนี้ในภายหลัง ดังนั้นจึงต้องวางลำดับการพัฒนาคำสั่งทีละคำสั่งให้เห็นภาพรวมและลดการกลับมาแก้งานซ้ำซ้อน ส่วนการทดสอบเบื้องต้นก็จะทำการทดลองใช้คำสั่งต่าง ๆ หลังจากที่พัฒนาเสร็จแล้ว ซึ่งถือว่าเป็นการทำ Unit Test สำหรับคำสั่งที่เชื่อมโยงกันก็จะถือว่าเป็นการทำ Integration Test หากพบข้อผิดพลาดก็จะทำการแก้ไขทันที

3.5 ทดสอบ Discord Bot ที่พัฒนาแล้ว ด้วยการทดลองใช้งานจริงกับผู้ใช้งาน และวัดผลความพึงพอใจ โดยจะแบ่งผู้ใช้งานเป็น 2 ส่วน ก็คือ อาจารย์กับนักเรียน นักเรียนจะให้ทำแบบประเมินโดยการเข้าเซิร์ฟเวอร์ทดสอบที่ได้จัดเตรียมไว้ เพื่อให้ได้สัมผัสประสบการณ์การเข้ามาเรียนออนไลน์โดยใช้ Discord ที่ได้ถูกจัดการสร้าง Template โดย Dischool เรียบร้อยแล้วจึงทำแบบสอบถามความพึงพอใจสำหรับนักเรียนในการเรียนออนไลน์บน Discord ที่มี Dischool ในส่วนของอาจารย์จะได้รับลิงค์สำหรับเชิญบอทเข้าเซิร์ฟเวอร์ และได้รับเอกสารการใช้งานเบื้องต้นสำหรับใช้ Discord และ Dischool Bot ซึ่งหลังจากอาจารย์ได้ลองทดสอบสร้างเซิร์ฟเวอร์และใช้งาน Dischool Bot ด้วยตัวเองแล้ว จึงทำแบบสอบถามความพึงพอใจในการใช้งานสำหรับอาจารย์

4. ผลการดำเนินงาน

จากการพัฒนาจึงได้ Dischool Bot ที่มีระบบการทำงาน ดังนี้

4.1 ระบบการสร้าง Template ที่เหมาะสมให้กับเซิร์ฟเวอร์ โดยการใช้ชุดคำสั่ง /setupserver ผู้ใช้งานต้องระบุค่าให้กับตัวแปร keepchannel โดยเป็นตัวแปรประเภท Boolean หากให้ค่าเป็น True ตัวคำสั่งนี้จะทำการสร้างช่อง (Channel) ใหม่ตามที่กำหนด โดยไม่ลบช่องเก่าที่เคยอยู่ก่อนหน้านี้ แต่หากให้ค่าเป็น False ตัวชุดคำสั่งนี้จะทำการลบช่องเก่าที่เคยมีอยู่ทั้งหมด และสร้างช่องใหม่ขึ้นมาแทนที่



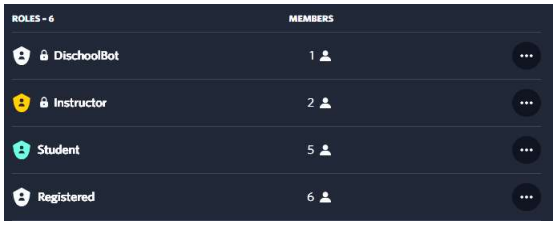
รูปที่ 1 การใช้และผลของชุดคำสั่ง /setupserver

4.2 ระบบการให้บทบาท (Role) ตามสถานะของผู้ใช้งาน หลังจากใช้ชุดคำสั่ง /setupserver แล้ว นอกจากที่ชุดคำสั่งจะสร้างช่องตามที่กำหนดขึ้นมาแล้ว ชุดคำสั่งจะทำการสร้างบทบาท (Role) ที่จำเป็นสำหรับการจัดการเซิร์ฟเวอร์ขึ้นมาอีกด้วย ซึ่งแต่ละบทบาทก็จะมีระดับการอนุญาตที่ต่างกันไปในแต่ละบทบาท ดังนี้

1) Instructor เป็น Role ที่มีบทบาทเป็น Administrator ของเซิร์ฟเวอร์ ซึ่งจะมีสิทธิ์ในการใช้คำสั่งส่วนใหญ่ของ Dischool Bot และสามารถปรับแต่งเซิร์ฟเวอร์ได้ตามต้องการ

2) Registered เป็น Role สำหรับผู้ที่ลงทะเบียนเข้าสู่เซิร์ฟเวอร์เรียบร้อยแล้ว ซึ่งจะมีสิทธิ์ในการเห็นช่องส่วนใหญ่ที่อยู่ในเซิร์ฟเวอร์นี้ เช่น information, register-class เป็นต้น

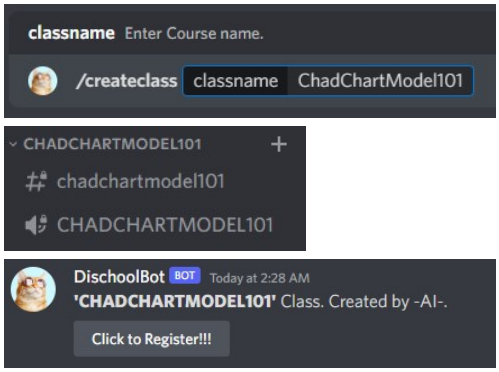
3) Student เป็น Role สำหรับผู้ที่ลงทะเบียนในรายวิชาอย่างน้อย 1 รายวิชา ซึ่งไม่มีสิทธิ์ใด ๆ เป็นพิเศษ แต่มีไว้เพื่อให้รู้ว่าผู้ใช้งานคนนี้อยู่ในฐานะ Student



รูปที่ 2 บทบาททั้งหมดที่ถูกสร้างขึ้นด้วยชุดคำสั่ง /setupserver

4.3 ระบบการสร้างห้องเรียน (Createclassroom)

ผู้ใช้งานที่มีบทบาท Instructor สามารถทำการสร้างห้องเรียนได้ ด้วยชุดคำสั่ง "/createclass" เพื่อให้ Dischool Bot ทำการสร้างห้องเรียนด้วยรูปแบบตามที่กำหนดได้



รูปที่ 3 ช่องและข้อความที่ถูกสร้างด้วยชุดคำสั่ง /createclass

4.4 ระบบการลงทะเบียนเข้าสู่เซิร์ฟเวอร์ (Register)

สำหรับผู้ใช้งานที่เพิ่งเข้าสู่เซิร์ฟเวอร์ (ยังไม่ได้ลงทะเบียน) ในเริ่มแรกนั้น ผู้ใช้งานจะไม่มีสิทธิ์ในการมองเห็นช่องทั้งหมดในเซิร์ฟเวอร์ได้ จะเห็นเพียงช่อง '#welcome-and-rules' และ '#register' เท่านั้น โดยถ้าหากผู้ใช้งานต้องการเข้าถึงช่องอื่น ๆ ที่อยู่ในเซิร์ฟเวอร์ ผู้ใช้งานจะต้องทำการใช้ชุดคำสั่ง "/register" ที่ช่อง '#register' เพื่อทำการลงทะเบียนเข้าใช้เซิร์ฟเวอร์ หลังจากที่ผู้ใช้งานใช้ชุดคำสั่ง /register แล้ว Dischool Bot จะทำการส่งคำถามให้กับผู้ใช้งาน และผู้ใช้งานจำเป็นที่จะต้องตอบให้ครบเพื่อให้การลงทะเบียนนั้นเสร็จสมบูรณ์

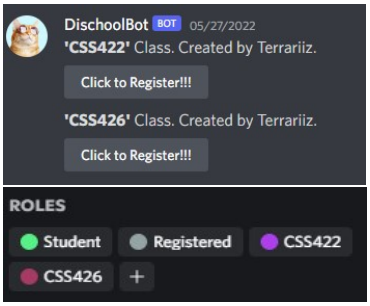


รูปที่ 4 การถามตอบระหว่าง Dischool Bot และผู้ใช้บนชุดคำสั่ง /register

โดยหลังจากที่ผู้ใช้งานตอบคำถามเรียบร้อยแล้ว Dischool Bot จะทำการมอบบทบาท Registered ให้กับผู้ใช้งาน เพื่อเป็นการยืนยันว่าผู้ใช้งานลงทะเบียนเรียบร้อยแล้ว และจะทำการเปลี่ยนชื่อผู้ใช้งาน โดยอ้างอิงจากคำตอบที่ผู้ใช้งานตอบคำถามไปก่อนหน้านี้ด้วย

4.5 ระบบการลงทะเบียนห้องเรียน

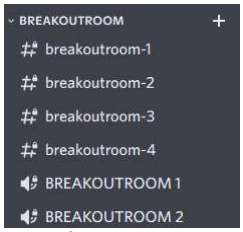
ผู้ใช้งานที่ลงทะเบียนเรียบร้อยแล้ว จะสามารถเข้าถึงช่อง '#register-class' ได้ โดยภายในช่องนั้น จะมีรายการของห้องเรียนที่ถูกสร้างเอาไว้โดย Instructor ที่ผู้ใช้งานสามารถมองเห็นและลงทะเบียนได้ โดยหากผู้ใช้งานพบห้องเรียนที่ผู้ใช้งานอยากจะลงทะเบียนแล้ว ผู้ใช้งานสามารถคลิกปุ่ม "Click to Register" เพื่อทำการลงทะเบียนกับห้องเรียนนั้นได้ โดยหลังจากคลิกปุ่มเพื่อลงทะเบียนแล้ว ผู้ใช้งานจะได้รับ Role ที่เป็นชื่อของห้องเรียนที่ลงทะเบียนไป และผู้ใช้งานจะได้สิทธิ์ในการเข้าถึงช่องทั้งหมดของห้องเรียนนั้น และจะได้รับ Role Student อีกด้วย



รูปที่ 5 รายชื่อห้องเรียนที่ถูกสร้างและบทบาทผู้ใช้หลังลงทะเบียนเรียน

4.6 ระบบการสร้างห้องเรียนแบบแยกกลุ่ม (Breakout Room)

ผู้ใช้งานที่เป็น Instructor สามารถสร้างห้องเรียนแบบแยกกลุ่ม (Breakout Room) ได้ ด้วยการใช้ชุดคำสั่ง "/createbreakoutroom" โดยผู้ใช้งานต้องระบุค่าให้กับตัวแปร amount โดยเป็นตัวแปรประเภท int โดยชุดคำสั่ง /createbreakoutroom จะสร้างห้องเรียนแบบแยกกลุ่มขึ้นมา โดยมีจำนวนห้องย่อย ตามที่ผู้ใช้งานได้ระบุไว้ และหากผู้ใช้งานต้องการที่จะลบ Breakout Room ที่สร้างไว้ออก สามารถใช้ชุดคำสั่ง "/removebreakoutroom" เพื่อลบ Breakout Room ทั้งหมดออกไปได้

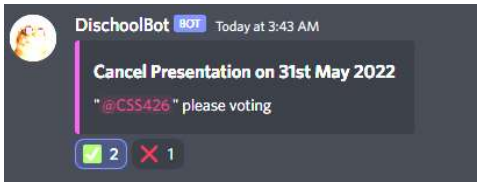


รูปที่ 6 ห้อง Breakout Room ที่ถูกสร้างด้วยชุดคำสั่ง/createbreakoutroom

4.7 ระบบการสร้างแบบสำรวจ (Createpoll)

ผู้ใช้งานที่เป็น Instructor สามารถสร้างแบบสำรวจ (Poll) ได้ ด้วยการใช้ชุดคำสั่ง "/createpoll" ผู้ใช้งานต้องระบุค่าให้กับตัวแปร channel และตัวแปร name โดยที่ตัวแปร channel เป็นตัวแปรประเภท Channel (ตัวแปรเฉพาะ DiscordJS) และตัวแปร name เป็นตัวแปรประเภท String โดยชุดคำสั่ง /createpoll จะสร้างแบบสำรวจขึ้นมาโดยใช้

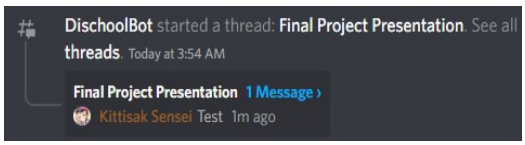
หัวข้อแบบสำรวจตามตัวแปร name และแบบสำรวจจะถูกส่งไปยังห้องที่ระบุไว้ในตัวแปร channel โดยผู้ใช้งานคนอื่นที่เห็นแบบสำรวจนี้ ก็จะสามารถทำการตอบแบบสำรวจได้ ด้วยการกดเครื่องหมายถูกเพื่อตอบว่า “ยอมรับ” หรือเครื่องหมายผิดเพื่อตอบว่า “ไม่ยอมรับ”



รูปที่ 7 แบบสำรวจที่ถูกสร้างขึ้นด้วยคำสั่ง /createpoll

4.8 ระบบการสร้างกิจกรรมการบ้าน (Createassignment)

ผู้ใช้งานที่เป็น Instructor สามารถสร้างช่องทางสำหรับส่งการบ้าน (Assignment) ได้ ด้วยการใช้ชุดคำสั่ง “/createassignment” ผู้ใช้งานต้องระบุค่าให้กับตัวแปร channel และตัวแปร name โดยที่ตัวแปร channel เป็นตัวแปรประเภท Channel และตัวแปร name เป็นตัวแปรประเภท String โดยชุดคำสั่ง /createassignment จะสร้างช่องทางสำหรับส่งการบ้าน โดยใช้หัวข้อการบ้านตามตัวแปร name และช่องทางส่งการบ้านจะถูกส่งไปยังห้องที่ระบุไว้ในตัวแปร channel โดยช่องทางสำหรับส่งการบ้านจะถูกสร้างขึ้นในรูปแบบของกระทู้แบบจำกัดเวลา (Thread) โดยภายใน Thread จะเป็นรูปแบบของช่องสนทนาด้วยข้อความ (Text Channel) เหมือนปกติ แต่มีจุดเด่นคือการแยกการส่งการบ้านออกจากช่องสนทนาทั่วไป และผู้ใช้งานสามารถค้นหาและเปิดดูได้ตามปกติ



รูปที่ 8 กระทู้แบบจำกัดเวลาที่ถูกสร้างด้วยชุดคำสั่ง /createassignment

5. การประเมินผลการดำเนินงาน

หลังจากการดำเนินงาน คณะผู้จัดทำได้มีการประเมินผลลัพธ์จากการดำเนินงาน โดยแบ่งระดับความพึงพอใจออกเป็น 7 ระดับ เริ่มที่ระดับ 1 หมายถึงแย่มาก จนถึงระดับ 7 หมายถึงดีมากที่สุด และแบ่งการประเมินออกเป็น 2 แบบคือ การประเมินการทดลองใช้งานเซิร์ฟเวอร์ ที่มีการจัดการระบบเซิร์ฟเวอร์ด้วย Dischool Bot ประเมินโดยนักเรียนจำนวน 23 คน และประเมินการใช้งาน Dischool Bot เพื่อช่วยจัดการระบบเซิร์ฟเวอร์ ประเมินโดยอาจารย์จำนวน 6 คน ในช่วงภาคการศึกษาที่ 2 ปีการศึกษา 2564 ซึ่งผลการประเมินเป็นไปดังตารางที่ 1 พบว่ามีค่าเฉลี่ยคือ 5.50 อยู่ในเกณฑ์ดี และในประเด็น “ความเหมาะสมในการใช้เซิร์ฟเวอร์นี้เป็นแอปพลิเคชันในการเรียนออนไลน์” มีคะแนนประเมิน 5.83 ซึ่งเป็นระดับดีค่อนข้างมาก ขณะที่ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานคือ 0.67 และสำหรับตารางที่ 2 พบว่ามีค่าเฉลี่ยคือ 5.67 อยู่ในเกณฑ์ดีเช่นกัน โดยเฉพาะในประเด็น “ความยากง่ายในการสร้างห้องเรียน (Classroom)” มีคะแนนประเมินสูงสุดถึง 6.2 ซึ่งเป็นระดับดีมาก ขณะที่ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานคือ 0.42 โดยมีรายละเอียดในทุกประเด็นดังนี้

ตารางที่ 1 การใช้งานเซิร์ฟเวอร์ ที่มีการจัดการระบบด้วย Dischool Bot

หัวข้อการประเมิน	คะแนน	ผลลัพธ์
ความยากง่ายในการเข้าใช้งานเซิร์ฟเวอร์	5.52	ดี
ความยากง่ายในการลงทะเบียนเข้าใช้งานเซิร์ฟเวอร์	5.26	ดี
ความยากง่ายในการลงทะเบียนรายวิชาของเซิร์ฟเวอร์	5.17	ดี
ความเหมาะสมในการมีอยู่และการจัดเรียงของ Channel ต่าง ๆ ในเซิร์ฟเวอร์	5.7	ดี
ความเหมาะสมของการจัด Permission ในเซิร์ฟเวอร์	5.57	ดี
ความเหมาะสมในการใช้เซิร์ฟเวอร์นี้เป็นแอปพลิเคชันในการเรียนออนไลน์	5.83	ดี

ตารางที่ 2 การใช้งาน Dischool Bot เพื่อช่วยจัดการระบบเซิร์ฟเวอร์

หัวข้อการประเมิน	คะแนน	ผลลัพธ์
ความยากง่ายในการเชิญบอทเข้าเซิร์ฟเวอร์	6	ดีมาก
ความยากง่ายในการ Set Dischool Template ให้กับเซิร์ฟเวอร์	6	ดีมาก
ความยากง่ายในการสร้างห้องเรียน (Classroom)	6.2	ดีมาก
ความยากง่ายในการสร้างห้องสำหรับแบ่งกลุ่ม (Breakout Room)	5.8	ดี
ความยากง่ายในการใช้ชุดคำสั่งประเภท Command ในแอปพลิเคชัน Discord	5.6	ดี
ความเหมาะสมในการมีอยู่และการจัดเรียงของ Channel ต่าง ๆ ในเซิร์ฟเวอร์	5	ดี
ความเหมาะสมของการจัด Permission ในเซิร์ฟเวอร์	5.4	ดี
ความเหมาะสมในการใช้แอปพลิเคชัน Discord ในการเรียนออนไลน์	5.4	ดี

6. สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการดำเนินงาน

จากการพัฒนาระบบ Discord Bot เพื่อนำมาช่วยในการจัดการการเรียนการสอนสำหรับอาจารย์และนักเรียนที่ต้องการใช้แอปพลิเคชัน Discord ในการเรียนการสอนออนไลน์ ผลลัพธ์ที่ได้คือ ด้วยการใช้งาน Dischool Bot นี้ สามารถช่วยผู้ใช้ในการจัดการระบบการเรียนการสอนออนไลน์ได้ ด้วยระบบการสร้างรูปแบบห้องที่เหมาะสำหรับใช้เรียนออนไลน์ ให้เหมาะกับนักเรียนนักศึกษาและตัวผู้สอนเอง สามารถลดการใช้แอปพลิเคชันที่หลากหลายโดยไม่จำเป็น ด้วยการสร้างห้องสำหรับรองรับการพูดคุยและการสนทนาด้วยข้อความภายในห้องเรียนเดียว และทำให้แอปพลิเคชัน Discord กลายเป็นแอปพลิเคชันที่เหมาะกับการนำมาใช้เรียนออนไลน์ได้ ด้วยการเพิ่ม Dischool Bot เข้าร่วมทำงานด้วย

จากผลลัพธ์ของการประเมิน ดังแสดงในตารางที่ 1 และตารางที่ 2 ผู้ใช้งานส่วนใหญ่ให้คะแนนการใช้งาน Dischool Bot ในมุมมองการใช้งานต่าง ๆ อยู่ในเกณฑ์ดีทั้งหมด โดยในกลุ่มผู้ใช้งานเหล่านี้ มีทั้งผู้ที่ใช้งานแอปพลิเคชัน Discord เป็นประจำ และผู้ที่ไม่เคยใช้งานแอปพลิเคชัน Discord มาก่อน จึงเป็นผลสรุปว่า การใช้งาน Dischool Bot สามารถใช้งานได้ง่ายและมีความเหมาะสม และจากการสรุปผลลัพธ์จากการประเมิน ผู้ใช้งานส่วนใหญ่เห็นว่ามีความเหมาะสมถ้าหากใช้แอปพลิเคชัน Discord เป็นแอปพลิเคชันในการเรียนการสอนออนไลน์ ด้วยคะแนนเฉลี่ยจากนักเรียนอยู่ที่ 5.50 และคะแนนเฉลี่ยจากอาจารย์อยู่ที่ 5.67 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ดี

6.2 อุปสรรคและปัญหาในการทำโครงงาน

1) ปัญหาจากระยะเวลาในการทำงาน เนื่องจากเวลาในการพัฒนาแอปพลิเคชัน และเวลาที่เรียนออนไลน์นั้นเป็นช่วงเวลาเดียวกัน และหลังจากพัฒนาแอปพลิเคเสร็จ จึงไม่มีช่วงเวลาที่เหมาะในการใช้ทดลองในการเรียนออนไลน์จริง

2) ปัญหาความไม่เข้ากันของเครื่องมือในการพัฒนา เนื่องจากเครื่องมือที่ใช้พัฒนาบอทดิสคอร์ดมีหลากหลาย และมีโครงสร้างที่ต่างกันถึงแม้จะใช้ภาษาโปรแกรมเดียวกันในการพัฒนา และเครื่องมือเหล่านั้นไม่สามารถใช้งานร่วมกันได้ ทำให้งานที่พัฒนาด้วยเครื่องมือที่ต่างกันไม่สามารถทำมารวมกันได้

6.3 แนวทางในการพัฒนาต่อ

ระบบ Discord Bot เพื่อนำมาช่วยในการจัดการการเรียนการสอนสำหรับอาจารย์และนักเรียนที่ต้องการใช้แอปพลิเคชัน Discord ในการเรียนการสอนออนไลน์นั้น สามารถนำไปพัฒนาเพื่อยอดทำให้ระบบมีประสิทธิภาพต่อการใช้งานจริงมากยิ่งขึ้น โดยคณะผู้วิจัยได้เสนอแนวทางดังนี้

1) พัฒนาคำสั่งใหม่ ๆ โดยประยุกต์ตามฟีเจอร์ใหม่ ๆ ที่ทาง Discord พัฒนาขึ้น เนื่องจากในปัจจุบันผู้พัฒนา Discord ก็ยังมีการพัฒนาฟีเจอร์ใหม่ ๆ ออกมาอยู่ตลอด จึงทำให้ในอนาคตคำสั่งของ Dischool อาจจะสามารถทำอะไรได้มากขึ้น

2) ปรับปรุงและเพิ่มเติมคำสั่งต่าง ๆ ตาม Feedbacks ต่าง ๆ ทั้งจากนักเรียนและอาจารย์ที่ได้ลองใช้งานจริง

3) พัฒนาให้ Dischool สามารถสร้าง Activity ต่าง ๆ ในเซิร์ฟเวอร์ได้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเรียนการสอนออนไลน์

เอกสารอ้างอิง

[1] Discord, “About Discord | Our Mission and Values” Accessed: 2564. [Online]. Available: discord.com/company

[2] Wikipedia, “อินเทอร์เน็ตบอต” Accessed: 2564. [Online]. Available: th.wikipedia.org/wiki/อินเทอร์เน็ตบอต

[3] Discord, “Discord Developer Portal” Accessed: 2564. [Online]. Available: discord.com/developers/docs/intro

[4] Discord, “How Discord Works in 148,000 Miliseconds or Less” Accessed:2563.[Online].Available: youtube.com/watch?v=TJ13B

[5] Vladyslav, Dmitriy, Pavlo, Evgeniy & Andrey, “Discord platform as an online learning environment for emergencies” Accessed: 2563. [Online]. Available: researchgate.net/publication/

[6] Odinokaya, M.A.; Krylova, E.A.; Rubtsova, A.V.; Almazova, N.I. (2021), “Using the Discord Application to Facilitate EFL Vocabulary Acquisition”, Educ. Sci. 2021, 11, 470. https://doi.org/10.3390/educsci11090470, Accessed: 2563.

[7] Kruglyk, V., Bukreiev, D., Chornyi, P., Kupchak. E., and Sender (2020), A. “Discord platform as an online learning environment for emergencies”, Ukr. J. of Educ. Stud. and Inf. Technol. 8(2), 13-28, Accessed: 2566.

[8] Wulanjani, A.N. (2018), “DISCORD APPLICATION: Turning a Voice Chat Application for Gamers into a Virtual Listening Class”, The 2nd English Language and Literature International Conference (ELLiC) Proceedings – (ELLiC Proceedings Vol. 2, 2018), Accessed: 2565.



ชื่อ: ดร.ศุวิล ชมชัยยา
สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ประยุกต์
ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
งานวิจัยที่สนใจ//ความเชี่ยวชาญ: ปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์และคอมพิวเตอร์ การออกแบบ User Experience/User Interface (UI/UX)



ชื่อ: ผศ.ดร.บุรัสกร อยู่สุข
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
งานวิจัยที่สนใจ//ความเชี่ยวชาญ: การวิเคราะห์และออกแบบระบบ ปัญญาประดิษฐ์



ชื่อ: นายกิตติศักดิ์ สังฆะรักษ์
สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ประยุกต์
ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
งานวิจัยที่สนใจ//ความเชี่ยวชาญ: การเขียนโปรแกรมเชิงเว็บ โปรแกรมเพื่ออีเลิร์นนิง



ชื่อ: นายธีรพงษ์ เอี่ยมอาษา
สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ประยุกต์
ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
งานวิจัยที่สนใจ//ความเชี่ยวชาญ: การเขียนโปรแกรมเชิงเว็บ โปรแกรมเพื่ออีเลิร์นนิง

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

การพัฒนาเว็บไซต์เผยแพร่ทวิตสัตว์เลี้ยงที่ต้องการการอุปถัมภ์

Development of a Website for Disseminating Pet-Fostering Tweets

ศิวกร ดีชูศร[1*] ศิรภัสสร สุขขนาน[2] และ ณสิทธิ์ เหล่าเส็น[3]

หลักสูตรเทคโนโลยีสารสนเทศ สาขาเทคโนโลยีดิจิทัล คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต

21 ม.6 ถ.เทพกระษัตรี ต.รัษฎา อ.เมือง ภูเก็ต 83000 E-mail: nasith.l@pkru.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการพัฒนาเว็บไซต์สำหรับการเผยแพร่ข้อมูลสัตว์เลี้ยงที่ต้องการการอุปถัมภ์ โดยรวบรวมข้อมูลจากทวิตเตอร์มาประมวลผลและแสดงในรูปแดชบอร์ด โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ให้สัตว์เลี้ยงที่ถูกทอดทิ้งมีโอกาสถูกรับเลี้ยงมากขึ้น 2) เป็นแหล่งรวบรวมข้อมูลให้ผู้ที่อยากรับอุปถัมภ์เลี้ยงสัตว์ 3) เป็นการรณรงค์ให้คนตระหนักถึงปัญหาและรับเลี้ยงสุนัขและแมวจรจัดมากกว่าการซื้อสัตว์เลี้ยง และ 4) ลดจำนวนของสัตว์เลี้ยงจรจัด องค์ประกอบและการทำงานของระบบจะแบ่งออกเป็น 2 โมดูลย่อย คือ 1) โมดูลดึงข้อมูลจากทวิตเตอร์ และ 2) โมดูลการวิเคราะห์และแสดงผลข้อมูล ผลการทดสอบระบบพบว่าเว็บไซต์แสดงทวิตเตอร์สัตว์เลี้ยงที่ต้องการการอุปถัมภ์และข้อมูลสถิติในรูปแบบแดชบอร์ดมีผลการประเมินความพึงพอใจด้านการใช้งานในภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.46, S.D.= 0.64) และ ผลประเมินความพึงพอใจด้านเนื้อหาในภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.54, S.D.= 0.63)

คำสำคัญ : ทวิตเตอร์, การอุปถัมภ์, แดชบอร์ด

Abstract

This article presents the development of a website for disseminating information about pets in need of fostering. The information is collected from Twitter. The obtained information is processed and displayed in a graphical and dashboard forms on the website. The objectives of this website are 1) to give abandoned pets a chance to be adopted, 2) to be a source of information for people who want to foster animals, 3) to raise awareness of the problem and to encourage people to foster stray pets rather than buying new pets, and 4) to reduce the number of stray pets. The system is divided into 2 sub-modules: 1) Twitter data fetching module and 2) data analysis and display module. The evaluation results show that the proposed website has 1) an average usability score ($\bar{x}$) equal to 4.46 with a standard deviation (SD) equal to 0.64, and 2) an average content score ($\bar{x}$) equal to 4.54 with a standard deviation (SD) equal to 0.63.

Keywords: Twitter, Fostering, Dashboard

1. ความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันประเทศไทยพบปัญหาสัตว์เลี้ยงที่ถูกทอดทิ้งเป็นจำนวนมาก ทั้งชนิดของสัตว์ที่ถูกทอดทิ้งมากที่สุด คือ สุนัข และแมว ปัญหาการทอดทิ้งสัตว์ในสังคมไทยต้นตอของสาเหตุมาจากมนุษย์หรือคนในสังคม เกิดจากความไม่พอใจของผู้เลี้ยงที่มีต่อสัตว์เลี้ยง มาจากพฤติกรรมของสัตว์ สัตว์เลี้ยงเจ็บป่วยไม่สามารถที่จะให้การรักษาพยาบาลสัตว์เลี้ยงได้ จำนวนของสัตว์เลี้ยงมีมากเกินความต้องการของเจ้าของ ซึ่งเป็นสาเหตุที่นำไปสู่การทอดทิ้ง และนำมาซึ่งปัญหาทางสังคมอย่างต่อเนื่องกันเป็นผลสืบเนื่อง สัตว์เลี้ยงที่ถูกทอดทิ้งจะสร้างปัญหาความรู้สึกไม่ปลอดภัยให้กับคนในชุมชน ทำลายทรัพย์สิน หรือแม้แต่การสร้างความเดือดร้อนด้านสุขอนามัย เช่น เป็นพาหะของโรค และ การสร้างปัญหาสังคมด้านสิ่งแวดล้อม มีการรื้อค้นขยะจากถังขยะสร้างความสกปรกในพื้นที่นั้นๆ [1]

ข้อมูลตัวเลขจำนวนสุนัข และแมว ไม่มีเจ้าของที่สำรวจโดยองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ในปี 2562 /1 ระบุว่าทั่วประเทศยกเว้นกรุงเทพฯ มีสุนัขไม่มีเจ้าของ 109,123 ตัว แมวไม่มีเจ้าของ 55,021 ตัว รวมสุนัขและแมวไม่มีเจ้าของ 164,144 ตัว มูลนิธิอนุรักษ์ช้างและสิ่งแวดล้อม ที่อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งรับดูแลสัตว์เลี้ยงพิการและถูกทิ้งได้เปิดเผยว่า สัตว์เลี้ยงพิการและถูกทิ้งมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 2เดือนที่ผ่านมาโดยเฉพาะแมว จากเดิมที่มูลนิธิมีแมวที่อยู่ในความดูแลประมาณ 800 ตัว และมีจำนวนเพิ่มขึ้นมากกว่า 1,000 ตัว มีทั้งแมวพันธุ์ไทยและพันธุ์ต่างประเทศ รวมถึงแมวป่วยและพิการ ส่วนหนึ่งเป็นผลพวงจากการแพร่ระบาดของโควิด-19 ที่ทำให้มีแมวถูกทิ้งเพิ่มมากขึ้น เพราะคาเฟแมวต้องปิดตัว [2]

ปัจจุบันเริ่มมีเว็บไซต์ที่มีเป้าหมายในการช่วยเหลือสัตว์เลี้ยงที่ไม่มีบ้านหรือมีบ้านแต่ไม่มีความสะดวกสบายในการดูแลรักษาให้มีความเป็นอยู่ที่ดีขึ้น เช่น เว็บไซต์ RightBann [3] ซึ่งเป็นแหล่งรวมข้อมูลของสัตว์เลี้ยงที่ต้องการการอุปถัมภ์ ในเว็บไซต์นี้จะมีข้อมูลของสัตว์อยู่ในส่วนของการแสดงผล ซึ่งสามารถเข้าถึงได้โดยทั่วไป โดยสามารถดูรูปภาพของสัตว์เลี้ยงและข้อมูลเกี่ยวกับสัตว์เลี้ยงนั้น ๆ และมีการอัพเดตสถานะของสัตว์เลี้ยงเพื่อให้ผู้เข้าชมเว็บไซต์ทราบถึงสถานะล่าสุดของสัตว์เลี้ยงนั้น ๆ อย่างไรก็ตามข้อมูลในเว็บไซต์นี้มาจากการเพิ่มข้อมูลด้วยคน ไม่ได้ดึงข้อมูลจากสื่อสังคมออนไลน์มาแสดงผลอย่างอัตโนมัติ ทำให้อาจไม่สามารถนำเสนอข้อมูลที่เกิดขึ้นใหม่ได้รวดเร็วพอ

ผู้วิจัยได้เห็นถึงความสำคัญและปัญหาที่เกิดขึ้น จึงได้จัดทำเว็บไซต์แสดงข้อมูลของสัตว์เลี้ยงที่ต้องการการอุปถัมภ์ที่รวบรวมจากสื่อสังคมออนไลน์ทวิตเตอร์ เพื่อให้ผู้ที่กำลังหาสัตว์เลี้ยงหรืออยากรับอุปถัมภ์สัตว์เลี้ยงสามารถตรวจสอบข้อมูลได้ง่ายขึ้น เพื่อลดปัญหาสัตว์

เลี้ยงที่ถูกทอดทิ้งและให้สัตว์เลี้ยงที่ต้องการการอุปถัมภ์มีโอกาสถูกรับเลี้ยงมากขึ้น โดยเว็บไซต์ที่จัดทำขึ้นจะแสดงข้อความทวิต ข้อมูลสถิติต่าง ๆ ในรูปแดชบอร์ด และสามารถไปที่ทวิตต้นทางได้

2. การทบทวนวรรณกรรม

ปัจจุบันมีงานวิจัยที่เป็นลักษณะวิทยาการข้อมูลที่มีการดึงข้อมูลจากสื่อสังคมออนไลน์หรือเว็บไซต์ต่าง ๆ มาประมวลและแสดงผลหลายงาน ตัวอย่างเช่น กนกวรรณ สีเนหะ และคณะ [4] ได้พัฒนาการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีแดชบอร์ด เพื่อนำเสนอข้อมูลพื้นฐานตำบลห้วยเตย จังหวัดมหาสารคาม เพื่อศึกษาองค์ประกอบของข้อมูลพื้นฐานตำบลห้วยเตยจากการจัดเก็บข้อมูลโครงการมหาวิทยาลัยสู่ตำบล (U2T) จัดเก็บข้อมูลตามองค์ประกอบด้วยเทคโนโลยีแดชบอร์ด และศึกษาความคิดเห็นของชุมชนที่มีต่อเทคโนโลยีแดชบอร์ด อันจะนำไปสู่การสนับสนุนการตัดสินใจของผู้รับผิดชอบและเป็นประโยชน์ง่ายต่อการเข้าถึงข้อมูลของผู้ที่สนใจได้อย่างงรวดเร็ว การนำเสนอข้อมูลในรูปแบบแดชบอร์ดที่ประกอบด้วย ตาราง กราฟ แท่ง กราฟวงกลม มานำเสนอรวมกันไว้ในหน้าจอเดียวกัน ซึ่งจะช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถมองเห็นภาพรวมของข้อมูลที่สำคัญได้อย่างชัดเจนและรวดเร็ว

กิตติธัช คุ้มมิตร และคณะ [5] ได้พัฒนาระบบการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับชื่อ ที่อยู่ มาตรฐาน SHA ของ ร้านสปา ร้านอาหาร โรงแรม โรงพยาบาล ภายในจังหวัดภูเก็ต แล้วนำข้อมูลมาจัดเก็บในคลังข้อมูลเพื่อใช้เป็นแหล่งข้อมูลในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจให้กับทุกๆ หน่วยงานทั้งภาครัฐ เอกชนที่เกี่ยวข้องทางด้านการท่องเที่ยว

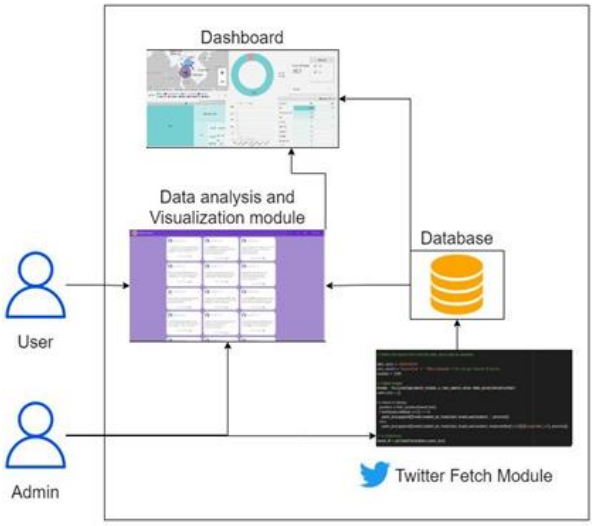
ศตวรรษ รามไชย และ ผุสดี พรผล [6] ได้พัฒนาระบบสำหรับการรวบรวมข้อมูลโรงแรมจากเว็บไซต์การท่องเที่ยว ในจังหวัดภูเก็ต สกัดหาชื่อ ที่อยู่ ระดับดาว ระดับ SHA แล้วนำข้อมูลมาจัดเก็บในคลังข้อมูลเพื่อใช้เป็นแหล่งข้อมูลในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อใช้ในการสนับสนุนการตัดสินใจในการบริหารการจัดการเกี่ยวกับที่พักในจังหวัดภูเก็ต ดังนั้นการวิเคราะห์ข้อมูลที่พักของจังหวัดภูเก็ตทั้งหมดทั้งโรงแรมที่อยู่ในมาตรฐาน SHA หรือไม่อยู่จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งเพราะจะทำให้ทราบได้ว่าปัจจุบันข้อมูลที่พักในจังหวัดภูเก็ตในแต่ละระดับดาวนั้นมีมาตรฐานที่จะรองรับโครงการภูเก็ตแซนด์บ็อกซ์ได้หรือไม่อย่างไร นอกจากนั้นยังเป็นข้อมูลที่จำเป็นในการพัฒนา/ลงทุนทางด้านที่พักในจังหวัดภูเก็ตให้สามารถกลับมารองรับนักท่องเที่ยวได้

3. วิธีดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยได้ใช้กระบวนการวิศวกรรมซอฟต์แวร์ในการดำเนินการวิจัยซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 การวิเคราะห์และออกแบบระบบ

ผู้วิจัยเริ่มต้นการพัฒนาระบบโดยการวิเคราะห์องค์ประกอบและการทำงานของระบบ โดยระบบจะแบ่งออกเป็น 2 โมดูลย่อย คือ โมดูลดึงข้อมูลจาก Twitter และ โมดูลการวิเคราะห์และแสดงผลข้อมูล สำหรับโมดูลแรกนั้นจะทำการดึงข้อมูล Tweets ผ่าน Application Programming Interface (API) ของ Twitter และทำความสะอาดข้อมูล สกัดข้อมูลที่จำเป็น เช่น อำเภอและจังหวัด จาก Tweets ที่ได้มา จากนั้นจึงบันทึกข้อมูลลงในฐานข้อมูล (เป็นไฟล์ CSV บน Google Sheet) สำหรับโมดูลที่สองนั้นจะทำการดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลมาแสดงผล โดยจะแสดงผลทั้งข้อมูล Tweets และ แผนภูมิแสดงจำนวน Tweets ต่าง ๆ แยกตามพื้นที่ สถาปัตยกรรมภาพรวมของระบบแสดงได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 สถาปัตยกรรมของระบบ

3.2 การพัฒนาระบบ

3.2.1 การพัฒนาโมดูลดึงข้อมูลจาก Twitter

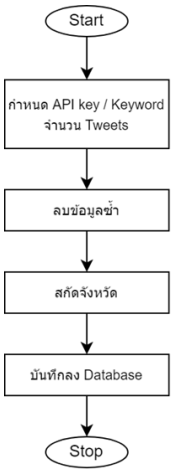
ผู้วิจัยได้ใช้ภาษา Python ในการพัฒนาโมดูลนี้ เริ่มต้นผู้วิจัยได้ทำการขอ Keys และ Access Tokens ของ Twitter โดยการสมัคร Twitter App สำหรับ Developer เพื่อให้ได้ Consumer key, Consumer secret, Access token และ Access token secret มาใช้ในการดึง Tweets จากเว็บไซต์ Twitter จากนั้นจึงใช้ Key ที่ได้มาดึงข้อมูลในแฮชแท็กที่เกี่ยวข้องกับการหาบ้านให้สัตว์เลี้ยงและสัตว์จรจัด โดยข้อมูลที่ดึงประกอบด้วย วันเวลาที่ทวิต เนื้อหาของทวิต ลิงก์ทวิต และทำการลบข้อมูลซ้ำ

ในส่วนของการสกัดจังหวัด ผู้วิจัยสร้างฟังก์ชันที่ชื่อ find_province() ซึ่งมีการรับ Parameter คือ Tweet เข้ามา ฟังก์ชันนี้จะตรวจสอบว่า Tweet มีข้อความใดบ้างที่เกี่ยวข้องกับจังหวัดในประเทศไทย โดยใช้คำสั่ง if และ elif เพื่อเช็คแต่ละจังหวัด ถ้าเจอจังหวัดที่ต้องการ ก็จะกำหนดค่า Province ให้เป็นชื่อของจังหวัดนั้นๆ ถ้าไม่เจอชื่อจังหวัดที่ถูกกำหนดไว้ ก็จะกำหนดค่า Province ให้เป็น "อื่นๆ" แล้วคืนค่า Province ออกมา และบันทึกลงฐานข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 2 ตัวอย่าง Source Code บางส่วนของโมดูลนี้แสดงดังรูปที่ 3-8

3.2.2 การพัฒนาโมดูลการวิเคราะห์และแสดงผลข้อมูล

การพัฒนาโมดูลนี้เริ่มต้นด้วยใช้ Converter ทำการแปลงไฟล์ CSV เป็นไฟล์ JSON เพื่อนำไปใช้งานในการสร้างเว็บไซต์แสดงผลทวิตเตอร์ทั้งหมดโดยใช้ภาษา JavaScript และโปรแกรม Visual Studio Code ในการพัฒนา ในส่วนของเว็บไซต์ผู้วิจัยได้นำเอา Node.js มาใช้ในการเขียนหน้าเว็บ ใช้ React สำหรับสร้าง User Interface โดยใช้ MUI เป็นเครื่องมือ เพื่อให้สามารถเขียนโปรแกรมในการสร้าง UI ที่มีความ

ซับซ้อนแบ่งเป็นส่วนย่อยออกจากกันได้ โดยเริ่มจากการสร้าง Grid Container เนื่องจากต้องการจำกัดการแสดงผลของข้อมูล จึงได้เขียน Loop เพื่อให้สามารถสร้าง Grid ได้ตามจำนวนข้อมูลที่นำเข้ามาจากไฟล์ CSV โดยในไฟล์ CSV จะมีตัวแปรที่แยกกันเช่น row.text และ row.type เพื่อแสดงข้อมูลจากไฟล์ CSV ที่ทำไว้ ในส่วนของภาพสัตว์เลี้ยงจรจัด สามารถคลิกที่ Tweet ที่แสดงเพื่อดูภาพที่โพสต์ต้นฉบับ



รูปที่ 2 ขั้นตอนการดึงข้อมูล

```
consumer_key = '                                    '
consumer_secret = '                                 '
access_token = '                                    '
access_token_secret = '                             '

auth = tw.OAuthHandler(consumer_key, consumer_secret)
auth.set_access_token(access_token, access_token_secret)
api = tw.API(auth, wait_on_rate_limit=True)
#places = api.geo_search(query="country")
```

รูปที่ 3 การกำหนด API key / Keyword จำนวน Tweets

```
# Define the search term and the date_since date as variables

date_since = "2023-03-01"
new_search = "แมวหาบ้าน" + " -filter:retweets" # Do not get retweet of tweets
number = 1000

# Collect tweets
tweets = tw.Cursor(api.search_tweets, q=new_search, since=date_since).items(number)
users_locs = []

for tweet in tweets:
  province = find_province(tweet.text)
  if len(tweet.entities['urls']) == 0:
    users_locs.append([tweet.created_at, tweet.text, tweet.user.location, '', province])
  else:
    users_locs.append([tweet.created_at, tweet.text, tweet.user.location, tweet.entities['urls'][0]['expanded_url'], province])

# To Dataframe
tweet_df = pd.DataFrame(data=users_locs)
```

รูปที่ 4 คำสั่งในส่วนของการดึงข้อมูล

```
[ ]  def find_province(tweet):

       province = ''

       if 'เชียงใหม่' in tweet:
         province = 'เชียงใหม่'

       elif 'นครนายก' in tweet:
         province = 'นครนายก'

       elif 'กระบี่' in tweet:
         province = 'กระบี่'

       elif 'กรุงเทพ' in tweet:
         province = 'กรุงเทพมหานคร'

       elif 'กาญจนบุรี' in tweet:
         province = 'กาญจนบุรี'
```

รูปที่ 5 คำสั่งในส่วนของการกรองข้อมูลจังหวัด

```
#add column names
tweet_df.columns =['Time', 'Text', 'User_location', 'Tweet_URL', 'Province']
```

รูปที่ 6 การกำหนดชื่อคอลัมน์

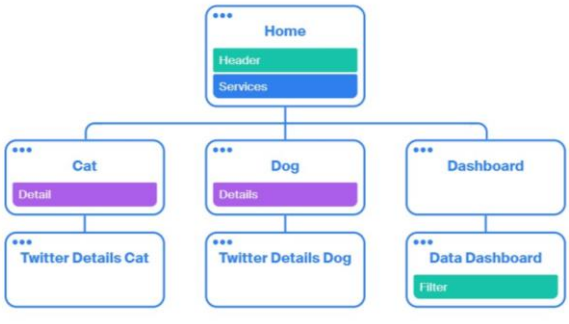
```
                subheader={row.time}
              />
              <CardContent>
                <Typography variant="body2" color="text.secondary">
                  {row.text}
                </Typography>
              </CardContent>
              <CardActions
                sx={{ display: 'flex', justifyContent: 'center' }}
              >
                <Button
                  size="small"
                  endIcon={<TwitterIcon />}
                  onClick={() => openTwitterLink(row.tweet_url)}
                >
                  Go to Twitter
                </Button>
              </CardActions>
            </Card>
          ))}
        </Grid>
      </Container>
    </Container>
  </>
 );
}
```

รูปที่ 7 คำสั่งปุ่มที่เชื่อมไปยัง Twitter

```
<Box sx={{ flexGrow: 1, overflow: 'hidden' }}></Box>
<CssBaseline />
<Container maxWidth="" sx={{ backgroundColor: '#A48ACE' }}>
  <Container maxWidth="lg" sx={{ p: 3 }} >
    <Grid container spacing={2} sx={{ gap: 2 }}>
      {AllDogAndCat.map((row) => (
        <Card sx={{ maxWidth: 345, borderRadius: 7 }}>
          <CardHeader
            avatar={
              <Avatar>
                <img
                  src={row.type === 'faCat' ? catImage : dogImage}
                  alt={row.type === 'faCat' ? 'cat' : 'dog'}
                  style={{ width: '100%', height: '100%', objectFit: 'contain' }}
                />
              </Avatar>
            }
            subheader={row.time}
          />
```

รูปที่ 8 คำสั่งการสร้างไอคอนสุนัขและแมว

ผู้วิจัยใช้ Google Looker Studio สำหรับการสร้างแดชบอร์ด โดยการนำเข้าข้อมูล CSV ที่ได้หลังจากการจัดการข้อมูลเรียบร้อยแล้วมามาสร้างแดชบอร์ดตามความเหมาะสม จากนั้น Publish Report โดยการทำ Embed Report to Web เพื่อสร้าง Embed URL นำไปใช้กับเว็บไซต์ได้ ตัวอย่าง Source Code ของโมดูลนี้แสดงได้ดังรูปที่ 7-8 ตัวอย่าง Sitemap ของเว็บไซต์แสดงดังรูปที่ 9 ตัวอย่างหน้าจอเว็บไซต์แสดงดังรูปที่ 10-12 และตัวอย่างแดชบอร์ดแสดงดังรูปที่ 13



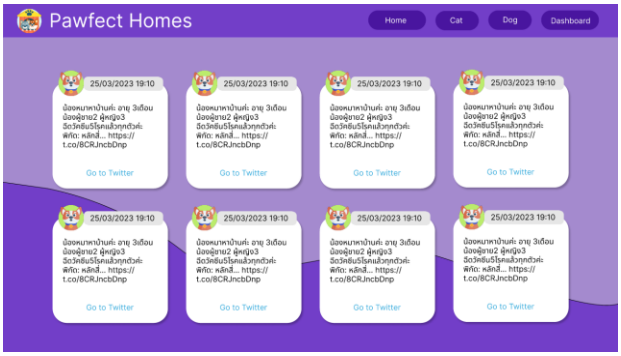
รูปที่ 9 Sitemap ของ เว็บไซต์แสดงทวิตเตอร์หาบ้านสุนัขและแมวจรจัด



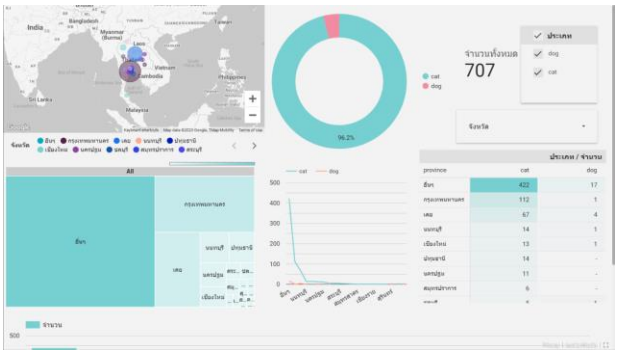
รูปที่ 10 หน้าจอหลักเว็บไซต์แสดงทวิตเตอร์หาบ้านสุนัขและแมวจรจัด



รูปที่ 11 หน้าเว็บไซต์แสดงทวิตเตอร์หาบ้านเฉพาะแมวจรจัด



รูปที่ 12 หน้าเว็บไซต์แสดงทวิตเตอร์หาบ้านเฉพาะสุนัขจรจัด



รูปที่ 13 แดชบอร์ดที่ได้จากข้อมูลทวิตเตอร์หาบ้านสุนัขและแมวจรจัด

3.3 การทดสอบระบบ

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบระบบโดยใช้แบบสอบถามประเมินประเด็นด้านความสะดวกในการใช้งาน (Usability) จากผู้ทำแบบสอบถามทั้งหมด 50 คน เป็นเพศชาย 33 คนและเพศหญิง 17 คน โดยมีอายุต่ำกว่า 20 ปี 2 คน อายุ 20 - 30 ปี 35 คน และ อายุ 31 - 40 ปี 13 คน ระดับการศึกษาสูงสุด มัธยมปลาย 5 คน ปริญญาตรี 44 คน และปริญญาโท 1 คน ผลการประเมินพบว่าระบบได้คะแนนเฉลี่ยด้านความสะดวกในการใช้งานเท่ากับ 4.52 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.68 ได้คะแนนเฉลี่ยด้านความสวยงามเท่ากับ 4.36 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.75 ได้คะแนนเฉลี่ยด้านความเร็วในการตอบสนองเท่ากับ 4.72 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.50 และได้คะแนนเฉลี่ยด้านการแสดงผลข้อมูลเท่ากับ 4.22 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.61 แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลประเมินด้านการใช้งาน

ข้อคำถาม	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระดับความคิดเห็น
1.1 ด้านความสะดวกในการใช้งาน	4.52	0.68	มากที่สุด
1.2 ด้านความสวยงาม	4.36	0.75	มาก
1.3 เว็บไซต์มีการตอบสนองที่เร็ว	4.72	0.50	มากที่สุด
1.4 ด้านการแสดงผลข้อมูล	4.22	0.61	มาก
รวม	**4.46**	**0.64**	**มาก**

ตารางที่ 2 ผลประเมินด้านเนื้อหา

ข้อคำถาม	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระดับความคิดเห็น
2.1 แสดงเนื้อหาข้อมูลครบและถูกต้อง	4.66	0.56	มากที่สุด
2.2 ด้านความน่าสนใจของข้อมูล	4.36	0.78	มาก
2.3 สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย	4.38	0.67	มาก
2.4 เว็บไซต์เข้าใจง่ายและตรงจุดประสงค์	4.76	0.48	มากที่สุด
รวม	**4.54**	**0.63**	**มากที่สุด**

นอกจากนั้นระบบยังได้รับคะแนนประเมินด้านเนื้อหา โดยได้รับคะแนนเฉลี่ยด้านการแสดงเนื้อหาครบถ้วนและถูกต้องเท่ากับ 4.66 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.56 ได้คะแนนเฉลี่ยด้านความน่าสนใจของข้อมูลเท่ากับ 4.36 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.78 ได้คะแนนเฉลี่ยด้านสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลายเท่ากับ 4.38 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.67 และได้คะแนนเฉลี่ยด้านเว็บไซต์เข้าใจง่ายและตรงจุดประสงค์เท่ากับ 4.76 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.48 แสดงดังตารางที่ 2

4. บทสรุป

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาเว็บไซต์แสดงทวิตเตอร์สัตว์เลี้ยงที่ต้องการการอุปถัมภ์และข้อมูลสถิติในรูปแบบแดชบอร์ด โดยผู้วิจัยได้ทำการดึงข้อมูลจาก Twitter และมีการวิเคราะห์และแสดงผลข้อมูลในรูปแบบแดชบอร์ด จากผลการพัฒนาพบว่า จำนวนของความต้องการของการหาบ้านให้แมวมีมากกว่าสุนัข และส่วนใหญ่เป็นอาศัยอยู่ในภาคกลาง จุดด้อยของเว็บไซต์แสดงทวิตเตอร์สัตว์เลี้ยงในรูปแบบแดชบอร์ดคือการสกัดข้อมูลจังหวัดไม่ถูกต้อง อาจมีการแสดงผลข้อมูลในพื้นที่หรือจังหวัดได้ไม่ครบเนื่องจากไม่ได้ระบุว่าอยู่จังหวัดใดในทวิตต้นทางของทวิตเตอร์หรืออาจระบุเป็นพื้นที่ที่เฉพาะไม่ใช่ชื่ออำเภอหรือจังหวัด ซึ่งอาจทำให้ผู้ใช้งานได้รับข้อมูลที่ไม่ครบถ้วน

เพื่อแก้ไขประเด็นดังกล่าว สิ่งที่สามารถทำได้คือการปรับปรุงการสกัดข้อมูลจังหวัดโดยกำหนดแยกประเภทให้มากขึ้น เพื่อจัดการกับปัญหาการแสดงผลข้อมูลที่ไม่ถูกต้อง นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มฟังก์ชันการดึงรูปภาพของสัตว์เลี้ยง และเพิ่มการดึงข้อมูลทวิตหาบ้านของสัตว์ชนิดอื่น ๆ เพื่อให้รองรับและตรงตามความต้องการของผู้ใช้งานที่หลากหลายขึ้นอีกด้วย นอกจากนี้ยังสามารถปรับปรุงการออกแบบเว็บไซต์เพื่อทำให้ดูง่ายขึ้นและมีความสวยงามเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานให้กับผู้ใช้งานได้อีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

[1] พนมพร แสนประเสริฐ, “ปัญหาการทอดทิ้งสัตว์ในสังคมไทยกับแนวคิดประโยชน์นิยม,” *วารสารสังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์*, ปีที่ 7, ฉบับที่ 2, หน้า 175-186, 2563.

[2] Bangkok Biz News, “เรื่องหมาๆ ปัญหา 'สัตว์เลี้ยง' ที่วนลูปในสังคมไทย” 2019. [ออนไลน์]. เข้าถึง: https://www.bangkokbiznews.com/lifestyle/895503. [วันที่เข้าถึง: 4 มีนาคม 2566].

[3] คณะสัตวแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, “rightbaan,” [Online]. Available:https://www.rightbaan.com/. [Accessed: 5 มกราคม 2566].

[4] กนกวรรณ สีเนหะ, วราปภา อารีราษฎร์, และกาญจนา ดงสงคราม, “การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีแดชบอร์ด เพื่อนำเสนอข้อมูลพื้นฐานตำบลห้วยเตยจังหวัดมหาสารคาม,” *วารสารวิชาการการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ*, ปีที่ 8, ฉบับที่ 1, หน้า 78-89, มกราคม-มิถุนายน 2565.

[5] กิตติธัช คุ้มมิตร, ธนรรคพงษ์ เจริญ, และผุสดี พรผล, “การพัฒนาคลังข้อมูลเพื่อยกระดับการวิเคราะห์ข้อมูลการท่องเที่ยวภูเก็ต,” ในรายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ ม.อ. ตรัง วิจัย ระดับชาติ ครั้งที่ 11, 2565, หน้า 403-413.

[6] ศตวรรษ รามไชย และ ผุสดี พรผล, “การเตรียมข้อมูลจากเว็บในอุตสาหกรรมการท่องเที่ยว: กรณีที่พักในจังหวัดภูเก็ต,” ใน รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติดานวิทยาศาสตรและเทคโนโลยี เครือขายสถาบันอุดมศึกษาภาคใต้ ครั้งที่ 7, 2565, หน้า 1204-1213.



ประวัติผู้เขียนบทความ

นายศิวกร ดีชุศร

ปัจจุบันผู้เขียนได้ศึกษาระดับปริญญาตรีอยู่ ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี หลักสูตรเทคโนโลยีสารสนเทศ สาขาเทคโนโลยีดิจิทัล งานวิจัยที่สนใจคือการศึกษาพฤติกรรมการใช้สื่อสังคมออนไลน์บนทวิตเตอร์เชิงลบ



ประวัติผู้เขียนบทความ

นางสาวศิรภัสสร สุขขนาน

ปัจจุบันผู้เขียนได้ศึกษาระดับปริญญาตรีอยู่ ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี หลักสูตรเทคโนโลยีสารสนเทศ สาขาเทคโนโลยีดิจิทัล งานวิจัยที่สนใจคือแอปพลิเคชันรักษ์แมว กรณีศึกษาโครงการรักษ์แมวปนน้ำใจให้แมวจรบนโทรศัพท์แอนดรอยด์



ประวัติผู้เขียนบทความ

ดร.ณสิทธิ์ เหล่าเส็น

สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาเอกจากสถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีดิจิทัล มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต สาขางานวิจัยที่สนใจคือปัญญาประดิษฐ์ การเรียนรู้ของเครื่อง ระบบถามตอบอัตโนมัติ ออนโทโลยี และกราฟความรู้

การศึกษาเปรียบเทียบความเร็วของอินเทอร์เน็ตที่ให้บริการโดยโครงข่าย 5G : กรณีแหล่งท่องเที่ยวสำคัญในเขตอำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี

A Comparative Study of the Internet Speeds Provided by 5G Networks : A Case of the Major Tourist Attractions in the District of Phetchaburi Province

จุฑารัตน์ อินทรีย์นันทน์[1*] พงษ์พิสิฐ วุฒิดิษฐโชติ[2] และ เทอดพงษ์ แดงสี[3]

[1*], [2]สาขาวิชาการบริหารเครือข่ายและความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 1518 ถนนประชาราษฎร์1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800 E-mail: s6007031810018@email.kmutnb.ac.th, pongpisitw@kmutnb.ac.th

[3]สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร 1381 ถนนประชาราษฎร์1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800 E-mail: therdpong.d@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความเร็วของอินเทอร์เน็ตที่ใช้งานผ่านโครงข่าย 5G ของผู้ให้บริการโครงข่าย 5G หลักทั้ง 2 ราย โดยการทดสอบภาคสนามบริเวณแหล่งท่องเที่ยวที่สำคัญ เขตอำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี จำนวน 11 แห่ง โดยใช้แอปพลิเคชัน nPerf และโทรศัพท์ที่รองรับ 5G พบว่า มีค่าเฉลี่ยความเร็วในการดาวน์โหลดเท่ากับ 159 เมกะบิตต่อวินาที และมีค่าเฉลี่ยความเร็วในการอัปโหลดเท่ากับ 21.32 เมกะบิตต่อวินาที เมื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์เชิงสถิติ พบว่าความเร็วในการดาวน์โหลดของผู้ให้บริการรายที่ 1 และรายที่ 2 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p-value <0.001) และความเร็วในการอัปโหลดของผู้ให้บริการ 5G รายที่ 1 และรายที่ 2 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p-value <0.001)

คำสำคัญ : โครงข่าย 5G; ความเร็วในการดาวน์โหลด; ความเร็วในการอัปโหลด

Abstract

This article aims to compare the speeds of the Internet used through the 5G network of the two major network operators, by performing field tests at 11 major attractions in the Muang district of Phetchaburi province, using nPerf application and the 5G compatible phone. It has been found the average download speed of 159 Mbps and the average upload speed of 21.32 Mbps. When performing statistical analysis referring to the download speeds of the first and the second service providers, there are significant differences (p-value <0.001). Similar to the download speeds, there are differences between the upload speed provided by the first and the second 5G service providers significantly (p-value <0.001).

Keywords: 5G Network; Download speed; Upload speed

1. บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญ

ปัจจุบันเทคโนโลยี 5G มีบทบาทและความสำคัญในการใช้ชีวิตประจำวันเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะตลาดอินเทอร์เน็ตบรอดแบนด์เคลื่อนที่ รายงานของสำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) ได้ระบุในรายงานของไตรมาสที่ 3 ปี 2564 พบว่า มีจำนวนผู้ใช้บริการอินเทอร์เน็ตเคลื่อนที่ทั้งสิ้น 65,231,024 ราย [1] ซึ่งเป็นการใช้บริการผ่านโทรศัพท์เคลื่อนเพื่อทำกิจกรรมต่าง ๆ ได้แก่ ติดต่อสื่อสาร เพื่อความบันเทิง ซื้อขายสินค้าออนไลน์ ทำธุรกรรมทางการเงิน และการอ่านโพสต์ ข่าว บทความ หนังสือ [2, 3] ทั้งนี้ คุณภาพ ความเสถียร ความเร็วสูง และครอบคลุมพื้นที่การให้บริการโครงข่าย ถือเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการใช้บริการโครงข่ายของผู้ใช้งาน [4]

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาคุณภาพการให้บริการโครงข่าย 5G ในพื้นที่จังหวัดเพชรบุรี เนื่องจากจังหวัดเพชรบุรีมีแหล่งท่องเที่ยวมากมาย และมีนักท่องเที่ยวมาเที่ยวจังหวัดเพชรบุรีเป็นจำนวนมาก จากข้อมูลสถิติของกองเศรษฐกิจการท่องเที่ยว และกีฬา กระทรวงการท่องเที่ยว และกีฬา ได้ระบุว่า สถานการณ์การท่องเที่ยวของจังหวัดเพชรบุรีในช่วงเดือนมกราคม – พฤศจิกายน พ.ศ.2565 พบว่ามีนักท่องเที่ยวชาวไทยจำนวน 8,070,929 คน และนักท่องเที่ยวชาวต่างชาติจำนวน 41,237 คน รวมทั้งสิ้น 8,112,166 คน [5] จังหวัดเพชรบุรีจึงเป็นจังหวัดที่มีผู้ใช้โทรศัพท์เป็นจำนวนมาก ผู้วิจัยจึงต้องการศึกษาเกี่ยวกับคุณภาพของบริการของของโครงข่าย 5G ซึ่งเป็นเทคโนโลยีล่าสุด โดยมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาครั้งนี้คือ เพื่อเปรียบเทียบความเร็วของอินเทอร์เน็ตที่ใช้งานผ่านโครงข่าย 5G ที่มีปริมาณผู้ใช้งานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อเปรียบเทียบความเร็วของอินเทอร์เน็ตที่ใช้งานผ่านโครงข่าย 5G

1.3 สมมติฐาน

สำหรับสมมติฐานในการวิจัยเกี่ยวกับความเร็วอินเทอร์เน็ตที่ให้บริการโดยผู้ให้บริการจำนวน 2 ราย คือ

H_0 : ผู้ให้บริการโครงข่ายรายที่ 1 และรายที่ 2 มีความเร็วอินเทอร์เน็ตไม่แตกต่างกัน

H_1 : ผู้ให้บริการโครงข่ายรายที่ 1 และรายที่ 2 มีความเร็วอินเทอร์เน็ตแตกต่างกัน

2. ทฤษฎี และทบทวนวรรณกรรม

2.1 โครงข่าย 5G

โครงข่าย 5G เป็นเทคโนโลยีโทรคมนาคมเคลื่อนที่ยุคที่ 5 โดยสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union : ITU) ได้ออกข้อกำหนดสำหรับเทคโนโลยี 5G ในรูปแบบของมาตรฐาน IMT-2020 เพื่อกำหนดเป้าหมายของการส่งเสริม และพัฒนา ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งกำหนดไว้ดังนี้ [6]

- อัตราการรับส่งข้อมูลสูงสุดไม่น้อยกว่า 20 กิกะบิตต่อวินาที
- อัตราการรับส่งข้อมูลเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 100 เมกะบิตต่อวินาที
- ประสิทธิภาพในการใช้คลื่นความถี่เพิ่มขึ้นไม่น้อยกว่า 3 เท่า เมื่อเทียบกับเทคโนโลยี 4G
- การเคลื่อนที่ของผู้ใช้งานที่ความเร็วไม่ต่ำกว่า 500 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
- การสื่อสารมีความหน่วงไม่เกิน 1 มิลลิวินาที
- โครงข่ายรองรับการเชื่อมต่ออุปกรณ์ไม่น้อยกว่า 1,000,000 ต่อตารางกิโลเมตร
- การใช้พลังงานมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 100 เท่า เมื่อเทียบกับเทคโนโลยี 4G
- ความจุการจราจรของพื้นที่ 1 ตารางเมตร ไม่น้อยกว่า 10 เมกะบิตต่อวินาที

2.2 สถาปัตยกรรมโครงข่าย 5G

1) สถาปัตกรรมร่วม (Non-Standalone: NSA) เป็นสถาปัตยกรรมที่เกิดขึ้นในระยะเริ่มต้นของการเปิดใช้งานโครงข่าย 5G การเปลี่ยนผ่านจากโครงข่าย 4G ไปเป็น 5G โดยการนำโครงข่ายสายอากาศ (RAN) และคลื่นวิทยุความถี่ใหม่ 5G (NR) โดยนำมาทำงานร่วมกับโครงข่ายสายอากาศ และโครงข่ายหลัก 4G (4G Core) โดยยังไม่นำโครงข่ายหลัก 5G (5G Core) มาใช้

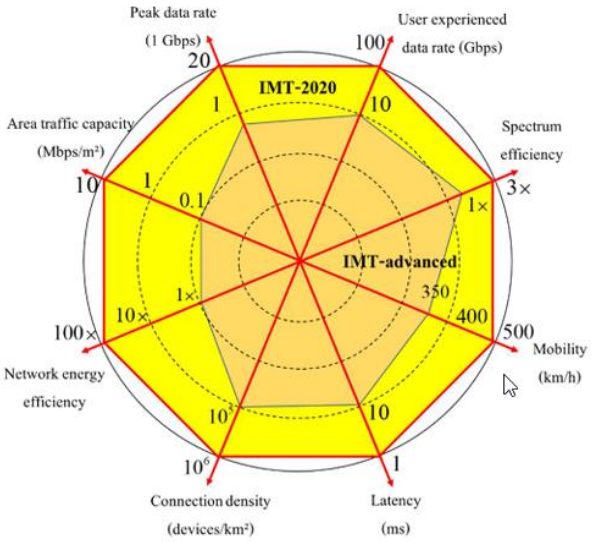
2) สถาปัตกรรมเดี่ยว (Standalone: SA) เป็นการนำโครงข่ายสายอากาศ และคลื่นวิทยุความถี่ใหม่ 5G มาทำงานกับโครงข่ายหลัก 5G เท่านั้น ดังรูปที่ 2 [7, 8]

2.3งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

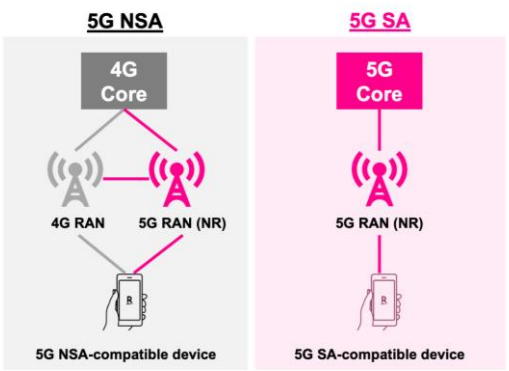
วชิราภรณ พัดเกิด และคณะ [9] ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้บริการสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่เครือข่าย 5G ด้วยแบบสอบถาม โดยมีกลุ่มตัวอย่างซึ่งเป็นผู้ใช้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่เครือข่าย 5G ในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร ร่วมตอบแบบสอบถามจำนวน 397 คน แล้วทำกาวิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงพรรณาและเชิงอนุมาน พบว่าหนึ่งในสี่ปัจจัยหลักที่มีต่อการเลือกใช้บริการ คือ ปัจจัยด้านคุณภาพ และพื้นที่ให้บริการของสัญญาณ

Daengsi และคณะ [11] ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพโครงข่าย 5G โดยทำการทดสอบแบบอยู่กับที่ และแบบเคลื่อนที่ บริเวณสถานีบีทีเอส สายสุขุมวิทในกรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็นสายที่มีเส้นทางที่ยาวที่สุด จำนวนทั้งสิ้น 47 สถานี โดยใช้แอปพลิเคชัน Speedtest พบว่าการทดสอบความเร็วในการดาวน์โหลดแบบอยู่กับที่ และแบบเคลื่อนที่ไม่มีความแตกต่างกัน แต่ความเร็วในการอัปโหลดแบบเคลื่อนที่ต่ำกว่าแบบอยู่กับที่ โดยรวมค่าความเร็วในการดาวน์โหลดเท่ากับ 289.6 เมกะบิตต่อวินาที และค่าความเร็วในการอัปโหลดเท่ากับ 64.0 เมกะบิตต่อวินาที

เทอดพงษ์ แดงสี และคณะ [12] ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของโครงข่าย 5G ภาคสนามบริเวณสถานีรถไฟฟ้าบีทีเอส สายสุขุมวิท (คูคต จังหวัดปทุมธานี – เคหะฯ สมุทรปราการ จังหวัดสมุทรปราการ) และสายสีลม (สนามกีฬาแห่งชาติ – บางหว้า) รวม 60 สถานี พบว่า มีค่าเฉลี่ยของความเร็วในการดาวน์โหลด 240.3 เมกะบิตต่อวินาที



รูปที่ 1 IMT-2020 [7]



รูปที่ 2 สถาปัตยกรรมโครงข่าย 5G [10]

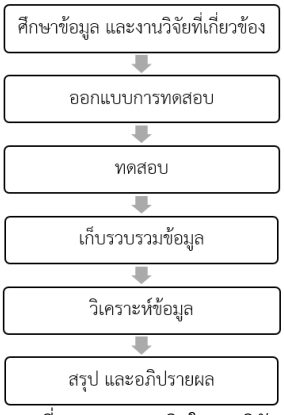
M. Okano และคณะ [13] ได้มีการทดสอบสัญญาณย่านความถี่ 28 กิกะเฮิรตซ์ ของโครงข่าย 5G บริเวณชานชาลานสถานีรถไฟฟ้าประเทศญี่ปุ่น โดยทำการทดสอบแบบอยู่กับที่ และแบบเคลื่อนที่ สถานีปลายทางคือสนามบินนานาชาติฮาเนดะ ด้วยการสร้างต้นแบบระบบ 5G เครื่องที่ใช้คือ iPerf กำหนดค่าพารามิเตอร์เป็น RSRP และ SINR พบว่าต้นแบบระบบ 5G สามารถบรรลุความจุบรอดแบรนด์ได้มากกว่า 1 กิกะบิตต่อวินาที แม้ว่าอุปกรณ์ผู้ใช้จะอยู่ที่ใดในชานชาลานก็ตาม

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จะเห็นได้ว่า การศึกษาเกี่ยวกับคุณภาพสัญญาณ 5G ที่ผ่านมา ยังจำกัดอยู่เฉพาะในเมืองหลวง หรือเมืองใหญ่ โดยยังไม่เคยมีการศึกษาคุณภาพสัญญาณ 5G ในเขตพื้นที่ต่างจังหวัดของประเทศไทย คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะทำการศึกษาในเขตพื้นที่จังหวัดเพชรบุรี ซึ่งเป็นจังหวัดที่มีแหล่งท่องเที่ยวที่มีชื่อเสียงหลายแห่ง

3. ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

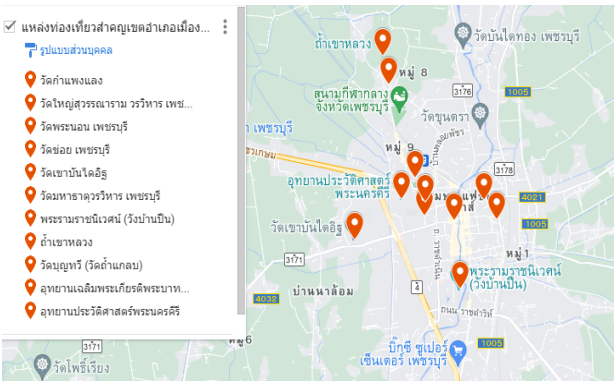
การศึกษาครั้งนี้เป็นการทดสอบภาคสนาม ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินการดังรูปที่ 3 โดยมีการลงพื้นที่จริงเพื่อทดสอบและเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อทำการวิเคราะห์



รูปที่ 3 กรอบแนวคิดในการวิจัย

3.2 การออกแบบและการทดสอบภาพสนาม

การศึกษานี้ออกแบบให้ทดสอบแหล่งท่องเที่ยวที่สำคัญ เขตอำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี เนื่องจากเป็นสถานที่ที่มีนักท่องเที่ยวชาวไทยและนักท่องเที่ยวชาวต่างชาติจำนวนมาก ผู้วิจัยได้ทำการเลือกแหล่งท่องเที่ยวที่สำคัญมา 11 แห่ง ดังรูปที่ 4 [14, 15]



รูปที่ 4 พิกัดแหล่งท่องเที่ยวสำคัญ เขตอำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี

ในการทดสอบและเก็บข้อมูลความเร็วของอินเทอร์เน็ตที่ใช้งานผ่านโครงข่าย 5G ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบในสถานที่แต่ละแห่ง ๆ ละ 3 จุด ๆ ละ 2 รอบ โดยแต่ละจุดที่ทำการทดสอบจะมีระยะห่างกันอย่างน้อย 10 เมตร โดยการทดสอบผ่านโครงข่าย 5G ของผู้ให้บริการหลักจำนวน 2 ราย ด้วยโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่รองรับ 5G SA เมื่อทดสอบเสร็จแต่ละครั้ง ผู้วิจัยได้ทำการบันทึกภาพหน้าจอทุกครั้งเพื่อนำมาบันทึกข้อมูลภายหลัง โดยข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ และเครื่องมือในการทดสอบ แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลเกี่ยวกับวิธีการทดสอบและเครื่องมือ

รายการ	**รายละเอียด**
พื้นที่ที่ทดสอบ	แหล่งท่องเที่ยวที่สำคัญจังหวัดเพชรบุรี
วัน – เวลาที่ทดสอบ	วันเสาร์ – อาทิตย์ (เนื่องจากมีนักท่องเที่ยวจำนวนมาก) เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2566 เวลา 08.00 -18.00 น.
โครงข่ายที่ทดสอบ	2 โครงข่าย ได้แก่ AIS และ True Move
โทรศัพท์	1 เครื่อง ได้แก่ Vivo V23e 5e
แอปพลิเคชันที่ใช้ทดสอบ	1 แอปพลิเคชัน ได้แก่ nPerf
ข้อมูล	132 รายการ

4. ผลการศึกษา การวิเคราะห์ผล และอภิปราย

ผลการศึกษาเก็บรวบรวมข้อมูลจากการทดสอบพบว่า Oper1 มีค่าเฉลี่ยความเร็วในการดาวน์โหลด และอัปโหลดสูงกว่า Oper2 พบว่าค่าเฉลี่ยความเร็วในการดาวน์โหลดของ Oper1 และ Oper2 เท่ากับ 232.70 เมกะบิตต่อวินาที และ 85.29 เมกะบิตต่อวินาที ตามลำดับ โดยค่าเฉลี่ยรวมจากผู้ให้บริการโครงข่าย 5G หลักทั้ง 2 ราย มีค่าเฉลี่ยความเร็วในการดาวน์โหลดเท่ากับ 159.00 เมกะบิตต่อวินาที และค่าเฉลี่ยความเร็วในการอัปโหลดของ Oper1 และ Oper2 เท่ากับ 27.37 เมกะบิตต่อวินาที และ 18.28 เมกะบิตต่อวินาที ตามลำดับ โดยค่าเฉลี่ยรวมจากผู้ให้บริการโครงข่าย 5G หลักทั้ง 2 ราย มีค่าเฉลี่ยความเร็วในการอัปโหลดเท่ากับ 21.32 เมกะบิตต่อวินาที ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานความเร็วในการดาวน์โหลดและอัปโหลดข้อมูลของอินเทอร์ที่ใช้งานผ่านโครงข่าย 5G

โครงข่าย	**ความเร็วในการดาวน์โหลด (Mbps)**			**ความเร็วในการอัปโหลด (Mbps)**		
	N	Mean	S.D.	N	Mean	S.D.
Oper1	66	232.70	134.88	66	27.37	18.28
Oper2	66	85.29	100.85	66	15.27	16.49
Average	132	159.00	139.81	132	21.32	18.37

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์สมมติฐาน

สมมติฐาน	ค่า t	ค่า p-value	หมายเหตุ
Ha_0: $DL_{Oper1} = DL_{Oper2}$	7.11	<0.001	มีนัยสำคัญ
Ha_1: $DL_{Oper1} \neq DL_{Oper2}$			
Hb_0: $UL_{Oper1} = UL_{Oper2}$	3.99	<0.001	มีนัยสำคัญ
Hb_1: $UL_{Oper1} \neq UL_{Oper2}$			

หมายเหตุ : มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05
DL คือ ความเร็วในการดาวน์โหลด
UL คือ ความเร็วในการอัปโหลด

จากผลการทดสอบความเร็วของอินเทอร์เน็ตที่ใช้งานผ่านโครงข่าย 5G อภิปรายผลได้ดังนี้

1) ค่าเฉลี่ยความเร็วในการดาวน์โหลดจาก Oper1 และ Oper2 ได้ค่าเฉลี่ย 159 เมกะบิตต่อวินาที (จากตารางที่ 2) เมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาประสิทธิภาพของโครงข่าย 5G ภาคสนามบริเวณสถานีรถไฟฟ้าบีทีเอส สายสุขุมวิท (คูคต จังหวัดปทุมธานี – เคหะฯ สมุทรปราการ จังหวัดสมุทรปราการ) และสายสีลม (สนามกีฬาแห่งชาติ – บางหว้า) ที่เคยศึกษาโดยเทอดพงษ์ แดงสี (2022) ซึ่งมีค่าเฉลี่ย 240.3 เมกะบิตต่อวินาที [10] ถือว่าแหล่งท่องเที่ยวสำคัญ เขตอำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรีค่าเฉลี่ยความเร็วในการดาวน์โหลดน้อยกว่าในกรุงเทพมหานคร

2) ค่าเฉลี่ยความเร็วในการอัปโหลดจาก Oper1 และ Oper2 ได้ค่าเฉลี่ย 21.32 เมกะบิตต่อวินาที (จากตารางที่ 2) เมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาประสิทธิภาพของโครงข่าย 5G ภาคสนามบริเวณสถานีรถไฟฟ้าบีทีเอส สายสุขุมวิท (คูคต จังหวัดปทุมธานี – เคหะฯ สมุทรปราการ จังหวัดสมุทรปราการ) และสายสีลม (สนามกีฬาแห่งชาติ – บางหว้า) ที่เคยศึกษาโดยเทอดพงษ์ แดงสี (2022) ซึ่งมีค่าเฉลี่ย 87.3 เมกะบิตต่อวินาที [10] ถือว่าแหล่งท่องเที่ยวสำคัญ เขตอำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรีค่าเฉลี่ยความเร็วในการอัปโหลดน้อยกว่าในกรุงเทพมหานคร

3) ทั้งความเร็วในการดาวน์โหลดและอัปโหลดของ Oper1 และ Oper2 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า p-value น้อยกว่า 0.001 (จากตารางที่ 3)

5. สรุป

จากการศึกษาเปรียบเทียบความเร็วของอินเทอร์เน็ตที่ใช้งานผ่านโครงข่าย 5G แหล่งท่องเที่ยวที่สำคัญ เขตอำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี โดยมีค่าเฉลี่ยความเร็วในการดาวน์โหลดเท่ากับ 159 เมกะบิตต่อวินาที และค่าเฉลี่ยความเร็วในการอัปโหลดเท่ากับ 21.32 เมกะบิตต่อวินาที นอกจากนี้ เมื่อทำการวิเคราะห์เชิงสถิติพบว่า ความเร็วในการดาวน์โหลดและอัปโหลดผ่านโครงข่าย 5G ของผู้ให้บริการรายที่ 1 และรายที่ 2 มีความเร็วอินเทอร์เน็ตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

6. ข้อเสนอแนะ

6.1 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาครั้งต่อไป

1) การนำเสนอข้อมูลความเร็วในการดาวน์โหลด และอัปโหลดเป็นข้อมูลที่ได้จากการทดสอบภาคสนาม ซึ่งจะมีปัจจัยสำคัญของความเร็วของผู้ให้บริการจะขึ้นอยู่กับจำนวนผู้ใช้บริการของโครงข่ายนั้น ๆ ในแต่ละพื้นที่ทดสอบ เพื่อให้การวิจัยมีความสมบูรณ์ครบถ้วนควรเพิ่มข้อมูลจำนวนผู้ใช้บริการที่อยู่ในพื้นที่ในขณะนั้นในอนาคต

2) การทดสอบควรแบ่งหลายช่วงเวลาในวันปกติ และวันหยุดเพื่อให้เห็นปัจจัยที่เป็นองค์ประกอบได้อย่างครอบคลุม

3) งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงประยุกต์ที่สามารถนำไปเป็นข้อมูลส่งเสริมการพัฒนาโครงการพื้นฐานการให้บริการในพื้นที่การท่องเที่ยวได้เป็นอย่างดี ทั้งนี้ควรมีการนำเสนอแนวทางนำข้อมูลดังกล่าวไปขับเคลื่อนต่อให้เกิดการพัฒนาปรับปรุงในแต่ละพื้นที่

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักวิชาการ และจัดการทรัพยากรโทรคมนาคม. (2564). รายงานการรวมธุรกิจ และสภาพตลาดโทรคมนาคม ไตรมาส ที่3 ปี2564. https://www.nbtc.go.th/Business/commu/telecom/informatiton/research/รายงานสภาพตลาดโทรคมนาคม

[2] ปวีร์ ศิริชัย และชุติพงศ์ กี่สุขพันธ์. (2019). การลงทุนในเทคโนโลยี 3G และ 4G กับผลทางเศรษฐกิจ. FOCUSED AND QUICK (FAQ), (139), 1-13.

[3] สำนักงานพัฒนาธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ (สพธอ.). (2565). ผลการสำรวจพฤติกรรมมผู้ใช้งานอินเทอร์เน็ตในประเทศไทย ปี2565. http://phetchaburi.most.go.th/dowload/NOV2022.pdf

[4] ดุษฎีวัฒน์ แก้วอินทร์ และคณะ. (2019). ความพึงพอใจในการใช้บริการเครือข่าย 4G ของผู้ใช้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ใน จังหวัดขอนแก่น. ขอนแก่น: วิทยาลัยมหานครขอนแก่น.

[5] กองเศรษฐกิจการท่องเที่ยว และกีฬา กระทรวงการท่องเที่ยว และกีฬา. สถานการณ์การท่องเที่ยวของจังหวัดเพชรบุรี ประจำเดือนพฤศจิกายน ปี 2565. สำนักงานการท่องเที่ยง และกีฬาจังหวัดเพชรบุรี. https://phetchaburi.mots.go.th/download/NOV2022.pdf

[6] เทอดพงษ์ แดงสี และพิสิฐ พรพงศ์เตชวาณิช. (2562). 5G: เทคโนโลยีการสื่อสารแห่งทศทรรษหน้า. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, 15(2), 162-180.

[7] ศิรวิชญ์ กิตติวิชญกุล และคณะ. (2563). เทคโนโลยีการสื่อสารยุค 5G (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: กองทุนวิจัย และพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมเพื่อประโยชน์สาธารณะ

[8] Arunruangsirilert, K., Wei, B., Song, H., Katto, J. (2022). Performance Evaluation of Low-Latency Live Streaming of MPEG-DASH UHD video over Commercial 5G NSA/SA Network. Proc. ICCCN 2022.

[9] วชิราภรณ พัดเกิด และคณะ. (2021). ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้บริการสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่เครือข่าย 5G. วารสารรัชต์ภาคย์, 15(43), 363-375.

[10] Rakuten Mobile. (2021). Rakuten Mobile Successfully Verifies Data Transfer on 5G Standalone Mobile Network. https://corp.mobile.rakuten.co.jp/english/news/press/2021/0712_01/

[11] Daengsi, T., Ungkap, P., & Wuttidittachotti, P. (2021). 5G Network Performance: A Study using Stationary and Mobility Tests on Sukhumvit Line – BTS Skytrain in Bangkok. Proc. IC2IE 2021. pp. 447-450.

[12] เทอดพงษ์ แดงสี, พนา อังกาบ และ พงษ์พิสิฐ วุฒิดิฐโชติ. (2022). คุณภาพของบริการของโครงข่าย 5G: กรณีศึกษา พื้นที่สถานีรถไฟฟ้าบีทีเอสวารสารวิชาการ กสทช. (In Progress) https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/2210/2210.04012.pdf

[13] Okano, M., Hasegawa, Y., Kanai, K., Wei, B., & Katton, J. (2020). Field Experiments of 28 GHz Band 5G System at Indoor Train Station Platform. Proc. CCNC 2020, Jan, pp. 1-6.

[14] พัชรินทร์ พลายแก้ว และนุชจรี นามเที่ยง. (2555). ประเด็นยุทธศาสตร์จังหวัดที่ 2: เมืองน่าอยู่. สำนักงานการท่องเที่ยว และกีฬาจังหวัดเพชรบุรี, 153-165.

[15] สำนักงานการท่องเที่ยว และกีฬาจังหวัดเพชรบุรี. (2561). สถานที่ท่องเที่ยวแนะนำ. https://phetchaburi.mots.go.th/more_news.php?cid=7



จุฑารัตน์ อินทรีย์นันทน์
กำลังศึกษาระดับปริญญาโท สาขาการบริหารเครือข่ายและความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
หัวข้อวิจัยที่สนใจ ได้แก่ 4G/5G



พงษ์พิสิฐ วุฒิดิษฐโชติ
จบการศึกษาระดับปริญญาเอก สาขา Networks, Telecommunications, Systems and Architectures จาก INPT-ENSEEIHT สาธารณรัฐฝรั่งเศส
ปัจจุบันเป็นหัวหน้าภาควิชาการบริหารเครือข่ายดิจิทัลและความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
หัวข้อวิจัยที่สนใจ ได้แก่ Cybersecurity, Risk Management, IT governance, QoS/QoE, VoIP และ 4G/5G/B5G



เทอดพงษ์ แดงสี
จบการศึกษาระดับปริญญาเอก สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ (นานาชาติ) มจพ. มีประสบการณ์การทำงานเกี่ยวกับระบบสื่อสารในภาคเอกชน 19 ปี
ปัจจุบันเป็นผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประจำคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
หัวข้อวิจัยที่สนใจ ได้แก่ QoS/QoE, VoIP, 4G/5G, Multimedia Communications และ Cybersecurity

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7 th RMUTP Conference on Engineering and Technology

การศึกษาชุดคำสั่งสำหรับค้นหาแฮชแท็กแรกในทวิตเตอร์

A Study of Coding for Finding the First Hashtag in Twitter

สิริพงศ์ วรประชา (Siripong Worapracha)[1*] พงษ์พิสิฐ วุฒิดิษฐโชติ (Pongpisit Wuttidittachotti)[2]

ภาควิชาการบริหารเครือข่ายดิจิทัลและความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศ

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรมดิจิทัล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 10800

S6107031810025@email.kmutnb.ac.th, pongpisit.w@itd.kmutnb.ac.th

บทคัดย่อ

ในบทความนี้ เสนอการศึกษาชุดคำสั่งสำหรับค้นหาแฮชแท็กแรกในทวิตเตอร์ โดยจะออกแบบชุดคำสั่งสำหรับสร้างเว็บแอพพลิเคชั่นที่สามารถค้นหาลำดับของแฮชแท็กล่าสุด โดยเรียงลำดับตามจำนวนของแฮชแท็กที่มากที่สุด ณ เวลาขณะนั้น ซึ่งแตกต่างกับแอพพลิเคชั่นของทวิตเตอร์ที่ถูกจัดลำดับโดยไม่ได้มีการเรียงลำดับของจำนวนแฮชแท็ก จากการศึกษาพบว่าบนเว็บแอพพลิเคชั่นสามารถดูการรีทวิตบนแพลตฟอร์มทวิตเตอร์ โดยเรียงลำดับตามช่วงเวลาปัจจุบัน หรือ ดูข้อมูลย้อนหลังได้โดยง่ายเพื่อหาแฮชแท็กแรกในการตั้งขึ้นมาและสามารถแสดงบัญชีผู้ใช้งาน ที่สร้างแฮชแท็ก ที่เกิดขึ้นบนแพลตฟอร์มทวิตเตอร์ นอกจากนี้ในการแสดงบัญชีใช้งานที่สร้างแฮชแท็กนั้นยังสามารถแสดงผลการยืนยันตัวตน (Verified Account) ของบัญชีนั้นๆ ได้อีกด้วยโดยการตรวจสอบของแพลตฟอร์มทวิตเตอร์เองงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในหลายด้าน ทั้งในด้านของ ธุรกิจ เทรนด์แฟชั่น สุขภาพ อาหาร เศรษฐกิจ การเมือง เพื่อเป็นการคาดคะเนความต้องการของผู้บริโภค ซึ่งจะทำให้ทราบถึงแนวโน้มความต้องการของผู้บริโภคกลุ่มดังกล่าว ว่ามีความสนใจมุ่งไปในทิศทางไหน นอกจากนี้ผู้ใช้งานที่เป็นกลุ่มผู้ให้บริการสามารถใช้ประโยชน์เพื่อการเตรียมสินค้าหรือการบริการให้ตรงกับความต้องการและเพียงพอต่อผู้บริโภค และเพื่อเป็นแนวทางในการวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดจากการตั้งแฮชแท็ก และแนวโน้มที่จะเกิดขึ้นในอนาคต เช่น แนวโน้มด้านเศรษฐกิจ หรือการเมือง

คำสำคัญ: แฮชแท็ก, แพลตฟอร์มทวิตเตอร์, รีทวิต

Abstract

The objective of the study was to study the algorithm to find the first hashtag on Twitter as well as to design a set of commands for creating web applications that can find the sequence of the latest hashtags. The result that shows on the web application will be sorted by the highest number of hashtags at the moment. The result on the web application is different from Twitter which on Twitter will be shown with no ranking or order of the number of hashtags. The study found that web applications can show retweets on the Twitter platform by sorting current periods or showing history easily to find the first hashtag to set up and can show user accounts who generate or create hashtags on the Twitter platform. In addition, to show the account that creates the hashtag can also show the identity verification of that account. User can also by checking the Twitter platform itself. The study can be used in many aspects both in terms of business, fashion trends, health, food, economy, politics in order to predict consumer needs and users can know the trend of demand of such consumers that they are interested in in any direction. In addition, users who are service providers can take advantage to prepare products or services to meet the needs and be sufficient for consumers and as a guideline for analyzing the problems caused by the hashtag setting and trends that will occur in the future, such as economic or political trends.

Keyword: Hashtags, Twitter platform, Retweets

1. บทนำ

ในช่วงเปลี่ยนผ่านสหัสวรรษ มนุษย์ได้ศึกษาและสร้างระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ที่สุดของโลก เพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถเชื่อมต่อและมีปฏิสัมพันธ์ เรียกว่า อินเตอร์เน็ต (Internet) รวมถึงศึกษาและสร้างเครื่องมือที่ทำให้มนุษย์สามารถติดต่อสื่อสารผ่านเทคโนโลยีเครือข่ายที่เปลี่ยนวิธีที่ผู้คนติดต่อสื่อสารกัน จากการเขียนจดหมายหรือการส่งโทรเลข เป็น

การติดต่อสื่อสารแบบไร้สาย พร้อมทั้งมีการพัฒนาประสิทธิภาพและเครื่องมือในการติดต่อสื่อสารมาอย่างต่อเนื่อง

ปัจจุบันโลกมีวิวัฒนาการไปอย่างรวดเร็วในทุกด้าน รวมถึงด้านเครือข่ายสังคมออนไลน์ หรือการสื่อสารทางออนไลน์ผ่านแพลตฟอร์มต่างๆ ทั้ง Blog, Hi5, MSN, Facebook, Line, YouTube, Instagram และ Twitter เป็นต้น แพลตฟอร์มต่างๆ เหล่านี้ กลายเป็นแพลตฟอร์มหรือพื้นที่ที่มีคนจำนวนมากเข้ามาพูดคุยกัน มีการเชื่อมโยงคนหลายคนจนเกิดเป็นเครือข่ายขึ้น สามารถรู้จักเพื่อนของเพื่อน และสร้างเครือข่ายใหม่ๆ ทำให้เกิดสังคมเสมือนจริง หรือที่เรียกว่า สังคมเครือข่าย (Social Media) นอกจากนี้ผู้คนบนเครือข่ายสังคมออนไลน์ยังสามารถโพสข้อความลงบนแพลตฟอร์มต่างๆ ทำให้ทุกคนในเครือข่ายรับรู้ ติดตาม และตอบสนองข้อความนั้นๆ จากสิ่งที่ถูกโพส เช่น การกดถูกใจ แสดงความคิดเห็น หรือสามารถแชร์ข้อความซ้ำๆ มีการเปิดหน้า แต่ละคนมีโลกของตัวเอง มุมของตัว ทำให้การปฏิสัมพันธ์แบบเดิมถูกเปลี่ยนไปอย่างสิ้นเชิง มีการถ่ายทอดความรู้สึก ความคิด ผ่านรูปภาพและตัวหนังสือ ทำให้ผู้อ่านหรือผู้ติดตามมีการจินตนาการข้อความหรือรูปภาพนั้นแตกต่างกันออกไป โดยข้อความหรือรูปภาพนั้นนับได้ว่าเป็นข่าวสารประเภทหนึ่ง ซึ่งมีการแพร่กระจายอย่างรวดเร็ว และการแพร่กระจายนี้ให้ทั้งผลดีและผลเสีย รวมถึงเป็นเรื่องยากที่จะควบคุมได้ หากการแชร์ไม่ได้มีการพิจารณาหรือไตร่ตรองเนื้อหาแล้วนั้น อาจจะทำให้เกิดความสับสนไปจนถึงสร้างความเสียหายให้กับคนหรือองค์กร ฯลฯ ได้ ในขณะเดียวกันรูปภาพหรือข้อความต่างๆ ที่มีการแชร์ สามารถแสดงให้เห็นถึงสิ่งที่ผู้คนบนโลกออนไลน์กำลังให้ความสนใจในขณะนั้น และยังสามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อพยากรณ์สิ่งที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ทั้งด้านของธุรกิจ เทรนด์แฟชั่น เทรนด์สุขภาพ อาหาร เศรษฐกิจ การเมือง หรือแม้แต่ด้านการข่าวที่เกี่ยวข้องกับความมั่นคงปลอดภัยของประเทศ

แพลตฟอร์มออนไลน์ในปัจจุบันมีหลากหลาย หนึ่งในนั้นคือแพลตฟอร์มที่เรียกว่า ทวิตเตอร์ (Twitter) ซึ่งเป็นแพลตฟอร์มที่ให้บริการกับผู้ใช้ที่ต้องการส่งต่อข่าวสารกันแบบเรียลไทม์ เป็นข้อความสั้นๆ ที่มีความยาวไม่เกิน 280 ตัวอักษร โดยผู้ใช้ทวิตเตอร์จะทวิตข้อความหากันในทุกๆ วินาที และพูดคุยกันในเรื่องที่สนใจในแต่ละช่วงเวลานั้น ผ่านเครื่องหมายสี่เหลี่ยม (#) หรือที่เรียกว่า การแฮชแท็ก (Hashtag) ซึ่งจะเป็นสิ่งที่รวบรวมกลุ่มคนที่พูดถึงเรื่องเดียวกัน แลกเปลี่ยนความคิดกัน หรือติดตามเรื่องที่สนใจในตอนนั้น ก็สามารถรับรู้ได้จากการแฮชแท็กที่กำลังติดเทรนด์ทวิตเตอร์ได้ และยังสามารถรีทวิต (Retweets) ข้อความที่สนใจ จนข้อความนั้นๆ กลายเป็นกระแสได้อย่างรวดเร็ว และการรีทวิตยังเป็นการแชร์ข้อความหรือข่าวสารแบบรวดเร็วและกว้างขวาง ในขณะเดียวกันข้อความหรือข่าวสารที่ถูกรีทวิตหรือมีการเผยแพร่ไม่อย่างรวดเร็วนี้ ถ้าเป็นข้อความหรือข่าวสารที่ไม่เป็นจริง หากไม่ได้มีการตรวจสอบอาจจะทำให้ผู้คนจำนวนมากได้รับข้อความหรือข่าวสารที่ผิดพลาด หรือที่เรียกว่า ข่าวปลอม (Fake News)

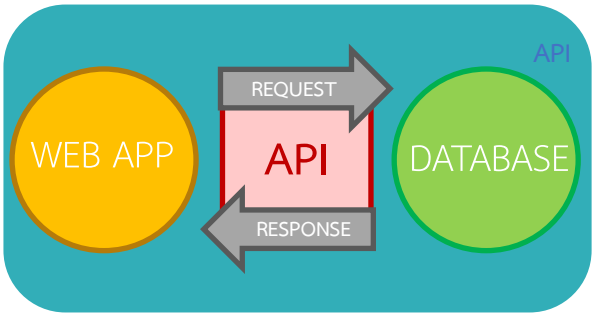
ข่าวปลอม (Fake news) เป็นหนึ่งในปัญหาสำคัญของการสื่อสารของสังคมเครือข่ายออนไลน์ในยุคปัจจุบัน ปัญหาที่เกิดขึ้นคือการแพร่กระจายข่าวสารที่เป็นข้อมูลเท็จ (Disinformation) ซึ่งหมายถึงข้อมูลที่ไม่มีจริงหรือจริงเพียงบางส่วน ด้วยวัตถุประสงค์ที่ต้องการบิดเบือนข้อมูลเพื่อแสวงหาประโยชน์ทางธุรกิจหรือประโยชน์อื่นๆ ตามที่ต้องการ กรณีตัวอย่างคือการเปิดเผยหรือเผยแพร่ข้อมูลว่าผู้ผลิตข่าวลวงหรือข่าวปลอมซึ่งโฟกัสไปที่การเผยแพร่บนแพลตฟอร์มออนไลน์ประเภทหนึ่ง มีรายได้จาก AdSense สูงถึงเดือนละ 10,000 เหรียญสหรัฐ ด้วยเหตุนี้จึงแสดงให้เห็นว่ามีข่าวปลอมที่เกิดขึ้นจากสังคมเครือข่ายออนไลน์เป็นจำนวนมาก จากปัญหาและความเสียหายที่เกิดขึ้นจากข่าวปลอมก็ทำให้บางประเทศตระหนักถึงปัญหาที่เกิดขึ้น จนมีการออกกฎหมายบังคับ ยกตัวอย่าง ประเทศสิงคโปร์ได้มีการออกกฎหมายสั่งการให้บริษัทเทคโนโลยี เช่น เฟสบุ๊ค และกูเกิล ทำการบล็อกบัญชีผู้ใช้หรือเว็บไซต์ที่เผยแพร่ข้อมูลข่าวสารปลอมขณะเดียวกัน ทางการยังจะดำเนินคดีต่อผู้ที่ฝ่าฝืนกฎหมายต่อต้านข่าวปลอม ด้วยการสั่งปรับเงิน 50,000 ดอลลาร์สิงคโปร์ หรือราว 1.7 ล้านบาท และจำคุก 5 ปี นอกจากนี้ หากมีการโพสต์ข่าวปลอมโดยใช้บัญชีออนไลน์ที่ไม่น่าเชื่อถือ จะต้องถูกปรับเงินเพิ่มเป็น 100,000 ดอลลาร์สิงคโปร์ หรือราว 3.4 ล้านบาท และจำคุก 10 ปี ส่วนบริษัทที่ถูกพบว่า ทำผิดจากการเผยแพร่ข่าวปลอม จะต้องถูกปรับเงิน 1 ล้านดอลลาร์สิงคโปร์ หรือกว่า 22 ล้านบาท ซึ่งประเทศสิงคโปร์ เป็นประเทศล่าสุดที่บังคับใช้กฎหมายต่อต้านข่าวปลอม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหยุดการเผยแพร่เนื้อหาปลอมและมีความรุนแรงบนโลกออนไลน์

ดังนั้นผู้ทำการวิจัยจึงได้เล็งเห็นปัญหาที่เกิดขึ้นดังกล่าว และทำการศึกษาวิธีการในการค้นหาบุคคลหรือบัญชีผู้ใช้ที่ได้ทำการแฮชแท็กหรือการรีทวิตเป็นบุคคลแรก เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์หรือการดำเนินการอื่นๆ ในขั้นถัดไป รวมทั้งสามารถ

ทราบลำดับของการแฮชแท็กหรือการรีทวิตจากผู้ใช้ทั้งหมดบนแฟลตฟอร์มทวิตเตอร์เพื่อจะได้ทราบเทรนด์หรือกระแสในขณะนั้น

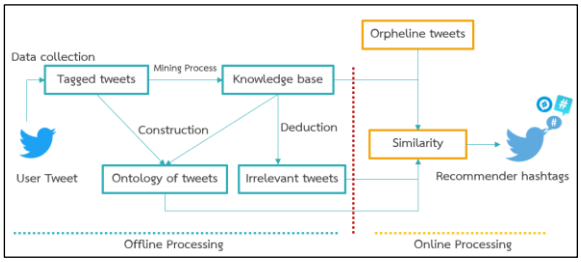
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์ หรือ Application Program Interface (API) เป็นส่วนที่ช่วยให้ส่วนประกอบของซอฟแวร์สองส่วนสามารถสื่อสารกันได้ หรือเป็นตัวกลางในการรับคำสั่งจากชุดคำสั่ง (Code) ที่เขียนหรือออกแบบเพื่อประมวลผล ทำให้ซอฟแวร์สามารถเข้าถึงและอัพเดตข้อมูลได้ แต่ยังอยู่ในขอบเขตที่กำหนดไว้และส่งข้อมูลกลับไปยังอีกซอฟแวร์โดยอัตโนมัติ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 : การทำงานของส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์ (API)

การประมวลผลแบบออฟไลน์ (Offline Processing) เป็นการประมวลผลที่มีการทำงานในลักษณะการเตรียมการ เพื่อให้การประมวลผลสามารถดำเนินการได้ โดยใช้อุปกรณ์อินพุต และเอาต์พุต ทำการบันทึกโปรแกรมคำสั่งและข้อมูลลงบนอุปกรณ์จัดเก็บข้อมูลลงบนอุปกรณ์จัดเก็บข้อมูลและนำข้อมูลนั้นส่งเข้าสู่การประมวลผล ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยแบ่งออกเป็น 3 ขั้น ดังนี้ ขั้นที่ 1 การรวบรวมข้อมูล ขั้นตอนนี้จะเป็นการสร้างคลังข้อมูลของการเผยแพร่ทวิต จาก Twitter Java API คือการดึงทวิตบน JSON และวิเคราะห์เพื่อแยกแฮชแท็กสำหรับแต่ละทวิต ทวิตจะถูกเก็บไว้ตามเวลาที่เผยแพร่



รูปที่ 2 : การประมวลผลแบบออฟไลน์ (Offline Processing)

ขั้นที่ 2 กระบวนการ Process Mining หรือกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการที่ใช้ในการบันทึกเหตุการณ์ (Event Log) ทำให้สามารถมองเห็น Workflow ของธุรกิจหรือสิ่งที่สนใจได้ชัดเจนและมีประสิทธิภาพ ขั้นที่ 3 Ontology construction เป็นการแสดงผลด้วยชุดของคำหลักที่แตกต่างเพื่อตั้งค่าของแฮชแท็ก กระบวนการนี้จะพิจารณาคำหลักของการทวิต

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

การวิจัยครั้งนี้จะทำการจำลองการค้นหาแฮชแท็กแรกหรือการรีทวิตขึ้นเป็นครั้งแรก ซึ่งจะทำการสร้างแม่ข่าย (Server) ไว้เพื่อดึงข้อมูลจาก API มาแสดงผลออกมาในรูปแบบของเว็บไซต์ และผู้วิจัยได้ออกแบบให้ดึงแฮชแท็กล่าสุดที่มีจำนวนการรีทวิตมากที่สุด 10 อันดับของปัจจุบัน ณ ขณะนั้น แล้วสามารถเข้าไปหาแฮชแท็กที่รีทวิตย้อนหลังได้ โดยแบ่งการพัฒนาออกเป็น 4 ขั้นตอนหลัก คือ

3.1 การวิเคราะห์ปัญหาและความต้องการของระบบ

จากการเข้าใช้งานทวิตเตอร์ มีหลายๆ การรีทวิตและการแฮชแท็กที่เป็นกระแสในห้วงเวลานั้นๆ และเกิดความสงสัยเกี่ยวกับแหล่งที่มาของการรีทวิตและการแฮชแท็กว่า ใครเป็นผู้ทำการรีทวิตหรือเป็นผู้ตั้งแฮชแท็ก และการดำเนินกิจกรรมนั้นๆ ดำเนินขึ้นเมื่อไหร่ รวมถึง ผู้ที่ดำเนินกิจกรรมคือใคร และทำด้วยเหตุผลอะไรหรือมีเจตนามุ่งไปในทางใด โดยจากข้อสงสัยต่างๆ เหล่านี้ จึงได้มีการวิเคราะห์ถึงความต้องการ เช่น ต้องการรู้แอคเคาท์ของผู้ตั้งแฮชแท็ก หรือแอคเคาท์ที่ตั้งแฮชแท็กนั้นเป็นแอคเคาท์ที่มีการยืนยันตัวตน (Verified Account) หรือไม่ เชื่อถือได้มากน้อยแค่ไหน

3.2 การออกแบบระบบ

ทำการออกแบบระบบให้อยู่ในรูปแบบของหน้าเว็บไซต์เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน โดยจะประกอบไปด้วย

3.2.1 หน้าหลัก (Home) เป็นหน้าที่ใช้เพื่อค้นหาการรีทวิตและแฮชแท็ก มีการแสดงการรีทวิตและการแฮชแท็กล่าสุด 10 อันดับ ณ ขณะนั้น

3.2.2 หน้าค้นหา (Search) ในคำสั่งค้นหานี้ได้มีการออกแบบให้สามารถย้อนกลับไปยังหน้าหลักได้และยังสามารถค้นหารีทวิตหรือแฮชแท็กอื่นๆ ต่อได้เลย โดยหน้านี้จะแสดงผลลัพธ์จากการค้นหาและสามารถเลือกเก่าสุดคือย้อนหลังได้ 7 วัน โดยผลลัพธ์ที่ใหม่ล่าสุดที่แสดงบนหน้าหลัก คือ วันปัจจุบันซึ่งสามารถย้อนกลับไปได้ 100 ผลการค้นหาล่าสุดจากการรีทวิตหรือการแฮชแท็ก และสามารถเลือกให้แสดงผลย้อนหลังได้เป็นเวลา 7 วัน นับรวมกับวันล่าสุด ซึ่งสามารถดูได้ 100 โพสต่อวัน

3.2.3 คำสั่งเชื่อมโยงหรือลิงค์ไปยังรีทวิตหรือแฮชแท็กนั้นๆ เพื่อดูข้อความต้นฉบับ โดยสามารถคลิกผลลัพธ์จากหน้า Search แล้วเข้าไปยังเว็บไซต์ทวิตเตอร์โดยตรงได้

ทั้งนี้ในการออกแบบระบบ ยังได้มีการออกแบบเพื่อสร้างเว็บเซิฟเวอร์เพื่อให้รองรับการดึงข้อมูลจาก API ของทวิตเตอร์ โดยการใช้ Node JS ซึ่งเขียนขึ้นด้วย JavaScript เพื่อใช้ในการดึงข้อมูลจาก API และนำออกมาวิเคราะห์ แสดงผลผ่านหน้าเว็บไซต์ที่ทำการออกแบบไว้

3.3 การพัฒนาและทดสอบระบบ

เมื่อออกแบบการทำงานของระบบเสร็จเรียบร้อย จึงเริ่มทำการพัฒนาเว็บไซต์ และนำ API ของทวิตเตอร์มาใช้งานภายในเว็บเซิฟเวอร์ และทำการทดสอบระบบที่พัฒนาขึ้น จากผู้ใช้งานที่ใช้ทวิตเตอร์ เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของระบบที่พัฒนาขึ้น โดยทำการทดสอบระบบเพื่อหาข้อผิดพลาดในการใช้งาน และนำมาปรับปรุงแก้ไขให้ตรงกับความต้องการใช้งานจริง

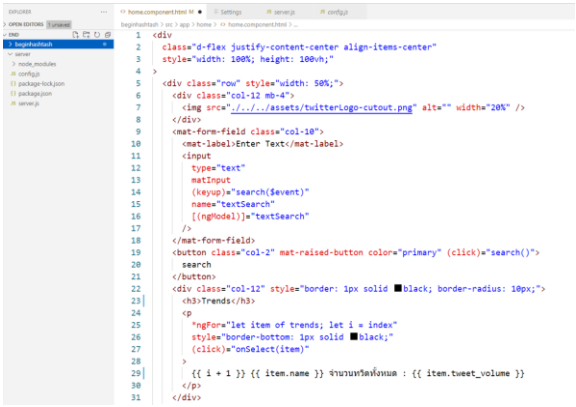
3.4 การจัดทำเอกสาร

ในขั้นตอนนี้จะเริ่มตั้งแต่การเก็บรวบรวมข้อมูล ขั้นตอนการทำงาน รายละเอียดและวิธีต่างๆที่นำมาใช้ในการพัฒนาระบบตามลำดับและขั้นตอนวิธีการทำงาน จากนั้นนำมาสรุปผลเพื่อทำรูปเล่มเอกสารให้เสร็จเรียบร้อยสมบูรณ์

4. ผลการดำเนินงาน

จากการศึกษาชุดคำสั่งสำหรับค้นหาแฮชแท็กแรกในทวิตเตอร์ตามขั้นตอนการพัฒนา โดยมีรายละเอียดดังนี้

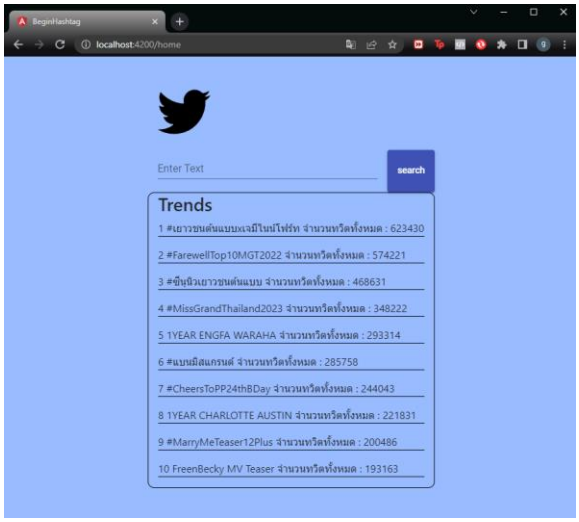
4.1 ได้ชุดคำสั่งสำหรับการสร้างเว็บแอพพลิเคชั่น ดังแสดงในรูปที่ 3



```
<div
  class="d-flex justify-content-center align-items-center"
  style="width: 100%; height: 100vh;"
>
  <div class="row" style="width: 50%;">
    <div class="col-12 mb-4">
      <img src="../../../assets/twitterLogo-cutout.png" alt="" width="20%" />
    </div>
    <mat-form-field class="col-10">
      <mat-label>Enter Text</mat-label>
      <input
        type="text"
        matInput
        (keyup)="search($event)"
        name="textSearch"
        [(ngModel)]="textSearch"
      />
    </mat-form-field>
    <button class="col-2" mat-raised-button color="primary" (click)="search()">
      search
    </button>
    <div class="col-12" style="border: 1px solid ■black; border-radius: 10px;">
      <h3>Trends</h3>
      <p
        *ngFor="let item of trends; let i = index"
        style="border-bottom: 1px solid ■black;"
        (click)="onSelect(item)"
      >
        {{ i + 1 }} {{ item.name }} จำนวนทวิตทั้งหมด : {{ item.tweet_volume }}
      </p>
    </div>
```

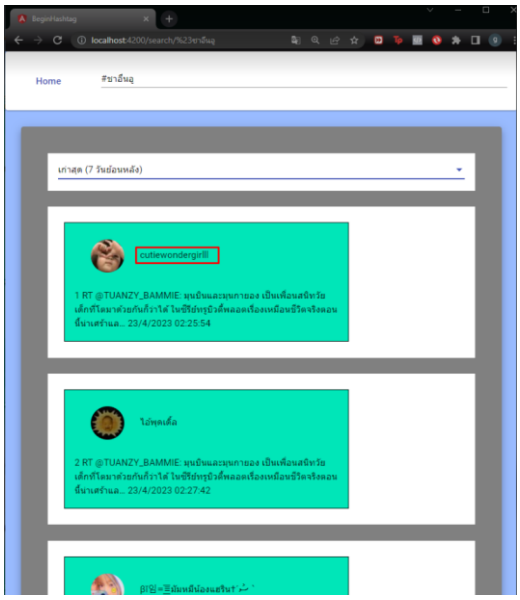
รูปที่ 3 : ชุดคำสั่งสำหรับการสร้างเว็บแอพพลิเคชั่น

4.2 สามารถใช้เว็บแอพพลิเคชั่นในการวิเคราะห์เพื่อค้นหาบัญชีผู้ใช้ที่สร้างแฮชแท็ก ดังแสดงในรูปที่ 4



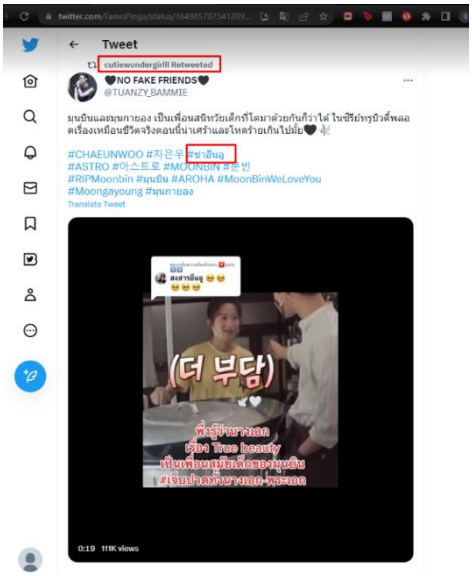
รูปที่ 4 : หน้าหลัก (Home) ของเว็บแอพพลิเคชั่น

4.3 สามารถใช้เว็บแอพพลิเคชั่นในการวิเคราะห์เพื่อค้นหาบัญชีผู้ใช้ที่ทำการรีทวิต เช่น ค้นหาแฮชแท็ก #ชาอึนอู ดังแสดงในรูปที่ 5



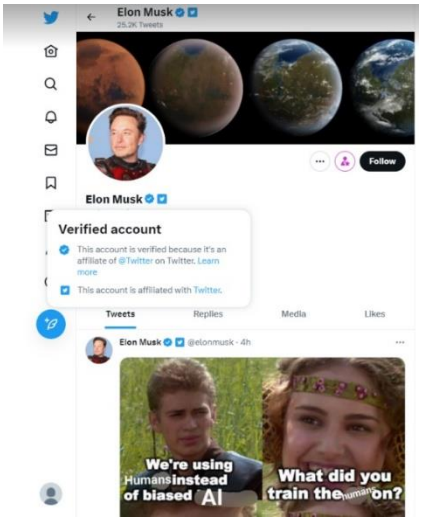
รูปที่ 5 : หน้าค้นหา (Search) แสดงผลการค้นหาบัญชีผู้ใช้ที่ทำการรีทวิต

4.4 จะเห็นได้ว่า User ชื่อ Cutiewondergrilll ได้ทำการรีทวิตคนแรกใน 7 วันย้อนหลัง และยังสามารถคลิกเข้าไปยังหน้าเว็บไซต์ทวิตเตอร์ที่ทำการรีทวิตได้โดยตรง ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 : หน้าเว็บไซต์ทวิตเตอร์ ที่มีการรีทวิตโดย User ชื่อ Cutiewondergrilll และ แฮชแท็ก #ชาอึนอู

4.5 สามารถใช้เว็บแอพพลิเคชั่นเพื่อตรวจสอบว่าบัญชีผู้ใช้ที่สร้างแฮชแท็ก หรือรีทวิตนั้นมีการยืนยันตัวตนสำหรับบัญชีผู้ใช้นั้นๆ (Verified Account) หรือไม่ ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 : เว็บแอพพลิเคชั่นที่แสดงผลการตรวจสอบว่าบัญชีผู้ใช้ที่สร้างแฮชแท็ก และรีทวิตนั้นมีการยืนยันตัวตนสำหรับบัญชีผู้ใช้นั้นๆ (Verified Account)

5. สรุป

จากการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้พบว่า ได้ชุดคำสั่งที่สามารถนำมาสร้างเว็บแอพพลิเคชั่นได้ โดยบนเว็บแอพพลิเคชั่นจะสามารถแสดงลำดับของแฮชแท็กล่าสุด และมีการรีทวิตมากที่สุดได้ถึง 100 ลำดับ โดยเรียงจากมากไปน้อย นอกจากนี้ยังสามารถแสดงบัญชีผู้ใช้ที่สร้างแฮชแท็กนั้นๆ หรือรีทวิตได้ และยังสามารถดูข้อมูลย้อนหลังได้ 7 วัน ซึ่งถ้าแฮชแท็กนั้นถูกสร้างภายใน 7 วัน จะสามารถทราบได้ทันทีว่าบัญชีใดเป็นคนเริ่มต้นสร้างแฮชแท็กนี้ขึ้นมา เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับแพลตฟอร์มทวิตเตอร์แล้วนั้นข้อมูลถูกต้องตรงกันซึ่งการดำเนินการวิจัยตามกรอบการดำเนินงานดังกล่าวเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยที่ได้ตั้งไว้ในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] รติกร สูงสมสกุลม, ณัฐชา วัฒนประภา, “การศึกษาพฤกรรมการใช้สื่อสังคมออนไลน์บนทวิตเตอร์เชิงลบ” การประชุมวิชาการนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติของนักศึกษาด้านมนุษย์ศาสตร์และสังคมศาสตร์ ครั้งที่ 2, 2562

[2] กนิษฐา ไชยแสง, ขจร ฝ้ายเทศ, “การใช้ทวิตเตอร์ของผู้สื่อข่าวโทรทัศน์ในการนำเสนอข้อมูลข่าวสาร” การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 51: สาขาศึกษาศาสตร์, สาขาเศรษฐศาสตร์และบริหารธุรกิจ, สาขามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์, 2556

[3] Asma Belhadi, Youcef Djenoure, Jerry Chun-Wei Lin, Alberto Cano, “A Data-Driven Approach for Twitter Hashtag Recommendation”, Special Section on Utility Pattern Mining: Theoretical Analytics and Applications, 2022

[4] อเนก นามขันธ์, เสาวภา เมืองแก่น, “กระบวนการจัดการข้อมูลเพื่อใช้วิเคราะห์ผลด้วยวิธีกระบวนการเหมืองข้อมูล”, วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยธนบุรี (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี) ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน พ.ศ. 2560

[5] วิกิพีเดีย. [ออนไลน์] ทวิตเตอร์. เข้าถึงได้จาก

https://th.wikipedia.org/wiki/ทวิตเตอร์

[สืบค้นเมื่อวันที่ 14 มิถุนายน 2565]

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

การพัฒนาระบบสารสนเทศการให้บริการรถโดยสารสาธารณะในจังหวัดภูเก็ต ด้วยเทคโนโลยีเสมือนจริง

Development of An Information System for Public Bus Service in Phuket with Virtual Reality Technology

หัสวรรษ ศิริลักษณ์[1*] อนาวิน บุญเทียม[2] และ อุไรรัตน์ มากจันทร์[3]

หลักสูตรเทคโนโลยีดิจิทัล คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต

มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต 21 หมู่ที่ 6 ถนนเทพกระษัตรี ตำบลรัษฎา อำเภอเมือง จังหวัดภูเก็ต 83000 e-mail: s6211423226@pkru.ac.th

มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต 21 หมู่ที่ 6 ถนนเทพกระษัตรี ตำบลรัษฎา อำเภอเมือง จังหวัดภูเก็ต 83000 e-mail: s621143227@pkru.ac.th

มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต 21 หมู่ที่ 6 ถนนเทพกระษัตรี ตำบลรัษฎา อำเภอเมือง จังหวัดภูเก็ต 83000 e-mail: Urairat.m@pkru.ac.th

บทคัดย่อ

จังหวัดภูเก็ตเป็นจังหวัดที่มีการเจริญเติบโตทางด้านการท่องเที่ยวอย่างรวดเร็ว มีจำนวนคนที่เข้ามาอาศัยเพื่อการทำธุรกิจและท่องเที่ยวเป็นจำนวนมาก การสัญจรหรือการเดินทางของคนส่วนใหญ่ใช้รถส่วนตัว จึงทำให้เกิดการจราจรติดขัดมีอุบัติเหตุบ่อยครั้ง การจัดการบริการรถสาธารณะจึงเป็นบริการหนึ่งที่ความสำคัญ ทางองค์กรบริหารส่วนจังหวัดภูเก็ตมีแนวคิดนำรถ “โพถ้อง” ที่เป็นสัญลักษณ์ของจังหวัดมาให้บริการขนส่งสาธารณะ แต่ยังมีการใช้บริการไม่มาก เนื่องจากนักท่องเที่ยวไม่ทราบข้อมูลเกี่ยวการบริการ ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะพัฒนาระบบสารสนเทศการให้บริการรถโดยสารสาธารณะในจังหวัดภูเก็ต โดยให้ข้อมูลเกี่ยวกับเส้นทางการเดินรถและอัตราค่าบริการของรถโดยสารสาธารณะในจังหวัดภูเก็ต ประกอบด้วยเส้นทาง สายสนามบินภูเก็ต สายสีชมพู และสายสีฟ้า ด้วยเทคโนโลยีเสมือนจริง เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาระบบ คือ แพลตฟอร์ม Spark AR studio โปรแกรมการจัดทำโมเดล 3 มิติ สถิติในการวิเคราะห์ข้อมูลความพึงพอใจ ได้แก่ ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน กลุ่มตัวอย่างเป็นผู้ใช้บริการรถโดยสารสาธารณะในจังหวัดภูเก็ตจำนวน 30 คน ผลจากการวิจัยพบว่า ระบบสารสนเทศการให้บริการรถโดยสารสาธารณะในจังหวัดภูเก็ตด้วยเทคโนโลยีเสมือนจริง มีความพึงพอใจอยู่ในระดับดี มีค่าเฉลี่ยที่ ($\bar{x}$) = 4.48 และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D) = 0.52

คำสำคัญ : ระบบสารสนเทศ; การบริการรถโดยสารสาธารณะ; เทคโนโลยีเสมือนจริง

Abstract

Phuket is a province with rapid growth in tourism and a great number of people who come to live for business and tourism. Since most people use their private cars for transportation or travel, there are frequent traffic jams and accidents. The management of public transportation is therefore one of the most important services. The Phuket Provincial Administrative Organization has the idea of using the “Pho Thong” car, which is the symbol of the province, to provide public transport services. Yet, it has not been used widely because tourists do not know about the service information. The researcher was therefore interested in developing an information system for public bus services in Phuket, providing information about the routes and service rates of public buses in Phuket, which include the routes of pink line and blue line Phuket Airport Buses, with virtual reality technology. Spark AR studio platform and 3D modeling program were used as tools for developing the system. Mean and standard deviation were used as statistics for analyzing the data of users’ satisfaction. The sample group consisted of 30 users using public bus in Phuket. The research results showed that the satisfaction on the information system for public bus services in Phuket with virtual reality technology was at a good level with the mean ($\bar{x}$) of 4.48 and the standard deviation (S.D) of 0.52.

Keywords: Information system; public bus service; virtual reality technology

1. บทนำ

ภูเก็ตเป็นจังหวัดที่มีชื่อเสียง ทางด้านการท่องเที่ยวที่ติดอันดับโลก เศรษฐกิจดี และมีตำแหน่งงานให้ทำมากมาย มีบุคลจำนวนมากเข้ามาไม่ว่าจะเป็นการท่องเที่ยว ทำธุรกิจ ทำงาน แบ่งเขตการปกครองเป็น 3 อำเภอ ได้แก่ อำเภอเมือง อำเภอกะทู้ อำเภอถลาง มีเนื้อที่เป็นพื้นดินประมาณ 543 ตารางกิโลเมตร [1] มีประชากรปีสำรวจเมื่อปี 2563 จำนวน 414,471 คน [2] การเดินทางของประชาชนในจังหวัด มีทั้งทางอากาศ ทางบก และทางน้ำ ประชาชนส่วนใหญ่มีรถยนต์หรือมอเตอร์ไซค์ส่วนตัวใช้เป็นยานพาหนะในการเดินทาง สำหรับนักท่องเที่ยวก็ใช้บริการรถเช่าส่วนบุคคล รถรับจ้างทั่วไป เช่น รถแท็กซี่ รถตู้ ที่ให้บริการโดยเอกชน การใช้บริการดังกล่าว ทำให้จังหวัดภูเก็ตประสบกับปัญหาการจราจรติดขัด เกิดอุบัติบ่อยครั้งทางองค์การบริหารส่วนจังหวัดภูเก็ตได้เล็งเห็นปัญหา และให้ความสำคัญจึงได้นำรถโพถ้องซึ่งเป็นรถ 2 แถวไม้ที่มีประวัติยาวนานเป็นเอกลักษณ์ของจังหวัดภูเก็ต มาใช้ขนส่งสาธารณะบริการประชาชนและนักเที่ยวในราคาประหยัด แต่ยังมีการใช้บริการไม่มาก เนื่องจากประชาชนไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับการบริการเส้นทางการเดินรถ ทั้ง ๆ ที่ จังหวัดภูเก็ตมีรถบริการขนส่งสาธารณะด้วยรถโพถ้องมากกว่า 17 เส้นทางด้วยกัน

เทคโนโลยีเสมือนจริง (Augmented Reality: AR) เป็นการนำระบบความจริงเสมือนมาผนวกกับเทคโนโลยีภาพ เพื่อสร้างสิ่งที่เสมือนจริงให้กับผู้ใช้ เป็นนวัตกรรมที่เกิดขึ้นตั้งแต่ปี ค.ศ. 2004 เป็นแขนงหนึ่งด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์ เป็นการเพิ่มภาพเสมือนของโมเดลสามมิติที่สร้างขึ้นลงไปในภาพที่ถ่ายมาจากกล้องวิดีโอ เว็บแคม กล้องโทรศัพท์มือถือแบบเฟรมต่อเฟรมด้วยเทคนิคทางด้านกราฟิก ปัจจุบันเทคโนโลยีเสมือนจริงถูกนำมาประยุกต์ใช้กับงานธุรกิจ ด้านอุตสาหกรรม การแพทย์ การตลาด การบันเทิง การสื่อสาร โดยใช้เทคโนโลยีความจริงเสมือนมาผนวกกับเทคโนโลยีภาพผ่าน ซอฟต์แวร์อุปกรณ์เชื่อมต่อ แสดงผลผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์หรือบนหน้าจอโทรศัพท์มือถือ ผู้ใช้สามารถนำเทคโนโลยีเสมือนจริงมาใช้กับการทำงานแบบออนไลน์ ที่สามารถโต้ตอบได้ทันทีระหว่างผู้ใช้กับสินค้า อุปกรณ์ต่อเชื่อมในลักษณะโมเดล

แบบสามมิติมีมุมมอง 360 องศา โดยผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องไปสถานที่จริง [3] มีหลักการทำงานแบ่งออกได้ เป็น 2 ประเภท คือ การวิเคราะห์ภาพโดยอาศัย Marker และการวิเคราะห์ภาพโดยใช้ลักษณะต่าง ๆ ที่อยู่ในภาพมาวิเคราะห์ (Marker-less based AR)

การให้บริการรถโดยสารสาธารณะในจังหวัดภูเก็ตประกอบไปด้วย 3 แบบได้แก่

1) การบริการรถสาธารณะ Airport Bus Phuket เป็นให้บริการรถโดยสารสาธารณะจากสนามบินนานาชาติภูเก็ตถึงสถานีขนส่งที่ 1 เส้นทางรถวิ่งผ่านได้แก่ แยกในยาง สี่แยกบ้านเคียน อนุสาวรีย์ท้าวเทพกระษัตรี ท้าวศรีสุนทร โฮมโปรถลาง ศาลเจ้าท่าเรือ โบ๊ทลากูน ถนนบายพาส ห้างเทสโก้โลตัสภูเก็ต บิ๊กซีภูเก็ต เซ็นทรัลภูเก็ต โรงเรียนดารา สมุทร แยกสุระกุล ถนนแม่หลวน ที่ว่าการอำเภอเมืองภูเก็ต โรงแรมเมอร์ลิน โรงเรียนสตรีภูเก็ต ร้านหนังสือเส้งโห สถานีขนส่งที่ 1

2) การบริการรถสาธารณะรถโพถ้องสายสีชมพู องค์การบริหารส่วนจังหวัดภูเก็ตจัดเส้นทางเดินรถบริการทั้งหมด 3 สาย 4 เส้นทาง โดยแต่ละเส้นทางผ่านสถานที่ต่าง ๆ ดังนี้

สายที่ 1 เส้นทางรถวิ่งผ่านเริ่มต้นจากห้างสรรพสินค้าบิ๊กซีถึงวิทยาลัยอาชีวศึกษา เส้นทางผ่านขาไป ได้แก่ บิ๊กซีภูเก็ต เซ็นทรัลภูเก็ต เทสโก้โลตัส ตลาดนัดชิลล์วาภูเก็ต มิวเซียมภูเก็ต สถานีขนส่งที่ 1 วงเวียนหอนาฬิกา ศาลเจ้าบางเหนียว สะพานหิน เส้นทางผ่านขากลับได้แก่ สะพานหิน ศาลเจ้าบางเหนียว วงเวียนหอนาฬิกา ตลาดดาวน์ทาวน์ เซ็นทรัลภูเก็ต บิ๊กซีภูเก็ต

สายที่ 2 เส้นทางที่ 1 เริ่มต้นจากสถานีขนส่งที่ 1 ถึง สถานีขนส่งที่ 2 ขาไปและกลับ เส้นทางรถวิ่งผ่าน ได้แก่ สถานีขนส่งที่ 2 ภูเก็ต โรงพยาบาลมิชชั่นภูเก็ต โรงเรียนภูเก็ตวิทยาลัย โรงเรียนสตรีภูเก็ต ศาลากลางภูเก็ต สถานีขนส่งที่ 1 มิวเซียมภูเก็ต ตลาดดาวน์ทาวน์ภูเก็ต

สายที่ 2 เส้นที่ 2 เริ่มต้นจากห้างซุปเปอร์ชีป-ตลาดสี่มุมเมือง ทางผ่านขาไปและกลับ ห้างซุปเปอร์ชีปภูเก็ต โรงพยาบาลมิชชั่น โรงเรียนภูเก็ตวิทยาลัย โรงแรมเมอร์ลินภูเก็ต โรงเรียนสตรีภูเก็ต ศาลากลางภูเก็ต สถานีขนส่งที่ 1 โรงแรมภูเก็ตซิตี้ ห้างโรบินสันภูเก็ต สีแยกบางเหนียว สี่แยกหยี่เต้ง สวนหลวง ตลาดสี่มุมเมือง

สายที่ 3 เส้นทางเริ่มต้นจากสะพานหินถึงเกาะสิเหร่ ทางผ่าน 5 สถานที่ คือขาไปและกลับ สะพานหิน สี่แยกหยี่เต้ง วัดนาคาภูเก็ต ห้างเซ็นทรัลภูเก็ต แยกสุระกุล โกเบ๊นซ์ข้าวต้มแห้ง โรงเรียนสตรีภูเก็ต ร้านหนังสือเส้งโห สถานีขนส่งที่ 1 โรงพยาบาล อบจ.ภูเก็ต ท่าเรือรัษฎา เกาะสิเหร่

3) เส้นทางการเดินรถของรถโพถ้อง(สายสีฟ้า)

สายที่ 1 เส้นทางตลาดดาวน์ทาวน์ - หาดป่าตอง ผ่านเส้นทาง ตลาดดาวน์ทาวน์ สนามสุระกุล เซ็นทรัลภูเก็ต วงเวียนโลมา หาดป่าตอง

สายที่ 2 เส้นทางตลาดดาวน์ทาวน์ - หาดกมลา ผ่านเส้นทาง ตลาดดาวน์ทาวน์ โรงแรมภูเก็ตเมอร์ลิน สถานีขนส่งที่ 2 ซุปเปอร์ชีป วัดสะป่าธรรมาราม โบ๊ทลากูน อนุสาวรีย์ท้าวเทพฯ ภูเก็ตแฟนตาซี อบต.กมลา

สายที่ 3 เส้นทางตลาดดาวน์ทาวน์-หาดในหาน ผ่านเส้นทาง ตลาดดาวน์ทาวน์ สวนหลวง สวนสัตว์ภูเก็ต ห้าแยกฉลอง หาดราไวย์ หาดในหาน

สายที่ 4 เส้นทาตลาดงดาวน์ทาวน์ – กะตะ,กะรน ผ่านเส้นทาง ตลาดดาวน์ทาวน์ สนามสุระกุล แยกนาคา โรงพยาบาลดีบุก สวนนกภูเก็ต วัดไชยธารารามวัดฉลอง) ห้าแยกฉลอง วงเวียนกะรน หาดกะตะ

สายที่ 5 เส้นทางตลาดดาวน์ทาวน์ – อ่าวฉลอง ผ่านเส้นทาง ตลาดดาวน์ทาวน์ สนามสุระกุล แยกนาคา โรงพยาบาลดีบุก สวนนกภูเก็ต วัดไชยธารารามวัดฉลอง) ห้าแยกฉลอง อ่าวฉลอง

สายที่ 6 เส้นทางตลาดดาวทาวน์ – บางโรง ผ่านเส้นทาง ตลาดดาวน์ทาวน์ โรงแรมภูเก็ตเมอร์ลิน สถานีขนส่งที่ 2 ซุปเปอร์ชีป วัดสะป่าธรรมาราม โบ๊ทลากูน อนุสาวรีย์ท้าวเทพฯ ท่าเรือบางโรง

สายที่ 7 เส้นทางตลาดดาวน์ทาวน์ – อ่าวมะขาม ผ่านเส้นทาง ตลาดดาวน์ทาวน์ สวนหลวง อ่าวมะขาม อควาเรียมภูเก็ต

สายที่ 8 เส้นทางตลาดดาวน์ทาวน์ – สะพานสารสิน ผ่านเส้นทาง ตลาดดาวน์ทาวน์ โรงแรมภูเก็ตเมอร์ลิน สถานีขนส่งที่ 2 ซุปเปอร์ชีป วัดสะป่าธรรมาราม โบ๊ทลากูน อนุสาวรีย์ท้าวเทพฯ สี่แยกบ้านเคียน สะพานสารสิน [4]

จากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้นผู้วิจัยสนใจที่จะพัฒนาระบบสารสนเทศการให้บริการรถโดยสารสาธารณะในจังหวัดภูเก็ต โดยนำเทคโนโลยีเสมือนจริง (AR) ให้มีความน่าสนใจเพิ่มมากขึ้น และเป็นอีกหนึ่งช่องทางที่ให้ข้อมูลเส้นทางการเดินรถโดยสารสาธารณะในจังหวัดภูเก็ต

2. วิธีการดำเนินวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาระบบสารสนเทศการให้บริการรถโดยสารสาธารณะในจังหวัดภูเก็ตด้วยเทคโนโลยีเสมือนจริง มีขั้นตอนในการดำเนินการดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ผู้วิจัยศึกษา เก็บรวบรวมข้อมูลเส้นทางการเดินรถโดยสารสาธารณะจังหวัดภูเก็ต และแนวทางการพัฒนาสารสนเทศการใช้บริการรถโดยสารสาธารณะจังหวัดภูเก็ตด้วยเทคโนโลยีเสมือนจริง

ขั้นตอนที่ 2 ผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 นำมาวางแผน ออกแบบโครงร่างโมเดล ระบบสารสนเทศการให้บริการรถโดยสารสาธารณะจังหวัดภูเก็ตด้วยเทคโนโลยีเสมือนจริง

ขั้นตอนที่ 3 ผู้วิจัยนำโครงร่างโมเดลมาออกแบบ และพัฒนาระบบสารสนเทศการใช้บริการรถโดยสารสาธารณะในจังหวัดภูเก็ตด้วยเทคโนโลยีเสมือนจริง

ขั้นตอนที่ 4 นำระบบสารสนเทศการให้บริการรถโดยสารสาธารณะจังหวัดภูเก็ตด้วยเทคโนโลยีเสมือนจริง ไปทดลองกับผู้ใช้บริการรถโดยสารสาธารณะในจังหวัดภูเก็ต จำนวน 30 คนให้ตอบแบบประเมินความพึงพอใจผ่านระบบออนไลน์ โดยการสแกนคิวอาร์โค้ดในการตอบแบบประเมินและนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์หาค่าทางสถิติ

3. ผลการวิจัย

3.1 ผลการพัฒนาระบบสารสนเทศการให้บริการรถโดยสารสาธารณะในจังหวัดภูเก็ตด้วยเทคโนโลยีเสมือนจริง

จากการพัฒนาระบบสารสนเทศการให้บริการรถโดยสารสาธารณะในจังหวัดภูเก็ตด้วยเทคโนโลยีเสมือนจริงแสดงดังรูปที่ 1-3





รูปที่ 1 ตารางเดินรถ-เส้นทางการเดินรถด้วยเทคโนโลยีเสมือนจริง สาย Airport bus Phuket





รูปที่ 2 ตารางเดินรถ-เส้นทางการเดินด้วยเทคโนโลยีเสมือนจริง สายสีชมพู่



รูปที่ 3 ตารางเดินรถ-เส้นทางการเดินรถด้วยเทคโนโลยีเสมือนจริง สายสีฟ้า

3.2 ผลการศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้บริการรถโดยสารสาธารณะในจังหวัดภูเก็ตด้วยเทคโนโลยีเสมือนจริง

ผู้วิจัยได้นำระบบสารสนเทศการบริการรถโดยสารสาธารณะในจังหวัดภูเก็ตด้วยเทคโนโลยีเสมือนจริงนำไปทดลองกับผู้ใช้บริการรถโดยสารสาธารณะ จำนวน 30 คน โดยผู้วิจัยใช้เกณฑ์การประเมินแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) มีระดับตามวิธีของ ลิเคิร์ท [5] โดยใช้เกณฑ์การประเมินเป็นคะแนนดังนี้

ตารางที่ 1 เกณฑ์การประเมินแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale)

คะแนนเฉลี่ย	แปลความหมาย
4.51 - 5.00	ระดับดีมาก
3.51 - 4.50	ระดับดี
2.51 -3.50	ระดับปานกลาง
1.51 -2.50	ระดับน้อย
1.00 - 1.50	ระดับน้อยที่สุด

ตารางที่ 2 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

รายการ		**จำนวน**	**คิดเป็นร้อยละ**
เพศ	ชาย	14	46.67
	หญิง	16	53.33
อายุ	ต่ำกว่า 20 ปี	7	23.33
	20-30 ปี	4	13.33
	31-40 ปี	4	13.33
	41-50 ปี	7	23.33
	51 ปีขึ้นไป	8	26.68

ตารางที่ 3 ข้อมูลความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบสารสนเทศการให้บริการรถโดยสารสาธารณะในจังหวัดด้วยเทคโนโลยีเสมือนจริง

รายละเอียดในแต่ละประเด็น	**ระดับความพึงพอใจ**		
	($\bar{X}$)	**(S.D)**	**แปลผล**
1. ด้านการใช้งาน			
1) ระบบสารสนเทศฯ มีความดึงดูดและน่าสนใจ	4.60	0.50	ดีมาก
2) ความสะดวกในการใช้ระบบสารสนเทศ ฯ	4.50	0.51	ดีมาก
3) ความถูกต้องในการแสดงผลลัพธ์ของระบบสารสนเทศ ฯ	4.43	0.50	ดี
4) ความยากง่ายในการใช้งานระบบสารสนเทศฯ	4.43	0.50	ดี
เฉลี่ยโดยรวม	**4.49**	**0.50**	**ดี**
2. ด้านเนื้อหา			
1) เนื้อหาที่นำเสนอมีความถูกต้อง	4.53	0.51	ดีมาก

รายละเอียดในแต่ละประเด็น	ระดับความพึงพอใจ		
	($\bar{X}$)	(S.D)	แปลผล
2) ภาพที่ใช้สามารถสื่อความหมายได้สอดคล้องกับเนื้อหา	4.40	0.50	ดี
3) คำแนะนำวิธีการใช้งานระบบสารสนเทศฯ เข้าใจง่าย	4.63	0.49	ดีมาก
เฉลี่ยโดยรวม	**4.52**	**0.50**	**ดีมาก**
3. ด้านของประโยชน์และการนำไปใช้งาน			
1) เนื้อหามีประโยชน์ต่อผู้ใช้งาน	4.60	0.50	ดีมาก
2) แอพพลิเคชั่นสามารถเป็นแหล่งความรู้สำหรับผู้ที่สนใจ	4.37	0.56	ดี
เฉลี่ยโดยรวม	**4.48**	**0.54**	**ดี**
4. ด้านการออกแบบและการจัดรูปแบบของระบบสารสนเทศ ฯ			
1) ภาพประกอบที่ใช้ภายในระบบสารสนเทศฯ มีความน่าสนใจ และเหมาะสม	4.43	0.57	ดี
2) การจัดรูปแบบภายในระบบสารสนเทศฯ ง่ายต่อการใช้งาน	4.40	0.56	ดี
เฉลี่ยโดยรวม	**4.42**	**0.56**	**ดี**

จากตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าความคิดเห็นของผู้ใช้บริการรถโดยสารสาธารณะในจังหวัดภูเก็ตที่ทดลองใช้ระบบสารสนเทศการบริการรถโดยสารสาธารณะจังหวัดภูเก็ต ด้วยเทคโนโลยีเสมือนจริง มีความพึงพอใจในด้านการใช้งาน อยู่ในระดับดี มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.49 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.50 ด้านเนื้อหา อยู่ในระดับดีมาก มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.52 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.50 ด้านของประโยชน์และการนำไปใช้งาน อยู่ในระดับดี มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.48 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.54 ด้านการออกแบบและการจัดรูปแบบของระบบสารสนเทศ อยู่ในระดับดี มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.42 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.56

4.สรุปผลการวิจัย

4.1 ระบบสารสนเทศการบริการรถโดยสาร สาธารณะจังหวัดภูเก็ต ด้วยเทคโนโลยีเสมือนจริง

มีเส้นทางการเดินรถโดยสารสาธารณะ ประกอบด้วย รถ Airport bus Phuket จากสนามบินนานาชาติภูเก็ต – สถานีขนส่ง 1 สาย รถโพถ้อง สีชมพู มีทั้งหมด 3 สาย 4 เส้นทาง และรถโพถ้อง (สายสีฟ้า) มีทั้งหมด 8 สาย การสร้างเส้นทางการเดินรถโดยสารสาธารณะจังหวัดภูเก็ต ด้วยเทคโนโลยีเสมือนจริง เป็นการนำเทคโนโลยีมาปรับใช้เพื่อนำเสนอข้อมูลเส้นทางการเดินรถโดยสารสาธารณะสำหรับผู้ใช้บริการในจังหวัดภูเก็ต เมื่อผู้ใช้บริการนำโทรศัพท์มือถือแสกนคิวอาร์โค้ดจะปรากฏเป็นตารางการเดินรถและโมเดลเส้นทางการเดินรถโดยสารสาธารณะ ณ จุดที่นักท่องเที่ยวอยู่ เพื่อลดความสับสนในการเดินทาง ลดความอันตรายจากการใช้รถใช้ถนน อีกทั้งการใช้รถโดยสารสาธารณะยังช่วยลดปัญหารถติดได้ดีอีกด้วย

4.2 การศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้บริการรถโดยสารสาธารณะจังหวัดภูเก็ตที่ทดลองใช้ระบบสารสนเทศการบริการรถโดยสารสาธารณะในจังหวัดภูเก็ตด้วยเทคโนโลยี เสมือนจริง

ความพึงพอใจของผู้ใช้บริการรถโดยสารสาธารณะในจังหวัดภูเก็ตที่ทดลองใช้ระบบสารสนเทศการบริการรถโดยสารสาธารณะจังหวัดภูเก็ตด้วยเทคโนโลยีเสมือนจริง แบ่งออกเป็น 4 ด้าน พบว่า ด้านการใช้งานระบบสารสนเทศ อยู่ในระดับดี ด้านเนื้อหา อยู่ในระดับดีมาก ด้านของประโยชน์และการนำไปใช้งาน อยู่ในระดับดี ด้านการออกแบบและการจัดรูปแบบของระบบสารสนเทศอยู่ในระดับดี

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักบริหารยุทธศาสตร์กลุ่มจังหวัดภาคใต้ฝั่งอันดามัน.สภาพทั่วไปของจังหวัดภูเก็ต. เข้าถึงได้จาก: เว็บไซต์ http://www.osmsouth-w.moi.go.th/osm-introduce.php?url=phuket-general&l=th (เมื่อวันที่ 29 มีนาคม 2566).

[2] สำนักงานสถิติจังหวัดภูเก็ต. สถิติสังคมและประชากรศาสตร์. เข้าถึงได้จาก : เว็บไซต์ http://phuket.nso.go.th/index.php?option=com_content&view=article&id=132&Itemid=507 (เมื่อวันที่ 29 มีนาคม 2566).

[3] พนิดา ตันศิริ.(2553). “โลกเสมือนผสานโลกจริง Augmented Reality” .Executive Journal.(online). *มหาวิทยาลัยกรุงเทพ*. หน้า 169-173.

[4] บริษัท ภูเก็ตพัฒนาเมือง จำกัด. ว่าด้วยเรื่อง “รถขนส่งสาธารณะในจังหวัดภูเก็ต”ยังมีให้บริการใช่หรือไม่?. เข้าถึงได้จาก: เว็บไซต์ https://www.pkcd.co.th/2021/03/01/phuket-public-transportation/ (เมื่อวันที่ 20 มกราคม 2566).

[5] บุญชม ศรีสะอาด.2560. การวิจัยเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 10. สุวีริยาสาส์น. กรุงเทพมหานคร.

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

การพยากรณ์การตัดสินใจในใช้ e-wallet ด้วยเหมืองข้อมูล

Forecasting for E-Wallet Decisions using Data Mining Techniques

วรมันต์ เจริญรักษา[1*] สุวรรณี อัศวกุลชัย[2]

[1,2]กลุ่มวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีทางการเงิน บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย

126/1 ถนนวิภาวดีรังสิต2 แขวงรัชดาภิเษก เขตดินแดง กรุงเทพมหานคร 10400, *2011131625012@live4.utcc.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลในการตัดสินใจเลือกใช้บริการ e-wallet และการพยากรณ์การตัดสินใจเลือกใช้ e-wallet ด้วยเหมืองข้อมูล วิธีการดำเนินการ ใช้แบบสอบถาม และใช้ CRISP-DM MODEL มี 6 ขั้นตอน ตั้งแต่การเข้าใจธุรกิจ จนถึงการนำไปใช้งานจริง ผลการศึกษา จากการวิเคราะห์ข้อมูลแบบสอบถาม พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้ e-wallet มากที่สุด 3 ลำดับแรก คือ 1. ร้านค้าสามารถชำระเงินผ่านช่องทางออนไลน์ 2. เพศ 3. การใช้ e-wallet สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการชำระค่าสินค้า การเตรียมข้อมูล ต้องมีการปรับข้อมูล ลดข้อมูล การพัฒนาแบบจำลองด้วยอัลกอริธึม 3 อัลกอริธึม 1) ต้นไม้ตัดสินใจ 2) นาอีฟเบย์ (Naïve Bayes Classifier) 3) KNN ผลการพยากรณ์ในการตัดสินใจเลือกใช้บริการ e-wallet พบว่า แบบจำลอง KNN มีค่าความถูกต้องแม่นยำสูงสุดคิดเป็นร้อยละ 98.91 เมื่อเทียบกับ Decision Tree (J48) และ Naive Bayes มีค่าความถูกต้องแม่นยำร้อยละ 93.47 และ 82.60 ตามลำดับ กล่าวโดยสรุป ปัจจัยสำคัญที่สุดในการตัดสินใจใช้ e-wallet คือ ร้านค้ารับชำระเงินออนไลน์ การพยากรณ์โอกาสที่จะใช้ e-wallet แบบจำลอง KNN สามารถพยากรณ์ได้ถูกต้องที่สุด สำหรับการศึกษาต่อไป คือ การเพิ่มข้อมูลให้มากขึ้น เพื่อเพิ่มความถูกต้องของแบบจำลอง

คำสำคัญ : เหมืองข้อมูล E-wallet, ต้นไม้ตัดสินใจ, นาอีฟเบย์

Abstract

The article aimed to identify factors that affect customers' decisions to use e-wallet services and predict those decisions using data mining techniques. The study collected data through a questionnaire and applied the CRISP-DM model to analyze the data and predict the decision to use e-wallet services using three classification algorithms. The three most significant factors affecting the use of e-wallet services were identified as the store's ability to pay online, gender, and e-wallet's ability to increase payment efficiency. The KNN model was found to be the most accurate of 98.91% in predicting the decision to use e-wallet services, compared to the Decision Tree (J48) and Naïve Bayes algorithms, which had accuracies of 92.47% and 82.60%, respectively. On-going research, it has effectively conducted a data mining analysis to gain insights into the factors influencing customer decisions to use e-wallet services and made accurate predictions using machine learning algorithms.

Keywords: E-wallet, CRISP-DM, KNN, J48, Naïve Bayes

บทนำ

ด้วยสภาพแวดล้อมปัจจุบันที่เทคโนโลยีการเงิน เข้ามามีบทบาทอย่างมากกับการค้าขายทั่วไป ทำให้เกิด “สังคมไร้เงินสด” หรือ Cashless Society กล่าวคือ ปัจจุบันสามารถชำระค่าสินค้าและบริการด้วยการโอนเงินผ่าน Application บนโทรศัพท์มือถือ หรือ ผ่านคิวอาร์โค้ดได้ ทำให้เกิดความสะดวก สบายในการใช้จ่ายผ่านช่องทางออนไลน์ ประชาชนทั่วไปใช้งานกันมากขึ้น ลดการพกพาเงินสดลงเรื่อยๆ เช่นเดียวกับประชากรทั่วโลกที่หันมาใช้เทคโนโลยีดังกล่าวอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะการชำระเงินผ่านช่องทาง e-wallet หรือ Digital Wallet โดย e-wallet คือ กระเป๋าเงินอิเล็กทรอนิกส์ในรูปแบบของแอปพลิเคชันบน อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆเช่น โทรศัพท์มือถือ เพื่ออำนวยความสะดวกในการทำธุรกรรมต่างๆ เช่น การชำระค่าซื้อสินค้าหรือบริการ จากห้างร้านทั่วไป การช้อปปิ้งออนไลน์ และข้อมูลจากธนาคารแห่งประเทศไทยแสดงให้เห็นว่า จากปริมาณการชำระเงินผ่านระบบการชำระเงินและช่องทางต่าง ๆ นั้นแสดงให้เห็นว่า การชำระเงินผ่านช่องทางอิเล็กทรอนิกส์ (e-Payments) มีปริมาณสูงสุดถึง 34.82 % [1]

จากการสำรวจพบว่า ธนาคารอาคารสงเคราะห์มีปริมาณรายการ transaction การโอนเงินประมาณ 500,000 รายการ เมื่อกับจำนวนบัญชีเงินฝากของธนาคารพบว่ามีสัดส่วนที่น้อย ทางผู้วิจัยเห็นว่าช่อง e-payment ของการทำธุรกรรมของการค้าขาย ทั้ง online และ offline จะช่วยเพิ่มปริมาณการใช้งานได้ อีกทั้งระบบ e-wallet ยังมีฟังก์ชันการทำงานที่หลากหลาย ช่วยความความสะดวกให้กับร้านค้าได้มากกว่า mobile bankingการวิเคราะห์ข้อมูลปัจจัยในการเลือกใช้บริการ e-wallet ในด้านต่างๆ จะช่วยเป็นเครื่องมือ ประกอบการตัดสินใจที่มี

ประสิทธิภาพ ความน่าเชื่อถือสูง ความปลอดภัยสูง เพื่อนำไปสู่การเลือกลงทุนของธนาคาร ในการพัฒนาระบบ e-wallet หรือไม่

ปัญหาที่มีปริมาณการใช้งาน e-wallet จำนวนมาก แต่ธนาคารอาคารสงเคราะห์ ยังไม่มีผลิตภัณฑ์ดังกล่าว ทำให้ขาดโอกาสแข่งขันทางธุรกิจ โดยหากธนาคารเข้ามาดำเนินการอุตสาหกรรมดังกล่าว จะช่วยเพิ่มผลกำไรให้กับองค์กร อีกทั้งยังสร้างความตระหนักในการรับรู้ธนาคารอีกด้วย โดยเน้นระยะสั้น ธนาคารจะมีจำนวนรายการที่มากขึ้น และในระยะยาวธนาคารจะมีส่วนแบ่งตลาดในธุรกรรม e-payment ที่มากขึ้น

ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นการประยุกต์การใช้เทคนิคเหมืองข้อมูล (Data Mining) มาช่วยแสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมในการเลือกใช้บริการของผู้ค้าทั้งระบบออนไลน์และออฟไลน์ผ่านบริการ e-wallet โดยจะเป็นส่วนหนึ่งในการตัดสินใจถึงความจำเป็น คุ้มค่า ในการลงทุนพัฒนาระบบ e-wallet ของธนาคารหรือไม่

วัตถุประสงค์การวิจัย

1) เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลในการตัดสินใจเลือกใช้บริการ e-wallet
2) เพื่อพยากรณ์การตัดสินใจใช้ e-wallet ด้วยเหมืองข้อมูล

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การทำเหมืองข้อมูล (Data Mining) คือการค้นหาความสัมพันธ์รูปแบบที่มีอยู่ในข้อมูลที่สนใจ แต่ถูกซ่อนอยู่ในข้อมูลปริมาณมาก การทำเหมืองข้อมูลเหมาะกับการแก้ปัญหาหลายรูปแบบ โดยมีอัลกอริธึมอยู่หลายรูปแบบ เช่น ต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) [2] นาอีฟเบย์ (Naïve Bayes Classifier) K Nearest Neighbor : KNN ซึ่งมีความเหมาะสมกับลักษณะข้อมูลที่ต่างกัน ใช้วิธีการศึกษา ด้วยกระบวนการ CRISP-DM (Cross-industry standard process for data mining) [3] ประกอบด้วย 6 ขั้นตอนดังนี้ การทำความเข้าใจธุรกิจ Business understanding ขั้นตอนแรกในการทำเหมืองข้อมูล คือ 1) การทำความเข้าใจในธุรกิจ โดยการเข้าถึงปัญหา และทราบถึงวัตถุประสงค์ของโครงการผ่านมุมมองทางธุรกิจ 2) Data understanding เป็นขั้นตอนในการรวบรวมข้อมูล ทำความเข้าใจข้อมูล ตวจสอบคุณภาพ และเลือกข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาพิจารณาถึงความเหมาะสม ความถูกต้อง 3) Data preparation ในขั้นตอนนี้จะจัดเตรียมข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบสามารถประมวลผลได้ 4) Modeling คือขั้นตอนในการทำเหมืองข้อมูล ผ่านเครื่องมือโปรแกรม weka โดยได้ทดลองสร้าง โมเดลหลายๆแบบที่คาดว่าจะสามารถแก้ไขปัญหาที่ต้องการได้ และมีการประมวลผลปรับค่าพารามิเตอร์ในแต่ละโมเดลให้เหมาะสมที่สุดในการแก้ไขปัญหา 5) Evaluation ในขั้นตอนนี้จะเป็นการวัดประสิทธิภาพของแต่ละโมเดลในขั้นตอนที่ 4 เพื่อวัดว่าแต่ละโมเดลมีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใด โมเดลให้มีประสิทธิภาพสูงสุดเพื่อใช้ในการวัดค่าต่อไป 6) Deployment เป็นขั้นตอนในการนำโมเดลที่เหมาะสมที่สุดไปใช้งานจริง เพื่อวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาที่ต้องการ

ในมุมมองของผู้บริโภค e-wallet มีประโยชน์หลายประการ ดังนี้ 1. ความสะดวกรวดเร็ว โดยการทำธุรกรรมสามารถเกิดขึ้นได้ง่ายบนสมาร์ตโฟน ช่วยลดขั้นตอนในการกรอกข้อมูล การดำเนินการ ความยุ่งยากที่ใช้บัตรเครดิต 2. ความปลอดภัย เนื่องจากการทำธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์สามารถตรวจสอบได้ และจากการที่ไม่ต้องพกพาเงินสด 3. ทำให้เกิดประสิทธิภาพในการจัดการทางการเงิน 4. สามารถสร้างสิทธิพิเศษให้กับลูกค้า เพื่อส่งเสริมการขาย 5. ความท้าทายของผู้ให้บริการเป็นการอำนวยความสะดวกให้กับลูกค้า โดยการสร้างพันธมิตรทางธุรกิจ

วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการเก็บข้อมูลในการศึกษา

ผู้วิจัย ได้ทำแบบสอบถาม online ผ่าน Google Form โดยได้ตั้งคำถามจำนวน 20 ข้อ แบ่งหัวข้อในการสอบถามเป็น 3 หัวข้อใหญ่ 1) ด้านประชากรศาสตร์ 2) ด้านปัจจัยในการเลือกใช้บริการ e-wallet 3) ด้านความพึงพอใจในการเลือกใช้บริการ e-wallet สำรวจเพื่อรวบรวมข้อมูลจำนวนทั้งสิ้น 92 ราย โดยแบ่งแบบสอบถามออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 แบบสอบถามเกี่ยวกับข้อมูลด้านประชากรศาสตร์โดยคำถามข้อมูลทั่วไปของ ผู้บริโภคมีจำนวน 5 ข้อ ได้แก่ เพศ อายุ ระดับการศึกษา อาชีพ และรายได้เฉลี่ยต่อเดือน โดยเป็น คำถามแบบให้เลือกตอบเพียงคำตอบเดียว (Close Ended Question)

ส่วนที่ 2 แบบสอบถามเกี่ยวกับปัจจัยส่วนประสมทางการตลาด 4c แบ่ง 4 ส่วน แบบมาตราวัดแบบ Likert – Scale ระดับความเห็น โดยแบ่งเป็น 5 ระดับคือ 1. เห็นด้วยอย่างยิ่ง 2. เห็นด้วย 3. เฉยๆ 4. ไม่เห็นด้วย 5. ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง

ส่วนที่ 3 แบบสอบถามเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจในการใช้งานระบบ e-wallet ของผู้บริโภคในจังหวัดกรุงเทพมหานครโดยมีคำถาม แบบมาตราวัดแบบ Likert – Scale ระดับความเห็น โดยแบ่งเป็น 5 ระดับคือ คือ 1. เห็นด้วยอย่างยิ่ง 2. เห็นด้วย 3. เฉยๆ 4. ไม่เห็นด้วย 5. ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง

ส่วนที่ 4 คือส่วนที่ใช้วัดผลการเลือกใช้บริการ e-wallet โดยมีคำถามดังนี้ 1.ท่านมีความพึงพอใจในการใช้บริการชำระเงินผ่านระบบ e-wallet อยู่ในระดับใด 2. ในการชำระค่าสินค้าในครั้งถัดไปท่านจะใช้บริการ e-wallet หรือไม่

โดยนำข้อมูลจากแบบสอบถามมาใช้วิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกใช้บริการผ่านช่องทาง e-wallet ด้วยวิธีการทางสถิติ และ การทำ Data Mining

วิธีการพยากรณ์ในการตัดสินใจใช้บริการ e-wallet ด้วย CRISP model

งานวิจัยฉบับนี้เป็นการเสนอการประยุกต์การใช้อัลกอริธึมเหมืองข้อมูล ในการพยากรณ์โอกาสในการตัดสินใจใช้บริการ e-wallet ด้วยกระบวนการมาตรฐานที่ใช้ในการทำเหมืองข้อมูล ผ่านกระบวนการ CRISP_DM (Cross-industry standard process for data mining) ซึ่งประกอบด้วย 6 ขั้นตอนดังนี้

1. การทำความเข้าใจธุรกิจ (Business understanding) คือ การทำความเข้าใจในการรับชำระค่าบริการผ่านช่องทาง e-wallet เพื่อเข้าใจถึงปัญหา วัตถุประสงค์ผ่านมุมมองทางธุรกิจ จากนั้นวิเคราะห์ปัญหาให้และวางแผนการดำเนินการ เป็นการศึกษาถึงความต้องการของลูกค้าธนาคาร ที่ต้องการรับชำระค่าบริการผ่านช่องทาง e-wallet
2. การทำความเข้าใจข้อมูล (Data understanding) หลังจากการรวบรวมข้อมูลจากแบบสอบถามผ่าน Google Form ต้องทำความเข้าใจข้อมูล ตรวจสอบคุณภาพ และเลือกข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาพิจารณาถึงความเหมาะสม ความถูกต้อง ว่าจะใช้ข้อมูลใดบ้างเป็นปัจจัยในการเลือกใช้บริการ e-wallet
3. การจัดเตรียมข้อมูล (Data preparation) ในขั้นตอนนี้จะนำข้อมูลแบบสอบถามมาจัดเตรียมให้อยู่ในรูปแบบสามารถประมวลผลได้ มุ่งเน้นเฉพาะปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกใช้บริการ e-wallet ในการเตรียมข้อมูลและคัดเลือกข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์โดยจะต้องมีกระบวนการในนำข้อมูลมาปรับเปลี่ยนรูปแบบให้มีมาตรฐานเดียวกัน คัดกรองข้อมูลที่ผิดพลาด ไม่ครบถ้วนสมบูรณ์ออกไป เพื่อให้ข้อมูลมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยในขึ้นตอนนี้ประกอบด้วย ขั้นตอนการโอนย้าย ข้อมูล (Data Transfer) และการทำความสะอาดข้อมูล (Data Cleaning)
4. การพัฒนาแบบจำลอง (Modeling) หลังจากเตรียมข้อมูลได้อย่างเหมาะสมแล้ว ใช้โปรแกรม Weka เพื่อเลือกอัลกอริธึมการจำแนกข้อมูลที่เหมาะสม โดยในการศึกษาวิจัยฉบับนี้ ได้มีการเลือกโมเดล ที่ได้จากการประมวลทางอัลกอริธึมการทำเหมืองข้อมูล เพื่อให้ผลลัพธ์มีประสิทธิภาพสูงสุด 3 อัลกอริธึมคือ อัลกอริธึม Decision tree ต้นไม้ตัดสินใจ ที่เรียกว่า J48 อัลกอริธึม Naive Bays และ อัลกอริธึม K-Nearest Neighbor โดยนำผลลัพธ์ที่ได้ของแต่ละอัลกอริธึมมาวิเคราะห์ความถูกต้อง
5. การประเมินประสิทธิภาพของแต่ละโมเดล (Evaluation) เพื่อวัดว่าแต่ละโมเดลมีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใด โมเดลให้มีประสิทธิภาพสูงสุดเพื่อใช้ในการงานต่อไป
6. การนำโมเดลไปใช้งานจริง (Deployment) เป็นขั้นตอนในการนำโมเดลที่เหมาะสมที่สุดไปใช้งานจริง เพื่อวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาที่ต้องการ

เครื่องมือการวิจัย

- แบบสอบถาม
- ระบบปฏิบัติการ MacOs Ventura 13.1
- โปรแกรม Weka 3.9.6

ผลการศึกษา

ผลจากแบบสอบถาม online ผ่าน Google Form คำถามจำนวน 20 ข้อ แบ่งเป็น 3 หัวข้อใหญ่ 1) ด้านประชากรศาสตร์ 2) ปัจจัยในการเลือกใช้บริการ e-wallet 3) ความพึงพอใจในการเลือกใช้บริการ e-wallet ได้รับการตอบกลับจำนวน 92 ราย โดยในการศึกษาประกอบด้วยสองส่วนคือ การวิเคราะห์ด้วยข้อมูลทางสถิติและ การวิเคราะห์ด้วยการทำ Data Mining รายละเอียดดังนี้

1. ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่ผลต่อการตัดสินใจใช้ e-wallet ด้วยข้อมูลทางสถิติ

ด้านประชากรศาสตร์ของผู้ตอบแบบสอบถามใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ การแจกแจงความถี่ ร้อยละ เพื่ออธิบายถึงลักษณะทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม ประกอบด้วยข้อมูล เพศ อายุ ระดับการศึกษา สถานภาพ รายได้ต่อเดือน อาชีพ โดยสรุป พบว่า ตัวอย่างประชากร 92 คน พบว่าส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง คิดเป็นร้อยละ 60.87 อายุ 31-40 ปี คิดเป็นร้อยละ 42.39 สถานะภาพโสด คิดเป็นร้อยละ 56.52 วุฒิการศึกษาระดับปริญญาตรี คิดเป็นร้อยละ 67.39 รายได้เฉลี่ยต่อเดือน 25,001-50,000 บาทต่อเดือน คิดเป็นร้อยละ 38.04 อาชีพข้าราชการ/รัฐวิสาหกิจ คิดเป็นร้อยละ 36.96 สำหรับปัจจัยในการเลือกใช้บริการ e-wallet และความพึงพอใจแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปัจจัยในการเลือกใช้บริการ e-wallet และความพึงพอใจ

ปัจจัยในการเลือกใช้บริการ e-wallet และความพึงพอใจ	$\bar{x}$	S.D.
1. ท่านคิดว่าการชำระเงินที่ร้านค้าทั่วไปผ่านระบบ e-wallet ตรงกับความต้องการของท่าน	4.09	0.69
2.ท่านคิดว่าการชำระเงินที่ร้านค้าออนไลน์ผ่านระบบ e-wallet ตรงกับความต้องการของท่าน	4.13	0.99
3. ท่านมีความพร้อมในเรื่องค่าใช้จ่ายอุปกรณ์โทรศัพท์มือและค่าอินเตอร์เน็ตเพื่อรับชำระผ่านระบบ e-wallet	4.25	0.66
4.ท่านคิดว่าการใช้บริการ e-wallet ที่ท่านใช้อยู่มีกระบวนการทำงานที่สะดวก	4.16	0.48
5.ท่านคิดว่าการใช้บริการ e-wallet ที่ท่านใช้อยู่ช่วยอำนวยความสำดวกในการชำระเงิน	4.57	0.63
6. ท่านคิดว่าระบบ e-wallet ที่ท่านใช้บริการอยู่มีการประชาสัมพันธ์ที่เหมาะสมหรือไม่	3.79	0.67
7.ท่านคิดว่าระบบ e-wallet มีประโยชน์ และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการชำระค่าสินค้า และบริการของท่าน	4.17	0.6
8. ท่านคิดว่าการชำระเงินผ่านระบบ e-wallet ช่วยเพิ่มยอดขายให้	3.99	0.87

ปัจจัยในการเลือกใช้บริการ e-wallet และความพึงพอใจ	$\bar{x}$	S.D.
ท่านมากขึ้นหรือไม่		
9. จากประสบการณ์ใช้การชำระเงินผ่านระบบ e-wallet ของท่าน ท่านรู้สึกสะดวกต่อการใช้งานหรือไม่	4.37	0.59
10. ท่านมีความพึงพอใจในการใช้บริการชำระเงินผ่านระบบ e-wallet	4.26	0.57

จากตารางที่ 1 พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามมีระดับความคิดเห็นด้านต่างๆ เช่น ท่านคิดว่าการใช้บริการ e-wallet ที่ท่านใช้อยู่ช่วยอำนวยความสำดวกในการชำระเงินในระดับใด มากที่สุดด้วยค่าเฉลี่ย 4.57 และรองลงมาคือ จากประสบการณ์ใช้การชำระเงินผ่านระบบ e-wallet ของท่าน ท่านรู้สึกสะดวกต่อการใช้งานหรือไม่ และอันดับที่ 3 คือท่านมีความพึงพอใจในการใช้บริการชำระเงินผ่านระบบ e-wallet อยู่ในระดับใด สรุปผลการศึกษา ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้ e-wallet มากที่สุด 3 ลำดับคือ ปัจจัยถ้าร้านค้าสามารถชำระเงินผ่านช่องทางออนไลน์ได้ เพศ และ ปัจจัยเรื่อง e-wallet ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการชำระค่าสินค้า

2. ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่ผลต่อการตัดสินใจใช้ e-wallet **ด้วยข้อมูลการทำ** Data Mining

- **ผลการเตรียมข้อมูลและคัดเลือกข้อมูลที่จะนำมาใช้**

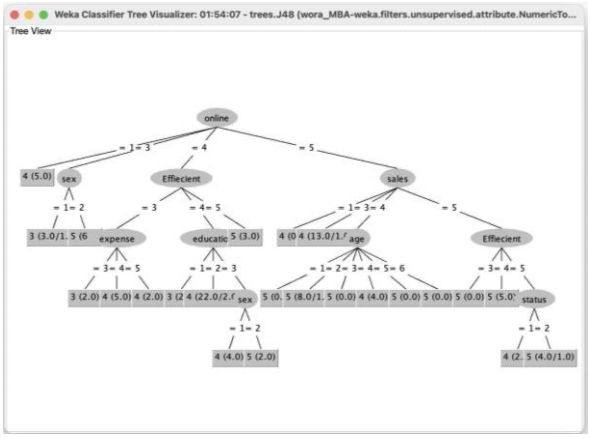
ข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการทำเหมืองข้อมูล เพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้มีประสิทธิภาพสูงสุด จึงต้องมีกระบวนการในการเตรียมข้อมูลจากแบบสอบถาม ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนดังนี้

1) การโอนย้ายข้อมูล (Data Transfer) คือการส่งออกข้อมูลแบบสอบถามจาก Google Form มาเก็บอยู่ในรูปแบบไฟล์ Excel ประเภท .csv นำเข้าข้อมูลสู่โปรแกรม Weka
2) การทำความสะอาดข้อมูล คือการแก้ค่าของข้อมูลที่มีความหมายเดียวกันให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน โดยปรับข้อมูลในเชิงพรรณนาให้เป็นตัวเลข 1-5 ตัวอย่างเช่น ระดับไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง กำหนดข้อมูลให้เป็น 5 ระดับไม่เห็นด้วย กำหนดข้อมูลให้เป็น 4 ระดับเฉยๆ กำหนดข้อมูลให้เป็น 3 ระดับเห็นด้วยกำหนดข้อมูลให้เป็น 2 และระดับเห็นด้วยอย่างยิ่ง กำหนดข้อมูลให้เป็น 1
3) การทดสอบข้อมูล เป็นการนำข้อมูลที่ได้มาทดสอบในโปรแกรม Weka เพื่อให้การทำเหมืองข้อมูลมีประสิทธิภาพมากที่สุด

- **ผลการพัฒนาแบบจำลอง**

ในการทำเหมืองข้อมูล แต่ละอัลกอริธึมประมวลผลต่างกัน ในการศึกษาครั้งนี้ เลือกอัลกอริธึมที่เหมาะสม 3 อัลกอริธึมคือ Decision Tree : C4.5 (J48) Bayes : Naive Bayes และ K-Nearest Neighbor : lBk ใช้ Test options แบบ Use training set ได้ผลการพัฒนาแบบจำลอง ดังนี้

1) Decision Tree : C4.5 พยากรณ์การตัดสินใจเลือกใช้บริการผ่านช่องทาง e-wallet มีความถูกต้องร้อยละ 92.47 % และแสดงต้นไม้ตัดสินใจในภาพที่ 1
2) Naive Bays พยากรณ์การตัดสินใจเลือกใช้บริการผ่านช่องทาง e-wallet มีความถูกต้องร้อยละ ร้อยละ 82.60
3) K-Nearest Neighbor (IBK) พยากรณ์การตัดสินใจเลือกใช้บริการผ่านช่องทาง e-wallet มีความถูกต้องร้อยละ 98.91



ภาพที่ 1 ภาพต้นการตัดสินใจ (Decition tree)

จากภาพที่ 1 ผลลัพธ์ที่ได้จากต้นไม้ตัดสินใจ สามารถเขียนเป็นเงื่อนไขของกฎ (Rule based) ตัวอย่างเช่น

- ถ้าร้านค้ามีบริการแบบออนไลน์เต็มรูปแบบ ผู้ใช้จะเลือกใช้บริการ e-wallet
- ถ้าร้านค้ามีบริการแบบออนไลน์ไม่เต็มรูปแบบ และ ผู้ใช้เป็นเพศหญิงแล้ว จะเลือกใช้บริการ E-wallet

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

การศึกษาวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative Research) โดยใช้วิธีวิจัยด้วยรูปแบบเชิงสำรวจ (Survey Research) ซึ่งเก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 92 รายในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพรรณนา ได้แก่ การแจกแจงความถี่ ร้อยละ คะแนนเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และมีการใช้ เหมืองข้อมูลมาพยากรณ์ การใช้งานระบบ e-wallet ผลจากแบบสอบถาม นำมาเป็นปัจจัยเพื่อพยากรณ์การตัดสินใจ ทั้งนี้แบบสอบถามนี้ครอบคลุมในทุกประเด็น แต่การตอบคำถามอาจจะไม่สมบูรณ์ร้อยละ 100 ดังนั้น อาจจะต้องเพิ่มการสัมภาษณ์ หรือการทำ focus group เพื่อให้ได้คำตอบที่ตรงประเด็นมากขึ้น

ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้ e-wallet มากที่สุด 3 ลำดับคือ ปัจจัยถ้าร้านค้าสามารถชำระเงินผ่านช่องทางออนไลน์ได้ เพศ และ ปัจจัยเรื่อง e-wallet ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการชำระค่าสินค้า

ผลการพยากรณ์ในการตัดสินใจเลือกใช้ e-wallet การจำแนกกลุ่มข้อมูลแบบ K-Nearest Neighbour เป็นการจัดกลุ่มที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีกฎจำนวนมากและมีเงื่อนไขที่เหมาะสม ด้วยค่าความถูกต้อง 98.91% โดยสามารถสรุปผลเปรียบเทียบ 3 อัลกอริธึม แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบ 3 อัลกอริธึม

	J48	Naive Bays	K-NN
Correctly Classified Instances	92.47%	82.60%	98.91%
Kappa statistic	0.7098	0.728	0.979
Mean absolute error	0.1226	0.0874	0.018
Root mean squared error	0.2476	0.24	0.062
Relative absolute error	44.59%	31.76%	6.63%
Root relative squared error	67.29%	66.35%	16.799
Total Number of Instances	92	92	92

ข้อเสนอแนะ

- การทำแบบสอบถามแบบออนไลน์ เป็นช่องทางที่สะดวก แต่ควรเพิ่มช่องทางอื่นๆ เช่น การทำ focus group เป็นต้น
- การพยากรณ์โอกาสในการเลือกใช้ e-wallet ด้วยเทคนิคการทำเหมืองข้อมูล เป็นเพียงต้นแบบในการหาความสัมพันธ์ของปัจจัยในการเลือกใช้ e-wallet ในการชำระค่าบริการ โดยธนาคารสามารถนำไปต่อยอดเพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ รวมถึงพยากรณ์ต้นทุนเพื่อนำไปสู่การพัฒนาระบบ e-wallet ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] ธุรกรรมการชำระเงินผ่านบริการ Mobile banking และ Internet banking แหล่งที่มา https://www.bot.or.th/App/BTWS_STAT/statistics/BOTWEBSTAT.aspx?reportID=688&language=TH

[2] ต้นไม้การตัดสินใจ แหล่งที่มา https://th.wikipedia.org/wiki/ต้นไม้ตัดสินใจ

[3] Cross-industry standard process for data mining แหล่งที่มา https://en.wikipedia.org/wiki/Cross-industry_standard_process_for_data_mining

ประวัติผู้เขียนบทความ



นายวรมันต์ เจริญรักษา
เกิด 31 สิงหาคม 2530
ที่อยู่ 76 ซอยสุกร 1 ถนนไตรมิตร แขวง ตลาดน้อย เขต สัมพันธวงศ์ 10100

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceeding of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

การพัฒนาแอปพลิเคชันแนะนำแหล่งท่องเที่ยววิสาหกิจชุมชนใน 3 จังหวัดฝั่งอันดามัน

The development of tourism applications of community enterprises in 3 Andaman provinces

ศักดิ์ชัย ไตรศรี[1*] วสิษฐ์พล ศิริตัน[2] อรรถพล ปิลไลย์[3] และ อุไรรัตน์ มากจันทร์[4]

หลักสูตรเทคโนโลยีดิจิทัล คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต*

21 หมู่ที่ 6 ถนนเทพกระษัตรี ตำบลรัษฎา อำเภอเมือง จังหวัดภูเก็ต 83000 E-mail: s6211423108@pkru.ac.th

21 หมู่ที่ 6 ถนนเทพกระษัตรี ตำบลรัษฎา อำเภอเมือง จังหวัดภูเก็ต 83000 E-mail: s6211423106@pkru.ac.th

21 หมู่ที่ 6 ถนนเทพกระษัตรี ตำบลรัษฎา อำเภอเมือง จังหวัดภูเก็ต 83000 E-mail: Attapon.p@pkru.ac.th

21 หมู่ที่ 6 ถนนเทพกระษัตรี ตำบลรัษฎา อำเภอเมือง จังหวัดภูเก็ต 83000 E-mail: Urairat.m@pkru.ac.th

บทคัดย่อ

วิสาหกิจชุมชน เป็นการนำแนวทางเศรษฐกิจของชุมชนหรือเศรษฐกิจพอเพียงมาพัฒนาให้เป็นระบบ โดยมีชุมชนเป็นเจ้าของกิจการดำเนินการที่ไม่ได้แสวงหากำไร แต่เน้นการพึ่งพาอาศัยกัน เป็นกิจกรรมของชุมชนที่เกิดจากการเรียนรู้ของชุมชน มีลักษณะที่ไม่ซับซ้อน เป็นการเพิ่มรายได้ให้กับชุมชน ส่งผลให้ระบบเศรษฐกิจของประเทศมีความมั่นคงและเข้มแข็งมากขึ้น ประเทศไทยมีวิสาหกิจชุมชนอยู่ทั่วประเทศ และใน 3 จังหวัดฝั่งอันดามันประกอบด้วยจังหวัดกระบี่ พังงา และภูเก็ต ก็มีชุมชนที่จัดตั้งเป็นวิสาหกรรมชุมชน ที่เกี่ยวกับแหล่งท่องเที่ยวทางธรรมชาติ ทางวัฒนธรรม ทั้งที่รู้จักและไม่รู้จักของนักท่องเที่ยวเป็นจำนวนมาก ผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการพัฒนาแอฟพลิเคชันแนะนำแหล่งท่องเที่ยววิสาหกิจชุมชนใน 3 จังหวัดฝั่งอันดามันขึ้น โดยมีการแยกหมวดหมู่ เป็นจังหวัด อำเภอ ตำบล ที่เป็นแหล่งท่องเที่ยวในลักษณะวิสาหกิจชุมชนใน 3 จังหวัดฝั่งอันดามัน ได้แก่ ภูเก็ต พังงา และกระบี่ มีข้อมูลประกอบด้วย ชื่อวิสาหกิจชุมชน ลักษณะ กิจกรรม ที่ตั้ง รูปภาพ ช่องทางการติดต่อ และมีแผนที่นำทางไปยังวิสาหกิจชุมชนที่นักท่องเที่ยวต้องการเดินทางไปท่องเที่ยวได้โดยใช้ Google Map ใช้งานผ่านสมาร์ทโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาแอปพลิเคชัน ได้แก่ App Inventor กลุ่มตัวอย่างเป็นนักท่องเที่ยวที่สนใจการท่องเที่ยวแบบวิสาหกิจชุมชน จำนวน 30 คน สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล คือ ค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลจากการวิจัยพบว่า การพัฒนาแอปพลิเคชันแนะนำแหล่งท่องเที่ยววิสาหกิจชุมชนใน 3 จังหวัดฝั่งอันดามัน มีระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับมากมีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$= 4.10) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.= 0.79)

คำสำคัญ : การพัฒนาแอปพลิเคชัน,วิสาหกิจชุมชน,แอนดรอยด์

Abstract

Community enterprise is the introduction of community economics or sufficiency economy to develop a system with community ownership that operates not for profit but focuses on dependence. It is a community activity resulting from community learning, with a simple appearance that increases income for the community. As a result, the country's economy becomes more stable and stronger. Thailand has community enterprises all over the country, including in the three Andaman provinces comprising Krabi, Phang Nga, and Phuket, where communities have been established as community enterprises. These enterprises showcase natural and cultural attractions, both known and unknown, and are popular among a large number of tourists. Therefore, the researcher is interested in developing an application to recommend tourist attractions and community enterprises in these three Andaman provinces. The classification is divided into provinces, districts, and sub-districts that are tourist attractions in the form of community enterprises. The application includes the name of the community enterprise, nature of the activity, location, picture, contact channel, and a map to guide the way to the community enterprise that tourists want to travel using Google Maps on a smartphone operating system Android. The tool used to develop the application was App Inventor. The sample group consisted of 30 tourists interested in community enterprise tourism. The statistics used to analyze the data were mean and standard deviation. The results of the research found that the development of a community enterprise tourist attraction recommendation application in the three Andaman provinces had a satisfaction level with a mean ($\bar{X}$= 4.10) and a standard deviation (S.D.= 0.79).

Keywords: application development, community enterprise, android

บทนำ

วิสาหกิจชุมชนเกิดขึ้นจากการรวมตัวกันทำกิจกรรมร่วมกันของคนในชุมชนเพื่อก่อให้เกิดรายได้ มีการแลกเปลี่ยนความรู้ซึ่งกันและกัน มีการสืบทอดภูมิปัญญาโดยทรัพยากรที่นำมาใช้ก็หาได้จากในพื้นที่ นำผลผลิตไปทำการค้าขายเพื่อให้ได้กำไร เมื่อชุมชนมีรายได้จึงนำมาแบ่งกับสมาชิกภายในกลุ่ม เป็นการสร้างงานแก่คนในชุมชนโดยที่คนในชุมชนไม่ต้องย้ายไปทำงานต่างถิ่นและเป็นสร้างความเข้มแข็งให้แก่ชุมชน [1]

ในปัจจุบันประเทศได้มีการส่งเสริมให้ชุมชนมีการจัดตั้งวิสาหกิจชุมชนทั่วประเทศ ซึ่ง 3 จังหวัดฝั่งอันดามันได้แก่ ภูเก็ต พังงา และกระบี่ ก็เป็นจังหวัดที่ได้มีการจัดตั้งวิสาหกิจชุมชนด้วยเช่นกัน โดยในปัจจุบัน 3 จังหวัดฝั่งอันดามันมีการจัดตั้งเป็นวิสาหกิจกลุ่มการให้บริการ การท่องเที่ยว มีจำนวนทั้งสิ้น 166 กลุ่ม แบ่งเป็นจังหวัดภูเก็ต 57 กลุ่ม พังงา 59 กลุ่ม และกระบี่ 50 กลุ่ม [2] เพื่อเป็นการแนะนำแหล่งท่องเที่ยววิสาหกิจชุมชนให้เป็นที่รู้จักของนักท่องเที่ยวมากขึ้น และเป็นการเพิ่มรายได้สู่ระดับชุมชน ผู้วิจัยเล็งเห็นถึงความสำคัญของการท่องเที่ยววิสาหกิจชุมชน จึงได้รวบรวมแหล่งท่องเที่ยววิสาหกิจชุมชนเพื่อเป็นการส่งเสริมหรือประชาสัมพันธ์ให้นักท่องเที่ยวรู้จักและชุมชนมีรายได้เพิ่มมากขึ้น จึงได้พัฒนาแอปพลิเคชันแนะนำแหล่งท่องเที่ยววิสาหกิจชุมชนใน 3 จังหวัดฝั่งอันดามัน

แอปพลิเคชัน (Application) คือโปรแกรมที่อำนวยความสะดวกในด้านต่าง ๆ ที่ออกแบบมาสำหรับโทรศัพท์มือถือ แท็บเล็ต อุปกรณ์สื่อสารเคลื่อนที่ ในแต่ละระบบปฏิบัติการจะมีผู้พัฒนาแอปพลิเค

ชันขึ้นมาเพื่อให้ตรงกับความต้องการของผู้ใช้งาน อันได้แก่ แอปพลิเคชันทางการศึกษา ด้านการสื่อสาร ความบันเทิง และการท่องเที่ยว ซึ่งมีให้ดาวน์โหลดทั้งฟรีและจ่ายเงิน [3]

วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาแอปพลิเคชันแนะนำแหล่งท่องเที่ยววิสาหกิจชุมชนใน 3 จังหวัดฝั่งอันดามัน
2. เพื่อศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้แอปพลิเคชันแนะนำแหล่งท่องเที่ยววิสาหกิจชุมใน 3 จังหวัดฝั่งอันดามัน

วิธีดำเนินงาน

1. ขั้นตอนวิธีการดำเนินงาน

การพัฒนาแอปพลิเคชันแนะนำแหล่งท่องเที่ยววิสาหกิจชุมชนใน 3 จังหวัดฝั่งอันดามัน ผู้วิจัยได้นำแนวคิดในการพัฒนาวงจรการพัฒนาระบบงานแบบ SDLC (System Development Life Cycle) มาเป็นกรอบแนวคิดในการวิจัย ซึ่งมีทั้งหมด 7 ขั้นตอน [4] ดังนี้

1.1 การกำหนดปัญหา (Problem Definition)

1.1.1 ศึกษาสภาพปัญหาของการวิจัย โดยการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาแอปพลิเคชันแนะนำแหล่งท่องเที่ยววิสาหกิจชุมชนใน 3 จังหวัดฝั่งอันดามัน

1.1.2 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับสภาพปัญหา ได้แก่ ทฤษฎีการออกแบบ การพัฒนาแอปพลิเคชันโดยใช้โปรแกรม App Inventor และงานวิจัยที่เกี่ยวกับการพัฒนาแอปพลิเคชัน

1.1.3 รวบรวมปัญหา ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะต่างๆ จากการที่ได้ศึกษาสภาพปัญหาจากรายงานวิจัยและศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.2 การศึกษาความเป็นไปได้ (Feasibility Study)

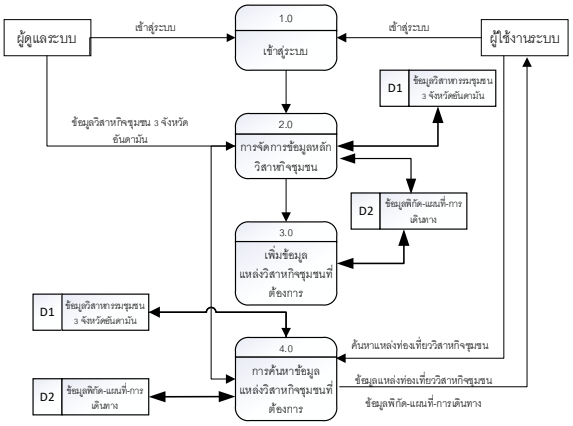
เนื่องจากในปัจจุบันเทคโนโลยีเกี่ยวกับสมาร์ทโฟนมีการพัฒนาประสิทธิภาพในการทำงานที่เพิ่มมากขึ้น มีการประมวลผลความเร็วสูง สามารถทำงานได้หลากหลาย และมีผู้ที่สนใจทางด้านนี้ ได้พัฒนาแอปพลิเคชันแบบต่างๆ ออกมาเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้และอำนวยความสะดวกให้กับผู้ที่ใช้สมาร์ทโฟนเป็นจำนวนมาก ทางคณะวิจัยจึงมีแนวคิดในการที่จะพัฒนาการพัฒนาแอปพลิเคชันแนะนำแหล่งท่องเที่ยววิสาหกิจชุมชนใน 3 จังหวัดฝั่งอันดามัน เพื่อตอบสนองความต้องการของนักท่องเที่ยวที่สนใจค้นหาแหล่งท่องเที่ยวแบบวิสาหกิจชุมชน ที่สามารถบอกสถานที่ กิจกรรมที่น่าสนใจ และเส้นทาง ด้วย Google Map ทำให้ง่ายต่อการใช้งาน

1.3 การวิเคราะห์ระบบ (System Analysis)

เก็บรวบรวมข้อมูลวิสาหกิจแต่ของชุมชนแต่ละตำบล เพื่อนำมาจัดทำรายงานการทำงานของระบบ ซึ่งจะต้องใช้เทคนิคการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยการศึกษาเอกสารที่ระบบใช้งานอยู่ในปัจจุบัน การตรวจสอบวิธีการทำงานในปัจจุบันด้วย การใช้แบบสอบถาม การสัมภาษณ์ผู้ใช้ รวมทั้งผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับระบบในการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยศึกษาจากเอกสารต่างๆ

1.4 การออกแบบระบบ (System Design)

การพัฒนาแอปพลิเคชันแนะนำแหล่งท่องเที่ยววิสาหกิจชุมชนใน 3 จังหวัดฝั่งอันดามัน อาศัยเครื่องมือ คือ แผนภาพการไหลของข้อมูล (Data Flow Diagram: DFD) เป็นเครื่องมือที่ใช้อธิบายถึงขั้นตอนการทำงานของระบบ แสดงทิศทางการไหลของข้อมูล ซึ่งอธิบายให้ผู้พัฒนาระบบ ผู้ใช้รวมทั้งผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องได้ทราบรายละเอียดการทำงานได้ดียิ่งขึ้น



รูปที่ 1 Data Flow Diagram ของแอปพลิเคชันแนะนำท่องเที่ยววิสาหกิจชุมชน ใน 3 จังหวัดฝั่งอันดามัน

1.5 การสร้างระบบหรือพัฒนาระบบ (System Construction)

การพัฒนาแอปพลิเคชันแนะนำแหล่งท่องเที่ยววิสาหกิจชุมชนใน 3 จังหวัดฝั่งอันดามัน พัฒนาโดยโปรแกรม App Inventor

1.6 การติดตั้งระบบ (System Implementation)

การพัฒนาแอปพลิเคชันแนะนำแหล่งท่องเที่ยววิสาหกิจชุมชนใน 3 จังหวัดฝั่งอันดามัน โดยการอับโหลดเข้าสู่ระบบ Google Play เพื่อติดตั้งและการใช้งาน

1.7 การประเมินผลและการบำรุงรักษาระบบ (Implementation Review and Maintenance)

เป็นการทดสอบการเพิ่มข้อมูล การลบข้อมูล การแก้ไขข้อมูล และค้นหาตำแหน่งสถานที่ท่องเที่ยววิสาหกิจชุมชน และทำการตรวจสอบข้อมูลและความถูกต้องระหว่างที่ได้ดำเนินการใช้งานแอปพลิเคชัน ทำการปรับปรุงแก้ไขข้อผิดพลาดต่างๆ ให้มีความถูกต้องอยู่เสมอ

2. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

2.1 ประชากร คือ นักท่องเที่ยวที่สนใจที่จะมาค้นหาสถานที่ท่องเที่ยววิสาหกิจชุมชน โดยใช้โทรศัพท์มือถือระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

2.2 กลุ่มตัวอย่าง คือ นักท่องเที่ยวที่สนใจค้นหาสถานที่ท่องเที่ยววิสาหกิจชุมชนใน 3 จังหวัดฝั่งอันดามัน ที่ใช้โทรศัพท์มือถือระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ จำนวน 30 คน

3. เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาแอปพลิเคชัน

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาแอปพลิเคชัน ได้แก่โปรแกรม App Inventor เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับสร้างแอปพลิเคชันสำหรับสมาร์ทโฟนและแท็บเล็ตที่เป็นระบบปฏิบัติการ แอนดรอยด์

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล คือแบบประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานแอปพลิเคชันแนะนำท่องเที่ยววิสาหกิจชุมชนใน 3 จังหวัดฝั่งอันดามัน

สถิติที่ใช้

สถิติในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D) (Standard deviation: S.D.) โดยใช้มาตราวัดแบบมาตราส่วนประเมินค่า (Rating scale) เกณฑ์การให้คะแนนเกี่ยวกับความพึงพอใจมีลักษณะดังนี้

ระดับ 5 หมายถึง มีความพึงพอใจมากที่สุด
ระดับ 4 หมายถึง มีความพึงพอใจมาก
ระดับ 3 หมายถึง มีความพึงพอใจปานกลาง
ระดับ 2 หมายถึง มีความพึงพอใจน้อย
ระดับ 1 หมายถึง มีความพึงพอใจน้อยที่สุด

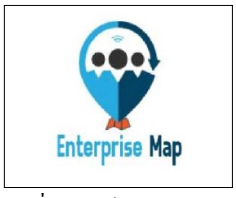
การแปลความหมายของค่าเฉลี่ยของความพึงพอใจ [5] มีลักษณะดังนี้

ค่าเฉลี่ย 4.51 - 5.00 หมายถึง มีความพึงพอใจมากที่สุด
ค่าเฉลี่ย 3.51 - 4.50 หมายถึง มีความพึงพอใจมาก
ค่าเฉลี่ย 2.51 - 3.50 หมายถึง มีความพึงพอใจปานกลาง
ค่าเฉลี่ย 1.51 - 2.50 หมายถึง มีความพึงพอใจน้อย
ค่าเฉลี่ย 1.00 - 1.50 หมายถึง มีความพึงพอใจน้อยที่สุด

ผลการวิจัย

1) ผลการพัฒนาแอปพลิเคชันแนะนำแหล่งท่องเที่ยววิสาหกิจชุมชนใน 3 จังหวัดฝั่งอันดามัน

ผู้วิจัยได้พัฒนาแอปพลิเคชันแนะนำแหล่งท่องเที่ยววิสาหกิจชุมชนใน 3 จังหวัดฝั่งอันดามัน ดังตัวอย่างรูปที่ 2-9



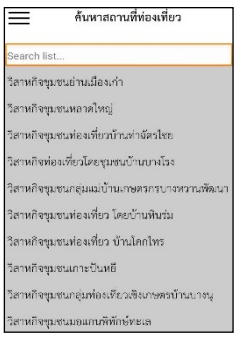
รูปที่ 2 โลโก้แอปพลิเคชัน



รูปที่ 3 หน้าแรกของแอปพลิเคชัน



รูปที่ 4 เมนูรายการต่าง



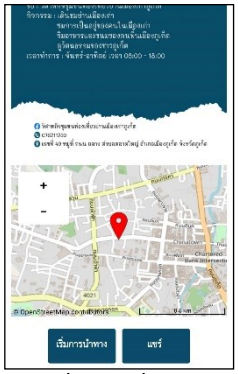
รูปที่ 5 หน้าของ Search



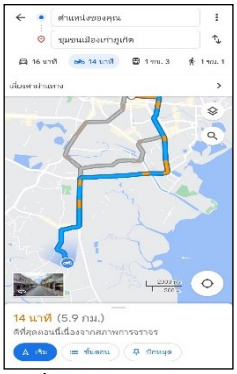
รูปที่ 6 หน้าสถานที่ทองเที่ยว



รูปที่ 7 รายละเอียดของสถานที่



รูปที่ 8 แผนที่นำทาง



รูปที่ 9 ผลการค้นหาตำแหน่ง

จากรูปที่ 2-9 เป็นผลจากการพัฒนาแอปพลิเคชันแนะนำแหล่งท่องเที่ยววิสาหกิจชุมชนใน 3 จังหวัดฝั่งอันดามัน เมื่อติดตั้งแอปพลิเคชันจะปรากฏโลโก้แอปพลิเคชันไว้สำหรับเปิดใช้งาน มีหน้าแรกของแอปพลิเคชันเพื่อเลือกจังหวัดที่สนใจ ได้แก่ ภูเก็ต พังงา และกระบี่ ในแต่ละจังหวัดจะปรากฏแหล่งท่องเที่ยวของจังหวัดนั้น ๆ แสดงรายละเอียดของสถานที่ท่องเที่ยว มีแผนที่แสดงตำแหน่ง เพื่อนำทางเพื่อให้นักท่องเที่ยวไปยังจุดหมายปลายทาง

2) ผลการศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้การพัฒนาแอปพลิเคชันแนะนำแหล่งท่องเที่ยววิสาหกิจชุมชนใน 3 จังหวัดฝั่งอันดามัน

ทางผู้วิจัยได้นำแอปพลิเคชันแนะนำแหล่งท่องเที่ยววิสาหกิจชุมชนใน 3 จังหวัดฝั่งอันดามัน ไปทดลองใช้กับกลุ่มนักท่องเที่ยวที่สนใจ ซึ่งใช้สมาร์ทโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ จำนวน 30 คน และตอบแบบสอบถามความพึงพอใจที่มีแอปพลิเคชันแนะนำแหล่งท่องเที่ยววิสาหกิจชุมชนใน 3 จังหวัดฝั่งอันดามัน จากนั้นนำผลการประเมินมาวิเคราะห์ด้วยค่าสถิติพื้นฐานเทียบกับเกณฑ์และสรุปผล ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลความความพึงพอใจของผู้ใช้แอปพลิเคชันแนะนำแหล่งท่องเที่ยววิสาหกิจชุมชนใน 3 จังหวัดฝั่งอันดามัน

รายละเอียด	ระดับความพึงพอใจ		
	$\bar{x}$	S.D.	แปลผล
1. ด้านการทำงานของแอปพลิเคชัน			
1.1 ความสะดวกรวดเร็วในการใช้งาน	4.13	0.73	มาก
1.2 ใช้งานง่าย และสะดวกในการค้นหา	3.70	0.70	มาก
1.3 ความถูกต้องของเนื้อหา	4.47	0.73	มากที่สุด
1.4 เนื้อหาที่ง่ายต่อการมอง	3.93	0.74	มาก
1.5 ระบบข้อมูลที่เป็นหมวดหมู่	4.33	0.80	มากที่สุด
1.6 การขอเส้นทาง	4.63	0.64	มากที่สุด
1.7 ฟังก์ชันการทำงาน	4.53	0.68	มากที่สุด
เฉลี่ยรวม	4.25	0.78	มาก
2. ด้านความทันสมัยของแอปพลิเคชัน			
2.1 การอัพเดทข้อมูล	4.30	0.88	มากที่สุด
2.2 รุ่นของระบบปฏิบัติการ	4.30	0.75	มากที่สุด
2.3 ใช้พื้นที่ในการจัดเก็บน้อย	3.47	0.63	ปานกลาง
2.4 ความรวดเร็วในการดาวน์โหลด	4.07	0.64	มาก
2.5 คุณลักษณะพิเศษในการใช้งาน	3.50	0.73	ปานกลาง
เฉลี่ยรวม	3.93	0.81	มาก
3. ด้านกราฟิกของแอปพลิเคชัน			
3.1 ขนาดของตัวอักษรที่เหมาะสม	4.17	0.75	มาก
3.2 ฟอนต์ที่สวยงาม	3.87	0.63	มาก
3.3 สีสันของพื้นหลังแบบสบายตา	4.07	0.78	มาก
3.4 มีภาพประกอบเนื้อหา	3.97	0.89	มาก
3.5 มีกราฟิกต่างๆ เพื่อความเข้าใจในเนื้อหามากขึ้น	4.20	0.71	มาก
เฉลี่ยรวม	4.05	0.76	มาก

จากตารางที่ 1 เป็นการสรุปผลความพึงพอใจจากการทดลองใช้งานแอปพลิเคชันแนะนำแหล่งท่องเที่ยววิสาหกิจชุมชนใน 3 จังหวัดฝั่งอันดามัน สรุปผลโดยรวมมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ย 4.10 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.79

อภิปรายผล

การพัฒนาแอปพลิเคชันแนะนำแหล่งท่องเที่ยววิสาหกิจชุมชนใน 3 จังหวัดฝั่งอันดามัน ประกอบด้วยองค์ประกอบสองส่วน คือ

1. ส่วนพัฒนาแอปพลิเคชันแนะนำแหล่งท่องเที่ยววิสาหกิจชุมชนใน 3 จังหวัดฝั่งอันดามัน มีการแยกหมวดหมู่สถานที่ท่องเที่ยววิสาหกิจชุมชน เป็นจังหวัด อำเภอ และตำบล โดยแสดงผลการค้นหาได้แก่ ชื่อกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ลักษณะ กิจกรรม ตำแหน่งที่ตั้ง รูปภาพ ช่องทางการติดต่อและแสดงแผนที่ พิกัด เพื่อเป็นการนำทางโดยใช้ Map เพื่อให้นักท่องเที่ยวสามารถเดินทางไปยังที่หมายได้อย่างถูกต้อง แม่นยำ และสะดวกรวดเร็ว อีกทั้งยังเป็นการประชาสัมพันธ์ให้กับวิสาหกิจชุมชนในแต่ละจังหวัดได้เป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลาย

2. ความพึงพอใจต่อการใช้งานการพัฒนาแอปพลิเคชันแนะนำแหล่งท่องเที่ยววิสาหกิจชุมชนใน 3 จังหวัดฝั่งอันดามัน จากผู้ที่ตอบแบบประเมินความพึงพอใจทั้งหมด 30 คน พบว่าภาพรวมพึ่งพอใจอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.10 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.79 หากจำแนกตามด้าน พบว่าด้านการทำงานของแอปพลิเคชัน มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเนื่องจากผู้ใช้งานสามารถนำไปใช้งานได้จริง รองลงมาคือด้านกราฟิกของแอปพลิเคชัน เนื่องจากมีภาพประกอบ เนื้อหาตัวอักษรที่น่าอ่าน และอันดับสุดท้ายคือด้านความทันสมัยของแอปพลิเคชัน มีค่าเฉลี่ยของความพึงพอใจน้อยที่สุด เนื่องมาจากมีความสวยงาม น่าสนใจ แต่ยังขาดการดึงดูดใจจากผู้ใช้งานในส่วนของรูปภาพ และภาพเคลื่อนไหว เพื่อให้แอปพลิเคชันมีความน่าสนใจมากขึ้น

ข้อเสนอแนะ

1. ในส่วนของการพัฒนาแอปพลิเคชันควรพัฒนาให้ครอบคลุมทุกจังหวัดในประเทศไทย

2. ในการแสดงแผนที่เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานแอปพลิเคชันที่มีความต้องการจะค้นหาสถานที่ท่องเที่ยวในบริเวณใกล้เคียงของผู้ใช้งานสมาร์ทโฟนของตนเองโดยอ้างอิงจากตำแหน่งจีพีเอสเพื่อทำการยึดตำแหน่งของสมาร์ทโฟนเป็นจุดกึ่งกลางในการกำหนดระยะการค้นหาสถานที่ท่องเที่ยวในบริเวณนั้น ๆ

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักวิชาการสำนักงานเลขาธิการสภาผู้แทนราษฎร.การส่งเสริมและพัฒนาวิสาหกิจชุมชนจากภาครัฐ.วารสารการพัฒนาชุมชนและคุณภาพชีวิต.กุมภาพันธ์ 2561.

[2] กลุ่มทะเบียนและสารสนเทศวิสาหกิจชุมชน.ระบบสารสนเทศวิสาหกิจชุมชนกองส่งเสริมวิสาหกิจชุมชน กรมส่งเสริมการเกษตร.(ออนไลน์).เข้าถึงได้จาก : https://smce.doae.go.th/ (เมื่อวันที่ 18 กุมภาพันธ์ 2566).

[3] Bizidea. แอปพลิเคชัน คืออะไรแล้วมีกี่ประเภท.(ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก: https://bizidea.co.th/whats-application/ (เมื่อวันที่ 1 มีนาคม 2566).

[4] กิตติมา ไชยชาญยุทธ์. (2556). SDLC. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: https://sites.google.com/site/ooad560511002 6/wngcr-phathna-rabb-sdlc (เมื่อวันที่ 22 กุมภาพันธ์ 2566).

[5] บุญชม ศรีสะอาด.2560.การวิจัยเบื้องต้น.พิมพ์ครั้งที่ 10.สุวีริยาสาส์น.กรุงเทพมหานคร.

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

สหกิจศึกษาบนแพลตฟอร์มออนไลน์

Online Platform for Cooperative Education

นริศรา นาคเมธี[1*] ชาญวิทย์ ปราบพยัคฆ์[2] สยาม ลางคุลเสน[3] และ วีรวรรณ จันทนะทรัพย์[4]

[14]สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800 Email: narisara.n@rmutp.ac.th[1] and veerawan.j@rmutp.ac.th[4]

[23]หมวดวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800 Email: chanwit.p@rmutp.ac.th[2] and siam.l@rmutp.ac.th[3]

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยพัฒนางานสหกิจศึกษาบนแพลตฟอร์มออนไลน์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างองค์ความรู้ด้วยทักษะในศตวรรษที่ 21 ด้านวิทยาการข้อมูลและเทคโนโลยีดิจิทัล และเพื่อนำผลการวิจัยไปประยุกต์ใช้กับการบริหารจัดการข้อมูลระบบการเรียนการสอนรายวิชาสหกิจศึกษาทางวิทยาการข้อมูลและเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร โดยผู้วิจัยเลือกใช้เครื่องมือบนแพลตฟอร์มออนไลน์ของบริษัทกูเกิล (Google) ประกอบด้วย Google Form, AppSheet, Google Sheet และ Looker Studio นอกจากนั้นยังใช้เทคนิคการดึงข้อมูลจากหน้าเว็บ (Web Scraping) จากผลการวิจัยพบว่า สหกิจศึกษาบนแพลตฟอร์มออนไลน์สามารถเก็บข้อมูลงานสหกิจศึกษาได้ครบถ้วน มีความสะดวก รวดเร็ว การทำงานของแอปพลิเคชันสหกิจศึกษาบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ พบว่าอาจารย์นิเทศสามารถเข้าใช้งาน สามารถแก้ไขและปรับปรุงข้อมูลได้ และแดชบอร์ดนำเสนอข้อมูลงานสหกิจศึกษาได้ตามขอบเขตงานวิจัย สามารถสนับสนุนการเลือกดูข้อมูลของผู้ใช้งานแบบเชิงโต้ตอบได้

คำสำคัญ : แพลตฟอร์มออนไลน์; การนำเสนอข้อมูลด้วยภาพ

Abstract

In this research, we propose an online cooperative education platform. The objective of the research is to create data science and digital technology knowledges in the sense of the 21st century skills in order to apply them to an information management system for the subject, Cooperative Education for Data Science and Information Technology, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon. We mostly use Google products including Google Forms, AppSheet, Google Sheet, and Looker Studio. Moreover, Python web scraping techniques are used for data extraction and data collection. As a result, online cooperative education platform is efficiently convenient. From mobile app performance testing, the mobile app can be simply used and customized by cooperative supervisors. Eventually the cooperative dashboards can be presented interactively at all defined scope.

Keywords: Online Platform; Data Visualization

1. บทนำ

แพลตฟอร์มออนไลน์ (Online Platform) ถูกใช้ในการอธิบายการให้บริการทางระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์เพื่ออำนวยความสะดวกในการปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้ใช้สองกลุ่มขึ้นไปที่แตกต่างกันแต่พึ่งพากันและกัน ปัจจุบันแพลตฟอร์มเข้ามาปฏิวัติรูปแบบการดำเนินงานในหลายวงการ โดยในภาคธุรกิจมีการพัฒนาแพลตฟอร์มเพื่อที่เป็นพื้นที่สำหรับให้ผู้ผลิตและผู้บริโภคมาทำธุรกรรมผ่านระบบออนไลน์ที่สร้างประโยชน์ให้กับทั้ง 2 ฝ่าย เช่น Uber แพลตฟอร์มให้บริการเรียกรถแท็กซี่ ที่ทำให้คนขับรถแท็กซี่และผู้ใช้บริการมาพบกัน โดยที่ Uber ทำหน้าที่เป็นตัวกลางไม่ได้เป็นเจ้าของรถที่ให้บริการ หรือ Airbnb แพลตฟอร์มประกาศให้เช่าที่พัก ค้นหาและจองที่พักทั่วโลก ซึ่ง Airbnb ทำหน้าที่เป็นตัวกลาง สำหรับในภาคการศึกษาแพลตฟอร์มออนไลน์ถูกนำมาใช้ในการส่งเสริมการเรียนรู้และเป็นพื้นที่ที่ผู้สอนและผู้เรียนสามารถปฏิสัมพันธ์กันได้สะดวก สามารถแลกเปลี่ยนเรียนรู้ ทำกิจกรรมที่สร้างประโยชน์ให้กับทั้งผู้เรียนและผู้สอน

สหกิจศึกษา (Cooperative Education) เป็นระบบการศึกษาที่ให้ความสำคัญในการพัฒนาสมรรถนะบัณฑิต โดยมุ่งเน้นประสบการณ์ที่ได้รับจากการปฏิบัติงานจริงในสถานประกอบการ ในรูปแบบการเรียนรู้จริง (Work Base Learning) เป็นระยะเวลา 1 ภาคการศึกษา [1] โดยมีผู้เกี่ยวข้องกับงานสหกิจศึกษา 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 สถานศึกษา ทำหน้าที่เตรียมความพร้อมให้กับนักศึกษาก่อนออกปฏิบัติงานสหกิจศึกษา พร้อมทั้งจัดหาอาจารย์นิเทศเพื่อออกนิเทศงานนักศึกษาระหว่างปฏิบัติงานในสถานประกอบการ กลุ่มที่ 2 สถานประกอบการ ทำหน้าที่จัดหาพี่เลี้ยง (Mentor/Job Supervisor) เพื่อกำกับดูแลการทำงานของนักศึกษาระหว่างการปฏิบัติงานเพื่อช่วยให้นักศึกษาสามารถเรียนรู้ และพัฒนาทักษะที่เป็นความต้องการของสถานประกอบการ และกลุ่มที่ 3 นักศึกษา หรือนักศึกษาสหกิจศึกษา ซึ่งเป็นผู้รับการเตรียมความพร้อมจากสถานศึกษาก่อนออกปฏิบัติสหกิจศึกษา และปฏิบัติงานสหกิจศึกษาในสถานประกอบการภายใต้การดูแลของพี่เลี้ยงและอาจารย์นิเทศ [2] อย่างไรก็ตามในช่วงสถานการณ์การระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 รัฐบาลได้ออกนโยบายรักษาระยะห่างและป้องกันการระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ส่งผลกระทบต่อรูปแบบการเรียนการสอนสหกิจศึกษาเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปฏิบัติงานในลักษณะ Work From Home ที่ทำให้การติดต่อสื่อสารระหว่างผู้เกี่ยวข้องทั้ง 3 กลุ่ม นักศึกษา อาจารย์นิเทศ สถานประกอบการต้องถูกปรับเปลี่ยนให้อยู่ในรูปแบบออนไลน์ทั้งหมด อีกทั้งงานสหกิจศึกษามีเอกสารจำนวนมากที่ต้องรับและส่ง และมีหลายขั้นตอน การปรับเปลี่ยนรูปแบบการบริหาร

จัดการเอกสารสหกิจศึกษาให้อยู่ในรูปแบบออนไลน์มีความจำเป็นอย่างยิ่ง ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดพัฒนาระบบบริหารจัดการข้อมูลสหกิจศึกษาบนแพลตฟอร์มออนไลน์พร้อมการนำเสนอข้อมูลในเชิงวิเคราะห์เชิงลึก เพื่อจัดการเอกสารสหกิจศึกษาและสนับสนุนการวางแผนและตัดสินใจในการบริหารจัดการกิจกรรมของงานสหกิจศึกษา

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สถาปัตยกรรมข้อมูล

สถาปัตยกรรมข้อมูล (Information Architecture) คือ การจัดระเบียบข้อมูลและโครงสร้างข้อมูลโดยอาศัยทั้งศาสตร์และศิลป์เพื่อทำให้เกิดประสิทธิภาพในการเข้าถึงข้อมูลและค้นหาข้อมูล สถาปัตยกรรมข้อมูล การออกแบบและจัดระเบียบข้อมูลของระบบสารสนเทศ และรวมไปถึงเว็บไซต์ แอปพลิเคชัน ผลิตภัณฑ์ดิจิทัลอื่น โดยมุ่งเน้นให้ผู้ใช้ค้นหาสารสนเทศที่ตนเองต้องการได้โดยง่าย สะดวก และรวดเร็ว [3][4]

กระบวนการสถาปัตยกรรมข้อมูล ประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 1

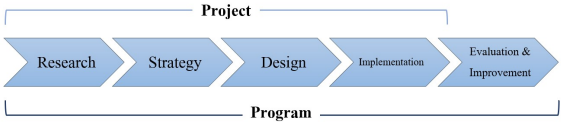
ขั้นตอนที่ 1 การค้นคว้า เพื่อทำความเข้าใจเป้าหมายและบริบทของงานหรือธุรกิจ สถาปัตยกรรมข้อมูลที่มีอยู่ เนื้อหา กลุ่มเป้าหมาย ในขั้นตอนนี้สามารถใช้วิธีการที่หลากหลายในการสำรวจของข้อมูล

ขั้นตอนที่ 2 การพัฒนากลยุทธ์สถาปัตยกรรมข้อมูล ให้มีความสอดคล้องกับบริบทของงานหรือธุรกิจ และกลุ่มเป้าหมาย เป็นการกำหนดกรอบสถาปัตยกรรมสารสนเทศ กำหนดทิศทางและขอบเขตที่จะพัฒนา

ขั้นตอนที่ 3 การออกแบบ เป็นขั้นตอนการสร้างพิมพ์เขียวของสถาปัตยกรรมข้อมูล และพจนานุกรมข้อมูลที่จะใช้โดยละเอียด

ขั้นตอนที่ 4 การสร้างสถาปัตยกรรมข้อมูลตามที่ได้ออกแบบไว้ ขั้นตอนนี้จะทำการจัดระเบียบและติดป้าย (Label) เอกสาร การทดสอบและการแก้ไขปัญหา

ขั้นตอนสุดท้าย คือ การบริหาร การประเมิน และการปรับปรุงสถาปัตยกรรมข้อมูลของเว็บไซต์ ในขั้นตอนนี้จะเป็นการติดป้ายเอกสารใหม่และกำจัดเอกสารเก่า ตรวจสอบการใช้งานและความคิดเห็นของผู้ใช้



รูปที่ 1 แผนภาพกระบวนการสถาปัตยกรรมข้อมูล

2.2 การแสดงผลด้วยภาพ

การแสดงผลด้วยภาพ (Data Visualization) คือ การนำข้อมูลจากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ มานำเสนอออกมาในรูปแบบของกราฟ (Graph) หรือแผนภูมิ (Chart) เพื่อการทำความเข้าใจปรากฏการณ์ที่ซับซ้อน กฎและคำอธิบาย กราฟเป็นวิธีที่ทรงพลังในการให้คำตอบที่มองเห็นได้สำหรับปัญหาที่มักเป็นนัยของการเปรียบเทียบ แนวโน้ม ใจได้และยังช่วยให้ผู้อ่านสามารถคิดในเชิงลึกซึ้งได้ดียิ่งขึ้น [5] เนื่องจากภาพสามารถสื่ออารมณ์และความรู้สึกนอกเหนือจากข้อเท็จจริง [6] ปัจจุบันมีการนำการแสดงผลด้วยภาพไปใช้สนับสนุนการตัดสินใจและช่วยสนับสนุนการทำงานในรูปแบบต่าง ๆ เช่น สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้จัดทำแผงหน้าปัดธุรกิจหรือ Dashboard ที่มีการปรับปรุงข้อมูลแบบกึ่งเวลาจริง เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพและความก้าวหน้าในการให้บริการ และผู้บริหารสามารถใช้ในการกำหนดทิศทางการตัดสินใจ และสนับสนุนการบริหารจัดการในด้านต่าง ๆ [7] ในปัจจุบันมีเครื่องมือที่ใช้ในการสร้างการแสดงผลด้วยภาพอยู่หลายตัว แต่ที่เป็นที่นิยมใช้ ได้แก่ Tableau, Microsoft Power BI และ Google Looker studio

2.3 แพลตฟอร์มทางการศึกษา

"แพลตฟอร์ม" ถูกใช้กันอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะในทางธุรกิจมีคำว่า ธุรกิจแพลตฟอร์ม ที่สื่อความหมายถึงการนำเอาเทคโนโลยีสารสนเทศมาพัฒนาแพลตฟอร์มที่เป็นพื้นที่สำหรับให้ผู้ให้บริการและผู้รับบริการมาทำธุรกรรมผ่านระบบออนไลน์ที่สร้างประโยชน์ให้ทั้ง 2 ฝ่าย

สำหรับแพลตฟอร์มทางการศึกษา (Education platform) คือ พื้นที่ที่ผู้สอนและผู้เรียนสามารถแลกเปลี่ยนเรียนรู้ ทำกิจกรรมที่สร้างประโยชน์ให้กับทั้งผู้เรียนและผู้สอน และเป็นที่ที่สร้างการมีส่วนร่วมระหว่างผู้เรียนและผู้สอนให้มีปฏิสัมพันธ์กันได้สะดวก [8]

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อจัดทำสถาปัตยกรรมข้อมูล (Information Architecture : IA) เพื่อให้ได้โครงสร้างข้อมูลที่ต้องการนำเสนอ ในขั้นตอนการสร้าง IA ผู้วิจัยดำเนินการนำข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้จากขั้นตอนเตรียมข้อมูลมานิยาม (Ontology) จัดหมวดหมู่และเรียงลำดับ (Taxonomy) และกำหนดรูปแบบการเข้าถึงของผู้ใช้งาน (Choreography) จากนั้นวิเคราะห์ระบบงาน และออกแบบส่วนต่าง ๆ เพื่อพัฒนางานตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย รายละเอียดในหัวข้อนี้มีดังนี้

3.1 การศึกษาระบบงานเดิม

สหกิจศึกษา (Cooperative Education) เป็นระบบการศึกษาที่เน้นการปฏิบัติงานในสถานประกอบการอย่างมีระบบ โดยหน่วยงานการศึกษาเป็นผู้จัดการให้นักศึกษาได้ฝึกประสบการณ์โดยตรงกับสถานประกอบการเสมือนเป็นพนักงานชั่วคราว ในรูปแบบผสมผสานระหว่างการเรียนกับการปฏิบัติงานจริง (Work Integrated Learning: WIL) ดังนั้นสหกิจศึกษาจึงถูกผลักดันให้เข้าสู่การบรรจุลงในหลักสูตรการเรียนการสอนระดับปริญญาตรีของมหาวิทยาลัยไทย สำหรับคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครได้มีการพัฒนาหลักสูตรการเรียนการสอนที่นำสหกิจศึกษามาใช้ทุกหลักสูตร โดยโครงสร้างหน่วยงานสหกิจศึกษาของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีประกอบด้วย คณะกรรมการสหกิจศึกษาประจำคณะฯ หัวหน้างานสหกิจศึกษา อาจารย์ผู้ประสานงานสหกิจศึกษาประจำสาขาวิชา และอาจารย์นิเทศ ซึ่งงานสหกิจศึกษาของคณะวิทยาศาสตร์ฯ อยู่ภายใต้ฝ่ายวิชาการ วิจัยและบริการวิชาการ โดยการบริหารตาม

ข้อบังคับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครว่าด้วยการจัดสหกิจศึกษาและการฝึกงานวิชาชีพ พ.ศ. 2553 กำหนดให้นักศึกษาระดับชั้นปีที่ 4 ลงทะเบียนเรียนรายวิชาสหกิจศึกษาของแต่ละสาขาวิชาในภาคเรียนที่ 1 และกำหนดกิจกรรมสหกิจศึกษา ออกเป็น 3 กิจกรรมหลัก คือ (1) กิจกรรมก่อนการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา (2) กิจกรรมระหว่างปฏิบัติงานสหกิจศึกษา และ (3) กิจกรรมหลังปฏิบัติงานสหกิจ

กิจกรรมก่อนออกฝึกปฏิบัติงานสหกิจศึกษา เป็นกิจกรรมที่เริ่มขึ้นในรายวิชาเตรียมสหกิจศึกษาของแต่ละสาขาวิชา เพื่อเตรียมความพร้อมด้านวิชาการและด้านทักษะต่าง ๆ ให้แก่นักศึกษาชั้นปีที่ 3 ในภาคเรียนที่ 2 ของทุกปีการศึกษา รวมทั้งให้นักศึกษาได้สมัคร และเข้ารับการตรวจสอบคุณสมบัติการเป็นนักศึกษาสหกิจศึกษาของคณะฯ ดำเนินการจัดหาหน่วยงานสถานประกอบการเพื่อขอเข้าฝึกปฏิบัติงานสหกิจศึกษา เข้ารับการปฐมนิเทศก่อนออกฝึกปฏิบัติงาน และรับมอบหนังสือส่งตัวนักศึกษาเพื่อนำส่งสถานประกอบการต่อไป

กิจกรรมระหว่างปฏิบัติงานสหกิจศึกษา นักศึกษาของคณะฯ เข้าปฏิบัติงานจริง ณ สถานประกอบการตลอดระยะเวลา 1 ภาคการศึกษา หรือประมาณ 4 เดือน ภายใต้การกำกับดูแลจากพนักงานพี่เลี้ยงที่สถานประกอบการเป็นกำหนด และการให้คำปรึกษาจากอาจารย์นิเทศซึ่งคณะฯ แต่งตั้งให้ดูแลนักศึกษา โดยระหว่างการฝึกปฏิบัติงานนักศึกษาจะต้องดำเนินการส่งเอกสารต่าง ๆ แก่พนักงานพี่เลี้ยงและอาจารย์นิเทศอย่างต่อเนื่อง และเข้ารับการนิเทศงานจากอาจารย์นิเทศ นอกจากนั้นนักศึกษายังต้องดำเนินโครงงานที่ได้รับมอบหมายจากพนักงานพี่เลี้ยงให้เสร็จสิ้น พร้อมจัดทำรายงานสหกิจศึกษาและนำส่งอาจารย์นิเทศเพื่อประเมินผล

กิจกรรมหลังการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา เป็นกิจกรรมที่เริ่มต้นจากนักศึกษารายงานตัวกลับจากการปฏิบัติงานสหกิจศึกษาแก่คณะฯ ผ่านอาจารย์นิเทศ และอาจารย์ ผู้ประสานงานสหกิจศึกษาประจำสาขาวิชา พร้อมนำส่งรายงานสหกิจศึกษาเพื่อให้อาจารย์นิเทศได้ประเมินผลคะแนน และนักศึกษาต้องเข้าร่วมกิจกรรมนำเสนอผลการปฏิบัติงานของนักศึกษาที่งานสหกิจศึกษาของคณะฯ จัดขึ้น จากนั้นงานสหกิจศึกษาจะสรุปผลในรูปแบบรายงานเพื่อนำเสนอคณะกรรมการสหกิจศึกษาประจำคณะฯ และระดับมหาวิทยาลัย รวมทั้งส่งกลับไปยังสถานประกอบการอีกด้วย

3.2 การเตรียมชุดข้อมูล

การเตรียมชุดข้อมูล (Data Preparation) เป็นขั้นตอนจัดเตรียมข้อมูลงานสหกิจศึกษา โดยงานวิจัยนี้ใช้งานสหกิจศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการข้อมูลและเทคโนโลยีสารสนเทศด้วยแพลตฟอร์มออนไลน์เป็นกรณีศึกษา โดยใช้แพลตฟอร์มออนไลน์ของผลิตภัณฑ์จากบริษัทกูเกิล (Google Product)

สำหรับงานสหกิจศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการข้อมูลฯ ปีการศึกษา 2565 เป็นปีแรกของการออกปฏิบัติงานสหกิจศึกษาของนักศึกษาของหลักสูตรนี้ เนื่องจากหลักสูตรฯ เปิดการเรียนการสอนครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2562 และในปี พ.ศ. 2565 หลักสูตรฯ จึงมีนักศึกษาชั้นปีที่ 4 โดยนักศึกษาได้ลงทะเบียนเรียนวิชาเตรียมสหกิจศึกษาในภาคเรียนที่ 2/2564 (พ.ย. 2564 - มี.ค. 2565) เพื่อเตรียมความพร้อมในด้านต่าง ๆ แก่นักศึกษา และสรรหาสถานประกอบการเพื่อปฏิบัติงานสหกิจศึกษาในภาคเรียนที่ 1/2565 (มิ.ย. - ต.ค. 2565) จากห้วงเวลาของกรณีศึกษา คณะผู้วิจัยได้พัฒนาเครื่องมือสำหรับการจัดเก็บข้อมูล เก็บรวบรวมข้อมูล และดำเนินการเตรียมข้อมูลรายละเอียดดังนี้

การเลือกเครื่องมือสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูล งานวิจัยนี้เลือก Google Sheet เป็นเครื่องมือสำหรับเก็บข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้จากการบันทึกจากเครื่องมือสำรวจข้อมูล Google Form และ Appsheet และเลือกใช้ Google Form และใช้เทคนิคการเขียนโปรแกรมดึงข้อมูลจากหน้าเว็บ (Web Scrapping) ที่พัฒนาด้วยภาษาไพธอนร่วมกับไลบรารีและเฟรมเวิร์คต่าง ๆ เป็นเครื่องมือสำรวจและเก็บข้อมูล สำหรับแบบฟอร์มออนไลน์สำรวจข้อมูลมี ดังนี้

ก) แบบฟอร์มสำรวจข้อมูลนักศึกษาสหกิจศึกษา

ข) แบบฟอร์มกรอกข้อมูลสัญญาการเข้ารับการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา

ค) แบบฟอร์มประเมินผลการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา (ส่วนพี่เลี้ยง)

ง) แบบฟอร์มประเมินผลการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา (ส่วนอาจารย์นิเทศ)

จ) แบบฟอร์มประเมินรายงานสหกิจศึกษา

ฉ) แบบฟอร์มประเมินสถานประกอบการ

ช) แบบฟอร์มนำส่งเอกสารสหกิจศึกษา

3.2.1 ชุดข้อมูลสำหรับงานวิจัย

จากการใช้เครื่องมือ และเก็บรวบรวมข้อมูลข้างต้น ข้อมูลทั้งหมดถูกจัดเก็บในรูปแบบข้อมูลตารางด้วยเครื่องมือ Google Sheet รายละเอียดตารางข้อมูลมี ดังนี้

ก) ตารางข้อมูลนักศึกษาสหกิจศึกษา

ข) ตารางข้อมูลสถานประกอบการ

ค) ตารางข้อมูลอาจารย์นิเทศ

ง) ตารางข้อมูลสัญญาการเข้ารับการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา

จ) ตารางข้อมูลประเมินผลสหกิจศึกษา (ส่วนพี่เลี้ยง)

ฉ) ตารางข้อมูลประเมินผลสหกิจศึกษา (ส่วนอาจารย์นิเทศ)

ช) ตารางข้อมูลประเมินรายงานสหกิจศึกษา

ซ) ตารางข้อมูลประเมินสถานประกอบการ

ฌ) ตารางข้อมูลเอกสารสหกิจศึกษา

ญ) ตารางข้อมูลกำหนดการนิเทศสหกิจศึกษา

โดยข้อมูลนักศึกษา ข้อมูลประเมินผลสหกิจศึกษาของพี่เลี้ยงและอาจารย์นิเทศ สัญญาการเข้ารับการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา และข้อมูลเอกสารสหกิจศึกษา จัดเก็บและรวบรวมโดยใช้แบบฟอร์มออนไลน์ข้างต้น สำหรับข้อมูลสถานประกอบการดำเนินการเก็บข้อมูลด้วยเทคนิค Web Scrapping เพื่อดึงข้อมูลจากหน้าเว็บ dataforthai.com ซึ่งเป็นเว็บไซต์ที่ให้บริการด้านข้อมูลสถานประกอบการ ส่วนข้อมูลอาจารย์นิเทศ เก็บรวบรวมข้อมูลด้วยเทคนิควิธีดึงข้อมูลจากเว็บ (Web Scrapping) จากเว็บไซต์บุคลากรของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

3.2.3 การทำความสะอาดข้อมูล (Data Cleansing)

ข้อมูลทั้งหมดที่เลือกถูกนำมาผ่านกระบวนการทำความสะอาดข้อมูล เริ่มต้นจากสำรวจเพื่อแจกแจงข้อมูล (Parsing Data) การแก้ไขข้อมูลที่ผิดพลาด (Correcting Data) ทั้งในส่วนข้อมูลขาดหาย

รูปแบบที่ผิดพลาด แยกข้อมูลออกจากมิติเดียวกัน การรวมข้อมูล แทนค่าข้อมูล จากนั้นกำหนดรูปแบบข้อมูลให้สอดคล้องกัน

3.2.4 การแปลงข้อมูล (Data Transformation)

ชุดข้อมูลที่ผ่านกระบวนการทำความสะอาดเรียบร้อยแล้ว ข้อมูลจะถูกนำมาแปลงชื่อคอลัมน์ หรือมิติข้อมูลให้เหมาะสม สร้างมิติข้อมูลเพิ่ม และสร้างคีย์หลักสำหรับการเชื่อมตารางข้อมูล (Bernd Data) จากนั้นอัปโหลดขึ้นสู่แหล่งเก็บข้อมูลออนไลน์ โดยงานวิจัยนี้เลือกใช้ Google Drive เก็บชุดข้อมูลทั้งหมด ด้วยเครื่องมือ Google Sheet ทั้งนี้ก็เพื่อให้สะดวกต่อการเชื่อมต่อข้อมูลกับเครื่องมือสร้างแดชบอร์ด คือ Looker Studio และ Appsheet พจนานุกรมข้อมูลงานสหกิจศึกษาที่ผ่านการจัดเตรียมข้อมูล

3.3 การออกแบบโครงสร้างการพัฒนาระบบ

คณะผู้วิจัยได้ออกแบบโครงสร้างการพัฒนาระบบออกเป็น 3 ส่วนหลัก คือ กระบวนการเก็บรวบรวมข้อมูลและจัดเตรียมข้อมูล กระบวนการออกแบบและพัฒนาระบบงาน และกระบวนการเผยแพร่ รายละเอียดในแต่ละกระบวนการมีดังนี้

3.3.1 กระบวนการ: เก็บรวบรวมข้อมูลและจัดเตรียมข้อมูล (Process: Data Collection and Data Preparation)

งานวิจัยนี้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลจากผู้ที่เกี่ยวข้องด้วยแบบฟอร์มสำรวจข้อมูลออนไลน์ Google Form และใช้เทคนิคดึงข้อมูลจากหน้าเว็บที่เกี่ยวข้อง (Web Scrapping) แล้วจัดเก็บในรูปแบบข้อมูลตารางด้วยเครื่องมือ Google Sheet จากนั้นนำข้อมูลที่เก็บได้มาผ่านกระบวนการจัดเตรียมข้อมูล เพื่อทำให้ข้อมูลพร้อมต่อการสร้างส่วนแอปพลิเคชัน และแดชบอร์ดข้อมูลต่อไป

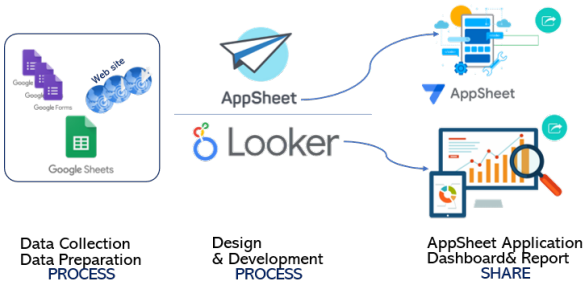
3.3.2 กระบวนการ: ออกแบบและพัฒนาแอปพลิเคชันและแดชบอร์ดข้อมูล (Process: Design & Development)

งานวิจัยนี้ทำการพัฒนาซอฟต์แวร์ 2 ส่วน คือ ส่วนการพัฒนาแอปพลิเคชันงานสหกิจศึกษาด้วยเครื่องมือ AppSheet เพื่อบริหารจัดการข้อมูลงานสหกิจศึกษาส่วนการบันทึกข้อมูลกำหนดการนิเทศ และแสดงข้อมูลต่าง ๆ ของระบบบนแพลตฟอร์มมือถือ ดำเนินการออกแบบส่วนต่อประสาน (UI Design) เชื่อมต่อข้อมูลกับตารางข้อมูล Google Sheet ที่ได้จากกระบวนการเก็บรวบรวมข้อมูล และส่วนการพัฒนาแดชบอร์ดและรายงานข้อมูลงานสหกิจศึกษาด้วยเครื่องมือนำเสนอข้อมูลด้วยภาพของ Google คือ Looker Studio

3.3.3 กระบวนการ: เผยแพร่ (Process: Share)

ผลลัพธ์ที่ได้การพัฒนาระบบงานสหกิจศึกษาของงานวิจัย คือ แอปพลิเคชันงานสหกิจศึกษาสำหรับอาจารย์นิเทศ และแดชบอร์ดนำเสนอข้อมูล โดยในกระบวนการเผยแพร่ใช้วิธีการเผยแพร่ผ่านลิงก์ (URL) ของระบบงานไปยังบุคคลที่เกี่ยวข้อง

โครงสร้างกระบวนการพัฒนาระบบงานสหกิจศึกษาบนแพลตฟอร์มออนไลน์ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 โครงสร้างกระบวนการพัฒนาระบบงานสหกิจศึกษาบนแพลตฟอร์มออนไลน์

เครื่องมือพัฒนาแอปพลิเคชันงานวิจัยนี้เลือกใช้เครื่องมือสำหรับบันทึกข้อมูลกำหนดการนิเทศ และบริหารจัดการข้อมูลสถานประกอบการ ข้อมูลนักศึกษา ข้อมูลอาจารย์ด้วยซอฟต์แวร์ AppSheet

ส่วนเครื่องมือสร้างแดชบอร์ดและรายงานนำเสนอข้อมูลเลือกใช้ Looker Studio ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัทกูเกิล ด้านการนำเสนอข้อมูลด้วยภาพ (Data Visualization) สนับสนุนการสร้างข้อมูลด้วยภาพแผนภูมิชนิดต่าง ๆ ในรูปแบบแดชบอร์ดข้อมูลเชิงโต้ตอบ (Interactive Dashboard) โดยผลลัพธ์ที่ได้จากแดชบอร์ดข้อมูลจะถูกใช้เป็นข้อมูลสำคัญสำหรับการวางแผน และปรับปรุงงานสหกิจศึกษาของหลักสูตรฯ

3.4 การออกแบบระบบงาน

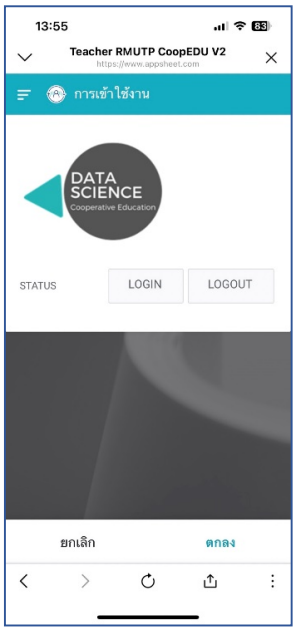
จากโครงสร้างของการพัฒนาระบบงานสหกิจศึกษาบนแพลตฟอร์มออนไลน์ข้างต้น คณะวิจัยได้นำผลการวิเคราะห์มาทำการออกแบบระบบงาน (System Design) โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนงาน คือ การออกแบบส่วนพัฒนาแอปพลิเคชันด้วย AppSheet และการออกแบบส่วนแดชบอร์ดและรายงานนำเสนอข้อมูลด้วยภาพ รายละเอียดดังต่อไปนี้

3.4.1 การออกแบบแอปพลิเคชันสหกิจศึกษา

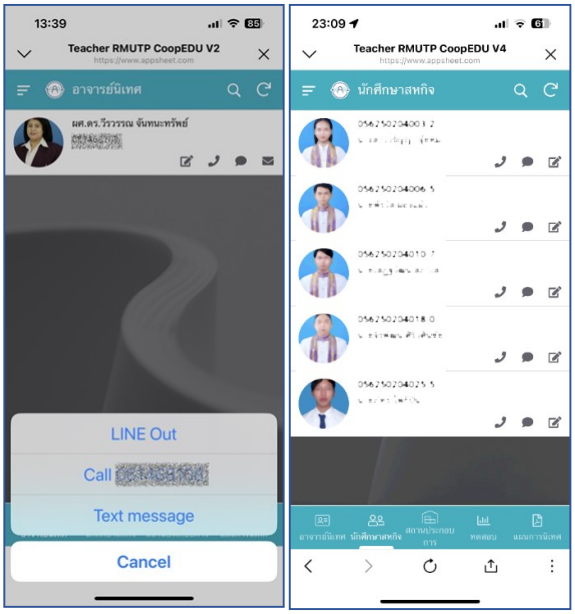
แอปพลิเคชันสหกิจศึกษา เป็นส่วนงานสำหรับอาจารย์นิเทศใช้ในการบันทึกข้อมูลกำหนดการนิเทศ รับทราบข้อมูลสถานประกอบการ และข้อมูลนักศึกษาสหกิจที่ตนเองดูแลในรูปแบบของแพลตฟอร์มบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Application) คณะผู้วิจัยออกแบบเครื่องมือสำหรับการพัฒนาด้วยเครื่องมือ AppSheet เชื่อมต่อกับข้อมูลตารางที่จัดเก็บด้วย Google Sheet และได้ออกแบบส่วนต่อประสาน (User Interface; UI) ของแอปพลิเคชันในส่วนนี้ออกเป็น 4 หน้าจอหลัก ประกอบด้วย

ก) UI การใช้งาน
ข) UI อาจารย์นิเทศ
ค) UI นักศึกษา
ง) UI สถานประกอบการ
จ) UI เอกสารการนิเทศ

ตัวอย่างหน้า UI แอปพลิเคชันสหกิจศึกษา



รูปที่ 3 UI หน้า Login เข้าใช้งาน



รูปที่ 4 UI หน้าอาจารย์นิเทศ และหน้านักศึกษา

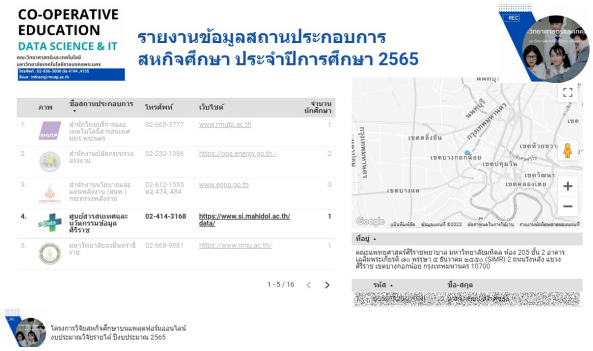
3.4.2 การออกแบบแดชบอร์ดและรายงานนำเสนอข้อมูล

เป็นการนำผลลัพธ์ข้อมูลทั้งหมดจากการสำรวจด้วยแบบฟอร์ม Google Form และจากการปรับปรุงข้อมูลด้วยแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ข้างต้น มาสร้างส่วนต่อประสานในรูปแบบแดชบอร์ดเชิงโต้ตอบ (Interactive Dashboard) ด้วยเครื่องมือ Looker Studio สำหรับงานวิจัยนี้ออกแบบหน้าจอส่วนต่อประสานจำนวน 5 หน้าจอ ประกอบด้วย

ก) แดชบอร์ดนำเสนอข้อมูลงานสหกิจศึกษา
ข) รายงานข้อมูลนักศึกษาสหกิจศึกษา
ค) รายงานข้อมูลสถานประกอบการ
ง) รายงานข้อมูลอาจารย์นิเทศ
จ) รายงานข้อมูลสรุปผลการประเมิน



รูปที่ 5 แดชบอร์ดนำเสนอข้อมูลงานสหกิจศึกษา



รูปที่ 6 รายงานข้อมูลสถานประกอบการ

4. ผลการวิจัย

ผลลัพธ์ที่ได้การดำเนินงานวิจัยประกอบด้วย ชุดข้อมูลงานสหกิจศึกษาของหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการข้อมูลและเทคโนโลยีสารสนเทศ แอปพลิเคชันสหกิจศึกษาบนโทรศัพท์เคลื่อนที่สำหรับอาจารย์นิเทศ และแดชบอร์ดนำเสนอข้อมูลงานสหกิจศึกษาเชิงโต้ตอบ คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการทดสอบ ดังนี้

1) ผลการเก็บรวบรวมข้อมูล พบว่า แบบฟอร์มสำรวจออนไลน์ Google Form สามารถเก็บข้อมูลงานสหกิจศึกษาได้ครบถ้วน มีความสะดวก รวดเร็ว นอกจากนั้นยังช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายการใช้กระดาษในหน่วยงานเป็นจำนวนมาก ช่วยลดภาวะโลกร้อนอันเป็นการส่งเสริมนโยบายภาครัฐ

2) ผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของแอปพลิเคชันสหกิจศึกษาบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ พบว่า อาจารย์นิเทศสามารถเข้าใช้งาน และสามารถแก้ไขและปรับปรุงข้อมูลโดยเฉพาะอย่างยิ่งข้อมูลกำหนดการนิเทศ อย่างไรก็ตามแอปพลิเคชันยังไม่สามารถจัดรูปแบบเอกสารให้สอดคล้องกับเอกสารจริงที่ใช้งานอยู่ เนื่องจากปัญหาการ

จัดรูปแบบของเครื่องมือที่เลือกใช้ทำให้ส่วนการสร้างเอกสารยังไม่สามารถใช้งานจริงได้ นอกจากนั้นยังพบปัญหาการจำกัดจำนวนบัญชีผู้เข้าใช้งานของ AppSheet อีกด้วย

3) ผลการทดสอบการนำเสนอข้อมูลจากหน้าแดชบอร์ดนำเสนอข้อมูล พบว่า แดชบอร์ดนำเสนอข้อมูลงานสหกิจศึกษานำเสนอข้อมูลได้ตามขอบเขตของงานวิจัย สามารถสนับสนุนการเลือกดูข้อมูลจากผู้ใช้งานแบบเชิงโต้ตอบได้

4) ผลการประเมินจากความพึงพอใจของผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 5 คนที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับงานสหกิจศึกษาของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี พบว่า ผู้ทรงคุณวุฒิมีระดับความพึงพอใจโดยรวมต่องานสหกิจศึกษาบนแพลตฟอร์มออนไลน์ ในระดับดีมาก ที่ค่าเฉลี่ย 4.88 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.15

5) ผลการศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้งานทั่วไปกลุ่มตัวอย่างจำนวน 25 ราย พบว่า ผู้ใช้งานทั่วไปมีระดับความพึงพอใจในภาพรวมต่องานสหกิจศึกษาบนแพลตฟอร์มออนไลน์ ในระดับดี ที่ค่าเฉลี่ย 4.41 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.64

5. สรุปผลงานวิจัย

งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนางานสหกิจศึกษาบนแพลตฟอร์มออนไลน์ โดยดำเนินการตามศาสตร์ด้านวิทยาการข้อมูลที่ประกอบด้วยขั้นตอนการเตรียมชุดข้อมูล การวิเคราะห์และออกแบบ การพัฒนาแอป-พลิเคชัน และการพัฒนาแดชบอร์ดข้อมูล และเลือกใช้เครื่องมือบนแพลตฟอร์มออนไลน์ของบริษัทกูเกิล (Google) ประกอบด้วย Google Form, AppSheet, Google Sheet และ Looker Studio นอกจากนั้นยังใช้เทคนิคการดึงข้อมูลจากหน้าเว็บ (Web Scraping) ผลงานวิจัยพบว่าอาจารย์นิเทศสามารถเข้าใช้งานแอปพลิเคชันสหกิจศึกษาบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ และสามารถแก้ไขปรับปรุงข้อมูลได้ แดชบอร์ดนำเสนอข้อมูลงานสหกิจศึกษาสามารถนำเสนอข้อมูลได้ตามขอบเขตของงานวิจัย และสนับสนุนการเลือกดูข้อมูลจากผู้ใช้งานแบบเชิงโต้ตอบ ซึ่งมีประโยชน์ในการบริหารจัดการงานสหกิจศึกษา และเป็นเครื่องมือที่ช่วยวิเคราะห์จุดแข็งและจุดที่ต้องปรับปรุงได้อีกด้วย

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครที่ให้การสนับสนุนทุนในการดำเนินงานวิจัย และขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ ในการให้ทุนสนับสนุนงบประมาณในการนำเสนอบทความในการประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ครั้งที่ 7 นี้

7. เอกสารอ้างอิง

[1] มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร. (15 กรกฎาคม 2565). ข้อบังคับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ว่าด้วยการจัดสหกิจศึกษาและการฝึกงานวิชาชีพ. สืบค้นจาก https://sci.rmutp.ac.th/web2558/wp-content/uploads/2020/10/ข้อบังคับฯ-งานสหกิจ-4-ก.พ.56.pdf

[2] สำนักส่งเสริมวิชาการและงานทะเบียน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร. (15 กรกฎาคม 2565). คู่มือสหกิจศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร. สืบค้นจาก https://sci.rmutp.ac.th/web2558/wp-content/uploads/2020/10/คู่มือสหกิจศึกษา-มทร.พระนคร.pdf

[3] W. Ding, X. Lin, *Information Architecture: The Design and Integration of Information Spaces*. Morgan & Claypool Publishers, 2010.

[4] L. Rosenfeld, P. Morville, *Information Architecture for the World Wide Web*, O'Reilly Media, 2006.

[5] M. Friendly, H. Wainer, *A History of Data Visualization and Graphic Communication*. Harvard University Press, Cambridge, 2021.

[6] J. Steele and N. Iliinsky, *Beautiful Visualization: Looking at Data through the Eye of Experts*. O'Reilly Media, New York, 2010.

[7] อภิยศ เหรียญวิพัฒน์, การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อสร้าง Dashboard แสดงสถิติการใช้บริการกึงเรียลไทม์ของสำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. *การประชุมวิชาการระดับชาติ PULINET ครั้งที่ 10* (น. 117-126). สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยทักษิณ.

[8] "Education Platform for Thailand 4.0," *เดอะ โนวเลจ*, ปีที่ 1, ฉบับที่ 6, หน้า 3-5, สิงหาคม - กันยายน 2560.



นริศรา นาคเมธี
อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
งานวิจัยที่สนใจ: การประมวลผลภาษาธรรมชาติ, การค้นคืนข้อมูล, เหมืองข้อมูล



ชาญวิทย์ ปราบพยัคฆ์
อาจารย์ประจำหมวดวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
งานวิจัยที่สนใจ: ทฤษฎีจำนวน, พีชคณิต



สยาม ลางคุลเสน
อาจารย์ประจำหมวดวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
งานวิจัยที่สนใจ: งานวิจัยด้านสถิติประยุกต์



วีรวรรณ จันทนะทรัพย์
อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
งานวิจัยที่สนใจ: การประมวลผลภาพดิจิทัล, การนำเสนอข้อมูลด้วยภาพ, ระบบปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์และคอมพิวเตอร์

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

การศึกษาประสิทธิภาพการพยากรณ์ฝุ่น PM2.5 ในเขตกรุงเทพมหานคร โดยแบบจำลองไฮบริดร่วมกับค่าถ่วงน้ำหนัก

Efficiency study of PM2.5 forecasting in Bangkok by the Hybrid Model with Weighted values.

ธัชกร พลเสนา[1*] และ ดวงใจ จิตคงชื่น, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.[2]

มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ คณะวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขา วิศวกรรมข้อมูลขนาดใหญ่

110/1-4 ประชาชื่น หลักสี่ กรุงเทพฯ 10210

645162020017@dpu.ac.th[1] และ duangjai.jit@dpu.ac.th[2]

บทคัดย่อ

กรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็นเมืองหลวงของประเทศไทยนั้น มักประสบปัญหาฝุ่นละออง PM2.5 ในช่วงฤดูหนาว โดยเดือนมกราคม พ.ศ. 2566 ที่ผ่านมา เริ่มมีรายงานข่าวถึงเขตที่มีค่าฝุ่นละออง PM2.5 เกินกว่ามาตรฐานที่กรมควบคุมมลพิษกำหนด ฝุ่นละออง PM2.5 เป็นปัญหาที่ควรให้ความสำคัญ อันเนื่องมาจากฝุ่นละออง PM2.5 เป็นตัวกลางพาสารอันตรายเข้าสู่ปอด ผู้วิจัยจึงเกิดแนวคิดในการพัฒนาประสิทธิภาพการพยากรณ์ฝุ่น PM2.5 ด้วยแบบจำลองไฮบริดตามแนวคิดของเริ่มต้นของที่ถือกำเนิดขึ้นในปี ค.ศ. 2003[1] ซึ่งนอกจากใช้แบบจำลอง Arima-LSTM แล้ว ผู้วิจัยทำการเพิ่มแบบจำลอง LSTM-Arima เพื่อทำการถ่วงน้ำหนักและเพิ่มประสิทธิภาพในการพยากรณ์

คำสำคัญ : ฝุ่นละออง PM2.5, การพยากรณ์, แบบจำลองไฮบริด

Abstract

Bangkok which is the capital of Thailand found PM2.5 problems during the winter. In January 2023, there were news reports about areas where PM2.5 exceeded the standard. PM2.5 is a problem that should be addressed. Due to PM2.5 dust, it is a medium that carries harmful substances into the lungs. Therefore, the researcher has the idea of improving the PM2.5 forecasting efficiency with a hybrid model based on the original concept that was born in 2003[1] by using the Arima-LSTM model, the researcher added the LSTM-Arima model for weighting. and increase the efficiency of forecasting.

Keywords: PM2.5; Prediction; Hybrid Model

1. บทนำ

ความต้องการมีสุขภาพที่แข็งแรงเป็นความต้องการพื้นฐานที่ตรงกันของมนุษยชาติ โดยประเทศไทยเริ่มให้ความสำคัญกับปัญหาฝุ่นละออง PM2.5 ในปี พ.ศ. 2562 ซึ่งฝุ่นละออง PM2.5 หรือมีชื่อทางการเรียกว่า “Particulate matter with diameter of less than 2.5 micron” เป็นฝุ่นละอองที่มีขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ทำหน้าที่เป็นตัวกลางพาสารอันตรายต่าง ๆ เข้าสู่ปอด เช่น สารก่อมะเร็ง สารโลหะหนัก เป็นต้น[2] ความสามารถในการพยากรณ์ฝุ่นละออง PM2.5 จึงถือเป็นแนวทางหนึ่งในการป้องกันปัญหาสุขภาพที่อาจเกิดขึ้นจากฝุ่นละออง PM2.5

แบบจำลองที่มักถูกใช้ในการพยากรณ์ฝุ่นละออง PM2.5 คือ แบบจำลองไฮบริด (Hybrid) ตามแนวคิดของ Peter Zhang ในปี ค.ศ. 2003 โดยใช้แบบจำลอง (Auto Regressive Integrated Moving Average: ARIMA) พยากรณ์ข้อมูลที่มีโครงสร้างเชิงเส้น หลังจากนั้นจึงพยากรณ์ค่าส่วนที่เหลือ (Residual) ด้วยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งในขณะนั้น คือ แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks: ANN)

ในปัจจุบันแบบจำลองไฮบริด ได้รับการพัฒนาจากแบบจำลอง ANN เป็นแบบจำลองหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว (Long Short-Term Memory: LSTM) ซึ่งนอกจากแบบจำลองไฮบริดแบบ ARIMA-LSTM แล้ว ผู้วิจัยเกิดแนวคิดในการสร้างแบบจำลองไฮบริดแบบ LSTM-ARIMA เพื่อทำการนำสองแบบจำลองมาหาค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight) เพื่อแก้ปัญหาค่าความคลาดเคลื่อนที่เพิ่มขึ้น หลังจากการพยากรณ์ส่วนที่เหลือ โดยมีแนวทางการถ่วงหน้ำหนักสองแนวทาง[3][4] เพื่อสร้างความเสถียรของแบบจำลองและเพิ่มประสิทธิภาพในการพยากรณ์

2. เนื้อความหลัก

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

C. Yuwei & W. Kaizhi[3] (2019) ทำการวิจัยเพื่อพยากรณ์การดำเนินการบนวงโคจรของดาวเทียมด้วยข้อมูลอนุกรมเวลาตัวแปรการวัดและส่งข้อมูลทางไกลจำนวนมากด้วยแนวคิดแบบจำลอง LSTM-ARIMA โดยเป็นการคำนวณจากทั้ง 2 แบบจำลองแล้วจึงหาค่าน้ำหนัก (Weight) ที่เหมาะสมจากการคำนวณด้วยทั้งสองแบบจำลอง ผลการทดลองพบว่า การคำนวณด้วยแบบจำลอง LSTM ด้วยค่าน้ำหนัก (Weight) เท่ากับ 0.5 และแบบจำลอง ARIMA ด้วยค่าน้ำหนัก (Weight) เท่ากับ 0.5 ให้ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง (Root Mean Squared Error: RMSE) ที่น้อยที่สุด จึงเป็นค่าน้ำหนักที่เหมาะสมของการพยากรณ์

P. Kanokrot & K. Chompoonoot[4] (2022) พัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์ของราคาหอมแดงโดยใช้เทคนิคผสมผสานระหว่าง ARIMA และ LSTM (ARIMA-LSTM). แบบจำลอง ARIMA ใช้ทำนายผลกระทบจากพารามิเตอร์ด้วยอนุกรมเวลาและความสัมพันธ์เชิงเส้น (Linear) ในขณะที่ใช้ LSTM เพื่อทำนายผลกระทบจากพารามิเตอร์ที่มีความสัมพันธ์แบบไม่เชิงเส้น (Non-Linear) โดยใช้ข้อมูล 84 เดือน ระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ. 2557 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2563 มาใช้ในงานวิจัยนี้ ประเมินโดยใช้ตัวบ่งชี้สามตัว ได้แก่ รากที่สองของค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง (Root Mean Squared Error: RMSE) เท่ากับ 10.275 บาท ค่าเฉลี่ยของผลต่างสัมบูรณ์ (Mean Absolute Error: MAE) เท่ากับ 8.512 บาท และค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error : MAPE) เท่ากับ 13.618% ตามลำดับ

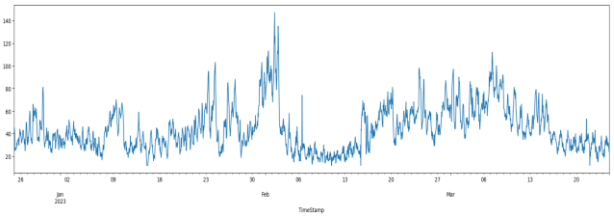
J. Xiao, Q. Wang, J. Cui, & J. Yu[5] (2022) พยากรณ์ข้อมูลค่าฝุ่น PM2.5 โดยใช้ข้อมูลรายชั่วโมงจากสถานที่แห่งหนึ่ง ผลการทดลองพบว่า รากที่สองของค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง (Root Mean Squared Error: RMSE) และรากที่สองของค่าเฉลี่ยความผิดพลาดเปอร์เซ็นต์กำลังสอง (Root Mean Squared Percent Error: RMSPE) ของแบบจำลองไฮบริด ได้ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดน้อยที่สุด จึงสรุปได้ว่าแบบจำลองไฮบริดสามารถให้ค่าพยากรณ์ที่ถูกต้องแม่นยำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการพยากรณ์ด้วยแบบจำลอง LSTM อย่างเดียว

2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ในส่วนของฮาร์ดแวร์ใช้คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ค 1 เครื่องในการโปรแกรมด้วยภาษาไพธอน (Python) โดยลักษณะของภาษา สามารถเรียนรู้การใช้งานได้ง่าย และรองรับงานวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์ข้อมูล (Data Science) พัฒนาและทดสอบบน Google Collaboratory ซึ่งเป็นบริการ Software as a Service (Saas) โฮสต์โปรแกรม Jupyter Notebook บน Cloud จาก Google

2.3 ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

ใช้ข้อมูลรายชั่วโมง จากเขตปทุมวันตั้งแต่วันที่ 25 ธันวาคม พ.ศ. 2565 เวลา 0:00 น. ถึง 24 มีนาคม พ.ศ. 2566 เวลา 23:00 น. รวม 2,160 รายการ จากข้อมูลจากกองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง สังกัดกรุงเทพมหานคร[6]



รูปที่ 1 ข้อมูล PM2.5 รายชั่วโมง จากเขตปทุมวัน

ตารางที่ 1 ตัวแปรที่ใช้ในการพยากรณ์

ลำดับ	ตัวแปร	คำอธิบาย
1	WS (m/s)	ความเร็วลม (Wind Speed)
2	WD (Deg)	ทิศทางลม (Wind Direction)
3	Temp (°C)	อุณหภูมิองศาเซลเซียส (Temperature)
4	RH (%)	ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity)
5	BP (mBar)	ความกดอากาศ (Barometric Pressure)
6	PM2.5 (ug/m3)	ฝุ่นขนาดเล็กที่มีขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน

2.4 แบบจำลองที่ใช้ในการวิจัย

2.4.1 แนวคิดแบบจำลองอาริมา

แบบจำลอง ARIMA เป็นแบบจำลองถดถอย ประกอบด้วยองค์ประกอบของ Autoregression, Integrated และ Moving average เป็นแบบจำลองถดถอยใช้ในการพยากรณ์ข้อมูลอนุกรมเวลาที่อ้างอิง p, d, q ซึ่งสามารถอธิบายแบบจำลอง ARIMA ได้ดังนี้[7]

Auto Regression, AR(p) เป็นส่วนหนึ่งของแบบจำลอง ARIMA ตามแนวคิดที่ว่าจะใช้ความล่าช้าของตัวเอง (ค่าในอดีต) เป็นตัวทำนาย โดยที่พารามิเตอร์ p คือ ขอบเขตของจำนวนความล่าช้าที่เกิดขึ้น

Integrated, I(d) ช่วยทำให้ข้อมูลอนุกรมเวลาอยู่กับที่เพื่อลดการขึ้นต่อกันของเวลาและแนวโน้ม โดยที่พารามิเตอร์ d คือ ระดับความแตกต่างซึ่งหมายถึงจำนวนครั้งที่ข้อมูลมีความแตกต่างกัน ถ้าอนุกรมเวลาหยุดนิ่ง (stationary) ระดับความแตกต่างของมันคือศูนย์

Moving Average, MA(q) ใช้ข้อผิดพลาดที่เหลือ (residual) ของเวลาที่ผ่านมาชี้ให้เห็นการคาดการณ์ในปัจจุบันและอนาคต โดยที่พารามิเตอร์ q คือ จำนวนของข้อผิดพลาดการคาดการณ์ความล่าช้าที่ใช้ในการคำนวณค่าปัจจุบัน

2.4.2 แนวคิดแบบจำลองหน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว

หน่วยความจำระยะสั้นระยะยาว เป็นโครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับ (Recurrent Neural Networks: RNN) โดย LSTM มีสูตรการคำนวณมีดังนี้[8]

$$f_t = \sigma(\boldsymbol{W_f} \cdot [h_{t-1}\boldsymbol{x_t}] + b_f) \quad (1)$$

$$i_t = \sigma(\boldsymbol{W_i} \cdot [h_{t-1}\boldsymbol{x_t}] + b_i) \quad (2)$$

$$c'_t = tanh(\boldsymbol{W_c} \cdot [h_{t-1}\boldsymbol{x_t}] + b_c) \quad (3)$$

$$c_t = i_t c'_t + f_t c_{t-1} \quad (4)$$

$$o_t = \sigma(\boldsymbol{W_o} \cdot [h_{t-1}\boldsymbol{x_t}] + b_o) \quad (5)$$

$$y_t = h_t = tanh(c_t) o_t \quad (6)$$

โดยที่

x_t แทน อินพุตของขั้นตอนเวลาปัจจุบัน
f_t แทน ผลลัพธ์ของเกทลืม
i_t แทน ผลลัพธ์ของเกทอินพุต
o_t แทน ผลลัพธ์ของเกทเอาต์พุต
c_t แทน สถานะของเซลล์ที่ส่งไปยังเซลล์ถัดไป
h_t แทน สถานะที่ซ่อนอยู่ที่ส่งไปยังเซลล์ถัดไป
y_t แทน ผลลัพธ์ของเวลาปัจจุบัน
$w_f, w_i, w_c, w_o, b_f, b_i, b_c$ และ b_o เป็นพารามิเตอร์การฝึกอบรม

2.4.3 แนวคิดแบบจำลองไฮบริด

แบบจำลองที่เกิดจากแนวคิดวิธีการแบบผสมผสานที่มีความสามารถในการสร้างแบบจำลองทั้งเชิงเส้นและไม่เชิงเส้นอาจที่เป็นกลยุทธ์ที่ดีสำหรับการในการใช้งานจริง โดยการรวมโมเดลที่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้ [1]

$$Y_t = L_t + N_t \quad (7)$$

โดยที่

L_t หมายถึง ส่วนข้อมูลที่เป็นโครงสร้างเชิงเส้น
N_t หมายถึง ส่วนข้อมูลที่ไม่เป็นโครงสร้างเชิงเส้น

2.5 เกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินแบบจำลอง

ตารางที่ 2 สูตรคำนวณค่าความคลาดเคลื่อน

ค่าความคลาดเคลื่อน	สูตรคำนวณ	
RMSE	$\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{t=1}^{n}(y_t - \hat{y}_t)^2}$	(8)
MAE	$\frac{1}{N}\sum_{t=1}^{n}\lvert y_t - \hat{y}_t\rvert$	(9)
MAPE	$\left(\frac{1}{N}\sum_{t=1}^{n}\left\lvert\frac{y_t-\hat{y}_t}{y_t}\right\rvert\right)$	(10)

โดยที่

RMSE คือ ค่ารากที่สองของค่าความคาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย
MAE คือ ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย
MAPE คือ ค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อน
n คือ จำนวนข้อมูลที่ใช้
y_t คือ ค่าจริงที่เวลา t ใด ๆ
$\hat{y}_t$ คือ ค่าที่ได้จากการพยากรณ์ที่เวลา t ใด ๆ

3. วิธีดำเนินการวิจัย

1) ทำการพยากรณ์ฝุ่น PM2.5 ด้วยแบบจำลอง ARIMA โดยใช้ข้อมูลตั้งแต่วันที่ 25 ธันวาคม พ.ศ. 2565 เวลา 0:00 น. ถึง 24 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2566 เวลา 23:00 น. เป็นชุดข้อมูลการเรียนรู้ และใช้ข้อมูลตั้งแต่วันที่ 25 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2565 เวลา 0:00 น. ถึง 24 มีนาคม พ.ศ. 2566 เวลา 23:00 น. เป็นชุดข้อมูลการทดสอบ สำหรับการพยากรณ์ฝุ่น PM2.5 ส่วนแรก ซึ่งแบบจำลอง ARIMA สามารถคำนวณส่วนที่เหลือ (Residual) ได้ทันที จากนั้นนำส่วนที่เหลือตั้งแต่วันที่ 25 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2565 เวลา 0:00 น. ถึง 24 มีนาคม พ.ศ. 2566 เวลา 23:00 น. มาพยากรณ์ด้วยแบบจำลอง LSTM ย้อนหลังหนึ่งช่วงเวลา (t_1) นำผลลัพธ์จากค่าฝุ่น PM2.5 ส่วนแรกรวมกับส่วนที่เหลือ จะได้ค่าพยากรณ์ PM2.5 เรียกขั้นตอนนี้ว่าการสร้างแบบจำลองไฮบริดที่ 1 (Hybd1)

2) ทำการพยากรณ์ฝุ่น PM2.5 ด้วยแบบจำลอง LSTM โดยใช้ข้อมูลตั้งแต่วันที่ 25 ธันวาคม พ.ศ. 2565 เวลา 0:00 น. ถึง 24 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2566 เวลา 23:00 น. เป็นชุดข้อมูลการเรียนรู้ และใช้ข้อมูลตั้งแต่วันที่ 25 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2565 เวลา 0:00 น. ถึง 24 มีนาคม พ.ศ. 2566 เวลา 23:00 น. เป็นชุดข้อมูลการทดสอบสำหรับการพยากรณ์ ฝุ่น PM2.5 ส่วนแรก จากนั้นใช้ข้อมูลตั้งแต่วันที่ 25 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2565 เวลา 0:00 น. ถึง 10 มีนาคม พ.ศ. 2566 เพื่อใช้เป็นชุดข้อมูลการเรียนรู้ด้วยแบบจำลอง ARIMA จากนั้นใช้ข้อมูลตั้งแต่วันที่ 11 มีนาคม พ.ศ. 2565 เวลา 0:00 น. ถึง 24 มีนาคม พ.ศ. 2566 เป็นข้อมูลทดสอบ ใช้ค่าส่วนที่เหลือจากแบบจำลอง ARIMA มาคำนวณย้อนกลับเป็นค่าส่วนที่เหลือจากการพยากรณ์ จากนั้นจึงนำจากค่าฝุ่น PM2.5 ส่วนแรกรวมกับส่วนที่เหลือจะได้ค่าพยากรณ์ PM2.5 เรียกขั้นตอนนี้ว่าการสร้างแบบจำลองไฮบริดที่ 2 (Hybd2)

3) นำแบบจำลองไฮบริดที่ 1 และแบบจำลองไฮบริดที่ 2 มาทำการคำนวณเพื่อถ่วงน้ำหนัก และเพิ่มประสิทธิภาพในการคำนวณ ด้วยสองวิธีการ เพื่อนำค่าที่ได้จากการคำนวณไปเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้วยค่าความคลาดเคลื่อน

3.1 วิธีคำนวณแบบที่ 1

กำหนดให้

$$Hybd1_{ERROR} = Hybd1_{MAPE} \quad (11)$$

$$Hybd2_{ERROR} = Hybd2_{MAPE} \quad (12)$$

$$Hybd1_{WEIGHT} = (1 - (Hybd1_{ERROR}/ (Hybd1_{ERROR} + Hybd2_{ERROR}))) \times 2 \quad (13)$$

$$Hybd2_{WEIGHT} = 2 - Hybd1_{WEIGHT} \quad (14)$$

คำนวณ

$$Hybd_{PREDICT[i]} = (((Hybd1_{WEIGHT} \times Hybd1_{PREDICT[i]}) + (Hybd2_{WEIGHT} \times Hybd2_{PREDICT[i]}))/2) \quad (15)$$

3.2 วิธีคำนวณแบบที่ 2

คำนวณ

$$Hybd_{PREDICT[i]} = (Hybd1_{PREDICT[i]} \times WEIGHT1) + (Hybd2_{PREDICT[i]} \times WEIGHT2) \quad [16]$$

โดยที่

$WEIGHT1 = [0.1,0.2,\ldots 0.9]$

$WEIGHT2 = [0.9,0.8,\ldots 0.1]$

4. ผลการวิจัย

ตารางที่ 3 ค่าความคลาดเคลื่อน

แบบจำลอง	RMSE	MAE	MAPE
ARIMA-LSTM	5.5228	4.27186	0.09397
LSTM-ARIMA	6.96943	5.26854	0.10816

จากตารางที่ 3 เมื่อพิจารณาแบบจำลอง ARIMA-LSTM ได้ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) เท่ากับ 5.5228 ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAE) เท่ากับ 4.27186 และค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อน (MAPE) เท่ากับ 0.09397 ส่วนแบบจำลอง LSTM-ARIMA ได้ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) เท่ากับ 6.96943 ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAE) เท่ากับ 5.26854 และค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อน (MAPE) เท่ากับ 0.10816 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าความคาดเคลื่อนจากแบบจำลองไฮบริด 2 แบบจำลอง พบว่าแบบจำลอง ARIMA-LSTM ให้ค่าการพยากรณ์ที่ดีกว่า แบบจำลอง LSTM-ARIMA

ตารางที่ 4 ค่าความคลาดเคลื่อนปรับน้ำหนักตามวิธีที่ 1

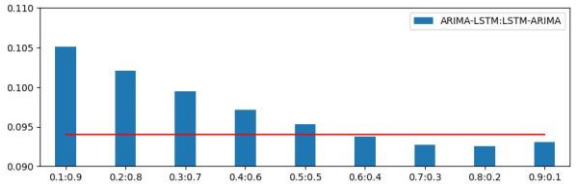
แบบจำลอง	RMSE	MAE	MAPE
ARIMA-LSTM x LSTM-ARIMA	5.82953	4.4395	0.09469

จากตารางที่ 4 นำแบบจำลอง ARIMA-LSTM และแบบจำลอง LSTM-ARIMA คำนวณค่าถ่วงน้ำหนักตามวิธีการคำนวณแบบที่ 1 ได้ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) เท่ากับ 5.82953 ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAE) เท่ากับ 4.4395และค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อน (MAPE) เท่ากับ 0.09469 ซึ่งแบบจำลอง ARIMA-LSTM และแบบจำลอง LSTM-ARIMA มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงกว่าแบบจำลอง ARIMA-LSTM จากตารางที่ 3

ตารางที่ 5 ค่าความคลาดเคลื่อนปรับน้ำหนักตามวิธีที่ 2

$Weight_{ARIMA}$	$Weight_{LSTM}$	RMSE	MAE	MAPE
0.1	0.9	6.7072	5.08385	0.10505
0.2	0.8	6.46494	4.90525	0.10207
0.3	0.7	6.24497	4.74427	0.09944
0.4	0.6	6.04971	4.59796	0.09712
0.5	0.5	5.88164	4.47743	0.09528
0.6	0.4	5.74313	4.37651	0.09375
0.7	0.3	5.63637	4.30215	0.09271
0.8	0.2	5.56319	4.26403	0.09255
0.9	0.1	5.52491	4.25693	0.09304

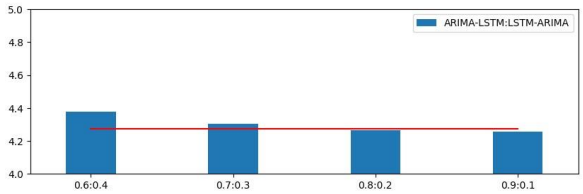
จากตารางที่ 5 นำแบบจำลอง ARIMA-LSTM และแบบจำลอง LSTM-ARIMA แล้วมีการคำนวณค่าถ่วงน้ำหนักตามวิธีการคำนวณแบบที่ 2 เปรียบเทียบค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อน (MAPE) กับแบบจำลอง ARIMA-LSTM สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อน (MAPE)

จากรูปที่ 2 เส้นสีแดง แทน ค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อน (MAPE) จากแบบจำลอง ARIMA-LSTM แท่งสีฟ้าแทน ค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อน (MAPE) จากแบบจำลอง ARIMA-LSTM และแบบจำลอง LSTM-ARIMA เมื่อเปรียบเทียบกัน พบว่า มีเพียงค่าน้ำหนักสำหรับแบบจำลอง ARIMA-LSTM ตั้งแต่ 0.6 ขึ้นไปที่ได้ค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อน (MAPE) น้อยกว่า

จากตารางที่ 5 นำแบบจำลอง ARIMA-LSTM และแบบจำลอง LSTM-ARIMA แล้วมีการคำนวณค่าถ่วงน้ำหนักตามวิธีการคำนวณแบบที่ 2 เปรียบเทียบค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAE) กับแบบจำลอง ARIMA-LSTM สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3

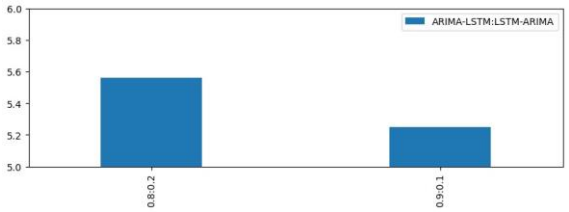


รูปที่ 3 ค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อน (MAPE)

จากรูปที่ 3 เส้นสีแดง แทน ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAE) จากแบบจำลอง ARIMA-LSTM แท่งสีฟ้าแทน ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAE) จากแบบจำลอง ARIMA-LSTM และแบบจำลอง LSTM-ARIMA เมื่อเปรียบเทียบกัน เพียงค่าน้ำหนักสำหรับแบบจำลอง

ARIMA-LSTM ตั้งแต่ 0.8 ขึ้นไปที่ได้ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAE) น้อยกว่า

จากตารางที่ 5 นำแบบจำลอง ARIMA-LSTM และแบบจำลอง LSTM-ARIMA แล้วมีการคำนวณค่าถ่วงน้ำหนักตามวิธีการคำนวณแบบที่ 2 เปรียบเทียบค่ารากที่สองของค่าความคาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ค่ารากที่สองของค่าความคาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE)

จากรูปที่ 4 แท่งสีฟ้าแทน ค่ารากที่สองของค่าความคาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) จากแบบจำลอง ARIMA-LSTM และแบบจำลอง LSTM-ARIMA โดยค่าน้ำหนักที่ดีที่สุด คือ ค่าน้ำหนักสำหรับแบบจำลอง ARIMA-LSTM เท่ากับ 0.9 และค่าน้ำหนักที่ดีที่สุดสำหรับแบบจำลอง LSTM-ARIMA เท่ากับ 0.1 โดยค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) เท่ากับ 5.52491 ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAE) เท่ากับ 4.25693 และค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อน (MAPE) เท่ากับ 0.09304

5. สรุป

จากผลการทดลองพบว่าการนำผลการพยากรณ์คำนวณร่วมกับค่าถ่วงน้ำหนักจากสองแบบจำลอง เมื่อได้ค่าน้ำหนักที่เหมาะสมสามารถให้ค่าพยากรณ์ที่ดีกว่าแบบจำลองไฮบริดปกติ และเมื่อพิจารณาแบบจำลอง ARIMA-LSTM และแบบจำลอง LSTM-ARIMA ที่มีการคำนวณปรับค่าถ่วงน้ำหนักพบว่า การคำนวณปรับค่าถ่วงน้ำหนักตามวิธีการคำนวณแบบที่ 2 ได้ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) น้อยกว่าการคำนวณปรับค่าถ่วงน้ำหนักตามวิธีการคำนวณแบบที่ 1 จึงสรุปว่าการคำนวณปรับค่าถ่วงน้ำหนักตามวิธีการคำนวณแบบที่ 2 ให้ค่าการพยากรณ์ที่ดีกว่า จากผลของการทดสอบแบบจำลองสามารถนำแบบจำลองที่ได้ไปใช้ในการพยากรณ์ค่าฝุ่น PM2.5 ในเขตกรุงเทพมหานครรายชั่วโมง เพื่อพยากรณ์ล่วงหน้ารายสัปดาห์ เป็นต้น ทั้งนี้ข้อมูลที่ใช้ในการทดลองเป็นข้อมูลระยะสั้น ในกรณีที่ทำการทดลองที่ใช้ข้อมูลระยะยาวซึ่งมีการเคลื่อนไหวตามฤดูกาล (Seasonal หรือ Periodic Movement) ผลของแบบการคำนวณปรับค่าถ่วงน้ำหนักอาจได้ผลลัพธ์ที่แตกต่างออกไป

เอกสารอ้างอิง

[1] G., Peter Zhang, “Time series forecasting using a hybrid ARIMA and neural network model”, *Neurocomputing*, vol. 50, pp. 159 –

[2] กระทรวงสาธารณสุข, “*คู่มือการดำเนินงานด้านการแพทย์และสาธารณสุข กรณี ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM2.5) ปี 2563”,* หน้า 1–7, 2562.

[3] C. Yuwei & W. Kaizhi, “Prediction of Satellite Time Series Data Based on Long Short Term MemoryAutoregressive Integrated Moving Average Model (LSTM-ARIMA),” *IEEE International Conference on Signal and Image Processing,* 2019.

[4] P. Kanokrot & K. Chompoonoot, “Shallot Price Forecasting Models”, *Data Science and Engineering*, vol. 3*(1)*, pp. 35-43, 2022.

[5] J. Xiao, Q. Wang, J. Cui, & J. Yu. “Multi-feature PM2.5 Prediction with ARIMA-LSTM”. *International Conference on Machine Learning, Cloud Computing and Intelligent Mining*, 2022.

[6] กองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง. (2566). “รายงาน”. ค้นหาเมื่อ 25 มีนาคม 2566. จาก https://bangkokairquality.com/bma/report?Lang=th

[7] S. W. Shaun, “Time Series Analysis: Forecasting and Control”, *Journal of Quality Technology*. vol. 49*(5)*, pp. 418-419. 2017.

[8] F.A. Gers, J. Schmidhuber and F. Cummins,“Learning to forget: continual prediction with LSTM,” *Neural Computation*, vol.12*(10)*, pp. 2451-2471, October 2000.



ธัชกร พลเสนา ได้รับปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต (เทคโนโลยีสารสนเทศ) เกียรตินิยมอันดับสอง จากมหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ ปี พ.ศ.2544 ปริญญาเศรษฐศาสตรมหาบัณฑิต จาก มหาวิทยาลัยรามคำแหง ปี พ.ศ. 2549 ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (จิตวิทยาการปรึกษา) จาก มหาวิทยาลัยรามคำแหง ปี พ.ศ.2556 ปัจจุบันดำรงตำแหน่งนักวิเคราะห์ ควบคุม วางแผนระบบ ธนาคารทหารไทยธนชาต จำกัด มีความสนใจงานวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์ข้อมูล (Data Science) วิศวกรข้อมูล (Data Engineer) และการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning)



ดวงใจ จิตคงชื่น, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ได้รับปริญญาบริหารธุรกิจบัณฑิต (คอมพิวเตอร์ธุรกิจ) จาก มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ ปี พ.ศ.2544 ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีสารสนเทศ) จาก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปี พ.ศ.2547 ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (เทคโนโลยีสารสนเทศ) ปี พ.ศ.2557 ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง ผู้อำนวยการหลักสูตรวิศวกรรมข้อมูลขนาดใหญ่ วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ มีความสนใจงานวิจัยทางด้านปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) วิทยาศาสตร์ข้อมูล (Data Science) อัลกอริทึมเชิงวิวัฒนาการ (Evolutionary Algorithms) และการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning)

บทความวิจัย

เมคคาทรอนิกส์

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

พัฒนาระบบติดตามเวลาสูญเสียการบรรจุภัณฑ์กาวยาแนวด้วยอินเตอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

Development of Loss Time processing of Grout Packing using IoT

จักรพันธ์ นันทพันธุ์กุล [1] และ ภุมรินทร์ ทวิชศรี [2*]

[1] สาขาวิศวกรรมเมคาทรอนิกส์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี *jakrapan_n@rmutt.ac.th

[2] คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ *phummarin@vru.ac.th

บทคัดย่อ

การพัฒนาระบบติดตามเวลาการสูญเสียของการบรรจุภัณฑ์กาวยาแนวด้วยอินเตอร์เน็ตของสรรพสิ่งเป็นการปรับปรุงระบบผลิตกาวยาแนวโดยอาศัยหลักการของระบบลีน (Lean) เพื่อการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องโดยได้ยกระดับการทำงานของระบบตรวจจับการบรรจุถุงกาวยาแนวลงกล่องให้สามารถบันทึกข้อมูลเวลาการสูญเสียในระบบผลิตแบบอัตโนมัติ โดยใช้เทคโนโลยีสื่อสารไร้สาย Wi – Fi สามารถแสดงผลข้อมูลผ่านเว็บแอปพลิเคชัน ผลจากการปรับปรุงกระบวนการผลิตทำให้สามารถลดการสูญเสียอันเนื่องมาจากการเคลื่อนไหว (Motion) ของมนุษย์และลดความสูญเสียเนื่องจากกระบวนการผลิต (Processing) ได้ถึง 11 ชั่วโมงหรือ คิดเป็นโอกาสในความสามารถในระบบผลิตผลิตภัณฑ์กาวยาแนวจากระบบเดิมอยู่ที่ 19% เพิ่มเป็น 30 % ของเวลาสูญเสียก่อนปรับปรุงได้ผลิตผลหลังการปรับปรุงเพิ่มเป็น 30,535 ถุงต่อเดือน

คำสำคัญ: ระบบลีน อินเตอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร

Abstract

The development of loss time processing for grout packing using the internet of things (IoT), improving the grout adhesive production system based on the principles of lean systems for continuous improvement by enhancing the operation of the grout bagging detection system to be able to record loss time data. The system consists of a processor, control, and user interface by using wireless communication technology. As a result of the improvement of the production process, it is possible to reduce losses due to the motion of humans. The total time for the improvement process is about 11 hours, the previous system of 19%, increasing to 30% of the time lost before improvement, the opportunity to produce grout cement is about 30,535 bags per month.

Keywords: LEAN, IoT, Overall Equipment Effectiveness.

1. บทนำ

ในปัจจุบันผู้ประกอบการโรงงานได้นำเอาระบบลีน (Lean) มาใช้ในการลดความสูญเสียในกระบวนการผลิตเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรในระบบผลิตในงานอุตสาหกรรม ถือเป็นการปรับปรุงภายในองค์กรให้สามารถลดต้นทุนในการผลิตและยังกำจัดความสูญเปล่าในระบบให้เกิดมูลค่า นำมาซึ่งการบริหารจัดการด้านต้นทุนในการดำเนินการเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพอย่างแท้จริง การปรับการทำงานของเครื่องจักรให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นในโรงงานจะอาศัยหลักการของลีน (Lean) เพื่อไปลดสิ่งที่ไม่เกิดคุณค่า (Waste) การลดความสูญเปล่า โดยบริษัท แซง-โกแบ็ง เวเบอร์ จำกัด เล็งเห็นถึงประโยชน์จากกระบวนการปรับปรุงการผลิตจึงเริ่มดำเนินการบันทึกข้อมูลของเวลาสูญเสียในกระบวนการผลิต โดยใช้พนักงานในการจดบันทึกเวลา ปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างการผลิตที่ทำให้ไม่มีผลผลิตออกมาจากสายการผลิต (No output) ที่เกิดมาจากส่วนต่าง ๆ เช่น การหยุดเนื่องจากเครื่องจักรเสียเกินเวลา 10 นาที (Break down) การหยุดเครื่องจักรชั่วขณะไม่เกินเวลา 10 นาที (Short stop) กระบวนการปรับเปลี่ยนรุ่นของผลิตภัณฑ์ (Change Over) กระบวนการหยุดรอระหว่างการสับเปลี่ยนต่าง ๆ เช่น รอวัตถุดิบรอรถย้ายของรอพลังงานและรอพนักงานเป็นต้นซึ่งข้อมูลของเวลาสูญเสียที่ได้มาจากการจดบันทึกของพนักงานนั้น มีความคลาดเคลื่อนไม่ตรงกับปัญหาที่เกิดขึ้นจริงซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์แล้ว พบว่าข้อมูลที่บันทึกได้ยังไม่ครบถ้วนจะสังเกตได้จากเวลาสูญเสียที่ยังไม่สามารถระบุได้ (No-identify) มากถึง 10 เปอร์เซ็นต์ของเวลาสูญเสียทั้งหมดและข้อมูลจากการจดบันทึกโดยพนักงานพบว่ายังขัดแย้งกับข้อมูลของแผนกที่เกี่ยวข้อง เช่น แผนกซ่อมบำรุงและแผนกสโตร์ (Store department) เป็นต้น ซึ่งการนำข้อมูลไปวิเคราะห์ทำให้เกิดการขาดความน่าเชื่อถือและการแก้ไขปัญหาที่ไม่ตรงจุดบกพร่อง จึงเกิดการปรับปรุงระบบผลิตกาวยาแนว ในขั้นต้นได้สร้างเครื่องบันทึกเวลาสูญเสียแบบกึ่งอัตโนมัติสามารถลดความสูญเสียได้มากกว่าระบบที่ใช้คนบันทึกได้ถึง 19 เปอร์เซ็นต์ โดยคิดเป็นเวลาที่สามารถนำกลับมาปรับปรุงได้ถึง 8.30 ชั่วโมงหรือคิดเป็นโอกาสในการผลิตสามารถผลิตยาแนวได้ 21,120 ถุงต่อเดือน [1] ทั้งนี้ระบบที่พัฒนาขึ้นยังมีข้อจำกัดเรื่องการบันทึกข้อมูลเวลายังไม่เป็นระบบ

อัตโนมัติจำเป็นต้องใช้คนในการควบคุมเครื่องบันทึกผลในกระบวนการผลิตอยู่

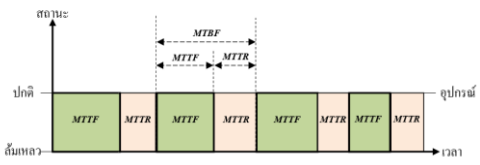
2. หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการที่ได้ทบทวนวรรณกรรมพบว่างานวิจัยของ สิทธิวัฒน์ ศานติกรวาณิชย์ [2] ได้ศึกษาการขจัดความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นในสายการผลิต ลดระยะเวลาในการผลิตชิ้นส่วนและจำนวนชิ้นงานระหว่างการผลิต ซึ่งมีความแตกต่างในการใช้เครื่องมือโดยในงานวิจัยนี้ไม่ได้มีการจัดสมดุลการผลิต การจัดผังสายการผลิต และลดเวลาการปรับตั้งเครื่องจักรและ วุฒิพงษ์ ปะวะสาร [3] พัฒนาระบบกระบวนการผลิตด้วยระบบการผลิตแบบลีน (Lean production system) ในอุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้แผนผังสายธารคุณค่า (VSM) ในการค้นหาปัญหาและด้วยเครื่องมือ Stagnation List และใช้คัมบังเป็นเครื่องมือในการควบคุมปริมาณชิ้นงานระหว่างกระบวนการสามารถลดขั้นตอนและกระบวนการผลิตลง 25.67% จากแนวการศึกษาข้อมูลเพื่อการพัฒนาระบบให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะเอาระบบลีน (Lean) เข้ามาปรับปรุงกระบวนการทำงานอย่างต่อเนื่อง โดยได้พัฒนาระบบติดตามเวลาการสูญเสียการบรรจุภัณฑ์กาวยาแนวด้วยอินเตอร์เน็ตของสรรพสิ่งเพื่อให้สามารถเข้าถึงข้อมูลค่าความสูญเสียของเครื่องจักรอย่างอัตโนมัติสามารถบันทึกผลผ่านระบบคลาวด์ (Cloud) แสดงผลข้อมูลผ่านเว็บแอพพลิเคชั่นถือเป็นการปรับปรุงระบบให้ทันสมัยและเกิดประสิทธิภาพสูงสุด

2.2 ประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรอุปกรณ์

การวิเคราะห์การทำงานของเครื่องจักรพฤติกรรมการทำงานของอุปกรณ์เหล่านั้นจะมีความเหมือนในระดับของฟังก์ชันการทำงานโดยจะประกอบไปด้วยสถานะทำงานปกติ (Up) และสถานะทำงานล้มเหลว (Down) ซึ่งเป็นไปตามวัฏจักรเวลา [1-3] โดยการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าในระยะยาวจะใช้ค่าประมาณเป็นระยะเวลาเฉลี่ยที่อุปกรณ์อยู่ในสถานะทำงานเป็นปกติและมีความต่อเนื่อง และระยะเวลาเฉลี่ยที่อุปกรณ์อยู่ในสถานะล้มเหลวจะมีกระบวนการซ่อมแซมเพื่อที่จะให้ระบบกลับมาทำงานได้ในสภาวะปกติอีกครั้งหนึ่งซึ่งพฤติกรรมการทำงานสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ช่วงเวลาการทำงานของอุปกรณ์เมื่อประมาณเป็นค่าเฉลี่ย

ช่วงเวลาการทำงานของอุปกรณ์โดยคิดเป็นค่าเฉลี่ย (Mean time to failure , MTTF) คือระยะเวลาโดยเฉลี่ยที่อุปกรณ์อยู่ในสถานะทำงานปกติเป็นส่วนกลับกับอัตราการล้มเหลวซึ่งสามารถหาได้ดังสมการที่ (1)

$$MTTF = \frac{1}{\gamma} \tag{1}$$

ช่วงเวลาการซ่อมแซมของอุปกรณ์โดยคิดเป็นค่าเฉลี่ย (Mean time to repair, MTTR) โดยค่า MTTR จะเป็นส่วนกลับกับอัตราการซ่อมแซม ซึ่งสามารถหาได้ดังสมการที่ (2)

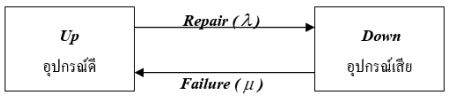
$$MTTR = \frac{1}{\mu} \tag{2}$$

ช่วงเวลาในหนึ่งคาบการทำงานของอุปกรณ์ตั้งแต่ช่วงเวลาที่อุปกรณ์ทำงานจนเกิดเหตุขัดข้องและทำการซ่อมแซมจนสามารถกลับมาใช้งานได้อีกครั้ง(Mean time between failures, MTBF) โดยสามารถหาได้ดังสมการที่ (3)

$$MTBF = MTTF + MTTR \tag{3}$$

2.3 แบบจำลองและการหาประสิทธิผลการทำงานของเครื่องจักร

โดยทั่วไปแบบจำลองการทำงานของอุปกรณ์แบบ 2 สถานะ [5] คือสถานะที่อุปกรณ์ทำงานได้ตามปกติ (Up) และสถานะที่อุปกรณ์ใช้งานไม่ได้ (Down) ซึ่งแบบจำลองการทำงานของอุปกรณ์แบบ 2 สถานะเป็นแบบจำลองพื้นฐานจะมีลักษณะดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แบบจำลอง 2 สถานะของอุปกรณ์ (Two-State Model)

การคำนวณหาประสิทธิผลการทำงานของเครื่องจักรและอุปกรณ์หรือ OEE (Overall Equipment Effectiveness) สามารถหาได้ดังสมการที่ (4)

$$OEE = Availability \times P.E \times QualityRate \tag{4}$$

โดยที่ *OEE* คือ ประสิทธิผลการทำงานของเครื่องจักร
Availability คือ อัตราการเดินเครื่อง
P.E. คือ ประสิทธิการเดินเครื่อง
Quality Rate คือ อัตราคุณภาพ

2.4 การศึกษาระบบผลิตกาวยาแนวและการวิเคราะห์ปัญหา

จากการศึกษากระบวนการทำงานของเครื่องจักรที่แต่เดิมจะระบุขอบเขตความสูญเสียแบ่งออกเป็น 8 สาเหตุ พบว่าระบบไม่ได้มีการกำหนดรอบการตรวจสอบความสูญเสียเป็นกรอบเวลาที่แน่นอนไว้และไม่ได้มีการกำหนดระดับความรุนแรงของเวลาสูญเปล่าไว้อีกทั้งระบบไม่ได้บันทึกค่าเวลาสินค้าดีไว้อีก ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้กำหนดขอบเขตเวลาสูญเปล่ามาตรฐานแต่ละประเภทเป็นเกณฑ์อ้างอิงและกำหนดป้ายลักษณะแถมกำหนดการแจ้งเตือน (Alarm) ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แนวทางปรับปรุงระบบติดตามเวลาการสูญเสียการบรรจุภัณฑ์กาวยาแนว

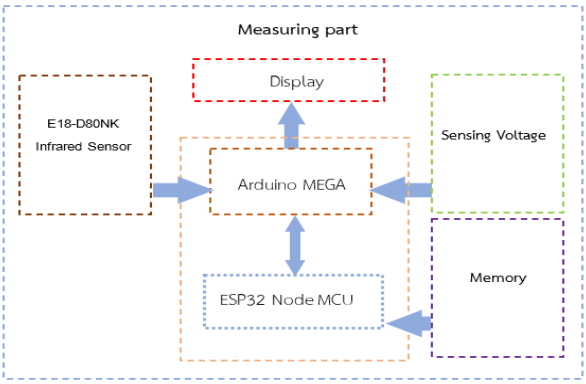
Code	Detail	Time Std.	Event	Alarm
Loss 1	Break Down	>15	Very High	5 cycles
Loss 2	Bag Broken	>10	High	4 cycles
Loss 3	Change Over	<10	Medium	3 cycles
Loss 4	Change film label (Product)	<5	Low	2 cycles
Loss 5	Lack of Material	<10	Medium	3 cycles
Loss 6	Parameters adjust and setting	<5	Low	2 cycles
Loss 7	Jam at bag to Box	<10	Medium	3 cycles
Loss 8	other	<10	Medium	3 cycles

2.5 การออกแบบชุดเซนเซอร์ (Sensor)

ระบบติดตามเวลาการสูญเสียการบรรจุภัณฑ์กาวยาแนวด้วยอินเตอร์เน็ตของสรรพสิ่งได้ทำการติดตั้งเซนเซอร์เพื่อตรวจจับถุงกาวในระบบสายพานโดยมีค่าพารามิเตอร์ดังตารางที่ 2 และส่วนประกอบอุปกรณ์ตรวจจับดังแสดงในรูปที่ 3

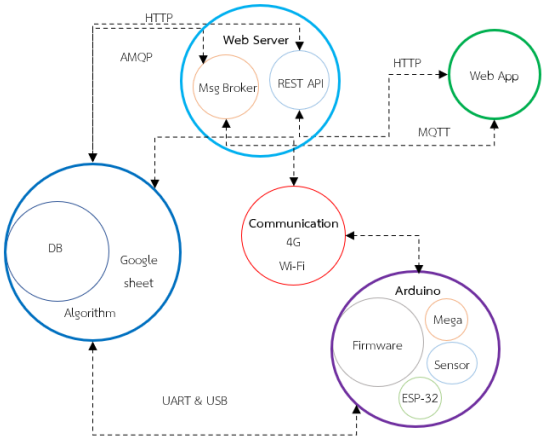
ตารางที่ 2 องค์ประกอบระบบติดตามเวลาการสูญเสียการบรรจุภัณฑ์กาวยาแนว

คุณลักษณะ	รายละเอียด
เครื่องจักร	เครื่องบรรจุถุงกาวยาแนว
ชุดสายพานลำเลียง	ปรับความเร็วได้
จอแสดงผล	จอแสดงผล HMI
ส่วนควบคุม	สวิตช์ควบคุมระบบบันทึกแบบกึ่งอัตโนมัติ
ชนิดของเซนเซอร์	เซนเซอร์ตรวจจับวัตถุ 2 ชุด
ช่วงการวัด	30-800 มิลลิเมตร
พิกัดกำลังไฟฟ้า	5 โวลต์ 0.25 แอมป์, 1.25 วัตต์
พารามิเตอร์	อุณหภูมิใช้งาน -25℃+55℃
หน่วยประมวลผล	ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino MEGA 2560)
การส่งข้อมูลระยะไกล	ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Node-MCU)
การรายงานผล	Wi-Fi และ 4G
ระบบควบคุมและประมวลผล	Web Application



รูปที่ 3 ส่วนประกอบส่วนการตรวจวัดและเซนเซอร์

ข้อมูลการทำงานของระบบติดตามเวลาการสูญเสียการบรรจุภัณฑ์กาวยาแนวที่สร้างขึ้นจะนำค่าสถานะของเครื่องจักร (Event) และอัตราการไหล (Flow) ของถุงกาวยาแนวที่ไหลผ่านเซนเซอร์ส่งข้อมูลผ่านชุดไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นค่าเฉลี่ยทุก ๆ 30 วินาทีแสดงผลหน้าจอแสดงผล (HMI) โดยใช้เทคโนโลยีสื่อสารไร้สาย Wi – Fi ในการบันทึกผลได้มีการกำหนดฐานเวลาจาก Real time clock (RTC) และเชื่อมโยงข้อมูลไปยังส่วนบันทึกผลให้สามารถแสดงผลข้อมูลการผลิตผ่านเว็บแอปพลิเคชันบันทึกค่าลงฐานข้อมูลเพื่อรายงานผลิตผลรายวัน (Daily report) นำค่าสถานะการผลิตแสดงผลผ่านเว็บแอปพลิเคชันเพื่อการเข้าถึงข้อมูลและยังสามารถแจ้งเตือนข้อมูลผ่านพลิเคชันไลน์ (Line) เพื่อแจ้งเหตุให้ผู้เกี่ยวข้องทราบได้ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ส่วนประกอบระบบติดตามเวลาการสูญเสียการบรรจุภัณฑ์กาวยาแนว

3. การทดสอบ

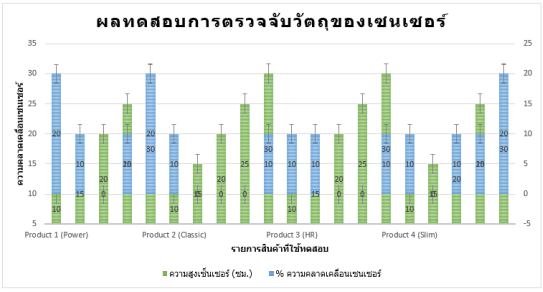
ทดสอบค่าความแม่นยำการตรวจจับวัตถุที่เคลื่อนผ่านสายการผลิตเนื่องจากมีลักษณะบรรจุภัณฑ์ที่หลากหลายทำให้ต้องออกแบบให้ระบบรองรับกับสายพานการผลิตเดิมโดยข้อมูลการทำงานของฮาร์ดแวร์จะทำการติดตั้งเซนเซอร์ 2 จุดตรวจจับการทำงานที่ต้นสายพานลำเลียง และปลายสายพานลำเลียงโดยระยะปรับตั้งความสูงของเซนเซอร์เฉลี่ยทดสอบกับผลิตภัณฑ์บรรจุกาวยาแนว 4 แบบจำนวน 20 ถุงดังแสดงในรูปที่ 5 และรูปที่ 6 พบว่าความสูงที่เหมาะสมสำหรับระยะติดตั้งเฉลี่ยอยู่ที่ 20 เซนติเมตร โดยมีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนในการวัดอัตราไหล (Flow) ของถุงกาวยาแนวที่ต่ำกว่า 10 % อ้างอิงการปรับตั้งความเร็วของสายพานสูงสุดที่ 1.5 - 4 เมตรต่อวินาที ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 5 ผลิตภัณฑ์บรรจุกาวยาแนว

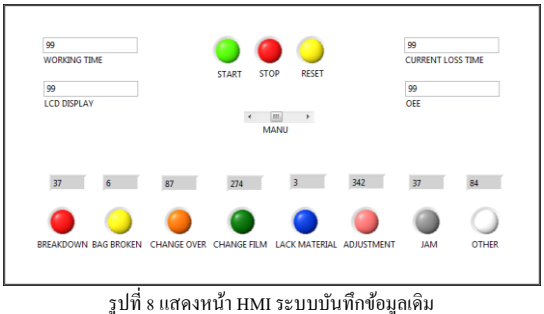


รูปที่ 6 ทดสอบส่วนการตรวจวัดและเซนเซอร์



รูปที่ 7 ส่วนประกอบส่วนการตรวจวัดและเซนเซอร์

ในการทดสอบทำงานของซอฟท์แวร์จะทดสอบการประมวลผลการรับค่าข้อมูลโดยใช้เทคโนโลยีสื่อสารไร้สาย Wi – Fi และแสดงผลสถานะรวมถึงการควบคุมสั่งการผ่านทางเว็บแอปพลิเคชันดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 แสดงหน้า HMI ระบบบันทึกข้อมูลเดิม

4. อภิปรายผลการทดลอง

ผู้วิจัยได้นำข้อมูลการทำงานของเครื่องจักรมาปรับปรุงกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์บรรจุกาวยาแนวโดยได้สร้างระบบการติดตามเวลาการสูญเสียการบรรจุภัณฑ์กาวยาแนวขึ้นใหม่ โดยนำวิธีการของลีน (Lean) มากำหนดสถานะเมื่อเครื่องจักรหยุดการทำงาน (Breakdown) การบ่งชี้เวลาการปรับตั้งเครื่องจักรที่แน่นอน และการพัฒนาระบบอิเล็กทรอนิกส์มาควบคุมการไหลของวัตถุดิบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกล่าวคือจะนำค่าสถานะของเครื่องจักร (Event) เป็นตัวกำหนดกรอบเวลาที่แน่นอน เพื่อง่ายต่อการเข้าแก้ไขข้อขัดข้องของระบบการผลิต ผู้เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตสามารถทราบสถานะของเครื่องจักรและได้รับข้อมูลที่ตรงกันและตรวจสอบได้ มีการกำหนดขอบเขตเวลาสูญเปล่ามาตรฐานแต่ละประเภทเป็นเกณฑ์อ้างอิงและกำหนดป้ายลักษณะแถบสี โดยผลที่ได้จากระบบที่มีการปรุงปรุงใหม่พบว่าพนักงานซึ่งเป็นผู้ควบคุมเครื่องจักรใช้สัญลักษณ์สีระบุสถานะ (Event) และเข้าทำการตรวจเช็คตามรอบเวลาการแจ้งเตือน (Alarm) เป็นการลดความผิดพลาดในการทำงานระหว่างฝ่ายต่าง ๆ ได้ หน้าจอแสดงผล (HMI) สามารถตอบสนองต่อข้อมูลที่แสดงผลและการควบคุมระบบบันทึกผลผ่านระบบที่สร้างขึ้นและสามารถใช้งานได้จริงดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 แสดงหน้าการทำงานของแอปพลิเคชัน(Node-RED)

5. สรุปผลการทดลอง

การปรับปรุงระบบผลิตกาวยาแนวโดยอาศัยหลักการของระบบลีน (Lean) เพื่อการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องโดยได้ปรับระดับการทำงานของเซนเซอร์ระบบตรวจจับการบรรจุถุงกาวยาแนวลงกล่องให้สามารถบันทึกข้อมูลเวลาการสูญเสียในระบบผลิตแบบอัตโนมัติ และบันทึกผลโดยใช้เทคโนโลยีสื่อสารไร้สาย Wi – Fi สามารถแสดงผลข้อมูลผ่านเว็บแอปพลิเคชัน ผลจากการปรับปรุงกระบวนการผลิตทำให้สามารถลดการสูญเสียอันเนื่องมาจากการเคลื่อนไหว (Motion) ของมนุษย์และลดความสูญเสียเนื่องจากกระบวนการผลิต (Processing) ได้ถึง 11 ชั่วโมงหรือ คิดเป็นโอกาสในความสามารถในระบบผลิตผลิตภัณฑ์กาวยาแนวจากระบบเดิมอยู่ที่ 19% เพิ่มเป็น 30 % ของเวลาสูญเสียก่อนปรับปรุงได้ผลิตผลหลังการปรับปรุงเพิ่มเป็น 30,535 ถุงต่อเดือน

เอกสารอ้างอิง

[1] ภุมรินทร์ ทวิชศรี “ระบบบันทึกเวลาสูญเสียของกระบวนการบรรจุยาแนว” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 42, 30 พ.ย - 1 พ.ย. 2552, หน้า 579-600.

[2] สิทธิวัฒน์ ศานติกรวาณิชย์. (2558). การประยุกต์ระบบการผลิตแบบลีน เพื่อปรับปรุงการผลิตภาพในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต) สาขาการจัดการวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

[3] วุฒิพงษ์ ปะวะสาร "การประยุกต์ใช้ระบบการผลิตแบบลีน เพื่อลดปริมาณงานระหว่างกระบวนการ กรณีศึกษาโรงงานผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้า"การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ครั้งที่ 529-30 เม-ย. 2564 , หน้า 45-51

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

การออกแบบและพัฒนาชุดต้นแบบการจำลองระบบการผลิตอัตโนมัติเพื่อฝึกทักษะด้านเมคคาทรอนิกส์

Design and Development Mechatronics Skills Training For Production Automation Simulation Prototype Kits

สุกัญญา เชิดชูงาม, วัชร ส่งเสริม, ดุลยวัต เสนาะกรรณ์ , สุรเดช โอสถเสถียร และ ธนภัทร วงษ์ไพบูลย์ *,

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กทม. 10800, E-mail : aum.thp@gmail.com *

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อออกแบบ และสร้างชุดทดสอบระบบการผลิตอัตโนมัติ สถานีเบิกจ่ายชิ้นงาน 2) เพื่อสร้างใบการเรียนรู้ที่ใช้สำหรับของชุดทดสอบระบบการผลิตอัตโนมัติ 3) เพื่อสร้างใบการทดสอบความรู้เกี่ยวกับชุดทดสอบระบบการผลิตอัตโนมัติ โดยการออกแบบ ชุดทดสอบระบบการผลิตอัตโนมัติสร้างเพื่อใช้ทดสอบ และเพิ่มความเข้าใจเกี่ยวกับการเชื่อมต่อวงจรระบบเมคคาทรอนิกส์ หรือการเดินสายไฟ (Wiring) และสามารถอ่านแบบการเดินสายไฟ (Wiring Diagram) ได้อย่างเข้าใจเพื่อใช้ในการต่อวงจรเพื่อควบคุมตามแบบทดสอบประสิทธิภาพ และ ความเหมาะสมในการทำงานซึ่งการทำงานของสถานีเบิกจ่ายชิ้นงานสามารถทำงานแบบอัตโนมัติผ่านการควบคุมในโปรแกรม PLC วัสดุชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบคือ ซุปเปอร์ลีน (Superlene) และอลูมิเนียม (Aluminuim) โดยทำการทดสอบประสิทธิภาพของการทำงาน 2 รูปแบบ พบว่าไม่มีปัญหาในตัวอุปกรณ์ในการทำงานแต่มีปัญหาเกี่ยวกับการจ่ายชิ้นงานส่งไปที่สายพานลำเลียง เพราะโปรแกรมใน PLC ที่ไม่เหมาะสมกับความเร็วของสายพานที่ใช้การปรับความเร็วของมอเตอร์โดยใช้ สปีดคอนโทรล (Speed Control) ในการควบคุมระดับความเร็วซึ่งระดับความเร็วที่ 2 และ 3 มีความเร็วที่ช้าเกินไปในการลำเลียงชิ้นงานทำเกิดการจ่ายชนกันแต่สามารถทำงานมีประสิทธิภาพได้ดีในขณะที่สายพานเคลื่อนที่กับความเร็วตั้งแต่ระดับ 4 ถึง 11 โดยไม่เกิดข้อผิดผลาดในการทำงาน คิดเป็นร้อยละ 80 ในการทำงานสำเร็จจึงสรุปได้ว่าการทำงานของชุดทดสอบมีประสิทธิภาพสูงในการทำงาน

คำสำคัญ : การเดินสายไฟ;แบบการเดินสายไฟ

Abstract

The aim of this thesis is to achieve three objectives. Firstly, to design and develop a comprehensive test suite for automated production systems, specifically focusing on the workpiece disbursement station. Secondly, create a learning sheet that will aid in the automation test set's production process. Finally, design a knowledge test sheet to evaluate the proficiency level of individuals in the automation test set's production process. The automated production system test suite is intended to evaluate and enhance an individual's understanding of mechatronics circuit connections, wiring, and the ability to read wiring diagrams effectively. Additionally, it is designed to be utilized in the circuit to control and test the workpiece disbursement station set. Utilizing Superlene, Aluminum, The equipment employed in the automated production test kit is the workpiece material. The automated production system test suite consists of two types of tests. It was found that there was no problem in the working equipment, but there was a problem with discharging the workpiece to the conveyor belt because the program in the PLC was not suitable for the speed of the conveyor used to adjust the speed of the motor using the speed controller. (Speed Control) to control the speed level, where the speed level 2 and 3 is too slow in conveying workpieces, causing collisions, but can work efficiently while the belt moves with speeds from level 4 to 11 without error in operation Counted as 80% of the work done. It can be concluded that the work of the test set is efficient enough to work

Keywords: Wirring; Wirring Diagram

1. บทนำ

ในปัจจุบันระบบอัตโนมัติมีบทบาทมากต่ออุตสาหกรรมการผลิต ซึ่งแต่ละอุตสาหกรรมมีการใช้โปรแกรมควบคุมการทำงานต่างกัน หนึ่งในนั้นที่ได้รับความนิยมอย่างมากคือ โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรล (Programmable Logic Control: PLC) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ควบคุมการทำงานแบบลำดับของเครื่องจักร หรือกระบวนการทำงานต่าง ๆ ภายในโรงงานอุตสาหกรรม

ในปัจจุบันระบบอัตโนมัติมีบทบาทมากต่ออุตสาหกรรมการผลิต ซึ่งแต่ละอุตสาหกรรมมีการใช้โปรแกรมควบคุมการทำงานต่างกัน หนึ่งในนั้นที่ได้รับความนิยมอย่างมากคือ โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรล (Programmable Logic Control: PLC) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ควบคุมการทำงานแบบลำดับของเครื่องจักร หรือกระบวนการทำงานต่าง ๆ ภายในโรงงานอุตสาหกรรม

จากปัญหาดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการสร้างต้นแบบการทดสอบระบบการผลิตอัตโนมัติซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนโดยการถอดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำงานเพื่อความหลายหลายในการทำงาน โดยผู้วิจัยได้สร้างแบบทดลองสถานีเบิกจ่ายชิ้นงาน โดยใช้โปรแกรมเมเบิลลอจิก เป็นการควบคุมระบบการทำงานของสถานี ซึ่งอาจมีการใช้กระบวนการทำงานโดยใช้ตัวขับเคลื่อนนิวเมติกส์และมอเตอร์ในการควบคุม ในการขับเคลื่อนสถานีต่าง ๆ เป็นชุดฝึกระบบการผลิตอัตโนมัติในอุตสาหกรรมของนักศึกษา เพื่อให้มีความรู้ ความเข้าใจด้านการทำงานระบบอัตโนมัติ และให้มีความชำนาญในการเขียนโปรแกรมควบคุมการ

ใช้โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรล เพิ่มความเข้าใจในการเชื่อมต่อวงจรระบบเมคคาทรอนิกส์ หรือการเดินสายไฟ (Wiring) และสามารถอ่านแบบการเดินสายไฟ (Wiring Diagram) ได้อย่างเข้าใจเพื่อใช้ในการต่อวงจรเพื่อควบคุมตามแบบทดสอบที่กำหนดของแต่ละสถานีที่ตั้งไว้ เพื่อให้นักศึกษามีความรู้มากขึ้นก่อนที่จะไปใช้งานในอุตสาหกรรมจริง

2.ระบบการผลิตแบบอัตโนมัติ

ระบบของการตรวจสอบชิ้นงานแบบอัตโนมัติ คือ ระบบใด ๆ หรือกลไกที่สามารถเริ่มทำงานได้ด้วยตัวเอง โดยทำงานตามโปรแกรมที่กำหนดไว้ระบบอัตโนมัติจะใช้คำสั่งทางลอจิกในไมโครคอนโทรลเลอร์ หรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อเป็นตัวควบคุมการทำงาน การควบคุมทำงานจะถูกต้องก็ต่อเมื่อมีการวางแผน หรือโปรแกรมโดยมนุษย์ทั้งสิ้น โปรแกรมที่นำมาเขียนคำสั่งในการควบคุม เช่น PLC (Programmable Logic Controller) , โปรแกรมภาษา C, โปรแกรมสำหรับใช้ควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) เป็นต้น และโปรแกรมเหล่านี้ก็จะถูกนำมาควบคุม ระบบนิวเมติกส์ และระบบไฟฟ้า เป็นต้น

3. ประเภทของระบบอัตโนมัติทางอุตสาหกรรม

ระบบอัตโนมัติทางอุตสาหกรรม เป็นกระบวนการทำงานของเครื่องจักร และอุปกรณ์อุตสาหกรรมอื่น ๆ ด้วยความช่วยเหลือของการเขียนโปรแกรมเชิงตรรกะแบบดิจิทัล และลดการแทรกแซงของมนุษย์ในการตัดสินใจ และกระบวนการสั่งการด้วยตนเองด้วยความช่วยเหลือของอุปกรณ์เครื่องจักรกลบริษัทที่เลือกจะเริ่มกระบวนการอัตโนมัติทางอุตสาหกรรมจะมีระบบอัตโนมัติประเภทต่าง ๆ ให้เลือกนั้นขึ้นอยู่กับระดับการนำไปใช้ที่แตกต่างกันตามผลิตภัณฑ์ และปริมาณ การผลิต ดังนี้ 3.1, 3.2, 3.3, 3.4

3.1 ระบบอัตโนมัติอย่างหนัก หรือระบบอัตโนมัติคงที่

กระบวนการอัตโนมัติที่หุ่นยนต์ หรือเครื่องจักรได้รับการออกแบบมาเพื่อทำงานเฉพาะเจาะจงซ้ำซากจำเจ และสำหรับปริมาณการผลิตที่สูงมากกระบวนการเหล่านี้ได้รับการแก้ไขและไม่สามารถเปลี่ยนแปลงใด ๆ ได้ แต่มีความรวดเร็ว แม่นยำ ปลอดภัย และมีอัตราการผลิตสูง ประโยชน์ที่ระบบอัตโนมัติประเภทนี้นำมาสู่อุตสาหกรรมนี้เหมาะอย่างยิ่งสำหรับกระบวนการที่มีปริมาณโหลดสูง และความแปรปรวนในการทำงานต่ำนอกจากนี้ระบบอัตโนมัติประเภทนี้ยังประหยัดที่สุด

3.2 ระบบอัตโนมัติแบบนุ่มนวล

เกี่ยวข้องกับชิ้นส่วนของอุปกรณ์ที่ออกแบบมาเพื่อปรับให้เข้ากับการกำหนดค่าผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย กระบวนการนี้ควบคุมโดยคอมพิวเตอร์ที่สามารถตั้งโปรแกรมเพื่อปรับการทำงานของผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้ ซึ่งจะมีประโยชน์มากเมื่ออุตสาหกรรมผลิตสินค้าต่าง ๆ ที่ต้องการการกำหนดค่าที่แตกต่างกัน โดยระบบอัตโนมัติ ประเภทนี้มีต้นทุนสูงกว่าระบบอัตโนมัติแบบแข็ง และทำงานด้วยความเร็วต่ำกว่า เหมาะอย่างยิ่งสำหรับโรงงานที่เกี่ยวข้องกับการผลิต ผลิตภัณฑ์ที่คล้ายคลึงกันจำนวนจำกัดซึ่งดำเนินการเป็นกลุ่ม ระบบอัตโนมัติ

3.3 ระบบอัตโนมัติที่ตั้งโปรแกรมได้

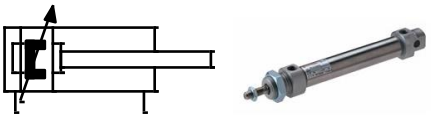
กระบวนการอัตโนมัติทางอุตสาหกรรมที่อยู่ในหมวดหมู่นี้ถูกควบคุมโดยโปรแกรมซึ่งประกอบด้วยชุดคำสั่งที่เข้ารหัสเพื่อให้ระบบตีความ ซึ่งซอฟต์แวร์ใหม่สามารถใช้ในกระบวนการเหล่านี้เพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ใหม่เนื่องจากระบบมีความยืดหยุ่นอย่างสมบูรณ์ มีความเป็นไปได้ในการกำหนดค่าใหม่ และปรับอุปกรณ์ทั้งในระดับซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ขอแนะนำให้ใช้ระบบอัตโนมัติประเภทนี้ในอุตสาหกรรมที่มีการผลิตต่ำ เนื่องจากขั้นตอนการตั้งโปรแกรมเครื่องจักรใหม่เพื่อปรับให้เข้ากับผลิตภัณฑ์ใหม่มีความซับซ้อน และต้องใช้เวลาที่กำหนดด้วยเหตุนี้กระบวนการจึงดำเนินการเป็นแบทช์

3.4 ระบบอัตโนมัติที่ยืดหยุ่น

ระบบอัตโนมัติที่ยืดหยุ่นทำให้สามารถกำหนดค่าเครื่องให้เหมาะกับผลิตภัณฑ์ใหม่ได้ในเวลาอันสั้น ด้วยวิธีนี้แทบจะไม่เสียเวลาในการเปลี่ยนการกำหนดค่าจากรายการหนึ่งไปยังอีกรายการหนึ่ง เนื่องจากระบบอัตโนมัติประเภทนี้ไม่ต้องเสียเวลาไปกับการตั้งโปรแกรมระบบใหม่ หรือปรับเปลี่ยนการกำหนดค่าทางกายภาพของเครื่องจักร จึงไม่จำเป็นต้องดำเนินการผลิตภัณฑ์แยกเป็นชุด ๆ ขอแนะนำให้ใช้ระบบอัตโนมัติประเภทนี้ในการผลิตขนาดกลาง ด้วยการนำระบบ Flexible Automation มาใช้ทำให้การผลิตมีความต่อเนื่อง และสามารถปรับให้เข้ากับผลิตภัณฑ์ประเภทต่าง ๆ ที่โรงงานอุตสาหกรรมต้องเผชิญได้

4. กระบอกสูบนิวเมติกส์

อุปกรณ์ลมที่ใช้ลมทำให้ก้านกระบอกลมนิวเมติกส์ เคลื่อนที่ไปในแนวเส้นตรง หรือหมุน 90, 180, 270 หรือ 360 องศา อุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานในรูปแบบความดันลมให้เป็นพลังงานกลในรูปแบบของการเคลื่อนที่



รูปที่ 1 กระกอบสูบทำงานสองทิศทาง และสัญลักษณ์

5. สปีดคอนโทรล

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ควบคุมความเร็วของมอเตอร์ มักมีสายไฟออกมาทั้งสองด้าน ด้านหนึ่งจะใช้จ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่มอเตอร์ ส่วนอีกด้านหนึ่งก็จะมีสายไฟออกมาอีกเพื่อรับกระแสไฟ สามารถปรับตั้งความเร็วได้อย่างง่ายดายด้วยลูกบิดปรับความเร็วที่อยู่บนแผงควบคุมด้านหน้าของไดรเวอร์ควบคุมความเร็ว



รูปที่ 2 สปีดคอนโทรล

6. แหล่งจ่ายไฟ

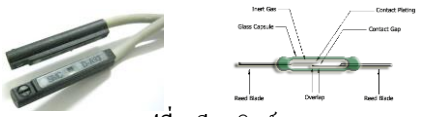
ทำหน้าที่จ่ายพลังงานและรักษาระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้กับ CPU Unit หน่วยความจำ ภาคอินพุต และภาคเอาท์พุต โดยปกติทั่วไปแล้ว Power Supply ที่ใช้กับระบบอัตโนมัติในงานอุตสาหกรรมใช้ใช้แรงดันที่อินพุตที่ 220 VAC และแปลงแรงดันเพื่อใช้กับ PLC เป็น 24 VDC



รูปที่ 3 เพาเวอร์ซัพพลาย

7. รีดสวิตซ์

เป็นสวิตซ์ที่ทำงานโดยไม่ต้องสัมผัสแต่อาศัยอำนาจแม่เหล็กเป็นตัวสั่งการทำงาน เหมาะสำหรับใช้ในงานที่มีการตัดต่อของสวิตซ์ตลอดเวลา หรือเป็นประจำ และงานที่มีปัญหาที่เกี่ยวกับพื้นที่ในการติดตั้งส่วนประกอบ มีปุ่มหน้าสัมผัสซึ่งทำงานด้วยอำนาจแม่เหล็ก และจะต้องติดต้องร่วมกับกระบอกสูบพิเศษที่มีแม่เหล็กถาวรรูปวงแหวนติดตั้งไว้ที่ลูกสูบ



รูปที่ 4 รีดสวิตซ์

8. รีเลย์

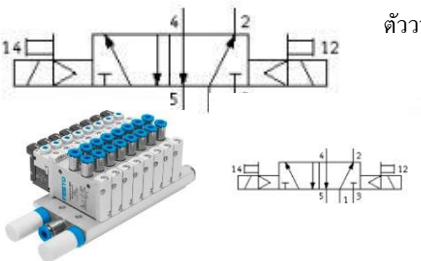
เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานแม่เหล็กเพื่อใช้ในการดึงดูดหน้าสัมผัสของคอนแทคให้เปลี่ยนสภาวะ โดยการป้อนกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวด เพื่อทำการปิดหรือเปิดหน้าสัมผัสคล้ายกับสวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 5 รีเลย์

9. โซลินอยด์วาล์ว

ริมาตรของ
ของไหลที่
ชลินอยด์
วาล์วเป็นก
เหน้าที่
สร้างสนาม
ตัววาล์วจะ
มีรูที่มีดิสท์



รูปที่ 6 โซลินอยด์วาล์ว

10. ชุดปรับคุณภาพลม

ควบคุมแรงดันลมให้ความดันด้านท่อสาขาลดลงตามต้องการ โดยอาศัยให้หมุนปรับแรงที่สปริง เพื่อปรับแรงดันลมให้มีคุณภาพสูง ส่วนอุปกรณ์ L ตัวจ่ายน้ำมันหล่อลื่น (Air Lubricator) ทำหน้าที่ดูดน้ำมันที่อยู่ใต้สุดของถ้วยของตัวจ่ายน้ำมัน น้ำมันที่ถูกดูดมาด้านบนสุดจะถูกลมแรงพัดไปในท่อลมทำให้น้ำมันอยู่ในสภาพละอองเล็ก ๆ มา และผสมในลมไม่มากนัก ลมที่มีละอองน้ำมันจะไปทำหน้าที่หล่อลื่น ในโซลินอยด์วาล์ว (Solenoid Valve) กระบอกลม (Air Cylinder) ฯลฯ ทำให้อุปกรณ์มีอายุนานขึ้นมาต่อร่วมรวมเป็น FL.R



รูปที่ 7 ชุดปรับคุณภาพลม

11. เซอร์กิตเบรกเกอร์

อุปกรณ์ที่ทำงานเปิด และปิดวงจรไฟฟ้า แบบไม่อัตโนมัติ แต่สามารถเปิดวงจรได้อัตโนมัติได้ถ้ามีกระแสไหลผ่านเกินกว่าค่าที่กำหนดมันก็จะทำงานทันที โดยไม่มีความเสียหายเกิดขึ้นทำหน้าที่ตัดวงจรไฟฟ้าคล้ายฟิวส์ แต่ไม่มีการหลอมละลาย ของฟิวส์ จะทำการตัดกระแสออกจากวงจรเมื่อเกิดการลัดวงจร หรือกระแสมากเกินขีดจำกัดของเบรกเกอร์ หรือเกิดความร้อนมากเกินไป เมื่อเซอร์กิตเบรกเกอร์ตัดวงจร (Trip) แล้วสามารถทำให้วงจรทำงานกลับมาทำงานใหม่ได้โดยการรีเซต หรือกดเบรกเกอร์ให้ลงมาอยู่ในตำแหน่ง OFF ก่อน แล้วจึง ON ใหม่



รูปที่ 8 เซอร์กิตเบรกเกอร์

12. เทอร์มินอลบล็อก

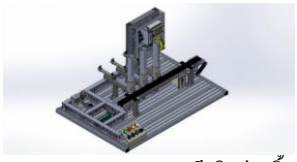
เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้สำหรับเชื่อมต่อสายไฟในตู้คอนโทรล เพื่อให้การจัดเก็บสายไฟเป็นระเบียบเรียบร้อย และมีความปลอดภัยในการ ใช้งาน โดยทั่วไปเทอร์มินอลบล็อคที่นิยมใช้งานกันจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก ๆ คือ แบบสกรู (Screw Type) และแบบเสียบสายล็อค (Rod Type) ซึ่งแต่ละแบบก็จะมีรูปแบบการติดตั้งใช้งาน ที่แตกต่างกันออกไป



รูปที่ 9 เทอร์มินอลบล็อค

13. แนวคิดในการออกแบบระบบการทำงาน

กระบวนการทำงานของสถานีการเบิกจ่ายชิ้นงานโดยใช้กระบอกสูบ 3 ตัวในการจ่ายชิ้นงาน 3 ชิ้น โดยใช้ลมในการขับเคลื่อนกระบอกสูบ ใช้เซนเซอร์ไฟเบอร์ออฟติกในการตรวจสอบชิ้นงาน และลำเลียงชิ้นงานด้วยคอนเวเยอร์ที่ใช้มอเตอร์ในการขับเคลื่อนผ่านการทำงานของ PLC ซึ่งจะสั่งการในโปรแกรม GX Works 3 ตามเงื่อนไขในที่กำหนดไว้ในสถานีเบิกจ่ายชิ้นงานดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 แบบชุดทดลองสถานีเบิกจ่ายชิ้นงาน

14. การออกแบบโครงสร้าง

โครงสร้างของสถานีจ่ายชิ้นงานทำจากอะลูมิเนียมโปรไฟล์ขนาดยาว 120 มิลลิเมตร จำนวน 2 ชิ้นโดยมีการอลูมิเนียมโปรไฟล์ขนาดพื้นที่หน้าตัด กว้าง 30 มิลลิเมตร ยาว 30 มิลลิเมตร และ อลูมิเนียมโปรไฟล์ขนาดยาว 220 มิลลิเมตร จำนวน 6 ชิ้น โดยมีการอลูมิเนียมโปรไฟล์ขนาดพื้นที่หน้าตัดกว้าง 30 มิลลิเมตร ยาว 30 มิลลิเมตร โดยน็อตในการยึดอลูมิเนียมโปรไฟล์เข้าด้วยกัน ดังนี้ โดยการใช้น็อต M6 ยาว 15 มิลลิเมตร จำนวน 24 ตัว ในการยึดโปรไฟล์ ออกแบบไว้เพื่อเป็นฐานยึดอุปกรณ์อื่น ๆ ได้แก่ แมกกาซีน กระบอกสูบ สายพานลำเลียง ดิจิตอลไฟเบอร์ออฟติกเซนเซอร์ มอเตอร์ ชุดปรับคุณภาพลม วาล์วควบคุมการเคลื่อนที่ของกระบอกสูบนิวเมติกส์ วาล์วปรับควบคุมอัตราการไหล พาวเวอร์ซัพพลาย รีเลย์ หลอดไฟ สวิตซ์ปุ่มกด รางวายดักส์ รางปีกนก

15. การคำนวณมอเตอร์ และ สายพาน

มอเตอร์ ซึ่งใช้สำหรับการทำงานของสายพาน โดยผู้จัดทำเลือกมอเตอร์ AC รุ่น USM315-412W2 ใช้สำหรับสายพานขนาด 58 มิลลิเมตร การคำนวณในการเลือกใช้มอเตอร์ให้เหมาะกับสายพานการคำนวณหาอัตราทดระบบส่งกำลังด้วยเฟือง

กำหนดให้

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_1}{z_2}$$

i = อัตราทด

n1 = ความเร็วรอบของเฟืองขับ (รอบ/นาที)

n2 = ความเร็วรอบของเฟืองตาม (รอบ/นาที)

z1 = จำนวนฟันของเฟืองขับ (ฟัน)

z2 = จำนวนฟันของเฟืองตาม (ฟัน)

หาอัตราทด

$$i = \frac{z_2}{z_1}$$

$$i = \frac{20}{16}$$

$$i = \frac{5}{4}$$

ดังนั้น อัตราทดที่ใช้ = 5 : 4

หาความเร็วรอบของเฟืองตาม

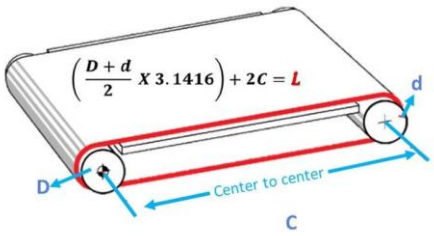
$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1}$$

$$\frac{120}{n_2} = \frac{20}{16}$$

$$n_2 = 96$$

ดังนั้น ความเร็วรอบของเฟืองตามที่ใช้คือ 96 รอบ/นาที

คำนวณความยาวสายพานโดยใช้สูตรตามรูปที่ 11



รูปที่ 11 วิธีคำนวณสายพาน

L = เส้นรอบวงของสายพาน (มิลลิเมตร)

C = ความยาวระหว่างเพลา (มิลลิเมตร)

D = ความยาวครึ่งวงโรลเลอร์ (มิลลิเมตร)

d = ความยาวครึ่งวงโรลเลอร์ (มิลลิเมตร)

$$\left[\frac{D+d}{2} \times \pi\right] = 2C = L$$

$$\left[\frac{5+4}{2} \times \pi\right] + 2\,(820) = L$$

$$L = 1{,}654.13$$

ดังนั้นความยาวสายพานที่ได้คือ 1,654.13 มิลลิเมตร

ความเร็วในการลำเลียงของสายพานโดยใช้สูตร

$$Speed = \frac{MoterRpm \times RollerDaimeter \times (\frac{\pi}{12})}{GearBoxRatio}$$

$$Speed = \frac{120 \times 10 \times (\frac{\pi}{12})}{1.25}$$

$$Speed = 251.33$$

ดังนั้น ความเร็วของสายพาน = 251.33 มิลลิเมตรต่อนาที

16. การทดสอบหาประสิทธิภาพการทำงานของชุดทดสอบระบบการผลิตอัตโนมัติ

ผลทดสอบการหาประสิทธิภาพของการทำงานของชุดทดสอบสำหรับแบบจำลองระบบการผลิตอัตโนมัตินี้โดยการใช้โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลรูปแบบการทำงาน โดยตารางมีการแบ่งเครื่องหมายดังนี้

เครื่องหมาย ✔ หมายถึงชุดทดสอบระบบทำงานถูกต้อง

เครื่องหมาย **X** หมายถึงชุดทดสอบระบบทำงานไม่ถูกต้อง

ตารางที่ 1 การทำงานของระบบแบบการบังคับด้วยมือ (CW)

การทำงาน ครั้งที่	กระบอกสูบ A B C	ริดสวิตช์ 1	ริดสวิตช์ 2	ไฟเบอร์ออฟติกเซนเซอร์	มอเตอร์หมุนแบบ CW
1	✔	✔	✔	✔	✔
2	✔	✔	✔	✔	✔
3	✔	✔	✔	✔	✔
4	✔	✔	✔	✔	✔
5	✔	✔	✔	✔	✔
6	✔	✔	✔	✔	✔
7	✔	✔	✔	✔	✔
8	✔	✔	✔	✔	✔
9	✔	✔	✔	✔	✔
10	✔	✔	✔	✔	✔

ตารางที่ 2 การทำงานของระบบแบบการบังคับด้วยมือ (CCW)

การทำงาน ครั้งที่	กระบอกสูบ A B C	ริดสวิตช์ 1	ริดสวิตช์ 2	ไฟเบอร์ออฟติกเซนเซอร์	มอเตอร์หมุนแบบ CCW
1	✔	✔	✔	✔	✔
2	✔	✔	✔	✔	✔
3	✔	✔	✔	✔	✔
4	✔	✔	✔	✔	✔
5	✔	✔	✔	✔	✔
6	✔	✔	✔	✔	✔
7	✔	✔	✔	✔	✔
8	✔	✔	✔	✔	✔
9	✔	✔	✔	✔	✔
10	✔	✔	✔	✔	✔

สรุปผลการทดลองจากการทำงานแบบบังคับมือจากตารางที่ 1 และ 2 ไม่พบปัญหาในการทำงานของตัวอุปกรณ์



รูปที่ 12 ระดับของสปีดคอนโทรล

ตารางที่ 3 การทำงานของระบบแบบการบังคับอัตโนมัติแสดงความเร็วในการไหลของชิ้นงานจากแม็กกาซีนในความเร็ว ระดับต่อวินาที

ความเร็วระดับที่	แมกกาซีน A	แมกกาซีน B	แมกกาซีน C
2	59.27	45.05	34.44
3	17.48	15.03	13.03
4	10.22	8.02	6.10
5	7.67	5.22	3.21
6	5.67	4.46	2.53
7	4.81	3.72	2.05
8	4.16	3.28	1.90
9	4.10	3.26	1.70
10	4.09	3.24	1.65
11	4.08	3.22	1.58

สรุปผลการทดลองจากการทำงานแบบอัตโนมัติจากตารางที่ 3 ที่กำหนดไว้ในโปรแกรมการทำงาน พบว่ามีปัญหาในการทำงานแบบอัตโนมัติในระดับที่ 2 และ 3 มีข้อผิดพลาด เนื่องจากความเร็วในระดับ 2 และ 3 ใช้เวลาในการเคลื่อนที่จากแม็กกาซีนไปยังปลายสายพานมากเกินไปทำให้ ชิ้นงานที่ออกต่อเนื่องกันเกิดการชนกัน ส่วนในระดับที่ 4 ถึง 11 ไม่เกิดปัญหาในการทำงาน

17. สรุปผลการทดสอบ

ชุดแบบทดลองระบบการผลิตอัตโนมัตินี้ได้พบว่าการทำงานของชุดทดสอบในโปรแกรมเมเบิลโลจิกคอนโทรลเลอร์โดยการทำงานแบบอัตโนมัติมีความผิดผลาดในการทำงานอยู่ 2 ระดับคือ จาก 10 ระดับความเร็วโดยพบว่ามีปัญหาหากมีความเร็วในการลำเลียงที่ช้าไม่เข้ากับตัวโปรแกรม และการทดสอบในโปรแกรมเมเบิลโลจิกคอนโทรลเลอร์โดยการทำงานแบบบังคับมือ นั้นไม่พบความผิดพลาดในการทำงานของอุปกรณ์

18. ข้อเสนอแนะ

ควรหาความเร็วของมอเตอร์ที่กระทำต่อสายพานให้เหมาะสมกับการทำงานของโปรแกรมเมเบิลโลจิกคอนโทรลเลอร์โดยการทำงานแบบอัตโนมัติเพื่อลดความผิดพลาดในการทำงาน หรือเราสามารถแก้ปัญหาในโปรแกรมตรงเวลาในการจ่ายชิ้นงานเพื่อหาเวลาที่เหมาะสมกับการใช้สายพานลำเลียงในระดับที่ช้าได้

19. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์และระบบการผลิตอัตโนมัติ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการออกแบบและพัฒนาชุดต้นแบบการจำลองระบบการผลิตอัตโนมัติเพื่อฝึกทักษะด้านเมคคาทรอนิกส์

เอกสารอ้างอิง

[1] สุนทร ก้องสินธุ และคณะ. (2561). การออกแบบชุดทดลองคัดแยกสีอัตโนมัติบนระบบสายพานลำเลียงโดยโมดูลแยกสีอาดูโน. อาจารย์สาขาวิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคมีนบุรี สถาบันการอาชีวศึกษากรุงเทพมหานคร.

[2] ประจักษ์ ตะถา และคณะ. (2557). ชุดสาธิตการจัดเรียงการจัดเรียงสิ่งของควบคุมด้วย (PLC) ท.บ. สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรมไฟฟ้า คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์.

[3] กฤษณ์ โชติพันธ์ และคณะ. (2565). การสร้างชุดทดลองสายพานลำเลียงควบคุมด้วยอินเวอร์เตอร์ร่วมกับโปรแกรมเมเบิลคอนโทรลเลอร์. สาขาเทคโนโลยีไฟฟ้าวิทยาลัยเทคนิคสุราษฎร์ธานี

[4] วนายุทธ์ แสนเงิน และคณะ. (2565). การพัฒนาชุดศึกษาระบบคัดแยกสีของวัตถุบนสายพานลำเลียงด้วยแขนกลหุ่นยนต์สการ่า. ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีประทุม

[5] รัฐวุฒิ วงษ์วิทย์ และคณะ. (2560). การพัฒนาเครื่องจำลองการจัดเก็บอัตโนมัติด้วยวิธีการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ นครนายก.

[6] ณัฐพงษ์ บุหงา และคณะ. (2564). เครื่องคัดแยกวัสดุอัตโนมัติในสายพานลำเลียงควบคุมด้วยระบบพีแอลซี. สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์.

[7] จรัส จุนเด็น และคณะ. (2560). การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดทดลองกระบวนการผลิตในงานอุตสาหกรรมควบคุมด้วย โปรแกรมเมเบิลคอนโทรลเลอร์. สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า สังกัดวิทยาลัยเทคนิคสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี.



ประวัติผู้เขียนบทความ
นายดุลยวัต เสนาะกรรณ์
ปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
E-mail : dulywat.591@gmail.com



ประวัติผู้เขียนบทความ
นายสุรเดช โอสถเสถียร
ปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
E-mail : suradas2002@gmail.com



ประวัติผู้เขียนบทความ
นายธนภัทร วงษ์ไพบูลย์
ปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
E-mail : aum.thp@gmail.com

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

การออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ต้นแบบการปลูกต้นกล้าไม้แบบกึ่งอัตโนมัติ

Design and Construction the Se-mi Automatic Seeding Planting Prototype Robot

รุ่งโรจน์ สุพงษ์วิบูลพันธ์, วัชร ส่งเสริม,วีรชัย แซ่เล่า, ปิยวดี นาคคง และ ฟาฮิม มูซอ*

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กทม. 10800, E-mail : fahim.musor.1998@gmail.com *

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ต้นแบบการปลูกต้นกล้าไม้แบบกึ่งอัตโนมัติเพื่อใช้ในการปลูกต้นกล้ามะกรูด โดยมีความคาดหวังอย่างยิ่งให้มีการต่อยอดสู่การเกษตรมากขึ้น โดยการทำงานของหุ่นยนต์จะเป็นการทำงานแบบบังคับมือ หรือแบบกึ่งอัตโนมัติ ซึ่งการทำงานแบบบังคับมือจะควบคุมกระบวนการทำงานทั้งหมดของหุ่นยนต์ต้นแบบโดยสั่งการควบคุมผ่านรีโมทคอนโทรล ส่วนระบบการทำงานแบบกึ่งอัตโนมัติจะเริ่มการทำงานผ่านการกดรีโมทคอนโทรลเพื่อเริ่มการทำงาน โดยการกดรีโมทค้างไว้เพื่อให้หุ่นยนต์ทำการขุดดิน เจาะ และกลบดิน ในแต่ละรอบของการทำงาน ดังนั้นจึงได้ทำการทดสอบการปลูกต้นกล้าด้วยระบบแบบกึ่งอัตโนมัติ โดยทำการทดสอบ 2 รูปแบบ พบว่าระหว่างการเคลื่อนที่ของเอ็นโค้ดเดอร์นั้นมีประสิทธิภาพในการกำหนดระยะทางโดยรวมเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 602 รอบ ต่อ 300 เซนติเมตร และมีค่าผลรวมของทุกค่าที่ห่างจากค่ากลางของข้อมูล หรือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 10 รอบ และมีความคาดเคลื่อนในขณะการเคลื่อนที่ไปตามระยะทาง และในขณะทำการหมุนแม็กกาซีนเพื่อหย่อนต้นกล้ากับการขุดเจาะดิน โดยมีความคาดเคลื่อนในส่วนของการเคลื่อนที่เฉลี่ยรวมเท่ากับ 7 เซนติเมตร การขุดเจาะดินมีความผิดพลาดอยู่ที่ร้อยละ 16.67 และความผิดพลาดในการหย่อนต้นกล้าอยู่ที่ร้อยละ 21.11 จึงสรุปได้ว่าในกระบวนการทำงานของระบบทั้งหมดมีประสิทธิภาพในการปลูกต้นกล้าไม้

คำสำคัญ : ต้นกล้าไม้; แม็กกาซีน; Encoder; drive module

Abstract

The purpose of this thesis is to Design and Construction the Se-mi Automatic Seeding Planting Prototype Robot for growing kaffir lime seedlings with great expectation that there will be more extensions to agriculture The operation of the robot will be a manual or semi-automatic operation. The manual operation controls the entire working process of the original robot by generating control via a remote control. The semi-automatic operation system will start by pressing the remote control to start the operation. by pressing and holding the remote So that the robot will dig, drill and cover the soil in each cycle of work. Therefore, a semi-automatic system for growing seedlings was tested. By conducting 2 tests, it was found that during the movement of the encoder, the average overall distance determination was 602 cycles per 300 cm The data or standard deviation was equal to 10 cycles, and there was a discrepancy while moving along the distance and while rotating the magazine to lower seedlings and digging the soil. The error in the part of the total average displacement was 7 cm . The error in soil drilling was 16.67% and the error in dropping seedlings was 21.11%. The whole system is efficient in growing seedlings.

Keywords: Seeding; Magazine; Encoder; drive module

1. บทนำ

ปัจจุบันหุ่นยนต์ได้เข้ามาเป็นส่วนหนึ่งในการทำงานร่วมกับชีวิตประจำวันของมนุษย์ เนื่องจากหุ่นยนต์สามารถช่วยในทำงานด้านต่าง ๆ ตามความต้องการของผู้สร้าง และในปัจจุบันมีการสร้างหุ่นยนต์ที่มีลักษณะรูปแบบต่าง ๆ เพื่อนำมาใช้งานตามวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน เช่น หุ่นยนต์ด้านการทหาร หุ่นยนต์ด้านการแพทย์ หุ่นยนต์ด้านอุตสาหกรรม หุ่นยนต์ด้านการเกษตร หุ่นยนต์อุตสาหกรรมการก่อสร้าง หุ่นยนต์ด้านวิทยาศาสตร์ และหุ่นยนต์ที่ใช้งานด้านทางอวกาศ เป็นต้น สาเหตุที่ต้องนำหุ่นยนต์เข้ามาช่วยในการทำงานนั้น เนื่องจากว่าหุ่นยนต์มีความสามารถที่จะทำงานได้อย่างต่อเนื่อง รวดเร็ว เที่ยงตรง มีกำลังสูง และยังสามารถทำงานในสภาวะแวดล้อมที่เป็นอันตรายกับมนุษย์ได้ เช่น การหล่อโลหะที่มีอุณหภูมิสูง การผลิตที่ต้องใช้สารเคมีที่เป็นอันตราย การกำจัดกากปฏิกูลในโรงงานที่ใช้สารเคมีที่เป็นอันตราย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การใช้งาน และความสามารถของหุ่นยนต์

หุ่นยนต์ด้านการเกษตรมีบทบาทสำคัญมากที่จะช่วยเพิ่มผลผลิตของเกษตรกรในปัจจุบัน เนื่องจากการเกษตรเป็นอาชีพหลักของประเทศไทย ประชาชนส่วนใหญ่ของประเทศประกอบอาชีพเกษตรกร ทำให้การเกษตรมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งในการพัฒนาเศรษฐกิจ และการพัฒนาประเทศ แต่ว่าหุ่นยนต์ในด้านนี้นั้นก็ยังมีลักษณะการทำงานอยู่หลายประเภท เช่น หุ่นยนต์ปลูกผัก หุ่นยนต์ปลูกข้าว หุ่นยนต์เก็บเกี่ยวผลผลิต หุ่นยนต์พ่นยา และหุ่นยนต์ปลูกต้นกล้าพืชต่าง ๆ เป็นต้น

แม้ว่าลักษณะหุ่นยนต์จะมีมากมายแต่ว่าเป้าหมายเดียวกันคือการช่วยให้การทำการเกษตรได้ผลผลิตที่มากขึ้น ลดต้นทุน ลดการใช้แรงงาน เพิ่มประสิทธิภาพ เพิ่มคุณภาพ ไม่ว่าจะเป็นในด้านการปลูก หรือการเก็บเกี่ยวผลผลิตต่าง ๆ หุ่นยนต์ที่ถูกสร้างมาจะก็สามารถช่วยในการทำงานได้เป็นอย่างมาก

จากการส่งเสริมของทางภาครัฐ และเอกชนที่ต้องการความก้าวหน้าเกี่ยวกับทางด้านเทคโนโลยีการเกษตรจึงทำให้เกิดโครงการหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติสำหรับการเกษตรอัจฉริยะ Smart-Agricultural Robot Contest 2021 ซึ่งได้จัดการแข่งขันโดยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ แข่งขันในประเภทการจัดการด้านป่าไม้ โดย

ที่วัตถุประสงค์ของโครงการนี้ คือการสร้างนวัตกรรมเพื่อให้สอดคล้องและตอบโจทย์กับหัวข้อหุ่นยนต์เกษตรอัจฉริยะ ทางผู้จัดทำจึงได้เข้าร่วมการแข่งขันและได้เกิดแนวความคิดที่จะออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ปลูกต้นกล้าไม้กึ่งอัตโนมัติ ที่จะทำงานเกี่ยวกับการปลูกต้นกล้าไม้ โดยจะทำงานควบคู่ไปกับผู้ควบคุมหุ่นยนต์

2. ระบบอัตโนมัติ

ระบบอัตโนมัติ คือ ระบบที่ทำงานผ่านการควบคุมจากคอมพิวเตอร์ อาจจะเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถเริ่มทำงานได้ด้วยตัวเองตามโปรแกรมที่มนุษย์เป็นผู้ควบคุมไว้ เช่นระบบรดน้ำอัตโนมัติ ระบบตอบรับโทรศัพท์อัตโนมัติ ระบบอัตโนมัติเข้ามามีบทบาทมากขึ้นในปัจจุบันทั้งในด้านวิศวกรรม อุตสาหกรรม และรวมไปถึงการดำเนินชีวิตประจำวันของมนุษย์ ระบบอัตโนมัติถูกคิดค้นมาเพื่อให้สามารถลดการใช้ทรัพยากรที่ไม่จำเป็น และตอบสนองความต้องการของมนุษย์ ด้านอุตสาหกรรมจะเห็นการใช้ระบบอัตโนมัติมากขึ้น เนื่องจากด้านอุตสาหกรรมต้องการที่จะลดค่าใช้จ่ายและเพิ่มคุณภาพให้กับสินค้าหรือบริการ ระบบอัตโนมัติในอุตสาหกรรมเช่น หุ่นยนต์อุตสาหกรรมรถขนส่ง AGV สายพานการผลิต รวมทั้งระบบ PLCs เป็นต้น การใช้เทคโนโลยีดังกล่าวเข้ามาช่วยในอุตสาหกรรมสามารถช่วยแก้ไขปัญหาที่เกิดจากมนุษย์ (Human Error) และเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตมากยิ่งขึ้น เครื่องจักรในระบบอัตโนมัติมี 2 ประเภทได้แก่

2.1 ระบบเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติ

ระบบเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติ คือ ระบบเครื่องจักรที่ใช้งานผ่านการควบคุมจากคอมพิวเตอร์แค่บางส่วน ในส่วนที่เหลือยังต้องอาศัยการทำงานโดยมนุษย์ เนื่องจากเป็นงานที่ต้องการความแม่นยำ และความละเอียดสูง

2.2 ระบบเครื่องจักรอัตโนมัติ

ระบบเครื่องจักรอัตโนมัติ คือ เครื่องจักรที่นำเอาคอมพิวเตอร์เข้ามามีส่วนช่วยในการควบคุมหรือการทำงานในทุกขั้นตอนโดยจะให้เรามีหน้าที่ในการออกคำสั่ง ดูแล รักษาระบบเครื่องเพียงเท่านั้น การทำงานโดยใช้ระบบเครื่องจักรอัตโนมัติทุกขั้นตอนจะเหมาะกับงานที่ต้องการการควบคุมอย่างเต็มที่เต็มรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นในเรื่องด้านคุณภาพหรือความสะอาด อีกทั้งยังใช้ในงานที่ไม่สามารถใช้คนทำได้ เช่น งานที่ไม่สามารถใช้คนทำได้ เช่น งานที่ต้องใช้อุณหภูมิสูง ๆ เกินกว่าที่คนเราจะสามารถทนได้ ซึ่งเราจะมีหน้าที่การรับผิดชอบในการดูแลรักษาเครื่องจักรเท่านั้น

3. ระบบการขับเคลื่อน

โซ่ รถมอเตอร์ไซค์ หรือ Motorcycle chain อีกหนึ่งชิ้นส่วนสำคัญของรถมอเตอร์ไซค์ที่ใช้ระบบส่งกำลังด้วยชุด โซ่ สเตอร์ โซ่และสเตอร์ คือ ส่วนสำคัญในการขับเคลื่อนเมื่อกล่าวถึงอุปกรณ์ที่มีความสำคัญมากกับรถมอเตอร์ไซค์ โซ่และสเตอร์ คือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนรถมอเตอร์ไซค์ โดยสเตอร์ คือ ฟันเฟืองที่ใช้ขบกับโซ่ซึ่งทั้งโซ่และสเตอร์ต้องทำงานควบคู่กัน หากอย่างใดอย่างหนึ่งเกิดความผิดปกติอาจทำให้ระบบการขับเคลื่อนของรถมอเตอร์ไซค์ไม่สามารถขับเคลื่อนต่อไปได้หรือผิดปกติตามไปด้วย

4. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง คือ เครื่องกลไฟฟ้าทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็น พลังงานกล โดยอาศัยหลักการดังนี้ คือ เมื่อมีกระแสไหลผ่านลวดตัวนำซึ่งวางอยู่ในสนามแม่เหล็กจะมีแรงเกิดขึ้นที่ลวดตัวนำทำให้ลวดตัวนำเกิดการเคลื่อนที่ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ **1** มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

5. ระบบ Microcontroller

ไมโครคอนโทรลเลอร์ถ้าแปลความหมายแบบตรงตัวก็คือระบบคอนโทรลขนาดเล็กเรียกอีกอย่างหนึ่งคือเป็นระบบคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย โดยผ่านการออกแบบวงจรให้เหมาะกับงาน และยังสามารถโปรแกรมคำสั่งเพื่อควบคุมขา Input /Output เพื่อสั่งงานให้ไปควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ซึ่งก็นับว่าเป็นระบบที่สามารถนำมาประยุคใช้งานได้หลากหลาย ทั้งทางด้าน Digital และ Analog ดังนั้นการสั่งงานจึงไม่ใช่แค่หน้าแผงวงจรแต่อาจจะเป็นการสั่งงานอยู่คนละซีกโลกผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ตก็ได้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลต่าง ๆ ที่ได้รับความนิยม

Arduino Mega 2560 เป็นบอร์ดที่ใช้ชิป ATmega2560 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์หลัก เป็นบอร์ดที่ต่อยอดมาจาก Arduino Uno R3 มี digital input/output 54 ขา สามารถใช้เป็น output แบบ PWM ได้ 15 ขา มี analog inputs 16 ขา มี UARTs (hardware serial ports) 4 ขา ทำงานที่ความถี่ 16 MHz สามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ด้วยสายเคเบิล USB หรือใช้ adaptor AC-to-DC เพื่อเริ่มต้นใช้งาน และมีปุ่ม reset สามารถต่อเข้ากับ shields ที่ออกแบบเพื่อใช้งานกับ Arduino Duemilanove หรือ Diecimila

6. โปรแกรมที่ใช้งาน

โปรแกรมของ Arduino C++ จะจัดรูปแบบโครงสร้างของการเขียนโปรแกรมออกเป็นส่วนย่อยหลาย ๆ ส่วน โดยเรียกแต่ละส่วนว่าฟังก์ชั่น และ เมื่อนำฟังก์ชั่น มารวมเข้าด้วยกัน ก็จะเรียกว่าโปรแกรม โดยโครงสร้างการเขียนโปรแกรมของ Arduino นั้น ทุก ๆ โปรแกรมจะต้องประกอบไปด้วยฟังก์ชั่นจำนวนเท่าใดก็ได้ แต่อย่างน้อยที่สุดต้องมีฟังก์ชั่น จำนวน 2 ฟังก์ชั่น คือ setup() และ loop()

```
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:

}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:

}
```

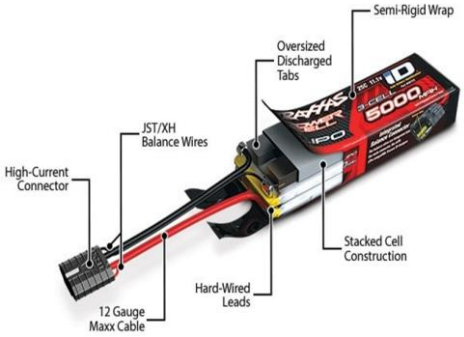
รูปที่ 2 ส่วนของ ฟังก์ชั่น

7. พลังงาน

คือความสามารถในการทำงานหรือทำให้เกิดงาน ผลการทำงานของแรงนั้นทำให้วัตถุหรือสิ่งใด ๆ เคลื่อนที่ หรือเคลื่อนไหว พลังงานนั้นสามารถจัดเก็บไว้ได้พลังงานไม่สามารถถูกทำลายได้ แต่สามารถเปลี่ยนแปลงจากรูปหนึ่งไปเป็นอีกรูปหนึ่งได้ เช่น พลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้า เป็น พลังงานกล หรือ พลังงานความร้อน เป็นต้น

แบตเตอรี่ Lithium Polymer

Lithium Polymer หรือ Li-po เป็นหนึ่งในกลุ่มของแบตเตอรี่ชนิด lithium ที่มีอยู่ในโลก มันจะต่างกับแบตเตอรี่ lithium ion, lithium ferrite ตรงที่ Li-po จะมีพลังงานความหนาแน่นมาก ๆ และสามารถชาร์จ/ดิสชาร์จได้ด้วยแอมป์สูง ๆ และยังมีความผันผวนที่มากกว่า lithium ชนิดอื่น ๆ Li-po จะแพคอยู่ในแบบเรียงซ้อนกันและแรงดันต่อเซลล์จะอยู่ที่ 3.7 โวลต์ ถ้าชาร์จเต็มจะอยู่ 4.2 โวลต์



รูปที่ 3 แบตเตอรี่ Lithium Polymer

8. ดอกสว่านเจาะดิน

หลักการทำงานของเครื่องเจาะดิน จะอาศัยกำลังงานจากเครื่องยนต์ในการหมุนหัวขุด วิธีการเลือกดอกสว่านเจาะดิน ขนาดดอกเจาะดิน 8 เซนติเมตร สามารถเจาะหลุมลึกประมาณ 18 เซนติเมตร เหมาะสำหรับฝังท่อแป๊บ ฝังเสาไม้ไผ่ ฝังปุ๋ย พรวนดิน ขนาดดอกเจาะดิน 8 เซนติเมตร สามารถเจาะหลุมลึกประมาณ 25 เซนติเมตร เหมาะสำหรับงานฝังเสารั้วลวดหนาม ฝังปุ๋ย พรวนดินรอบต้นไม้ขนาดดอกเจาะดิน 8 เซนติเมตร สามารถเจาะหลุมลึกประมาณ 30 เซนติเมตร เหมาะสำหรับงานทั่วไป ขุดหลุมปลูกต้นไม้ ฝังปุ๋ย ปักเสารั้วลวดหนามแบบหล่อปูนโคนเสา ขุดหลุมเสาบ้าน ขนาดดอกเจาะดิน 8 เซนติเมตร สามารถเจาะหลุมลึกประมาณ 60 เซนติเมตร เหมาะสำหรับงานปลูกต้นไม้ ขุดหลุมเสาโครงสร้าง



รูปที่ 4 ขนาดของดอกเจาะดิน

9. สมการที่เกี่ยวข้อง

แรงบิด ความสัมพันธ์ การคำนวณ อัตราการทดดังแสดงในสมการที่ (1)

$$\tau = \frac{8.3 \times I_A}{K_V} \quad (1)$$

τ = แรงบิด (นิวตันเมตร)

8.3 = ค่าคงที่

I_A = กระแสของมอเตอร์/โวลต์

K_V = ความเร็วรอบ/โวลต์

เฟืองขับ และเฟืองตาม จะมีความเร็วรอบ และจำนวนฟันเฟืองที่ต่างกัน ซึ่งตัวไหนจะมากกว่าหรือน้อยกว่าก็ขึ้นอยู่กับความต้องการที่ปลายทางว่าต้องการ เพิ่มหรือลดความเร็ว โดยเฟืองขับ และเฟืองตามจะมีความสัมพันธ์กันคือ

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1} \quad (2)$$

I = อัตราทด

n_1 = ความเร็วรอบของเฟืองขับ (รอบ/นาที)

n_2 = ความเร็วรอบของเฟืองตาม (รอบ/นาที)

z_1 = จำนวนฟันของเฟืองขับ (ฟัน)

z_2 = จำนวนฟันของเฟืองตาม (ฟัน)

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าเฉลี่ย

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน คือการบอกว่าข้อมูลแต่ละตัวอยู่ห่างจากค่าเฉลี่ยเลขคณิตโดยเฉลี่ย ประมาณเท่าไหร่ ในรูปแบบนี้จะใช้ข้อมูลทุกตัวเข้ามาวิเคราะห์ด้วย เพื่อแก้ปัญหาวิธีหาค่าวัดการ

- ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร (ดังสมการที่ 3)
- ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่าง (ดังสมการที่ 4)

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}\left(x_i - \mu\right)^2}{N}} \quad (3)$$

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานประชากร

x = ข้อมูล (ตัวที่ 1,2,3,…,n)

μ = ค่าเฉลี่ย

N = ขนาดประชากร

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \overline{x}\right)}{n-1}} \quad (4)$$

S = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานตัวอย่าง

X = ข้อมูล (ตัวที่ 1,2,3,…,n)

$\overline{X}$ = ค่าเฉลี่ย

n = ขนาดตัวอย่าง

10. ผลการดำเนินงาน

10.1 การทดสอบหาประสิทธิภาพการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ต้นแบบการปลูกกล้าแบบกึ่งอัตโนมัติโดยใช้เอ็นโค้ดเดอร์ในการกำหนดระยะทาง

ผลทดสอบการหาประสิทธิภาพการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ต้นแบบการปลูกต้นกล้าแบบกึ่งอัตโนมัติ โดยใช้เอ็นโค้ดเดอร์ในการหาระยะทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ พบว่าเอ็นโค้ดเดอร์มีการหมุน 200 รอบ เท่ากับ 100 เซนติเมตร ดังนั้นในการทดสอบกำหนดระยะทางของการเคลื่อนที่ของการปลูกต้นมะกรูด ด้วยเอ็นโค้ดเดอร์จำนวน 600 รอบต่อระยะการเคลื่อนที่ทุก ๆ 300 เซนติเมตร ด้วยเอ็นโค้ดเดอร์จำนวน 600 รอบต่อระยะการเคลื่อนที่ โดยทำการทดสอบระบบจำนวนรอบของเอ็นโค้ดเดอร์ ทั้งหมด 5 รอบการทำงาน เพื่อหาประสิทธิภาพการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ต้นแบบการปลูกต้นกล้าแบบกึ่งอัตโนมัติโดยใช้เอ็นโค้ดเดอร์กำหนดให้ดังต่อไปนี้

เครื่องหมาย ✔ หมายถึงหุ่นยนต์สามารถทำงานได้

เครื่องหมาย X หมายถึงหุ่นยนต์ไม่สามารถทำงานได้

เครื่องหมาย ● หลุมหย่อนต้นกล้า

เครื่องหมาย → ระยะการเคลื่อนที่การปลูกต้นกล้า 300 เซนติเมตร

เครื่องหมาย ▲ หุ่นยนต์



รูปที่ 4 การเคลื่อนที่และการปลูกต้นกล้า

10.2 การทดสอบกระบวนการทำงานของระบบหุ่นยนต์ต้นแบบการปลูกกล้าแบบกึ่งอัตโนมัติโดยการควบคุมหุ่นยนต์แบบ Se-mi Auto

ทดสอบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์และกระบวนการปลูกต้นกล้าโดยการควบคุมหุ่นยนต์แบบ Se-mi Auto ทุก ๆ ระยะ 300 เซนติเมตร จะทำการทดสอบทั้งกระบวนการ การเคลื่อนที่ การขุดเจาะ การหย่อนต้นกล้า โดยจะทำการทดสอบกระบวนของระบบทั้งหมด 10 รอบการทำงาน

11. ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบกระบวนการเคลื่อนที่และการปลูกต้นกล้าของหุ่นยนต์ต้นแบบการปลูกต้นกล้ากึ่งอัตโนมัติทุก ๆ ระยะ 300 เซนติเมตร พบว่ามีความคาดเคลื่อนในการเคลื่อนที่ไปตามระยะทางและในการหมุนแม็กกาซีนเพื่อหย่อนต้นกล้ากับการขุดเจาะดิน โดยมีความคาดเคลื่อนในส่วนของการเคลื่อนที่เฉลี่ยรวมเท่ากับ 7 เซนติเมตร และมีความแม่นยำในการทำงานคิดเป็นร้อยละ 97.72 เนื่องจากว่ามีตัวแปรที่ส่งผลต่อการทดสอบ เช่น พื้นดินมีสภาพที่ค่อนข้างแข็งยากต่อการขุด พื้นดินที่สภาพไม่เป็นที่ราบทำให้หุ่นยนต์เกิดความไม่สมดุลในขณะเคลื่อนที่ จึงทำให้ล้อรถหุ่นยนต์เกิดการขัดหรือทำให้เอ็นโค้ดเดอร์ที่กำหนดวัดระยะทางนั้นรับค่าที่ผิดพลาด

ผลการทดสอบกระบวนการทำงานของการขุดเจาะดินและการหย่อนต้นกล้าของหุ่นยนต์ต้นแบบการปลูกต้นกล้าแบบกึ่งอัตโนมัติ พบว่ามีความผิดพลาดของการขุดเจาะดินอยู่ที่ร้อยละ 16.67 และความผิดพลาดในการหย่อนต้นกล้าอยู่ที่ร้อยละ 21.11 ซึ่งความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการขุดเจาะดินเกิดจากสภาพพื้นดินที่ใช้ในการทดสอบเป็นดินเหนียวที่แข็งตัวจึงทำให้ยากต่อการขุดเจาะ และความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการหย่อนต้นกล้า เกิดจากการที่แม็กกาซีนหมุนหย่อนต้นกล้าเร็วเกินไปหรือช้าเกินไปจึงทำให้ต้นกล้าไปขัดกับหลุมและลงไม่ตรงหลุมหย่อนต้นกล้า

12. สรุปผลการดำเนินงาน

จากการออกแบบหุ่นยนต์ต้นแบบการปลูกต้นกล้าไม้แบบกึ่งอัตโนมัติช่วยในการปลูกต้นกล้ามะกรูด มีการนำไปทดสอบเอ็นโค้ดเดอร์และระบบการทำงานทั้งหมด พบว่าระบบการทำงานนั้นสามารถทำงานได้ โดยหุ่นยนต์ปลูกต้นกล้าไม้แบบกึ่งอัตโนมัติที่ผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างขึ้นมา โดยได้เลือกใช้ระบบการทำงานแบบกึ่งอัตโนมัติหรือการทำงานแบบบังคับมือร่วมด้วย การทำงานของระบบสามารถช่วยการปลูกต้นกล้าไม้ 90 ต้น เกิดความผิดพลาดการขุดเจาะดินอยู่ร้อยละ 16.67 และการหย่อนต้นกล้าลงแมกกาซีนอยู่ที่ร้อยละ 21.11 ส่วนประสิทธิภาพในการทำงานของเอ็นโค้ดเดอร์กำหนดระยะทางนั้นอยู่ที่ร้อยละ 99.67

13. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์และระบบการผลิตอัตโนมัติ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ต้นแบบการปลูกต้นกล้าไม้แบบกึ่งอัตโนมัติ และขอขอบคุณโครงการ Smart - Agricultural Robot Contest 2021 เป็นอย่างสูงที่ช่วยสนับสนุนในด้านทุนทรัพย์

14. เอกสารอ้างอิง

[1] หทัยเทพ วงศ์สุวรรณ. (2564). หุ่นยนต์อัตโนมัติดูแลพืชไฮโดรโปนิกส์. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[2] กฤษดา ขนักสิกรรม และยศวัฒน์ พิลาถ้อย. (2559). การพัฒนาหุ่นยนต์สำรวจแบบกึ่งอัตโนมัติ บนโยโยแพลทฟอร์ม.คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์

[3] ไชยเดช แก้วสง่า และกุลธิดา ทองนำ. (2563). หุ่นยนต์อเนกประสงค์สำหรับแก้ไขปัญหาการดูแลสวนทุเรียน. โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยขอนแก่น ฝ่ายมัธยมศึกษา (มอดินแดง) คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

[4] วิรัช กองสิน และคณะ. (2565). หุ่นยนต์ปลูกต้นกล้าอัตโนมัติด้วยเทคโนโลยีเกษตรอัจฉริยะ4.0 เพื่อยกระดับเกษตรกร. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

[5] ดอนสัน ปงผาบ. (2560). Arduino คืออะไร. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

[6] ดอนสัน ปงผาบ. (2560). การเขียนโปรแกรมด้วยภาษา C++. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

[7] บุญธรรม ภัทราจารุกุล. (2562). อัตราทดระบบส่งกำลัง. บริษัท วี.พริ้นท์ (1991) จำกัด: บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน)

[8] บุญธรรม ภัทราจารุกุล. (2562). การหาความเร็วรอบ. บริษัท วี.พริ้นท์ (1991) จำกัด: บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน

[9] H Hebel และคณะ. (2562). ระบบเมคคานิค (ระบบเครื่องกล). พิมพ์ครั้งที่ 6. VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL – Nourney, Vollmer Gmbh & Co. KG

[10] ศุภชัย สุรินทร์วงศ์. (2529). แบบไฟฟ้า. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ



ประวัติผู้เขียนบทความ
นายวีรชัย แซ่เล่า
ปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
E-mail : verachartang@gmail.com



ประวัติผู้เขียนบทความ
นายฟาฮิม มูซอ
ปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
E-mail : piyawadee.n23@gmail.com



ประวัติผู้เขียนบทความ
นายฟาฮิม มูซอ
ปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
E-mail : fahim.musor.1998@gmail.com

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

การศึกษาและออกแบบอุปกรณ์เชื่อมต่อชุดจำลองระบบอุตสาหกรรมอัตโนมัติกับชุดพีแอลซี

A Study and Design a Connected Device for Industrials Automation Systems Simulations with PLC

สิงห์แก้ว ป๊อกเที่ง, คมพันธ์ ชมสมุทร, ชลากร อุดมรักษาสกุล, วันวลิต นามวงศ์ และ ศศิธร บืดขุนทด*

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กทม. 10800, E-mail : chalakorn.u@rmutp.ac.th*

บทคัดย่อ

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร มีชุดฝึกจำลองระบบอุตสาหกรรมอัตโนมัติที่ใช้พีแอลซีของ Omron ในการควบคุมการทำงาน เพื่อเกิดความหลากหลายในการเรียนรู้ ผู้วิจัยจึงได้สร้างอุปกรณ์เชื่อมต่อชุดจำลองระบบอุตสาหกรรมอัตโนมัติ ให้สามารถทำงานร่วมกับชุดพีแอลซียี่ห้อ Mitsubishi และยี่ห้อ Siemens ขึ้น โดยทดสอบกับสถานีสายพานลำเลียง ในการสร้างอุปกรณ์เชื่อมต่อจะแตกต่างกันที่จุดแสดงผลเอาต์พุตต้องทำการแปลงสัญญาณไฟลบ NPN จากกระเป๋าพีแอลซีเป็นไฟบวก PNP เพื่อที่จะสั่งการทำงานได้

คำสำคัญ : โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอลโทรลเลอร์; อุปกรณ์เชื่อมต่อ; อุตสาหกรรมอัตโนมัติ

Abstract

Mechatronics Engineering Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, there is an industrial automation simulator that uses Omron PLCs to control the operation, to create connected device for learning. The researcher therefore created an industrial automation simulation set connection device. To be able to work with Mitsubishi and Siemens PLC sets by testing with the conveyor station. To make a different connection device, the output display point needs to be converted from the NPN negative signal from the PLC pocket to the PNP positive signal to operate.

Keywords: Programmable Logic Control; Connected Device; Industrials Automation

1. บทนำ

โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอลโทรลเลอร์ เป็นอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของเครื่องจักร โดยภายในมี Microprocessor เป็นมันสมองสั่งการที่สำคัญ พีแอลซี (PLC) จะมีส่วนที่เป็นอินพุต และเอาต์พุตที่สามารถต่อออกไปใช้งานได้ทันที ตัวตรวจวัดหรือสวิทช์ต่าง ๆ จะต่อเข้ากับอินพุต ส่วนเอาต์พุตจะใช้ต่อออกไปควบคุมการทำงานของอุปกรณ์หรือเครื่องจักรที่เป็นเป้าหมาย เนื่องจากปัจจุบันในโรงงานอุตสาหกรรมมีฮาร์ดแวร์พีแอลซีอยู่หลายรุ่นหลายยี่ห้อ อาทิเช่น พีแอลซี (PLC) ของ Mitsubishi, Siemens, Omron, Schneider และ Modicon แต่ปัญหาคือยังไม่มีพีแอลซี (PLC) ที่สามารถเชื่อมต่อการทำงานของทุกรุ่นทุกยี่ห้อได้ ทำให้เกิดความล่าช้าเสียเวลาในการเปลี่ยนอุปกรณ์เชื่อมต่อของพีแอลซี (PLC) แต่ละรุ่น เพื่อให้พีแอลซี (PLC) สามารถใช้งานได้หลากหลายกว้างขึ้น และ ไม่มีข้อจำกัดในการใช้งาน ผู้จัดทำจึงได้ศึกษาและคิดค้นชุดฮาร์ดแวร์ให้สามารถใช้เชื่อมต่อกับพีแอลซีทุกรุ่นได้โดยทำการทดสอบกับชุดจำลองระบบอุตสาหกรรมอัตโนมัติที่อยู่ภายในสาขาซึ่งปัจจุบันใช้ พีแอลซี (PLC) ของ Omron ในการควบคุมการทำงาน และต่อมาทางสาขาได้รับการสนับสนุนกล่องพีแอลซี (PLC) ของ Mitsubishi รุ่น FX5U-32M และ พีแอลซี (PLC) Siemens รุ่น SIMATICS7-1200 เข้ามาใช้เป็นสื่อการสอน แต่ไม่สามารถใช้ควบคุมการทำงานชุดจำลองระบบอุตสาหกรรมอัตโนมัติที่มีอยู่แล้วได้ ทำให้เกิดข้อจำกัดในการใช้งาน

ดังนั้นผู้จัดทำจึงได้มีแนวคิดที่จะจัดทำอุปกรณ์เชื่อมต่อฮาร์ดแวร์กับชุดจำลองระบบอุตสาหกรรมอัตโนมัติให้สามารถใช้เชื่อมต่อกับพีแอลซีของ Mitsubishi รุ่น FX5U-32M และ Siemens รุ่น SIMATIC S7-1200 ได้ เพื่อลดเวลาในการเปลี่ยนอุปกรณ์ของแต่ละสถานีงาน และสามารถเกิดประโยชน์เพื่อใช้ในการเรียนการสอนของนักศึกษาสาขาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์และระบบการผลิตอัตโนมัติให้ได้เข้าใจการทำงานของโปรแกรมพีแอลซี (PLC) และสามารถใช้พีแอลซี (PLC) ทุกรุ่นทุกยี่ห้อในการควบคุมการทำงานของชุดจำลองระบบอุตสาหกรรมอัตโนมัติกับสถานีงานผลิตอัตโนมัติได้ และรวมไปถึงการประยุกต์ใช้ในด้านงานอุตสาหกรรมที่ใช้จริงในโรงงานอุตสาหกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

2. ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนในการดำเนินโครงงานนี้โดยเริ่มต้นจากการศึกษาหลักการทำงานของโปรแกรมพีแอลซี Omron รุ่น SYSMAC CP1H ซึ่งเป็น ยี่ห้อ Mitsubishi รุ่น FX5U-32M Siemens รุ่น SIMATIC S7-1200 และ หลักการทำงานของชุดจำลองอัตโนมัติ 2 สถานีงาน และฮาร์ดแวร์ที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์เชื่อมต่อ จากนั้นจึงทำการวางแผนการดำเนินงาน แล้วจึงเริ่มทำการออกแบบและเขียนแบบอุปกรณ์เชื่อมต่อชุดจำลองระบบอุตสาหกรรมอัตโนมัติกับชุดพีแอลซี (PLC) และทำการจัดสร้างและจัดหาอุปกรณ์การสร้างอุปกรณ์เชื่อมต่อชุดจำลองระบบอุตสาหกรรมอัตโนมัติกับชุดพีแอลซี (PLC) จากนั้นผู้จัดทำได้ทำการศึกษาและทดสอบอุปกรณ์เชื่อมต่อ แล้วจึงจัดทำคู่มือการใช้งานชุดอุปกรณ์เชื่อมต่อและการบำรุงรักษาแล้วทำการสรุปผลการดำเนินงานเพื่อให้สะดวกต่อความเข้าใจ ผู้จัดทำจึงได้ทำการเขียนแบบแผนผังขั้นตอนการดำเนินโครงการ

2.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พีแอลซี (PLC) ของ Omron รุ่น OMRON SYSMAC CP1H พีแอลซี ที่ออกแบบมาสำหรับเครื่องจักรขนาดกะทัดรัด CP1H เป็น PLC ขนาดกะทัดรัด แบบ all-in-one ความเร็วสูงขั้นสูง เคาน์เตอร์ความเร็วสูง

สี่ตัวและเอาต์พุตพัลส์สี่ตัวเหมาะสำหรับการควบคุมตำแหน่งแบบหลายแกน CP1H-XA พร้อมกับอินพุตแบบอะนาล็อกสี่ตัว และแบบอะนาล็อกสองตัวในตัว เหมาะสำหรับการควบคุมลูปอย่างง่ายโดยใช้ฟังก์ชั่นการควบคุม PID ขั้นสูงของพีแอลซี (PLC) พร้อมการจูนอัตโนมัติ CP1H สามารถขยายได้ด้วย I/O ที่แตกต่างกันและสนับสนุนหน่วย I/O พิเศษ CJ1W มากถึงสองชุด ซึ่งหมายความว่าจะเปิดให้กับเขตข้อมูลยอดนิยมและสนับสนุนหน่วยการสื่อสารส่วนใหญ่ของซีรี่ส์ CJ เพิ่มเติมตาม [2]

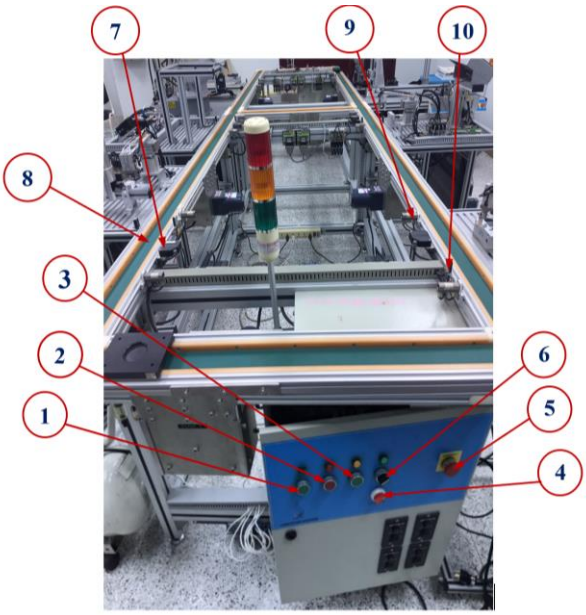
พีแอลซี (PLC) ของ Mitsubishi รุ่น FX5U-32M มิตซูบิชิ FX5U ซีรี่ส์ I/O แพลตฟอร์มคอนโทรลเลอร์ตรรกะโปรแกรมได้พีแอลซี (PLC) มี 16 อินพุตดิจิตอล ประเภท 24 VDC และเอาต์พุตรีเลย์/ทรานซิสเตอร์ 16 โปรโตคอลการสื่อสาร (เฟรม 3C/4C) และการเชื่อมต่อ MELSOFT มีความจุโปรแกรม 64k และอินพุตในตัว 16 ตัว FX5U ยังคงรักษาขนบธรรมเนียม FX ของความยืดหยุ่นโดยรวมโดยนำเสนอทางเลือกใหม่มากมายและที่มีอยู่ในปัจจุบันยังช่วยเพิ่มฟังก์ชั่นในตัวของ Ethernet I/O แบบอะนาล็อก การบันทึกข้อมูล การควบคุมตำแหน่ง ความปลอดภัย การสื่อสารและฟังก์ชั่นระบบเครือข่ายที่รวมกันเป็นมาตรฐาน มันจะช่วยให้ผู้ใช้มีความสามารถในการระบุระบบที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น แต่มีส่วนประกอบโดยรวมน้อยลงประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย ช่วงระดับแรงดันไฟฟ้าระหว่าง 100VAC และ 240VAC Run / Stop / สวิตช์รีเซ็ต Built-in พอร์ตอีเทอร์เน็ต RS485 แสดงสถานะอินพุตและเอาต์พุตผ่าน LEDs ซอฟต์แวร์การเขียนโปรแกรมนาฬิกาแบบเรียลไทม์แบบรวมคือ GX Works3 เพิ่มเติม [3]

พีแอลซี (PLC) Siemens รุ่น SIMATIC S7-1200 พีแอลซี (PLC) ของ Siemens เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพสูงพร้อมการออกแบบที่กะทัดรัดและประหยัดพื้นที่ PLC CPU นี้มีอินพุตอะนาล็อกในตัว 2 ตัว อินพุตดิจิตอลในตัว 14 ตัว และเอาต์พุตทรานซิสเตอร์ดิจิตอลในตัว 10 ตัว มันมาพร้อมกับอินเทอร์เฟซ IO การสื่อสารที่ตอบสนองความต้องการของอุตสาหกรรมสูงสุด มันยังเปิดใช้งานด้วยฟังก์ชั่นเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพแบบบูรนาการที่ทำให้ตัวควบคุมนี้เป็นส่วนหนึ่งของโซลูชั่นอัตโนมัติที่ครอบคลุม คอนโทรลเลอร์เป็นหัวใจสำคัญของข้อเสนอใหม่สำหรับงานอัตโนมัติที่เรียบง่ายแต่มีความแม่นยำสูง เป็นตัวเลือกที่เหมาะอย่างยิ่งเมื่อพูดถึงการทำงานอัตโนมัติสำหรับแอพพลิเคชั่นทุกประเภทในช่วงประสิทธิภาพต่ำถึงปานกลางพร้อมความยืดหยุ่นและประสิทธิภาพสูงสุด เนื่องจากโปรโตคอลการควบคุมระยะไกลมาตรฐาน ขยายได้ด้วย บอร์ดสัญญาณ (SB) หรือ 1 บอร์ดการสื่อสาร (CB) โมดูลสัญญาณ (SM) สูงสุด และ โมดูลการสื่อสาร (CM) [4]

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร มีชุดฝึกจำลองระบบอุตสาหกรรมอัตโนมัติที่ใช้พีแอลซีของ Omron ในการควบคุมการทำงานเพื่อเกิดความหลากหลายในการเรียนรู้ ผู้วิจัยจึงได้สร้างอุปกรณ์เชื่อมต่อชุดจำลองระบบอุตสาหกรรมอัตโนมัติ ให้สามารถทำงานร่วมกับชุดพีแอลซียี่ห้อ Mitsubishi และยี่ห้อ Siemens ขึ้น โดยทดสอบกับสถานีจำหน่ายชิ้นงาน และ สถานีสายพานลำเลียง ซึ่งมีอุปกรณ์ภายในสถานีสายพานลำเลียง แสดงดังรูปที่ 1 และตารางที่ 2

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบข้อมูลจำเพาะของพีแอลซี (PLC) ทั้ง 3 รุ่น

พีแอลซี / ข้อมูลจำเพาะ	OMRON SYSMAC CP1H 	Mitsubishi FX5U-32M 	Siemens SIMATIC S7-1200 
แรงดันไฟฟ้า	24 Vdc	100 → 240 Vac	24 Vdc
สำหรับใช้กับ	ส่วนใหญ่ของซีรีส์ CJ1W	PLC ที่รองรับแพลตฟอร์ม MELSEC IQ-F ซีรี่ส์ IQ	SIMATIC S7-1200 ซีรีส์
ประเภทอินพุต		Sink, Source	อนาล็อกดิจิตอล
จำนวนอินพุต	24 ดิจิตอล	16 ดิจิตอล	2 อนาล็อก, 14 ดิจิตอล
ประเภทเอาต์พุต		รีเลย์ ทรานซิสเตอร์	ดิจิตอล ทรานซิสเตอร์
จำนวนเอาต์พุต	16	16	10 ดิจิตอล
หน่วยความจำ	5MB	5MB	4MB
ความจุของโปรแกรม		64 k step	75kB
หน่วยความจำ		5MB 64k 120KB	
กระแสไฟขาออก			500 mA
Power Supply	DC	AC	DC
ภาษาโปรแกรมที่ใช้	FBD, Ladder	FBD, Ladder Diagram, ST	FBD, LAD, SCL
อุณหภูมิการทำงานขั้นต่ำ-สูงสุด	-0 °C ,+ 60 °C	0 °C + 55 °C	-20 °C ,+ 60 °C



รูปที่ 1 อุปกรณ์ภายในสถานีสายพานลำเลียง

ตารางที่ 2 ชื่อและหน้าที่ของอุปกรณ์ควบคุมสถานีสายพานลำเลียง

หมายเลข	ชื่ออุปกรณ์	หน้าที่ของอุปกรณ์
1	SW: Start	สวิตช์ Start
2	SW: Stop	สวิตช์ Stop
3	SW: Reset	สวิตช์ Reset
4	SW : Power	สวิตช์ Power
5	SW : Air distribute	สวิตช์ Air distribute
6	SW : Emergency	สวิตช์หยุดการทำงานฉุกเฉิน
7	เซนเซอร์ Opt A1	เจอวัตถุสั่งให้กระบอกสูบทำงาน
8	สายพานลำเลียง	ลำเลียงชิ้นงานไปยังสถานี
9	กระบอกสูบ	กระบอกสูบหยุดชิ้นงาน
10	เซนเซอร์ตรวจวัตถุ Opt A2	เซนเซอร์ตรวจจับวัตถุขณะวิ่งผ่าน

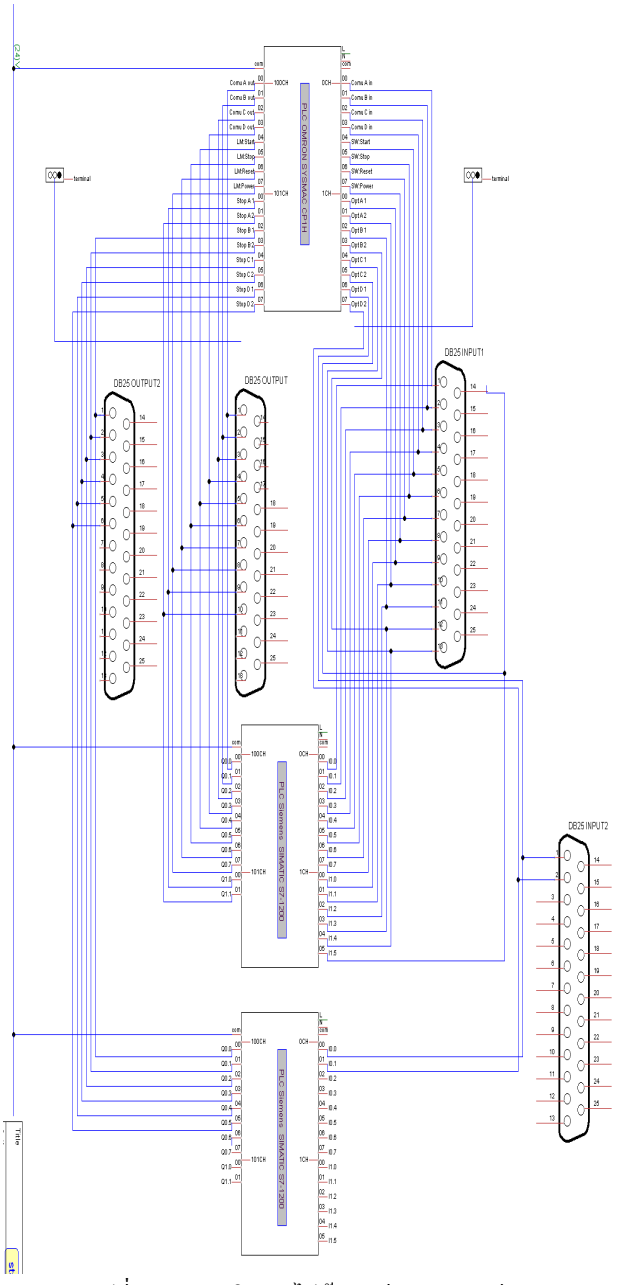
อุปกรณ์ลำเลียง (Conveyor) ใช้สายพาน (Belt) เป็นตัวนำพาวัสดุ ระบบสายพานลำเลียง ทำหน้าที่เคลื่อนย้ายวัสดุจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง หลังจากวัสดุหรือชิ้นงานผ่านกระบวนการตามขั้นตอนมา เมื่อมาถึงการขนย้ายหรือลำเลียงก็จะใช้ระบบสายพานลำเลียง (Belt Conveyor) ในการเคลื่อนย้ายวัสดุหรือชิ้นงาน

ตารางที่ 3 หลักการทำงานของสถานีสายพานลำเลียง

อินพุต				เอาท์พุต			
0 CH				100 CH			
ขั้วต่ออินพุต	ชื่อปริ้นมาร์ค	สภาวะ		ขั้วต่ออินพุต	ชื่อปริ้นมาร์ค	สภาวะ	
		On	Off			On	Off
00	Comu A in			00	Comu A out		
01	Comu B in			01	Comu B out		
02	Comu C in			02	Comu C out		
03	Comu D in			03	Comu D out		
04	SW : Start			04	LM : Start		
05	SW : Stop			05	LM : Stop		
06	SW : Reset			06	LM : Reset		
07	SW : Power			07	LM : Power		
1 CH				101 CH			
ขั้วต่ออินพุต	ชื่อปริ้นมาร์ค	สภาวะ		ขั้วต่ออินพุต	ชื่อปริ้นมาร์ค	สภาวะ	
		On	Off			On	Off
00	Opt A 1	A out		00	Stop A1	Opt A 1	
01	Opt A 2		A in	01	Stop A2	Opt A 2	
02	Opt B 1	B out		02	Stop B1	Opt B 1	
03	Opt B 2		B in	03	Stop B2	Opt B 2	
04	Opt C 1	C out		04	Stop C1	Opt C 1	
05	Opt C 2		C in	05	Stop C2	Opt C 2	
06	Opt D 1	D out		06	Stop D1	Opt D 1	
07	Opt D 2		D in	07	Stop D2	Opt D 2	

พอร์ต parallel DB-25 ที่จะใช้สร้างอุปกรณ์เชื่อมต่อชุดจำลองระบบอุตสาหกรรมอัตโนมัติ ประกอบ ด้วยสัญญาณทั้งหมด 25 เส้น สัญญาณ และมี 2 แบบ พอร์ต อินพุต และเอาต์พุต

จากข้อมูลหลักการทำงาน ตารางที่ 3 พบว่าใช้ใช้อินพุต 16c]t ใช้เอาท์พุต 16 กนำมาใช้ในการออกแบบการเดินสายไฟฟ้าจากช่องสัญญาณ PLC OMRON รุ่น SYSMAC CP1H และ Mitsubishi รุ่น FX5U-32M เพื่อนำมาออกแบบจั๊มช่องสัญญาณใส่พอร์ต parallel DB-25 ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แบบการเดินสายไฟฟ้าสถานีสายพานลำเลียง

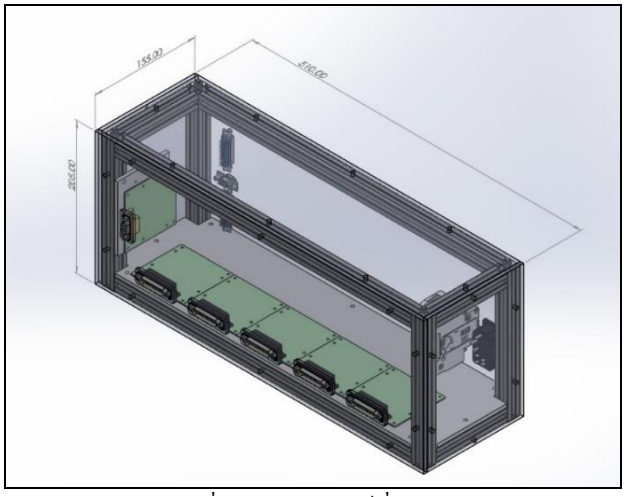
ออกแบบภายนอกของอุปกรณ์เชื่อมต่อแบบจำลอง ก่อนเริ่มทำการออกแบบ ผู้จัดทำได้ตรวจสอบช่องสัญญาณ อินพุต เอาต์พุต ของพีแอลซีทั้ง 3 ตัว

ตารางที่ 4 จำนวนอินพุต/เอาต์พุต ของพีแอลซี (PLC) ทั้ง 3 ยี่ห้อ

พีแอลซี / ข้อมูลจำเพาะ	OMRON SYSMAC CP1H	Mitsubishi FX5U-32M	Siemens SIMATIC S7-1200
ประเภทอินพุต		Sink, Source	อนาล็อกดิจิตอล
จำนวนอินพุต	24 ดิจิตอล	16 ดิจิตอล	2 อนาล็อก, 14 ดิจิตอล
ประเภทเอาต์พุต		รีเลย์ ทรานซิสเตอร์	ดิจิตอล ทรานซิสเตอร์
จำนวนเอาต์พุต	16	16	10 ดิจิตอล
Power Supply	DC	AC	DC

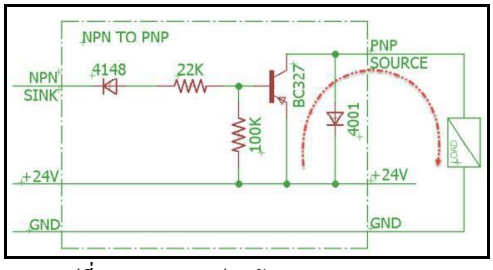
2.2 ออกแบบอุปกรณ์เชื่อมต่อพีแอลซี

การออกแบบโดยนำอุปกรณ์ทั้งหมดไปไว้ภายในชุดอุปกรณ์เชื่อมต่ออาทิ เช่น PCB บอร์ด Sockets DB-25 พาวเวอร์ซัพพลาย Circuit Breaker บานาน่าแจ็ค ตัวเมีย เป็นต้น เพื่อให้ง่ายต่อการวายสายและติดตั้ง เคลื่อนย้ายได้อย่างสะดวก



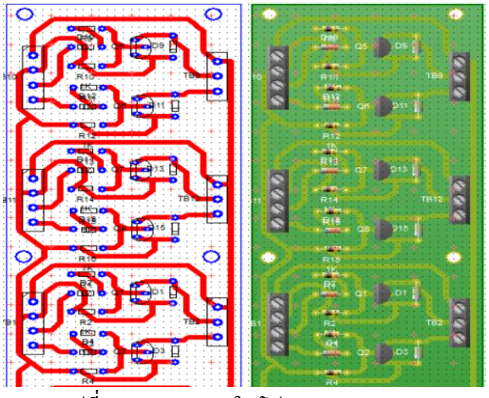
รูปที่ 3 แบบชุดอุปกรณ์เชื่อมต่อ

ทำการเพิ่ม ในส่วน บอร์ด PCB NPN to PNP เนื่องจาก พีแอลซี (PLC) Omron ฝั่ง เอาท์พุต เป็นทรานซิสเตอร์ชนิด PNP แต่ พีแอลซี (PLC) Mitsubishi และ พีแอลซี (PLC) Siemens เป็นทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ดังนั้นผู้จัดทำได้ทำงานออกแบบวงจรแปลงสัญญาณจาก NPN เป็น PNP แสดงดังรูปที่ 4

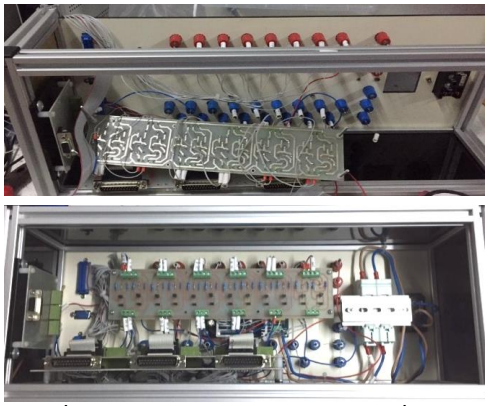


รูปที่ 4 แบบวงจรแปลงสัญญาณ NPN to PNP

นำลายวงจรอิเล็กทรอนิกส์มาออกแบบลายทองแดงลงบนแผ่นปริ้น PCB ในโปรแกรม PCB Wiz แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 การออกแบบในโปรแกรม PCB Wiz



รูปที่ 6 Wiring สายไฟภายในกล่องอุปกรณ์เชื่อมต่อ

2.4 การทดสอบเชื่อมต่ออุปกรณ์

เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของกล่องอุปกรณ์เชื่อมต่อกับกระเป๋าพีแอลซี (PLC) Mitsubishi และ Siemens โดยการทำงานร่วมกันระหว่างสถานีงานที่ 1 (สถานีจำหน่ายชิ้นงาน) กับสถานีงานที่ 7 (สถานีสายพานลำเลียง) เมื่อกดสวิตช์สตาร์ท สถานีงานที่ 1 สามารถจ่ายชิ้นงานลงถาดรองรับชิ้นงานที่เคลื่อนที่อยู่บนสายพาน (Belt) และเมื่อมีถาดรองรับชิ้นงานไหลผ่านสถานีจำหน่ายชิ้นงานก็จะทำการจ่ายชิ้นงานแบบอัตโนมัติ โดยให้สถานีงานที่ 1 จ่ายชิ้นงานลงบนถาดรองรับชิ้นงาน ที่อยู่บนสายพาน (Belt) ทำการทดสอบการทำงานจำนวน 10 ครั้ง ครั้งละ 12 ชิ้นงาน

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบการเชื่อมต่อระหว่าง พีแอลซี OMRON กับ พีแอลซี Mitsubishi และ Siemens

ข้อมูลการเชื่อมต่อ	พีแอลซี Mitsubishi รุ่น FX5U-32M	พีแอลซี (PLC) Siemens รุ่น SIMATIC S7-1200
แรงดันไฟฟ้า	24 Vac	24 Vdc
แปลงสัญญาณเอาต์พุต	NPN เป็น PNP	ภายในกระเป๋า PNP เป็น NPN ผ่านกล่องเชื่อมต่อ NPN เป็น PNP
จำนวนอินพุต	14 ดิจิตอล	14 ดิจิตอล
จำนวนเอาต์พุต	11 ดิจิตอล	11 ดิจิตอล
Power Supply	DC	DC
ภาษาโปรแกรมที่ใช้	GX-Works 3	TIA V15 Siemens

จากตารางที่ 5 เปรียบเทียบการเชื่อมต่อระหว่างพีแอลซี Mitsubishi และ Siemens ข้างต้น เห็นได้ว่า มีข้อมูลการเชื่อมต่อที่คล้ายกัน แต่จะแตกต่างกันที่การแปลงสัญญาณในส่วนเอาต์พุต ซึ่งภายในกระเป๋าพีแอลซี (PLC) Mitsubishi รุ่น FX5U-32M จะทำการแปลงสัญญาณไฟลบ NPN เป็นไฟบวก PNP ส่วนภายในกระเป๋าพีแอลซี (PLC) Siemens จะทำการแปลงสัญญาณไฟบวก PNP เป็นไฟลบ NPN ผ่านกล่องเชื่อมต่อ NPN เป็น PNP ถ้าจะนำไปใช้กับสถานีงานต่าง ๆ ต้องทำการเชื่อมต่อผ่านกล่องอุปกรณ์เชื่อมต่อเท่านั้นจึงจะสามารถสั่งการทำงานได้ และแตกต่างกันที่ตัวโปรแกรมที่ใช้เขียนสั่งการทำงาน ใช้ชุดคำสั่งแตกต่างกัน เป็นต้น

3. สรุป

ชุดอุปกรณ์เชื่อมต่อชุดจำลองระบบอุตสาหกรรมอัตโนมัติ ออกแบบให้สามารถใช้เชื่อมต่อได้ทั้ง กระเป๋าพีแอลซี Mitsubishi และ Siemens เพื่อควบคุมการทำงาน สถานีจำหน่ายชิ้นงาน และสถานีสายพานลำเลียงได้ โดยอ้างอิงสัญญาณพอร์ต DB25 จากพีแอลซี Omron เดิมที่ใช้ควบคุมการทำงานของชุดจำลองระบบอุตสาหกรรมอัตโนมัติที่มีอยู่ดังเดิม มาใช้ในการสร้างชุดเชื่อมต่อและอุปกรณ์ภายในกล่องเชื่อมต่อมีลักษณะคล้ายคลึงกันกับตัวสถานีงานนั้น ๆ แตกต่างกันที่จุดแสดงผลเอาท์พุต ต้องทำการแปลงสัญญาณไฟลบ NPN จากกระเป๋าพีแอลซี (PLC) Mitsubishi และ Siemens เป็นไฟบวก PNP เพื่อที่จะสั่งการทำงานได้โดยไม่ต้องแก้ไขที่ตัวสถานีนั้น ๆ จากการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์เชื่อมต่อกับกระเป๋าพีแอลซี (PLC) ในการควบคุมการทำงานของสถานีจำหน่ายชิ้นงาน และสถานีสายพานลำเลียง พบว่าสามารถทำงานได้อย่างสมบูรณ์ถูกต้องตามแบบที่กำหนดไว้

จากการทดสอบการทำงานสถานีสายพานลำเลียง หลังจากเขียนแลดเดอร์ด้วยโปรแกรม GX-Works 3 และ TIA V15 Siemens เพื่อควบคุมการทำงานของกระเป๋าพีแอลซี (PLC) Mitsubishi และ Siemens และได้ทำการเชื่อมต่อกับตัวกล่องอุปกรณ์เชื่อมต่อ แล้วจึงทำการเชื่อมต่อระหว่างสถานีงานเข้ากล่องอุปกรณ์เชื่อมต่อด้วยการใช้พอร์ต DB 25 โดยหลักการทำงานของสถานีสายพานลำเลียงคือ จะเคลื่อนย้ายวัสดุจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง โดยเมื่อถาดรองรับชิ้นงานผ่านเซนเซอร์ Opt A1 ขากระบอกสูบที่ติดตั้งอยู่กับสายพานลำเลียงจะเคลื่อนที่ออกเพื่อหยุดถาดรองรับชิ้นงาน ถาดหยุดรอรับชิ้นงานจากสถานีจำหน่ายชิ้นงาน เมื่อชิ้นงานวางลงถาดรองรับชิ้นงานแล้วเซนเซอร์ Opt A2 ตรวจพบวัตถุจึงสั่งการทำงานให้ขากระบอกสูบกลับสู่ตำแหน่งเริ่มต้น แล้วถาดที่มีชิ้นงานอยู่ก็จะไหลตามสายพานลำเลียงไปยังสถานีต่อไป พบว่าสถานีสายพานลำเลียงสามารถเคลื่อนย้ายวัสดุจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง และหยุดรอรับชิ้นงานได้ได้อย่างสม่ำเสมอและแม่นยำ

4. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์และระบบการผลิตอัตโนมัติ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร นอกจากนี้ขอขอบคุณ บริษัท ฟิลด์เทค ออโตเมชั่น จำกัด ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการสร้างอุปกรณ์เชื่อมต่อชุดจำลองระบบอุตสาหกรรมอัตโนมัติกับชุดพีแอลซี

เอกสารอ้างอิง

[1] แนะให้รู้จักชนิดพีแอลซี (โปรแกรมพีแอลซี Omron). [online]. เข้าถึงได้จาก : http://www.tatc.ac.th/files/0902050883921_1106010774824.pdf (วันที่ค้นข้อมูล : 31 กรกฎาคม 2563)

[2] คู่มือ plc mitsubishi ภาษาไทย. [online].บริษัท มิซูมิ (ไทยแลนด์) จำกัด. เข้าถึงได้จาก : https://www.mitsubishifa.co.th/files dl/MELSEC%20FX3%20 Series_Satartn%20Guide.pdf (วันที่ค้นข้อมูล : 31 กรกฎาคม 2563)

[3] พีแอลซี Siemens S7-1200. [online]. Automation360. เข้าถึงได้จาก : https://automation360blog.wordpress.com/plc/ (วันที่ค้นข้อมูล : 31 กรกฎาคม 2563)



ประวัติผู้เขียนบทความ
นางสาวศศิธร บึดขุนทด
ปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์และระบบการผลิตอัตโนมัติ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
E-mail : Sasithorn120425@gmail.com



ประวัติผู้เขียนบทความ
นายวันวลิต นามวงศ์
ปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์และระบบการผลิตอัตโนมัติ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
E-mail : Zoom_za_@hotmail.com

บทความวิจัย
โยธาและสิ่งแวดล้อม

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

สมบัติทางกลและพฤติกรรมการดัดของคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็ก

Mechanical Properties and Flexural Behavior of Steel Fiber-Reinforced Concrete

กฤษดา เสือเอี่ยม[1], ชนนฐ์ยวัส รัตนวิเชียร[2], ฐานันดร ศรีอาภรณ์[3], วัชรพงศ์ พรพงศ์รัตน์[4], สุวัฒน์ ธิรเศรษฐ์[5], พิชญ์ธิดา จิตตมาโร[6], ณัชพงศ์พล คงชะสิงห์[7], ธนพัฒน์ น้ำจันทร์[8] และ สถาพร ลือรุ่งรัตน์วุฒิ[9*]

[1,7,8]สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800 Email: gritsada.s@rmutp.ac.th[1]

[2,3,4,9]สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยปทุมธานี

140 หมู่ 4 ถนนติวานนท์ ต.บ้านกลาง อ.เมืองปทุมธานี จ.ปทุมธานี 12000 Email: sathaporn.l@ptu.ac.th[9*]

[5]ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1 ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 Email: suwat.dh@kmitl.ac.th[5]

[6]สำนักบัณฑิตศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

171/1 ถนนพหลโยธิน แขวงคลองถนน เขตสายไหม กรุงเทพฯ 10220 Email: pichthida_j@rtaf.mi.th[6]

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการศึกษาสมบัติทางกล ได้แก่ กำลังอัด กำลังดึง และ พฤติกรรมการดัดของคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็ก โดยออกแบบส่วนผสมคอนกรีตให้มีกำลังอัดรูปทรงกระบอก 210 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เสริมเส้นใยเหล็กชนิดงอปลายความยาว 60 มิลลิเมตร ในปริมาณร้อยละ 0.42 และ 0.84 โดยปริมาตรของคอนกรีต ทำการเสริมเส้นใยเหล็กในคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีลักษณะเป็นคานลึก จากนั้นทำการทดสอบแรงดัดเพื่อพิจารณาพฤติกรรมการรับแรงและรูปแบบรอยแตกร้าว ผลการศึกษาพบว่า เมื่อเสริมเส้นใยเหล็กปริมาณร้อยละ 0.42 โดยปริมาตรของคอนกรีต คอนกรีตมีกำลังอัด และกำลังดึงสูงกว่าคอนกรีตควบคุม ในขณะที่เมื่อเสริมเส้นใยเหล็กปริมาณร้อยละ 0.84 โดยปริมาตรของคอนกรีต คอนกรีตมีกำลังอัดลดลง เนื่องจากปริมาณเส้นใยเหล็กที่มากเกินไปทำให้เกิดโพรงช่องว่างระหว่างเส้นใยภายในคอนกรีต ทำให้คอนกรีตมีความพรุนและส่งผลต่อกำลังอัดที่ลดลง เมื่อพิจารณารูปแบบรอยร้าวของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก พบว่าการเสริมเส้นใยเหล็กสามารถช่วยลดจำนวนและความกว้างของรอยร้าวที่เกิดขึ้นเมื่อคานรับน้ำหนักจนเกิดพฤติกรรมการดัด

คำสำคัญ : คอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็ก, สมบัติทางกล, กำลังอัด, พฤติกรรมการดัด, รูปแบบรอยร้าว

Abstract

This study aimed to investigate the mechanical properties, including compressive strength, tensile strength, and flexural behavior, of steel-fiber reinforced concrete. The concrete mix was designed to achieve a target cylindrical compressive strength of 210 ksc. Hook-end type steel fibers with a length of 60 mm. were used as reinforcement, with dosages of 0.42% and 0.84% by volume of concrete. The steel fibers were incorporated in reinforced concrete beams, resembling deep beams, and bending tests were conducted to determine the load behavior and crack patterns. The findings of the study revealed that concrete reinforced with 0.42% steel fibers by volume of concrete exhibited higher compressive and tensile strengths compared to the control concrete. However, concrete reinforced with 0.84% steel fibers by volume of concrete showed a reduction in compressive strength. This decrease could be attributed to the excessive content of steel fibers, which resulted in the formation of cavities between the fibers within the concrete. This caused increased porosity and subsequently affected the compressive strength of the concrete. Furthermore, the study observed that the inclusion of steel fibers helped to reduce the number and width of cracks that occurred during loading and bending behavior of the reinforced concrete beams. The crack patterns showed improvement when steel fibers were used as reinforcement.

Keywords: steel fiber concrete, mechanical properties, compressive strength, flexural behavior, crack patterns.

1. บทนำ

เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่า คอนกรีตเป็นวัสดุที่มีความสามารถในการรับแรงอัดได้ดี แต่มีความสามารถในการรับแรงดึงได้น้อย และเมื่อคอนกรีตเกิดแรงดึงจนกระทั่งแรงดึงที่เกิดขึ้นนั้นมีค่ามากกว่ากำลังรับแรงดึงของคอนกรีต คอนกรีตจะเกิดการวิบัติแบบทันที ด้วยเหตุนี้จึงเป็นเหตุให้การเสริมเหล็กในโครงสร้างคอนกรีตทั่วไป เนื่องจากเหล็กเสริมมีคุณสมบัติการรับแรงดึงได้ดี และเนื่องจากในปัจจุบันได้มีความพยายาม

ในการปรับปรุงพฤติกรรมความเปราะของคอนกรีตด้วยทำการผสมวัสดุเสริมกำลัง โดยวัสดุเสริมกำลังที่นิยมใช้จะเป็นวัสดุในกลุ่มเส้นใย (Fiber) โดยผสมเข้าไปในระหว่างกระบวนการผสมคอนกรีต เพื่อให้เส้นใยมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในเนื้อคอนกรีต กลุ่มเส้นใยที่นิยมเลือกใช้ คือ เส้นใยเหล็ก (Steel Fiber)

เส้นใยเหล็ก (Steel Fiber) เป็นวัสดุเส้นใยชนิดหนึ่งที่นำมาผสมในคอนกรีตเพื่อให้คอนกรีตมีความเหนียว (Ductility) และการดูดซับพลังงาน (Energy Absorption) ให้ดีขึ้น วัตถุประสงค์ของการผสมเส้นใยลงในคอนกรีตก็คือ การลดรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นของคอนกรีตเมื่อถูกแรงกระทำ ถ้าเส้นใยมีค่ากำลังรับแรงดึงและมีแรงยึดเหนี่ยวกับคอนกรีตเพียงพอที่จะสามารถยับยั้งรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นหรือทำให้คอนกรีตยังคงรับแรงอยู่ได้ในขณะที่ค่าความเครียดเพิ่มขึ้น [1] และในปัจจุบันมีการนำเส้นใยเหล็ก (Steel Fiber) เข้ามาประยุกต์ใช้เพื่อช่วยเพิ่มความสามารถด้านต่างๆ ให้แก่โครงสร้างเป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการรับแรงดึงในคอนกรีตนอกจากเหล็กเสริม ยกตัวอย่างในการก่อสร้างพื้นโรงงานอุตสาหกรรม หรือพื้นถนนโครงการหมู่บ้านจัดสรร ซึ่งส่วนใหญ่แล้วโครงสร้างประเภทนี้จะเป็นโครงสร้าง พื้นไร้คาน การใช้เส้นใยเหล็กจะสามารถทดแทนเหล็กเสริมได้บ้าง ซึ่งจะช่วยทำให้ลดปริมาณการจัดเรียงเหล็ก และช่วยลดระยะเวลาในการก่อสร้าง นอกจากนี้เส้นใยเหล็กยังช่วยป้องกันการขัดสีหรือการกระแทก ซึ่งส่งผลต่อความคงทนในระยะยาวทำให้โครงสร้างมีอายุการใช้งานได้นานขึ้น

ในการศึกษานี้ส่วนแรกจะทำการศึกษาคุณสมบัติในการรับแรงอัด และ แรงดึงของคอนกรีตที่ไม่ได้ผสมเส้นใยเหล็ก กับ คอนกรีตที่ผสมเส้นใยเหล็ก และในส่วนสุดท้ายของการศึกษาจะศึกษาถึงพฤติกรรมในการรับน้ำหนักและรูปแบบรอยร้าวที่แสดงถึงลักษณะการวิบัติของคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีลักษณะเป็นแบบคานลึกที่ผสมเส้นใยเหล็กและไม่ได้ผสมเส้นใยเหล็ก

2. วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อศึกษาเปรียบเทียบสมบัติทางกล ได้แก่ กำลังอัด กำลังดึงของคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็กในปริมาณที่แตกต่างกัน และศึกษาพฤติกรรมการดัดของคานเมื่อรับแรงกระทำ และรูปแบบการแตกร้าวของคาน

3. ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

3.1.1 คอนกรีต: คอนกรีตที่ใช้ในการทดสอบกำลังอัดและกำลังดึงแบบผ่าซีก เป็นคอนกรีตผสมเสร็จที่ออกแบบให้มีกำลังอัดรูปทรงกระบอก (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร) ที่อายุ 28 วันเท่ากับ 210 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ทำการบ่มน้ำจนถึงอายุทดสอบ

3.1.2 เหล็กเสริม: เหล็กเสริมที่ใช้เป็นเหล็กข้ออ้อยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร (DB12) ชั้นคุณภาพ SD40 ที่มีกำลังในการรับแรงดึงที่จุดคราก ไม่น้อยกว่า 4,000 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และเหล็กเส้นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร (RB6) ชั้นคุณภาพ SR24 ที่มีกำลังรับแรงดึงที่จุดคราก ไม่น้อยกว่า 2,400 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

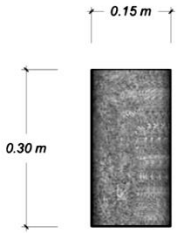
3.1.3 เส้นใยเหล็ก (Steel Fiber): เส้นใยเหล็ก (Steel Fiber) ที่ใช้ในการทดสอบเป็นชนิดงอปลาย ความยาว 60 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นเส้นใยเหล็กที่ประกอบไปด้วยคาร์บอนจำนวนน้อย รับกำลังสูงสุด 1,225 เมกกะปาสคาล ผลิตขึ้นจาก กระบวนการรีดเย็น (Cold-drawn steel wire) และผลิตจากเส้นลวด (Rod) ตามมาตรฐาน UNI EN10016-1,2,4 หรือ UNI 10088-3 โดยมีการตัดปลายสองข้างให้มีลักษณะงอลง เพื่อเพิ่มความแข็งแรงในการยึดติดคอนกรีต เนื่องจากลักษณะดังกล่าวจะช่วยให้คอนกรีตมีความแข็งแรงมากขึ้น ในการศึกษานี้ใช้เส้นใยเหล็กตามมาตรฐาน ASTM A820 ชนิดงอปลาย (Hook End) ที่มีความยาว 60 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.75 มิลลิเมตรและมีกำลังในการรับแรงดึงสูงสุด 1,225 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 เส้นใยเหล็ก (Steel Fiber) ที่นำมาใช้ในการศึกษา

3.2 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

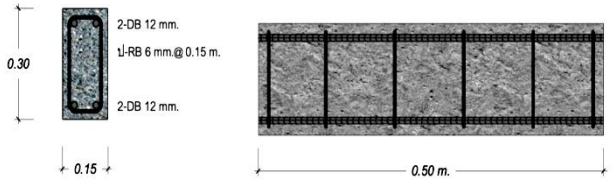
สำหรับการทดสอบกำลังอัด (Compressive Strength) ของคอนกรีตเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C39 [2] ส่วนการทดสอบกำลังดึงของคอนกรีตโดยวิธีผ่าซีก (Splitting Tensile Strength) เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C496 [3] ซึ่งการทดสอบนี้จะใช้ตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ดังรูปที่ 2 โดยคอนกรีตที่หล่อประกอบไปด้วย คอนกรีตควบคุม (ไม่เสริมเส้นใยเหล็ก) และคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็กปริมาณร้อยละ 0.42 และ 0.84 โดยปริมาตรของคอนกรีต จำนวนตัวอย่างละ 3 ก้อน



รูปที่ 2 ตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้ในการทดสอบกำลังอัดและกำลังดึง

ในการทดสอบพฤติกรรมการดัดของคานคอนกรีตเสริมเหล็กเมื่อรับน้ำหนักเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C78 [4] กำหนดคานทดสอบที่มีขนาดความกว้าง 15 เซนติเมตร ความลึก 30 เซนติเมตร และมีความยาว 50 เซนติเมตร ซึ่งเป็นไปตามสัดส่วนแบบคานลึก (L/H น้อยกว่า 4) เสริมเหล็กข้ออ้อย 2xDB12 ทั้งบนและล่าง ส่วนเหล็กปลอกเป็นเหล็กเส้นกลม RB6@0.15 เมตร. ดังรูปที่ 3 โดยคานคอนกรีตที่หล่อประกอบไปด้วย คานคอนกรีตควบคุม (ไม่เสริมเส้นใยเหล็ก) และคาน

คอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็กปริมาณร้อยละ 0.42 และ 0.84 โดยปริมาตรของคอนกรีต จำนวนตัวอย่างละ 3 ก้อน



รูปที่ 3 ตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ใช้ในการทดสอบ

ทั้งนี้ก่อนหล่อตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบได้มีการทดสอบค่ายุบตัวของคอนกรีต (Slump test) เพื่อควบคุมคุณภาพรวมถึงการประสานกันของคอนกรีตกับเส้นใยเหล็กของชิ้นตัวอย่าง

3.3 การทดสอบตัวอย่าง

3.3.1 การทดสอบกำลังอัด

การทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต ดำเนินการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบ Universal Testing Machine (UTM) ตามมาตรฐาน ASTM C39 [2] และคำนวณกำลังอัดของคอนกรีตจากสมการที่ 1

$$f_c' = P / A \quad (1)$$

เมื่อ P คือ แรงกดที่กระทำต่อคอนกรีตจนแตก

A คือ พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก

3.3.2 การทดสอบกำลังดึง

วิธีการทดสอบหาค่ากำลังดึงของคอนกรีตสำหรับการศึกษาในครั้งนี้ใช้วิธีการทดสอบแบบแรงดึงฝ่าซีก (Splitting Tensile Strength Test) ดำเนินการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบ Universal Testing Machine (UTM) ตามมาตรฐาน ASTM C496 [3] และคำนวณค่ากำลังดึงได้จากสมการที่ 2

$$f_s = 2P / \pi DL \quad (2)$$

เมื่อ P คือ แรงกดที่กระทำต่อคอนกรีตจนแตก

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก

L คือ ความยาวของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก

3.3.3 การทดสอบกำลังดัดของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

ในการทดสอบครั้งนี้เป็นการนำเส้นใยเหล็กมาประยุกต์ใช้กับคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่เป็นแบบคานลึกเพื่อดูพฤติกรรมในการดัดภายหลังรับน้ำหนักบรรทุกที่มากระทำ โดยกำหนดน้ำหนักที่กระทำกับคานลึกแบบหนึ่งจุดที่กึ่งกลางคาน (One-Point Center Load) ดังรูปที่ 4 ซึ่งในการทดสอบนี้ได้กำหนดให้ฐานรองรับอยู่ห่างจากปลายคานด้านละ 7.5 เซนติเมตร และ ค่อยๆ ให้แรงกระทำที่กึ่งกลางคานจนตัวอย่างคานเกิดการวิบัติ ซึ่งเครื่องทดสอบจะบันทึกค่าน้ำหนักเริ่มต้นไปจนถึงน้ำหนักสูงสุดที่ทำให้ตัวอย่างคานเกิดการวิบัติ และ ทำการดูลักษณะรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้น

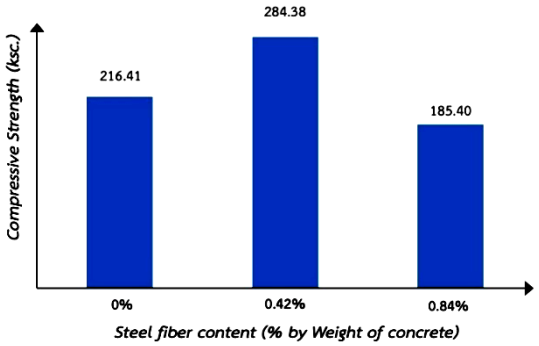


รูปที่ 4 การทดสอบกำลังดัดของคาน (One-Point Center Load)

4. ผลการศึกษา

4.1 กำลังอัดของคอนกรีต

ผลการศึกษากำลังอัดของคอนกรีตที่ไม่ได้เสริมเส้นใยเหล็กและคอนกรีตที่เสริมเส้นใยเหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 5 พบว่า คอนกรีตที่ไม่ได้ผสมเส้นใยเหล็กมีค่ากำลังอัดเฉลี่ยเท่ากับ 216.41 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สำหรับคอนกรีตที่เสริมเส้นใยเหล็กร้อยละ 0.42 โดยปริมาตรของคอนกรีต มีค่ากำลังอัดเฉลี่ยเท่ากับ 284.38 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และ คอนกรีตที่เสริมเส้นใยเหล็กร้อยละ 0.84 โดยปริมาตรของคอนกรีต มีค่ากำลังอัดเฉลี่ยเท่ากับ 185.4 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งผลของการเสริมเส้นใยเหล็กปริมาณร้อยละ 0.42 โดยปริมาตรของคอนกรีต ส่งผลให้กำลังอัดของคอนกรีตเพิ่มขึ้นร้อยละ 31.41 ในขณะที่ผลของการผสมเส้นใยเหล็ก ปริมาณร้อยละ 0.84 โดยปริมาตรของคอนกรีต ส่งผลให้กำลังอัดของคอนกรีตลดลงร้อยละ 14.33



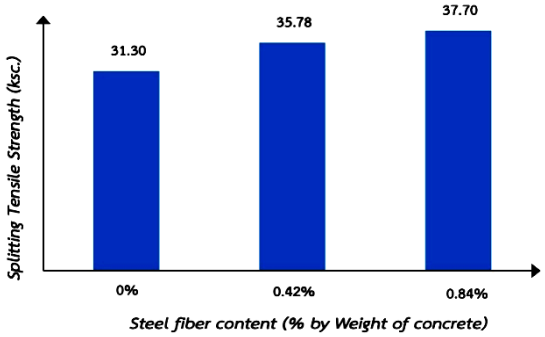
รูปที่ 5 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต

เมื่อทำการพิจารณาผลกระทบของปริมาณเส้นใยเหล็ก (ร้อยละโดยปริมาตรของคอนกรีต) ที่ใช้ต่อกำลังของคอนกรีต พบว่า กำลังอัดของคอนกรีตที่เสริมเส้นใยเหล็กร้อยละ 0.42 โดยปริมาตรของคอนกรีตให้ค่ากำลังในการรับแรงอัดสูงกว่าคอนกรีตที่ไม่เสริมเส้นใยเหล็ก เนื่องมาจากว่า เป็นการใช้ปริมาณเส้นใยเหล็กในอัตราที่เหมาะสม จึงทำให้เส้นใยเหล็กกระจายตัวในเนื้อคอนกรีตได้ดี และเส้นใยเหล็กไม่จับตัวเป็นก้อนจึงส่งผลให้คอนกรีตมีความทึบมาก ซึ่งผลการศึกษานี้สอดคล้องกับผลการศึกษาของ กิตติศักดิ์ และภานุมาศ [5] ในขณะที่กำลังอัดของคอนกรีตที่เสริมใยเหล็กร้อยละ 0.84 โดยปริมาตรของคอนกรีต มีค่ากำลังอัดต่ำกว่าคอนกรีตที่ไม่ได้เสริมเส้นใยเนื่องมาจากว่า ปริมาณเส้นใยเหล็กอาจมีปริมาณมากเกินไปจนทำให้เส้นใยเหล็กจับตัวกันเป็นก้อนและ

ก่อให้เกิดเป็นโพรงช่องว่างมากขึ้น (คอนกรีตมีรูพรุน) ซึ่งส่งผลให้แรงยึดเกาะระหว่างเส้นใยเหล็กและคอนกรีตสูญเสียไปเนื่องจากความฝืดระหว่างพื้นผิวเส้นใยเหล็กกับคอนกรีต เป็นเหตุให้กำลังอัดลดลง ซึ่งผลการศึกษานี้สอดคล้องกับผลการศึกษาของอภินันท์ และสุรสิทธิ์ [6]

4.2 กำลังดึงผ่าซีกของคอนกรีต

ผลการศึกษากำลังดึงของคอนกรีตที่ไม่ได้เสริมเส้นใยเหล็ก และคอนกรีตที่เสริมเส้นใยเหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 6 พบว่า คอนกรีตที่ไม่ได้เสริมเส้นใยเหล็กมีค่ากำลังดึงเฉลี่ยเท่ากับ 31.30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สำหรับคอนกรีตที่เสริมเส้นใยเหล็กร้อยละ 0.42 โดยปริมาตรของคอนกรีตมีค่ากำลังดึงเฉลี่ยเท่ากับ 35.78 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และ คอนกรีตที่เสริมเส้นใยเหล็กร้อยละ 0.84 โดยปริมาตรของคอนกรีตมีค่ากำลังดึงเฉลี่ยเท่ากับ 37.70 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งผลของการเสริมเส้นใยเหล็กปริมาณร้อยละ 0.42 โดยปริมาตรของคอนกรีตส่งผลให้กำลังดึงของคอนกรีตเพิ่มขึ้นร้อยละ 14.31 ในขณะที่ผลของการผสมเส้นใยเหล็กปริมาณร้อยละ 0.84 โดยปริมาตรของคอนกรีต ส่งผลให้กำลังดึงของคอนกรีตลดลงร้อยละ 20.45



รูปที่ 6 กำลังดึงของคอนกรีตโดยวิธีการผ่าซีก

เมื่อพิจารณาผลกระทบของปริมาณเส้นใยเหล็ก จะพบว่า กำลังดึงของคอนกรีตที่เสริมเส้นใยเหล็กจะให้ค่ากำลังดึงที่สูงกว่าคอนกรีตที่ไม่ได้เสริมเส้นใยเหล็ก ทั้งนี้เนื่องจากเส้นใยเหล็กมีคุณสมบัติในการรับแรงดึงได้ดี ประกอบกับผลของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยเหล็กกับเนื้อคอนกรีต ส่งผลทำให้เมื่อนำมาผสมกันแล้วจะมีความสามารถในการเพิ่มกำลังดึงสูงขึ้น และจากการทดสอบสังเกตเห็นได้ว่ากำลังดึงของคอนกรีตจะมีค่ามากขึ้นแปรผันตามปริมาณของเส้นใยเหล็กที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 7 การวิบัติของตัวอย่างคอนกรีตที่ไม่เสริมเส้นใยเหล็ก

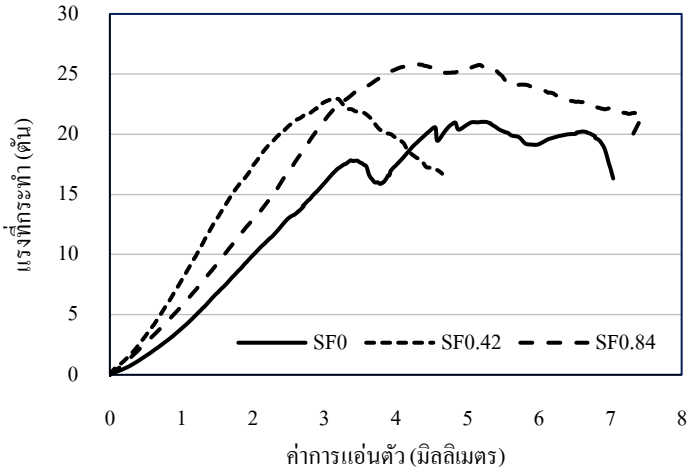
รูปที่ 7 แสดงการวิบัติของตัวอย่างคอนกรีตที่ไม่เสริมเส้นใยเหล็ก เมื่อพิจารณารูปแบบการวิบัติจากการทดสอบกำลังดึงแบบผ่าซีก พบว่า คอนกรีตที่ไม่ได้เสริมใยเหล็กจะวิบัติด้วยการแตกแบบเปราะทำให้เกิดการผ่าแยก รอยร้าวมีขนาดใหญ่และการวิบัตินี้จะเกิดขึ้นอย่างรุนแรง ชิ้นส่วนตัวอย่างที่ทำการทดสอบจะแยกขาดออกจากกันอย่างเห็นได้ชัด ในขณะที่คอนกรีตที่เสริมเส้นใยเหล็กนั้น เส้นใยเหล็กจะช่วยยึดรั้งรอยร้าวไว้ ทำให้รอยร้าวที่เกิดขึ้นไม่ขยายตัวไปเป็นรอยร้าวขนาดใหญ่ ทำให้หลังการวิบัติคอนกรีตจะยังคงรูปและไม่แตกออกจากกัน นอกจากนี้เส้นใยเหล็กยังส่งผลให้เกิดการวิบัติได้ช้ากว่าคอนกรีตที่ไม่เสริมเส้นใยเหล็ก การวิบัติของคอนกรีตที่เสริมเส้นใยเหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 การวิบัติของตัวอย่างคอนกรีตที่เสริมเส้นใยเหล็ก

4.3 พฤติกรรมการดัดของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ของน้ำหนักที่กระทำกับค่าการเคลื่อนตัวของคาน (Displacement) ดังแสดงในรูปที่ 9



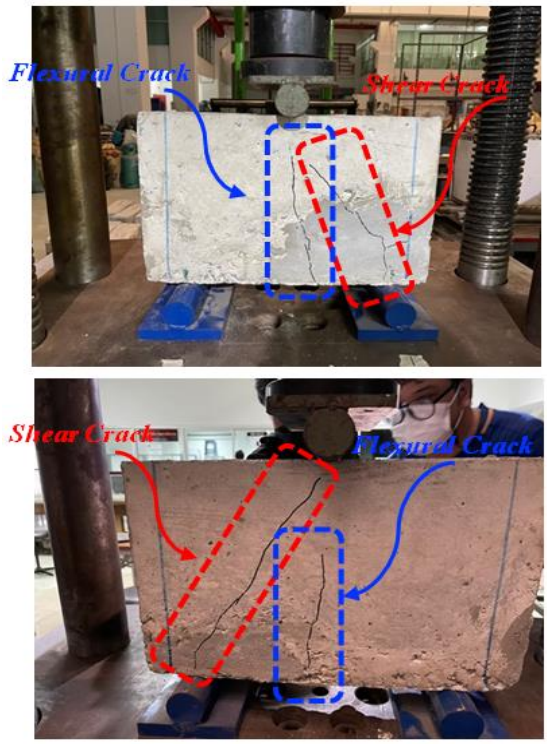
รูปที่ 9 ผลการศึกษาการรับแรงกระทำของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

จากการทดสอบ พบว่า เมื่อคานคอนกรีตรับแรงกระทำสูงสุดแล้ว คานคอนกรีตยังไม่เกิดการวิบัติและยังสามารถรับแรงกระทำได้อยู่

โดยที่คานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ไม่เสริมเส้นใยเหล็ก (SF0) สามารถรับแรงกระทำได้สูงสุดเฉลี่ย 17.66 ตัน มีการแอ่นตัวเฉลี่ย 3.55 มิลลิเมตร และคานเกิดการวิบัติเมื่อรับแรงกระทำเฉลี่ย 16.32 ตัน มีการแอ่นตัว 7.04 มิลลิเมตร ส่วนคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่เสริมเส้นใยเหล็กร้อยละ 0.42 โดยปริมาตรของคอนกรีต (SF0.42) สามารถรับแรงกระทำได้สูงสุดเฉลี่ย 23.08 ตัน มีการแอ่นตัวเฉลี่ย 3.31 มิลลิเมตร และคานเกิดการวิบัติเมื่อรับแรงกระทำเฉลี่ย 16.72 ตัน มีการแอ่นตัว 4.65 มิลลิเมตร และ คานคอนกรีตเสริมเหล็กที่เสริมเส้นใยเหล็กร้อยละ 0.84 โดยปริมาตรของคอนกรีต (SF0.84) สามารถรับแรงกระทำได้สูงสุดเฉลี่ย 26.07 ตันมีการแอ่นตัวเฉลี่ย 4.70 มิลลิเมตร และคานเกิดการวิบัติเมื่อรับแรงกระทำเฉลี่ย 21.51 ตัน มีการแอ่นตัว 7.55 มิลลิเมตร

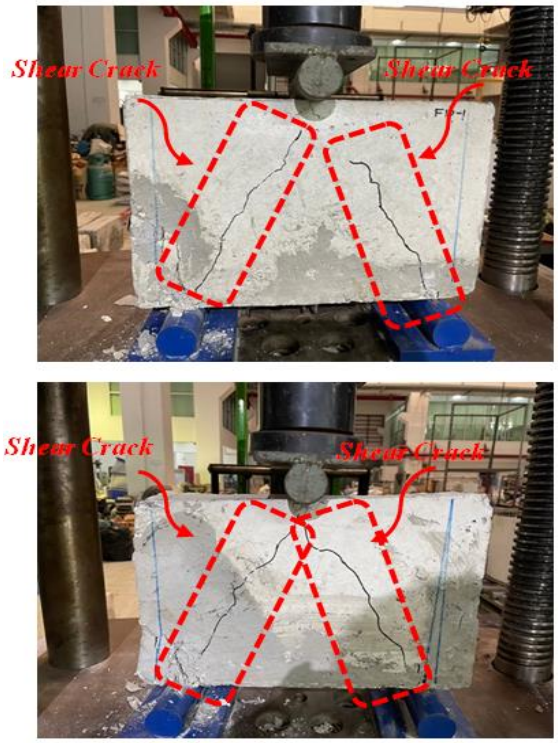
เมื่อทำการเปรียบเทียบความสามารถในการรับแรงกระทำของคาน พบว่า คานคอนกรีตที่เสริมเส้นใยเหล็กร้อยละ 0.42 โดยปริมาตรของคอนกรีตจะรับแรงที่กระทำได้สูงกว่าคานคอนกรีตที่ไม่เสริมเส้นใยเหล็กถึงร้อยละ 30.69 และ คานคอนกรีตที่เสริมเส้นใยเหล็กร้อยละ 0.84 โดยปริมาตรของคอนกรีตจะรับแรงที่กระทำได้สูงกว่าคานคอนกรีตที่ไม่เสริมเส้นใยเหล็กถึงร้อยละ 47.62

เมื่อพิจารณาลักษณะรอยร้าวของคานในช่วงการวิบัติ พบว่า คานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ไม่เสริมเส้นใยเหล็กจะวิบัติแบบโมเมนต์ดัด (Flexure Crack) หรือแบบโมเมนต์ดัดร่วมกับแรงเฉือน (Shear Flexure Crack) ลักษณะรอยร้าว ดังแสดงในรูปที่ 12



รูปที่ 12 รอยร้าวของคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ไม่เสริมเส้นใยเหล็ก

ในขณะที่คานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ได้เสริมเส้นใยเหล็ก การวิบัติจะมีลักษณะคล้ายกัน คือคานจะวิบัติแบบแรงเฉือน (Shear Crack) ดังลักษณะรอยร้าวที่แสดงในรูปที่ 13 ซึ่งจากรูปแบบการแตกร้าวจะเห็นได้ว่าผลของเส้นใยเหล็กจะช่วยลดการแตกร้าวที่เกิดจากความเสียหายแบบโมเมนต์ดัด (Flexure Crack) ลงทำให้คานที่วิบัติมีเพียงรอยแตกร้าวแบบแรงเฉือน (Shear Flexure Crack) เพียงอย่างเดียว



รูปที่ 13 รอยร้าวของคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่เสริมเส้นใยเหล็ก

5. สรุปผลการศึกษา

ในการพิจารณากำลังอัดของคอนกรีตที่เสริมเส้นใยเหล็กจะให้ค่ากำลังอัดทั้งสูงและต่ำกว่าคอนกรีตที่ไม่ได้เสริมเส้นใยเหล็ก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณเส้นใยเหล็กว่าเหมาะสมหรือ ไม่ ถ้าเส้นใยเหล็กมีปริมาณที่เหมาะสมจะทำให้เส้นใยกระจายตัวภายในคอนกรีตได้ดี ไม่จับตัวกันเป็นก้อน ส่งผลให้คอนกรีตมีความทึบแน่น แต่หากเส้นใยเหล็กมีปริมาณมากเกินไปจะทำให้เส้นใยจับตัวกันเป็นก้อน ส่งผลให้คอนกรีตมีรูพรุนและทำให้กำลังอัดลดลง โดยทั่วไปแล้วการเสริมเส้นใยในคอนกรีตไม่ได้มีวัตถุประสงค์ในการเพิ่มกำลังอัดโดยตรง แต่อาจมีผลทำให้กำลังอัดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ทั้งนี้ต้องระวังในการใช้ปริมาณเส้นใยเหล็กด้วย ซึ่งจากการศึกษา พบว่าคอนกรีตที่เสริมเส้นใยเหล็กร้อยละ 0.42 **โดยปริมาตรของคอนกรีต** มีค่ากำลังอัดมากกว่าคอนกรีตที่ไม่ได้เสริมเส้นใยเหล็กร้อยละ 31.41 และคอนกรีตที่เสริมเส้นใยเหล็กร้อยละ 0.84 โดยปริมาตรของคอนกรีตมีค่ากำลังอัดน้อยกว่าคอนกรีตที่ไม่ได้เสริมเส้นใยเหล็กร้อยละ 14.33 สำหรับการพิจารณากำลังดึงแบบผ่าซีกคอนกรีต พบว่าคอนกรีตที่เสริมเส้นใยเหล็กร้อยละ 0.42 **โดยปริมาตรของคอนกรีต**

มีค่ากำลังดึงมากกว่าคอนกรีตที่ไม่ได้เสริมเส้นใยเหล็กร้อยละ 14.31 และคอนกรีตที่เสริมเส้นใยเหล็กร้อยละ 0.84 โดยปริมาตรของคอนกรีต มีค่ากำลังดึงมากกว่าคอนกรีตที่ไม่ได้เสริมเส้นใยเหล็กร้อยละ 20.45

เมื่อศึกษาพฤติกรรมการดัดของคาน พบว่าคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่เสริมเส้นใยเหล็กร้อยละ 0.42 โดยปริมาตรของคอนกรีต สามารถรับแรงกระทำได้มากกว่าคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ไม่เสริมเส้นใยเหล็กร้อยละ 30.69 ขณะที่คานคอนกรีตเสริมเหล็กที่เสริมเส้นใยเหล็กร้อยละ 0.84 **โดยปริมาตรของคอนกรีต**สามารถรับแรงกระทำได้มากกว่าคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ไม่เสริมเส้นใยเหล็กร้อยละ 47.62 และเมื่อพิจารณารูปแบบรอยร้าวพบว่า คานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ไม่เสริมเส้นใยเหล็กจะมีลักษณะการวิบัติแบบ Flexure Crack และแบบ Shear Flexure Crack ในขณะที่คานคอนกรีตเสริมเหล็กที่เสริมเส้นใยเหล็กจะมีลักษณะการวิบัติแบบ Shear Crack ซึ่งเห็นได้ว่า เส้นใยเหล็กสามารถช่วยลดรอยแตกร้าว เนื่องจากเส้นใยที่กระจายอยู่ในเนื้อคอนกรีตจะเป็นตัวประสานในการรองรับแรงดึงที่เกิดขึ้นจากแรงกระทำส่งผลให้เกิดรอยแตกร้าวในเนื้อคอนกรีตลดลงและช่วยลดความกว้างของรอยร้าวที่เกิดขึ้น

6. ข้อเสนอแนะ

ขอบเขตของการศึกษาในครั้งนี้เป็นการทดสอบคานคอนกรีตเสริมเหล็กในรูปแบบคานลึกและมีช่วงคานสั้น ดังนั้นการศึกษาในอนาคตควรศึกษาในรูปแบบคานที่แตกต่างไป ตลอดจนการกำหนดกำลังอัดของคอนกรีตที่หลากหลาย หรือเป็นการศึกษาคานคอนกรีตเสริมเหล็กแบบธรรมดาที่มีช่วงความยาวจากการใช้งานจริงระยะในช่วง 2.5-4 เมตร เพื่อสังเกตพฤติกรรมในการรับน้ำหนักแบบได้ใกล้เคียงรูปแบบใช้งานจริงมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] Bentur, A. and Mindess, S. Fiber Reinforced Cementitious Composites. Northern Ireland: The Universities Press (Belfast), c1990.

[2] ASTM C39 : 2004 : Standard Test Mathod for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

[3] ASTM C496 : 2004 : Standard Test Mathod for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens

[4] ASTM C78 : 2002 : Standard Test Mathod for Flexural Strength of Concrete [Using Simple Beam with Third-Point Loading]

[5] กิตติศักดิ์ นนทเขตขยัน และภานุมาศ ดวงสิทธิโชค (2548). คุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตและมอร์ต้าร์ที่ผสมไฟเบอร์.ปริญญานิพนธ์ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี.

[6] อภินันท์ ภูชัน และสุรสิทธ์ หมั่นวิชา (2548). พฤติกรรมและการคำนวณกำลังรับแรงดัดของคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ผสมไฟเบอร์. ปริญญานิพนธ์ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี.

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

การพัฒนาผลิตภัณฑ์พื้นจากวัสดุคอมโพสิทเส้นใยสบู่ดำผสมพลาสติกในอุตสาหกรรมก่อสร้าง

Development of Casing Products by physic – nut composite plastic material for construction industry

นิโรจน์ เงินพรหม[1*]

[1]มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโยธา

Nirojn.n@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

จากการทดลองวิจัยพบว่า กรรมวิธีสำหรับการเตรียมวัสดุคอมโพสิทเส้นใยสบู่ดำผสมพลาสติก ต้นสบู่ดำที่ความละเอียดอยู่ระหว่าง 0.25 ถึง 0.5 มิลิเมตร มีลักษณะเป็นผงน้ำหนักเบาเหมาะกับการทำพื้นวัสดุคอมโพสิท และพลาสติกหลังจากผ่านการบด ขนาดต่ำกว่า 0.02 cm. จะเพิ่มพื้นที่ในการผสม ป้อนเข้าเครื่องได้อย่างสม่ำเสมอ หลอมละลายได้เร็ว ในระหว่างที่ผสมเม็ดพลาสติกผ่านการบดจะเกิดการเสียดสีกันจะมีประจุไฟฟ้าสถิตเกิดขึ้น ทำให้ดูดฝุ่นของสารผสมติดผิวของเม็ดได้ดี สัดส่วนพื้นคอมโพสิทเส้นใยสบู่ดำผสมพลาสติกด้วยกระบวนการอัดรีด (Extrusion) สัดส่วน ใยไม้ธรรมชาติ (%น้ำหนัก) ที่ 60 % พลาสติก (%น้ำหนัก) 35 % และสารเติมแต่ง(%น้ำหนัก) 5 % สามารถขึ้นรูปเป็นพื้นชิ้นงาน ที่สมบูรณ์ไม่แตกร้าวและเกิดการบิดเบี้ยว อุณหภูมิในการขึ้นรูป ผลิตพื้นคอมโพสิทเส้นใยสบู่ดำผสมพลาสติกด้วยกระบวนการอัดรีด (Extrusion) ที่เหมาะสม อยู่ในช่วง 140-185 องศาเซลเซียส คุณสมบัติทางด้านเชิงกลของพื้นคอมโพสิทเส้นใยสบู่ดำผสมพลาสติก แรงอัดขนานเสี้ยน 19.1 MPa, แรงอัดตั้งฉากเสี้ยน 32.5 MPa, แรงดึงขนานเสี้ยน 12.50 MPa, แรงเฉือนขนานเสี้ยน 7.67 MPa, MOR 20.30 MPa, MOE 2,950 MPa, ความแข็ง 7,650 N, แรงฉีก 0.680 MPa คุณสมบัติทางกายภาพของพื้นคอมโพสิทเส้นใยสบู่ดำผสมพลาสติก ปริมาณความชื้น 1.20 (%)ความถ่วงจำเพาะ 1.50, ความหนาแน่น 1.50 g/cm3 ความถ่วงจำเพาะและความหนาแน่น ของวัสดุคอมโพสิทเส้นใยสบู่ดำผสมพลาสติกมีค่าอยู่ในช่วง 1.50 ส่วนไม้จริงอยู่ในช่วง 0.51-0.68 ซึ่งทำให้วัสดุคอมโพสิทเส้นใยสบู่ดำผสมพลาสติกมีน้ำหนักที่สูงกว่าไม้จริงพื้นคอมโพสิทเส้นใยสบู่ดำผสมพลาสติกสามมารถนำไปใช้งานตาม พ.ร.บ. ควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 และ มาตรฐาน ว.ส.ท. เทียบเท่าในไม้ก่อสร้างชนิดไม้เนื้ออ่อนมาก เหมาะกับงานก่อสร้างที่ไม่รับแรงเช่นงานตกแต่งวัสดุปูพื้น

คำสำคัญ : พื้น, วัดุคอมโพสิท, สบู่ดำ

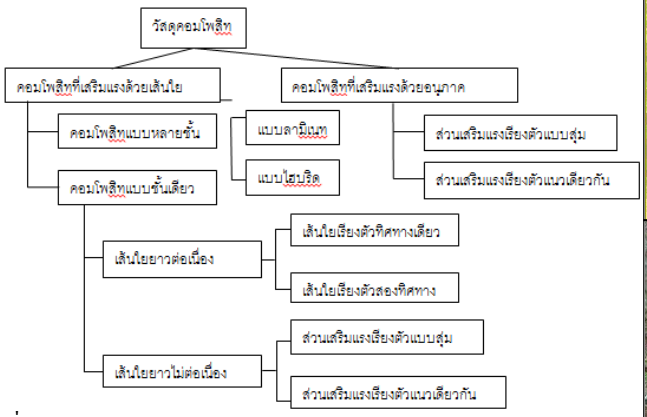
1. บทนำ

พระบรมราโชวาท "...เทคโนโลยี นั้น โดยหลักการ คือ การทำให้สิ่ง ที่มีอยู่ให้เกิด เป็นสิ่งที่นำมาใช้ประโยชน์ได้ ดังนั้น เทคโนโลยีที่ดีสมบูรณ์จึงควรจะ สร้างสิ่งที่จะใช้ประโยชน์ได้อย่างคุ้มค่า และมีความสูญเปล่าหรือความ เสียหายที่เกิดขึ้นน้อยที่สุด..." (พระบรมราโชวาท ในพิธีพระราชทานปริญญาบัตรของ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ณ อาคารใหม่ สวนอัมพร 18 ตุลาคม 2522) ปัจจุบันความเจริญทางเทคโนโลยีสามารถที่จะตอบสนองความต้องการของมนุษย์ได้อย่างมากมายมหาศาล เกิดการประดิษฐ์คิดค้นสิ่งใหม่ ๆ จนบางครั้งทำให้มนุษย์ลืมธรรมชาติ ลืมคิดถึงประโยชน์จากธรรมชาติ นอกจากจะไม่ใช้ประโยชน์จากธรรมชาติแล้ว บางครั้งยังทำลายธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมลงไปด้วย ดังนั้นจึงมีคนพยายามที่จะใช้ทรัพยากรธรรมชาติมาก่อให้เกิดประโยชน์โดยเฉพาะวัสดุ ที่เหลือใช้ทางการเกษตร เช่น เศษไม้ วัชพืช หรือวัสดุเส้นใยจากพืชมาย่อยละเอียดแล้วอัดขึ้นรูปเพื่อนำไปทำเป็นวัสดุก่อสร้าง เฟอร์นิเจอร์ อุปกรณ์ประกอบโครงสร้างภายในอาคาร

วัสดุที่ใช้ในงานก่อสร้างมีราคาสูงขึ้นเรื่อยๆรวมทั้งวัสดุที่ทำจากไม้หรือธรรมชาติเป็นวัสดุที่หายากและมีราคาแพงดังนั้นหากมีการคิดค้นวัสดุที่ทดแทนไม้ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกันหรือดีกว่าและราคาถูกกว่าเพื่อเป็นทางเลือกให้กับวิศวกร ผู้รับเหมาและเจ้าของงานก่อสร้าง ผลิตภัณฑ์พื้นส่วนใหญ่ในปัจจุบันเป็นไม้จริงที่มีราคาแพงและมีข้อจำกัด ดังนั้นหากมีการวิจัยผลิตภัณฑ์พื้นจากคอมโพสิทเส้นใยสบู่ดำผสมพลาสติกซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความต้องการของตลาดอยู่มากรวมทั้งวัสดุที่ใช้ทำเป็นวัสดุที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตจากการเกษตรที่เหลือทิ้งเป็นมลภาวะเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัดหากนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ก็จะเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งเป็นสินค้าสู่อุตสาหกรรมต่อไปได้

1.1 วัสดุคอมโพสิท

วัสดุคอมโพสิทยังประกอบด้วยตัวเสริมแรง (reinforce phase) และเนื้อประสาน (matrix) เช่น พอลิเมอร์ชนิดต่างๆ ซึ่งทำหน้าที่ในการประสานเชื่อมโยงโครงสร้างระหว่างตัวเสริมแรงเพื่อทำให้เกิดโครงข่าย 3 มิติ (crosslinking)เพื่อช่วยเพิ่มคุณสมบัติทางกลให้แก่วัสดุคอมโพสิท ทั้งนี้ ด้วยคุณสมบัติของวัสดุ คอมโพสิทที่กล่าวมาข้างต้น ส่งผลให้วัสดุคอมโพสิทถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมก่อสร้างและโครงสร้าง อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมเคมี อุตสาหกรรมการผลิตอุปกรณ์และวัสดุทางการแพทย์ [1] จึงมีการแบ่งประเภทของวัสดุคอมโพสิทตามการใช้งานและวัสดุผสมดังรายละเอียดตามรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แสดงประเภทของวัสดุคอมโพสิทโดยแบ่งตามลักษณะของส่วนเสริมแรง [1],[2]

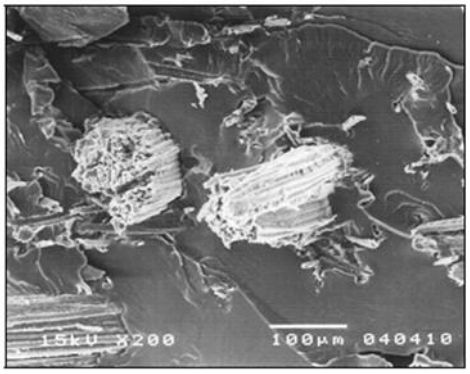
1.2 พอลิเมอร์เมทริกซ์ (Polymer Matrix)

ตามที่ทราบกันแล้ววัสดุผสมประกอบด้วยวัสดุหลายอย่าง ประกอบด้วยส่วนผสมหลักเส้นใยและพอลิเมอร์เรซิน คือมีสารเติมต่างๆ เพื่อปรับสมบัติที่ต้องการ เช่นไบเดอร์ ฟิลเลอร์ เม็ดสี ตัวเร่ง และสารลดการติดไฟเป็นต้น เมื่อนำมาผสมกันก็จะเกิดรอยต่อระหว่างผิวหน้า (interfaces) ซึ่งเป็นผิวหน้าที่ฟอร์มพื้นที่หรือขอบเขตคล้ายๆ ขอบเกรนระหว่างส่วนประกอบ 2 ชนิดในสารเนื้อเดียว อินเตอร์เฟส (interphase) เป็นบริเวณที่ฟอร์มอยู่ระหว่างผิวหน้า (รูปที่ 2.1)

2 วิธีการและขั้นตอนการดำเนินงาน

2.1 ใยไม้ธรรมชาติจากสบู่ดำ

ในงานวิจัยใช้ไม้สบู่ดำจากสวนทดลองเกษตร จากรูปที่ 2.2 ต้นสบู่ดำผ่านการตัดแต่งกิ่งจะมีกิ่งที่ตัดแล้ว ที่เหลือทิ้งตามท่องร่องจำนวนมากโดยส่วนใหญ่จะนำไปสุมรวมให้แห้งแล้วเพากำจัดทำให้เกิดปัญหามลภาวะทางควัน หรือไมก็บดเป็นปุ๋ยหมักและกองทิ้งตามท้องร่องให้ย่อยสลายตามธรรมชาติทำให้เกิดปัญหาการหมักของเชื้อราและมลภาวะในการกำจัดทิ้ง

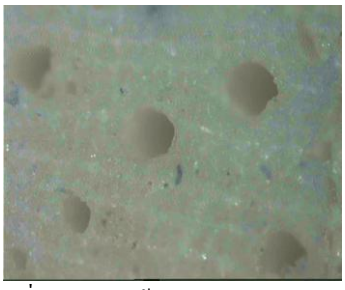


รูปที่ 1.2 เป็นภาพตัดของวัสดุผสมเสริมเส้น สัณฐานวิทยาของการยึดติดกันระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยาย 200 เท่า [4]



รูปที่ 2.2 ต้นสบู่ดำผ่านการตัดแต่งกิ่ง

จากรูปที่ 2.3 แกนในต้นสบู่ดำกำลังขยาย 10x จะเห็นว่าประกอบด้วยกลุ่มมัดท่อสำเลียงอยู่ทางด้านนอกและมี pith เป็นเนื้อเยื่อ Parenchyma ขนาดใหญ่ ส่วนกลางสุดของลำต้นเซลล์รูปร่างหลายเหลี่ยมขนาดของเซลล์ใหญ่กว่าขั้นคอร์เทกซ์ บางเซลมีการสะสมน้ำอยางอยู่ภายในเซลล์ และการเรียงตัวของสติลเป็นแบบ ectophloic siphonostele (eustele) มัดท่อลำเลียงเป็นแบบ collateral bundle มีโฟลเอ็มอยู่ทางด้านนอกของไซเล็ม ไซเล็มประกอบด้วยเวสเซส เทรคีด ไซเล็มไฟเบอร์ และไซเล็มพาเรงไคมา พบว่า เทรคีดมี secondary thickening wall แบบhelical ส่วนโฟลเอ็มประกอบด้วย sieve element ไฟเบอร์ และโฟลเอ็มพาเรงไคมา



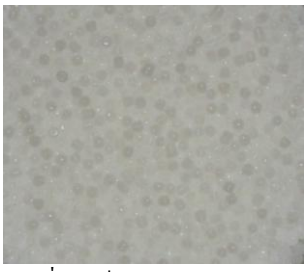
จากรูปที่ 2.3 แกนในต้นสบู่ดำกำลังขยาย 10x

2.2 พลาสติก

ในงานวิจัยนี้ใช้พลาสติกชนิดโพลีเอธิลีน (polyethylene – PE) ดังรูปที่ 2.4 ซึ่งเป็นเม็ดพลาสติกที่มีคุณสมบัติแข็งแรง เหนียว ทนทาน ป้องกันความชื้นมิให้ผ่านเข้าออกได้ ทนกรดและด่างอ่อน มีน้ำหนักเบา ความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.93 สามารถพับงอได้ดี มีความยืดตัวได้สูง ฉีก

ขาดยาก เป็นฉนวนไฟฟ้าดีมาก ไม่สามารถทนความร้อนสูง แต่ทนความเย็นได้ถึง –100 องศาฟาเรนไฮต์ เม็ดพลาสติกชนิด HDPE

จะเห็นได้ว่าโพลีเอธิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (high-density polyethylene - HDPE) เหมาะกับการนำไปผลิตขึ้นรูปเป็นวัสดุในงานก่อสร้าง

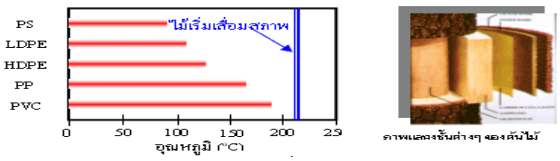


รูปที่ 2.4 เม็ดพลาสติกชนิด HDPE

2.3 ไม้ประกอบพลาสติก (Wood –Plastic Composite) ในมุมมองของนักวัสดุศาสตร์

ไม้ประกอบพลาสติก ซึ่งอาจเรียกสั้นๆ ว่าไม้พลาสติกนั้น เป็นเทคโนโลยีที่เกิดขึ้นในวงการอุตสาหกรรมไม้และพลาสติกในต่างประเทศมานานแล้ว แต่ไม้พลาสติกนั้นค่อนข้างที่จะใหม่ในประเทศไทย ไม้พลาสติกถือได้ว่าเป็นการนำ เอาความรู้ของทั้งวงการไม้และวงการพลาสติกมาประสานรวมกัน ทำ ให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ ซึ่งสามารถถือได้ว่าเป็นวัสดุทางวิศวกรรมได้อีกชนิดหนึ่ง เนื่องจากคุณสมบัติที่มีความแม่นยำ และแน่นอนมากกว่าไม้ท่อนหรือไม้ดิบ

ทั้งไม้และพลาสติกจัดเป็นวัสดุประเภทพอลิเมอร์ (Polymer) เช่นเดียวกัน แต่ต่างกันตรงที่ไม้เป็นพอลิเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติ ในขณะที่พลาสติกเป็นพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ เราไม่สามารถควบคุมสมบัติของไม้ให้เป็นไปตามต้องการได้แต่สามารถทำ กับไม้พลาสติกได้



รูปที่ 2.5 การเสื่อมสภาพจากอุณหภูมิของวัสดุชนิดพลาสติกต่างๆกับไม้ [5]

2.4 สภาวะการผสม

ตารางที่ 2.1 อัตราส่วนผสมของใยธรรมชาติต้นสบู่ดำกับพลาสติก

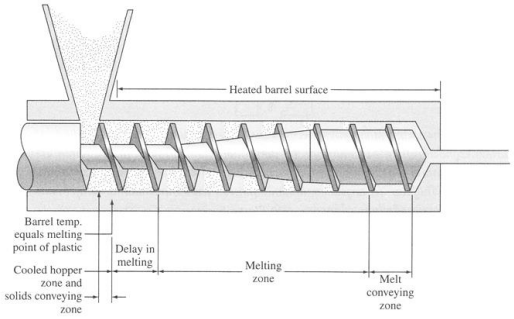
ใยไม้ธรรมชาติ(%น้ำหนัก)	พลาสติก(%น้ำหนัก)	สารเติมแต่ง(%น้ำหนัก)			รวม
		ซิ่ง	แวก	สี	
60%	35%	2%	2%	1%	100%

จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้พบว่าอัตราส่วนของใยไม้ธรรมชาติ (%น้ำหนัก) 60% พลาสติก (%น้ำหนัก) 35%สารเติมแต่ง(%น้ำหนัก) 5% มีคุณสมบัติที่ต่นทานแรงดึงขนานเสี้ยนได้ดีที่สุดจึงใช้อัตราส่วนนี้ในการออกแบบและทดสอบงานพื้น

2.5 กระบวนการขึ้นรูป (Processing)

รายละเอียดและขั้นตอนในการผลิตไม้ประกอบพลาสติกตลอดจน การเตรียมวัตถุดิบและชนิดของสารเติมแต่งพลาสติก (Additives) ที่ใช้นั้น จะขึ้นอยู่กับวิธีการขึ้นรูปที่เลือกใช้ ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากว่า ในการขึ้นรูปแต่ละวิธีก็มีข้อจำกัดแตกต่างกันไป เช่นบางวิธีอาจสามารถใช้กับวัตถุดิบที่มีขนาดไม้ไม่ต้องละเอียดมากได้ แต่บางวิธีจำ เป็นต้องเตรียมวัตถุดิบให้มีความละเอียดสูง เป็นผลทำให้มีขั้นตอนในการเตรียมวัตถุดิบแตกต่างกัน และการขึ้นรูปไม้ประกอบพลาสติกสามารถขึ้นรูปได้หลายวิธีเช่นเดียวกับการขึ้นรูปพลาสติกทั่วไป เช่น อัดรีด (Extrusion), ฉีด (Injection) และ อัดเข้า (Hot Press) เป็นต้นโดยทั่วไปแล้ว ขั้นตอนการผลิตไม้พลาสติกจะมีอยู่ 2 ส่วนหลักๆ นั่นคือขั้นตอนของการผสมวัตถุดิบให้เข้ากัน โดยสามารถจะทำ ให้อยู่ในรูปของเม็ดผสมของไม้พลาสติกก่อนแล้วนำไปผ่านกระบวนการการขึ้นรูปลักษณะต่างๆ ให้เหมาะสมกับการนำ ไปใช้งาน หรือยังสามารถจะเก็บไว้เพื่อใช้ในการขึ้นรูปต่อไป ซึ่งในการนี้ใช้กระบวนการอัดรีด (Extrusion)

เป็นกระบวนการผลิตที่สำคัญอีกวิธีหนึ่งสำหรับใช้กับเทอร์โมพลาสติกกระบวนการนี้โดยมากใช้ผลิตพวกท่อ แท่ง เป็นฟิล์มและแผ่นพลาสติกหรือผลิตเป็นรูปแบบอย่างอื่น เครื่องอัดรีดอาจใช้ทำวัตถุดิบที่เป็นพลาสติกผสมให้ออกมามีรูปร่างต่างๆ กัน เช่น ทำเม็ดและใช้กับพวกพลาสติกที่ใช้แล้ว ในกระบวนการอัดรีดพลาสติกนี้เม็ดพลาสติกจะถูกส่งเข้าไปให้ความร้อนแล้วพลาสติกที่หลอมเหลวจะถูกบังคับให้ออกทางท่อเปิดหรือ die ตามรูปร่างที่ต้องการด้วยสกรูหมุน (ดังรูปที่ 2.30) พลาสติกที่ออกมาแล้วจะทำให้เย็นต่ำกว่า Tg หรือ glass transition temperature เพื่อให้แน่ใจว่ารูปร่างจะคงที่ การทำให้พลาสติกเย็นลงใช้วิธีเอาลมเป่าหรือใช้ระบบน้ำเย็นหล่อก็ได้



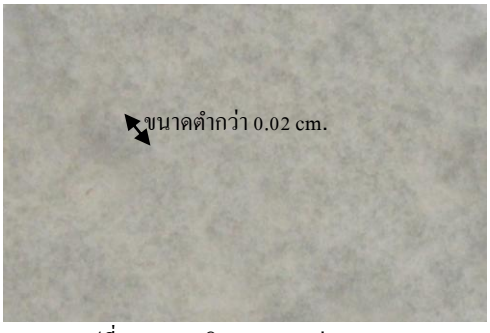
รูปที่ 2.6 แสดงเครื่องอัดรีด (extruder) ซึ่งแสดงให้เห็นการทำงานของส่วนต่างๆ ตั้งแต่เม็ดพลาสติกเข้าไปจาก hopper จนออกมาเป็นวัสดุสำเร็จรูป [6]

ปรับขนาดใยไม้จากต้นสบู่ดำธรรมชาติจากสบู่ดำโดยการบดด้วยเครื่องบด ใยธรรมชาติสบู่ดำผ่านการบดละเอียด ความละเอียดอยู่ระหว่าง 0.25 ถึง 0.5 มิลิเมตร มีลักษณะเป็นผงน้ำหนักเบา



รูปที่ 2.7 ต้นสบู่ดำผ่านการบดละเอียด

ปรับขนาดพลาสติกชนิดโพลีเอธิลีน (polyethylene – PE)ซึ่งเป็นเม็ดพลาสติกที่มีคุณสมบัติแข็งแรง เหนียว ทนทาน ป้องกันความชื้นมิให้ผ่านเข้าออกได้ ทนกรดและด่างอ่อน มีน้ำหนักเบา ความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.93 สามารถพับงอได้ดี มีความยืดตัวได้สูง ฉีกขาดยาก เป็นฉนวนไฟฟ้าดีมาก ไม่สามารถทนความร้อนสูง แต่ทนความเย็นได้ถึง –100 องศาฟาเรนไฮต์ เม็ดพลาสติก PE ชนิดโพลีเอธิลีน ชนิดความหนาแน่นสูง (high-density polyethylene - HDPE) ใช้กับงานเป่าขึ้นรูป (blow moulding) โดยใช้ทำเป็นขวดพลาสติกและภาชนะบรรจุประเภทต่างๆ ที่ต้องทนต่อแรงดันและต้องมีแรงต้านทานสูง นอกจากนี้ยังใช้ในงานด้านการฉีดขึ้นรูป (injection) เช่น ผลิตของเล่นเด็ก และเครื่องใช้ต่างๆ ภายในบ้าน ตลอดจนใช้ทำแผ่นฟิล์ม เชือก ฉนวนหุ้มสายไฟ ท่อและรางน้ำ ให้พลาสติกขนาดตำกว่า 0.02 cm.



รูปที่ 2.8 พลาสติกขนาดตำกว่า 0.02 cm.



รูปที่ 2.9 ระบบขึ้นรูปและการหล่อเย็นชินงานโดยใช้น้ำ



รูปที่ 2.10 ชินตัวอย่างพื้นวัสดุคอมโพสิทจากสบู่ดำทิ้งชิ้นงานที่ขึ้นรูปเสร็จแล้วไว้อย่างน้อย 24 ชั่วโมง เพื่อให้ชิ้นงานเย็นตัวลง

2.5 ทดสอบ ความเค้นอัดขนานเสี้ยน (Compressive Stress Parallel to Grain)

มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ

1 ASTM D 143 Standard Methods of Testing Small Clear Specimens of Timber

2 British Standard No. 373 Methods of Testing Small Clear Specimens of Timber

3 ISO 3738 Wood-Test Methods Determination of Ultimate Stress in Compression Parallel to Grain

เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine (UTM)

2.6 ทดสอบความเค้นอัดตั้งฉากเสี้ยน และ 2.7 ทดสอบความเค้นดึงขนานเสี้ยน (Tensile Strees Parallel to Grain)

มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ

Britih Standard 373: 1957 Methods of testing small clear specimens of timber

เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine (UTM)

2.8 ทดสอบความเค้นเฉือนขนานเสี้ยน (Shearing Stress Parallel to Grain)

มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ

Britih Standard 373: 1957 Methods of testing small clear specimens of timber ISO-3346:

เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine (UTM)

2.9 ทดสอบความแข็งแรง และความแข็งตึง ในการดัดสถิต (Strength and Stiffness in Static Bending)

มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ

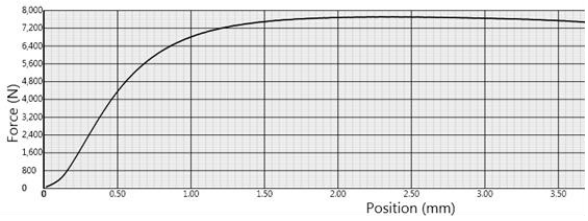
British Standard 373: 1957 Methods of testing small clear specimens of timber

เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine

3 ผลการทดสอบ

3.1 ผลทดสอบการทดสอบความเค้นอัดขนานเสี้ยน (Compressive Stress Parallel to Grain)

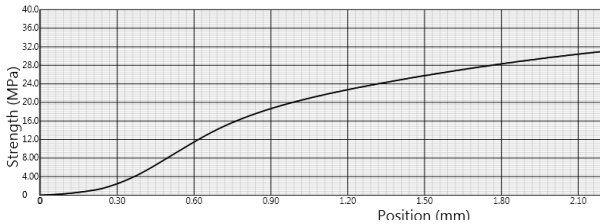
ผลการทดสอบความเค้นอัดขนานเสี้ยน พบว่า สามารถรับแรงอัดขนานเสี้ยนได้ 19.1 MPa และมีลักษณะการรับแรง ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ลักษณะการรับความเค้นอัดขนานเสี้ยนของชนิดพื้นไม้ WC

3.2 ผลการทดสอบความเค้นอัดตั้งฉากเสี้ยน

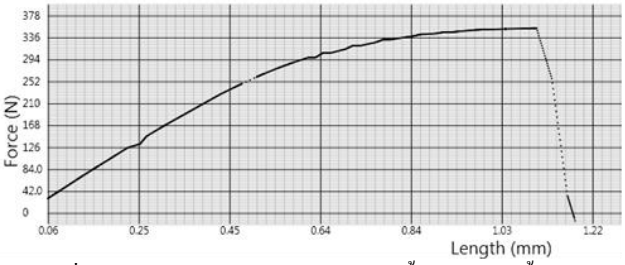
ชนิดของพื้นไม้ WC ผลการทดสอบความเค้นอัดตั้งฉากเสี้ยน พบว่า สามารถรับแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนได้ 32.5 MPa และมีลักษณะการรับแรง ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ลักษณะการรับความเค้นอัดตั้งฉากเสี้ยนของพื้นไม้ WC

3.3 ผลการทดสอบความเค้นดึงขนานเสี้ยน (Tensile Strees Parallel to Grain)

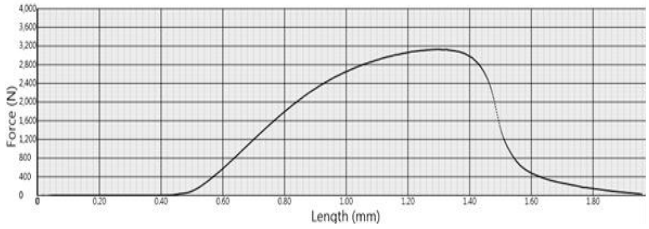
ชนิดของพื้นไม้ WC ผลการทดสอบความเค้นดึงขนานเสี้ยน พบว่า สามารถรับแรงดึงขนานเสี้ยน ได้ 12.50 MPa และมีลักษณะการรับแรง ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ลักษณะการรับความเค้นดึงขนานเสี้ยนของชนิดพื้น

3.4 ผลการทดสอบความเค้นเฉือนขนานเสี้ยน (Shearing Stress Parallel to Grain)

ชนิดของพื้นไม้ WCผลการทดสอบความเค้นเฉือนขนานเสี้ยน พบว่า สามารถรับแรงเฉือนขนานเสี้ยน ได้ 7.67 MPa และมีลักษณะการรับแรง ดังรูปที่ 3.4



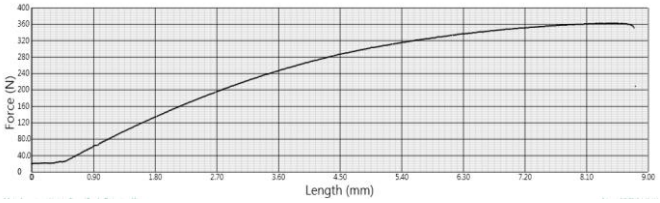
รูปที่ 3.4 ลักษณะการรับความเค้นเฉือนขนานเสี้ยน ของพื้นไม้ WC

3.5 ผลการทดสอบความแข็งแรง และความแข็งตึง ในการดัดสถิตย์ (Strength and Stiffness in Static Bending)

3.5.1 Modulus of Rupture (MOR) ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการต้านการแตกหักหรือความแข็งแรง (Strength) ของพื้นไม้ WC

3.5.2 Modulus of Elasticity (MOE) ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการต้านการโก่งหรือความแข็งตึง (Stiffness) ของพื้นไม้ WC

ชนิดของไม้ WC ผลการทดสอบความแข็งแรง และความแข็งตึง ในการดัดสถิตย์ พบว่า มีความต้านการแตกหัก (MOR) มีค่า 20.30 และมีความสามารถในการต้านการโก่งความแข็งตึง (MOE) มีค่า 2,950 MPa และมีลักษณะการรับแรง ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ลักษณะการรับความแข็งแรง และความแข็งตึง ในการดัดสถิตย์ ของพื้นไม้ WC

4. สรุป

1 กรรมวิธีสำหรับการเตรียมวัสดุคอมโพสิทเส้นใยสบู่ดำผสมพลาสติก ต้นสบู่ดำที่ความละเอียดอยู่ระหว่าง 0.25 ถึง 0.5 มิลิเมตร มีลักษณะเป็นผงน้ำหนักเบาเหมาะกับการทำพื้นวัสดุคอมโพสิท และพลาสติกหลังจากผ่านการบด ขนาดต่ำกว่า 0.02 cm. จะเพิ่มพื้นที่ในการผสม ป้อนเข้าเครื่องได้อย่างสม่ำเสมอ หลอมละลายได้เร็ว ในระหว่างที่ผสมเม็ดพลาสติกผ่านการบดจะเกิดการเสียดสีกันจะมีประจุไฟฟ้าสถิตเกิดขึ้น ทำให้ดูดฝุ่นของสารผสมติดผิวของเม็ดได้ดี

2 สัดส่วนที่เหมาะสมในการผลิตพื้นคอมโพสิทเส้นใยสบู่ดำผสมพลาสติกด้วยกระบวนการอัดรีด (Extrusion) สัดส่วน ใยไม้ธรรมชาติ (%น้ำหนัก) ที่ 60 % พลาสติก (%น้ำหนัก) 35 % และสารเติมแต่ง(%น้ำหนัก) 5 % สามารถขึ้นรูปเป็นพื้นชิ้นงานที่สมบูรณ์ไม่แตกร้าวและเกิดการบิดเบี้ยว

3 อุณหภูมิในการขึ้นรูป ผลิตพื้นคอมโพสิทเส้นใยสบู่ดำผสมพลาสติกด้วยกระบวนการอัดรีด (Extrusion) ที่เหมาะสม อยู่ในช่วง 140-185 องศาเซลเซียส

คุณสมบัติทางด้านเชิงกลของวัสดุคอมโพสิทเส้นใยสบู่ดำผสมพลาสติกดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สรุปผลการทดสอบคุณสมบัติทางด้านเชิงกลของวัสดุคอมโพสิทเส้นใยสบู่ดำผสมพลาสติก

	แรงอัดขนานเสี้ยน MPa	แรงอัดตั้งฉากเสี้ยน MPa	แรงดึงขนานเสี้ยน MPa	แรงเฉือนขนานเสี้ยน MPa	MOR MPa	MOE MPa
WC	19.1	32.5	12.50	7.67	20.30	2,950

คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุคอมโพสิทเส้นใยสบู่ดำผสมพลาสติก

ตารางที่ 4.2 สรุปผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุคอมโพสิทเส้นใยสบู่ดำผสมพลาสติก

ผลการทดสอบ	ชนิดของพื้นไม้คอมโพสิทเส้นใยสบู่ดำผสมพลาสติก
ปริมาณความชื้น (%)	1.20
ความถ่วงจำเพาะ	1.50
ความหนาแน่น g/cm3	1.50

ความถ่วงจำเพาะและความหนาแน่น ของวัสดุคอมโพสิทเส้นใยสบู่ดำผสมพลาสติกมีค่าอยู่ในช่วง 1.50 ส่วนไม้จริงอยู่ในช่วง 0.51-0.68 ซึ่งทำให้วัสดุคอมโพสิทเส้นใยสบู่ดำผสมพลาสติกมีน้ำหนักที่สูงกว่าไม้จริง

วัสดุคอมโพสิทเส้นใยสบู่ดำผสมพลาสติกสามมารถนำไปใช้งานตาม พ.ร.บ. ควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 และ มาตรฐาน ว.ส.ท. เทียบเท่าในไม้ก่อสร้างชนิดไม้เนื้ออ่อนมาก เหมาะกับงานก่อสร้างที่ไม่รับแรงเช่นงานตกแต่ง งานผนังไม่รับแรง วัสดุปูพื้น งานวงกบ เป็นต้น

5 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

การนำไปใช้งานพื้นวัสดุคอมโพสิทเส้นใยสบู่ดำผสมพลาสติกควรทดสอบและเลือกให้เหมาะกับลักษณะการใช้งานจริง

พื้นคอมโพสิทเส้นใยสบู่ดำผสมพลาสติก ยังต้องพัฒนาต่อในด้านความแข็ง ความคงทนและทนการลามไฟ โดยเพิ่มสารผสมพิเศษชนิดต่างๆเพื่อให้เหมาะกับงานที่แตกต่างตามการใช้งาน

เอกสารอ้างอิง

[1] พันธพงศ์ ตั้งธีระสุนันท์ วัสดุคอมโพสิท: ทิศทางและแนวโน้มการใช้วัสดุคอมโพสิทในประเทศไทย เอกสารเผยแพร่ สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ กันยายน 2549

[2] Matthews F.L. and Rawlings R.D. Composite Materials : Engineering and Science. London Chapman & Hall, 1994

[3] ณฐสพล เกียรติพานิช, การพัฒนาเทอร์โมพลาสติกเสริมแรงที่เตรียมจากเส้นใยธรรมชาติและการศึกษาสมบัติเชิงกลและสมบัติการไหล,วิศวกรรมเคมี,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2548

[4] สุปราณี แสงทอง, การปรับปรุงผิวเส้นใยธรรมชาติโดยใช้ปฏิกิริยาแอดไมเซลลาพอลิเมอไรเซชั้นสำหรับวัสดุประกอบ, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2549

[5] Hyer M.W. “Stress Analysis of Fiber-Reinforced Composite Materials.” (1997)

[6] H.S Kaufman and J.J. Falcetta (eds), “Introduction of Polymer Science and Technology” Society of Plastic Engineers, Wiley, p.462,1977.



ประวัติผู้เขียนบทความ

นายนิโรจน์ เงินพรหม ความเชี่ยวชาญในสาขาวิชา Geotechnical Engineering, Computer Application in Civil Engineering, Construction Materials, วิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

การศึกษาแบบจำลองสารสนเทศอาคารในงานบริหารทรัพยากรอาคาร : กรณีศึกษาอาคารสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

A Study of Building Information Modeling in Facility Management: Case Study of the Civil Engineering Building, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

ธนพัฒน์ น้ำจันทร์[1*], ขวัญชนก อุนทะอ่อน[2], กฤษดา เสือเอี่ยม[3], บูชิต มาโห้[4], ณัชพงศ์พล คงชะสิงห์[5], และ ภัทรชัย พงศ์โสภา[6]

[123456]สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนประชาราษฎ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800 Email: [1]tanapat.n@rmutp.ac.th*, [2]kwanchanok.o@rmutp.ac.th, [3]gritsada.s@rmutp.ac.th, [4]buchit.m@rmutp.ac.th, [5]nutchapongpol.k@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

แบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building information modeling) เป็นเทคโนโลยีที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อรวมข้อมูลสารสนเทศเข้าไปในงานสถาปัตยกรรม และวิศวกรรม สำหรับการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางการใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารในงานบริหารทรัพยากรอาคาร กรณีศึกษา: อาคารสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จากการศึกษาพบว่าข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองสารสนเทศอาคาร สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการสื่อสารระหว่างบุคลากรด้านการจัดการทรัพยากรอาคารได้ เนื่องจากแบบจำลองสารสนเทศอาคาร ทำให้สามารถสร้างแบบจำลอง 3 มิติ เพื่อให้เห็นภาพได้ง่าย ทำให้การนำเสนอง่ายขึ้น นอกจากนี้แบบจำลองสารสนเทศอาคารยังมีประโยชน์มากในการจัดการทรัพยากรอาคาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งทำให้การวางแผนการบำรุงรักษาและซ่อมแซมสะดวกและแม่นยำยิ่งขึ้น ถึงแม้ว่าการนำแบบจำลองสารสนเทศอาคารมาใช้ในการจัดการทรัพยากรอาคารสิ่งที่ควรปรับปรุงคือการอบรมให้ความรู้การใช้งานแบบจำลองสารสนเทศอาคารแก่ผู้ที่เกี่ยวข้อง

คำสำคัญ : แบบจำลองสารสนเทศอาคาร; ทรัพยากรอาคาร; แบบจำลอง 3 มิติ

Abstract

Building information modeling (BIM) is a technology developed to integrate information into architecture and engineering. The purpose of this study is to study the approaches for using building information modeling facility management case study of civil engineering building, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon. In this study found that the information from BIM model can improve communication amongst teams because BIM model enables the creation of 3D models for easy visualization, making the presentation easier. In additional, there are more benefits of BIM model in facility management (FM) especially making streamline maintenance & repairs planning more precise. Although the use of BIM models in facility management has many benefits, short in BIM-FM training is still required.

Keywords: Building information modeling; facility management; 3D model

1. บทนำ

แบบจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM) เป็นการผนวกงานด้านวิศวกรรม สถาปัตยกรรม และข้อมูลสารสนเทศขององค์ประกอบอาคารเข้าด้วยกันในรูปแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ทำให้ลดข้อผิดพลาดในการทำงานและเพิ่มประสิทธิภาพของงานในการประสานงานก่อสร้างในฝ่ายต่างๆ รวมไปถึงภายหลังส่งมอบงานยังสามารถจัดเตรียมข้อมูลทรัพยากรอาคารเพื่อการจัดการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในปี พ.ศ. 2558 สุพฤทธิ์ ตั้งพฤทธิ์กุล และ ณัฐวุฒิ สวัสดิ์สุข [1] ได้ศึกษาการใช้งานและแนวทางการผลักดันแบบจำลองสารสนเทศอาคารในประเทศไทยพบว่า แบบจำลองดังกล่างยังไม่เป็นที่แพร่หลาย วิศวกรในอุตสาหกรรมการก่อสร้างส่วนใหญ่ยังไม่รู้จักและไม่เคยใช้ BIM เนื่องจากซอฟต์แวร์ของ BIM มีราคาสูงทำให้ไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน และการเผยแพร่ความรู้ในเรื่องนี้ยังไม่ทั่วถึงและมากพอในประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2560 สนิตษา เสาระโส และคณะ [2] ได้ศึกษาการสำรวจการใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารในขั้นตอนโครงการก่อสร้างโดยใช้วิธีการสัมภาษณ์เชิงลึกจากผู้บริหารโครงการหรือผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในบริษัทชั้นนำในประเทศไทยที่มีการนำซอฟต์แวร์ BIM เข้าไปใช้ในกระบวนการของงานก่อสร้าง พบว่า การใช้งาน BIM ในประเทศไทยยังคงอยู่ในช่วงเริ่มต้น การใช้งาน BIM ในกระบวนการก่อสร้าง ส่วนใหญ่จะใช้ถึงเพียงขั้นตอน As-Build หรือแบบที่เขียนขึ้นหลังจากการก่อสร้างเสร็จไปเรียบร้อยแล้วเท่านั้น ในประเทศไทยนั้นยังไม่มีการนำแบบจำลอง BIM เข้าไปใช้จนถึงในขั้นตอน Facilities Management ตัวอย่างการประยุกต์ใช้แบบจำลอง BIM ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง ได้แก่ การประยุกต์ใช้แบบจำลองสารสนเทศในงานเหล็กเสริมของระบบชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป [3] การศึกษาประสิทธิภาพของแบบจำลองเทคโนโลยีสารสนเทศอาคาร [4] แนวทางการทำแบบจำลองสารสนเทศ

อาคารในการถอดปริมาณงานผนังอาคาร [5] และการพัฒนาต้นแบบของโครงการเพื่อสำรองใช้ในออโตเดสก์ เรฟวิต โดยระบบสารสนเทศหุ่นจำลองอาคาร [6]

ในปี พ.ศ. 2560 ดาลัด จิตมั่น และคณะ [7] ได้นำแบบจำลองสารสนเทศอาคารมาใช้ในการจัดการสินทรัพย์ กรณีศึกษา: บริษัท ทีม คอนซัลติ้ง เอนจิเนียริ่ง แอนด์ แมเนจเมนท์ จำกัด คง พบว่า การนำแบบจำลองข้อมูลสารสนเทศในการจัดการสินทรัพย์ทำให้มีความเข้าใจที่ตรงกัน เห็นภาพที่ชัดเจน มีขั้นตอนดำเนินงานที่ไม่ซับซ้อนสามารถช่วยลดเวลาและข้อผิดพลาดในงาน และจากการศึกษาผลกระทบของการยอมรับเทคโนโลยี และความพึงพอใจของบุคลากรภายในองค์กรต่อประสิทธิผลของระบบแบบจำลองสารสนเทศอาคาร พบว่าการยอมรับเทคโนโลยี BIM และความพึงพอใจของบุคลากรภายในองค์กรมีอิทธิพลที่ส่งผลเชิงบวกต่อประสิทธิผลของการใช้ระบบเทคโนโลยี BIM เนื่องจากเทคโนโลยี BIM สามารถช่วยลดปัญหาต่าง ๆ ที่เคยมีมาในอดีตได้อย่างมาก แต่ในเบื้องต้นจะต้องทำการศึกษาระบบ การใช้งานของระบบ และต้องทำการอบรมบุคลากรภายในองค์กรให้ใช้งาน BIM เพื่อให้เกิดประสิทธิผลที่ดีต่อไป

จะเห็นได้ว่าการใช้แบบจำลอง BIM ในปัจจุบันเริ่มมีการแพร่หลายมากขึ้นในอุตสาหกรรมการก่อสร้าง แต่ยังไม่แพร่หลายในงานบริหารทรัพยากรอาคาร ในงานวิจัยนี้จึงให้ความสนใจในการศึกษาแบบจำลอง BIM ในงานบริหารทรัพยากรอาคารเพื่อช่วยปรับปรุงด้านการจัดการงานเอกสารให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2. ระเบียบวิธีวิจัย

2.1 แนวคิดทฤษฎี

National Institute of Building Sciences, NIBS (2010) [8] ได้นิยามว่า BIM คือแบบจำลองระบบดิจิตอลที่แสดงลักษณะทางกายภาพและระบบการทำงานของสิ่งก่อสร้าง และเป็นแหล่งแบ่งปันสารสนเทศต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในโครงการก่อสร้าง อีกทั้งเพื่อช่วยให้การตัดสินใจตลอดวัฏจักรการก่อสร้างนั้นมีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น หลักการของแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM) คือ การจำลองอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์จากการสร้างองค์ประกอบอาคารเลียนแบบของจริงในรูปแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลสารสนเทศแบบกราฟฟิก (Graphic) และไม่ใช่กราฟฟิก (Non-graphic) ตัวอย่างข้อมูลกราฟฟิก ได้แก่ เสา ผนัง ประตู และหน้าต่าง เป็นต้น สำหรับข้อมูลแบบไม่ใช่กราฟฟิก ได้แก่ ข้อมูลผู้ผลิต รุ่น และราคา เป็นต้น ประโยชน์ของการใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM) คือ การนำข้อมูลสารสนเทศทั้งแบบกราฟฟิก และไม่ใช่กราฟฟิกในองค์ประกอบต่างๆ ของอาคารไปประโยชน์ได้ในหลายด้าน ได้แก่ ด้านการบริหารงานก่อสร้าง การจัดการทรัพยากรอาคาร การประเมินสมรรถนะอาคาร และการผลิตชิ้นส่วนองค์ประกอบอาคาร เป็นต้น

แบบจำลองสารสนเทศอาคารเป็นฐานข้อมูลสำคัญในการสืบค้นข้อมูลทรัพยากรอาคาร เช่น ครุภัณฑ์อาคาร เพื่อบริหารจัดการ การซ่อมบำรุง และรักษาสภาพของทรัพยากรอาคารให้สมบูรณ์อย่างรวดเร็วและแม่นยำ

2.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

(1) ข้อมูลองค์ประกอบอาคารต่าง ๆ จากแบบพิมพ์เขียว เพื่อนำไปสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคาร สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา โดยอาคารกรณีศึกษาเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ประกอบด้วยห้องเรียน ห้องปฏิบัติการ ห้องพักอาจารย์ และพื้นที่ใช้สอยประโยชน์ เป็นต้น

(2) ข้อมูลครุภัณฑ์อาคารชนิดเคลื่อนย้ายไม่ได้ ประกอบด้วย เครื่องปรับอากาศ และเครื่องมือห้องปฏิบัติการทางโยธา

(3) ข้อมูลการสัมภาษณ์บุคลากรที่เกี่ยวข้องกับงานบริหารทรัพยากรอาคาร สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา จำนวน 4 คน แบ่งเป็น อาจารย์ จำนวน 3 คน และเจ้าหน้าที่ 1 คน

เก็บรวบรวมข้อมูลโดยคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

2.3 การสร้างแบบจำลองด้วยซอฟต์แวร์ Autodesk Revit (Autodesk Education Licenses)

สร้างแบบจำลองอาคารสาขาวิชาวิศวกรรมโยธาโดยใช้ข้อมูลที่รวบรวมมาจากแบบพิมพ์เขียวด้วยซอฟต์แวร์ Autodesk Revit (Autodesk Education Licenses) เพื่อให้แบบจำลองสารสนเทศเป็นแหล่งเก็บรวบรวมข้อมูลเชิงเรขาคณิต (Geometry) ข้อมูลเชิงกราฟิก (Graphic) และข้อมูลที่ไม่ใช่กราฟิก (Non-Graphic)

2.4 วิเคราะห์แบบสอบถามก่อนและหลังการใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารในงานบริหารทรัพยากรอาคาร

รวบรวมผลการสัมภาษณ์บุคลากรที่เกี่ยวข้องกับงานบริหารทรัพยากรอาคาร สาขาวิชาวิศวกรรมโยธาก่อนและหลังการใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร นำมาตรวจสอบและวิเคราะห์แบบสอบถาม เพื่อนำไปสรุปแนวทาง ปัญหา และข้อเสนอแนะจากการนำแบบจำลองสารสนเทศมาใช้ในการจัดการข้อมูลอาคาร โดยมีประเด็นการสัมภาษณ์ดังนี้

(1) การจัดการข้อมูล และการประยุกต์ใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร

(2) ความสอดคล้องของข้อมูลทรัพยากรอาคาร

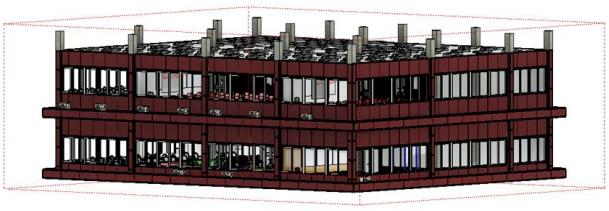
(3) การทำข้อมูลทรัพยากรอาคารให้เป็นปัจจุบัน

(4) การประสานงานข้อมูลทรัพยากรอาคาร

(5) อุปสรรคในการใช้งานทรัพยากรอาคาร

2.5 ผลการศึกษา

2.5.1 การสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคารด้วยซอฟต์แวร์ Autodesk Revit (Autodesk Education Licenses)

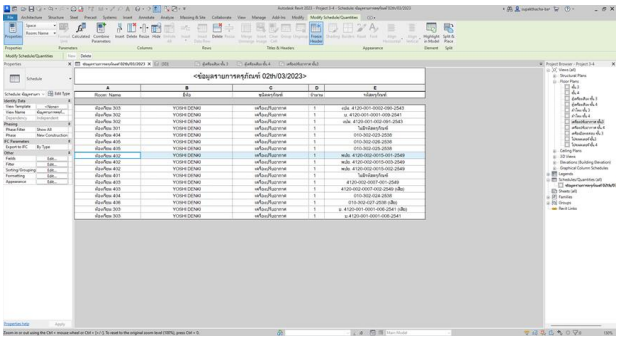




รูปที่ 1 ตัวอย่างการสร้างแบบจำลองอาคารสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ด้วยซอฟต์แวร์ Autodesk Revit

รูปที่ 1 แสดงตัวอย่างการสร้างแบบจำลองอาคารสาขาวิชาวิศวกรรมโยธาด้วยซอฟต์แวร์ Autodesk Revit เพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับการบริหารทรัพยากรอาคาร (Facility Management) สำหรับการสร้างแบบจำลองอาคารอุปกรณ์ ชิ้นส่วนต่าง ๆ ถูกนำเข้ามาจากเว็บไซต์ BIM object สำหรับการศึกษานี้จะสร้างแบบจำลองอาคารเฉพาะส่วนงานสถาปัตยกรรม และนำเข้าข้อมูลครุภัณฑ์ภายในอาคารอันได้แก่ ข้อมูลครุภัณฑ์เครื่องปรับอากาศ และครุภัณฑ์ห้องปฏิบัติการทางโยธา

2.5.2 ข้อมูลทรัพย์สิน และครุภัณฑ์ภายในแบบจำลองสารสนเทศอาคาร



รูปที่ 2 ข้อมูลครุภัณฑ์อาคารชนิดเคลื่อนย้ายไม่ได้ ประกอบด้วยเครื่องปรับอากาศ และเครื่องมือห้องปฏิบัติการทางโยธา

การนำข้อมูลรายการครุภัณฑ์ของแบบจำลองอาคารไปใช้สามารถช่วยให้ทราบถึงประวัติการซ่อมก่อนหน้า และวิเคราะห์ข้อมูลว่าต้องดูแล จัดการ ซ่อมบำรุงวัสดุ อุปกรณ์ ภายในอาคารอย่างไรบ้าง ต้องตรวจสอบครุภัณฑ์แต่ละชิ้นเมื่อไหร่ ควรเปลี่ยน หรือควรซ่อมเมื่อไหร่ ซึ่งข้อมูลนี้สามารถเป็นส่วนหนึ่งในการช่วยในการบริหารทรัพยากรอาคารได้ โดยข้อมูลครุภัณฑ์อาคารชนิดเคลื่อนย้ายไม่ได้ ประกอบด้วยครุภัณฑ์เครื่องปรับอากาศ และเครื่องมือห้องปฏิบัติการทางโยธา แสดงในรูปที่ 2

2.5.3 ผลการวิเคราะห์แบบสอบถามก่อนและหลังการใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารในงานบริหารทรัพยากรอาคารมีข้อสรุปดังตารางที่ 1 และ 2

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์แบบสอบถามก่อนการใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารในงานบริหารทรัพยากรอาคาร

ประเด็นการสัมภาษณ์	ผลการวิเคราะห์แบบสอบถามก่อนใช้แบบจำลอง BIM
การจัดการข้อมูล	สำรวจ ตรวจสอบ และบันทึกข้อมูลลงในฐานข้อมูลของสาขาวิชา ฯ ด้วยโปรแกรม Microsoft excel
ความสอดคล้องของข้อมูล	มีความสอดคล้องของข้อมูลในส่วนของจำนวนครุภัณฑ์ วัน เดือน ปีที่ติดตั้ง/ซ่อมบำรุง แต่ในส่วนของขนาด หรือที่ตั้งไม่สามารถระบุได้ชัดเจนเนื่องจากต้องอ่านจากแบบ
การประสานงานข้อมูล	ต้องทำการประสานงานหลายครั้ง
ปัญหาในการใช้งาน	ไม่สะดวกในการจัดเก็บข้อมูลและล่าช้าในการค้าหาข้อมูลเนื่องจากยังเป็นแบบพิมพ์เขียวอยู่
การแก้ไขปัญหา	เป็นไปได้ยากเนื่องจากข้อมูลครุภัณฑ์ แยกจากแบบของอาคาร และไม่มีโครงสร้างในการจัดเก็บ

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์แบบสอบถามหลังการใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารในงานบริหารทรัพยากรอาคาร

ประเด็นการสัมภาษณ์	ผลการวิเคราะห์แบบสอบถามหลังใช้แบบจำลอง BIM
การจัดการข้อมูล	สำรวจ ตรวจสอบ และบันทึกข้อมูลลงในฐานข้อมูลของสาขาวิชา ฯ ด้วยแบบจำลอง BIM
ความสอดคล้องของข้อมูล	มีความสอดคล้องของข้อมูล ทั้งข้อมูลเชิงเรขาคณิต (Geometry) ข้อมูลเชิงกราฟิก (Graphic) และข้อมูลที่ไม่ใช่กราฟิก (Non-Graphic) เนื่องจากการจัดทำข้อมูลตั้งแต่การจัดทำแบบอาคาร
การประสานงานข้อมูล	สามารถจัดทำข้อมูลคนเดียวได้ ประหยัดเวลาและจำนวนคน
ปัญหาในการใช้งาน	มีความยุ่งยากหากผู้ใช้งานไม่สามารถใช้แบบจำลอง BIM ได้
การแก้ไขปัญหา	จัดอบรมการใช้งาน BIM ในส่วนที่เกี่ยวข้อง

3. สรุป

ในการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาการจัดการทรัพยากรอาคารด้วยแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM) โดยทำการจำลองอาคารกรณีศึกษาด้วยซอฟต์แวร์ Autodesk Revit โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลทรัพยากรอาคารและใส่ลงไปในแบบจำลองสารสนเทศ

อาคารนั้น จากการศึกษาพบว่า การค้นหาตำแหน่งของครุภัณฑ์ เลขครุภัณฑ์ ประวัติการซ่อมบำรุง และ อายุการใช้งาน สามารถทำได้อย่างรวดเร็วและสะดวกมากยิ่งขึ้น แต่มีข้อจำกัดเนื่องจากข้อมูลในซอฟต์แวร์ Revit และ Excel ไม่เชื่อมต่อกัน ทำให้เมื่ออัพเดตข้อมูลในซอฟต์แวร์ Revit จะต้อง Export ไฟล์ไป Excel ใหม่ สามารถแก้ปัญหาได้ด้วยการอัพเดตในซอฟต์แวร์ Revit เดือนละ 1-2 ครั้ง เพื่อให้ข้อมูลมีความเป็นปัจจุบันมากที่สุด จากการสัมภาษณ์ผู้เกี่ยวข้องกับการใช้งานยังมีปัญหาการใช้งานซอฟแวร์เนื่องจากไม่เคยใช้งานมาก่อนควรจัดอบรมให้กับบุคลากรเพื่อให้สามารถใช้งานเบื้องต้นได้

อย่างไรก็ตามการนำแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM) มาใช้ในการจัดการทรัพยากรอาคารสามารถลดความซ้ำซ้อนของการทำงานและสามารถตรวจสอบข้อมูลย้อนหลังได้อย่างถูกต้องแม่นยำ เนื่องด้วยข้อมูลทุกอย่างจะถูกเก็บไว้อย่างเป็นระเบียบสามารถตรวจสอบย้อนหลังได้ตลอดเวลา

4. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ และเจ้าหน้าที่สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ได้เสียสละเวลาให้ในการสัมภาษณ์ รวมถึงอำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูลด้านทรัพยากรอาคาร

เอกสารอ้างอิง

[1] สุพฤทธิ์ ตั้งพฤทธิ์กุล และ ณัฐวุฒิ สวัสดิ์สุข, “การใช้งานและแนวทางการผลักดัน Building Information Modeling (BIM) ในประเทศไทย Building Information Modeling (BIM): Using and Adoption Pathways in Thailand, *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 20*, 8-10 กรกฎาคม 2558

[2] สุนิตยา เสาระโส, สันติ เจริญพรพัฒนา และ รัฐวุฒิ รู้แทนคุณ, การสำรวจการใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารในขั้นตอนโครงการก่อสร้าง, *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครงั้ที่22*, 18-20 กรกฎาคม 2560

[3] ณรงค์ศักดิ์ นิ่มนวล และ อิทธิพร ศิริสวัสดิ์, “การประยุกต์ใช้แบบจำลองสารสนเทศในงานเหล็กเสริมของระบบชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป” วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, ปีที่ 12, ฉบับที่ 1, หน้า 137 – 153, มกราคม-มิถุนายน 2560

[4] วิภาวี แป้นจุลสี และ อุดมวิทย์ ไชยสกุลเกียรติ, “การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศอาคารกับโครงการก่อสร้างจริง กรณีศึกษา โครงการ บูสท์ ฟิตเนส ยิม,” *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25*, 15-17 กรกฎาคม 2563

[5] เอกพิสิษฐ์ บรรจงเกลี้ยง, “แนวทางการทำแบบจำลองสารสนเทศอาคารเพื่อให้เกิดความแม่นยำในการถอดปริมาณงานผนังอาคาร,” *การประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ครั้งที่ 4*. 26-28 มิถุนายน 2562

[6] ฐิติวัฒน์ ตรีวงศ์ จำรูญ หทัยพันธ์ และ มสฤณา แสงสุทธิ์, “การพัฒนาต้นแบบของโครงการเพื่อสำรองใช้ในออโตเดสก์เรฟวิตโดยระบบสารสนเทศหุ่นจำลองอาคาร,” *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 27*, 24-26 สิงหาคม 2565

[7] สายชล บุญรอด, “ผลกระทบของการยอมรับเทคโนโลยี และความพึงพอใจของบุคลากรภายในองค์กรต่อประสิทธิผลของระบบแบบจำลองสารสนเทศอาคาร,” *MFU Connexion: Journal of Humanities and Social Sciences*; 2021, 10(2): 64-78, DOI: 10.14456/connexion.2021.16

[8] National Institute of Building Sciences [NIBS], BIM and FM. The portal to lifecycle facility management. Journal of Building Information Modeling spring. (2010).

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเศษไม้อัดทางวิศวกรรมเหลือทิ้งมาใช้เป็นมวลรวมผสมคอนกรีต

A Feasibility Study on the Use of Fiberboard Waste as Aggregate in Concrete Mix

บูชิต มาโห้*, ภัทรชัย พงศ์โสภา, ธนพัฒน์ น้ำจันทร์, กฤษดา เสือเอี่ยม,
ณัชพงศ์พล คงชะสิงห์, ขวัญชนก อุนทะอ่อน และ จักรพันธ์ แสงสุวรรณ

สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กทม. 10800

Email: buchit.m@rmutp.ac.th*, phattharachai.pong@gmail.com, tanapat.n@rmutp.ac.th, gritsada.s@rmutp.ac.th, nutchapongpol.k@rmutp.ac.th, kwanchanok.o@rmutp.ac.th, chakkarphan.s@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ของการนำเอาเศษไม้อัดทางวิศวกรรมหรือไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง (Medium Density Fiberboard, MDF) มาทดแทนมวลรวมในการผสมคอนกรีต ซึ่งไม้อัดเหล่านี้เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมก่อสร้างจำพวกเฟอร์นิเจอร์ และตกแต่งภายใน (Build-in furniture) ซึ่งมีจำนวนมากและกำจัดได้ยาก จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่า MDF มีการดูดซึมน้ำมากถึงร้อยละ 245 ไม่สามารถนำไปผสมกับคอนกรีตได้โดยตรง จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงคุณสมบัติเบื้องต้นก่อนการนำไปใช้ โดยได้ทำการปรับปรุงทั้งหมด 2 วิธี ได้แก่ การนำไปดูดซึมน้ำปูนซีเมนต์ (MDFC) และการนำไปดูดซึมพาราฟินแว็กซ์ (MDFP) เมื่อทำการปรับปรุงแล้วพบว่าร้อยละการดูดซึมน้ำลดลง จึงได้นำไปผสมกับมอร์ต้าและทำการทดสอบกำลังอัดในปริมาณ MDFC และ MDFP ร้อยละ 0-30 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ จากการทดสอบพบว่า MDF ภายหลังการปรับปรุงสามารถนำมาใช้เป็นมวลรวมสำหรับผสมคอนกรีตได้ แต่ความสามารถในการรับกำลังอัดมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณ MDF ที่เพิ่มขึ้น

คำสำคัญ : ไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง; มวลรวม; การปรับปรุงคุณสมบัติมวลรวม; กำลังรับแรงอัด

Abstract

This study aims to study the feasibility of the use of medium density fiberboard waste (MDF) as aggregate in a concrete mix. MDF waste are waste materials from the construction industry (furniture and interior decoration) that are difficult to dispose of. From the preliminary study, the raw MDF are high water absorption up to 245 percent that cannot mix into the concrete directly. Therefore, the absorption property of MDF was improved by 2 methods; absorbing the cement paste (MDFC) and absorbing the paraffin wax (MDFP). After improvement, the water absorption was found in decreases. The MDFC and MDFP were mixed into the mortar with 0-30 percent by cement weight for determined the compressive strength. The results show that the MDFC and MDFW can be used as aggregate in the concrete mix. However, the compressive strength tends to decrease with increasing the volume of MDF.

Keywords: medium density fiberboard; aggregate; improvement of aggregate; compressive strength

1. บทนำ

จากข้อมูลการจัดการขยะและเศษวัสดุเหลือทิ้งของทวีปยุโรปในปี ค.ศ. 2020 บ่งชี้ว่ามีปริมาณเศษวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมก่อสร้างที่ต้องกำจัดมีมากกว่าร้อยละ 20 [1] ซึ่งเป็นอันดับสองรองลงมาจากขยะบรรจุภัณฑ์ โดยส่วนใหญ่แล้วในโครงการก่อสร้างทั้งนอกและในประเทศไทย ไม่มีแผนกที่เกี่ยวข้องหรือรับผิดชอบต่อการจัดการเศษวัสดุที่เหลือทิ้งจากการก่อสร้างโดยตรง ซึ่งทำให้เกิดการกำจัดที่ไม่ถูกวิธีและอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้

จากปัญหาดังกล่าวจึงได้มีผู้ศึกษาค้นคว้าและวิจัยโดยนำเอาเศษวัสดุเหลือทิ้งในงานก่อสร้าง เช่น เศษคอนกรีต เศษอิฐมวลเบา และเศษกระเบื้อง เป็นต้น มาผสมกับคอนกรีตเพื่อเป็นวัสดุมวลรวม ซึ่งถือว่าเป็นการนำเศษวัสดุกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) [2,3] แต่ในการนำเศษวัสดุดังกล่าวกลับมาใช้ใหม่นั้นยังคงมีปัญหาเกิดขึ้นเนื่องจากความไม่คุ้มทุนและควบคุมคุณภาพได้ยาก ไม่เหมาะสำหรับการนำมาเป็นโครงสร้างหลักในการรับกำลัง [4] แต่อย่างไรก็ตามคอนกรีตที่ผสมกับเศษวัสดุเหล่านี้ยังสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุตกแต่ง หรือใช้สำหรับการทำเป็นโครงสร้างเบา เช่น ฝ้า ผนัง วัสดุกั้นห้อง และฉนวนกันเสียงและความร้อนได้ [5,6]

ปัจจุบันเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการทำเฟอร์นิเจอร์หรือเฟอร์นิเจอร์บิ้วอินในอุตสาหกรรมก่อสร้าง ได้นิยมเอาไม้อัดหรือไม้อัดวิศวกรรมที่ได้จากการนำเอากิ่งไม้ หรือปลายไม้ของต้นไม้ที่มีเส้นใยสูงมาบดเป็นเส้นใย แล้วจึงนำเส้นใยไม้ไปอัดให้เป็นแผ่นไม้ด้วยความร้อนโดยมีกาวเคมีเป็นตัวประสานให้ยึดเหนี่ยวกันเป็นแผ่น เช่น แผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง (Medium Density Fiberboard, MDF) ซึ่งในการผลิตเฟอร์นิเจอร์นั้นทำให้เหลือเป็นเศษวัสดุเหลือทิ้งจำนวนมากที่ไม่สามารถกำจัดได้โดยง่ายเนื่องจากทำมาจากไม้ที่มีเส้นใยจำนวนมากมาบดและอัดโดยมีกาวเคมีประสานทำให้มีความคงทนมาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นการนำเอาเศษเหลือจากแผ่นไม้อัดวิศวกรรมกลับมาใช้ใหม่ แต่เนื่องจากการดูดซึมน้ำที่สูงของเศษไม้จึงเป็นปัญหาต่อกำลังและความทนทานของมอร์ต้า

ดังนั้นการศึกษานี้จึงเป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเอาเศษไม้อัดความหนาแน่นปานกลางเหลือทิ้งมาเป็นมวลรวมใช้ใน

การผสมกับคอนกรีต โดยได้ทำการปรับปรุงคุณสมบัติด้านการดูดซึมน้ำ และนำมาทดสอบคุณสมบัติด้านกำลังอัดหลังใช้เป็นมวลรวมในคอนกรีต

2. วิธีดำเนินการศึกษา

2.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

2.1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ผลิตภัณฑ์คุณภาพตามมาตรฐาน มอก. 1-2555

2.1.2 มวลรวมละเอียดที่ใช้เป็นทรายแม่น้ำที่ผ่านการล้างสะอาดแล้วขนาดเล็กกว่า 4.75 มิลลิเมตร แต่มีขนาดใหญ่กว่า 0.074 มิลลิเมตร

2.1.3 เศษไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง (MDF) ที่ได้วัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมก่อสร้าง นำมาย่อให้มีขนาดโตสุดไม่เกิน 4.75 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 เศษไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง (MDF)

2.1.4 พาราฟินแว็กซ์ (Paraffin wax) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากส่วนที่เหลือ (byproduct) จากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบ มีลักษณะดังภาพที่ 2 และมีคุณสมบัติดังตารางที่ 1



รูปที่ 2 พาราฟินแว็กซ์

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของพาราฟินแว็กซ์

ชื่อทั่วไป	พาราฟินแว็กซ์ (Paraffin wax) หรือ เทียนไข
ลักษณะ	ของแข็ง มีสีเหลืองอ่อนถึงขาว
สูตรทางเคมี	CnH2n+2
จุดหลอมเหลว	48-68 องศาเซลเซียส
สารประกอบ	ประเภทไฮโดรคาร์บอน
การใช้งาน	ใช้ผลิตเทียน, ใช้เคลือบกระดาษ, ใช้เคลือบเสื้อผ้า, ใช้เป็นส่วนผสมสำหรับเครื่องสำอาง

2.1.5 สารผสมเพิ่มประเภทสารลดน้ำพิเศษ ที่ใช้ในงานคอนกรีตเทียบเท่ามาตรฐาน ASTM C494 Type F ประเภทโพลีคาร์บอกซิเลต (Poly-carboxylate superplasticizer)

2.1.6 เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัด (Universal testing machine) ขนาด 1000 kN

2.2 การเตรียมตัวอย่างและสัดส่วนผสม

จากการทดสอบเบื้องต้นพบว่าเศษไม้อัดความหนาแน่นปานกลางที่ได้จากวัสดุเหลือทิ้งทางอุตสาหกรรมนั้นมีการดูดซึมน้ำที่สูง ทำให้ไม่สามารถนำมาใช้เป็นมวลรวมในการผสมคอนกรีตได้โดยตรง เนื่องจากการดูดซึมน้ำที่สูงนี้ทำให้ลดความสามารถในการทำงานของคอนกรีต จนไม่สามารถใช้งานได้ จึงจำเป็นต้องปรับปรุงคุณสมบัติของเศษไม้อัดดังกล่าว ให้มีการดูดซึมน้ำที่ต่ำลงจนสามารถนำไปใช้เป็นมวลรวมผสมคอนกรีตได้

2.2.1 การปรับปรุงคุณสมบัติของ MDF

จากที่ทราบว่า MDF มีการดูดซึมน้ำที่สูง จึงจำเป็นต้องปรับปรุงคุณสมบัติดังกล่าว ในการศึกษานี้ได้ทำการปรับปรุง 2 วิธี คือ

1) การดูดซึมน้ำปูนซีเมนต์ (MDFC) เป็นการนำเศษ MDF มาดูดซึมด้วยน้ำปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.67 แล้วพักไว้ 2 ชั่วโมง จากนั้นนำขึ้นมาพักไว้ให้แข็งตัวเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำไปใช้เป็นมวลรวมต่อไป

2) การดูดซึมพาราฟินแว็กซ์ (MDFP) เป็นการนำเศษมาดูดซึมพาราฟินแว็กซ์ที่ทำการละลายที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จนอยู่ในสถานะของเหลว แล้วนำเศษ MDF มาทำการดูดซึมเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นพักให้เย็นตัวลงที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำไปใช้เป็นมวลรวมต่อไป

2.2.2 การเตรียมตัวอย่างคอนกรีต

หลังการปรับปรุงคุณสมบัติของ MDF แล้ว จึงนำมวลรวมที่ได้ไปทำการผสมกับมอร์ต้า ในอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (w/c) เท่ากับ 0.4 อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อมวลรวมละเอียด เท่ากับ 1:2 ปริมาณ MDFC แล MDFW เท่ากับ 10%, 20% และ 30% โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ และสารลดน้ำปริมาณ 1% โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ ซึ่งสัดส่วนผสมแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สัดส่วนผสมคอนกรีต

ชื่อ	ปริมาณ (kg/m^3)					
	C	FA	W	SP	MDFC	MDFP
Control	780	1560	312	7.8	-	-
10MDFC					78	-
20MDFC					156	-
30MDFC					234	-
10MDFP					-	78
20MDFP					-	156
30MDFP					-	234

*หมายเหตุ; C = ปูนซีเมนต์, FA = มวลรวมละเอียด (ทราย), W = น้ำ, SP = สารลดน้ำพิเศษ

วิธีการผสมเริ่มต้นด้วยการผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ทราย และ MDF หลังการปรับปรุงแล้ว ให้เข้ากันเป็นเวลา 1-2 นาที จากนั้นเติมน้ำและสารลดน้ำลงไปผสมให้เข้ากันโดยการใช้เครื่องผสมเป็นเวลา 2-3 นาที จนเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำคอนกรีตบรรจุลงในแบบหล่อรูปทรงกระบอกมีขนาด 10 x 20 เซนติเมตร โดยการเก็บตัวอย่างเป็นไปตามมาตรฐานอเมริกา ASTM C 39 [7] จำนวนตัวอย่างทั้งหมดสัดส่วนละ 3 ตัวอย่าง หลังผ่านไป 24 ชั่วโมง ทำการถอดแบบและทำการบ่มด้วยการหุ้มด้วยพลาสติกและเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 28 วัน จากนั้นจึงนำไปทำการทดสอบต่อไป

2.3 การทดสอบและการวิเคราะห์ผล

2.3.1 คุณสมบัติของ MDF ก่อนและหลังการปรับปรุง

เศษไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง (MDF) จะถูกนำมาวิเคราะห์หาร้อยละการดูดซึมน้ำตามมาตรฐาน ASTM C 128 [8] โดยการนำ MDF มาดูดซึมน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จนอิ่มตัว จากนั้นอบให้แห้งที่อุณหภูมิประมาณ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาคำนวณหาร้อยละการดูดซึมน้ำดังสมการที่ (1)

$$\text{Water absorption (\%)} = \frac{W_s - W_d}{W_d} \times 100\% \qquad (1)$$

เมื่อ W_s คือน้ำหนักของ MDF หลังการดูดซึมจนอิ่มตัว, W_d คือน้ำหนักของ MDF หลังอบแห้ง

2.3.2 คุณสมบัติของคอนกรีตผสม MDF หลังการปรับปรุง

ภายหลังปรับปรุงคุณสมบัติ MDF จะถูกนำมาผสมกับมอร์ต้า และทำการทดสอบความสามารถในการผสม โดยวิธีการสังเกต จากนั้นจึงนำตัวอย่างที่ได้มาหาความหนาแน่น (Density) และกำลังรับแรงอัด (Compressive strength)

การทดสอบความหนาแน่นทำได้ โดยการนำเอาตัวอย่างหลังการบ่มครบ 24 วัน มาทำการชั่งน้ำหนักและวัดขนาด และคำนวณเป็นความหนาแน่นดังสมการที่ (2)

$$\text{Density (kg/m}^3\text{)} = \frac{M}{V} \qquad (2)$$

เมื่อ M คือน้ำหนักของตัวอย่างคอนกรีต (kg) และ V คือปริมาณของตัวอย่าง (m)

การทดสอบกำลังอัดเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C39 [7] โดยจะนำตัวอย่างคอนกรีตที่อายุ 28 วัน มาทำการกดทดสอบด้วยเครื่อง UTM ซึ่งการทดสอบนี้จะต้องควบคุมน้ำหนักที่กดให้อัตราส่ำเสมอเท่ากับ 0.25 ± 0.05 MPa/s กดก้อนตัวอย่างจนตัวอย่างเกิดการวิบัติ จากนั้นบันทึกลักษณะการวิบัติดังรูปที่ 3 และค่าแรงอัดสูงสุดที่ได้ แล้วนำมาคำนวณเป็นกำลังรับแรงอัดสมการที่ (3)



รูปที่ 3 การทดสอบกำลังอัด

$$\sigma = \frac{P}{A} \qquad (3)$$

เมื่อ σ คือ กำลังรับแรงอัด (MPa), P คือ แรงอัด (N) และ A คือ พื้นที่รับแรงอัด (mm^2)

3. ผลการทดสอบ

3.1 คุณสมบัติของ MDF

3.1.1 คุณสมบัติของ MDF ก่อนการปรับปรุง

จากการศึกษาพบว่า MDF ก่อนการปรับปรุงมีการดูดซึมน้ำที่มากถึงร้อยละ 245 มีหน่วยน้ำหนักที่สถานะแห้งและอิ่มตัวผิวแห้งเท่ากับ 420.50 kg/m^3 และ 1030.09 kg/m^3 ตามลำดับ ซึ่งจากการทดลองพบว่าการใช้ MDF ที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงไม่สามารถนำมาผสมกับมอร์ต้าได้ เนื่องจาก MDF มีการดูดซึมน้ำจำนวนมากทำให้มอร์ต้าไม่ก่อตัว ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงคุณสมบัติของ MDF ก่อนนำมาผสมกับมอร์ต้า

3.1.2 คุณสมบัติของ MDF หลังการปรับปรุง

หลังการปรับปรุงคุณสมบัติของ MDF ด้วยการนำไปดูดซึมน้ำปูนซีเมนต์ (MDFC) และพาราฟินแว๊กซ์ (MDFP) พบว่าร้อยละการดูดซึมน้ำลดลงดังตารางที่ 3 และ 4 โดยการนำไปดูดซึมพาราฟินแว๊กซ์สามารถลดการดูดซึมน้ำของ MDF ได้ถึงร้อยละ 230 และการดูดซึมน้ำปูนซีเมนต์สามารถลดการดูดซึมน้ำได้ร้อยละ 185

ตารางที่ 3 คุณสมบัติของ MDFC

MDFC	
ลักษณะทางกายภาพ	มีลักษณะจับตัวกันเป็นก้อนกลมแข็ง มีขนาดเล็กใหญ่คละกัน ผิวมีความขรุขระ เนื่องจากการจับตัวด้วยปูนซีเมนต์ มีสีออกน้ำตาลอ่อนและสีของปูนซีเมนต์ผสมรวมกัน
ร้อยละการดูดซึมน้ำ	60
หน่วยน้ำหนักที่สถานะแห้ง	468.71 kg/m^3
หน่วยน้ำหนักที่สถานะอิ่มตัวผิวแห้ง	907.05 kg/m^3

ตารางที่ 4 คุณสมบัติของ MDFP

MDFC	
	
ลักษณะทางกายภาพ	มีลักษณะจับตัวกันเป็นก้อน ขนาดค่อนข้างใหญ่ ผิวมันวาวจากการเคลือบด้วยพาราฟินแว๊กซ์ มีสีน้ำตาลเข้ม
ร้อยละการดูดซึมน้ำ	15
หน่วยน้ำหนักที่สถานะแห้ง	492.23 kg/m^3
หน่วยน้ำหนักที่สถานะอิ่มตัวผิวแห้ง	627.18 kg/m^3

จากการปรับปรุงคุณสมบัติของ MDF ด้วยการดูดซึมน้ำปูนซีเมนต์และดูดซึมด้วยพาราฟิน ทำให้การดูดซึมน้ำของ MDF ลดลงอย่างมาก จากนั้นจึงทำการทดลองใช้เป็นมวลรวมในการผสมกับมอร์ต้า

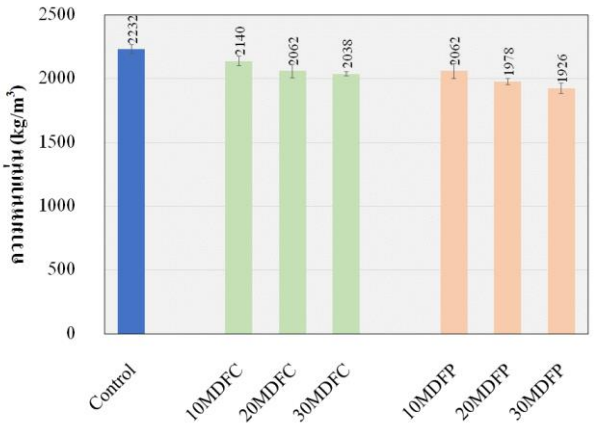
3.2 คุณสมบัติของ MDF คอนกรีต

จากการทดลองนำเอา MDF หลังการปรับปรุง ใช้เป็นมวลเรวมโดยผสมกับมอร์ต้า พบว่า มวลรวม MDF ภายหลังการปรับปรุงสามารถผสมเข้ากับมอร์ต้า และยังคงคุณสมบัติในการทำงานได้

3.2.1 ความหนาแน่นของ MDF คอนกรีต

ความหนาแน่นของ MDF คอนกรีต พบว่าความหนาแน่นของ MDF คอนกรีตต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม เนื่องจาก MDF หลังการปรับปรุงแล้วมีหน่วยน้ำหนักต่ำกว่ามวลรวม (ทราย) ในตัวอย่างควบคุม อีกทั้งความหนาแน่นของ MDF คอนกรีตยังมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณมวลรวม MDF ดังรูปที่ 4 เนื่องจากเมื่อใส่มวลรวม MDF ในปริมาณมากขึ้นจะเข้าไปแทนที่มวลรวมละเอียด (ทราย) ตัวอย่างควบคุม จึงทำให้หน่วยน้ำหนักลดลง

เมื่อพิจารณาระหว่างตัวอย่างมอร์ต้าผสม MDFC และ MDFP พบว่า มอร์ต้าที่ผสม MDFC มีความหนาแน่นสูงกว่ามอร์ต้าที่ผสม MDFW เนื่องจาก มวลรวม MDFC มีหน่วยน้ำหนักที่สถานะอิ่มตัวผิวแห้งสูงกว่า MDFP

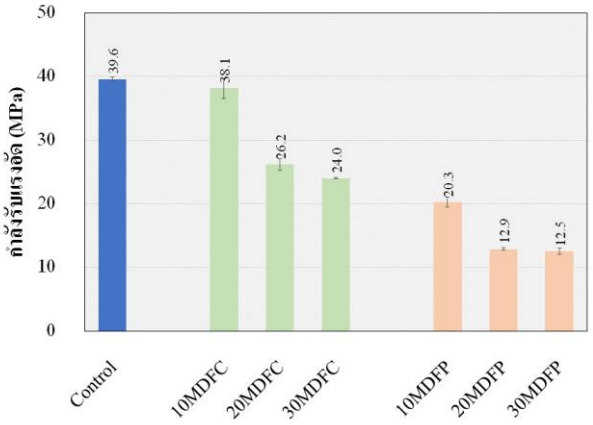


รูปที่ 4 ความหนาแน่น

3.3 กำลังรับแรงอัดของ MDF คอนกรีต

จากการทดสอบกำลังรับแรงอัด ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า กำลังรับแรงอัดของ MDF คอนกรีตต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม เนื่องจาก MDF ที่เข้าไปแทนที่ในมวลรวมละเอียดของมอร์ต้าควบคุม มีกำลังหรือมีความแข็งแรงต่ำกว่ามวลรวมละเอียด [9] ดังรูปที่ 5

กำลังรับแรงอัดมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณ MDF ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการแทนที่ของมวลรวมละเอียดด้วย MDF โดยมวลรวม MDFC มีความสามารถในการรับกำลังอัดสูงกว่า MDFP ทั้งนี้เป็นเพราะการปรับปรุงคุณสมบัติด้วยน้ำปูนซีเมนต์ทำให้ MDF มีการพัฒนากำลังเนื่องจากกำลังของปูนซีเมนต์ อีกทั้ง ในกรณีของ MDFP มีการเคลือบผิวของมวลรวม MDF ด้วยพาราฟินแว็กซ์ ซึ่งมีลักษณะผิวมันเงา และมีการดูดซึมน้ำที่ต่ำ จึงทำให้สูญเสียแรงยึดเหนี่ยวระหว่างมวลรวมกับเพลส์เมื่อนำไปผสมกับมอร์ต้า [10]



รูปที่ 5 กำลังรับแรงอัด

4. สรุปผลการทดสอบ

จากการศึกษาเศษไม้ความหนาแน่นปานกลางหรือ MDF นั้นมีการดูดซึมน้ำมากถึงร้อยละ 245 จึงทำการปรับปรุงคณสมบัติ 2 วิธี ได้แก่ การนำไปดูดซึมน้ำปูนซีเมนต์ (MDFC) และการนำไปดูดซึมพาราฟินแว็กซ์ (MDFP) เมื่อทำการปรับปรุงแล้วพบว่าร้อยละการดูดซึม

น้ำลดลง โดย MDFC มีการดูดซึมน้ำร้อยละ 60 และ MDFP มีการดูดซึมน้ำร้อยละ 15 จากนั้นภายหลังการปรับปรุงจึงได้นำไปผสมกับมอร์ต้าเพื่อใช้เป็นมวลรวมทดแทนในการผสมคอนกรีต และทำการทดสอบคุณสมบัติกำลังรับอัด ผลการทดสอบพบว่า มวลรวมที่ภายหลังการปรับปรุงสามารถใช้ผสมกับมอร์ต้าได้ โดยยังคงความสามารถในการทำงานได้ เมื่อพิจารณาคุณสมบัติด้านความหนาแน่นของ MDF คอนกรีตพบว่าคอนกรีตที่ผสม MDFP และ MDFC มีความหนาแน่นต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม ตามลำดับ อีกทั้งความหนาแน่นยังมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณ MDF อีกด้วย ในด้านของกำลังรับแรงอัด พบว่า MDF คอนกรีตมีความสามารถในการรับกำลังอัดลดลงตามปริมาณ MDF ที่เพิ่มขึ้นและมีกำลังต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม เนื่องจากการแทนที่มวลรวม (ทราย) ด้วย MDF ที่มีกำลังต่ำ โดย MDFC มีกำลังรับแรงอัดสูงกว่า MDFP ในทุดสัดส่วนผสม เนื่องจาก MDFP มีผิวที่มันวาว ลดแรงยึดเกาะระหว่างผิวของมวลรวมกับเพลส์

ดังนั้นการศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ของการนำเอาเศษไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง (MDF) ที่เหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมก่อสร้าง มาผสมกับมอร์ต้าเพื่อใช้ทดแทนมวลรวม แต่จำเป็นต้องปรับปรุงคุณสมบัติของ MDF ก่อนนำไปใช้ แต่อย่างไรก็ตามการนำ MDF มาเป็นมวลรวมภายหลังการปรับปรุง ยังคงพบว่าคอนกรีตผสม MDF มีความหนาแน่นและกำลังลดลง เหมาะสำหรับการทำเป็นโครงสร้างเบาที่ไม่ได้รับแรง เช่น ผนัง หรือ ดาดฟ้า

5. กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับการสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครสำหรับการสนับสนุนสถานที่และเครื่องมืออุปกรณ์ในการเตรียมตัวอย่างและการทดสอบในการศึกษานี้ อีกทั้งขอขอบคุณนักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ที่ช่วยเหลือในการเตรียมตัวอย่างทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

[1] Cousins, S. (2022, February 2). How can construction overcome its dependence on plastic? Retrieved from RICS: https://ww3.rics.org/uk/en/modus/natural-environment/renewables/how-can-construction-overcome-its-dependence-on-plastic-.html

[2] Kazmi, S. M., Munir, M. J., & Wu, Y.-F. (2022). Recycled aggregate concrete: mechanical and durability performance. In I. W. Engineering, Handbook of Sustainable Concrete and Industrial Waste Management (pp. 211-227). Woodhead Publishing. doi:https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821730-6.00017-6

[3] Zhang, L., Shen, H., Xu, K., Huang, W., Wang, Y., Chen, M., & Han, B. (2023). Effect of ceramic waste tile as a fine aggregate on the mechanical properties of low-carbon ultrahigh performance concrete. Construction and Building Materials, 370.

[4] Salgado, F. d., & Silva, F. d. (2022). Recycled aggregates from construction and demolition waste towards an application on structural concrete: A review. Journal of Building Engineering, 52

[5] López-Uceda, A., Ayuso, J., Jiménez, J. R., Agrela, F., Barbudo, A., & 2ORCID, J. D. (2016). Upscaling the Use of Mixed Recycled Aggregates in Non-Structural Low Cement Concrete. Materials, 9(2), 91.

[6] Xiao, J., Cheng, Z., Zhou, Z., & Chunhui Wang. (2022). Structural engineering applications of recycled aggregate concrete: Seismic performance, guidelines, projects and demonstrations. Case Studies in Construction Materials, 17. doi:https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01520

[7] ASTM C39/C39M-21. (2021). “Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens”. American Society for Testing and Materials.

[8] ASTM C128-22. (2023). “Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorpt (Kazmi, Munir, & Wu, 2022)ion of Fine Aggregate”. American Society for Testing and Materials.

[9] Małaszkiewicz, D., & Sztukowska, M. (2018). Utilization of wastes from medium density fiberboards production as an aggregate for lightweight cement composite. ECCE 2018. MATEC Web of Conferences 174. doi:https://doi.org/10.1051/matecconf/201817402005

[10] Pongsopha, P., Sukontasukkul, P., Zhang, H., & Limkatanyu, S. (2022). Thermal and acoustic properties of sustainable structural lightweight aggregate rubberized concrete. Results in Engineering, 13. doi:https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100333

	**ดร. บูชิต มาโห้** อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร งานวิจัย : วัสดุวิศวกรรมโยธา และวิศวกรรมโครงสร้าง
	**ดร. ภัทรชัย พงศ์โสภา** อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร งานวิจัย : วัสดุวิศวกรรมโยธา และวิศวกรรมโครงสร้าง
	**ธนภัทร น้ำจันทร์** อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร งานวิจัย : วัสดุวิศวกรรมโยธา และวิศวกรรมการจัดการงานก่อสร้าง

	**ผศ. ดร. กฤษดา เสือเอี่ยม** อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร งานวิจัย : วัสดุวิศวกรรมโยธา และวิศวกรรมขนส่ง
	**ณัชพงศ์พล คงชะสิงห์** อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร งานวิจัย : วัสดุวิศวกรรมโยธา และวิศวกรรมขนส่ง
	**ดร. ขวัญชนก อุนทะอ่อน** หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร งานวิจัย : วัสดุวิศวกรรมโยธา และวิศวกรรมชลศาสตร์
	**ผศ. จักรพันธ์ แสงสุวรรณ** ผู้ช่วยอธิการบดีฝ่ายกายภาพและสิ่งแวดล้อม อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร งานวิจัย : วัสดุวิศวกรรมโยธา และวิศวกรรมโครงสร้าง

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

การศึกษาคุณสมบัติด้านอุณหภูมิของมอร์ต้าผสมเม็ดโฟม

Study on Thermal Properties of Mortar Mixed with EPS Foam

ภัทรชัย พงศ์โสภา[1*] บูชิต มาโห้[1] ธนพัฒน์ น้ำจันทร์[1] กฤษดา เสือเอี่ยม[1]
ขวัญชนก อุนทะอ่อน[1] จักรพันธ์ แสงสุวรรณ[1] และณัชพงศ์พล คงชะสิงห์[1]

[1]สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพฯ

1381 ถ. พิบูลสงคราม แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

Email: phattharachai.p@rmutp.ac.th*, buchit.m@rmutp.ac.th, tanapat.n@rmutp.ac.th, gritsada.s@rmutp.ac.th, kwanchanok.o@rmutp.ac.th, chakkarphan.s@rmutp.ac.th, nutchapongpol.k@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติด้านอุณหภูมิของมอร์ต้าผสมเม็ดโฟ โดยเม็ดโฟมที่ใช้เป็นประเภท EPS Foam ขนาด 3-5 มิลลิเมตร ซึ่งมีน้ำหนักเบาและมีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนกันความร้อน โดย กำหนดอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อมวลรวมละเอียดเท่ากับ 1 ต่อ 2.75 และแทนที่มวลรวมละเอียด (ทราย) ด้วยเม็ดโฟม 10 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติเชิงกล และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของมอร์ต้าผสมเม็ดโฟม ผลการทดสอบพบว่า เมื่อแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเม็ดโฟมปริมาณที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าหน่วยน้ำหนัก ค่ากำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดัดมีแนวโน้มลดลง ในส่วนของค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนพบว่ามีค่าลดลงตามปริมาณการแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเม็ดโฟมที่เพิ่มขึ้นซึ่งแสดงให้เห็นว่าเม็ดโฟมช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเป็นฉนวนความร้อน

คำสำคัญ : มอร์ต้า; เม็ดโฟม; ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

Abstract

This article studies the temperature properties of mortar mixed with foam particles. The foam particles used are EPS foam of 3-5 millimeters, which is lightweight and has insulation properties. The cement-to-aggregate ratio is set at 1:2.75, and the sand aggregate is replaced with foam particles at percentages ranging from 10 to 50 percent by volume. The study aims to investigate the physical properties, mechanical properties, and thermal conductivity of the mortar mixed with foam particles. The testing results show that increasing the volume of foam particles used as a replacement for sand aggregate leads to a decrease in the unit weight, compressive strength, and flexural strength of the mortar. However, in terms of thermal conductivity, the results show that the thermal conductivity decreases as the volume of foam particles used as a replacement for sand aggregate increases. This indicates that foam particles can improve the insulation properties of the mortar.

Keywords: Mortar; EPS Foam; Thermal conductivity

1. บทนำ

ในปัจจุบันอาคาร ที่พักอาศัยมีการเติบโตค่อนข้างสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเมืองหลวงที่มีการก่อสร้างเป็นจำนวนมาก ไม่ว่าจะเป็นอาคาร สำหนักงาน คอนโดมิเนียม เป็นต้น ทำให้การออกแบบจึงเน้นประโยชน์ใช้สอยของพื้นที่ที่มีอย่างจำกัดให้คุ้มค่ามากที่สุด โดยมีการแบ่งพื้นเป็นหลายส่วนเพื่อใช้ในการทำกิจกรรมร่วมกันของผู้คนเป็นจำนวนมาก ทำให้มีการใช้พลังงานภายในอาคารค่อนข้างสูง โดยเฉพาะระบบปรับอากาศ ซึ่งประเทศไทยเป็นประเทศที่มีสภาพอากาศร้อนมีอุณหภูมิค่อนข้างสูงตลอดทั้งปี [1],[2] ในการเลือกวัสดุที่นำมาผลิตเป็นผนังนั้นควรเลือกที่มีคุณสมบัติความเป็นฉนวนกันความร้อน จึงให้ความสำคัญในการออกแบบผนังของอาคาร ซึ่งปัจจุบันผนังอาคารทั่วไปส่วนใหญ่เป็นผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่มีน้ำหนักมากและมีข้อจำกัดของคุณสมบัติด้านการเป็นฉนวนความร้อน และวัสดุที่นิยมนำประยุกต์ใช้การผลิตผนังอาคาร ที่มีน้ำหนักที่เบาและมีความเป็นฉนวน ได้แก่ เม็ดโฟม เม็ดยาง เศษอิฐมวลเบา เป็นต้น

เม็ดโฟม EPS (Expanded Polystyrene) [3]-[5] เป็นวัสดุพลอยประกอบด้วยพอลิสไตรีน มีลักษณะเป็นเม็ดขนาดเล็ก มีน้ำหนักเบา และมีความแข็งแรงและต้านทานการกัดกร่อน ใช้ในงานก่อสร้างเป็นวัสดุฉนวนความร้อนและเสียง ในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ เช่น กล่องพัสดุ และสำหรับการจัดแต่ง โดยมักใช้ในรูปแบบแผ่นหรือพัสดุเม็ดเล็ก ส่วนใหญ่ใช้งานโดยการเติมกำลังในกล่องบรรจุภัณฑ์เพื่อป้องกันการสะเก็ดหรือการชนที่อาจทำให้สินค้าเสียหาย หรือใช้เป็นวัสดุฉนวนและเสียงในอุตสาหกรรมสถาปัตยกรรม และอุตสาหกรรมโลจิสติกส์ โดยมีชื่อเรียกอื่นๆ เช่น โฟมพลัส, Styrofoam, หรือ Foam Board เป็นต้น ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาการศึกษาเกี่ยวกับการนำเม็ดโฟม EPS ผสมร่วมกับคอนกรีตหรือมอร์ต้านั้น [6] ส่งผลให้คอนกรีตมีความหนาแน่นลดลง และมีคุณสมบัติด้านการเป็นฉนวนด้านอุณหภูมิที่ดี [7]

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเล็งเห็นคุณสมบัติเฉพาะของเม็ดโฟม EPS ที่น้ำหนักเบาและมีความเป็นฉนวนด้านอุณหภูมิ โดยนำเม็ดโฟม EPS มาผสมร่วมกับมอร์ต้า เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติเชิงกลอีกทั้งปรับปรุงคุณสมบัติด้านอุณหูมิของมอร์ต้า

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 วัสดุ

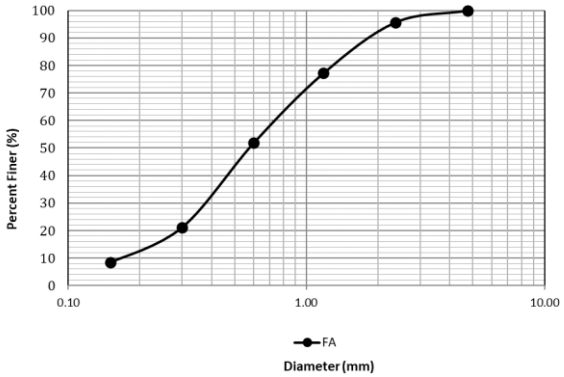
- ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 มีค่าความถ่วงจำเพาะ 3.15 ตามมาตรฐาน ASTM C150 [8]

- เม็ดโฟม (F) มีขนาดเล็กกว่า 3-5 มิลลิเมตร เป็นวัสดุพลอยประกอบด้วยพอลิสไตรีน มีลักษณะเป็นเม็ดขนาดเล็ก มีน้ำหนักเบา และมีความแข็งแรงและต้านทานการกัดกร่อน ใช้ในงานก่อสร้างเป็นวัสดุฉนวนความร้อนและเสียง โดยแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 เม็ดโฟม

- มวลรวมละเอียด (FA) ที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 8 มีค่าความถ่วงจำเพาะอิ่มตัวผิวแห้ง 2.52, เปอร์เซ็นต์ดูดซึมน้ำ 1.61% และโมดูลัสความละเอียด 2.45 โดยแสดงการกระจายตัวของมวลรวมละเอียดดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การกระจายตัวของมวลรวมละเอียด

- น้ำสะอาด

- สารเคมีผสมเพิ่ม ชนิดสารลดน้ำปริมาณสูง Type F ตามมาตรฐาน ASTM C494 [9]

2.2 สัดส่วนผสมและการเตรียมตัวอย่างทดสอบ

2.2.1 กำหนดสัดส่วนปูนซีเมนต์ต่อมวลรวมละเอียดเท่ากับ 1 ต่อ 2.75 และปริมาณสารเคมีผสมเพิ่ม ชนิดสารลดน้ำปริมาณสูงคงที่ 1% ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ โดยแปรผันอัตราส่วนการแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเม็ดโฟม 10-50% โดยปริมาตร ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สัดส่วนผสมมอร์ต้า

Mix Proportion Mortar (kg/m^3)					
Name	**Cement**	**Water**	**Sand**	**Foam**	**SF**
M0F/100FA	615	215	14745	0.0	6.15
M10F/90FA	615	215	1327.3	0.9	6.15
M20F/80FA	615	215	1179.8	1.9	6.15
M30F/70FA	615	215	1032.3	2.8	6.15
M40F/60FA	615	215	884.9	3.7	6.15
M50F/50FA	615	215	737.4	4.7	6.15

โดยที่ MaF/bFA

M = มอร์ต้า

FA = มวลรวมละเอียด

a = เปอร์เซ็นต์ปริมาณเม็ดโฟม โดยปริมาตร

b = เปอร์เซ็นต์ปริมาณมวลรวมละเอียด โดยปริมาตร

SF=สารลดน้ำปริมาณสูง

2.2.2 เตรียมสัดส่วนผสมมอร์ต้าผสมเม็ดโฟม ดังตารางที่ 1 นำไปผสมในเครื่องโม่แบบ Pan Mixer โดยใช้เวลาผสมให้ส่วนผสมทั้งหมดเข้ากัน 2–5 นาที จากนั้นนำมอร์ต้าสดทดสอบหาค่าหน่วยน้ำหนักก่อนเข้าแบบหล่อ โดยการทดสอบกำลังรับแรงอัด ใช้แบบหล่อรูปทรงลูกบาศก์ ขนาด 50x50x50 มิลลิเมตร การทดสอบกำลังรับแรงดัด ใช้แบบหล่อรูปทรงคานขนาด 40x40x160 มิลลิเมตรและการทดสอบการให้ความร้อนซ้ำและการทดสอบด้านอุณหภูมิ แบบหล่อขนาด 200x200x50 มิลลิเมตร โดยหลังจากเทคอนกรีตเข้าแบบแล้ว ทำการตำด้วยเหล็กกระทุ้งจำนวน 25 ครั้ง จากนั้นนำไปทำการสั่นบนโต๊ะ (Vibrating Table) เป็นเวลา 1 นาที เพื่อไล่ฟองอากาศให้เหลือน้อยสุด แล้วทำการหุ้มตัวอย่างทดสอบด้วยแผ่นพลาสติกใสทั้งแบบหล่อ เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จากนั้นแกะตัวอย่างทดสอบออกจากแบบหล่อ แล้วทำการหุ้มแผ่นพลาสติกใสทั้งตัวอย่าง จากนั้นทำการบ่มตัวอย่างทดสอบที่อุณหภูมิห้อง (27–32 องศาเซลเซียส) จนอายุครบ 28 วันและทดสอบคุณสมบัติเชิงกลและคุณสมบัติความร้อนต่อไป

2.3 การทดสอบ

• การทดสอบหาค่าหน่วยน้ำหนัก ตามมาตรฐาน ASTM C ASTM C138 [10]

• การทดสอบกำลังรับแรงอัด ตามมาตรฐาน ASTM C109 [11] ที่อายุตัวอย่างทดสอบ 28 วัน

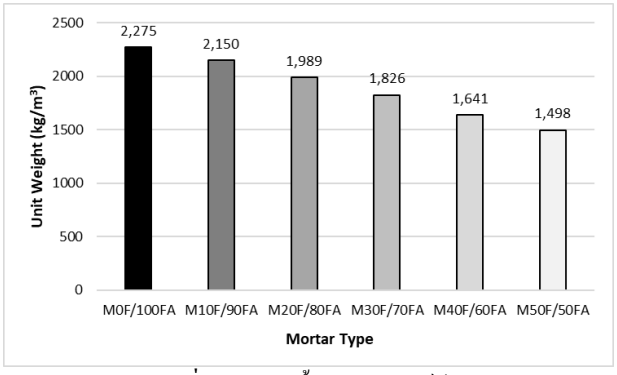
• การทดสอบกำลังรับแรงดัด ตามมาตรฐาน ASTM C348 [12] ที่อายุตัวอย่างทดสอบ 28 วัน

• การทดสอบการหาสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ตามมาตรฐาน ASTM C518 [13] ที่อายุตัวอย่างทดสอบ 28 วัน

3. ผลการทดสอบ

3.1 ค่าหน่วยน้ำหนัก

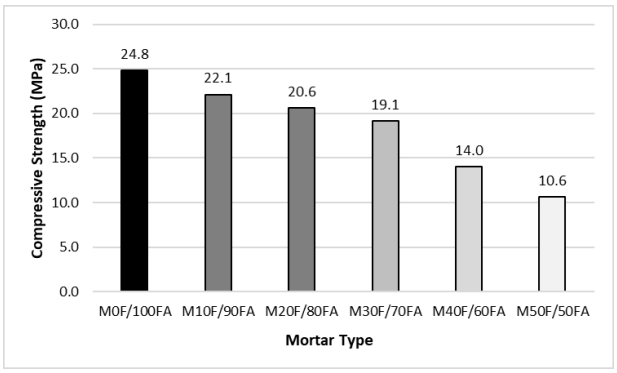
จากรูปที่ 3 ผลการทดสอบพบว่าค่าหน่วยน้ำหนักจะลดลงตามปริมาณเม็ดโฟมที่เพิ่มขึ้น โดยค่าหน่วยน้ำหนักของ M0F/100FA มีค่า 2,275 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และเมื่อแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเม็ดโฟม 50% โดยปริมาตร ส่งผลให้ค่าหน่วยน้ำหนักลดลงเหลือประมาณ 1,498 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เนื่องจากความถ่วงจำเพาะของเม็ดโฟมเบากว่ามวลรวมละเอียดมาก เมื่อแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนด้วยมวลรวมที่เบากว่าส่งผลให้ค่าหน่วยน้ำหนักลดลง [14],[15]



รูปที่ 3 ค่าหน่วยน้ำหนักของมอร์ต้า

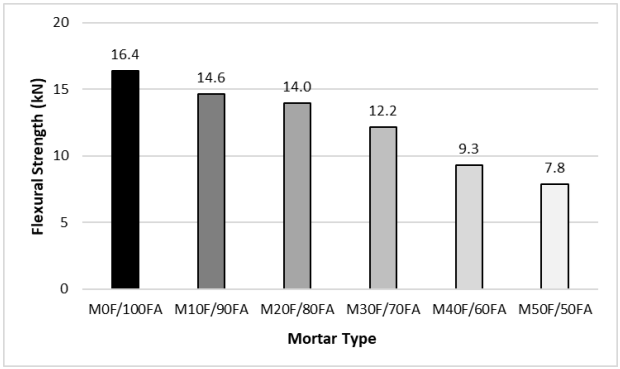
3.2 กำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดัด

ผลการทดสอบพบว่า M0F/100FA มีค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ยประมาณ 24.8 เมกะปาสคาล และเมื่อแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเม็ดโฟมเพิ่มขึ้น 10-50% โดยปริมาตร ส่งผลให้ค่ากำลังรับแรงอัดลดลง โดยกำลังรับแรงอัดต่ำสุดเท่ากับ 10.6 เมกะปาสคาล (M50F/50FA) เนื่องจากคุณสมบัติของเม็ดโฟมมีกำลังต่ำกว่ามวลรวมละเอียด การแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเม็ดโฟมจึงส่งผลให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมีแนวโน้มลดลง [16]-[18] ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 กำลังรับแรงอัดของมอร์ต้า

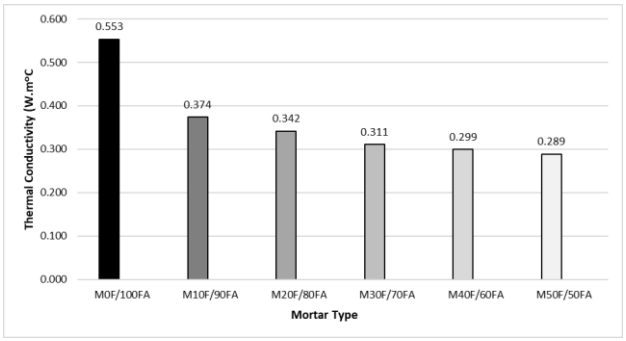
ในส่วนค่ากำลังรับแรงดัดมีแนวโน้มเช่นเดียวกับกำลังรับแรงอัด โดยกำลังรับแรงดัดลดลงตามปริมาณเม็ดโฟมที่เพิ่มขึ้น [19]-[21] ซึ่งลดลงจาก 16.5 กิโลนิวตัน (M0F/100FA) เป็น 7.8 กิโลนิวตัน (M50F/50FA) ดังแสดงรูปที่ 5



รูปที่ 5 กำลังรับแรงดัดของมอร์ต้า

3.4 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

ผลการทดสอบพบว่า เมื่อแทนที่เม็ดโฟมในปริมาณที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมีแนวโน้มลดลง โดยลดลงจาก 0.553 (M0F/100FA) เป็น 0.374 (M10F/90FA), 0.342(M20F/80FA), 0.311(M30F/70FA), 0.299 (M60F/40FA) และ 0.289 (M50F/50FA) W/m.°C ตามลำดับ การที่ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนลดลงนั้นอันเนื่องจากเม็ดโฟมมีค่าความร้อนจำเพาะของเม็ดโฟมสูงกว่าทราย [22],[23],[24] ซึ่งมีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของมอร์ต้า

4. สรุป

เมื่อแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเม็ดโฟมในปริมาณที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้หน่วยน้ำหนักของมอร์ต้าลดลง เนื่องจากความถ่วงจำเพาะของเม็ดโฟมเบากว่ามวลรวมละเอียดและยังส่งผลโดยตรงให้กำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดัดมีแนวโน้มลดลงอีกด้วย เนื่องมาจากคุณสมบัติของเม็ดโฟมที่มีกำลังต่ำกว่ามวลรวมละเอียด ในส่วนของค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนลดลงตามปริมาณการแทนที่เม็ดโฟมที่เพิ่มขึ้น กล่าวคือมอร์ต้าผสมเม็ดโฟมมีคุณสมบัติการเป็นฉนวนป้องกันความร้อนเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเม็ดโฟมเพิ่มขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร สำหรับการสนับสนุนสถานที่และเครื่องมือสำหรับการเตรียมตัวอย่างและการทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

[1] WMO, “Assessment of climate change for the southwest Asia region,” Geneva: World Meteorological Organization, 2014.

[2] กรมอุตุนิยมวิทยา, “สภาพอากาศประเทศไทย,” 2564. จากเว็บไซต์ :https://www.tmd.go.th/programs/upload /20180524111856.pdf

[3] Marek Bureš, Pavel Kovář̌ík, and Eva Vejmelková, “Expanded polystyrene (EPS) foam: From the past to the future,” *Journal of Building Engineering,* Vol. 34, 2021, 102409.

[4] Jinyan Shi, Baoju Liu, Zhihai He, Yuanchun Liu, Junyi Jiang, Tianyu Xiong, Jiawei Shi, “A green ultra-lightweight chemically foamed concrete for building exterior: A feasibility study,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 288, 2021.

[5] Lapyote Prasittisopin, Pipat Termkhajornkit, Young Hoon Kim, “Review of concrete with expanded polystyrene (EPS): Performance and environmental aspects,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 366, 2022.

[6] Adeala, Adeniran & SOYEM, Olugbenga, “Structural Use of Expanded Polystyrene Concrete,” *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, vol.5, 2020, pp.1131-1138.

[7] Ubi, S. , Ewa, D. , Bessong, A. and Nyah, E., “ Effects of Incorporating Expanded Polystyrene in Concrete Construction,” *Journal of Building Construction and Planning Research*, vol. 10, 2022, pp.79-101.

[8] Standard Specification for Portland Cement, ASTM C150-20, 2020.

[9] Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete, ASTM C494/C494M-19, 2019.

[10] Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete, ASTM C138-17, 2017.

[11] Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars, ASTM C109/C109M-20, 2020.

[12] Standard Test Method for Flexural Strength of Hydraulic-Cement Mortars, ASTM C348-21, 2021.

[13] Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus, ASTM C518-17, 2017.

[14] Tek Raj Gyawali, “Effect of the mixing procedure on the properties of lightweight EPS mortar,” *Journal of Building Engineering*, vol.68, 2023.

[15] Tacila B. Souza, Victor M.E. Lima, Fernanda W.C. Araújo, Leonardo F.R. Miranda, Antonio A. Melo Neto, “Alkali-activated slag cellular concrete with expanded polystyrene (EPS) – physical, mechanical, and mineralogical properties,” *Journal of Building Engineering*, vol. 44, 2021.

[16] B.R. Vinod, H.J. Surendra, R. Shobha, “Lightweight concrete blocks produced using expanded polystyrene and foaming agent,” *Materials Today: Proceedings*, vol.52, 2022, pp.1666-1670.

[17] Ning Liu, Bing Chen, “Experimental study of the influence of EPS particle size on the mechanical properties of EPS lightweight concrete,” *Construction and Building Materials*, vol. 68, 2014, pp.227-232.

[18] Mehdi Maghfouri, Vahid Alimohammadi, Rishi Gupta, Mohammad Saberian, Pejman Azarsa, Mohammad Hashemi, Iman Asadi, Rajeev Roychand, “Drying shrinkage properties of expanded polystyrene (EPS) lightweight aggregate concrete: A review,” *Case Studies in Construction Materials*, vol. 16, 2022.

[19] Congmi Cheng, Silei Hong, Yafang Zhang, Juan He, “Effect of expanded polystyrene on the flexural behavior of lightweight glass fiber reinforced cement,” *Construction and Building Materials*, vol. 265, 2020.

[20] J.L. Parracha, A. Rita Santos, R. Lazera, I. Flores-Colen, M. Glória Gomes, A. Moret Rodrigues, “Performance of lightweight thermal insulating mortars applied on brick substrate specimens and prototype wall,” *Construction and Building Materials*, vol.364, 2023.

[21] Sensen Li, He Wang, Huguang He, Yang Liu, Hualin Fan, “Experimental investigation of mechanical behaviors of EPS foamed concrete-filled pultruded GFRP sandwich panels,” *Polymer Testing*, vol.104, 2021.

[22] Ana Brás, Márcio Leal, Paulina Faria, “Cement-cork mortars for thermal bridges correction. Comparison with cement-EPS mortars performance,” *Construction and Building Materials*, vol. 49, 2013.

[23] M. Glória Gomes, Inês Flores-Colen, Humberto Melo, António Soares, "Physical performance of industrial and EPS and cork experimental thermal insulation renders," *Construction and Building Materials*, vol.198, 2019, pp. 786-795.

[24] Ali A. Sayadi, Juan V. Tapia, Thomas R. Neitzert, G. Charles Clifton, "Effects of expanded polystyrene (EPS) particles on fire resistance, thermal conductivity and compressive strength of foamed concrete," *Construction and Building Materials*, vol.112, 2016, pp.716-724.

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

ผลกระทบจากความเค็มของน้ำเกลือต่อคุณสมบัติทางกลศาสตร์ของคอนกรีต

Effects of Salinity of Salt Water on Mechanical Properties of Concrete

บุรินทร์ ทองเกลี้ยง*, เดโช เผือกภูมิ และ กิตติเทพ เฟื่องขจร

สาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมืองนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา 30000, E-mail: Burin1997th@gmail.com

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ เพื่อประเมินผลกระทบจากความเค็มของน้ำเกลือ (สารละลายโซเดียมคลอไรด์) และระยะเวลาในการสัมผัสกับน้ำเกลือต่อสมบัติทางวิศวกรรมของคอนกรีต ตัวอย่างคอนกรีตและมอร์ต้าร์ที่ผ่านการบ่มเป็นเวลา 28 วัน ถูกนำไปแช่ในน้ำเกลือที่มีระดับความเค็มเท่ากับ 0%, 25%, 50%, 75% และ 100% เป็นระยะเวลา 0, 1, 2, 3, และ 6 เดือน ตามลำดับ หลังจากนั้นจึงนำตัวอย่างคอนกรีตไปทดสอบเพื่อหากำลังอัดและวัดความสามารถในการดูดซับน้ำเกลือของตัวอย่างมอร์ต้าร์ ผลการทดสอบพบว่ากำลังอัดกำลังอัดของคอนกรีตมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น และผลกระทบดังกล่าวจะยิ่งรุนแรงขึ้นเมื่อตัวอย่างถูกแช่น้ำเกลือที่มีระดับความเค็มสูงขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าความสามารถในการดูดซับน้ำของตัวอย่างมอร์ต้าร์มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะและระดับความเค็มที่เพิ่มขึ้น ผลการทดสอบการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอ็กซ์ยังระบุว่าแร่ที่เป็นผลผลิตของปฏิกิริยาไฮเดรชันมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อตัวอย่างแช่ในน้ำเค็มนานขึ้น ซึ่งเหล่านี้สนับสนุนว่าตัวอย่างคอนกรีตเกิดการกัดกร่อนด้วยน้ำเค็มอย่างต่อเนื่องจนมีผลทำให้เกิดการเสื่อมสภาพในเชิงเวลา

คำสำคัญ : ความเค็ม; กำลังอัด; ความทนทานของคอนกรีต; การดูดซับน้ำ; การวิเคราะห์การเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอ็กซ์

Abstract

The purpose of this study is to assess the effects of salinity of saline water (NaCl solution) and duration of exposure to saline water on the engineering properties of concrete. Concrete and mortar samples cured for 28 days were immersed in saline water with different salinity levels of 0%, 25%, 50%, 75%, and 100% for 0, 1, 2, 3, and 6 months, respectively. Then, the concrete samples were tested to determine the compressive strength and the mortar samples were measured the ability to absorb saline water. The test results showed that the compressive strength of concrete continuously decreased with increasing time. This effect tends to be severe when the samples were immersed in saline water with higher salinity levels. It was also found that the water absorption of the mortar samples increased with increasing immersed time and salinity. The X-ray diffraction test also indicated that the minerals involved in the hydration reaction changed with prolonged immersion in saline water. These allow the concrete samples to undergo continuous

Keywords: Salinity; Compressive strength; Concrete durability; Water absorption; X-ray diffraction analysis.

1. บทนำ

คอนกรีตถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน เนื่องจากเป็นวัสดุที่เหมาะสมทั้งในด้านราคาและคุณสมบัติด้านกำลังอัดสูง คอนกรีตถูกนำมาใช้ในงานก่อสร้างหลายประเภท ทั้งอาคาร ถนน เขื่อน สะพาน อนุสาวรีย์ และงานก่อสร้างอื่น ๆ ที่สามารถพบเห็นได้ในงานก่อสร้างทั่วไป โครงสร้างคอนกรีตที่เสื่อมสภาพจะแสดงอาการดังต่อไปนี้ แตกร้าว สีซีด สึกกร่อน โก่งงอ และสึกกร่อน โดยที่ปัจจัยหลักที่มีผลต่อการเสื่อมสภาพของคอนกรีตที่พบบ่อยที่สุด คือ ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมที่นำไปสู่การสึกกร่อนของคอนกรีต [1] และอาจพบเห็นได้ชัดเจนกับโครงสร้างที่สัมผัสกับน้ำเค็มบริเวณชายทะเล Tiwari et al. [2] และ Islam et al. [3] ได้ระบุว่าความเค็มของน้ำทะเลทั่วโลกเฉลี่ยประมาณ 3.5% (35 g/L)

นอกจากสภาพความเค็มของน้ำทะเลแล้วนั้น ความเค็มของชั้นดินและน้ำผิวดินที่กระจายตัวในพื้นที่ภาคอีสานของประเทศไทย ซึ่งเป็นผลจากการที่ภาคอีสานมีชั้นเกลือและโดมเกลือ รวมถึงมีการทำนาเกลืออีกด้วย [4] ส่งผลให้พื้นที่ดังกล่าวมีน้ำเค็มจากสารละลายโซเดียมคลอไรด์ โดยที่ Lyman and Fleming [5] พบว่าเกลือส่วนใหญ่เป็นโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) โดยที่คลอไรด์ไอออนสามารถแพร่ซึมผ่านเนื้อคอนกรีตแล้วทำปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์ และมวลรวม Bassuoni and Rahman [6] อธิบายไว้ว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อความเสื่อมสภาพจากการตกผลึกของเกลือในวัสดุที่มีรูพรุน ได้แก่ ชนิดและความเข้มข้นของเกลือ การเปลี่ยนแปลงเฟสไฮเดรชันของเกลือ อัตราการระเหย แรงตึงผิว ความดันไอ สภาวะแวดล้อม และคุณสมบัติรูพรุน ปัจจัยเหล่านี้ก่อให้คอนกรีตที่ใช้ในการก่อสร้างเกิดการเสื่อมสภาพ โดยการเสื่อมสภาพอาจส่งผลต่องานคอนกรีตในระยะยาว [7]

ในการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ประเมินการเสื่อมสภาพของคอนกรีตอันเป็นผลมาจากความเค็มหรือสภาพความเป็นคลอไรด์ ซึ่งเป็นสาเหตุให้คุณสมบัติทางกายภาพและกลศาสตร์มีการเปลี่ยนแปลง และเป็นสาเหตุต่อเนื่องที่ทำให้โครงสร้างทางวิศวกรรมเกิดการวิบัติ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีศึกษาผลกระทบการเสื่อมสภาพของคอนกรีตจนทำให้คุณสมบัติทางกายภาพและทางกลศาสตร์ ได้แก่ กำลังอัดของคอนกรีต การดูดซับน้ำเกลือ ความเร็วคลื่น และการเปลี่ยนแร่องค์ประกอบ เมื่ออยู่ในสภาวะที่สัมผัสกับน้ำบาดาลเค็มแบบตลอดเวลา (เป็นสภาวะที่อยู่ใต้ระดับน้ำบาดาลเค็ม) การทดสอบได้มีการแปรผันความเข้มข้นน้ำเกลือตั้งแต่ 0% ถึง 100% โดยตัวอย่างจะถูกแช่ในน้ำเค็มเป็นเวลา 0 ถึง 6 เดือน ตามลำดับ ผลที่ได้จะนำมาสร้างสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อประเมินกำลังของกรีตที่สัมผัสกับน้ำใต้ดินที่มีความเค็มและเวลาที่แตกต่างกัน

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย

2.1 ตัวอย่างคอนกรีต มอร์ตาร์ และน้ำเกลือ

ตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอกที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 เซนติเมตรและยาว 30 เซนติเมตร ซึ่งผสมจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์สามัญ (ประเภทที่ 1) กับมวลรวมละเอียด มวลรวมหยาบ และน้ำ ตามลำดับ ซึ่งการจัดเตรียมตัวอย่างเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 15 เล่ม 1) โดยคิดเป็นอัตราส่วนซีเมนต์-มวลรวมละเอียด-มวลรวมหยาบ-น้ำ เท่ากับ 1:2:4:0.5 โดยน้ำหนัก โดยตัวอย่างเมื่อเทเข้าไปในแบบหล่อคอนกรีตจะถูกทิ้งไว้ให้ก่อตัวเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วทำการแกะแบบและนำตัวอย่างไปบ่มในน้ำจืดระยะเวลา 28 วัน

ตัวอย่างมอร์ตาร์มีรูปทรงสี่เหลี่ยมขนาด 5×5×5 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยทำการผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์สามัญ (แบบที่ 1) กับมวลรวมที่ละเอียด (ทราย) และน้ำ โดยคิดเป็นอัตราส่วนซีเมนต์-ทราย-น้ำ เท่ากับ 1:2.75:0.5 ตัวอย่างในกลุ่มนี้เมื่อหล่อในแบบแล้ว ทำการเกาะออกจากแบบหลังจาก 24 ชั่วโมง และบ่มเป็นระยะเวลา 28 วัน เช่นเดียวกับตัวอย่างคอนกรีต

น้ำเกลือที่ใช้ในการทดสอบได้จากการนำเกลือสินเธาว์ที่ผลิตได้ในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา ละลายในน้ำจืดให้มีความเข้มข้นหลายระดับ ได้แก่ 0% (น้ำจืด), 25%, 50%, 75% และ 100% (น้ำเกลือเข้มข้น) ในสัดส่วนของเกลือสินเธาว์ 0.00, 89.75, 179.50, 269.25 และ 359.00 กรัม/ลิตร ตามลำดับ ระหว่างการทดสอบ ระดับความเค็มของน้ำเกลือได้มีการตรวจวัดโดยใช้เครื่องวัดความเค็ม (Salinity Refractometer) อย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะดำเนินการทุก 1 สัปดาห์

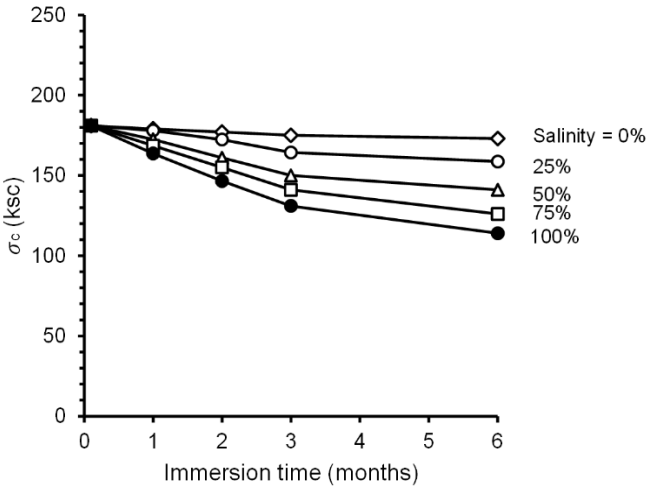
2.4 เครื่องมือและวิธีการทดสอบ

ตัวอย่างคอนกรีตและมอร์ตาร์ที่ผ่านการบ่มในน้ำจืดเป็นเวลา 28 วัน เพื่อสอดคล้องกับสภาพแวดล้อมหลังการก่อสร้างที่ต้องบ่มอย่างน้อย 7 วัน โดยตัวอย่างคอนกรีตและมอร์ตาร์ถูกนำไปแช่ในน้ำเกลือที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกันเป็นระยะเวลา 0, 1, 2,3 และ 6 เดือน เมื่อครบระยะเวลาที่กำหนด ตัวอย่างจะถูกนำมาทดสอบเพื่อหา 1) กำลังกดในแกนเดียว (Uniaxial compressive strength, UCS) 2) กำลังกดในแกนเดียวด้วยวิธี Schmidt Rebound Hammer 3) การทดสอบเพื่อปริมาณแร่องค์ประกอบที่เปลี่ยนไปด้วยเทคนิควิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ หรือ X-ray Diffractometer (XRD) ในการทดสอบ จะทำการเก็บชิ้นส่วนของคอนกรีต (ไม่เอาหิน) จากตัวอย่างที่แตกมาบดให้ได้ขนาดแล้วค่อยนำไปทดสอบต่อไป 4) การทดสอบเพื่อวัดความสามารถในการดูดซับน้ำเกลือ (saline absorption) ในการทดสอบสอบจะใช้ตัวอย่างมอร์ตาร์ และ 5) การทดสอบเพื่อประเมินความเร็วในการเคลื่อนตัวของคลื่น โดยการทดสอบนี้ดำเนินการทดสอบกับตัวอย่างมอร์ตาร์เช่นเดียวกัน

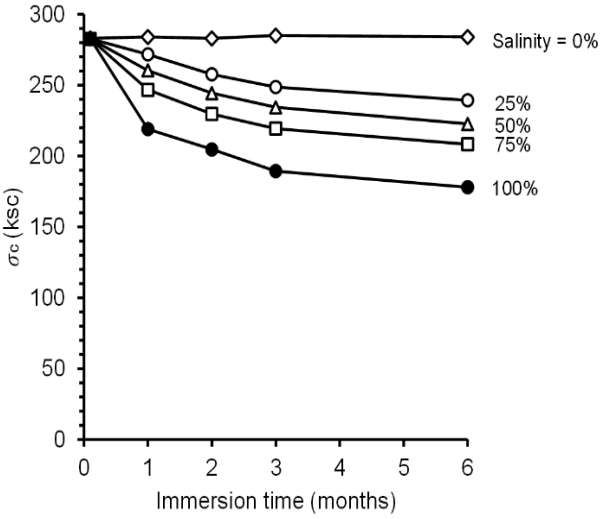
3. ผลการทดสอบ

3.1 กำลังกดในแกนเดียว

ในการทดสอบแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 แบบ คือการหากำลังกดในแกนเดียว (ASTM C39) [8] และการหากำลังกดด้วยวิธี Schmidt Rebound Hammer (ASTM C805) [9] ได้การคำนวณหากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตและระยะเวลาการแช่น้ำเค็มที่มีการแปรผันระดับความเข้มข้น 0% ถึง 100% จนได้ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกดแกนเดียวและระยะเวลาการแช่ที่แปรผันระดับความเข้มข้นในรูปที่ 1 และรูปที่ 2 ตามลำดับ



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกดแกนเดียวและระยะเวลาการแช่ที่แปรผันระดับความเข้มข้น



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกดแกนเดียวด้วยวิธี Schmidt Rebound Hammer และระยะเวลาการแช่ที่แปรผันระดับความเข้มข้น

จากรูปจะเห็นได้ว่า กำลังกดอัดของคอนกรีตลดลงเชิงเวลาและยิ่งความเข้มข้นเพิ่มขึ้นกำลังกดแกนเดียวลดลงอย่างมาก ซึ่งผลการทดสอบทั้ง 2 แบบมีความสอดคล้องกัน โดยการทดสอบด้วย Schmidt Rebound Hammer ให้กำลังกดมากกว่า UCS ถึง 1.6 เท่า บริเวณที่มีปริมาณคลอไรด์สูง Neamluang et.al. [10] พบการลดลงของกำลังกดแกนเดียวเป็นผลมาจากลักษณะการสลายตัวของคอนกรีต เป็นเหตุผลที่ความเข้มข้น 0 % (น้ำจืด) ถูกกัดกร่อนน้อยกว่าความเข้มข้นอื่นๆ ซึ่งสอดคล้องกับ Qasim et al. [11] ได้ระบุว่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตลดลงตามปริมาณเกลือที่เพิ่มขึ้น เนื่องมาจากเกลือค่อยๆ เข้าไปตกผลึกในรูพรุนอย่างต่อเนื่อง การเปลี่ยนแปลงปริมาตรภายในตัวอย่างคอนกรีตด้วยผลึกเกลือ ทำให้คอนกรีตแสดงลักษณะการหลุดร่อนและการร่วนเนื่องจากการขยายตัวของปริมาตร ส่งผลให้เกิดการวิบัติ โดยสังเกตได้ว่าระยะเวลา

ที่แช่น้ำเกลือมากขึ้น กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตยิ่งลดลง กำลังรับแรงของคอนกรีตเพิ่มขึ้นสำหรับปริมาณเกลือต่ำและกำลังรับแรงลดลงสำหรับปริมาณเกลือสูง

เมื่อได้ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกดแกนเดียวและระยะเวลาการแช่ที่แปรผันระดับความเข้มข้น จะเห็นได้ว่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียวลดลงแบบลอการิทึม จึงได้มีการพัฒนาสมการให้สอดคล้องกับผลการทดสอบกำลังกดแกนเดียว เพื่อทำนายกำลังกดแกนเดียวเชิงเวลาที่มีการแปรันระดับความเข้มข้นของน้ำเกลือ จากรูปที่ 3 สมการทางคณิตศาสตร์ระหว่างกำลังกดแกนเดียวในคอนกรีตและระยะเวลาการแช่ที่แปรผันระดับความเข้มข้นดังสมการที่ (1)

$$\sigma_c = A \cdot \ln(x) + B \quad (1)$$

โดยที่ σ_c คือ กำลังกดแกนเดียวสูงสุด
A และ B คือ ค่าคงที่
x คือ ระยะเวลาการแช่น้ำเกลือ

ความเหมือน (Mean misfit) และความคลาดเคลื่อน (R-squared) ระหว่างผลการทดสอบและการคาดการณ์ของสมการสามารถประเมินได้โดยใช้ค่าเฉลี่ยที่ไม่เหมาะสมเป็นตัวบ่งชี้ คำนวณโดย [12] ดังในสมการที่ (2)

$$s = \frac{1}{m}\left(\sum_{i}^{m} s_i\right) \quad (2)$$

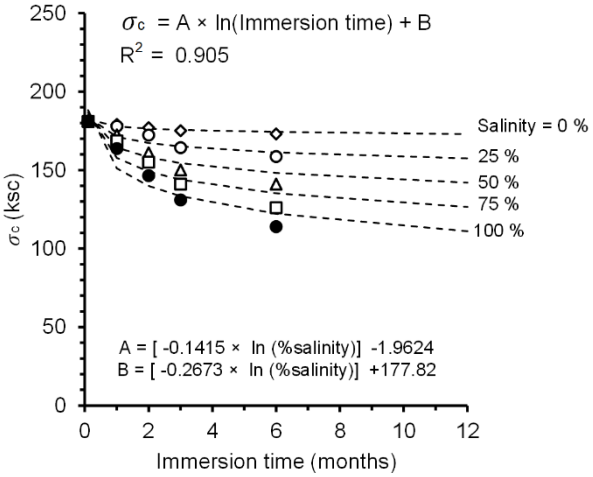
เมื่อ $$s_i = \left[\left(\frac{1}{n}\right)\left(\sum_{j=1}^{n}\left(X_{j,p} - X_{j,t}\right)^2\right)\right]^{1/2} \quad (3)$$

โดยที่ $X_{j,p}$ และ $X_{j,t}$ คือ กำลังรับแรงอัดแกนเดียวที่คาดการณ์และวัดได้ n คือ จำนวนของเดือนที่ใช้สำหรับการแช่ตัวอย่างคอนกรีต และ m คือ จำนวนของความเข้มข้น

เมื่อนำสมการที่ (1) มาคาดการณ์กำลังกดแกนเดียวในอนาคต จากนั้นคำนวณจากสมการที่ 2 ซึ่งสามารถทราบค่า Mean misfit ได้เท่ากับ 5.11 และค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.907 สามารถใช้สมการที่ (1) ในการคาดการณ์กำลังกดแกนเดียวในอนาคตได้ เมื่อโครงสร้างคอนกรีตถูกแช่น้ำเกลือที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

3.2 X-Ray Diffractometer (XRD)

เทคนิควิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) ถูกนำมาใช้วิเคราะห์เพื่อระบุปริมาณของสารประกอบ (แร่ประกอบ) ในตัวอย่างคอนกรีตที่สัมผัสกับน้ำเกลือที่ระดับความเข้มข้นและเวลาต่าง ๆ กัน ในการทดสอบได้สนใจสารประกอบแคลเซียมซิลิเกต (C_3S, C_2S) ไตรแคลเซียมอะลูมิเนต (C_3A) เตตระแคลเซียมอะลูมิโนเฟอร์ไรต์ (C_4AF) และแฮไลท์ (NaCl) ตามลำดับ ผลที่ได้สรุปไว้ในตารางที่ 1 จากผลการทดสอบพบว่า C_3S และ C_2S มีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาที่สัมผัสกับน้ำเกลือนานขึ้น ซึ่งสิ่งนี้สนับสนุนว่าคอนกรีตถูกกัดกร่อนจากน้ำเกลือจนทำให้สารประกอบเหล่านี้มีค่าลดลงในเชิงเวลา



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างสมการคณิตศาสตร์กำลังกดแกนเดียวและระยะเวลาการแช่ที่แปรผันระดับความเข้มข้น

ตารางที่ 1 แร่องค์ประกอบของตัวอย่างคอนกรีตตามระยะเวลาแช่น้ำเกลือ

Salinity (%)	ระยะเวลา (เดือน)	แร่องค์ประกอบ (%)				
		C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF	Halite
0	initial	58.62	35.77	3.66	1.95	0.00
	1	58.58	35.41	3.98	2.03	0.00
	2	58.25	34.66	4.64	2.45	0.00
	3	58.02	33.84	5.24	2.9	0.00
	6	57.34	32.73	6.37	3.56	0.00
25	initial	58.62	35.77	3.66	1.95	0.00
	1	58.38	33.41	4.00	2.19	2.02
	2	58.14	31.38	5.06	2.9	2.52
	3	57.88	29.13	6.97	3.02	3.00
	6	56.98	28.09	7.33	3.88	3.72
50	initial	58.62	35.77	3.66	1.95	0.00
	1	58.23	32.06	4.21	2.29	3.21
	2	57.9	29.48	5.48	2.94	4.2
	3	57.28	27.89	7.20	3.20	4.43
	6	55.39	27.44	7.96	3.95	5.26
75	initial	58.62	35.77	3.66	1.95	0.00
	1	58.03	30.54	5.17	2.37	3.89
	2	57.70	29.07	5.64	3.23	4.36
	3	56.33	27.8	7.69	3.62	4.56
	6	54.21	26.8	8.43	4.67	5.89
100	initial	58.62	35.77	3.66	1.95	0.00
	1	57.07	30.51	5.61	2.68	4.13
	2	56.87	28.57	6.38	3.72	4.46
	3	55.63	27.65	7.35	3.97	5.40
	6	53.51	25.65	9.05	5.08	6.71

3.3 การดูดซับน้ำเกลือ

ในการทดสอบนี้ จะใช้ตัวอย่างลูกบาศก์มอร์ตาร์จำนวน 5 ตัวอย่างที่แช่ในน้ำเกลือที่มีการแปรผันระดับความเข้มข้น (0%, 25%, 50%, 75%, และ 100%) ตลอดระยะเวลา 6 เดือน โดยตัวอย่างมอร์ตาร์ที่ถูกแช่ในน้ำเกลือ เรียกว่ามวลอิ่มตัว จากนั้นนำตัวอย่างอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 80±5 °C จนกระทั่งความแตกต่างของมวลในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง สามารถคำนวณการดูดซับน้ำเกลือได้ดังสมการที่ (4)

$$\%\text{Absorption} = \frac{W - D}{D} \times 100 \qquad (4)$$

โดยที่ W คือ น้ำหนักตัวอย่างมอร์ตาร์ที่แช่ในน้ำเกลือมวลอิ่มตัวผิวแห้ง และ D คือ น้ำหนักแห้งของตัวอย่างมอร์ตาร์

จากรูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำและระยะเวลาการแช่น้ำเกลือที่มีการแปรผันระดับความเข้มข้นในช่วงเดือนที่ 0-1 เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำเกลือจะเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด หลังจากเดือนที่ 1 เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำเกลือจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเชิงเวลา เมื่อพิจารณาที่ความเข้มข้น 0% ซึ่งไม่มีผลึกเกลือเข้าไปทดแทนในช่องว่างจึงทำให้มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำมากกว่าความเข้มข้นอื่น และเมื่อได้พิจารณาที่ความเข้มข้น 100% พบว่ามีเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำน้อยสุด Choi et al. [13] โดยทั่วไปการดูดซับจะลดลง เมื่อสัมผัสกับสภาพน้ำเกลือเมื่อเทียบกับสภาพน้ำประปา เนื่องจากมีผลึกเกลือเข้าไปแทรกตัวในช่องว่างของตัวอย่างปูนมอร์ตาร์ จึงเป็นเหตุผลที่ว่าเกลือเข้าไปตกผลึกในช่องว่าง ทำให้เกิดการดูดซับน้ำน้อย เมื่อผลึกเกลือเข้าไปในตัวอย่างมากขึ้นเท่าใด ตัวอย่างมอร์ตาร์เกิดการเสื่อมสภาพอันเนื่องมากจากปริมาตรของมอร์ตาร์เพิ่มขึ้นด้วยผลึกของเกลือ จึงเป็นสาเหตุให้กำลังกดแกนเดียวมีกำลังรับแรงลดลงเมื่อความเข้มข้นน้ำเกลือเพิ่มขึ้น

3.4 การทดสอบความเร็วคลื่น

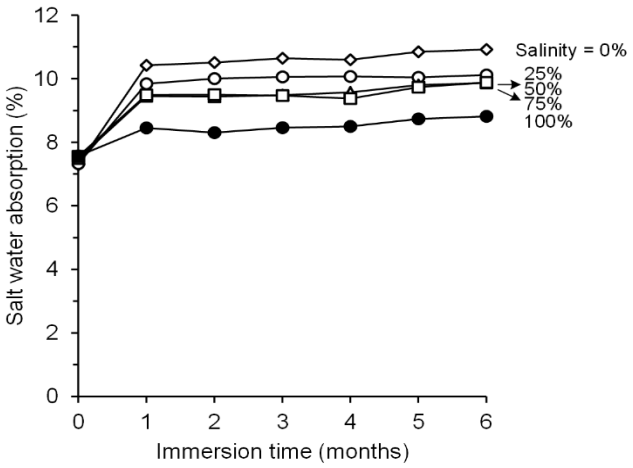
ในการทดสอบความเร็วของคลื่น (Pulse velocity) ผ่านวัสดุที่เป็นของแข็งหรือเนื้อคอนกรีต (ASTM C597-97) [14] จะมีคลื่นที่สร้างขึ้นจากเครื่องกำเนิดคลื่น 2 ชนิด ได้แก่ คลื่นปฐมภูมิ (Primary wave หรือ P-wave) และคลื่นทุติยภูมิ (Secondary wave หรือ S-wave) ความเร็วคลื่นของทั้งสองในคอนกรีตชนิดต่าง ๆ จะกำหนดโดยคุณสมบัติเชิงกลศาสตร์และคุณสมบัติทางกายภายของหินนั้น ๆ ซึ่งคำนวณโดยใช้สมการ (5) และ (6)

$$V_P = \sqrt{\frac{\lambda + 2G}{\rho}} \qquad (5)$$

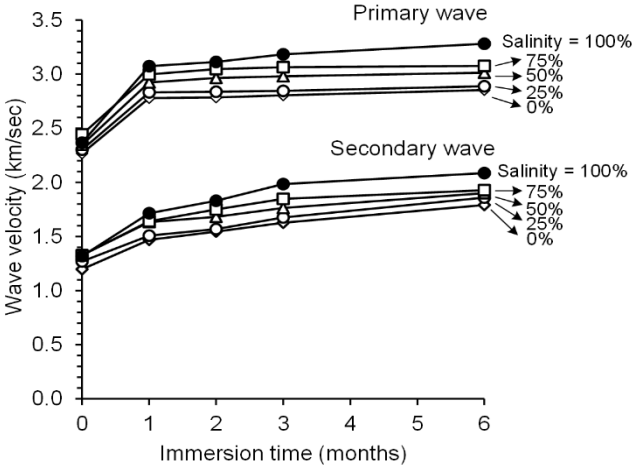
$$V_S = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \qquad (6)$$

โดยที่ V_P และ V_S คือ ความเร็วคลื่นปฐมภูมิและคลื่นทุติยภูมิ ตามลำดับ λ และ G คือ ค่า Lame's constants และ ρ คือ ความหนาแน่นของคอนกรีต

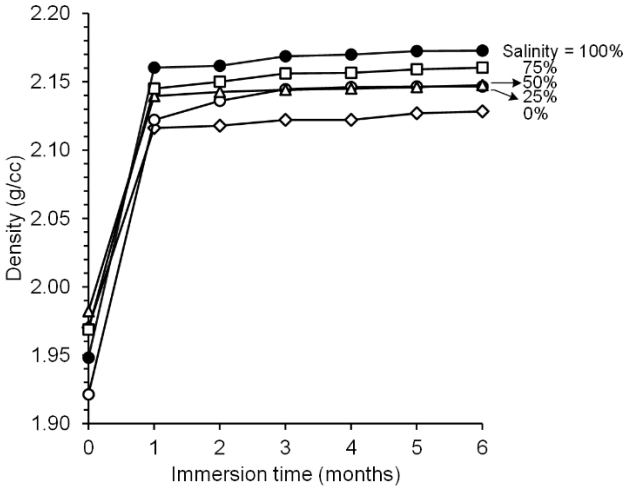
จากรูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วคลื่น (P-wave และ S-wave) และระยะเวลาแช่น้ำเกลือ ที่เคลื่อนที่ผ่านตัวอย่างมอร์ตาร์มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่สัมผัสกับน้ำเค็มนานขึ้น ผลกระทบนี้จะเด่นชัดขึ้นที่ระดับความเข้มข้นสูง สอดคล้องกับผลการทดสอบของ Ramírez-Ortíz et al. [15] กล่าวว่า เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ความหนืดเพิ่มขึ้นเช่นกัน ส่งผลให้ความเร็วคลื่นเพิ่มขึ้นแบบเชิงเส้น จากรูปที่ 6 เมื่อความหนาแน่นของสารละลายเพิ่มขึ้น เนื่องจากความเข้มข้นของ NaCl สูงขึ้น ผลกระทบของเวลาในการแช่น้ำเกลือนั้น สามารถอธิบายได้จากความจริงที่ว่า มีความสัมพันธ์แบบผกผันระหว่างปริมาตรรูพรุน และความเร็วของคลื่นพัลส์ปริมาตรของรูพรุนในมอร์ตาร์จะลดลงตามเวลา เนื่องจากระดับของความอิ่มน้ำของซีเมนต์ขึ้นอยู่กับระยะเวลา เมื่อเนื้อคอนกรีตถูกกัดกร่อนจนเป็นช่องว่าง จะทำให้คลื่นเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางได้ช้าลง แต่เนื่องจากในการทดสอบพบว่ามีเกลือตกผลึกในช่วงว่างรวมถึงมีน้ำเกลืออยู่ จึงเป็นผลที่ส่งเสริมทำให้คลื่นเคลื่อนเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำและระยะเวลาแช่น้ำเกลือ



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วคลื่น (P-wave และ S-wave) และระยะเวลาแช่น้ำเกลือ



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและระยะเวลาแช่น้ำเกลือ

4. สรุป

จากการศึกษาผลกระทบของน้ำเค็มต่อการเสื่อมสภาพของคอนกรีต ซึ่งประเมินจากการเปลี่ยนแปลงของกำลังอัดของคอนกรีต ค่าความสามารถในการดูดซับน้ำ และการเปลี่ยนแปลงของแร่ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน โดยที่ตัวอย่างคอนกรีตถูกแช่อยู่ในน้ำเค็มที่มีระดับความเค็ม 0%, 25%, 50% 75% และ 100% เวลาเป็นช่วงเวลาจาก 0 ถึง 6 เดือน จากผลการทดสอบสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1) กำลังอัดกำลังอัดของคอนกรีตมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องตามระยะเวลาและระดับความเค็มที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเกิดการกัดกร่อนของตัวอย่างคอนกรีต โดยที่แร่ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน ได้แก่ ไดแคลเซียมซิลิเกต (C_2S) ไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S) ไตรแคลเซียมอะลูมิเนต (C_3A) และเตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรต์ (C_4AF) เกิดการผุกร่อนจากการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างคลอไรด์กับแร่แคลเซียมซิลิเกต (C_2S และ C_3S) จนทำให้คอนกรีตมีกำลังลดลง

2) ความสามารถในการดูดซับน้ำของตัวอย่างมอร์ตาร์ มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะและความเค็มเพิ่มขึ้น ซึ่งสนับสนุนว่าตัวอย่างมีช่องว่างเพิ่มขึ้นจากการที่แร่แคลเซียมซิลิเกต (C_2S และ C_3S) ผุกร่อนไปจนเป็นรูพรุนมากขึ้น

3) แร่แฮไลต์ (Halite) ที่ละลายในน้ำเค็มแทรกเข้าไปในเนื้อคอนกรีตและตกผลึกในช่องว่างที่เกิดจากการผุกร่อนของแร่แคลเซียมซิลิเกต (C_2S และ C_3S) ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาและความเข้มข้น บ่งชี้ว่าตัวอย่างเกิดการเสื่อมสภาพจากผลกระทบของน้ำเค็มในเชิงเวลา

4) ความเร็วคลื่น (P-wave และ S-wave) ที่เคลื่อนที่ผ่านตัวอย่างมอร์ต้าร์มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่สัมผัสกับน้ำเค็มนานขึ้น ผลกระทบนี้จะเด่นชัดขึ้นที่ระดับความเข้มข้นสูง ผลดังกล่าวอาจขัดแย้งเหตุผลที่ว่าเมื่อเนื้อคอนกรีตถูกกัดกร่อนจนเป็นช่องว่าง จะทำให้คลื่นเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางได้ช้าลง แต่เนื่องจากในการทดสอบพบว่ามีเกลือตกผลึกในช่วงว่างรวมถึงมีน้ำเกลืออยู่ จึงเป็นผลที่ส่งเสริมทำให้คลื่นเคลื่อนเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น

5) สมการทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นในความสัมพันธ์ของกำลังอัดของคอนกรีต ระดับความเค็ม และเวลาที่สัมผัสกับน้ำเค็ม สามารถนำไปประเมินกำลังของคอนกรีตที่จมอยู่ในน้ำเกลือเป็นเวลาต่าง ๆ กัน

5. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, สำนักคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์วิจัยและนวัตกรรม และกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (รหัสโครงการ NRIIS 160340)

เอกสารอ้างอิง

[1] Austin Socorro Rodrigues. (2014). Deterioration of Concrete. *Civil Engineering.*1(4): pp. 1-6

[2] Tiwari, P., Chandak, R. and Yadav, R. (2014). Effect of salt water on compressive strength of concrete. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 4(4): 38-42.

[3] Islam, M. M., Islam, M. S., Mondal, B. C. and Islam, M. R. (2010). Strength behavior of concrete using slag with cement in sea water environment. *Journal of Civil Engineering (IEB)*, 38(2): 129-140.

[4] สำนักงานนโยบาย และ แผนสิ่งแวดล้อม. (2016). *การประชุมคณะอนุกรรมการพิจารณาสถานที่ทำงานของหน่วยราชการ* ในเขตกรุงเทพมหานคร และ เมือง หลัก ครั้ง ที่ 8/2543 วัน ที่ 9 มิถุนายน 2543 (No. 136962).

[5] Lyman, J. and Fleming, R. (1940) Composition of seawater. *Journal of Marine Research*, 3: 134-146.

[6] Bassuoni, M. T. and Rahman, M. M. (2016). Response of concrete to accelerated physical salt attack exposure. *Cement and concrete research*, 79: 395-408.

[7] Althoey, F. (2021). Compressive strength reduction of cement pastes exposed to sodium chloride solutions: Secondary ettringite formation. *Construction and Building Materials*, 299: 123965.

[8] ASTM C39/C39M-14 (2014). Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. *Annual Book of ASTM Standards*, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.

[9] ASTM C805-2 (2010). Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete. *Annual Book of ASTM Standards*, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.

[10] Neamluang, T., Khwankaew, J., Rujiphonphiphat, J., Samphao, W. and Onura, W. (2018). The study of effects of saline water on irrigation structures: A case study of Chonlahan Phichit operation and maintenance project. *Chonlasarn Research Journal of Irrigation Management*, 6(1): 52-62.

[11] Qasim, O. A., Maula, B. H., Moula, H. H., and Jassam, S. H. (2020). Effect of Salinity on Concrete Properties. *Materials Science and Engineering*. 745(1): 012171.

[12] K. Riley, M. Hobson, and S. Bence, "Mathematical methods for physics and engineering," *A Comprehensive Guide. [Quantum operators]*, pp. 648-712, 1998.

[13] Choi, S. I., Park, J. K., Han, T. H., Pae, J., Moon, J. and Kim, M. O. (2022). Early-age mechanical properties and microstructures of Portland cement mortars containing different admixtures exposed to seawater. *Case Studies in Construction Materials*, 16, 01041.

[14] ASTM C597-97 (2017). Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete. *Annual Book of ASTM Standards*, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.

[15] Ramírez-Ortíz, A. E., Castellanos, F. and Cano-Barrita, P. F. D. J. (2018). Ultrasonic detection of chloride ions and chloride binding in Portland cement pastes. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 12(1), 1-12.



บุรินทร์ ทองเกลี้ยง

นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา สาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



เดโช เผือกภูมิ

อาจารย์ประจำ สาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี วศ.ด. เทคโนโลยีธรณี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

การปรับปรุงคุณภาพชั้นพื้นทางด้วยมวลรวมจากพื้นทางเดิมผสมปูนซีเมนต์ กรณีศึกษาทางหลวงชนบท ปท. 3028

Quality improvement of the road base by using the demolished road base as aggregate mixed with cement: Case study at rural road PTE.3028

ชิษณุ อัมพรายน์* และ ไพจิตร ผาวัน

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม 2410/2 ถนนพหลโยธิน เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

chisanu.am@spu.ac.th*, paijit.pa@spu.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีเป้าหมายในการปรับปรุงคุณภาพของดินชั้นพื้นทางเดิมให้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ด้วยการผสมดินพื้นทางเดิมกับปูนซีเมนต์ ผลการทดสอบคุณสมบัติของดินพื้นทางเดิมพบว่ามีขนาดคละ และ ค่ากำลังของดินบดอัดวิธีแคลิเฟอร์เนีย แบริ่งเรโช (California Bearing Ratio: CBR) อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้พร้อมทั้งหาค่าความชื้นที่ทำให้เกิดความหนาแน่นสูงสุดได้เท่ากับร้อยละ 6.90 จากนั้นนำดินตัวอย่างมาผสมปูนซีเมนต์ที่ปริมาณร้อยละ 3, 4 และ 5 โดยน้ำหนักมวลรวมแล้วนำไปทดสอบค่ากำลังอัดแกนเดียว (UCS) พร้อมทั้งสร้างแบบจำลองสมการถดถอยเชิงเส้นตัวแปรเดียวได้เป็น UCS = 6.23 (% Cement) + 10.51 เมื่อกำหนดให้ค่า UCS เท่ากับ 17.50 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร จะทำนายปริมาณปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมได้ที่ร้อยละ 1.12

คำสำคัญ : ดินชั้นพื้นทาง; การทดสอบค่ากำลังอัดแกนเดียว; ร้อยละของปริมาณซีเมนต์โดยน้ำหนักมวลรวม

Abstract

This research aims to improve the quality of the original soil in base layer so that it can be reused by mixing with cement. The results of the original soil properties test showed that the gradation and %CBR were within the accepted criteria. The moisture content that produces the maximum density is equal to 6.90%. Then, the soil samples were mixed with cement at the amount of 3, 4 and 5 percent by total mass and tested for Unconfined Compressive Strength (UCS). The linear regression model was built as UCS = 6.23 (% Cement) + 10.51. The prediction of appropriate amount of cement is 1.12% when setting the UCS value to be 17.50 ksc.

Keywords: soil in base layer; Unconfined Compressive Strength (UCS); Percent cement by total soil sample mass

1. บทนำ

ถนนโครงข่ายเป็นโครงสร้างที่สำคัญในการพัฒนาประเทศ การยกระดับคุณภาพชีวิตและเศรษฐกิจด้วยการลดต้นทุนค่าขนส่งจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับคุณภาพการให้บริการของระบบถนนโครงข่าย แต่การบำรุงรักษาทางก็ต้องใช้งบประมาณสูง เช่น กรมทางหลวงชนบทมีถนนในความรับผิดชอบประมาณ 48,974 กิโลเมตร [1] ในปีงบประมาณ 2565 กรมทางหลวงชนบทได้กำหนดงบประมาณสำหรับการบำรุงรักษาทางหลวงชนบทไว้ประมาณ 17,825 ล้านบาท จากงบประมาณรายจ่ายประจำปีทั้งหมด 46,242 ล้านบาท [2] ค่าบำรุงรักษาทางคิดเป็นร้อยละ 38.55 เมื่อเปรียบเทียบกับงบรายจ่ายประจำปี

การยกระดับอุตสาหกรรมการก่อสร้างตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) เพื่อให้เกิดการใช้ทรัพยากรในการก่อสร้างอย่างคุ้มค่า สามารถนำวัสดุก่อสร้างมาใช้ซ้ำ (Reuse) หรือ การนำวัสดุก่อสร้างกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) ดังนั้นการวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายในการนำแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนมาประยุกต์ใช้ในการก่อสร้างและบำรุงรักษาถนน โดยนำวัสดุชั้นพื้นทาง (Base layer) ที่ต้องรื้อทิ้งนำกลับมาใช้เป็นวัสดุในการปรับปรุงชั้นพื้นทางใหม่ ที่สามารถรับกำลังได้ตามมาตรฐาน

การปรับปรุงคุณสมบัติของดินชั้นพื้นทางผสมซีเมนต์ในการวิจัยนี้ใช้ตัวอย่างดินพื้นทางที่รื้อออกของทางหลวงชนบท ปท.3028 มาเป็นวัสดุตั้งต้นเพื่อผสมซีเมนต์ให้ได้ค่ากำลังอัดตามเป้าหมายของดินผสมซีเมนต์ที่การบ่ม 7 วัน ต้องไม่น้อยกว่า 1,724 กิโลพาสคาล (17.57 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร) ตามมาตรฐาน ทล.-ม.204/2564 ที่สามารถใช้วิธีการทดสอบ [3] โดยมีวัตถุประสงค์ของการวิจัยดังต่อไปนี้

1. เพื่อทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินชั้นพื้นทางที่รื้อออกจาก ทางหลวงชนบท ปท.3028
2. เพื่อออกแบบส่วนผสมของดินผสมซีเมนต์ (ดินตัวอย่าง)
3. เพื่อทดสอบค่ากำลังอัดแกนเดียว Unconfined Compressive Stress: UCS) ของดินตัวอย่าง
4. เพื่อเสนอแนะแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพของดินชั้นพื้นทาง

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องประกอบด้วยหัวข้อ การปรับปรุงวัสดุชั้นพื้นทางด้วยปูนซีเมนต์ การทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินชั้นพื้นทาง และ สมการถดถอยเชิงเส้นตัวแปรเดียว

2.1 การปรับปรุงวัสดุชั้นพื้นทางด้วยปูนซีเมนต์

แบบมาตรฐานของกรมทางหลวงชนบท ได้กำหนดให้ถนนที่มีผิวทางแบบ Asphalt concrete ต้องมีชั้นพื้นทางที่มีค่าทดสอบกำลังของดินบดอัดวิธีแคลิเฟอร์เนีย แบริ่งเรโช (California Bearing Ratio: CBR) มากกว่าร้อยละ 80 ที่การบดอัดสูงกว่ามาตรฐานร้อยละ 95 (95% Modified Proctor) และในกรณีใช้วัสดุเป็นดินผสมซีเมนต์ต้องมีค่ากำลังอัดแกนเดียว (Unconfined Compressive Strength: UCS) ไม่น้อยกว่า 17.5 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร ที่การบดอัดสูงกว่ามาตรฐานร้อยละ 95 (95% Modified Proctor) [4] การหาแหล่งดินหรือหินคลุกที่มีคุณสมบัติที่ดีอาจต้องหาจากแหล่งที่อยู่ห่างไกล ดังนั้นการนำปูนซีเมนต์มาผสมกับดินเพื่อก่อสร้างหรือปรับปรุงชั้นพื้นทาง จะเพิ่มประสิทธิภาพการรับน้ำหนักจากการจราจรและลดปัญหาการแตกร้าวลงได้ โดยค่ากำลังอัดของดินซีเมนต์จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็นลักษณะเส้นตรงตามสัดส่วนการเพิ่มขึ้นของปริมาณซีเมนต์ ซึ่งอัตราการเพิ่มขึ้นของกำลังอัดจะขึ้นอยู่กับชนิดของดินที่ผสม ระยะเวลาที่ใช้ในการบ่ม อุณหภูมิที่ใช้ในการบ่ม [5]

2.2 การทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินชั้นพื้นทาง

การทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินชั้นพื้นทางประกอบด้วย การทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุ (Sieve analysis) การทดสอบกำลังอัดของดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Proctor Compaction Test) การทดสอบกำลังของดินบดอัดวิธีแคลิเฟอร์เนีย แบริ่งเรโช (California Bearing Ratio : CBR) และ การทดสอบค่ากำลังอัดของดินแบบแกนเดียว Unconfined Compressive Strength (UCS) การคำนวณคุณสมบัติทางวิศวกรรมแสดงดังสมการที่ 1 ถึงสมการที่ 5

$$\gamma_d = W / (V (1+ w)) \quad (1)$$

เมื่อ γ_d คือ หน่วยน้ำหนักแห้ง
W คือ น้ำหนักของดินตัวอย่างขณะชื้น
V คือ ปริมาตรของโมล
w คือ ความชื้นของตัวอย่างดิน

$$\% \text{ CBR} = (\text{Test unit load} / \text{Standard unit load}) \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ Test unit load = ค่าแรงกดที่อ่านได้จากเครื่องมือ
Standard unit load = ค่าแรงกดมาตรฐาน

$$\sigma_c = P / A \quad (3)$$

เมื่อ σ_c คือ หน่วยแรงกด
P คือ ค่าแรงกด
A คือ พื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยที่แรงกดนั้นๆ

$$A = A_0 / (1-\varepsilon) \quad (4)$$

เมื่อ A คือ พื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยที่แรงกดนั้นๆ
A_0 คือ พื้นที่หน้าตัดเดิมของแท่งตัวอย่าง
ε คือ ความเครียดตามแนวดิ่งที่แรงกดนั้นๆ

$$\varepsilon = \Delta L / L_0 \quad (5)$$

เมื่อ ε คือ ความเครียดตามแนวดิ่งที่แรงกดนั้นๆ
ΔL คือ ระยะยุบตัวของแท่งตัวอย่างที่แรงกดใดๆ
L_0 คือ ความยาวเดิมของแท่งตัวอย่าง

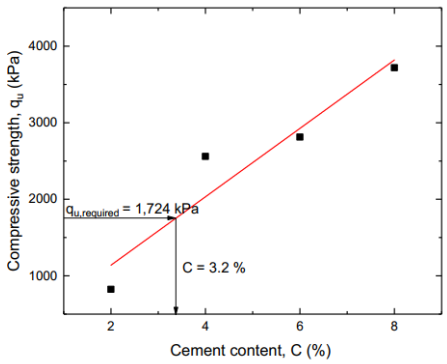
2.3 สมการถดถอยเชิงเส้นตัวแปรเดียว

สมการถดถอยเชิงเส้นตัวแปรเดียวเป็นแบบจำลองที่สร้างความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (Dependent Variable, y) กับตัวแปรอิสระ (Independent Variable, x) ในรูปแบบดังแสดงในสมการที่ 6 เมื่อสร้างแบบจำลองได้แล้วจะสามารถทำนายค่า y เมื่อ x เท่ากับค่าที่ต้องการวิเคราะห์ได้ โดยมีค่า R^2 เป็นตัวสถิติที่ใช้วัดความสมรูประหว่างข้อมูลกับแบบจำลอง โดยถ้าค่า R^2 มีค่าเข้าใกล้ 1.00 หมายถึงแบบจำลองกับข้อมูลมีความสมรูปกันมาก

$$y = a x + b \quad (6)$$

เมื่อ y คือ ตัวแปรตาม (Dependent variable)
x คือ ตัวแปรอิสระ (Independent variable)
a และ b คือค่าสัมประสิทธิของสมการ

ฉัฐวุธ และ คณะ (2565) ได้ทำการสร้างแบบจำลองด้วยสมการถดถอยเชิงเส้นตัวแปรเดียว โดยกำหนดให้ ค่ากำลังอัดทิศทางเดียว (Compressive Strength, q_u) เป็นตัวแปรตาม และ ปริมาณของซีเมนต์ (Cement content, C%) เป็นตัวแปรอิสระ พบว่า เมื่อกำหนดให้ค่ากำลังอัดทิศทางเดียวเท่ากับ 1,724 กิโลพาสคาล. จะสามารถทำนายค่าปริมาณของซีเมนต์ได้เท่ากับร้อยละ 3.2 [6] ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดทิศทางเดียวกับปริมาณซีเมนต์

3. วิธีดำเนินการวิจัย

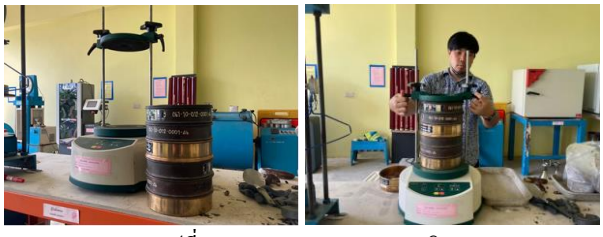
วิธีดำเนินการวิจัยประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ การเตรียมวัสดุจากชั้นพื้นทางเดิม การหาอัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์ การทดสอบกำลังด้วยวิธีกำลังอัดแกนเดียว และ การสร้างแบบจำลองถดถอยเชิงเส้นและการวิเคราะห์ผลการทดสอบ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.1 การเตรียมวัสดุจากชั้นพื้นทางเดิม

การเตรียมมวลรวมตัวอย่าง โดยนำดินชั้นพื้นทางจากทางหลวงชนบท ปท.3028 แยก ทล. 305-เลียบคลองเก้า ฝั่งตะวันตก ที่กม. 3+400 ถึง กม 3+700 มาผึ่งแล้วเข้าตู้อบที่อุณภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 2 จากนั้นทดสอบคุณสมบัติของดินตัวอย่าง ประกอบด้วย 1) การหาขนาดเม็ดของวัสดุ (Sieve Analysis) ตามมาตรฐานของ ทล.-ท. 205/2517 และ มทช.(ท) 501.8-2545 ดังแสดงในรูปที่ 3 2) ทดสอบการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Proctor Compaction test) ตามมาตรฐานมทช.(ท) 501.2-2545 และ ทล.-ท. 108/2517 ดังแสดงในรูปที่ 4 และ 3) การทดสอบกำลังของดินบดอัดวิธีแคลิเฟอร์เนีย แบริ่งเรโช (California Bearing Ratio : CBR) ตามมาตรฐานของ มทช.(ท) 501.3-2545 และ ทล.-ท. 109/2517 ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 2 การผึ่งและการอบดินชั้นพื้นทาง



รูปที่ 3 การทดสอบการหาขนาดดิน



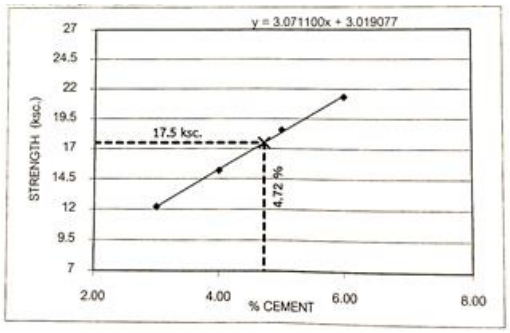
รูปที่ 4 การทดสอบการบดอัดดิน



รูปที่ 5 การทดสอบการทดสอบกำลังของดินบดอัดวิธีแคลิเฟอร์เนีย แบริ่งเรโช

3.2 การหาอัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์

การหาอัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์จะอ้างอิงตามการทดสอบค่ากำลังอัดของดินแบบแกนเดียว Unconfined Compressive Strength ตามมาตรฐานของ มทช. 242-2555 และ ทล.-ท. 105/2515 และตามคู่มือซ่อมบำรุงรักษาทางหลวง ได้กำหนดร้อยละของปูนซีเมนต์ที่มีค่ารับกำลังแรงอัดผ่านมาตรฐานที่ 17.5 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร (ksc.) ทำให้ประมาณปริมาณปูนซีเมนต์ได้ร้อยละ 4.72 ดังแสดงในรูปที่ ทำให้ผู้วิจัยออกแบบสัดส่วนของปูนซีเมนต์ไว้ที่ร้อยละ 3 ร้อยละ 4 และร้อยละ 5 ต่อน้ำหนักมวลรวมของดิน โดยปูนซีเมนต์ที่ใช้ทดสอบเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.15 ประเภท 1 ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของดินกับร้อยละของซีเมนต์

เมื่อกำหนดให้ปริมาณดินพื้นทางต่อตัวอย่างเท่ากับ 3,000 กรัม ทำให้ต้องใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ร้อยละ 3, 4 และ 5 เป็น 90, 120 และ 150 กรัมตามลำดับ ส่วนปริมาณน้ำจะใช้ตามอัตราส่วนของ Optimum Moisture Content : OMC ที่ได้จากการทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 1 และ รูปที่ 7

ตารางที่ 1 ปริมาณมวลรวมตัวอย่างและปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการทดสอบ

% Cement	มวลรวมตัวอย่าง (กรัม)	ปูนซิเมนต์ (กรัม)
3	3,000	90
4	3,000	120
5	3,000	150



รูปที่ 7 การเตรียมมวลรวมตัวอย่างและปูนซีเมนต์

3.3 การทดสอบกำลังด้วยวิธีกำลังอัดแกนเดียว

การเตรียมตัวอย่างจะใช้จำนวน 3 ก้อนตัวอย่างต่อหนึ่งสัดส่วนผสม ดังแสดงในตารางที่ 2 หลังจากนั้นห่อตัวอย่างในถุงพลาสติกและบ่มเป็นเวลา 7 วัน ดังแสดงในรูปที่ ก่อนทดสอบกำลังรับแรงอัดนำตัวอย่างไปแช่น้ำเป็นเวลา 2 ชั่วโมง และผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง ดังแสดงในรูปที่ 8

ตารางที่ 2 จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ

% Cement	จำนวนตัวอย่างทดสอบ
3	3
4	3
5	3
รวมตัวอย่างทั้งหมด	9



รูปที่ 8 การนำมวลรวมตัวอย่างบ่มก่อนทดสอบ 7 วัน

3.4 การสร้างแบบจำลองฉดถอยเชิงเส้นและการวิเคราะห์ผลการทดสอบ

ผลทดสอบที่ได้จะนำมาสร้างความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณปูนซีเมนต์ (% Cement) กับกำลังรับแรงอัดแกนเดียว (Unconfined Compressive Strength : UCS) โดยที่จะใช้ร้อยละของปูนซีเมนต์ที่มีค่ารับกำลังแรงอัดแกนเดียวอยู่ที่ 17.57 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร เป็นสัดส่วนปูนซีเมนต์เสนอแนะในการปรับปรุงคุณภาพของดินชั้นพื้นทาง

4. ผลการวิจัยและการวิเคราะห์

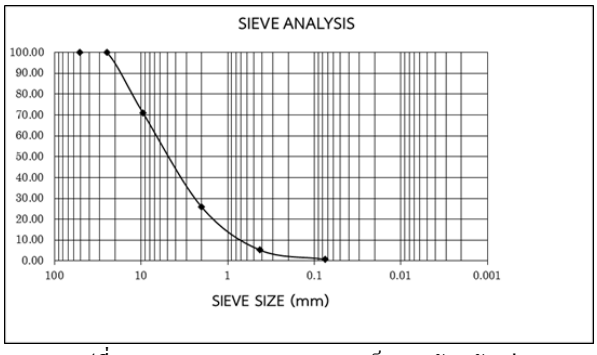
ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก คือ ผลการทดสอบวัสดุจากชั้นพื้นทางเดิม ผลการทดสอบกำลังด้วยวิธีกำลังอัดแกนเดียว และ การสร้างแบบจำลองฉดถอยเชิงเส้นและการวิเคราะห์ผลการทดสอบ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.1 ผลการทดสอบวัสดุจากชั้นพื้นทางเดิม

ผลการทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุ พบว่า เป็นวัสดุที่มีขนาดคละกันไม่ดี จัดเป็นวัสดุที่มีขนาดเม็ดขาดช่วง (Gap Graded) โดยเป็นวัสดุที่มีแต่ขนาดใหญ่หรือขนาดเล็ก ขาดขนาดใดขนาดหนึ่งไป ดังแสดงในตารางที่ 3 และ รูปที่ 9 แต่เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ทล.-ท. 204/2564 ที่กำหนดให้ดินขนาดใหญ่สุดไม่เกิน 50 มิลลิเมตร ผ่านตระแกรงขนาด 2.00 มิลลิเมตร (เบอร์ 10) ไม่เกินร้อยละ 70 และผ่านตระแกรงขนาด 0.075 มิลลิเมตร (เบอร์ 200) ไม่เกินร้อยละ 25 ก็พบว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

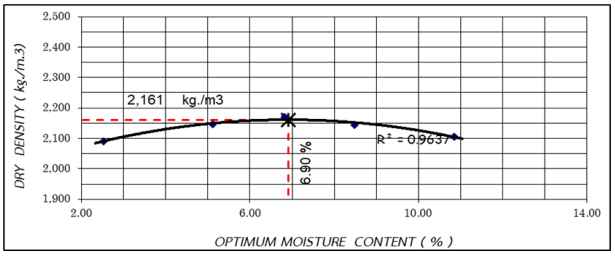
ตารางที่ 3 ผลการทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุ

เบอร์	นน.ค้าง (g)	% ค้าง	% ค้างสะสม	% ผ่าน
2”	-	0.00	0.00	100.00
1”	-	0.00	0.00	100.00
3/8”	811.02	29.03	29.03	70.97
#10	1,258.62	45.06	74.09	25.91
#40	576.72	20.65	94.74	5.26
#200	125.32	4.49	99.23	0.77
PAN	21.58	0.77	100.00	0.00



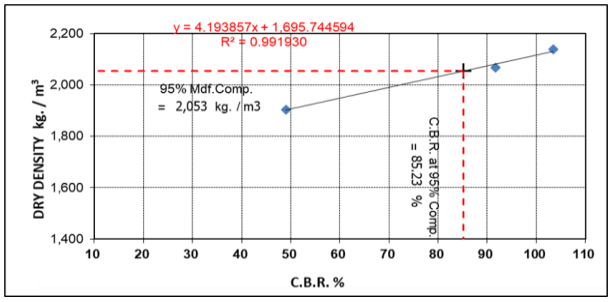
รูปที่ 9 ผลการทดสอบการหาขนาดเม็ดของวัสดุตัวอย่าง

ผลการทดสอบการบดอัดของวัสดุมวลรวมชั้นพื้นทางเดิมด้วยวิธี Modified Compaction พบว่าค่า Maximum Dry Density เท่ากับ 2,161 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ Optimum Moisture Content เท่ากับร้อยละ 6.90 ดังแสดงในรูปที่ 10 ทำให้สามารถคำนวณปริมาณน้ำที่ใช้ผสมดินตัวอย่างได้เท่ากับ 207 กรัม



รูปที่ 10 ผลการทดสอบการบดอัดดินตัวอย่าง

ผลการทดสอบผลการทดสอบได้ค่า CBR ที่ร้อยละ 95 (95% Modified Proctor) เท่ากับร้อยละ 85.23 ซึ่งผ่านเกณฑ์เมื่อเทียบกับมาตรฐานงานชั้นพื้นทางที่ต้องการค่า CBR (95% Modified Proctor) มากกว่าร้อยละ 80 ดังแสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 11 ผลการทดสอบ CBR

4.2 ผลการทดสอบกำลังด้วยวิธีกำลังอัดแกนเดียว

ผลการทดสอบค่ากำลังอัดแกนเดียว (Unconfined Compression Test: UCS) ของดินตัวอย่างที่ผสมปูนซิเมนต์ร้อยละ 3 ร้อยละ 4 และร้อยละ 5 พบว่า ค่า UCS เฉลี่ยเท่ากับ 29.79, 34.25 และ 42.25 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตรตามลำดับ ซึ่งทุกตัวอย่างมีค่า UCS มากกว่า 17.57 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตรทั้งหมด ดังแสดงในตารางที่ 4

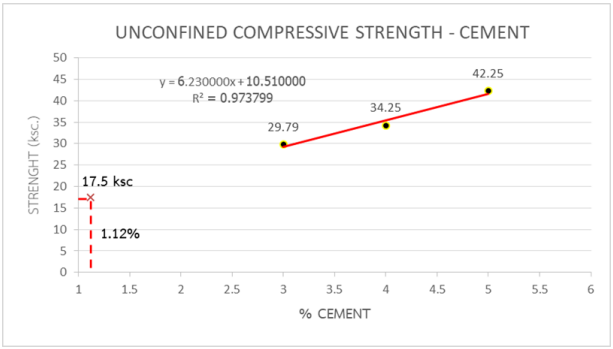
ตารางที่ 4 ผลการทดสอบค่า UCS ของตัวอย่างทดสอบที่ 7 วัน

% Cement	UCS ที่ 7 วัน (ksc.)			
	Sample1	Sample2	Sample3	Average
3	32.93	26.44	29.98	29.79
4	38.81	32.00	31.94	34.25
5	44.73	40.07	41.54	42.25

4.3 การสร้างแบบจำลองถดถอยเชิงเส้นและการวิเคราะห์ผลการทดสอบ

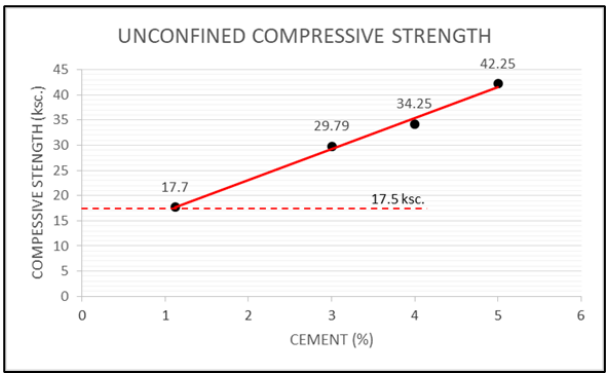
เมื่อนำข้อมูลผลการทดสอบค่า UCS ที่ได้จากตารางที่ มาสร้างแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้น โดยกำหนดให้ค่า UCS เป็นตัวแปรตามและร้อยละของซีเมนต์ (% Cement) เป็นตัวแปรต้น จะสามารถสร้างความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 7 และ รูปที่ 12 ซึ่งพบว่ามีค่า R^2 เท่ากับ 0.97 ทำให้แบบจำลองมีความน่าเชื่อถือสูง

$$UCS = 6.23 (\%\ Cement) + 10.51 \quad (7)$$



รูปที่ 12 ผลการทดสอบค่ากำลังอัดแกนเดียวและการสร้างความสัมพันธ์

การทำนายค่าอัตราส่วนปูนซีเมนต์ (% Cement) โดยใช้สมการที่ 7 เมื่อกำหนดให้ค่ากำลังอัดของดินแบบแกนเดียว (UCS) เท่ากับ 17.50 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร พบว่าค่าอัตราส่วนปูนซีเมนต์ (% Cement) เท่ากับร้อยละ 1.12 ดังแสดงในรูปที่ 13



รูปที่ 13 แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและร้อยละของซีเมนต์

เมื่อนำตัวอย่างอัตราส่วนปูนซีเมนต์ที่ร้อยละ 1.12 ที่เวลา 7 วันมาทำการทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียวจำนวน 3 ตัวอย่าง พบว่า มีค่าเท่ากับ 18.42, 17.30 และ 17.38 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยของกำลังรับแรงอัดแกนเดียวเท่ากับ 17.70 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่ากำลังอัดที่ได้จากแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้น (Regression model)

5. สรุปและข้อเสนอแนะ

การวิจัยนี้มีเป้าหมายในการปรับปรุงวัสดุดินชั้นพื้นทางเดิมให้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยมีวิธีการปรับปรุงที่ไม่ซับซ้อนแต่มีค่ากำลังอัดแกนเดียว (UCS) มากกว่า 17.57 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร ทำให้มีข้อเสนอแนะดังต่อไปนี้

วัสดุพื้นทางเดิมที่ขุดออกมาเพื่อเตรียมตัวอย่างจะมีขนาดคละผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ทล.-ท.204/2564 ที่กำหนดให้ดินขนาดใหญ่สุดไม่เกิน 50 มิลลิเมตร ผ่านตระแกรงขนาด 2.00 มิลลิเมตร (เบอร์ 10) ไม่เกิน

ร้อยละ 70 และผ่านตระแกรงขนาด 0.075 มิลลิเมตร (เบอร์ 200) ไม่เกินร้อยละ 25 และมีค่า %CBR มากกว่าร้อยละ 80 ทำให้มีข้อสังเกตว่าวัสดุจากชั้นพื้นทางเดิมจะมีคุณสมบัติทางวิศวกรรมค่อนข้างดี และมีความเหมาะสมในการนำกลับมาใช้ใหม่

การหาปริมาณปูนซีเมนต์ที่ทำให้ค่า UCS ไม่น้อยกว่า 17.50 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร มีค่าเท่ากับร้อยละ 1.12 โดยน้ำหนักมวลรวม เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ทล.-ท.204/2564 ที่กำหนดว่าส่วนผสมดินซีเมนต์จะต้องใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ไม่ต่ำกว่าร้อยะ 3 โดยมวลของดิน หรือตามที่กำหนดไว้ในแบบเป็นอย่างอื่น ผู้วิจัยมีความเห็นว่าควรเสนอให้ใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ร้อยละ 1.12 โดยน้ำหนักมวลรวมได้ เนื่องจากได้มีการทดสอบค่า UCS แล้วพบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 17.70 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งมากกว่า 17.50 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร และเมื่อพิจารณาค่า UCS ทั้งสามตัวอย่างทดสอบ พบว่ามี 1 ตัวอย่างที่ค่า UCS เท่ากับ 17.30 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร (น้อยกว่า 17.50) แต่ก็ไม่น้อยกว่าร้อยละ 85 ของเกณฑ์ (85% ของ 17.50 เท่ากับ 14.875 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร) ทำให้อนุมานได้ว่า การใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ร้อยะ 1.12 สามารถใช้ในการปรับปรุงดินพื้นทางได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม นายธัชชัย ไชยสุกุมาร นายภานุพงษ์ โพธิ์นอก นายจิระศักดิ์ นิติวิทยากุล นักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยศรีปทุม ที่ได้สนับสนุนการวิจัยเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

[1] P. Chaipetch, C. Amprayn, P. Pawan and V. Ratanavaraha, “Analytical of multi criteria approach for identifying the weight and factor of rural road maintenance prioritizaton,” International Journal of Geomate, Vol.22, Issue91, pp.70-79, March 2022

[2] เอกสารงบประมาณ ฉบับที่ 3 งบประมาณรายจ่าย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2565 เล่มที่ 5 กรมทางหลวงชนบท

[3] มาตรฐานพื้นทางดินซีเมนต์, มาตรฐานที่ ทล.-ม. 204/2564, กรมทางหลวง

[4] แบบมาตรฐานงานทาง พ.ศ. 2561 กรมทางหลวงชนบท มีนาคม 2561 หน้า ถน.-301/61-ถน.-305/61

[5] วสันต์ ปั้นสังข์, บารเมศ วรรธนะภูติ, กฤษณะ เพ็ญสมบูรณ์ และจิรโรจน์ ศุกลรัตน์ (2553). คุณสมบัติด้านความคงทนและความแข็งแรงของวัสดุชั้นพื้นทางที่ปรับปรุงด้วยซีเมนต์. วิศวกรรมสาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ฉบับที่ 74 ปีที่ 23 พฤศจิกายน – ธันวาคม 2553

[6] ณัฐวุธ วิกสิตเจริญกุล, วรัช ก้องกิจกุล และ ฐิติกร โพธิ์ศรีบิ้ง, ผลกระทบของปูนซีเมนต์และสารผสมเพิ่มโพลิเมอร์ต่อกำลังอัดของดินลูกลังที่ใช้เป็นวัสดุพื้นทาง. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 26 มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

การประยุกต์ใช้เศษวัสดุก่อสร้างทดแทนทรายธรรมชาติสำหรับอิฐดินดิบที่ใช้ก่อสร้างบ้านดิน

Substituting Natural Sand with Construction Waste for Adobe Bricks Used in Earthen Houses

ชัยภัทร ถาวรโลหะ สุพิชญ์ชญา ตันสุเมธ พัชรี เอียดสีทอง และ วริสรา เลิศไพฑูรย์พันธ์*

สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

2410/2 ถ.พหลโยธิน จตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900 Email: warisara.le@spu.ac.th

บทคัดย่อ

การขาดแคลนที่อยู่อาศัยของผู้มีรายได้น้อยเป็นปัญหาสำคัญ หากนำวัสดุพื้นเมืองมาแทนวัสดุที่ใช้กันอยู่ทั่วไป และปรับการก่อสร้างอาคารให้เหมาะกับวิถีชีวิตชนบท ก็จะช่วยแก้ปัญหาการขาดแคลนที่อยู่อาศัยได้ บ้านดินเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพราะใช้พลังงานน้อยในการผลิตวัสดุ ไม่ต้องขนส่งไกลเพราะใช้ทรัพยากรในท้องถิ่น อิฐดินดิบ (adobe brick) ที่ใช้ก่อสร้างบ้านดินเป็นการผสมดินกับวัสดุเส้นใยธรรมชาติและทราย แต่ทรายเป็นวัสดุจากธรรมชาติที่ถูกใช้มากจนส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศ งานวิจัยนี้จึงนำเศษคอนกรีตบล็อกมาใช้แทนทรายในการทำอิฐดินดิบ ซึ่งจะลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติและลดปัญหาขยะก่อสร้างด้วย โดยมีอัตราส่วนวัสดุคือ ดิน : แกลบ : เศษคอนกรีตบล็อกบด : น้ำ เท่ากับ 3 : 1 : 1 : 1 (โดยปริมาตร) โดยใช้ขนาดของเศษคอนกรีตบล็อกบดแตกต่างกัน 4 ขนาด คือ ค้างตะแกรงเบอร์ 4, 8, 16, และ 30 ผลการวิจัยพบว่า ก้อนอิฐดินดิบที่ใช้เศษคอนกรีตบล็อกบดทดแทนทรายมีความต้านแรงอัดอยู่ในช่วง 23.5-31.1 กก./ตร.ซม. ซึ่งสูงกว่าตัวอย่างควบคุมที่ใช้ทรายเป็นส่วนผสม (18.1 กก./ตร.ซม.) อย่างมีนัยสำคัญ โดยอิฐดินที่ผสมเศษบล็อกขนาดใหญ่สุด (ค้างตะแกรงเบอร์ 4) มีความต้านแรงอัดสูงที่สุด และมีแนวโน้มที่ลดลงตามขนาดของเศษบล็อกบดที่ลดลง แต่การทดสอบการดูดซึมน้ำให้ผลในทางกลับกัน คือมีการดูดซึมน้ำมากที่สุดในอิฐดินที่ผสมด้วยเศษบล็อกบดขนาดค้างตะแกรงเบอร์ 4 และการดูดซึมน้ำลดลงตามขนาดของเศษบล็อกที่ลดลง

คำสำคัญ : เศษคอนกรีตบล็อก; อิฐดินดิบ; เศรษฐกิจหมุนเวียน

Abstract

Housing shortages for low-income people are a major problem. If indigenous materials are considered as alternatives to materials commonly used today, and adjusting the construction process to suit rural lifestyles, it will help in solving the housing shortage problem. Earthen houses are environment-friendly because they use less energy to produce materials, and there is no need to transport long distances because of the use of local resources. Adobe brick is a mixture of soil/clay with natural fibrous material and sand. Sand is a natural aggregate that is consumed in large quantities and affects the ecosystem. In this research, concrete blocks were used instead of sand to make adobe bricks because it will reduce the use of natural resources and reduce the disposal of construction waste as well. The ratio of soil: concrete block fragment: rice husk: water was 3: 1: 1: 1 by volume. The crushed concrete block particles were varied in 4 different sizes, i.e. sieve no. 4, 8, 16, and 30. The results showed that by substituting sand with crushed concrete blocks, the compressive strength of adobe bricks were in the range of 23.5-31.1 kg/cm^2, which was significantly higher than the control sample (18.1 kg/cm^2). The particle size of the concrete block affects the compressive strength. The adobe brick with the largest block particle size (residual sieve No. 4) has the highest compressive strength and tends to decrease with the particle size of the block particles decreased. The water absorption test works the other way around. The water absorption was highest in adobe bricks with biggest crushed block size and decreases with the decrease in the size of the block particles.

Keywords: concrete block waste; adobe bricks; circular economy

1. บทนำ

การขาดแคลนที่อยู่อาศัยเป็นปัญหาที่ทั้งโลกกำลังเผชิญ ดังเช่นที่องค์การสหประชาชาติ (United Nation: UN) ได้คาดการณ์ไว้ว่าภายในปี 2030 จะมีประชากรที่มีความต้องการที่อยู่อาศัยจำนวน 3 พันล้านคน [1] ซึ่งการเข้าถึงที่อยู่อาศัยและบริการพื้นฐาน เป็นเป้าหมายที่ 11 ของเป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SGDs) [2] ดังนั้นจึงเป็นเรื่องท้าทายที่ภาครัฐต้องพยายามจัดสรรและเข้าช่วยเหลือครอบครัวที่มีรายได้น้อยและคนไร้ที่อยู่ (Homeless) ประเทศไทยก็ประสบปัญหาการขาดแคลนที่อยู่อาศัยของประชาชนผู้มีรายได้น้อยเช่นกัน ดังเช่นการศึกษาของสถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย (TDRI) พบว่า ครัวเรือนที่ไม่มีที่อยู่อาศัยในภาคกลาง ภาคใต้ ภาคเหนือ และ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีจำนวนร้อยละ 20.8 12.1 7.2 และ 2.9 ตามลำดับ [3] เมื่ออัตราการขยายตัวทางเศรษฐกิจยิ่งสูงขึ้น ความต้องการที่อยู่อาศัยก็ยิ่งมากขึ้น ราคาของที่อยู่อาศัยปรับตัวสูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ส่งผลให้เกิดปัญหา ชุมชนแออัด ชุมชนบุกรุกกระจัดกระจายไปในเมืองต่างๆ รัฐบาลจึงต้องจัดตั้งการเคหะแห่งชาติให้ทำหน้าที่พัฒนาที่อยู่อาศัยให้กับประชาชนที่มีรายได้น้อยและปานกลาง ทั้งในเมืองหลักเมืองรอง และในส่วนภูมิภาค [4] และถึงแม้รัฐบาลจะจัดสรรงบประมาณเป็นจำนวนมากตลอดเวลาหลายสิบปีที่ผ่านมาเพื่อทำให้ประชาชนได้มีที่อยู่อาศัยที่มั่นคงปลอดภัย แต่ครอบครัวผู้มีรายได้น้อยอีกจำนวนมากไม่สามารถเข้าถึงการช่วยเหลือจากรัฐ อาจจะด้วยไม่มีรายได้ประจำที่สามารถผ่อนชำระได้ หรือไม่สามารถขอสินเชื่อได้ [5]

การก่อสร้างที่อยู่อาศัยด้วยวัสดุทั่วไป เช่น คอนกรีต อิฐมอญ คอนกรีตบล็อก มักถูกเลือกเนื่องจากมีความพร้อมใช้งานและมาตรฐานในการใช้งาน แต่ราคาของวัสดุเหล่านี้ได้เพิ่มขึ้นอย่างมากในช่วงหลายปีที่ผ่านมาและสูงกว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของรายได้ [6] ดังนั้นวัสดุดั้งเดิมและวัสดุพื้นเมืองอาจถูกพิจารณาใหม่เพื่อเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ ซึ่งหากนำวัสดุก่อสร้างในท้องถิ่นและปรับการก่อสร้างอาคารให้เหมาะกับวิถีชีวิตในชนบท ภูมิประเทศ ภูมิอากาศ ก็จะเพิ่มศักยภาพในการแก้ปัญหาการขาดแคลนที่อยู่อาศัย ดังเช่นกรณีศึกษาในชนบทของอินเดีย [7] ดินหรือโคลนเป็นวัสดุท้องถิ่นที่ถูกใช้เป็นวัสดุก่อสร้างมานานหลายพันปีมาแล้ว บ้านดินถือว่าเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมด้วยเหตุผลหลายประการ เช่น มีการถ่ายเทความร้อนดีลดอุณหภูมิภายในอาคาร ใช้พลังงานน้อยในการผลิตวัสดุ ลดต้นทุนและพลังงานในการขนส่งเนื่องจากใช้ทรัพยากรในท้องถิ่น [8,9] จึงทำให้มีราคาไม่แพงเมื่อเทียบกับบ้านที่สร้างด้วยคอนกรีตหรืออิฐมอญ เทคนิคการทำบ้านดินที่นิยมกันทั่วไปในประเทศไทยมักใช้อิฐดินดิบ (Adobe brick) ซึ่งใช้ดินผสมกับวัสดุเส้นใยธรรมชาติ [10] เช่น แกลบ หญ้า หรือฟางข้าว ผสม ทราย ปั้นหรือใส่บล็อกทำเป็นอิฐดินแล้วก่อเป็นผนัง แต่ทรายเป็นวัสดุมวลรวมจากธรรมชาติที่ต้องการใช้มากในในอุตสาหกรรมก่อสร้างจึงทำให้การหาแหล่งทรายยากขึ้นและรุกเข้าไปในเขตระบบนิเวศอ่อนไหวมากขึ้น [11] หากสามารถนำวัสดุอื่นมาใช้ทดแทนทรายได้จะช่วยลดปัญหาจากการใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่มากเกินไปที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาว

ปัญหาการจัดการขยะประเภทวัสดุก่อสร้างและรื้อถอน (Construction and demolition waste: CDW) เป็นปัญหาที่หลายประเทศได้พยายามแก้ไขอย่างจริงจัง โดยมีแนวทางคล้ายๆกันคือ ขยะเหล่านี้ต้องได้รับการจัดการด้วยวิธีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และนำกลับมาใช้ใหม่ให้ได้มากที่สุด เพื่อนำไปสู่เศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular economy) ดังเช่นที่ สหภาพยุโรป (European Union: EU) และสหรัฐอเมริกากำลังดำเนินการ [12,13] จะเป็นการสนับสนุนการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ และการบริโภคอย่างยั่งยืน [14] เศษคอนกรีตบล็อกที่แตกหักเสียหายจากกระบวนการขนย้าย ขนส่ง จนใช้งานไม่ได้ต้องทิ้งหรือจากการรื้อถอนทำลายสิ่งปลูกสร้าง จึงกลายเป็นขยะที่พบเห็นได้ทั่วไปในประเทศไทย เพราะคอนกรีตบล็อกเป็นวัสดุก่อสร้างที่ถูกนำไปใช้งานอย่างแพร่หลายในทุกภูมิภาคของประเทศ เนื่องจากมีราคาถูก ผลิตได้ง่าย ดังนั้น หากนำขยะคอนกรีตบล็อกมาบดให้มีขนาดเล็กแล้วใช้เป็นส่วนผสมในก้อนอิฐดินดิบเพื่อทดแทนทรายธรรมชาติก็จะเป็นการจัดการขยะตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน และลดการทำลายระบบนิเวศจากการนำทรายธรรมชาติมาใช้ แต่ในการบดคอนกรีตบล็อกให้มีขนาดเท่ากับขนาดของทราย คือผ่านตะแกรงเบอร์ 4 จะต้องเปลืองแรงงานและเวลา หากต้องการบดให้ได้ปริมาณมากในเวลาอันรวดเร็วต้องใช้เครื่องจักรช่วยบดย่อย ซึ่งจะเป็นการเพิ่มการปล่อยก๊าซเรือนกระจก จึงไม่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และยังมีภาระค่าใช้จ่ายเพิ่ม

งานวิจัยนี้จึงศึกษาผลของขนาดคอนกรีตบล็อกบดที่มีต่อคุณสมบัติความต้านแรงอัดและการดูดซึมน้ำของอิฐดินดิบสำหรับก่อสร้างบ้านดิน โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อต้องการลดการใช้แรงงานคนและเวลาในการบดคอนกรีตบล็อก อันจะนำไปสู่การปฏิบัติได้จริงโดยไม่ต้องพึ่งเครื่องจักรในการบดย่อย

2. วิธีดำเนินงาน

2.1 วัสดุ และการออกแบบส่วนผสม

ออกแบบส่วนผสมอิฐดินดิบโดยใช้อัตราส่วนตามข้อมูลจากศูนย์ข้อมูลกลางทางวัฒนธรรม สำนักงานวัฒนธรรมจังหวัดเพชรบุรี [15] คือ ดิน : แกลบ : ทราย : น้ำ เท่ากับ 3 : 1 : 1 : 1 เป็นตัวอย่างควบคุม และก้อนอิฐดินดิบในการศึกษาใช้เศษคอนกรีตบล็อกบดทดแทนทราย รายละเอียดของวัสดุมีดังนี้ (รูปที่ 1)

1) ดินจากจังหวัดระนอง เป็นดินร่วนเหนียว กลุ่มชุดดิน 53B ตามแผนที่กลุ่มชุดดิน จังหวัดระนอง [16]
2) แกลบดิบที่ได้จากการสีข้าวเปลือก
3) คอนกรีตบล็อกกลวง (Hollow concrete block)ไม่รับน้ำหนัก เป็นก้อนคอนกรีตบล็อก จากร้านค้าวัสดุก่อสร้างทั่วไป ขนาด 7 × 19 × 39 ไม่มี มอก.
4) ทรายแม่น้ำ



รูปที่ 1 ดิน แกลบ และ บล็อกคอนกรีต ที่ใช้ในการวิจัย

2.2 การเตรียมวัสดุ

เตรียมดินโดยร่อนดินผ่านตะแกรงเบอร์ 10 ขนาดของช่องเปิดตะแกรง 2 มิลลิเมตร จากนั้นเตรียมเศษคอนกรีตบล็อกโดยนำก้อนคอนกรีตบล็อกกลวงมาทุบด้วยค้อนปอนด์ให้มีขนาดเล็กลง และคัดแยกขนาดเศษบล็อกโดยตะแกรงร่อนมาตรฐาน (Sieve) ตามมาตรฐาน ASTM C33 [17] โดยใช้ตะแกรง No.4, No.8, No.16 และ No.30 ขนาดช่องเปิดของตะแกรง 4.75, 2.36, 1.18 และ 0.60 มิลลิเมตร ตามลำดับ เพื่อให้ได้ขนาดของเศษบล็อกที่แตกต่างกัน (รูปที่ 2)



รูปที่ 2 เศษคอนกรีตบล็อกบดที่ค้างตะแกรงเบอร์ 4, 8, 16, และ 30

2.3 การเตรียมตัวอย่าง

1. เตรียมดินใส่กระบะ เติมน้ำจนท่วมดิน ขังแช่ไว้ 1 คืน

2. เหยียบดินให้เป็นโคลน ใส่แกลบและทราย (ตัวอย่างควบคุม) ตามสัดส่วนที่กำหนด สำหรับตัวอย่างที่ศึกษาใช้เศษคอนกรีตบล็อกบดทดแทนทราย โดยมี 4 สูตร ด้วยกัน ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนผสมของตัวอย่างอิฐดินดิบ

ตัวอย่าง	อัตราส่วน (โดยปริมาตร) 3 : 1 : 1 : 1
ตัวอย่างควบคุม	ดิน แกลบ ทราย น้ำ
ค้างตะแกรง # 4	ดิน แกลบ เศษบล็อกค้างตะแกรง #4 น้ำ
ค้างตะแกรง # 8	ดิน แกลบ เศษบล็อกค้างตะแกรง #8 น้ำ
ค้างตะแกรง #16	ดิน แกลบ เศษบล็อกค้างตะแกรง #16 น้ำ
ค้างตะแกรง # 30	ดิน แกลบ เศษบล็อกค้างตะแกรง #30 น้ำ

3. เทดินที่ผสมเข้ากันดีแล้วใส่แบบเหล็กที่เตรียมไว้ แบบเหล็กขนาด กว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 40 เซนติเมตร หนา 10 เซนติเมตร

4. อัดดินจนเต็มแบบหล่อ แล้วยกแบบเหล็กออก

5. นำไปตากแดด รวมเป็นระยะเวลา 7 วัน เพื่อให้ก้อนตัวอย่างแห้งสนิททั้งก้อน (รูปที่ 3)



รูปที่ 3 ก้อนอิฐดินดิบ ขนาดยาว 40 × กว้าง 20 × หนา 10 เซนติเมตร

2.4 การทดสอบการต้านแรงอัด

ทดสอบความต้านแรงอัดตามมาตรฐาน มอก. 243 – 2520 [18] ด้วยเครื่องทดสอบแรงอเนกประสงค์ (UNIVERSAL TESTING MACHINE: UTM) (รูปที่ 4) ใช้ก้อนตัวอย่างสำหรับทดสอบ 5 ก้อน ต่อ 1 สูตรผสม โดยก้อนตัวอย่างมีขนาดเท่ากับขนาดอิฐดินดิบจริง



รูปที่ 4 ทดสอบความต้านแรงอัดของก้อนอิฐดินดิบ

2.5 การทดสอบการดูดซึมน้ำ

ทดสอบการดูดซึมน้ำตามมาตรฐาน มอก. 243 – 2520 [18] โดยชั่งน้ำหนักแห้ง จากนั้นนำก้อนตัวอย่างแช่ให้จมน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วใช้ผ้าชื้นซับน้ำตามผิว แล้วชั่งน้ำหนัก เป็นน้ำหนักอิ่มตัว คำนวณร้อยละการดูดซึมน้ำตามสมการที่ (1)

$$\text{ร้อยละการดูดซึมน้ำ} = 100 \times (\text{น้ำหนักอิ่มตัว} - \text{น้ำหนักแห้ง}) / \text{น้ำหนักแห้ง} \quad (1)$$

3 ผลการดำเนินงาน และอภิปราย

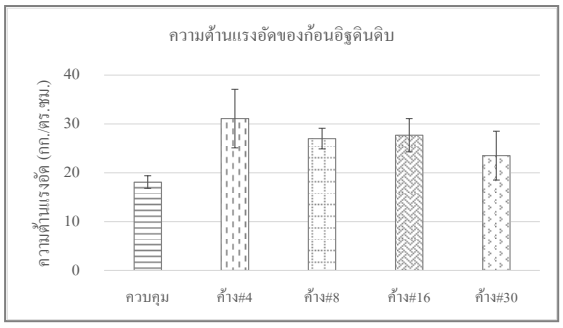
เมื่อก้อนอิฐดินดิบแห้งแล้ว นำมาหาค่าความหนาแน่น และความต้านแรงอัด ได้ผลดังตารางที่ 2 ความหนาแน่นเฉลี่ยของก้อนตัวอย่างที่ใส่เศษคอนกรีตบล็อก มีค่าระหว่าง 1,617 -1,753 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมที่ใช้ทรายเป็นส่วนผสม (1,736 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

ก้อนอิฐดินดิบที่ใช้คอนกรีตบล็อกบดทดแทนทราย มีความต้านแรงอัดเฉลี่ยอยู่ในช่วง 23.5-31.1 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งสูงกว่าตัวอย่างควบคุม (18.1 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) ร้อยละ 72.2, 49.3, 53.1, และ 29.9 เมื่อใช้บล็อกบดขนาดค้างตะแกรงเบอร์ 4, เบอร์ 8, เบอร์ 16, และ เบอร์ 30 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบก้อนอิฐดินดิบ

ตัวอย่าง	ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	ความต้านแรงอัด (กก./ตร.ซม.)
ตัวอย่างควบคุม (ทราย)	1,736 ± 40	18.1 ± 1.3
ค้างตะแกรง # 4	1,682 ± 22	31.1 ± 6.0
ค้างตะแกรง # 8	1,617 ± 17	27.0 ± 2.1
ค้างตะแกรง #16	1,753 ± 30	27.7 ± 3.4
ค้างตะแกรง #30	1,686 ± 23	23.5 ± 5.0

ขนาดของเศษคอนกรีตบล็อกบดมีผลต่อความต้านแรงอัด นั่นคืออิฐดินที่ผสมเศษบล็อกที่มีขนาดใหญ่สุดคือใหญ่กว่า 4.75 มิลลิเมตร (ค้างตะแกรงเบอร์ 4) มีความต้านแรงอัดสูงที่สุดเท่ากับ 31.1 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งสูงกว่าตัวอย่างควบคุมถึงร้อยละ 72.2 และความต้านแรงอัดมีแนวโน้มลดลงตามขนาดของเศษบล็อกที่ลดลง เมื่อพล็อตกราฟความต้านแรงอัดของอิฐดินดิบที่ใช้เศษคอนกรีตบล็อกขนาดต่างๆ ทดแทนทรายจะได้ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ความต้านแรงอัดของอิฐดินดิบ ที่ผสมเศษบล็อกขนาดต่างกัน

ก้อนอิฐดินที่ผสมเศษบล็อกขนาดค้างตะแกรงเบอร์ 4 มีค่าความต้านแรงอัดสูงสุดอาจเป็นเพราะว่า หินฝุ่นซึ่งเป็นวัตถุดิบในการผลิตคอนกรีตบล็อกนั้นค้างตะแกรงอยู่ด้วย นั่นคือเศษบล็อกขนาดค้างตะแกรงเบอร์ 4 ประกอบไปด้วย หินฝุ่น เศษมอร์ตาร์ เศษซีเมนต์เพสต์ จึงอาจเป็นไปได้ว่าความต้านแรงอัดที่สูงของอิฐดินดิบสูตรนี้เป็นผลมาจากหินฝุ่น ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาเรื่องคุณสมบัติของมอร์ตาร์ที่ใช้หินฝุ่นแทนทราย [19] ที่พบว่า กำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ผสมหินฝุ่นมีค่าสูงกว่ามอร์ตาร์มาตรฐาน ทุกอัตราส่วนผสม ซึ่งปริญญา และ ชัย (2556) [20] ระบุว่า มวลรวมที่เป็นหินฝุ่นซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าทรายจะให้กำลังอัดประลัยดีกว่า

มาตรฐานคุณสมบัติของอิฐดินดิบกำหนดว่า ต้องมีความแข็งแรงรับแรงอัดได้ไม่ต่ำกว่า 21 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร [21] ซึ่งเมื่อพิจารณาก้อนตัวอย่างควบคุมที่ใช้ทรายเป็นส่วนผสม มีความต้านแรงอัดเฉลี่ย 18.1 ± 1.3 นั้นต่ำกว่ามาตรฐานเล็กน้อย แต่ก้อนตัวอย่างที่ผสมด้วยเศษบล็อกแทนทรายมีค่าความต้านแรงอัดสูงกว่ามาตรฐานทุกสูตร

การทดสอบการดูดซึมน้ำของก้อนตัวอย่างอิฐดินเมื่อแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ไม่สามารถคำนวณร้อยละการดูดซึมได้ เนื่องจากมีการดูดซึมน้ำมากเกินไปจนทำให้ก้อนตัวอย่างไม่คงรูป มีบางส่วนละลายในน้ำ แต่จากการสังเกตด้วยสายตา พบว่า ก้อนตัวอย่างที่ผสมด้วยเศษบล็อกขนาดเล็กสุด (ค้างตะแกรงเบอร์ 30) จะคงสภาพอยู่มากที่สุด และมีการเสียสภาพมากขึ้นตามขนาดของเศษบล็อกที่ใหญ่ขึ้น โดยก้อนที่ผสมด้วยเศษบล็อกขนาดใหญ่ที่สุด (ค้างตะแกรงเบอร์ 4) มีการดูดซึมน้ำและเสียสภาพมากที่สุด แสดงว่าขนาดของเศษคอนกรีตบล็อกมีผลต่อการดูดซึมน้ำของอิฐดินดิบ โดยความสามารถในการดูดซึมน้ำแปรผกผันกับขนาดของเศษคอนกรีตบล็อกที่เป็นส่วนผสม (รูปที่ 6) อาจเป็นเพราะเมื่อผสมเศษบล็อกขนาดใหญ่ในอิฐดินจะทำให้เกิดช่องว่างหรือโพรงขนาดใหญ่ในเนื้อของอิฐดิน จึงทำให้น้ำซึมผ่านเข้าไปง่ายกว่า สำหรับก้อนตัวอย่างควบคุมมีการดูดซึมน้ำและการเสียรูปคล้ายกับก้อนตัวอย่างที่ผสมด้วยเศษบล็อกขนาดค้างตะแกรงเบอร์ 8 และเบอร์ 16



(ก)



(ข)

รูปที่ 6 อิฐดินดิบหลังจากแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (ก) ตัวอย่างควบคุม (ข) ผสมเศษบล็อกค้างตะแกรงเบอร์ 4, 8 , และ 30 ตามลำดับ

4. สรุป

ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า ความต้านแรงอัดของก้อนอิฐดินดิบตัวอย่างที่ผสมเศษคอนกรีตบล็อกบดร่อนค้างตะแกรงเบอร์ 4 ทดแทนทรายจะให้ค่าความต้านแรงอัดเป็น 31.1± 6.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับก้อนตัวอย่างอื่นๆ และสูงกว่าตัวอย่างควบคุมคิดเป็นร้อยละ 72.2 ซึ่งอาจเป็นผลมาจากหินฝุ่นที่เป็นส่วนผสมในคอนกรีตบล็อกทำให้ความต้านแรงอัดของก้อนอิฐดินดิบเพิ่มขึ้น และก้อนตัวอย่างจากสูตรผสมอื่นที่มีขนาดของเศษบล็อกขนาดเล็กลงจะมีความต้านแรงอัดที่ลดลงแต่สูงกว่าก้อนตัวอย่างควบคุม ส่วนการดูดซึมน้ำของก้อนตัวอย่างอิฐดินดิบที่เวลา 24 ชั่วโมงไม่สามารถแปลผลได้ เนื่องจากดูดซึมน้ำมากจนเสียรูป แต่สามารถสังเกตได้ว่าก้อนตัวอย่างที่ผสมเศษบล็อกขนาดเล็กที่สุดคือ 0.60 – 1.18 มิลลิเมตร (ค้างตะแกรงเบอร์ 30) ดูดซึมน้ำน้อยที่สุดและคงสภาพอยู่มากที่สุดเพราะโพรงหรือช่องว่างภายในก้อนอิฐดินมีขนาดเล็ก น้ำจึงซึมเข้าไปได้ช้า

จึงอาจกล่าวได้ว่า การนำเศษคอนกรีตบล็อกมาผสมแทนทรายเพื่อผลิตอิฐดินดิบจึงมีความเป็นไปได้ และหากใช้เศษบล็อกขนาดใหญ่เป็นส่วนผสมก็จะสามารถเพิ่มความต้านแรงอัดให้ก้อนอิฐดินดิบ แต่ถ้าใช้เศษบล็อกขนาดเล็กเป็นส่วนผสมก็จะลดการดูดซึมน้ำทำให้มีความทนทานต่อสภาพภูมิอากาศในฤดูฝนได้ ซึ่งการนำเศษคอนกรีตบล็อกมาใช้ทดแทนทรายนี้นอกจากจะช่วยลดปริมาณการใช้ทรัพยากรธรรมชาติแล้วยังลดการกำจัดขยะก่อสร้าง ซึ่งเป็นการนำของเสีย (Waste) จากการใช้ผลิตภัณฑ์ (Product) มาเป็นวัตถุดิบของผลิตภัณฑ์อื่นตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียนที่เป็นแนวทางหนึ่งสำหรับการพัฒนาอย่างยั่งยืน

เอกสารอ้างอิง

[1] J. Bredenoord and Y. Kulshreshtha, “Compressed stabilized earthen blocks and their use in low-cost social housing,” *Sustainability,* vol. 15, Mar. 2023, Art. no. 5295, doi: 10.3390/su15065295.

[2] United Nations, “The 17 Goals,” https://sdgs.un.org/goals/goal11 (accessed Feb. 1, 2023).

[3] นณริฏ พิศลยบุตร, “การพัฒนาคุณภาพที่อยู่อาศัยของคนจนในชนบท,” https://tdri.or.th/2015/07/low-income-housing/ (เข้าถึงเมื่อ 14 มีนาคม 2566).

[4] Chantawan U., “การพัฒนาที่อยู่อาศัยเพื่อผู้มีรายได้น้อย,” https://thinkofliving.com/ข่าว/การพัฒนาที่อยู่อาศัยเพื่อผู้มีรายได้น้อย-316302/ (เข้าถึงเมื่อ 14 มีนาคม 2566).

[5] จงจิตร วิทย์ประเสริฐกุล, “Housing Situation,” *วารสาร ข้อมูลที่อยู่อาศัยแห่งชาติ,* ปีที่ 1, ฉบับที่ 2, กรกฎาคม - กันยายน 2565. https://housingkc.nha.co.th/files/article/attachments/3a778482c16f46ccd344ac2f85c835bb.pdf (เข้าถึงเมื่อ 1 กุมภาพันธ์ 2566).

[6] B. S. Bhide, D. B. Gupta, T. Buragohain, D. V. Sethi, S. Kumar , and S. K. Bathla, 2010. "Roof above the head : Qualitative assessment of rural housing in India," Development Economics Working Papers 23073, East Asian Bureau of Economic Research.

[7] Y. Kulshreshtha, N. J. A. Mota, K. S. Jagadish, J. Bredenoord, P. J. Vardon, M. C. M. van Loosdrecht, and H. M. Jonkers, “The

potential and current status of earthen material for low-cost housing in rural India," *Construction and Building Materials*, vol. 247, Jun. 2020, Art. no. 118615, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.118615.

[8] J. C. Morel, A. Mesbah, M. Oggero, and P. Walker, "Building houses with local materials: means to drastically reduce the environmental impact of construction," *Building and Environment,* vol. 36, no. 10, pp. 1119-1126, Dec. 2001.

[9] ประมุข บุญศิลป์ และ ศาสตรา เหล่าอรรคะ, "บ้านดิน: ประวัติความเป็นมาและการประยุกต์ใช้ภูมิปัญญา เพื่อการพัฒนาที่อยู่อาศัยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ," *วารสารสังคมศาสตร์และมานุษยวิทยาเชิงพุทธ*, ปีที่ 6, ฉบับที่ 10, หน้า 279-296, ตุลาคม 2564.

[10] ฐปนา วชิรมาศ, "การสร้างบ้านดิน ทางลัดของคนอยากมีบ้าน," https://www.baanlaesuan.com/79931/diy/diy101/baan-din (เข้าถึงเมื่อ 19 มกราคม 2566).

[11] UN Environment Programme, "Global Sand Observatory Initiative," https://unepgrid.ch/en/activity/sand (accessed Feb. 1, 2023).

[12] T. Napier, "Construction Waste Management," Whole Building Design Guide, https://www.wbdg.org/resources/construction-waste-management (accessed Feb. 1, 2023).

[13] European Commission, "Construction and demolition waste," https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/construction-and-demolition-waste_en (accessed Feb. 1, 2023).

[14] วริสรา เลิศไพฑูรย์พันธ์ และ สมบัติ โพชนา, "บล็อกประสานมวลเบาบดเป็นมวลรวมสำหรับการผลิตบล็อกใหม่: หนทางสู่เศรษฐกิจหมุนเวียน," *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 27,* เชียงราย, 24-26 สิงหาคม 2565, หน้า ENV03-1 - ENV03-6.

[15] สำนักงานวัฒนธรรมจังหวัดเพชรบุรี "การทำก้อนอิฐดินดิบ (บ้านดิน)," http://www.m-culture.in.th/album/121172/การทำก้อนอิฐดินดิบ_บ้านดิน_ (เข้าถึงเมื่อ 19 มกราคม 2566).

[16] สถานีพัฒนาที่ดินจังหวัดระนอง "แผนที่กลุ่มชุดดิน จังหวัดระนอง," http://r1 1 .ldd.go.th/station/rng/index.php/blog/2 5 -about-your-home-page (เข้าถึงเมื่อ 14 มีนาคม 2566).

[17] *Specification for Concrete Aggregates*, ASTM Standard C33, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2003, doi: 10.1520/C0033-03

[18] *วิธีชักตัวอย่างและทดสอบอิฐและอิฐกลวง,* มอก. 243 เล่ม 1-2520, 2520.

[19] ชูเกียรติ ชูสกุล และ ขวัญชีวา หยงสตาร์, "กำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ใช้หินฝุ่นแทนทราย," *วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย*, ปีที่ 10, ฉบับที่ 2, หน้า 324-332, 2561.

[20] ปริญญา จินดาประเสริฐ และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, *ปูนซีเมนต์ ปอซโซลาน และคอนกรีต*. พิมพ์ครั้งที่ 7. สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ, 2556.

[21] ณภัทร ศรีวัฒนประยูร, *เรื่องน่ารู้ของบ้านดินที่สร้างด้วยอิฐดินดิบ*, สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี, 2557.

[22] D. S. Babu, K. G. Babu, and W. Tiong-Huan, "Effect of polystyrene aggregate size on strength and moisture migration characteristics of lightweight concrete," *Cement & Concrete Composites*, vol. 28, pp. 520-527, 2006.

การประยุกต์ใช้แบบจำลองการถดถอยเพื่อพัฒนาการถอดปริมาณงานโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยซอฟท์แวร์บิม

Application of Regression Model to Develop Quantity Take-off Processes for Reinforce Concrete Building using BIM Software

ไพจิตร ผาวัน[1,*] และ ภาสกร เมฆอากาศ[2]
[1] *ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม จ.กรุงเทพมหานคร*
[2] *ผู้จัดการฝ่ายแบบจำลองสารสนเทศอาคาร บริษัทออน ไทม์คอนสตรั๊คชั่นแอนด์แมนเนจเมนท์ จำกัด*
**Corresponding author; E-mail address: paijit.pa@spu.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการประยุกต์ใช้ซอท์ฟแวร์บิมถอดปริมาณงานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยใช้ซอฟต์แวร์บิมพัฒนาแบบจำลองโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก 3 มิติ ของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก 7 ชั้น กำหนดระดับขั้นการพัฒนา 300 (LOD300) และระดับขั้นการพัฒนา 350 (LOD350) แบบจำลองจะแสดงจุดต่อและชิ้นส่วนของอาคาร ได้แก่ ปริมาณคอนกรีต ไม้แบบ เหล็กเสริม จากนั้นสร้างสมการถดถอยเพื่อคำนวณปริมาณงานโครงสร้าง ฐานราก เสา คาน พื้น ตามความละเอียดของแบบจำลองที่ระดับขั้นการพัฒนา LOD300 และ LOD350 และนำไปเปรียบเทียบกับใบเสนอราคาของโครงการ (BOQ) ผลการวิจัยพบว่าแบบจำลองการถดถอยเพื่อคำนวณปริมาณงานโครงสร้าง คอนกรีตแบบหล่อ เหล็กเสริม RB6 RB9 DB12 DB16 DB20 และ DB25 สำหรับ LOD300 มีค่าน้อยกว่า LOD350 แสดงให้เห็นว่าที่ระดับขั้นการพัฒนาแบบจำลองมีผลต่อการถอดปริมาณวัสดุโครงสร้างวิศวกรรม

คำสำคัญ: แบบจำลองสารสนเทศอาคาร, การถอดปริมาณ, ระดับความละเอียด

Abstract

The objective of this research was to apply BIM software for quantity take-off of reinforced concrete structures. A case study was a 4-storey reinforced concrete building. BIM software was used to develop a 3D reinforced concrete structure model at a level of development 300 (LOD300) and 350 (LOD350). The model showed the connection points and parts of the building, i.e. the quantity of concrete, formworks, and reinforced steels, and then regression equations were created to calculate the quantity of structural elements, i.e. foundations, columns, beams, floors according to LOD300 and LOD350. The quantity of materials taken-off from the BIM models were compared to the Bill of Quantities (BOQ). The results showed that the regression equations for quantity take-off of concrete, formwork, RB6, RB9, DB12, DB16, DB20, and DB25 from the LOD300 model were less than those from the LOD350. This concluded that the LOD influences the quantity of structural materials taken-off.

Keywords**:** Building Information Modeling, Quantity Take-off, Level of Development

1. คำนำ

แบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Modeling : BIM) เป็นการทำงานผ่านเทคโนโลยีที่ซอฟต์แวร์ทำงาน เพื่อรองรับระบบ BIM โดยเน้นการทำงานแบบจำลอง ภายในระบบจะมีค่าพารามิเตอร์ (Parametric Object-Based) ซึ่งจัดเก็บข้อมูล (Data) ต่าง ๆ ในรูปแบบของ 2 มิติ (2 Dimension : 2 มิติ) และ 3 มิติ (3 Dimension : 3 มิติ) ซึ่งการทำงานจะสามารถประมวลผลได้ทั้ง ผังพื้น รูปด้าน รูปตัด ทัศนียภาพ รวมถึงการถอดปริมาณงานด้านการก่อสร้าง [1] BIM สามารถสร้างความสัมพันธ์ด้านตัวแปร (Parameter) ระหว่างองค์ประกอบในแบบจำลองอาคาร เก็บไว้ในฐานข้อมูลกลาง ทำให้สามารถแก้ไขเปลี่ยนขนาดและระยะต่างๆ ของงานออกแบบได้สะดวกรวดเร็ว [2]

แต่อย่างไรก็ตาม องค์ประกอบของข้อมูล และขั้นตอนการจัดการข้อมูลภายในกระบวนการ BIM จะขึ้นอยู่กับระดับขั้นของการพัฒนา (Level of Development : LOD) ซึ่งเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการพัฒนาแบบจำลอง สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.) ได้กำหนดระดับชั้นของการพัฒนา ไว้ 5 ระดับ คือ LOD100 LOD200 LOD300 LOD350 และLOD400 เพื่อให้ข้อมูลมีความเชื่อมโยงกับงานด้านอื่นๆ มากขึ้น [3] ซึ่งถ้าผู้พัฒนาแบบจำลอง (Modeler) ขาดทักษะและความเข้าใจเกี่ยวกับหลักการทำงานของซอฟต์แวร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งความเข้าใจเกี่ยวกับระดับขั้นของการพัฒนาระดับกับขั้นตอนการก่อสร้างต่างๆ ก็จะทำให้การทำงานเกิดความ ผิดพลาดคลาดเคลื่อนล่าจากความเป็นจริง

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อ พัฒนาแบบจำลองการถดถอยในการถอดปริมาณงานโครงสร้างอาคารจอดรถคอนกรีตเสริมเหล็ก 7 ชั้น จากการใช้ซอฟต์แวร์บิมที่ระดับขั้นของการพัฒนา LOD300 และ LOD350

2. แบบจำลองสารสนเทศอาคาร

กระบวนการแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM) จะต้องอาศัยซอฟต์แวร์บิม (Software BIM) ช่วยในการพัฒนาแบบจำลอง 3 มิติ และที่สำคัญผู้พัฒนาแบบจำลอง จะต้องมีความเข้าใจระดับชั้นของการพัฒนา (LOD) โดยมีรายละเอียด ดังนี้

2.1 หลักการและกระบวนการแบบจำลองสารสนเทศอาคาร

กระบวนการ BIM เป็นการสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคารขึ้นด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์/ซอฟต์แวร์บิม [4] ซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลกราฟิก (Graphics) ที่เป็นทั้ง 2 มิติ/3 มิติ และข้อมูลที่ไม่ใช่กราฟิก (Non-Graphics) รวมไว้ที่ฐานข้อมูลกลางของระบบ ที่แสดงผลในรูปของตารางรายการข้อมูลต่างๆ โดยการสร้างความสัมพันธ์ด้านตัวแปร (Parameter) ระหว่างองค์ประกอบในแบบจำลองอาคาร ทำให้สามารถปรับเปลี่ยนขนาดและระยะต่างๆ ของการพัฒนางานออกแบบสถาปัตยกรรม วิศวกรรม และการก่อสร้าง (Architecture Engineering Construction : AEC) ได้สะดวกรวดเร็วมากยิ่งขึ้น [5]

2.2 การพัฒนาแบบจำลอง

2.2.1 ซอฟท์แวร์ BIM

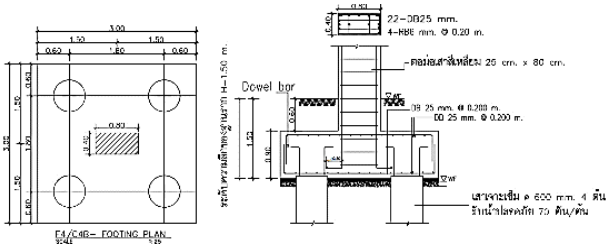
กระบวนการการทำงานของ BIM ต้องอาศัย ซอฟต์แวร์บิม ซึ่งเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ช่วยพัฒนาแบบจำลอง 3 มิติ ในปัจจุบันมีซอฟต์แวร์รองรับหลายสาขาวิชาชีพ ได้แก่ ด้านสถาปัตยกรรม ด้านวิศวกรรมโครงสร้าง ด้านวิศวกรรมระบบประปาและสุขาภิบาล สำหรับซอฟต์แวร์บิม ที่นิยมใช้งานกันอย่างแพร่หลาย [6]

2.2.2 ระดับขั้นของการพัฒนา

สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.) เป็นสมาคมที่เกี่ยวข้องกับงานวิศวกรรม โดยได้กำหนดมาตรฐานที่มีการทำงานร่วมกันระหว่าง วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยฯ กับสภาวิชาชีพ สมาคมวิชาชีพ นักวิชาการ และนักวิชาชีพที่เกี่ยวข้องกำหนดระดับชั้นพัฒนา LOD ตามขอบเขตในการสร้างแบบจำลองอาคาร ตั้งแต่ขั้นแบบร่างเบื้องต้น (Schematic Design) ไปจนถึงขั้นแบบรายละเอียดงานก่อสร้าง (As-Build) [7] ในขณะที่สมาคมสถาปนิกสยาม ได้กำหนดระดับขั้นพัฒนา LOD เป็น 2 ส่วน คือ ข้อมูลกราฟิก (Graphics) หมายถึงตัวแบบจำลองที่เป็นส่วนของแบบจำลอง 3 มิติ และ 2 มิติ ข้อมูลที่ไม่ใช่กราฟิก (Non-Graphics) เพื่อให้สอดคล้องกับขั้นตอนการทำงานออกแบบสถาปัตยกรรม 5 ขั้นตอน 1. ขั้นแนวความคิดในการออกแบบ และการทำแบบร่าง 2. ขั้นการพัฒนาแบบ 3. ขั้นการจัดทำแบบก่อสร้าง 4. ขั้นตอนการจัดทำแบบเพื่อทำงานจริงในสถานที่ก่อสร้าง และ 5. ขั้นตอนการจัดทำแบบเพื่อทำงานจริง ตามที่ได้ก่อสร้างไปแล้ว [8]

2.2.3 การถอดปริมาณวัสดุโครงสร้างวิศวกรรม

การถอดปริมาณวัสดุ เป็นกระบวนการหรือวิธีการเพื่อให้ได้มาซึ่งปริมาณวัสดุที่ใกล้เคียงกับค่าปริมาณที่เป็นจริงในงานก่อสร้างมากที่สุด โดยทั่วไปจะใช้แบบ 2 มิติ (2 Dimension : 2 มิติ) ที่เป็นแบบขยาย ช่วยในการถอดปริมาณวัสดุ ดังตัวอย่างฐานรากรูปที่ 1



รูปที่ 1. แบบขยายฐานราก 2 มิติ

2.2.4 การเผื่อปริมาณวัสดุ

การเผื่อปริมาณวัสดุในงานก่อสร้างอาคาร วสท. ได้กำหนดรายละเอียดไว้ในส่วนของหลักเกณฑ์การคำนวณปริมาณงาน [9] ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การเผื่อปริมาณเหล็กเสริมตามมาตรฐาน วสท.

เหล็กเสริมเส้นกลมผิวเรียบ	เปอร์เซ็นต์เผื่อ (%)	เหล็กเสริมเส้นกลมผิวข้ออ้อย	เปอร์เซ็นต์เผื่อ (%)
RB6	5	DB12	9
RB9	7	DB16	11
RB12	9	DB20	13
RB16	11	DB25	15
RB20	13	DB28	15
RB25	15	DB32	15

2.3 แบบจำลองการถดถอย

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นเชิงเดี่ยว หรือการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression Analysis) เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง ด้วยการศึกษาตัวแปรต้น (x) หนึ่งตัว กับตัวแปรตาม (y) หนึ่งตัว ซึ่งเป็นความสัมพันธ์แทนด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ ดังสมการที่ (1)

$$y = \beta_0 + \beta_1 x \qquad (1)$$

โดยที่ y แทนข้อมูลผลลัพธ์ที่ได้ (output)

β_0 แทนค่าคงที่ของสมการถดถอย ซึ่งเป็นค่าจุดตัดแกน y ของสมการ 1

$\beta_1 x$ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย ของตัวตอบสนอง x

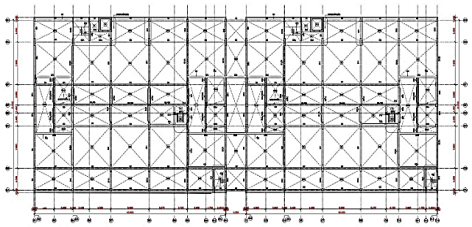
2.4 การวัดประสิทธิภาพของแบบจำลอง

เทคนิคที่ใช้วัดความถูกต้องของแบบจำลองการถดถอย มีหลายตัว ได้แก่ ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง (Mean Squared Error : MSE) และค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Root Mean Square Error : RMSE) ซึ่งเป็นวิธีการวัดค่าความคลาดเคลื่อนแบบมาตรฐาน ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยค่าที่ได้ยิ่งน้อยจะยิ่งแสดงว่าแบบจำลองที่ได้มีความแม่นยำมาก สำหรับค่า Coefficient of determination หรือค่า R-square (R^2) เป็นค่าที่ใช้พิสูจน์ว่าแบบจำลองที่ได้นั้นเหมาะสมหรือไม่ โดยมีค่า 0-1 ซึ่งยิ่งเข้าใกล้ 1 ยิ่งดี โดยทั่วไปควรมีค่ามากกว่า 0.6 จะถือว่าแบบจำลองที่ ได้เป็นแบบจำลองที่ดี [10]

3. วิธีการดำเนินงาน

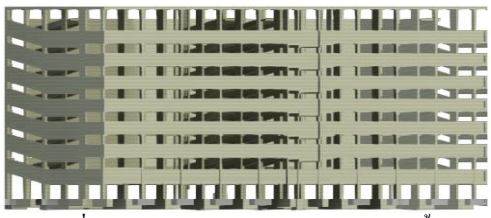
3.1 พัฒนาแบบจำลองจากซอฟท์แวร์บิม

พัฒนาแบบจำลองสารสนเทศอาคาร ด้วยซอฟต์แวร์บิม Autodesk Revit เฉพาะส่วนงานโครงสร้างวิศวกรรมจากแบบก่อสร้างของโครงการอาคารจอดรถ คสล. 7 ชั้น ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2. แบบแปลนคานพื้นอาคารจอดรถ คสล. 7 ชั้น

จากแบบ 2 มิติของโครงการ ผู้วิจัยได้นำมาพัฒนาเป็นแบบ 3 มิติ ด้วยระดับขั้นของการพัฒนา LOD300 และ LOD350 ดังรูปที่ 3

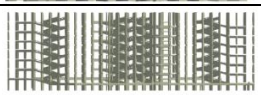
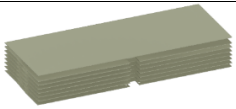
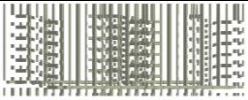


รูปที่ 3. แบบจำลอง 3 มิติ อาคารจอดรถ คสล. 7 ชั้น

3.2 การพัฒนาแบบจำลองการถดถอยการถอดปริมาณงานโครงสร้าง

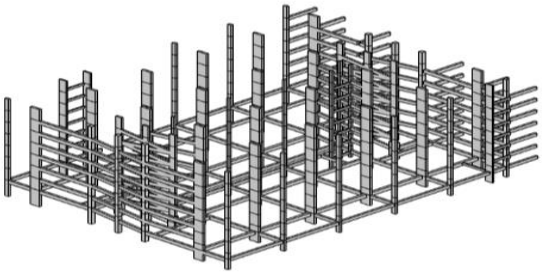
การพัฒนาแบบจำลองการถดถอยการถอดปริมาณงานโครงสร้าง เริ่มจาก พัฒนาแบบจำลอง 3มิติ ที่ระดับขั้นของการพัฒนา LOD300 และ LOD350 แล้ว ขั้นตอนนี้จะทำการแยกองค์อาคาร (Member) และจุดต่อ (Joint) ในแต่ละชั้น ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การแยกองค์อาคาร และจุดต่อแต่ละชั้นของอาคาร

Layers	Geometry
Structural Column/Framing	
Structural Floor	
Member	
Joint	

3.2.1 การแยกองค์อาคารและจุดต่อ

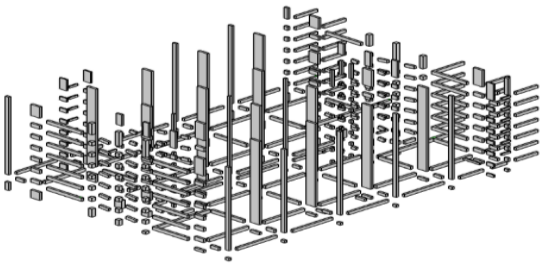
การแยกอาคารและจุดต่อของโครงสร้างอาคารเพื่อคำนวณปริมาณงานคอนกรีต แบบหล่อ และเหล็กเสริม เริ่มจากพัฒนาโครงสร้าง 3มิติ ที่ระดับขั้นของการพัฒนา LOD300 และ LOD350 ดังรูปที่ 4 จากนั้นจึงทำการแยกองค์อาคาร (Member) ออกจากจุดต่อ (Joint) เพื่อพิจารณาความแตกต่างระหว่างองค์อาคาร กับ จุดต่อ



รูปที่ 4. แบบจำลอง 3 มิติ โครงสร้างอาคารจอดรถ คสล. 7 ชั้น

3.2.2 องค์อาคาร (Member)

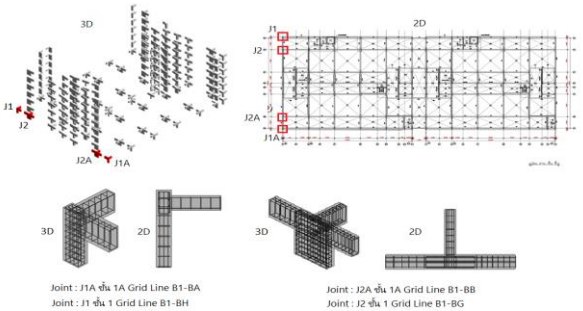
การแยกองค์อาคาร ได้แก่ ฐานราก เสา คาน และพื้น ออกจากจุดต่อสามารถทำได้ ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5. แบบจำลององค์อาคาร 3 มิติ โครงสร้างอาคารจอดรถ คสล. 7 ชั้น

3.2.3 จุดต่ออาคาร (Joint)

จุดต่ออาคาร เป็นการแยกจุดเชื่อมต่อระหว่างองค์อาคาร เช่น ฐานรากกับเสา เสากับคาน และเสาแต่ละชั้นออกจากกันเป็นจุด ๆ ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6. แบบจำลองจุดต่อ 3 มิติ โครงสร้างอาคารจอดรถ คสล. 7 ชั้น

4. การวิเคราะห์แบบจำลอง

4.1 การวิเคราะห์ปริมาณวัสดุ

การวิเคราะห์ปริมาณวัสดุบริเวณจุดต่อโครงสร้าง ที่ระดับขั้นการพัฒนา LOD300 และ LOD350 ตามที่ได้ออกแบบงานวิจัยนี้ไว้ ดังตารางที่ 3 และตารางที่ 4

ตารางที่ 3 ปริมาณงานบริเวณจุดต่อโครงสร้าง (Joint) LOD300

No.	Geometry Joint	Concrete (m^3)	Formwork (m^2)	เหล็กเสริมคอนกรีต (kg.)				
				DB25	DB20	DB16	RB9	RB6
1	J1A,J1	1.29	7.60	227	-	-	19	9
2	J2A,J2	2.59	13.48	1937	-	-	37	25
3	J3A,J3	18.43	14.86	1937	-	-	61	149
4	J4	1.00	11.63	92	25	-	19	3
5	J5A,J5	15.95	8.63	1041	494	-	236	68
6	J6	1.62	16.26	258	-	-	315	19
7	J7A	2.75	12.98	950	-	-	30	41
8	J8A	1.21	11.48	177	-	-	4	12
9	J9A,J9	6.46	6.65	1319	-	-	-	170
10	J10A	18.45	17.90	2817	-	-	-	221
11	J11A	1.53	15.95	256	-	-	26	21
12	J12A	1.34	16.84	111	56	-	97	6
13	J13	1.57	16.44	247	-	9	23	21
14	J14	5.14	10.96	1495	-	-	30	122
15	J15A	12.73	33.94	853	1174	-	-	122
16	J16A	5.01	8.52	1801	-	-	-	129
17	J17	1.60	10.40	144	-	-	18	17
18	J18	5.04	5.84	-	-	337	-	99
19	J19	0.83	9.76	135	-	-	16	5
20	J20	0.80	9.50	124	-	-	13	5
21	J21	0.79	9.50	135	-	-	9	7
22	J22	2.61	5.18	510	-	-	27	27
23	J23	1.34	14.91	330	-	-	20	23
24	J24	6.20	16.39	925	-	-	30	90
25	J25	6.50	11.06	1090	-	-	41	137
26	J26	3.23	16.32	608	-	-	55	42
27	J27	1.34	13.59	248	-	-	144	12
28	J28	5.07	8.41	1972	-	-	-	74
29	J29	1.15	10.63	231	-	-	6	21
30	J30	4.10	8.41	1208	-	-	34	85
31	J31A,J31	13.81	8.62	1442	413	-	1844	64
32	J32A	1.02	10.90	96	24	-	11	6
33	J33	1.33	14.42	164	42	9	4	7
34	J34	0.63	6.32	56	24	-	-	4
..	...	…	...	...	...	...	...	...
..	...	…	...	...	...	...	...	...
50	J50A	2.52	5.84	-	-	169	-	45
รวม		209.98	649.28	32917	2847	838	3788	2664

ตารางที่ 4 ปริมาณงานบริเวณจุดต่อโครงสร้าง (Joint) LOD350

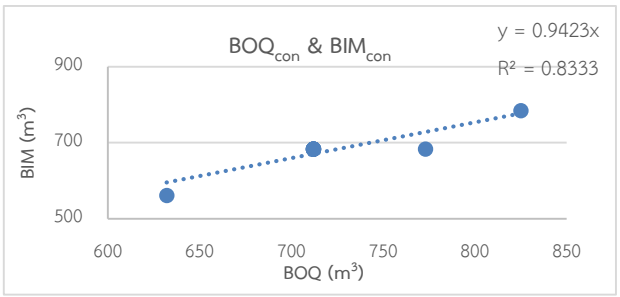
No.	Geometry Joint	Concrete (m^3)	Formwork (m^2)	เหล็กเสริมคอนกรีต (kg.)				
				DB25	DB20	DB16	RB9	RB6
1	J1A,J1	1.29	7.60	231	-	-	21	10
2	J2A,J2	2.59	13.48	498	-	-	41	26
3	J3A,J3	18.43	14.86	1963	-	-	67	157
4	J4	1.00	11.63	99	25	-	21	4
5	J5A,J5	15.95	8.63	1120	494	-	-	73
6	J6	1.62	16.26	262	-	-	347	20
7	J7A	2.75	12.98	992	-	-	33	43
8	J8A	1.21	11.48	179	-	-	5	13
9	J9A,J9	6.46	6.65	1319	-	-	-	183
10	J10A	18.45	17.90	2817	-	-	-	239
11	J11A	1.53	15.95	260	-	-	28	23
12	J12A	1.34	16.84	114	56	-	111	6
13	J13	1.57	16.44	252	-	10	25	22
14	J14	5.14	10.96	1547	-	-	33	118
15	J15A	12.73	33.94	853	1174	-	-	141
16	J16A	5.01	8.52	1864	-	-	-	136
17	J17	1.60	10.40	148	-	-	20	18
18	J18	5.04	5.84	-	-	346	-	107
19	J19	0.83	9.76	138	-	-	17	5
20	J20	0.80	9.50	125	-	-	15	5
21	J21	0.79	9.50	137	-	-	10	7
22	J22	2.61	5.18	521	-	-	30	31
23	J23	1.34	14.91	336	-	-	22	25
24	J24	6.20	16.39	965	-	-	33	95
25	J25	6.50	11.06	1127	-	-	45	145
26	J26	3.23	16.32	617	-	-	60	44
27	J27	1.34	13.59	255	-	-	160	13
28	J28	5.07	8.41	2035	-	-	-	79
29	J29	1.15	10.63	236	-	-	6	22
30	J30	4.10	8.41	1237	-	-	37	92
31	J31A,J31	13.81	8.62	1553	413	-	2045	69
32	J32A	1.02	10.90	104	24	-	12	6
33	J33	1.33	14.42	174	42	10	5	8
34	J34	0.63	6.32	61	24	-	-	4
...	...	…	...	...	...	...	...	...
...	...	…	...	...	...	...	...	...
50	J50A	2.52	5.84	-	-	173	-	49
รวม		209.98	649.28	34533	2847	864	4085	2931

4.1.1 แบบจำลองการถดถอยเพื่อการถอดปริมาณคอนกรีต

แบบจำลองการถดถอยเพื่อการถอดปริมาณงานคอนกรีตของโครงสร้างอาคาร คสล. 7 ชั้น ที่ระดับขั้นของการพัฒนา LOD300 และ LOD350 มีปริมาณคอนกรีตเท่ากัน โดยได้สมการแบบจำลอง คือ $y = 0.9423x$ ซึ่งมีค่า $R^2 = 0.8333$ ดังตารางที่ 5 และรูปที่ 7

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์ปริมาณคอนกรีตที่ระดับขั้นของการพัฒนา LOD300

ลำดับ	ชั้น	ปริมาณคอนกรีต (m^3)		R^2	Model
		BOQ_{con} (x)	BIM_{con} (y)		
1	ฐานราก	825	784	0.8333	Y=0.9423x
2	ชั้น 1	773	683		
3	ชั้น 2	712	683		
4	ชั้น 3	712	683		
5	ชั้น 4	712	683		
6	ชั้น 5	712	683		
7	ชั้น 6	712	683		
8	ชั้น 7	712	683		
9	ชั้นดาดฟ้า	632	561		



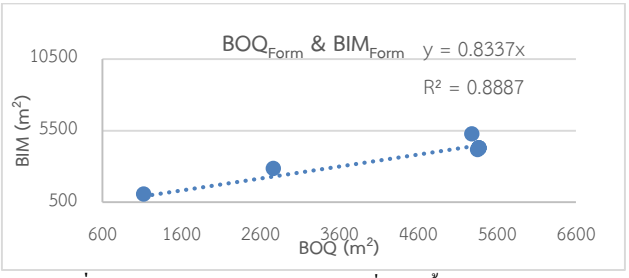
รูปที่ 7. แบบจำลองปริมาณงานคอนกรีตที่ระดับขั้นการพัฒนา LOD300

4.1.2 แบบจำลองการถดถอยเพื่อการถอดปริมาณแบบหล่อ

แบบจำลองการถดถอยเพื่อการถอดปริมาณงานแบบหล่อของโครงสร้างอาคาร คสล. 7 ชั้น ที่ระดับการพัฒนา LOD300 และ LOD350 มีปริมาณแบบหล่อเท่ากัน โดยได้สมการแบบจำลอง คือ $y = 0.8337x$ ซึ่งมีค่า $R^2 = 0.8887$ ดังตารางที่ 6 และรูปที่ 8

ตารางที่ 6 การวิเคราะห์ปริมาณแบบหล่อที่ระดับขั้นของการพัฒนา LOD300

ลำดับ	ชั้น	ปริมาณแบบหล่อ (m^2)		R^2	Model
		BOQ_{Form} (x)	BIM_{Form} (y)		
1	ฐานราก	1120	1076	0.8887	Y=0.8337x
2	ชั้น 1	5280	5276		
3	ชั้น 2	5354	4183		
4	ชั้น 3	5370	4299		
5	ชั้น 4	5370	4299		
6	ชั้น 5	5370	4299		
7	ชั้น 6	5370	4299		
8	ชั้น 7	5370	4299		
9	ชั้นดาดฟ้า	2764	2849		



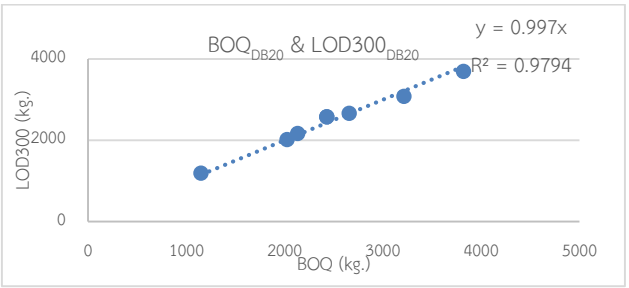
รูปที่ 8. แบบจำลองปริมาณงานแบบหล่อที่ระดับขั้นการพัฒนา LOD300

4.1.3 แบบจำลองการถดถอยเพื่อการถอดปริมาณเหล็กเส้น DB20

แบบจำลองการถดถอยเพื่อการถอดปริมาณเหล็กเส้น DB20 ของโครงสร้างอาคาร คสล. 7 ชั้น ที่ระดับการพัฒนา LOD300 ได้สมการแบบจำลอง คือ $y = 0.997x$ ซึ่งมีค่า $R^2 = 0.9794$ ตารางที่ 7 และรูปที่ 9

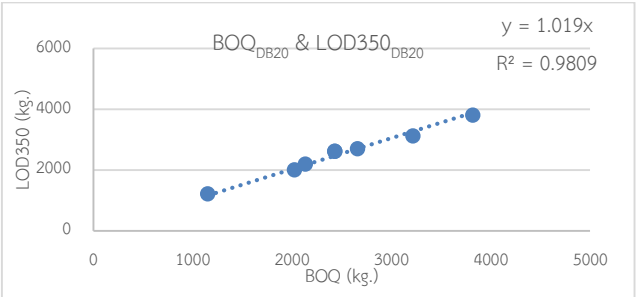
ตารางที่ 7 การวิเคราะห์ปริมาณเหล็ก DB20 ที่ระดับขั้นการพัฒนา LOD300

ลำดับ	ชั้น	ปริมาณเหล็กเส้น DB20 (kg)		R^2	Model
		BOQ_{DB20} (x)	$LOD300_{DB20}$ (y)		
1	ฐานราก	1150	1185	0.9794	Y=0.997x
2	ชั้น 1	2025	2012		
3	ชั้น 2	2658	2658		
4	ชั้น 3	3215	307		
5	ชั้น 4	3820	3692		
6	ชั้น 5	2430	2575		
7	ชั้น 6	2430	2575		
8	ชั้น 7	2133	2161		
9	ชั้นดาดฟ้า	-	-		



รูปที่ 9. แบบจำลองปริมาณเหล็ก DB20 ที่ระดับขั้นการพัฒนา LOD300

แบบจำลองการถดถอยเพื่อการถอดปริมาณเหล็กเส้น DB20 ของโครงสร้างอาคาร คสล. 7 ชั้น ที่ระดับการพัฒนา LOD300 ได้สมการแบบจำลอง คือ $y = 1.019x$ ซึ่งค่า $R^2 = 0.9809$ ตารางที่ 8 และรูปที่ 10



รูปที่ 10. แบบจำลองปริมาณเหล็ก DB20 ที่ระดับขั้นการพัฒนา LOD350

ตารางที่ 8 การวิเคราะห์ปริมาณเหล็ก DB20 ที่ระดับขั้นการพัฒนา LOD350

ลำดับ	ชั้น	แบบจำลองการถดถอยเพื่อการถอดปริมาณงานโครงสร้าง			
		LOD300		LOD350	
		R^2	Model	R^2	Model
1	คอนกรีต	0.8333	Y=0.9423x	0.8333	Y=0.9423x
2	แบบหล่อ	0.8887	Y=0.8337x	0.8887	Y=0.8337x
3	RB6	0.8731	Y=0.9516x	0.8730	Y=1.0155x
4	RB9	0.9998	Y=0.9189x	0.9998	Y=1.006x
5	DB12	1.0000	Y=0.9975x	1.0000	Y=1.0013x
6	DB16	0.9998	Y=0.9998x	0.9998	Y=1.0025x
7	DB20	0.9794	Y=0.9970x	0.9809	Y=1.019x
8	DB25	1.0000	Y=0.9779x	1.0000	Y=1.0005x

ตารางที่ 9 แบบจำลองการถดถอยเพื่อการถอดปริมาณงานโครงสร้าง

ลำดับ	ชั้น	ปริมาณเหล็กเส้น DB20 (kg)		R^2	Model
		BOQ_{DB20} (x)	$LOD350_{DB20}$ (y)		
1	ฐานราก	1150	1221	0.9809	Y=1.019x
2	ชั้น 1	2025	2012		
3	ชั้น 2	2658	2711		
4	ชั้น 3	3215	3128		
5	ชั้น 4	3820	3817		
6	ชั้น 5	2430	2627		
7	ชั้น 6	2430	2627		
8	ชั้น 7	2133	2207		
9	ชั้นดาดฟ้า	-	-		

5. สรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ใช้ซอฟต์แวร์บิม Autodesk Revit 2022 เฉพาะส่วนที่เป็นงานโครงสร้าง ซึ่งก็คือ Autodesk Revit Structure เพื่อการพัฒนาแบบจำลองอาคารจอดรถคอนกรีตเสริมเหล็ก 7 ชั้น โดยการจัดการแบ่งชิ้นส่วนโครงสร้างออกเป็นองค์อาคาร (Member) ฐานราก เสา คาน แต่ละชั้น และจุดต่อโครงสร้าง (Joint) จำนวน 50 จุด แล้วนำมาคิดรวมกันเพื่อการถอดปริมาณวัสดุโครงสร้างวิศวกรรมด้วยการใช้ซอฟต์แวร์บิม ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอย พบว่าแบบจำลองการถดถอยเพื่อการถอดปริมาณงานโครงสร้างวิศวกรรม เป็นดังตารางที่ 9

ข้อเสนอแนะ งานวิจัยนี้ได้ใช้ซอฟต์แวร์บิม Autodesk Revit 2022 เฉพาะส่วนที่เป็นงานโครงสร้าง ซึ่งก็คือ Autodesk Revit Structure เพื่อการพัฒนาแบบจำลองเท่านั้น หากผู้ศึกษานำซอฟต์แวร์อื่น ๆ ที่เกี่ยวกับงานโครงสร้าง เช่น Prota Structure 2022 หรือ Midas Structure NGen2022 มาประยุกต์ใช้กับงานโครงสร้าง เพื่อจะได้เปรียบเทียบปริมาณวัสดุโครงสร้างได้แม่นยำมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] Hosein, T., Ali. M., and Behnam, S. (2016). Automation of Construction Quantity Take-Off: Using Building Information Modeling (BIM). Construction Research Congress 2016, ASCE, pp.2218-2227.

[2] Xiaolin, Hu. (2015). *Bim-Based Data Mining Approach to Estimating Job Man-Hour Requirments in Structural Steel Fabrication*. Thesis Master of Science, University of Alberta, Canada.

[3] เบญจวรรณ พักดี, เอกพิสิษฐ์ บรรจงเกลี้ยง, พรพจน์ นุเสน และมานพ แก้วโมราเจริญ (2563). การวิเคราะห์แนวทางการตรวจรับแบบจำลองสารสนเทศอาคารสำหรับงานก่อสร้างอาคารมหาวิทยาลัย. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25*, ชลบุรี, 15-17 กรกฎาคม 2563, หน้า 1-10.

[4] ณรงค์ศักดิ์ นิ่มนวล และ อิทธิพร ศิริสวัสดิ์ (2560). การประยุกต์ใช้แบบจำลองสารสนเทศในงานเหล็กเสริมของระบบชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.*, ปีที่ 12, ฉบับที่ 1, หน้า 137-153.

[5] พาสิทธิ์ หล่อธีรพงศ์ และ พงษ์พันธุ์ อิศโรทัยกุล (2543). ระบบฐานความรู้เพื่อการออกแบบและประมาณราคาโครงการก่อสร้างอาคารเบื้องต้น. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ.*, ปีที่ 23, ฉบับที่ 2, หน้า 31-46.

[6] Nath, B. (10 November 2022). 6 Best Building Information Modeling Software for Designers and Builders. https://geekflare.com/building-information-modeling-software/

[7] สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. มาตรฐานการใช้งานแบบจำลองสารสนเทศอาคาร ตามแนวทางวิชาชีพ. ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย : กรุงเทพฯ, (2563).

[8] สมาคมสถาปนิกแห่งสยามในพระบรมราชูปถัมภ์. แนวทางการใช้งานแบบจำลองสารสนเทศอาคาร สำหรับประเทศไทย. ครั้งที่ 1. พลัสเพรส จำกัด : กรุงเทพฯ, (2558).

[9] ไพจิตร ผาวัน, ปัณณาสิศ สัญญาโณ (2564) การประยุกต์ใช้กระบวนการแบบจำลองข้อมูลอาคารจัดทำรายการบัญชีตัดเหล็ก การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 26 กรุงเทพฯ, วันที่ 23-25 มิถุนายน 2564 การประชุมรูปแบบออนไลน์

[10] Amiri, S.S., Mottahedi, M., Asadi, S. Using multiple regression analysis to develop energy consumption indicators for commercial buildings in the U.S. Energy Build. 2015, 109, 209–216.

บทความวิจัย

การจัดการอุตสาหกรรม

เพื่อความยั่งยืน

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

การปรับปรุงสมบัติของเชื้อเพลิงกะลาปาล์มด้วยกระบวนการทอร์รีแฟกชัน

Improvement of Fuel Characteristics in Palm Kernel Shell through Torrefaction Process

ธเนศ อุ่นชัยศรี[1*], ปวีณ ชัยวัฒมเสฏฐ์[1] และ วราภรณ์ เมธาวิริยะศิลป์[1]

[1]ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีการเผาไหม้ สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (วิทยาเขตบางขุนเทียน)

49 ซอยเทียนทะเล 25 ถนนบางขุนเทียน-ชายทะเล แขวงท่าข้าม เขตบางขุนเทียน กรุงเทพมหานคร 10150

E-mail: thanet.pdti3@gmail.com

บทคัดย่อ

ชีวมวลในประเทศไทยมีศักยภาพมากในการใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนหรือใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมกับเชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น ถ่านหิน แต่ด้วยสมบัติของชีวมวลได้แก่ ความชื้นที่สูง ปริมาณสารระเหย เถ้า และค่าความร้อนสูงที่มีค่าต่ำเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งทำให้เกิดเป็นข้อจำกัดในการนำชีวมวลมาใช้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงศึกษาการปรับปรุงสมบัติของชีวมวลโดยใช้กระบวนการทอร์รีแฟกชันที่อุณหภูมิ 300 °C ในเตาปฏิกรณ์ ชีวมวลที่ใช้ศึกษา คือ กะลาปาล์ม และตัวแปรที่ศึกษา คือ เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 40 60 และ 80 นาที ที่มีผลต่อสมบัติของกะลาปาล์มทอร์รีไฟด์ที่ได้หลังจากการทดลอง จากผลการศึกษาพบว่าผลิตภัณฑ์ของแข็งที่ได้อยู่ในช่วงร้อยละ 42.4 – 44.4 และสมบัติของกะลาปาล์มทอร์รีไฟด์ที่ได้มีค่าความชื้น ปริมาณสารระเหย และเถ้าที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกะลาปาล์มดิบ ผลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 40 60 และ 80 นาทีต่อสมบัติกะลาปาล์มทอร์รีไฟด์มีค่าใกล้เคียงกัน และค่าความร้อนสูงอยู่ที่ 26 MJ/kg ดังนั้นที่เวลา 40 นาที จึงเพียงพอต่อการปรับปรุงสมบัติของกะลาปาล์มให้เป็นเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพได้

คำสำคัญ : กะลาปาล์ม; ชีวมวล; ทอร์รีแฟกชัน

Abstract

Biomass in Thailand has great potential as a substitute fuel or as a co-fuel with fossil fuels such as coal. However, biomass has properties such as high moisture content, high volatile matter, low heating value, and high ash content when compared to fossil fuels, which limit its use. Therefore, this research studied the improvement of biomass properties using torrefaction at a temperature of 300 °C in a reactor. The biomass studied was palm kernel shell, and the variables studied were the reaction time of 40, 60, and 80 minutes. The results showed that the yield of solid obtained was in the range of 42.4-44.4 %, and the torrefied palm kernel shell had lower moisture content, volatile matter, and ash content compared to raw palm kernel. The effect of the reaction time of 40, 60, and 80 minutes on the properties of torrefied palm kernel shell was found to be similar, and the high heating value was around 26 MJ/kg. Therefore, a reaction time of 40 minutes was sufficient to improve the properties of palm kernel shell for use as a high-quality fuel.

Keywords: Palm kernel shell; Biomass; Torrefaction

1. บทนำ

ประเทศไทยได้มีการนำเข้าถ่านหินเป็นจำนวน 14,993 พันตัน เทียบเท่าน้ำมันดิบ คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 19.1 ของการนำเข้าพลังงาน [1] ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงแข็งซึ่งนำเข้ามาเพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้าและใช้ในภาคอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น สิ่งทอ กระดาษ และซิเมนต์ เป็นต้น เพื่อเป็นการลดการนำเข้าถ่านหินและความมั่นคงทางด้านพลังงานของประเทศ ข้อดีของชีวมวลเมื่อนำมาเผาไหม้เป็นเชื้อเพลิงร่วมกับถ่านหินเพื่อนำพลังงานมาใช้ คือ การปลดปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ลดลง [2] เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศกสิกรรมเป็นหลัก วัสดุเหลือใช้จากการแปรรูปทางการเกษตรจึงเป็นแหล่งวัตถุดิบที่สำคัญในการมาใช้เป็นแหล่งพลังงาน หนึ่งในวัสดุเหลือใช้จากการแปรรูปอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม คือ กะลาปาล์ม (Palm kernel shell)

จากข้อมูลของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรแห่งประเทศไทย ผลผลิตของปาล์มน้ำมันในประเทศไทยอยู่ที่ 16.9 ล้านตัน และผลผลิตที่ได้นำเข้าสู่อุตสาหกรรมแปรรูปเป็นน้ำมันปาล์มดิบ 2.9 ล้านตัน [3] โดยที่กะลาปาล์มเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการแปรรูปน้ำมันปาล์ม คิดเป็นร้อยละ 4 ของผลผลิตปาล์มน้ำมัน [4] จึงเห็นได้ว่ากะลาปาล์มในประเทศไทยมีศักยภาพในการนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนหรือเชื้อเพลิงร่วม ลดการนำเข้าถ่านหิน และลดปัญหาในการกำจัดของเหลือทิ้งจากการแปรรูปน้ำมันปาล์มดังกล่าว

กระบวนการทอร์รีแฟกชัน (Torrefaction process) เป็นอีกหนึ่งเทคโนโลยีที่ปรับปรุงสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลโดยใช้ความร้อนในช่วง 200 – 300 °C ที่ความดันบรรยากาศและกำจัดออกซิเจน และใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยา 30 – 120 นาที [5] ผลิตภัณฑ์ที่ได้มี 3 ประเภท คือ ของแข็งหรือเรียกว่าชีวมวลทอร์รีไฟด์ (Torrefied biomass) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์หลัก ในส่วนที่เหลือ คือ สถานะของเหลว และสถานะแก๊ส

ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการทอร์รีแฟกชัน ได้แก่ อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา ประเภทของเตาปฏิกรณ์ และสมบัติของชีวมวลก่อนการเกิดปฏิกิริยา เป็นต้น ชีวมวลทอร์รีไฟด์จะมีปริมาณคาร์บอนคงคัว (Fixed carbon) ที่เพิ่มขึ้น และสารระเหย (Volatile matter) ที่ลดลง เมื่อเทียบกับชีวมวลดิบ และค่าความร้อนสูง (Higher heating value) ของชีวมวลทอร์รีไฟด์จะอยู่ในช่วง 28 - 33 MJ/kg [6 - 9] โดยที่ค่าความร้อนของกะลาปาล์มก่อนทำถ่านชาร์อยู่ที่

ประมาณ 16 MJ/kg [4] และค่าความร้อนของถ่านหินอยู่ที่ 20 MJ/kg [2] จึงเห็นได้ว่าการนำกะลาปาล์มมาปรับปรุงสมบัติของเชื้อเพลิงผ่านกระบวนการทอร์รีแฟกชัน ส่งผลให้นำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

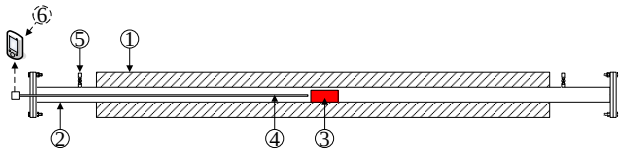
การศึกษาวิจัยนี้ศึกษาผลกระทบของเวลาที่ใช้ในกระบวนการทอร์รีแฟกชันที่มีผลต่อสมบัติของเชื้อพลิงแข็งที่ได้ ได้แก่ปริมาณผลิตภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์ของแข็ง (Yield of solid) ที่ได้ สมบัติทางเคมีที่ได้จากการวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate analysis) และค่าความร้อนสูง (Higher heating value) ผลจากการศึกษาวิจัยนี้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลเพื่อการปรับปรุงเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีคุณภาพและสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. วิธีการวิจัย

2.1 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

การศึกษาอิทธิพลของเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาในกระบวนทอร์รีแฟกชันของกะลาปาล์มได้ทำการทดลองในเตาปฏิกรณ์ทรงกระบอกทำจากสแตนเลส 304 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.09 เมตร และ ยาว 1.5 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยที่รอบเตาปฏิกรณ์ได้รับความร้อนจากฮีตเตอร์ เทอร์โมคัปเปิ้ล (Thermocouple type-K) ติดตั้งบริเวณกึ่งกลางของเตาปฏิกรณ์ และใช้เครื่อง Testo 175 t3 ในการแสดงผลของอุณหภูมิ





รูปที่ 1 เตาปฏิกรณ์และแผนภาพของอุปกรณ์ที่ติดตั้ง :
(1) ฮีตเตอร์; (2) เตาปฏิกรณ์;
(3) ภาชนะที่บรรจุตัวอย่าง;
(4) เทอร์โมคัปเปิ้ล; (5) จุดเก็บตัวอย่างแก๊ส;
(6) เครื่องแสดงผลอุณภูมิ

2.2 วิธีดำเนินการวิจัย

เตาปฏิกรณ์ถูกให้ความร้อนโดยฮีตเตอร์จนกระทั่งอุณหภูมิภายในเตาปฏิกรณ์คงที่อยู่ที่ 300 °C จนกระทั่งค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 1 °C ภายใน 5 นาที จากนั้นตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง คือ กะลาปาล์ม 100 กรัม บรรจุในภาชนะดังแสดงในรูปที่ 2 และใส่ในเตาปฏิกรณ์



รูปที่ 2 กะลาปาล์มบรรจุในภาชนะสำหรับใส่ในเตาปฏิกรณ์

เมื่อใส่ตัวอย่างในเตาปฏิกรณ์แล้วจึงเริ่มจับเวลาเพื่อศึกษาผลกระทบของเวลาต่อสมบัติของกะลาปาล์มทอร์รีไฟด์ที่ได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ศึกษาที่เวลา 40 60 และ 80 นาที เมื่อครบเวลาแล้วทำการนำกะลาปาล์มทอร์รีไฟด์ที่ได้ออกจากเตาปฏิกรณ์ จากนั้นนำมาวิเคราะห์ความชื้นและวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate analysis, ASTM E 870-82 (2013) เพื่อหาปริมาณสารระเหย (Volatile matter, VM), คาร์บอนคงตัว (Fixed carbon, FC) และ เถ้า (Ash) และจากองค์ประกอบดังกล่าวสามารถนำมาคำนวณเพื่อหาค่าความร้อนสูงได้ดังแสดงความสัมพันธ์ในสมการที่ (1) [10]

$$HHV = (0.196FC) + 14.119 \qquad (1)$$

HHV คือ ค่าความร้อนสูง (Higher heating value), MJ/kg
FC คือ ร้อยละคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon) จากการวิเคราะห์แบบประมาณ

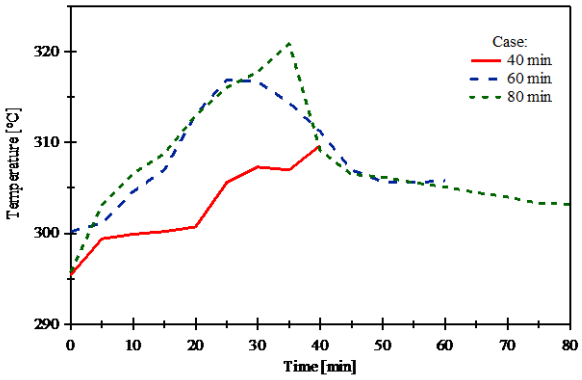
หลังจากครบระยะเวลาของการทดลองที่กำหนดแล้ว ตัวอย่างจะถูกนำมาหาร้อยละผลิตภัณฑ์ของแข็งที่เกิดขึ้น ดังแสดงในสมการที่ (2) [11]

$$Yield\ of\ solid(\%) = \left(\frac{W_c}{W_o}\right)100 \qquad (2)$$

Yield of solid คือ ร้อยละผลิตภัณฑ์ของแข็ง
W_c คือ น้ำหนักของตัวอย่างเริ่มต้นการทดลอง (กรัม)
W_o คือ น้ำหนักของตัวอย่างหลังการทดลอง (กรัม)

3. ผลการวิจัย

เมื่อตัวอย่างกะลาปาล์มถูกบรรจุในเตาปฏิกรณ์ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียสและเริ่มจับเวลาเพื่อทำการทดลองหาผลกระทบของเวลาที่มีผลต่อสมบัติของกะลาปาล์มทอร์รีไฟด์ อุณหภูมิภายในเตาปฏิกรณ์จะเริ่มสูงขึ้นเรื่อยและสูงสุดในช่วงเวลา 30 - 40 นาที ดังแสดงในรูปที่ 3 จากนั้นอุณหภูมิจะเริ่มลดลงและเริ่มคงที่



รูปที่ 3 อุณหภูมิภายในเตาปฏิกรณ์

ในช่วงที่เวลา 30 – 40 นาที ยังพบว่าเกิดปริมาณแก๊สมากที่สุด โดยสังเกตจากจุดเก็บตัวอย่างแก๊ส โดยแก๊สที่เกิดขึ้นนี้เกิดจากกระบวนการแตกตัวทางความร้อนของกะลาปาล์มในช่วงไพโรไลซิส ซึ่งโดยทั่วไปจะเริ่มเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 200 - 300 °C สำหรับชีว-มวล [5] ส่งผลให้เกิดการปลดปล่อยสารเคมีในรูปของแก๊สหรือไอ หรือเรียกรวมกันได้ว่า สารระเหย (Volatile matter)

ลักษณะทางกายภาพของกะลาปาล์มหลังผ่านกระบวนการทอร์รีแฟกชันที่อุณหภูมิ 300 °C และที่เวลา 40 นาที 60 นาที 80 นาที มีสีที่เข้มขึ้น (ดังแสดงในรูปที่ 4) และมีความเปราะกว่ากะลาปาล์มก่อนการทดลอง



กะลาปาล์มก่อนเกิดปฏิกิริยา



300 °C เวลา 40 นาที

รูปที่ 4 ลักษณะทางกายภาพของกะลาปาล์มก่อนและหลังผ่านกระบวนการทอร์รีแฟกชัน



300 °C เวลา 60 นาที



300 °C เวลา 80 นาที

รูปที่ 4 ลักษณะทางกายภาพของกะลาปาล์มก่อนและหลังผ่านกระบวนการทอร์รีแฟกชัน (ต่อ)

โดยทั่วไปผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการทอร์รีแฟกชัน คือของแข็งเป็นหลัก และร้อยละผลิตภัณฑ์ของแข็ง (Yield of solid) สำหรับกะลาปาล์มทอร์รีไฟด์ที่อุณหภูมิ 300 °C ที่เวลา 40 60 และ 80 นาที อยู่ที่ 44.4 42.9 และ 42.4 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมบัติของเชื้อเพลิงที่ได้จากกระบวนการทอร์รีแฟกชัน

		ระยะเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา		
	กะลาปาล์มก่อนเกิดปฏิกิริยา	40 นาที	60 นาที	80 นาที
ความชื้น (wt %, Moisture)	10.6	1.30	1.19	0.86
การวิเคราะห์แบบประมาณ (ร้อยละโดยมวลของมาตรฐานแห้ง) Proximate analysis (wt %, as dry basis)				
สารระเหย (Volatile matter)	69.8	36.7	34.7	33.5
คาร์บอนคงตัว (Fixed carbon)	16.7	58.0	59.8	60.1
เถ้า (Ash)	13.5	5.35	5.57	6.41
ค่าความร้อนสูงของเชื้อเพลิงแข็ง, HHV*(MJ/kg)	17.4	25.5	25.8	25.9
ร้อยละผลิตภัณฑ์ของแข็ง	-	44.4	42.9	42.4

*จากการคำนวณในสมการที่ (1) [7]

เมื่อเวลาในการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นส่งผลให้ร้อยละผลิตภัณฑ์ของแข็งลดลง เนื่องมาจากความชื้นในกะลาปาล์มที่ระเหยออกไปและสารระเหยที่เกิดจากการสลายตัวของ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ที่อยู่ในชีวมวล [12] ซึ่งผลการทดลองในงานวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Homdoung และคณะ (2019) [13] ที่ศึกษากระบวนการทอร์รีแฟกชันของเชื้อเพลิงไม้สับและใบปาล์มน้ำมันที่อุณหภูมิ 300 °C ที่เวลา 20 40 และ 60 นาที

ชีวมวลโดยส่วนใหญ่มีองค์ประกอบของสาระเหยที่สูง ประมาณร้อยละ 60 - 90 [2, 14] ซึ่งเมื่อนำไปเผาไหม้ในเตาเผาเกิดการเผาไหม้บริเวณด้านบนของเตาเผา ส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เกิดมลพิษ คือ ความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่สูง (CO) [14] และโดยทั่วไปแก้ปัญหาโดยการเพิ่มอากาศทุติยภูมิในเตาเผาไหม้เพื่อเผาไหม้สารระเหยและลดมลพิษจากแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ เชื้อเพลิงกะลาปาล์มก็เป็นหนึ่งในชีวมวลที่มีองค์ประกอบของสารระเหยที่สูง คือ ร้อยละ 70 โดยประมาณ ดังแสดงในตารางที่ 1 และหลังจากกะลาปาล์มผ่านกระบวนการทอร์รีแฟกชันแล้ว มีผลให้สารระเหยลดลงเหลือร้อยละ 36.7 34.7 และ 33.5 ที่เวลาในการใช้ทำปฏิกิริยา 40 60 และ 80 นาที ตามลำดับ

ความชื้นและเถ้าเป็นองค์ประกอบของเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ได้และเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดการสูญเสียประสิทธิภาพในระบบการเผาไหม้ในเทอมของการสูญเสียความร้อนจากความชื้นในเชื้อเพลิง (Heat loss due to moisture in fuel) และการสูญเสียความร้อนในสิ่งที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ในเชื้อเพลิง (Unburned combustible losses) ตามการคำนวณหาประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำโดยอ้อม (Indirect method, ASME standard PTC 4.1) [15] ซึ่งจากตารางที่ 1 พบว่าเชื้อเพลิงกะลาปาล์มก่อนเข้าสู่กระบวนการทอร์รีแฟกชันมีความชื้นและปริมาณเถ้าอยู่ที่ร้อยละ 10.6 และ 13.5 ตามลำดับ เมื่อกะลาปาล์มผ่านกระบวนการทอร์รีแฟกชันแล้วความชื้นลดลงเหลือร้อยละ 1.30 1.19 0.86 และปริมาณเถ้าลดลงเหลือร้อยละ 5.35 5.57 6.41 ที่เวลาในการใช้ทำปฏิกิริยา 40 60 และ 80 นาที ตามลำดับ

การวิเคราะห์แบบประมาณตามมาตรฐานเปียก (Proximate analysis) จะประกอบด้วย 4 องค์ปะกอบ คือ ความชื้น (Moisture) สารระเหย (Volatile matter) คาร์บอนคงตัว (Fixed carbon) และเถ้า (Ash) ดังแสดงในสมการที่ (3) [12]

$$Moisture + Volatile\ matter + Fixed\ carbon + Ash = 100\% \quad (3)$$

จากผลการทดลองข้างต้นพบว่ากะลาปาล์มทอร์รีไฟด์มีปริมาณความชื้น สารระเหย และเถ้าที่ลดลง ส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนคงตัวของกะลาปาล์มทอร์รีไฟด์อยู่ที่ร้อยละ 58 59.8 และ 60.1 ที่เวลาในการใช้ทำปฏิกิริยา 40 60 และ 80 นาที ตามลำดับ ผลของปริมาณคาร์บอนคงตัวที่สูงขึ้น ส่งผลให้ค่าความร้อนสูงของกะลาปาล์มทอร์รีไฟด์มีค่าสูงขึ้นโดยอยู่ที่ 26 MJ/kg โดยประมาณ ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (1) [10] ซึ่งผลของค่าความร้อนสูงในงานวิจัยนี้มีค่าใกล้เคียงกับชีวมวลต่างๆ [6-9] ที่ผ่านกระบวนการทอร์รีแฟกชัน ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าความร้อนสูงของชีวมวลที่ผ่านกระบวนการทอร์รีแฟกชัน

ชีวมวล	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	HHV (MJ/kg)	อ้างอิง
ใบปาล์ม	275	30	27.87	[6]
น้ำมัน	300	30	29.22	
ก้านต้น	300	10	19.36	[7]
มะกอก	300	60	19.44	
แกลบ	300	30	19.0	[8]
ชานอ้อย	300	60	24.01	[9]
กะลาปาล์ม	300	40	25.5	งานวิจัยนี้
	300	60	25.8	
	300	80	25.9	

3. สรุป

กะลาปาล์มเป็นชีวมวลที่มีปริมาณความชื้นและเถ้าที่ค่อนข้างสูง คือ ร้อยละ 10.6 และ 13.5 ตามลำดับ ซึ่งองค์ประกอบทั้งสองนี้เป็นส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้และเมื่อนำไปเผาไหม้เป็นเชื้อเพลิงเดี่ยวหรือเชื้อเพลิงร่วมในหม้อไอน้ำ ทำให้เกิดการสูญเสียในระบบ ส่งผลให้ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำลดลง อีกทั้งกะลาปาล์มมีปริมาณสารระเหยที่สูงมาก คือ ร้อยละ 69.8 เมื่อเผาไหม้แล้วจะเกิดมลพิษ เช่น แก๊สคาร์บอนมอนออกไซด์ที่สูง จากปัญหาการเผาไหม้และการสูญเสียประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่เกิดจากสมบัติของเชื้อเพลิงดังกล่าว กระบวนการทอร์รีแฟกชันสามารถปรับปรุงสมบัติของกะลาปาล์มให้ดีขึ้น กะลาปาล์มทอร์รีไฟด์ที่ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 40 60 และ 80 นาที พบว่าความชื้นลดลงเหลือร้อยละในช่วง 0.86 – 1.30 ปริมาณสารระเหยอยู่ในช่วงร้อยละ 33.5 – 36.7 และ ปริมาณเถ้าอยู่ในช่วงร้อยละ 5.35 – 6.41 จากผลของความชื้น สารระเหย และเถ้า ที่ลดลงในกะลาปาล์มทอร์รีไฟด์ ส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงขึ้นอยู่ในช่วงร้อยละ 58.1 – 60.1 เมื่อเทียบกับกะลาปาล์มดิบมีปริมาณคาร์บอนคงตัวอยู่ที่ร้อยละ 16.7 การเพิ่มขึ้นของคาร์บอนคงตัวในกะลาปาล์มทอร์รีไฟด์เป็นผลให้ค่าความร้อนสูงอยู่ที่ประมาณ 26 MJ/kg ในขณะที่กะปาล์มดิบมีค่าความร้อนสูงอยู่ที่ 17.4 MJ/kg

จากผลการทดลองพบว่ากระบวนการทอร์รีแฟกชันอุณหภูมิ 300 °C ที่ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 40 60 และ 80 นาที สมบัติของเชื้อเพลิงกะลาปาล์มทอร์รีไฟด์ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นที่เวลา 40 นาที เพียงพอต่อการปรับปรุงสมบัติของเชื้อเพลิงกะลาปาล์มให้สามารถเป็นเชื้อเพลิงทดแทนหรือเชื้อเพลิงร่วมกับถ่านหินได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีการเผาไหม้ สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (วิทยาเขตบางขุนเทียน) ที่ให้การสนับสนุนสถานที่ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร, "รายงานสถานการณ์พลังงานของประเทศไทย", ฉบับที่ มกราคม-ธันวาคม 2564, กรมพัฒนาพลังงานและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน, [ออนไลน์], ข้อมูลจาก https://www.dede.go.th/download/stat63/12_SIT_Jan-Dec%2064_01.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 27 มีนาคม 2566).

[2] T. Unchaisri, S. Fukuda, A. Phongphiphat, S. Saetia, and B. Sajjakulnukit, "Experimental Study on Combustion Characteristics in a CFB during Co-firing of Coal with Biomass Pellets in Thailand", *International Energy Journal*, vol. 1 9 , pp. 101-114, 2019.

[3] สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, "สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญและแนวโน้มปี 2566", สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, [ออนไลน์], ข้อมูลจาก https://www.oae.go.th/assets/portals/1/files/jounal/2565/23122565 2566.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 27 มีนาคม 2566).

[4] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, ชีวมวล, กระทรวงพลังงาน, [ออนไลน์], ข้อมูลจาก http://biomass.dede.go.th/biomass_web/index.html (วันที่สืบค้นข้อมูล 27 มีนาคม 2566).

[5] J. S. Tumuluru, S. Sokhansanj, J. R. Hess, C. T. Wright, and R. D. Boardman, "A review on biomass torrefaction process and product properties for energy applications", *Industrial Biotechnology*, vol. 7, pp. 384-401, 2011.

[6] H. S. Lau, H. K. Ng, S. Gan, and S. A. Jourabachi, "Torrefaction of oil palm fronds for co-firing in coal power plants", *Energy Procedia*, vol. 144, pp. 75-81, 2018.

[7] M.A. Martín-Lara, A. Ronda, M.C. Zamora, and M. Calero, "Torrefaction of olive tree pruning: Effect of operating conditions on solid product properties", *Fuel*, vol. 202, pp. 109-117, 2017.

[8] D. Chen, A. Gao, Z. Ma, D. Fei, Y. Chang, and C. Shen, "In-depth study of rice husk torrefaction: Characterization of solid, liquid and gaseous products, oxygen migration and energy yield", *Bioresource Technology*, vol. 253, pp. 148-153, 2018.

[9] S. Kanwal, N. Chaudhry, S. Munir, and H. Sana, "Effect of torrefaction conditions on the physicochemical characterization of agricultural waste (sugarcane bagasse)", *Waste Management*, vol. 88, pp. 280-290, 2019.

[10] นงนุช ศรีเล็ก, ปรานต์ เมฆอากาศ, วิภาวรรณ นันโท, พรหทัย พุทธวัน และสิทธิกฤต เหล็กพูล, "สหสัมพันธ์ที่เหมาะสมในการประเมินค่าความร้อนสูงด้วยค่าการวิเคราะห์ โดยประมาณของชีวมวลและถ่านชีวภาพจากเปลือกโกโก้และซังข้าวโพด", วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง, ปีที่ 15, ฉบับที่ 1,หน้า 13-25, มกราคม-มิถุนายน, 2565.

[11] C. L. Lee, P. S. H'ng, T. Paridah, K. L. Chin, P. S. Khoo, R. A. R. Nazrin, S. N. Asyikin, and M. Maminski, "Effect of reaction time and temperature on the properties of carbon black made from palm kernel and coconut shell", *Asian Journal of Scientific Research*, vol. 10, pp. 24-33, 2017.

[12] P. Basu, *Biomass Gasification and Pyrolysis*. Elsevier, United States, 2010.

[13] N. Homdoung, K. Sasujit, J. Uttharuan, T. Wongsiriamnuay, and N. Tippayawong, "Influence of torrefaction temperature and time on the yields and properties of torrefied biomass", *Engineering and Applied Science Research*, vol. 46, pp. 170-175, 2019.

[14] M. A. Youssef, S. A. Wahid, M. A. Mohamed, and A. A. Askalany, "Experimental study on Egyptian biomass combustion in circulating fluidized bed", *Applied Energy*, vol. 86, pp. 2644-2650, 2009.

[15] M. Harimi, S M Sapuan, M. M. H. Megat Ahmad, and F. Abas, "Numerical study of heat loss from boiler using different ratios of fibre-to-shell from palm oil wastes", *Journal of Scientific and Industrial Research*, vol. 67, pp. 40-444, 2008.

.

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิลมร้อนและเวลาในขั้นตอนแรกของกระบวนการอบแห้งที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์มะม่วงน้ำดอกไม้อบแห้งโดยใช้เทคนิคอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน

Influence Study of Hot-Air Temperature and First Step Time of Drying Process on Product Quality of Dried Namdokmai Mango Using Infrared Combined with Hot Air Technique

สุธินนท์ พัชรัชต์วิราฤล[1*] และ สุวิทย์ แพงกันยา[2]

สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร10800 [1]sutinon-pa@rmutp.ac.th, [2]suwit.p@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีทางเลือกสำหรับอบแห้งมะม่วงน้ำดอกไม้ด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนโดยใช้เทคนิคปรับลดระดับอุณหภูมิและวิธีการอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนแบบใช้อุณหภูมิคงที่ โดยวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ทางด้านสี ความแข็ง ความหยุ่นตัว และวอเตอร์แอกทีวิตี จากผลการทดลอง พบว่ามะม่วงที่ผ่านการอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนโดยใช้เทคนิคปรับลดระดับอุณหภูมิที่ใช้เวลาในการอบแห้งช่วงแรก 1 ชั่วโมง มีค่าความสว่างของสี (L*) สูงกว่า และมีค่าสีแดง (+a*) ต่ำกว่าวิธีการอบแห้งอื่น ในขณะที่มะม่วงที่ผ่านการอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนแบบใช้อุณหภูมิคงที่ในเงื่อนไข 90 °C มีค่าความแข็งและค่าความหยุ่นตัวต่ำกว่าวิธีการอบแห้งอื่น การเพิ่มขึ้นของเวลาในการอบแห้งช่วงแรกในการอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนโดยใช้เทคนิคปรับลดระดับอุณหภูมิและการเริ่มขึ้นของอุณหภูมิในการอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนแบบใช้อุณหภูมิคงที่ ทำให้ค่าความสว่างของสี ค่าความแข็ง และค่าความหยุ่นตัวลดลง แต่ค่าสีแดงและค่าสีเหลือง (+b*) เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าค่าวอเตอร์แอกทีวิตีของผลิตภัณฑ์อบแห้งทุกเงื่อนไขการทดลองมีค่าต่ำกว่า 0.6

คำสำคัญ : การอบแห้ง; ความแข็ง; ความหยุ่นตัว; มะม่วงน้ำดอกไม้; วอเตอร์แอกทีวิตี; สี; อินฟราเรดร่วมกับลมร้อน

Abstract

This research presents an alternative method for drying mangoes using combined infrared-hot air (IHAD) with step-down temperature technique and IHAD with a constant temperature. The quality of dried product was analyzed in terms of color, hardness, toughness and water activity. The results showed that the mangoes dried IHAD with step-down temperature technique in the first stage of drying process at 1 hour provided higher color lightness (L*) and redness (+a*) lower than other drying methods. While the mangoes dried by IHAD with constant temperature at 90 °C gave lower hardness and toughness values than other drying methods. The increase in the initial drying time in IHAD with step-down technique and the increase in the temperature in IHAD with constant temperature gave lower values in lightness, hardness and toughness, but higher values in redness and yellowness (+b*). In addition, it was found that the water activity of dried products under all experimental conditions was lower than 0.6.

Keywords: Drying; Hardness; Toughness; Namdokmai Mango; Water activity; Color; Combined infrared-hot air

1. บทนำ

มะม่วงเป็นผลไม้ที่มีถิ่นกำเนิดในแถบภาคตะวันออกของประเทศอินเดีย ต่อมามีการกระจายพันธุ์ไปยังบริเวณพื้นที่เขตร้อน สามารถนำมารับประทานเป็นทั้งผลไม้สด มีรสชาติรสเปรี้ยวหรือหวาน และมีการนำไปทำเป็นอาหารคาว-หวานต่าง ๆ [1] โดยมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองเป็นมะม่วงพันธุ์ที่มีความนิยม และมีแนวโน้มที่ดีในการจำหน่าย นอกจากนี้ปัจจุบันมะม่วงได้มีการแปรรูปมากมาย เช่น มะม่วงแช่อิ่ม มะม่วงกวน มะม่วงเบาแช่อิ่ม เป็นต้น ซึ่งวิธีที่นิยมมากที่สุดคือการอบแห้งหรือการลดความชื้น ทำให้สามารถเก็บรักษาได้เป็นระยะเวลานาน และเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์

การอบแห้งเป็นวิธีการถนอมอาหารชนิดหนึ่งซึ่งมีหลายวิธี เช่น การตากแดด การอบแห้งด้วยลมร้อน การอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง การอบแห้งแบบสุญญากาศ การอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน เป็นต้น โดยการอบแห้งด้วยลมร้อนเป็นที่นิยมนำมาใช้ในการอบแห้งมากที่สุด เนื่องจากสามารถควบคุมคุณภาพได้ดี สามารถจัดหาเครื่องอบแห้งได้ง่าย และการใช้งานของเครื่องไม่ซับซ้อน อย่างไรก็ตามการอบแห้งด้วยลมร้อนมีข้อเสียคือใช้เวลาในการอบแห้งนาน ผลิตภัณฑ์อบแห้งมีสีคล้ำ และมีการหดตัว ความแข็ง และความหยุ่นตัวสูง ดังนั้นจึงมีการประยุกต์ใช้อินฟราเรดร่วมกับการอบแห้งด้วยลมร้อนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการอบแห้งและปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์อบแห้ง เนื่องจากอินฟราเรดเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สามารถทะลุเข้าไปในเนื้อของวัสดุโดยตรง ทำให้วัสดุได้รับความร้อนอย่างรวดเร็ว สามารถลดระยะเวลาในการอบแห้ง และสามารถเพิ่มคุณภาพของตัวผลิตภัณฑ์ได้ อย่างไรก็ตามการเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งสูงเกินไป อาจเกิดผลเสียต่อคุณภาพสีของผลิตภัณฑ์ ทำให้เกิดความร้อนขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ผลิตภัณฑ์ไหม้เสียหาย ดังนั้นการปรับลดอุณหภูมิให้เหมาะสมในขณะอบแห้งจะทำให้สามารถปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์การอบแห้งได้

ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการอบแห้งมะม่วงน้ำดอกไม้ด้วยการประยุกต์ใช้อินฟราเรดร่วมกับลมร้อนโดยใช้เทคนิค

ปรับลดอุณหภูมิเปรียบเทียบกับกรณีใช้อุณหภูมิคงที่ โดยประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์มะม่วงน้ำดอกไม้อบแห้งทางด้าน สี ความแข็ง ความหยุ่นตัว และวอเตอร์แอกทีวิตี

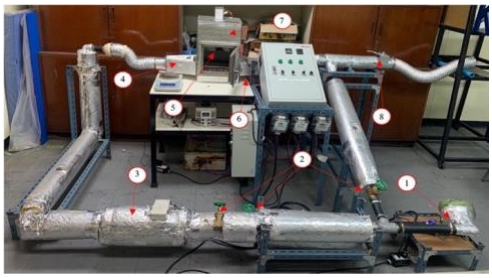
2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 วัตถุดิบและการเตรียมตัวอย่าง

วัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือมะม่วงน้ำดอกไม้พันธุ์สีทองโดยซื้อมาจากตลาดในกรุงเทพมหานคร โดยมะม่วงที่ใช้ในงานวิจัยมีปริมาณความของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้อยู่ในช่วง 17-19 °Brix ซึ่งวัดโดยใช้เครื่อง ATC-1E hand-held refractometer (ATAGO, Tokyo, Japan) การเตรียมตัวอย่างก่อนการอบแห้งดำเนินการโดยนำมะม่วงแช่น้ำที่อุณหภูมิ 47 °C เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง เพื่อยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล จากนั้นนำมะม่วงปอกเปลือกแล้วหั่นเนื้อมะม่วงเป็นแผ่นตามแนวยาวของผลด้วยความหนาประมาณ 1.5 cm การทดลองในแต่ละเงื่อนไขใช้เนื้อมะม่วงแผ่นประมาณ 250 กรัม

2.2 อุปกรณ์อบแห้ง

ในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนสำหรับใช้ในการศึกษาการอบแห้งมะม่วงน้ำดอกไม้ด้วยวิธีการอบแห้งแบบต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยเครื่องอบแห้งนี้มีส่วนประกอบที่สำคัญได้แก่ (1) เครื่องเป่าลมขนาด 93.2 W (2) วาล์ว (3) เครื่องผลิตความร้อนขนาด 2.5 kW (4) ตำแหน่งวัดอุณหภูมิอากาศขาเข้า (5) อินฟราเรดขนาดกำลังสูงสุด 650 W (6) ตำแหน่งวัดอุณหภูมิอากาศขาออก (7) ห้องอบแห้งมีขนาดความกว้าง 25 cm ความยาว 30 cm และความสูง 50 cm และ (8) แดมเปอร์



รูปที่ 1 เครื่องอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน

2.3 วิธีการทดลอง

วิธีการทดลองดำเนินการโดยเปิดเครื่องอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนอุ่นอากาศกระทั่งอากาศมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นตามเงื่อนไขที่ใช้ในการทดลอง (70-90 °C) จากนั้นนำมะม่วงแผ่นที่เตรียมไว้วางเรียงบนตะแกรงเทฟล่อนให้ได้น้ำหนักประมาณ 500 กรัม จากนั้นเริ่มดำเนินการอบแห้งด้วยอินฟราเรดกับลมร้อนโดยใช้เทคนิคปรับลดระดับอุณหภูมิลมร้อนที่กำลังคงที่ 650 W ร่วมกับลมร้อนที่อุณหภูมิ 70-90 °C เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง ความเร็วลม 0.3 m/s และใช้อากาศหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ 20% เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง ตามด้วยอากาศหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ 80% จนกระทั่งอบแห้งเสร็จ เปรียบเทียบกับวิธีการอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนโดยใช้เงื่อนไขกำลังอินฟราเรด อุณหภูมิลมร้อน ความเร็วลม และอากาศหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่เดียวกันกับวิธีการอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนโดยใช้เทคนิคปรับลดระดับอุณหภูมิ การเปลี่ยนแปลงความชื้นของมะม่วงในขณะอบแห้งใช้วิธีนำตัวอย่างออกมาชั่งน้ำหนักด้านนอกของห้องอบแห้งโดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนักน้ำหนักดิจิตอล (A&D, model Fx-2000, Japan) ที่มีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ ±0.01 กรัม

2.4 การวัดสีของมะม่วงอบแห้ง

สีของมะม่วงอบแห้งวัดด้วยเครื่อง Spectrophotometer (Hunter Lab, Color Flex, UK) วิเคราะห์โดยใช้ระบบ CIE (Commission Internationale de l'Éclairage) แสดงค่าเป็น L*, a* และ b* ซึ่งค่า L* คือค่าความสว่างของวัตถุ (0 คือ สีดำ, 100 คือ สีขาว), a* คือ ค่าสีแดง/เขียว (+ แดง, - เขียว) และค่า b* คือ ค่าสีเหลือง/น้ำเงิน (+ เหลือง, - น้ำเงิน) ก่อนเริ่มวัดค่าสีของมะม่วงอบแห้งต้องดำเนินการปรับเทียบค่าสีกับแผ่นสีดำและแผ่นสีขาวมาตรฐาน จากนั้นดำเนินการวัดสีของมะม่วงอบแห้งโดยนำตัวอย่างวางบนเครื่องวัดสีแล้วใช้ภาชนะทรงกระบอกสีดำคลอบตัวอย่างไม่ให้แสงจากภายนอกเข้าไปกระทบกับตัวอย่าง การวัดสีของมะม่วงอบแห้งแต่ละเงื่อนไขการทดลองใช้ตัวอย่างจำนวน 10 ชิ้น ทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง ซึ่งวัดบริเวณผิวมะม่วงด้านบนและด้านล่างของชิ้นตัวอย่าง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

2.5 การวัดเนื้อสัมผัสของมะม่วง

คุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของมะม่วงน้ำดอกไม้แห้งในงานวิจัยนี้พิจารณาจากค่าความแข็ง (Hardness) และค่าความหยุ่นตัว (Toughness) โดยเนื้อสัมผัสของมะม่วงอบแห้งทดสอบโดยใช้เครื่อง Texture Analyzer (Stable Micro System, model TA.XT. Plus, Surrey, UK) มีความแม่นยำ 0.001 N โดยใช้หัวกดชนิดทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 mm ความเร็วก่อนกด 1 mm/s ความเร็วหัวกดขณะกด 1 mm/s และความเร็วหลังกด 10 mm/s กดจนชิ้นตัวอย่างทะลุ โดยทดสอบค่าความแข็งและค่าความหยุ่นตัวของตัวอย่างจำนวน 15 ชิ้น ในแต่ละเงื่อนไขการทดลองทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

2.6 วอเตอร์แอกทีวิตี

การหาค่าวอเตอร์แอกทีวิตีของมะม่วงน้ำดอกไม้อบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนทดสอบด้วยเครื่อง Water Activity (Novasina Model Lab Master-aw, Switzerland) ที่อุณหภูมิห้อง 25 °C โดยหั่นมะม่วงน้ำดอกไม้เป็นชิ้นเล็กๆ ใส่ในภาชนะทดสอบที่ปริมาณ 3/4 ของภาชนะ จากนั้นนำภาชนะทดสอบที่บรรจุมะม่วงน้ำดอกไม้อบแห้งใส่เข้าไปในเครื่อง โดยทดสอบตัวอย่างละ 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย

2.7 การวิเคราะห์ทางสถิติ

ข้อมูลจากการวัดคุณภาพของผลิตภัณฑ์มะม่วงน้ำดอกไม้อบแห้งทางด้านสี เนื้องสัมผัส และวอเตอร์แอกทีวิตีนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's multiple range test ด้วยโปรแกรม SPSS โดยพิจารณาความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. ผลการวิจัย

3.1 สีของมะม่วงอบแห้ง

สีของมะม่วงหลังอบแห้งด้วยวิธีการอบแห้งแบบต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 1 พบว่า สีของมะม่วงที่ผ่านการอบแห้งมีค่าความสว่าง (L*) อยู่ในช่วง 63.48-71.38 ค่าสีแดง (+a*) อยู่ในช่วง 14.63-18.28 และค่าสีเหลือง (+b*) อยู่ในช่วง 53.71-61.62 มะม่วงแผ่นที่ผ่านการอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนโดยใช้เทคนิคปรับลดระดับอุณหภูมิที่เวลาในการอบแห้งช่วงแรก 1 ชั่วโมง มีค่าความสว่าง (L*) มากที่สุด และค่าสีแดง (+a*) ต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับวิธีการอบแห้งอื่น เนื่องจากการใช้อุณหภูมิลมร้อนสูงเป็นเวลาสั้น ทำให้อุณหภูมิของมะม่วงในขณะอบแห้งไม่สูงมาก ในขณะที่มะม่วงที่ผ่านการอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนแบบใช้อุณหภูมิคงที่ในเงื่อนไขของอุณหภูมิลมร้อนที่ 90 °C มีค่าความสว่างของสีต่ำกว่า แต่มีค่าสีเหลือง (+b*) สูงกว่ามะม่วงที่ผ่านการอบแห้งด้วยเงื่อนไขอื่น ดังแสดงในรูปที่ 2 เนื่องจากอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ในขณะอบแห้งสูงกว่า ทำให้เร่งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่มีเอนไซม์มาเกี่ยวข้องเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มะม่วงน้ำดอกไม้อบแห้งมีสีน้ำตาลเข้ม นอกจากนี้ยังพบว่าการเพิ่มขึ้นของเวลาในการอบแห้งช่วงแรกของกระบวนการอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนโดยใช้เทคนิคปรับลดระดับอุณหภูมิและการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิลมร้อนในการอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนแบบใช้อุณหภูมิคงที่ ทำให้ค่าความสว่างของสีลดลง แต่ค่าสีแดงและค่าสีเหลืองของมะม่วงอบแห้งเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิของวัสดุเพิ่มขึ้น ทำให้เร่งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่มีเอนไซม์มากขึ้น [2]

ตารางที่ 1 สีของมะม่วงอบแห้งด้วยเงื่อนไขต่างๆ

Drying method	L*	a*	b*	Drying time (min)
HA90+FIR650_2h/HA80+FIR650_1h/HA70+FIR650_end	66.85±2.01^{b}	15.11±0.53^{b}	56.33±3.43^{a}	270
HA90+FIR650_1.5h/HA80+FIR650_1h/HA70+FIR650_end	68.14±2.44^{b}	14.81±1.05^{b}	56.19±1.72^{a}	300
HA90+FIR650_1h/HA80+FIR650_1h/HA70+FIR650_end	71.38±1.97^{c}	13.58±1.10^{a}	53.98±2.37^{a}	330
HA90+FIR650	63.48±3.44^{a}	15.41±1.08^{b}	61.62±1.97^{b}	190
HA80+FIR650	66.77±2.67^{b}	15.28±0.89^{b}	59.21±2.50^{b}	300
HA70+FIR650	66.77±2.66^{b}	14.63±1.82^{b}	53.91±3.85^{a}	360

ตัวอักษรยกที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันของตารางแสดงว่าข้อมูลมีความแตกต่างกันในทางสถิติ ($p < 0.05$)



ก) HA90+FIR650_2h/HA80+FIR650_1h/ HA70+FIR650_end



ข) HA90+FIR650_1.5h/HA80+FIR650_1h/ HA70+FIR650_end



ค) HA90+FIR650_1h/HA80+FIR650_1h/ HA70+FIR650_end



ง) HA90+FIR650



จ) HA80+FIR650



ฉ) HA70+FIR650

รูปที่ 2 ลักษณะสีของมะม่วงน้ำดอกไม้อบแห้งด้วยเงื่อนไขต่างๆ

3.2 เนื้อสัมผัสและวอเตอร์แอกทีวิตีของมะม่วงอบแห้ง

คุณภาพด้านเนื้อสัมผัสและวอเตอร์แอกทีวิตีของมะม่วงน้ำดอกไม้อบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนแบบต่างๆ แสดงในตารางที่ 2 พบว่ามะม่วงที่ผ่านการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนแบบใช้อุณหภูมิคงที่ 90 °C มีค่าความแข็งและค่าความหยุ่นตัวต่ำกว่าเงื่อนไขการอบแห้งอื่น เนื่องจากอุณหภูมิของวัสดุสูงในขณะอบแห้ง ทำให้เร่งอัตราถ่ายเทมวลของน้ำไปยังผิวของวัสดุเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อการขยายตัวของโครงสร้างภายในของวัสดุเพิ่มขึ้น ทำให้วัสดุมีการหดตัวต่ำกว่าเงื่อนไขการอบแห้งอื่น [3] ดังนั้นมะม่วงที่ผ่านการอบแห้งด้วยเงื่อนไขนี้จึงมีค่าความแข็งและความหยุ่นตัวต่ำ ในขณะที่มะม่วงที่ผ่านการอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนแบบใช้อุณหภูมิคงที่ 70 °C มีค่าความแข็งและค่าความหยุ่นตัวสูงกว่าวิธีการอบแห้งอื่น เนื่องจากอุณหภูมิของวัสดุต่ำในขณะอบแห้ง ทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งนานที่สุด ผลิตภัณฑ์อบแห้งสัมผัสกับลมร้อนเป็นเวลานาน ทำให้ผลิตภัณฑ์อบแห้งมีการหดตัวมาก ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์อบแห้งมีเนื้อสัมผัสที่แข็งสูงกว่าวิธีการอบแห้งอื่น การเพิ่มขึ้นของเวลาในการอบแห้งช่วงแรกของการอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนโดยใช้เทคนิคปรับลดระดับอุณหภูมิ ทำให้มะม่วงอบแห้งมีค่าความแข็งและค่าความหยุ่นตัวลดลง เนื่องจากการใช้อุณหภูมิสูงเป็นระยะเวลานาน ทำให้อุณหภูมิของวัสดุสูง ทำให้อัตราการถ่ายเทมวลของน้ำภายในวัสดุสูง ส่งผลต่อการขยายตัวของโครงสร้างภายในผลิตภัณฑ์อบแห้ง ทำให้ผลิตภัณฑ์อบแห้งมีการหดตัวต่ำกว่า ในลักษณะคล้ายกันการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในการอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนแบบใช้อุณหภูมิคงที่ ทำให้มะม่วงอบแห้งมีค่าความแข็งและความหยุนตัวต่ำ เนื่องจากอุณหภูมิของวัสดุสูงในขณะอบแห้ง ส่งผลให้วัสดุมีการหดน้อยกว่า สอดคล้องกับงานวิจัยของสิทธิชัย ศรีไทย และคณะ [4] รายงานการอบแห้งมะม่วงด้วยลมร้อนโดยใช้เทคนิคปรับลดระดับอุณหภูมิ

นอกจากนี้ยังพบว่า ผลิตภัณฑ์มะม่วงอบแห้งทุกเงื่อนไขการทดลองมีค่าวอเตอร์แอกทีวิตีต่ำกว่า 0.6 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง [5] ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความปลอดภัยจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ สามารถเก็บรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้นานยิ่งขึ้น

ตารางที่ 2 ค่าเนื้อสัมผัสและวอเตอร์แอกทีวิตีของมะม่วงอบแห้งที่เงื่อนไขต่างๆ

Drying method	Hardness (N)	Toughness (mm)	Water activity	Drying time (min)
HA90+FIR650_2h/HA80+FIR650_1h/HA70+FIR650_end	9.91±1.71^{b}	8.81±2.03^{b}	0.565±0.003^{c}	270
HA90+FIR650_1.5h/HA80+FIR650_1h/HA70+FIR650_end	11.22±2.18^{bc}	10.29±3.07^{bc}	0.496±0.007^{a}	300
HA90+FIR650_1h/HA80+FIR650_1h/HA70+FIR650_end	12.08±1.96^{cd}	11.11±2.09^{c}	0.539±0.007^{b}	330
HA90+FIR650	7.00±1.57^{a}	6.49±1.96^{a}	0.559±0.002^{c}	190
HA80+FIR650	11.62±2.13^{c}	11.16±2.90^{c}	0.584±0.009^{d}	300
HA70+FIR650	13.30±1.53^{d}	13.99±2.98^{d}	0.534±0.010^{b}	360

ตัวอักษรยกที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันของตารางแสดงว่าข้อมูลมีความแตกต่างกันในทางสถิติ ($p < 0.05$)

4. สรุปผล

งานวิจัยนี้พัฒนาผลิตภัณฑ์มะม่วงน้ำดอกไม้อบแห้งทางเลือกโดยการประยุกต์ใช้อินฟราเรดร่วมกับการอบแห้งด้วยลมร้อน โดยใช้เทคนิคปรับลดระดับอุณหภูมิเปรียบเทียบกับการใช้อุณหภูมิคงที่ พบว่ามะม่วงที่ผ่านการอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนโดยใช้เทคนิคปรับลดระดับอุณหภูมิที่ใช้เวลาในการอบแห้งช่วงแรก 1 ชั่วโมง มีค่าความสว่างของสี (L*) สูงกว่า และมีค่าสีแดง (+a*) ต่ำกว่าวิธีการอบแห้งอื่น ในขณะที่มะม่วงที่ผ่านการอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนแบบใช้อุณหภูมิคงที่ในเงื่อนไข 90 °C มีค่าความแข็งและค่าความหยุ่นตัวต่ำกว่าวิธีการอบแห้งอื่น การเพิ่มขึ้นของเวลาในการอบแห้งช่วงแรกในการอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนโดยใช้เทคนิคปรับลดระดับอุณหภูมิและการเริ่มขึ้นของอุณหภูมิในการอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนแบบใช้อุณหภูมิคงที่ ทำให้ค่าความสว่างของสี ค่าความแข็ง และค่าความหยุ่นตัวลดลง แต่ค่าสีแดงและค่าสีเหลือง (+b*) เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าค่าวอเตอร์แอกทีวิตีของผลิตภัณฑ์อบแห้งทุกเงื่อนไขการทดลองมีค่าต่ำกว่า 0.6 ซึ่งสามารถเก็บรักษาไว้ได้ยาวนานขึ้น โดยเงื่อนไขที่แนะนำสำหรับการอบแห้งคือการอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนโดยใช้เทคนิคปรับลดอุณหภูมิที่เงื่อนไขอินฟราเรด 650 W ร่วมกับลมร้อน 90 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ตามด้วยลมร้อน 80 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และตามด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 70 °C

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้การสนับสนุนสถานที่ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] ศรัณย์ ศักดิ์สุวรรณ, "การพัฒนาผลิตภัณฑ์มะม่วงอบแห้งโดยปราศจากการเติมสารละลายน้ำตาลโดยใช้เทคนิคการอบแห้งลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ," มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2560.

[2] นิดดา หงส์วิวัฒน์ และทวีทอง หงส์วิวัฒน์, "หนังสือผลไม้ 111 ชนิดคุณค่าอาหารและการกิน," กรุงเทพมหานคร, 2550.

[3] I.S. Jacobs and C.P. Bean, "Fine particles, thin films and exchange anisotropy," in *Magnetism,* vol. III, G.T. Ra do and H. Suhl, Eds. New York: Academic, 1963, pp. 271-350.

[4] สิทธิชัย ศรีไทย, "การผลิตมะม่วงอบแห้งโดยปราศจากการเติมสารละลายน้ำตาลโดยวิธีการอบแห้งด้วยลมร้อนแบบใช้เทคนิคปรับลดระดับอุณหภูมิ," มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2560.

[5] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (ผลไม้แห้ง), หน้า 5, 2546

	ว่าที่ร้อยตรีสุธินนท์ พัชรัชต์วิรากุล จบการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจักรพงษ์ภูวนารถ
	ผศ. ดร.สุวิทย์ แพงกันยา อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference of Engineering and Technology

การอบแห้งมะม่วงน้ำดอกไม้สุกโดยปราศจากการเติมสารละลายน้ำตาลด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน โดยใช้เทคนิคปรับลดอุณหภูมิลมร้อน

Drying of Ripe Namdokmai Mango without Adding Sugar Solution Using Combined Infrared-Hot Air with Step-Down Hot-Air Temperature Technique

สุธินนท์ พัชรัชต์วิรากุล[1,*] และ สุวิทย์ แพงกันยา[2]

สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร10800 [1]sutinon-pa@rmutp.ac.th, [2]suwit.p@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่ออบแห้งมะม่วงน้ำดอกไม้สุกโดยไม่แช่สารละลายน้ำตาลโดยใช้วิธีการอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนโดยใช้เทคนิคปรับลดอุณหภูมิจนกระทั่งตัวอย่างมีความชื้นสุดท้ายไม่เกิน 15% ฐานแห้ง เปรียบเทียบกับวิธีการอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนแบบใช้อุณหภูมิคงที่ โดยพิจารณาจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของกระบวนการอบแห้ง พบว่า วิธีการอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนแบบใช้อุณหภูมิคงที่ที่เงื่อนไข 90 °C มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นของมะม่วงสูงกว่าวิธีการอบแห้งอื่น ทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งสั้นกว่า ส่งผลให้มีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในด้านพลังงานไฟฟ้าต่ำกว่า การเพิ่มเวลาในช่วงแรกของการอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนโดยใช้เทคนิคปรับลดอุณหภูมิและการเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนในการอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนแบบใช้อุณหภูมิคงที่ ทำให้การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ใช้เวลาอบแห้งลดลง การอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนโดยใช้เทคนิคปรับลดอุณหภูมิมีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในด้านพลังงานความร้อนต่ำกว่าวิธีการอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนแบบใช้อุณหภูมิคงที่

คำสำคัญ : การอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน, ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ, จลนพลศาสตร์ของการอบแห้ง, มะม่วงอบแห้ง

Abstract

The purpose of this research was to dry Namdokmai mango without adding sugar solution using combined infrared-hot air (IHAD) with step-down temperature technique until the final moisture content of the samples was no more than 15% dry basis compared with IHAD with constant temperature. The drying kinetics and the specific energy consumption (SEC) of the drying process were evaluated. It was found that IHAD with constant temperature at 90 °C gave higher change in mango moisture ratio than other drying methods led to the shorter drying time, resulted in lower SEC in terms of electrical energy. Increasing the drying time in the first stage of IHAD with step-down temperature technique and increasing the hot air temperature in IHAD with constant temperature causes the moisture ratio change of mango increased, resulting in reduced drying time. The IHAD with step-down temperature technique provided lower SEC in terms of thermal energy than IHAD with constant temperature.

Keywords: Combined infrared- hot air drying, Specific energy consumption, Drying kinetic, microstructure, Dried mango.

1. บทนำ

มะม่วงเป็นผลไม้เมืองร้อนที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ โดยมีมูลค่าการส่งออกหลายพันล้านบาทต่อปี นอกจากนี้มะม่วงยังเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน เส้นใย วิตามิน และแร่ธาตุ [1] สามารถนำมารับประทานเป็นผลไม้สดได้ มีรสเปรี้ยวหวาน และสามารถนำเอามาทำเป็นอาหารคาว หวานต่างๆ ได้มากมาย แต่ในช่วงฤดูกาลเก็บเกี่ยวมะม่วงมักมีผลผลิตออกสู่ตลาดในปริมาณมาก ทำให้จำหน่ายไม่ทัน และมะม่วงยังเป็นผลไม้ที่มีความชื้นสูงทำให้ที่เน่าเสียง่าย ดังนั้นเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับมะม่วงและสามารถยืดอายุในการเก็บรักษาให้ยาวนานขึ้น จึงมีการนำมะม่วงมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น มะม่วงกวน ไอศครีมมะม่วง มะม่วงแช่อิ่มอบแห้ง เป็นต้น โดยเฉพาะมะม่วงแช่อิ่มอบแห้งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำตาลมากซึ่งไม่เหมาะกับผู้บริโภคที่ใส่ใจในสุขภาพ ดังนั้นการแปรรูปมะม่วงอบแห้งแบบธรรมชาติโดยปราศจากการเติมสารละลายน้ำตาลจึงเป็นทางเลือกหนึ่งให้กับผู้บริโภคที่ใส่ใจในสุขภาพ โดยการอบแห้งที่นิยมมากที่สุดในปัจจุบันคือการอบแห้งด้วยลมร้อน แต่การอบแห้งด้วยลมร้อนใช้เวลาในการอบแห้งนาน ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานในการอบแห้งมาก และยังทำให้ผลิตภัณฑ์อบแห้งมีคุณภาพไม่ค่อยดี เช่น สีคล้ำ การหดตัวสูง และมีความแข็งมากเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอบแห้งด้วยวิธีอื่น

การอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนโดยใช้เทคนิคปรับลดอุณหภูมิลมร้อนเป็นวิธีทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากวิธีการอบแห้งนี้มีประสิทธิภาพการอบแห้งสูง ทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งสั้น ส่งผลให้ความสิ้นเปลืองพลังงานต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนโดยใช้อุณหภูมิคงที่ตลอดกระบวนการอบแห้งและวิธีการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว [2] เนื่องจากการคลื่นอินฟราเรดสามารถทะลุทะลวงเข้าไปในวัสดุได้โดยตรงโดยการดูดซับคลื่นของน้ำภายในวัสดุ ทำให้วัสดุร้อนอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้น้ำภายในวัสดุระเหยอย่างรวดเร็ว ประกอบกับการใช้อุณหภูมิสูงในช่วงเวลาสั้น ทำให้เร่งการระเหยของน้ำภายในวัสดุเร็วขึ้น จึงทำให้อัตราการอบแห้งสูง และใช้เวลาในการอบแห้งสั้น

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการอบแห้งมะม่วงน้ำดอกไม้อบแห้งโดยปราศจากการเติมสารละลายน้ำตาลโดยการอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนโดยใช้เทคนิคการปรับลดอุณหภูมิเปรียบเทียบกับการอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนแบบใช้อุณหภูมิคงที่ โดยประเมินจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของกระบวนการอบแห้ง

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 วัตถุดิบและวิธีการเตรียมตัวอย่าง

นำมะม่วงน้ำดอกไม้พันธุ์สีทองจากตลาด จังหวัดกรุงเทพมหานคร ที่มีปริมาณความของแข็งที่ละลายน้ำได้อยู่ในช่วง 17-19 ^{o}Brix ซึ่งวัดโดยใช้เครื่อง ATC-1E hand-held refractometer (ATAGO, Tokyo, Japan) จากนั้นนำมะม่วงแช่น้ำที่อุณหภูมิ 47 ^{o}C เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง เพื่อยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลของมะม่วงก่อนอบแห้ง จากนั้นนำมะม่วงมาปอกเปลือกแล้วหั่นเนื้อมะม่วงตามแนวความยาวของผลด้วยความหนาประมาณ 1.5 cm ซึ่งจะได้ 4 ชิ้น/ผล โดยการทดลองในแต่ละเงื่อนไขใช้เนื้อมะม่วงประมาณ 250 กรัม

2.2 การหาความชื้นของตัวอย่าง

ความชื้นของมะม่วงหาได้จากการนำมะม่วงหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ ใส่ในกระป๋องอลูมิเนียมช่างน้ำหนักให้ได้ประมาณ 5-8 กรัม โดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนักน้ำหนักดิจิตอล (A&D, model Fx-2000, Japan) มีความคลาดเคลื่อน ±0.01 กรัม จากนั้นนำไปอบแห้งในตู้อบลมร้อน (Memmert , UF75 , Germany) ที่อุณหภูมิ 103 ^{o}C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ซึ่งการหาความชื้นด้วยวิธีนี้มีความถูกต้องและใกล้เคียงกับวิธีการหาความชื้นตามมาตรฐาน AOAC [3] โดยความชื้นของมะม่วงอบแห้งสามารถคำนวณได้จากสมการ (1)

$$M_{\mathrm{d}} = \frac{w-d}{d} \times 100 \tag{1}$$

เมื่อ

M_{d} คือ ความชื้นของมะม่วง, %ฐานแห้ง

w คือ มวลของมะม่วงเริ่มต้น, kg

d คือ มวลแห้งของมะม่วง, kg

2.3 จลนพลศาสตร์ของกระบวนการอบแห้ง

จลนพลศาสตร์ของกระบวนการอบแห้งมะม่วงในงานวิจัยนี้แสดงในรูปแบบของอัตราส่วนความชื้น (Moisture ratio; MR) ของมะม่วงในขณะอบแห้ง โดยสามารถคำนวณได้ตามสมการ (2)

$$MR = \frac{M_{\mathrm{t}} - M_{\mathrm{e}}}{M_0 - M_{\mathrm{e}}} \tag{2}$$

เมื่อ

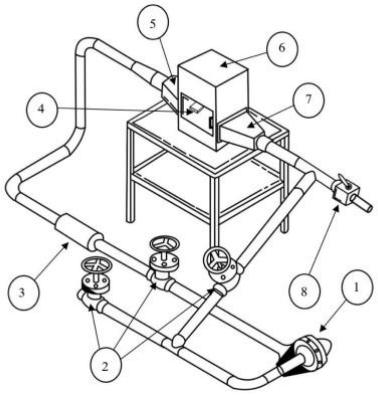
M_{t} คือ ความชื้นของมะม่วงที่เวลาใดๆ ในขณะอบแห้ง, %ฐานแห้ง

M_{o} คือ ความชื้นเริ่มต้นของมะม่วง, %ฐานแห้ง

M_{e} คือ ความชื้นสมดุลของมะม่วง, %ฐานแห้ง

2.4 อุปกรณ์การทดลอง

เครื่องอบแห้งที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือเครื่องอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนดังแสดงในรูปที่ 1 โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญได้แก่ (1) เครื่องเป่าลม (2) วาล์ว (3) เครื่องผลิตความร้อน (4) อินฟราเรด (5) ตำแหน่งวัดอุณหภูมิทางเข้า (6) ห้องอบแห้ง (7) ตำแหน่งวัดอุณหภูมิทางออก (8) แดมเปอร์



รูปที่ 1 เครื่องอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน

2.5 วิธีการทดลอง

ก่อนเริ่มการอบแห้งทุกครั้งต้องเปิดเครื่องอบแห้งอุ่นอากาศกระทั่งอากาศมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นตามเงื่อนไขที่ใช้ในการทดลอง 70-90°C จากนั้นนำมะม่วงแผ่นที่เตรียมไว้วางเรียงบนตะแกรงเทฟล่อนให้ได้น้ำหนักประมาณ 250 กรัม จากนั้นเริ่มดำเนินการอบแห้งด้วยอินฟราเรดกับลมร้อนโดยใช้เทคนิคปรับลดระดับอุณหภูมิลมร้อนที่กำลังคงที่ 650 W ร่วมกับลมร้อนที่อุณหภูมิ 70-90 °C เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง ความเร็วลม 0.3 m/s และใช้อากาศหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ 20% เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง ตามด้วยอากาศหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ 80% อบแห้งจนกระทั่งตัวอย่างเหลือความชื้นสุดท้ายไม่เกิน 15% ฐานแห้ง เปรียบเทียบกับวิธีการอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน โดยรายละเอียดของเงื่อนไขการทดลองแสดงในตารางที่ 1 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของมะม่วงในขณะอบแห้งใช้วิธีนำตัวอย่างออกมาชั่งน้ำหนักด้านนอกของห้องอบแห้งโดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล (A&D, model Fx-2000, Japan) มีความคลาดเคลื่อน ±0.01 กรัม การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวของม่วงในขณะอบแห้งนำออกมาวัดอุณหภูมิด้านนอกของห้องอบแห้งโดยใช้เครื่อง Infrared Thermometer (UNI-T, model UT300S, Thailand) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิลมร้อนใช้เทอร์โมคัปเปิล ชนิด k เชื่อมต่อกับ Digital Clamp Multimeters (UNI-T, Model UT200 Series, China) ความสิ้นเปลืองพลังงานของกระบวนการอบแห้งวัดโดยใช้ Watt-Hour Meter ชนิด 1 เฟส (DAMCHI, Model DD28, Thailand)

ตารางที่ 1 รายละเอียดเงื่อนไขการทดลอง

HA90+FIR650_2h/ HA80+FIR650_1h/ HA70+FIR650_end	การอบแห้งด้วยอินฟราเรดที่กำลัง 650 W คงที่ ร่วมกับลมร้อน 90 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ตามด้วยลมร้อน 80 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และตามด้วยลมร้อน 70 °C จนกระทั่งสิ้นสุดการอบแห้ง
HA90+FIR650_1.5h/ HA80+FIR650_1h/ HA70+FIR650_end	การอบแห้งด้วยอินฟราเรดที่กำลัง 650 W คงที่ ร่วมกับลมร้อน 90 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที ตามด้วยลมร้อน 80 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และตามด้วยลมร้อน 70 °C จนกระทั่งสิ้นสุดการอบแห้ง
HA90+FIR650_1h/ HA80+FIR650_1h/ HA70+FIR650_end	การอบแห้งด้วยอินฟราเรดที่กำลัง 650 W คงที่ ร่วมกับลมร้อน 90 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตามด้วยลมร้อน 80 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และตามด้วยลมร้อน 70 °C จนกระทั่งสิ้นสุดการอบแห้ง
HA90+FIR650	การอบแห้งด้วยอินฟราเรดที่กำลัง 650 W ร่วมกับลมร้อน 90 °C
HA80+FIR650	การอบแห้งด้วยอินฟราเรดที่กำลัง 650 W ร่วมกับลมร้อน 80 °C
HA80+FIR650	การอบแห้งด้วยอินฟราเรดที่กำลัง 650 W ร่วมกับลมร้อน 70 °C

2.6 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของกระบวนการอบแห้ง

ความสิ้นเปลืองพลังงานของกระบวนการอบแห้งวัดจากค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องผลิตความร้อน เครื่องเป่าลม และอินฟราเรด โดยวัดจากกิโลวัตต์ฮาวร์มิเตอร์ ชนิด 1 เฟส ความสิ้นเปลืองพลังงานของกระบวนการอบแห้งงานวิจัยนี้แสดงในรูปของความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption, SEC) มีหน่วยเป็น MJ/kg ของน้ำระเหย [4] ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของกระบวนการอบแห้ โดย SEC ทางด้านพลังงานความร้อนคำนวณจากสมการ (3) และ SEC ทางด้านพลังงานไฟฟ้าสามารถคำนวณได้จากสมการ (4) ตามลำดับ

$$SEC_{\text{Heat}} = \frac{E_{\text{Heater}}}{m_{\text{w}}} \tag{3}$$

$$SEC_{\text{Electricity}} = \frac{E_{\text{Infrared}} + E_{\text{Blower}}}{m_{\text{w}}} \tag{4}$$

เมื่อ

SEC_{Heat} คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของกระบวนการอบแห้งทางด้านความร้อน, MJ/kg ของน้ำระเหย

$SEC_{\text{Electricity}}$ คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของกระบวนการอบแห้งทางด้านไฟฟ้า, MJ/kg ของน้ำระเหย

E_{FIR} คือ พลังงานที่ใช้สำหรับอินฟราเรด, MJ

E_{Heater} คือ พลังงานที่ใช้สำหรับเครื่องทำความร้อน, MJ

E_{Blower} คือ พลังงานที่ใช้สำหรับเครื่องเป่าลม, MJ

m_{w} คือ ปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากมะม่วงอบแห้ง, kg

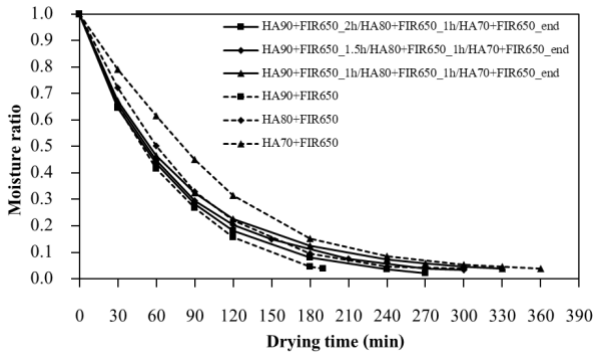
3. ผลการวิจัย

3.1 จลนพลศาสตร์ของการอบแห้งมะม่วง

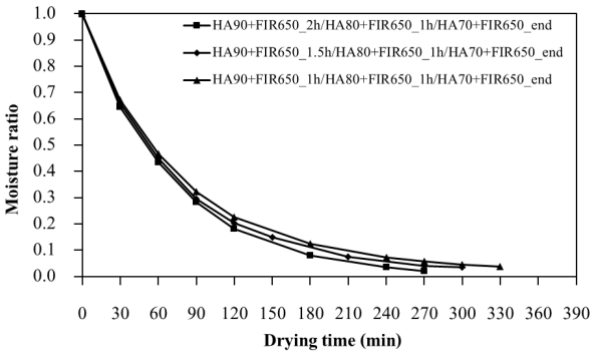
การศึกษาจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งมะม่วงด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนแบบใช้เทคนิคปรับลดระดับอุณหภูมิเปรียบเทียบกับวิธีการอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน โดยนำมะม่วงน้ำดอกไม้สุกมีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 380-400% ฐานแห้ง อบแห้งจนกระทั่งมะม่วงมีความชื้นไม่เกิน 15% ฐานแห้ง จลนพลศาสตร์ของกระบวนการอบแห้งมะม่วงน้ำดอกไม้แผ่นด้วยอินฟราเรดร่วมกับลม

ร้อนแบบใช้เทคนิคปรับลดระดับอุณหภูมิและการอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนที่เงื่อนไขต่างๆ แสดงในรูปที่ 2-4 และการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นและอุณหภูมิของมะม่วง และอุณหภูมิของลมร้อนในขณะอบแห้งในแต่ละเงื่อนไขการทดลองแสดงในรูปที่ 5 พบว่า วิธีการอบแห้งมะม่วงด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนที่อุณหภูมิ 90 °C มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นสูงกว่าการอบแห้งด้วยเงื่อนไขอื่น เนื่องจากอุณหภูมิของมะม่วงในขณะที่อบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนที่อุณหภูมิ 90 °C สูงกว่า ดังแสดงในรูปที่ 5 ทำให้อัตราการถ่ายเทมวลของน้ำภายในวัสดุสูงกว่า ทำให้ไอน้ำระเหยออกจากวัสดุอย่างรวดเร็ว ซึ่งเกิดจากน้ำภายในวัสดุดูดซับคลื่นอินฟราเรดแล้วเปลี่ยนแปลงไปเป็นความร้อนและทำให้น้ำระเหยออกอย่างรวดเร็ว [5] ในขณะที่การอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 °C มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นต่ำที่สุด ทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งนานที่สุด เนื่องจากอุณหภูมิของวัสดุต่ำกว่าเงื่อนไขอื่น ทำให้อัตราการถ่ายเทมวลของน้ำภายในวัสดุต่ำกว่า

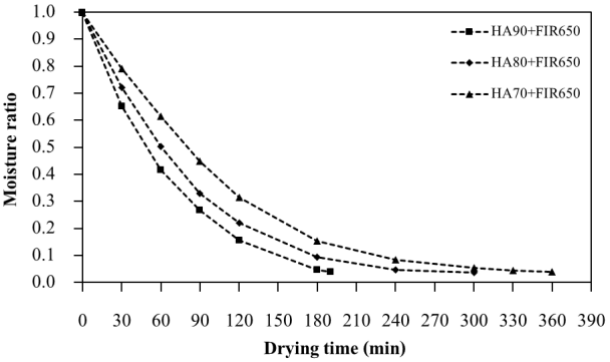
เมื่อพิจารณาผลของระดับอุณหภูมิลมร้อนที่มีต่อจลนพลศาสตร์ของกระบวนการอบแห้ง พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งจาก 70 °C เป็น 80 °C และ 90 °C ตามลำดับ ในการอบแห้งทั้งสองวิธี ทำให้การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นของมะม่วงเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิของวัสดุเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 5 ทำให้การถ่ายเทมวลน้ำภายในวัสดุมากกว่า ทำให้เวลาอบแห้งลดลงดังแสดงในรูปที่ 3 และรูปที่ 4



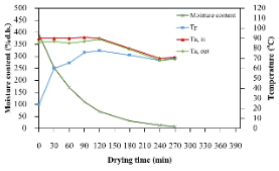
รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นของมะม่วงในขณะอบแห้งด้วยเงื่อนไขแบบต่างๆ



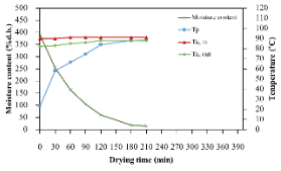
รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นของมะม่วงในขณะอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนโดยใช้เทคนิคปรับลดระดับอุณหภูมิที่เงื่อนไขแบบต่างๆ



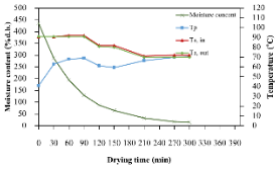
รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นของมะม่วงในขณะอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนที่เงื่อนไขต่างๆ



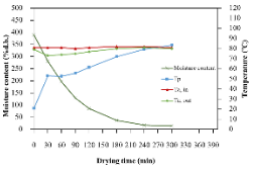
ก) HA90+FIR650_2h/HA80+FIR650_1h/HA70+FIR650_end



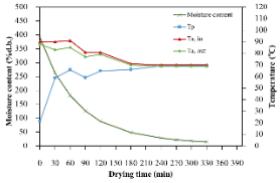
ง) HA90+FIR650



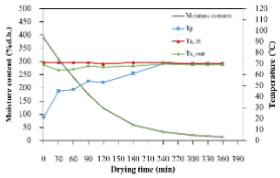
ข) HA90+FIR650_1.5h/HA80+FIR650_1h/HA70+FIR650_end



จ) HA80+FIR650



ค) HA90+FIR650_1h/HA80+FIR650_1h/HA70+FIR650_end



ฉ) HA70+FIR650

รูปที่ 5 การเปลี่ยนแปลงความชื้นและอุณหภูมิของมะม่วงและอุณหภูมิลมร้อนในขณะอบแห้งด้วยเงื่อนไขต่างๆ [Tp คือ อุณหภูมิผลิตภัณฑ์, Ta, in คือ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า, Ta, out คือ อุณหภูมิลมร้อนขาออก]

3.2 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของกระบวนการอบแห้ง

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของกระบวนการอบมะม่วงน้ำดอกไม้ด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนโดยใช้เทคนิคปรับลดระดับอุณหภูมิเปรียบเทียบกับวิธีการอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนแบบใช้อุณหภูมิลมร้อนคงที่แสดงในตารางที่ 2 พบว่าการอบแห้งมะม่วงน้ำดอกไม้ด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนโดยใช้เทคนิคปรับลดระดับอุณหภูมิทุกเงื่อนไขการทดลองมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ในส่วนของพลังงานความร้อนต่ำกว่าวิธีการอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนแบบใช้อุณหภูมิคงที่ เนื่องจากการใช้พลังงานของเครื่องกำเนิดความร้อนต่ำกว่าจากผลของการปรับลดระดับอุณหภูมิลมร้อน [6] อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของกระบวนการอบแห้งในส่วนของพลังงานไฟฟ้า พบว่า วิธีการอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนแบบใช้อุณหภูมิคงที่มีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของกระบวนการอบแห้งทางด้านไฟฟ้าต่ำกว่าวิธีการอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนโดยใช้เทคนิคปรับลดระดับอุณหภูมิ เนื่องจากการใช้พลังงานของอินฟราเรดต่ำกว่า การเพิ่มขึ้นของเวลาในช่วงแรกของการอบแห้งในการอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนโดยใช้เทคนิคปรับลดระดับอุณหภูมิ ทำให้ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในส่วนของพลังงานความร้อนเพิ่มขึ้น เนื่องจากเวลาในการทำงานของเครื่องผลิตความร้อนในช่วงแรกของการอบแห้งมากขึ้นจึงทำให้ใช้พลังงานเพิ่มขึ้น แต่ในทางตรงกันข้ามความสิ้นพลังงานจำเพาะในส่วนของพลังงานไฟฟ้าลดลง เนื่องจากใช้เวลาในการอบแห้งสั้นลง นอกจากนี้เมื่อพิจารณาผลของระดับอุณหภูมิลมร้อนที่มีต่อความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของกระบวนการอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนแบบใช้อุณหภูมิคงที่ พบว่าการเพิ่มระดับอุณหภูมิลมร้อนจาก 70 °C เป็น 80 °C และ 90 °C ตามลำดับ ทำให้ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะทั้งทางด้านพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนลดลง เนื่องจากการใช้เวลาอบแห้งลดลงจาก 360 นาที เป็น 300 นาที และ 190 นาที ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Paengkanya et al. [7] ที่ศึกษาการอบแห้งทุเรียนแผ่นด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

ตารางที่ 2 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของกระบวนการอบแห้งที่เงื่อนไขต่างๆ

Drying methods	Drying time (min)	Evaporated water (kg)	SEC (MJ/kg water evaporated)				
			Infrared	Heater	Blower	Total energy	
						Heat	Electricity
HA90+FIR650_2h/HA80+FIR650_1h/HA70+FIR650_end	270	0.1995	8.45	47.59	7.57	47.59	16.02
HA90+FIR650_1.5h/HA80+FIR650_1h/HA70+FIR650_end	300	0.1889	11.22	45.52	8.88	45.52	20.10
HA90+FIR650_1h/HA80+FIR650_1h/HA70+FIR650_end	330	0.1854	11.29	40.59	9.96	40.59	21.25
HA90+FIR650	190	0.1990	7.42	55.25	5.34	55.25	12.75
HA80+FIR650	300	0.1978	8.04	55.68	8.48	55.68	16.53
HA70+FIR650	360	0.2008	8.82	62.82	10.03	62.82	18.85

4. สรุป

งานวิจัยนี้ศึกษาการอบแห้งมะม่วงน้ำดอกไม้สุกโดยปราศจากการเติมสารละลายน้ำตาลด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนแบบใช้เทคนิคปรับลดระดับอุณหภูมิเปรียบเทียบกับวิธีการอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนแบบใช้อุณหภูมิคงที่ พบว่าวิธีการอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนแบบใช้อุณหภูมิคงที่ในเงื่อนไข 90 °C มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นสูงกว่ากรณีอบแห้งด้วยวิธีอื่น ทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งสั้นที่สุด และส่งผลให้ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในด้านพลังงานไฟฟ้าต่ำที่สุด ในขณะเดียวกันการอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนที่เงื่อนไข 70 °C มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นน้อยที่สุด ทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งนานที่สุด ส่งผลให้มีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในด้านพลังงานความร้อนสูงที่สุด การเพิ่มขึ้นของเวลาในช่วงแรก

ของกระบวนการอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนโดยใช้เทคนิคปรับลดระดับอุณหภูมิ ทำให้การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นของมะม่วงเพิ่มขึ้น ทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งสั้นลง ทำให้ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในส่วนของพลังงานไฟฟ้าลดลง และการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิลมร้อนในการอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนแบบใช้อุณหภูมิคงที่ ทำให้การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นของมะม่วงเพิ่มขึ้น ทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งสั้นลง ส่งผลให้ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของกระบวนการอบแห้งทั้งพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าวิธีการอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนโดยใช้เทคนิคปรับลดระดับอุณหภูมิมีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในส่วนของพลังงานความร้อนต่ำกว่าวิธีการอบแห้งด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนแบบใช้อุณหภูมิคงที่ ในขณะที่ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในด้านพลังงานไฟฟ้าสูงกว่า

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้การสนับสนุนสถานที่ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] สิทธิชัย ศรีไทย, “การพัฒนาผลิตภัณฑ์มะม่วงน้ำดอกไม้อบแห้งโดยปราศจากการเติมสารละลายน้ำตาลโดยวิธีการอบแห้งด้วยลมร้อนแบบปรับลดอุณหภูมิและแบบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนแบบสายพานลำเลียง,” ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 1-109, 2560

[2] A. Nathakaranakule, P. Jaiboon and S. Soponronnarit, “Far-infrared radiation assisted drying of longan fruit”, *Journal of Food Engineering*, Vol. 100, pp. 662-668, 2010.

[3] AOAC. *Official Methods of Analysis*. 16th ed. Association of official Agricultural Chemists. Washington: DC., 1995.

[4] ณพวีร์ หวังใจชื่น, “การพัฒนามะม่วงอบแห้งธรรมชาติโดยใช้ลมร้อนร่วมกับการปรับลดระดับกำลังไมโคเวฟ,” ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2560

[5] สิทธิชัย ศรีไทย, สุวิทย์ แพงกันยา, อดิศักดิ์ นาถกรณกุล และสมชาติ โสภณรณฤทธิ์, “การผลิตมะม่วงอบแห้งโดยปราศจากการเติมสารละลายน้ำตาลโดยวิธีการอบแห้งด้วยลมร้อนแบบใช้เทคนิคปรับลดระดับอุณหภูมิ,” *การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 13*, หน้า 607-613, 2560

[6] ศรัณย์ ศักดิ์สุวรรณ, “การพัฒนาผลิตภัณฑ์มะม่วงอบแห้งโดยปราศจากการเติมสารละลายน้ำตาลโดยใช้เทคนิคการอบแห้งลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ,” ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2560

[7] A. Achariyaviriya, S. Soponronnarit and J. Tiansuwan, “Study of longan flesh drying”, *Drying Technology*, Vol. 19, pp. 2315-2329, 2001.

	ว่าที่ร้อยตรีสุธินนท์ พัชรัชต์วิรากุล จบการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจักรพงษภูวนารถ
	ผศ. ดร.สุวิทย์ แพงกันยา อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

การจัดการบำรุงรักษาเชิงรุกของเครื่องจักรซีเอ็นซีในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูป

Proactive Maintenance Management of CNC Machine for Compression Mold Process

ธนวัฒน์ แข็งแรง[1*] ศักดิ์ชาย รักการ[1] และ จีรวัฒน์ ปล้องใหม่[2]

[1] หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

วิทยาเขตพัฒนาการ 1761 ถนนพัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250 wataccrod9660@gmail.com , sakchai.rak@kbu.ac.th

[2] ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

วิทยาเขตพัฒนาการ 1761 ถนนพัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250 jeerawat.plo@kbu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำแผนการจัดการบำรุงรักษาแบบเชิงรุกเครื่องจักรซีเอ็นซีในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ซึ่งมีความพร้อมใช้งานต่ำกว่า 99% กรณีศึกษาบริษัทผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตและลดระยะเวลาเกิดการขัดข้องของเครื่องจักรซีเอ็นซี โดยเริ่มจากการเก็บข้อมูลการขัดข้องของเครื่องจักรซีเอ็นซี ระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ. 2565 - เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2565 นำมาวิเคราะห์สาเหตุปัญหาการขัดข้องของเครื่องจักรซีเอ็นซี จากนั้นจึงนำมาสร้างแผนการบำรุงรักษาเชิงรุกและนำไปใช้กับเครื่องจักรซีเอ็นซีในสายการผลิตแม่พิมพ์ จากผลการดำเนินการพบว่า อัตราการขัดข้องเครื่องจักรโดยรวมเฉลี่ยลดลงจาก 8.75% เป็น 0.13% ลดลงจากเดิม 8.62% คิดเป็นสัดส่วน 98.51% ความพร้อมใช้งานเครื่องจักรโดยรวมเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 91.25% เป็น 99.87% เพิ่มขึ้นจากเดิม 8.62% คิดเป็นสัดส่วน 9.44% ระยะเวลาเฉลี่ยก่อนการขัดข้องโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 5,409.55 นาที/ครั้ง เป็น 26,576.00 นาที/ครั้ง และระยะเวลาเฉลี่ยในการซ่อมแซมโดยเฉลี่ยลดลงจาก 156.41 นาที/ครั้ง เป็น 28.39 นาที/ครั้ง

คำสำคัญ : การบำรุงรักษาเชิงรุก; เครื่องจักรซีเอ็นซี; ประสิทธิภาพ

Abstract

This research article aims to take a proactive maintenance management for CNC machines, which have availability less than 99% in production mold process. A case study of the company is an automotive parts manufacturer. The process begins with data problem CNC machines in production line between January to July 2022 are analyzed the cause of CNC machines by failure rate. Proactive maintenance is applied to make proactive maintenance plans. After using proactive maintenance for CNC machines, find that the average overall machine failure decreases from 8.75% to 0.13% or decrease 8.62% or accounted for 98.51%. The average overall machine availability increases from 91.25% to 99.87% or increases 8.62% or accounted for 9.44%. The average overall mean time between failures (MTBF) increases from 5,409.55 minutes per time to 26,576.00 minutes per time and the average overall mean time to repair (MTTR) decreases from 156.41 minutes per time to 28.39 minutes per time.

Keywords: Proactive Maintenance; CNC Machines; Efficiency

1. บทนำ

ในช่วงเวลากว่าหลายทศวรรษที่กระแสโลกาภิวัตน์ทำให้ตลาดการค้าระหว่างประเทศเติบโตผู้ผลิตสามารถใช้ประโยชน์จากการแบ่งการผลิตระหว่างประเทศโดยสร้างระบบห่วงโซ่อุปทานการผลิตให้กระจายอยู่ในหลายประเทศ ทำให้การผลิตมีประสิทธิภาพ [1] อุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ในปัจจุบันมีการแข่งขันที่สูงมาก ทุกองค์กรจึงมีความจำเป็นอย่างมากที่ต้องปรับปรุงทั้งในด้านการผลิตสินค้าคุณภาพ ปริมาณ และการส่งมอบสินค้าให้กับลูกค้าเพื่อตอบสนองความต้องการและความพึงพอใจให้กับลูกค้าและสร้างความได้เปรียบทางการค้ากับคู่แข่ง ในขณะที่องค์กรยังคงต้องให้ความสำคัญก็คือต้นทุนการผลิตสินค้าเพื่อให้ได้ตามเป้าหมายที่ลูกค้าต้องการองค์กรต้องมีการจัดสรรทรัพยากรและหนึ่งปัจจัยที่สำคัญก็คือเครื่องจักร [4] การเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตนั้นเครื่องจักรต้องมีความพร้อมใช้งานอยู่ตลอดเวลา [2] โดยการประยุกต์ใช้กลยุทธ์การบำรุงรักษาเชิงรุกที่เป็นการบำรุงรักษาที่มีคุณภาพสูงเพื่อสร้างความน่าเชื่อถือให้กับเครื่องจักรและอุปกรณ์ [5] ซึ่งมุ่งเน้นเพื่อลดการชำรุดของเครื่องจักรและเพิ่มค่าเวลาเฉลี่ยก่อนการชำรุด [3] โดยดำเนินการเพื่อเปิดเผยแง่มุมของการบำรุงรักษาเชิงรุกที่ทำให้เหนือกว่ากลยุทธ์การบำรุงรักษาอื่นๆทั่วไป ที่เคยได้รับความนิยม [5]

ในสายการผลิตกัดขึ้นรูปแม่พิมพ์ด้วยเครื่องจักรซีเอ็นซี ของบริษัทผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ โดยมียอดขายแม่พิมพ์ต่อเดือนอยู่ที่ 12,600,000 บาท แต่หลังจากเกิดปัญหาเครื่องจักรซีเอ็นซี มีอัตราการขัดข้องอยู่บ่อยครั้ง ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบทำให้ยอดขายลดลงจากเดิมอยู่ที่ 11,900,000 บาท ลดลงถึง 5.56% จากปัญหาดังกล่าวจึงได้ทำการดำเนินการเก็บข้อมูลของปัญหาเป็นระยะเวลา 7 เดือนพบว่าเครื่องจักรที่มีปัญหาที่ทำให้ยอดขายแม่พิมพ์ลดลงคือ เครื่องจักรซีเอ็นซีที่มีการใช้งานมาแล้วไม่ต่ำกว่า 10 ปีมีอยู่ทั้งหมด 4 เครื่องซึ่งมีอัตราการขัดข้องเฉลี่ยอยู่ที่ 8.75% และมีอัตราความพร้อมใช้งานต่ำกว่า 99% ดังนั้นการบำรุงรักษาจึงมีความสำคัญเพราะเป็นการพยายามรักษาสภาพของเครื่องมือเครื่องจักรต่าง ๆ ให้มีสภาพที่พร้อมจะใช้งานอยู่ตลอดเวลา โดยการบำรุงรักษาเชิงรุก นับเป็นวิธีบำรุงรักษาเครื่องจักรที่ค่อนข้างใหม่ต่อ

วงการ ทั้งนี้เพราะแนวคิดดังกล่าวเป็นการบำรุงรักษาที่จะมุ่งพิจารณาราก ของปัญหาเมื่อใดที่มีการไม่สมดุลในระบบของเครื่องจักรอาจจะเกิดความไม่มีเสถียรภาพในหนึ่งสาเหตุหรืออาจจะมีความไม่สมดุลในระบบมากกว่าหนึ่งสาเหตุก็เป็นได้ดังนั้นเพื่อให้สามารถวิเคราะห์ปัญหาและนำมาดำเนินการแก้ไขปรับปรุงได้นั้น จำเป็นต้องมีแนวคิด หลักวิชาการที่มีการศึกษา ซึ่งมีการนำไปใช้และได้ผล ซึ่งเป็นแนวคิดวิธีปฏิบัติได้รับการยอมรับโดยมีการกำหนดวัตถุประสงค์ที่ชัดเจน ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและเลือกใช้เครื่องมือทางสถิติเพื่อนำมาวิเคราะห์ [2] โดยมีขั้นตอนดังนี้คือรวบรวมข้อมูลเครื่องจักร โดยใช้แนวทางของ (7QC tools) และประยุกต์ใช้หลักการของระบบการซ่อมบำรุงแบบทวีผลโดยทุกคนมีส่วนร่วม (Total Productive Maintenance , TPM) รวมถึงมีการวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้วิธีการแบบ Why Why Analysis เพื่อช่วยในการหาวิธีแก้ไขปัญหาของเครื่องจักร [3]

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 การเก็บข้อมูลปัญหา

ดำเนินการเก็บข้อมูลปัญหาของระยะเวลาเฉลี่ยก่อนการขัดข้อง (MTBF) ระยะเวลาเฉลี่ยในการซ่อมแซม (MTTR) อัตราการขัดข้องเฉลี่ย และอัตราความพร้อมใช้งานโดยเฉลี่ยในช่วงระยะเวลาระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ.2565 ถึง เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2565 พบว่ามีจำนวน 4 เครื่องที่อัตราความพร้อมใช้งานต่ำกว่า 99% ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลค่าเฉลี่ย MTBF MTTR และอัตราความพร้อมใช้งานของเครื่องจักรซีเอ็นซี ในช่วงระยะเวลา 7 เดือน ทั้ง 4 เครื่อง

รหัสเครื่องจักร	MTBF (นาที/ครั้ง)	MTTR (นาที/ครั้ง)	อัตราการขัดข้อง (%)	ความพร้อมใช้งาน (%)
CNC 03	13,179.82	147.58	1.11	98.89
CNC 09	7,050.44	221.63	3.05	96.95
CNC 14	662.41	123.71	15.74	84.26
CNC 15	745.51	132.73	15.11	84.89
รวม	21,637.91	625.65	35.01	364.99
ค่าเฉลี่ย	5,409.48	156.41	8.75	91.25

2.2 การวิเคราะห์ปัญหา

จากยอดขายแม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูปมีอัตราลดลงจากเดิมถึง 5.56% สาเหตุส่วนหนึ่งเกิดจากเครื่องจักรซีเอ็นซี มีการขัดข้องบ่อย และมีอัตราความพร้อมใช้งานต่ำกว่า 99% จำนวน 4 เครื่อง ผู้วิจัยได้ศึกษาข้อมูลจากประวัติการแจ้งซ่อมในรอบ 7 เดือน โดยเริ่มตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2565 – กรกฎาคม พ.ศ. 2565 ซึ่งสรุปปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นกับเครื่องจักรซีเอ็นซี โดยแบ่งเป็น 3 ระบบ คือระบบ Mechanical ระบบ Electrical และระบบ Pneumatic ดังแสดงในตารางที่ 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 การจำแนกปัญหาการขัดข้องของเครื่องจักรซีเอ็นซี CNC 03

ระบบ	ปัญหาขัดข้อง	ความถี่ขัดข้อง (ครั้ง)	รวม	เวลาขัดข้อง (นาที)	รวม
Mechanical	Spindle Unit	1	10	240	1,110
	ATC Unit	3		180	
	Magazine Unit	1		120	
	Door	1		60	
	Cooling Unit	2		120	
	Moving Axis Unit	1		390	
Electrical	Operation Panel	1	6	120	1,005
	Control Panel	1		165	
	Servo Amplifier	1		420	
	Sensor	2		60	
	Electric cable	1		180	
	Handle pulse generator	1		60	
Pneumatic	Solenoid valve	1	2	120	540
	Cylinder tool clamp/unclamp	1		420	
ผลรวม		18		2,655	

ตารางที่ 3 การจำแนกปัญหาการขัดข้องของเครื่องจักรซีเอ็นซี CNC 09

ระบบ	ปัญหาขัดข้อง	ความถี่ขัดข้อง (ครั้ง)	รวม	เวลาขัดข้อง (นาที)	รวม
Mechanical	Spindle Unit	2	14	1,000	3,600
	ATC Unit	4		300	
	Magazine Unit	2		300	
	Door	1		120	
	Cooling Unit	2		90	
	Moving Axis Unit	3		180	
Electrical	Operation Panel	1	7	520	2,007
	Control Panel	1		360	
	Servo Amplifier	1		240	
	Sensor	2		460	
	Electric cable	1		180	
	Handle pulse generator	1		60	
Pneumatic	Solenoid valve	5	12	1,280	1,700
	Cylinder tool clamp/unclamp	7		420	
ผลรวม		33		7,307	

ตารางที่ 4 การจำแนกปัญหาการขัดข้องของเครื่องจักรซีเอ็นซี CNC 14

ระบบ	ปัญหาขัดข้อง	ความถี่ขัดข้อง (ครั้ง)	รวม	เวลาขัดข้อง (นาที)	รวม
Mechanical	Spindle Unit	49	207	13,520	24,791
	ATC Unit	44		7,225	
	Magazine Unit	33		2,280	
	Door	10		626	
	Cooling Unit	24		720	
	Moving Axis Unit	47		420	
Electrical	Operation Panel	34	86	7,220	11,220
	Control Panel	9		540	
	Servo Amplifier	7		1,400	
	Sensor	25		2,321	
	Electric cable	6		880	
	Handle pulse generator	5		720	
Pneumatic	Solenoid valve	5	12	300	1,720
	Cylinder tool clamp/unclamp	7		1,420	
ผลรวม		305		37,731	

ตารางที่ 5 การจำแนกปัญหาการขัดข้องของเครื่องจักรซีเอ็นซี CNC 15

ระบบ	ปัญหาขัดข้อง	ความถี่ขัดข้อง (ครั้ง)	รวม	เวลาขัดข้อง (นาที)	รวม
Mechanical	Spindle Unit	49	144	1,000	23,516
	ATC Unit	44		300	
	Magazine Unit	5		300	
	Door	10		120	
	Cooling Unit	14		90	
	Moving Axis Unit	22		180	
Electrical	Operation Panel	24	58	520	11,020
	Control Panel	9		360	
	Servo Amplifier	7		240	
	Sensor	7		460	
	Electric cable	6		180	
	Handle pulse generator	5		60	
Pneumatic	Solenoid valve	21	28	1,280	1,700
	Cylinder tool clamp/unclamp	7		420	
ผลรวม		273		36,236	

จากตารางจำแนกปัญหาการขัดข้องของเครื่องจักรซีเอ็นซีที่มีอัตราเฉลี่ยความพร้อมใช้งานต่ำกว่า 99% จึงทำการวิเคราะห์สาเหตุการขัดข้องและหาแนวทางป้องกันปัญหาการขัดข้องนั้น ๆ

หลังจากวิเคราะห์สาเหตุของอาการขัดข้องและหาแนวทางป้องกันของเครื่องจักรซีเอ็นซีแล้ว จึงนำการป้องกันของอาการขัดข้องนั้น ๆ [4] มาพัฒนาแผนการจัดการบำรุงรักษาเชิงรุกต่อไป

2.3 วิธีการจัดการบำรุงรักษาเชิงรุก

การบำรุงรักษาเชิงรุกจะช่วยลดต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการซ่อมแซมขนาดใหญ่และการเปลี่ยนอุปกรณ์ก่อนครบกำหนดและส่งผลให้งบประมาณระยะยาวโดยรวมลดลง [10] จากกลยุทธ์การบำรุงรักษาที่มีอยู่ 2 วิธีคือการบำรุงรักษาแบบเชิงปฏิกิริยา (Reactive) และการบำรุงรักษาเชิงรุก (Proactive) [9] ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 อนุกรมวิธานของปรัชญาการบำรุงรักษา [9]

ผู้วิจัยจึงพิจารณาเลือกวิธีการบำรุงรักษาแบบเชิงรุกด้วยการดำเนินการฟื้นฟูสมรรถนะเครื่องจักรซีเอ็นซีโดยการรีโทรฟิต [6] เมื่อเครื่องจักรสามารถกลับมามีความพร้อมใช้งานที่อยู่ในเกณฑ์จึงได้ทำการการกำหนดขอบเขตอายุการใช้งานอุปกรณ์ อะไหล่ของเครื่องจักรซีเอ็นซี [7] ที่สำคัญต่อกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ โดยจัดทำตารางการบำรุงรักษาเชิงป้องกันและการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์อุปกรณ์ อะไหล่ของเครื่องจักรซีเอ็นซี ซึ่งแบ่งระยะเวลาการตรวจสอบตามระดับความสำคัญของอุปกรณ์ อะไหล่ของเครื่องจักรซีเอ็นซี มี 4 ระดับดังแสดงในรูปที่ 2

3.3.1 Rank A (1 เดือน/1 ครั้ง) คือ อุปกรณ์ อะไหล่ของเครื่องจักรซีเอ็นซีที่มีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูป (ไม่มีอุปกรณ์ใช้แทนชั่วคราวได้)

3.3.2 Rank B (3 เดือน/1 ครั้ง) คือ อุปกรณ์ อะไหล่ของเครื่องจักรซีเอ็นซีที่สามารถทดแทนกันได้โดยไม่กระทบกับสายการผลิต

3.3.3 Rank C (6 เดือน/1 ครั้ง) คือ อุปกรณ์ อะไหล่ของเครื่องจักรซีเอ็นซีที่ไม่เข้าเงื่อนไขข้อกำหนดของ Rank A และ Rank B

3.3.4 Rank D (1ปี/1 ครั้ง) คือ อุปกรณ์ อะไหล่ ของเครื่องจักรที่มีผลกระทบต่อค่าความแม่นยำของเครื่องจักรซีเอ็นซี

แผนการตรวจเช็คเครื่องจักรซีเอ็นซี					
ระบบ	รายการตรวจเช็ค	ระยะเวลาการตรวจเช็ค			
		1M	3M	6M	1Y
Lubricant system	ตรวจความเร็วการลดลงของน้ำมันและจุดต่อทุกจุด	X			
Coolant system	เติมหรือเปลี่ยนจารบี	X			
	ทำความสะอาดเครื่องฟอกอากาศ	X			
Coolant oil	ทำความสะอาดไส้กรองถังน้ำมัน				X
	เปลี่ยนน้ำมันที่ Spindle coolant				X
Slide way	ทำความสะอาด Slide way	X			
Electric system	พัดลมระบายความร้อนของมอเตอร์	X			
	ความสะอาดไส้กรองของชุด Controller *และอุปกรณ์* NC			X	
	ตรวจเช็คจุดต่อสายไฟและฉนวนต่างๆ				X
	ตรวจเช็คการทำงานของ Limit switch			X	
Balance block	เปลี่ยนจาระบีถ้ามีความสกปรกมาก		X		
Table	ระดับการวางโต๊ะ		X		
Spindle	เช็ค Spindle ยังคงตรงไม่เอียง (Test bar)&เช็ค Bearing			X	
Magazine chain	การเปลี่ยนTool ต้องตรงตำแหน่ง			X	
X, Y, Z axis	เช็ค Ball screw & Linear slide way				X

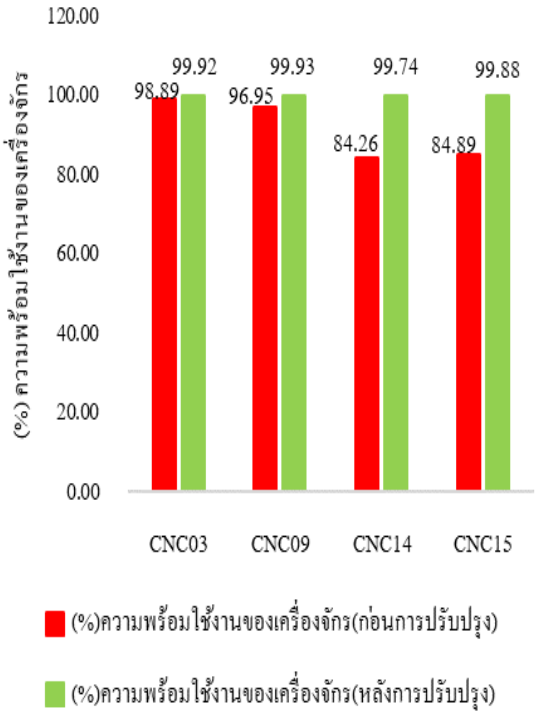
รูปที่ 2 แผนการตรวจเช็คเครื่องจักรซีเอ็นซีตามระดับความสำคัญของอุปกรณ์

3. ผลการวิจัย

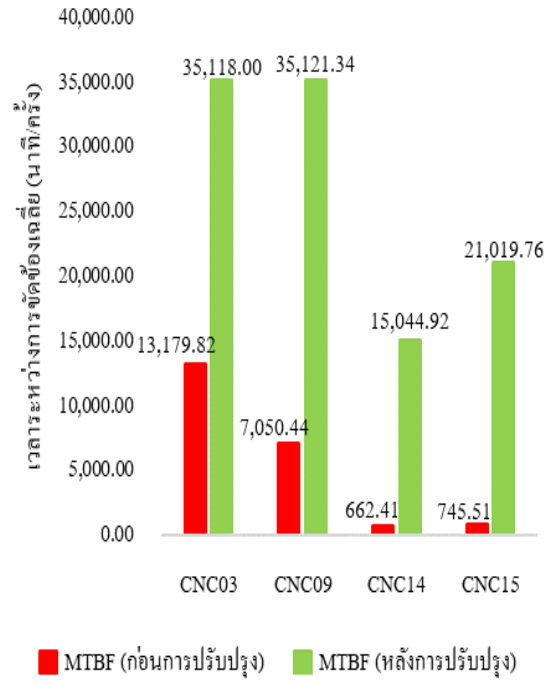
จากการดำเนินงานวิจัยและวางแผนการบำรุกรักษาเชิงรุกเครื่องจักรซีเอ็นซีเพื่อลดอัตราการขัดข้องและเพิ่มอัตราความพร้อมใช้งานให้มีค่าไม่ต่ำกว่า 99% โดยการเก็บข้อมูล 2 ช่วงเวลา คือ ก่อนการปรับปรุง [4] มีช่วงเวลาตั้งแต่เดือน มกราคม พ.ศ.2565 - กรกฎาคม พ.ศ. 2565 และหลังการปรับปรุงตั้งแต่เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2565 - ตุลาคม พ.ศ. 2565 โดยมีผลการดำเนินการ อัตราความพร้อมใช้งานเฉลี่ยของเครื่องจักร ระยะเวลาก่อนเกิดการขัดข้องเฉลี่ย (MTBF) และระยะเฉลี่ยในการซ่อม (MTTR) ก่อนและหลังปรับปรุงดังแสดงในตารางที่ 6 และแสดงในรูปที่ 3, 4, 5 ตามลำดับ

ตารางที่ 6 ข้อมูลเฉลี่ย MTBF MTTR อัตราการขัดข้อง ความพร้อมใช้งานเครื่องจักร หลังจากจัดการบำรุงรักษาเชิงรุก

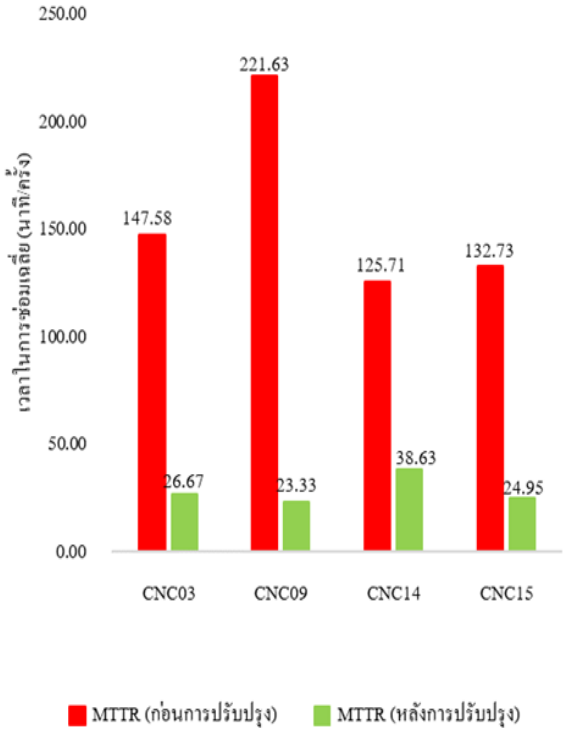
เครื่องจักร	MTBF (นาที)	MTTR (นาที)	อัตราการขัดข้อง (%)	ความพร้อมใช้งาน (%)
CNC 03	35,118.00	26.67	0.08	99.92
CNC 09	35,121.34	23.33	0.07	99.93
CNC 14	15,044.92	38.63	0.26	99.74
CNC 15	21,019.76	24.95	0.12	99.88
รวม	106,304.02	113.58	0.53	399.27
เฉลี่ย	26,576.00	28.39	0.13	99.87



รูปที่ 3 ค่าเปรียบเทียบอัตราความพร้อมใช้งานของเครื่องจักรก่อนและหลังการจัดการระบบบำรุงรักษา



รูปที่ 4 ค่าเปรียบเทียบระยะเวลาเฉลี่ยก่อนการเกิดการขัดข้องเครื่องจักรก่อนและหลังการจัดการระบบบำรุงรักษา



รูปที่ 5 ค่าเปรียบเทียบระยะเวลาเฉลี่ยในการซ่อมก่อนและหลังจากการจัดการระบบบำรุงรักษา

4. สรุปผลการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ ได้รวบรวมข้อมูลการขัดข้องของเครื่องจักรซีเอ็นซี ของบริษัทในกรณีศึกษา ตั้งแต่เดือน มกราคม – กรกฎาคม พ.ศ. 2565 จากปัญหาทั้งหมดของกลุ่มเครื่องจักรซึ่งมีความพร้อมใช้งานต่ำกว่า 99% และได้จำแนกแบ่งปัญหาการขัดข้องออกเป็น 3 ระบบ คือ ระบบ (Mechanical) ระบบ (Electrical) และระบบ (Pneumatic) ซึ่งเป็นเครื่องจักรที่อายุการใช้งานมากกว่า 10 ปี จำนวน 4 เครื่อง

จากผลการดำเนินการวิจัยการจัดการบำรุงรักษาเชิงรุกเครื่องจักรซีเอ็นซีในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์หลังจากที่มีการจัดการงานบำรุงรักษาแบบเชิงรุกเครื่องจักรซีเอ็นซี สามารถนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ การวัดระยะเวลาเฉลี่ยก่อนการเกิดการขัดข้องแต่ละครั้ง (MTBF) ถ้าสมรรถนะการบำรุงรักษาได้มีค่าสูงนั่นหมายถึงค่า(MTBF) ที่ยาว และระยะเวลาเฉลี่ยตั้งแต่เกิดการขัดข้องจนใช้งานได้แต่ละครั้ง (MTTR) ถ้าสมรรถนะการบำรุงรักษาได้มีค่าสูงนั่นหมายถึงค่า(MTTR) ที่สั้น คือ ใช้เวลาสั้นในการซ่อมแซมเครื่องจักร พบว่าหลังจากได้มีการนำการบำรุงรักษาเชิงรุกมาประยุกต์ใช้ร่วมกับการทำงานของทีมช่างซ่อมบำรุงของฝ่ายวิศวกรรมใช้เวลาทำการซ่อมแซมโดยเฉลี่ยต่อเดือนลดลงจาก 156.41 นาที/ครั้ง ลดเหลือ 28.39 นาที/ครั้ง ทำให้ค่า(MTBF) ของเครื่องจักรเฉลี่ยต่อเดือนเพิ่มขึ้นจาก 5,409.55 นาที/ครั้ง เพิ่มขึ้นเป็น 26,576 นาที/ครั้ง และสามารถทำให้เครื่องจักรมีอัตราความพร้อมใช้งานโดยรวมเฉลี่ยจาก 91.25% เพิ่มขึ้นเป็น 99.87% ซึ่งเป็นไปตามเป้าหมายที่ตั้งไว้

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณบริษัทผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ในกรณีศึกษาที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านข้อมูลต่าง ๆ ในการศึกษาค้นคว้าวิจัยเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

[1] กัญญ์ชลิกา ผ่องจิตร์. (2565). ความกังวลของการทวนกระแสโลกาภิวัตน์. วารสารเศรษฐศาสตร์ระหว่างประเทศโลกาภิวัตน์ A-PAC EIF 2022.

[2] บริษัท ออยเซิร์ฟ จำกัด. (2553). ประเภทของงานบำรุงรักษา. วารสารบริษัท ออยเซิร์ฟ จำกัด.

[3] วสันต์ จันทร์นวล. (2562). การลดอัตราชำรุดของเครื่องจักรกรณีศึกษางานซ่อมบำรุงในสายการผลิตเครื่องประดับและอัญมณี. [สารนิพนธ์] มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

[4] กิตติพิชญ์ มนต์ขลัง. (2562). การบำรุงรักษาเชิงป้องกันเครื่องจักรซีเอ็นซีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในสายการผลิต. [สารนิพนธ์] มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

[5] P. Muganyi and C. Mbohwa. “Proactive Maintenance Strategic Application to Advance Equipment Reliability” Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and operation management Paris, France. 2018

[6] ศักดา เขียวอ่ำ. (2553). การลดมูลค่าการลงทุนด้วยการรีโทรฟิตกรณีศึกษา เครื่องเวอร์ติคอล แมชชีนนิ่งเซ็นเตอร์ [สารนิพนธ์] สถาบันเทคโนโลยีไทย – ญี่ปุ่น

[7] B. Purwanggono and J. R Ibana. "Implementation of Preventive Maintenance on CNC Milling Tape Drill Machine at PT XYZ Using FMEA Method and Age Replacement" Proceedings of the Second Asia Pacific International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Surakarta, Indonesia 2021

[8] A. Kerarmi, A. Kamal-idrissi1and A. E. Fallah. "AN OPTIMIZED FUZZY LOGIC MODEL FOR PROACTIVE MAINTENANCE" Computer Science and Information Technology Published by Horizon Research Publishing Co., Ltd. Print ISSN: 2331-6063. 2022

[9] K. Exnera, C. Schnürmachera, S. Adolphy and R. Starka. "Proactive maintenance as success factor for use-oriented Product-Service Systems" Peer-review under responsibility of the scientific committee of the 9th CIRP IPSS Conference: Circular Perspectives on Product/Service-Systems.doi: 10.1016/j.procir.2017.03.024 Procedia CIRP 64 330 – 335.

[10] T. E Webster and J. B. Son. "Implementing proactive maintenance policies to address problems with access to technology at Korean universities." International Journal of Pedagogies and Learning (2012) 7(2): 109–121



ธนวัฒน์ แข็งแรง
วิศวกรฝ่ายซ่อมบำรุงรักษา บริษัท อาบาเทก เอเชีย จำกัด มหาชน
อส.บ.เทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหการ
มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
วศ.ม. การจัดการงานวิศวกรรม บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต



ศักดิ์ชาย รักการ
ผู้อำนวยการหลักสูตร วศ.ม.การจัดการงานวิศวกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
Ph.D. systems and Control, Case Western Reserve University, Ohio, USA
วศ.ม.วิศวกรรมอุตสาหการ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วศ.บ.วิศวกรรมอุตสาหการ
มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต



จีรวัฒน์ ปล้องใหม่
ผู้อำนวยการหลักสูตร อส.บ.เทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
วศ.ม.วิศวกรรมการจัดการอุตสาหการ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
บธ.บ. การจัดการ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
อส.บ.วิศวกรรมอุตสาหการ
มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

การลดปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตเส้นบะหมี่ กรณีศึกษา บริษัท ผู้ผลิตอาหารประเภทแป้ง จำกัด

The reduction of waste in the noodle production process:

A case study flour food manufacturing company limited.

ศักดิ์ชาย รักการ[1] พจนีย์ ศรีวิเชียร[1] ธรรม์ณชาติ วันแต่ง[2] และ อนุพงศ์ วันแต่ง[1*]

[1]หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
วิทยาเขตพัฒนาการ 1761 ถนนพัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250

[2]สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตและการจัดการ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
83 ม.11 ถ.สระบุรี-หล่มสัก ต.สะเดียง อ.เมือง จ.เพชรบูรณ์ 67000 joemee.ppf@gmail.com[1*]

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตเส้นบะหมี่ โดยจากข้อมูลพบว่ามีของเสียเกิดขึ้นหลายประเภท คิดเป็นมูลค่าสูงถึงร้อยละ 3.4 ทำให้ส่งมอบสินค้าให้กับลูกค้าได้เพียงร้อยละ 96.6 คิดเป็นมูลค่าของเสียและโอกาศการขายได้กว่า 133,320 บาทต่อเดือน ซึ่งพบสาเหตุเกิดจากข้อบกพร่องในกระบวนการผลิต ไม่ว่าจะเป็นความสูญเสียจากวัตถุดิบ จากวิธีการผลิต จากเครื่องจักร หรือจากความผิดพลาดของบุคลากร วิธีการดำเนินการวิจัยโดยใช้แผนภูมิความคิด Mind Map และหลักการวิเคราะห์ปรากฏการณ์แบบ Why-Why Analysis ทำให้เห็นถึงสาเหตุที่แท้จริงอย่างเป็นระบบ จากนั้นจึงวิเคราะห์หาน้ำหนักของปัญหาเพื่อคัดเลือกระดับปัญหาที่มีความรุนแรง มาเพื่อทำการลดประมาณของเสีย และเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต หลังจากการศึกษาวิจัย พบว่าสามารถลดปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตเส้นบะหมี่เฉลี่ยได้ 2.5% ซึ่งคิดเป็นสัดส่วนลดลงร้อยละ 26.5 จากปริมาณของเสียเฉลี่ยย้อนหลัง 7 เดือน หรือประสิทธิภาพโดยรวม (OEE) เพิ่มขึ้นเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 73.9 ทำให้ไม่ต้องจ่ายค่าทำงานล่วงเวลา เป็นจำนวนเงิน 9,412 บาท/เดือน และพนักงานได้มีเวลาพักผ่อน

คำสำคัญ : การปรับปรุงประสิทธิภาพ; ของเสีย; กระบวนการผลิต

Abstract

This research was aimed to reduce the amount of waste in the noodle production process. According to the information, it was found that there were many types of waste with a high value of 3.4%. The resulting of the value of waste or the opportunity to sell was more than 133,320 baht per month. They are caused by a defect in the production process, which is a loss from raw materials, production method, the machine, and personnel error. Research methodology by applying a Mind Map and the principle of Why-Why analysis of phenomena, systematically reveals the true cause. Then the weight of the problem is applied to select the degree of severity of the problem. to reduce the amount of waste and increase efficiency in the production process. The study found that to reduce the amount of waste in the noodle production process by an average of 2.5%, representing a 26.5% reduction from the average amount of waste in the past 7 months, or the overall efficiency (OEE) is increased by an average of 73.9%. Moreover, no need to pay overtime of the amount is 9,412 baht / month and also employees have time to rest.

Keywords: productivity improvement; waste; production process

1. บทนำ

การบริหารจัดการองค์กรให้มีประสิทธิภาพ ถือเป็นการรับมือกับสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงในระบบการทำงานหลังจากการเกิดโรคไวรัสโควิด-19 เนื่องจากหลายองค์กรที่ประสบปัญหาเพราะโรงงานขาดประสิทธิภาพในการบริหารจัดการอย่างจริงจัง ดังนั้นจึงต้องยกระดับการควบคุมคุณภาพให้เข้มแข็งมากขึ้น เพื่อสร้างความสมดุลในระบบการผลิตโดยก่อให้เกิดสามเหลี่ยมแห่งภาวะสมดุลเพื่อที่จะควบคุมประสิทธิภาพของ “Q – Quality” “C – Cost” “D – Delivery” [1] แต่การบริหารการผลิตที่จะนำไปสู่ผลสำเร็จ โดยใช้ทรัพยากรต่าง ๆ ได้แก่ วัตถุดิบ แรงงาน เงินทุน และวิธีการดำเนินการที่มีคุณภาพสูงสุดในการดำเนินการได้อย่างเต็มศักยภาพ และลดความสูญเสียต่าง ๆ [2] ยังคงเป็นความท้าทายให้กับสถานประกอบการ ผู้ศึกษาวิจัยจึงสนใจใช้กรณีศึกษาโรงงานผลิตอาหารประเภทแป้ง เพื่อเป็นแนวทางในการลดปริมาณความสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะช่วยสร้างความสัมพันธ์ที่ยั่งยืนกับลูกค้า เกิดการส่งต่อความประทับใจด้วยการบอกต่อในเชิงบวก จนนำไปสู่โอกาสในการสร้างรายได้จากฐานลูกค้าที่มากขึ้น

จากผลการสำรวจงานวิจัยของ เสขสัน นาคพ่วง [3] ได้ประยุกต์เครื่องมือคุณภาพ 7 อย่าง (7 QC Tools) เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ปัญหาและทำการปรับสมดุลของขั้นตอนการผลิต (Line Balance) ให้ผลิตได้อย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ใช้หลักการลีน (Lean) ในการตัดกระบวนการที่ซ้ำซ้อน และควบรวมขั้นตอนเข้าด้วยกันเพื่อลดของเสีย สุชาดี ธำรงสุข [4] ได้ใช้เทคนิคการปรับปรุงงานเพื่อ ศึกษากระบวนการทำงาน ค้นหาปัญหาและความสูญเปล่า และสร้างมาตรฐานในการทำงาน ซึ่งใช้วิธีระดมสมอง (Brainstorm) และนำเอาหลักการ Why-Why Analysis มาปรับปรุงขั้นตอนการทำงาน โดยใช้หลักการ ECRS แล้วจัดทำเป็นมาตรฐานการทำงาน (Work Instruction) Hendy Tannady [5] ได้นำวิธี Six Sigma มาใช้โดยสามารถพบปัญหาที่พบบ่อยผ่านแผนภาพพาเรโต และทราบสาเหตุโดยใช้แผนภูมิก้างปลา fishbone ซึ่งสามารถกำหนดขั้นตอนการปรับปรุงได้จากค่า Risk Priority Number (RPN) ด้วยวิธี FMEA และการวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงประสิทธิภาพ Satbir Singh [6] โดยการลดต้นทุนการผลิตต่อชิ้นส่วนด้วยวิธีการปรับปรุงกระบวนการและ

ขั้นตอนการทำงาน ซึ่งสามารถลดระยะเวลาการผลิต และเพิ่มอัตราการผลิตต่อเดือนได้

ดังนั้นในการวิจัยในครั้งนี้จะศึกษาของเสียหลายประเภทในกระบวนการผลิตคิดเป็นมูลค่าสูงถึงร้อยละ 3.4 ทำให้สามารถส่งมอบสินค้าให้แก่ลูกค้าได้เพียงร้อยละ 96.6 ในช่วงระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2565 โดยจะประยุกต์ใช้หลักการและทฤษฎีในการจัดการงานวิศวกรรมเข้ามาแก้ปัญหาในการลดปริมาณของเสีย เพื่อการปรับปรุงในการเพิ่มประสิทธิภาพ ลดต้นทุนด้านแรงงานมนุษย์ให้ต่ำที่สุด ซึ่งตั้งเป้าเพิ่มปริมาณผลิตภัณฑ์เส้นบะหมี่ขึ้นโดยให้สัดส่วนของเสียลดลงจากเดิมร้อยละ 3.4 ให้เหลือร้อยละ 3.0 ของปริมาณที่ผลิตในแต่ละเดือน

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

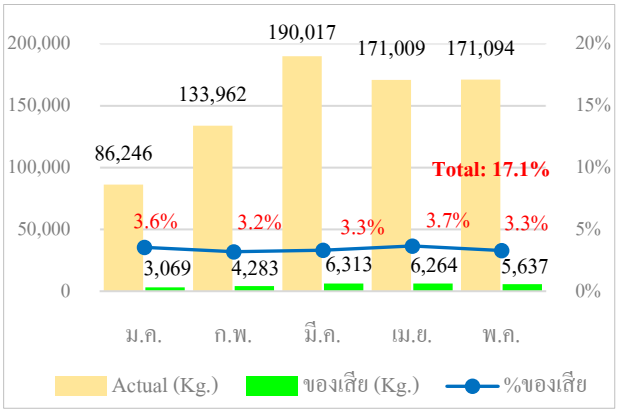
2.1 ศึกษาข้อมูลการผลิต เดือนมกราคม ถึง พฤษภาคม 2565

ดำเนินการเก็บข้อมูล พบว่าจำนวนยอดขายรวมของผลิตภัณฑ์ประเภทบะหมี่ไข่ ขนาดบรรจุ 1 กก. มีผลผลิตรวมของยอดขายผลิตภัณฑ์ (Products) เท่ากับ 752,328 กก. โดยใช้ปัจจัยวัตถุดิบในการผลิต (Input/Material) เท่ากับ 777,894 กก. คิดเป็นมูลค่าส่วนต่างสูงถึงร้อยละ 3.4 ของยอดผลผลิต ทำให้สามารถส่งมอบสินค้าให้แก่ลูกค้าได้เพียงร้อยละ 96.6 ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลผลผลิตบะหมี่ เดือนมกราคมถึงเดือนพฤษภาคม 2565

เดือน	วัตถุดิบเข้า(กก.)	ผลผลิต(กก.)	ผลต่าง(กก.)	ส่วนต่าง(%)
ม.ค.	89,315	86,246	3,069	3.6
ก.พ.	138,245	133,962	4,283	3.2
มี.ค.	196,330	190,017	6,313	3.3
เม.ย.	177,273	171,009	6,264	3.7
พ.ค.	176,731	171,094	5,637	3.3
รวม	777,894	752,328	25,566	เฉลี่ย 3.4

ปริมาณปัญหาการเกิดของเสียหลายประเภทสะสมในกระบวนการผลิต คิดเป็นมูลค่ารวมสูงถึงร้อยละ 17.1 ของยอดผลผลิต และสัดส่วนความสัมพันธ์ของความสูญเสียในการผลิตของปัญหา 5 เดือน ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 สัดส่วนความสัมพันธ์ความสูญเสียในการผลิตของ 5 เดือน

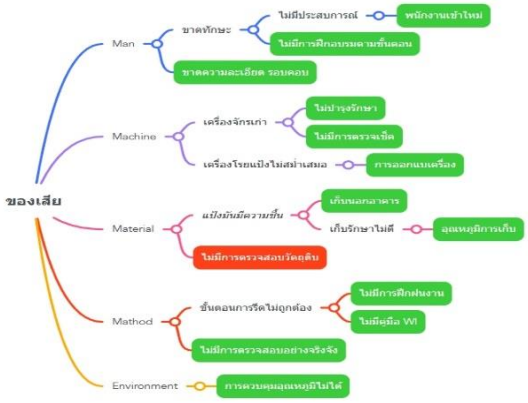
ซึ่งปัญหาความสูญเสียในการผลิตที่พบในโรงงาน กรณีศึกษา คือ กระบวนการผลิตเส้นบะหมี่ใน 3 ขั้นตอน ได้แก่ การรีดแป้ง การโรยแป้งนวล และการตัดเส้นหมี่ โดยสามารถจำแนกออกเป็นประเภทของเสีย 3 ประเภท ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณของเสียแต่ละประเภท

เดือน	เศษแป้ง(กก.)	เศษฝอย(กก.)	เกรดรอง(กก.)	รวมเสีย(กก.)
ม.ค.	1,738	1,063	268	3,069
ก.พ.	2,595	1,148	540	4,283
มี.ค.	3,459	2,401	453	6,313
เม.ย.	4,570	1,190	504	6,264
พ.ค.	2,882	2,361	394	5,637
รวม	15,244	8,163	2,159	25,566

2.2 การวิเคราะห์ปัญหาและดำเนินการแก้ไข

ในการวิเคราะห์ปัญหาโดยแผนภูมิความคิด Mind Map ทำการวิเคราะห์เกี่ยวกับสาเหตุ และปัญหาของการเกิดของเสีย [7] ทางบริษัทกรณีศึกษา ไม่ได้มีการมุ่งเน้นหรือให้ความสำคัญกับการควบคุมปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต จึงทำให้เกิดของเสียในอัตราที่สูง ดังนั้นการวิเคราะห์ข้อมูลหาสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นจากกระบวนการบนพื้นฐานหลักวิเคราะห์ 4M 1E ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 วิเคราะห์สาเหตุปัญหาของเสียโดยแผนภูมิความคิด Mind Map

จากแผนภูมิความคิด Mind Map ผู้ศึกษาสามารถค้นหาสาเหตุการแจกแจงสภาพปัญหาที่มีผลกระทบต่อกระบวนการผลิต 4 ลักษณะ ดังนี้ 1) พนักงานขาดการอบรมในการปฏิบัติงานตามขั้นตอนที่ถูกวิธี 2) วิธีการผลิตและการตรวจสอบคุณภาพที่ไม่ถูกต้อง 3) เครื่องจักรชำรุดและใช้งานไม่เต็มประสิทธิภาพ และ 4) วิธีการเก็บวัตถุดิบที่ไม่มีคุณภาพ

จากนั้นวิเคราะห์สาเหตุของปริมาณของเสียโดยใช้หลักการวิเคราะห์ปรากฏการณ์แบบ Why-Why Analysis เพื่อหาแนวทางนำไปแก้ไขปัญหา ซึ่งพิจารณาองค์ประกอบ 4 ประการ ของคลาร์กและโอธัมวาล [8] เป็นวิธีการจัดลำดับความสำคัญของปัญหาที่มีองค์ประกอบ และมีเกณฑ์ในการกำหนดน้ำหนักคะแนน ซึ่งองค์ประกอบและเกณฑ์ในการให้คะแนน มีดังนี้ ขนาดของปัญหา (Size of Problem or Prevalence)

ความรุนแรงของปัญหา (Severity of Problem) และความยากง่ายในการแก้ปัญหา (Ease of management) ดังแสดงในรูปที่ 3

ลำดับ	ปัญหา	คะแนนขององค์ประกอบ			คะแนนรวม		ลำดับที่
		ขนาดปัญหา	ความรุนแรง	ความยากง่าย	วิธีบวก	วิธีคูณ	
1	พนักงานเข้าใหม่ขาดประสบการณ์	2	1	4	7	8	12
2	ไม่มีการฝึกอบรมตามขั้นตอน	4	3	4	11	**48	2
3	ขาดความละเอียด รอบคอบ	4	3	2	9	**24	6
4	เครื่องจักรไม่มีการบำรุงรักษาต่อเนื่อง	2	2	3	7	12	10
5	ไม่มีการตรวจเช็คเครื่องก่อนเริ่มงาน	3	3	2	8	18	7
6	ออกแบบโรยแป้งนวลไม่สม่ำเสมอ	3	2	4	9	**24	5
7	แป้งมันมีความชื้นเก็บนอกอาคาร	2	2	3	7	12	11
8	อุณภูมิการจัดเก็บไม่เหมาะสม	4	3	3	10	**36	3
9	ไม่มีการฝึกฝนก่อนเริ่มงาน	3	4	3	10	**36	4
10	WI ระบุการทำงานไม่ชัดเจน	4	4	4	12	**64	1
11	ไม่มีการตรวจสอบอย่างจริงจัง	2	3	3	8	18	8
12	การควบคุมอุณหภูมิไม่ได้	2	2	4	8	16	9

รูปที่ 3 การวิเคราะห์หาน้ำหนักของปัญหาเพื่อคัดเลือกระดับความรุนแรง

จากการนำหลักในการวิเคราะห์หาน้ำหนักของปัญหาเพื่อเลือกเอาปัญหาที่มีความรุนแรงและความเป็นไปได้ เพื่อให้ได้หัวข้อที่จะใช้หาวิธีการแก้ไข พบปัญหาที่มีน้ำหนักมากอยู่ด้วยกัน 6 ปัญหา คือ

ปัญหาที่ 1 WI ระบุการทำงานที่ไม่ชัดเจน
ปัญหาที่ 2 ขาดการอบรมตามขั้นตอนที่ถูกต้อง
ปัญหาที่ 3 วิธีการปฏิบัติงานที่ไม่ถูกต้อง
ปัญหาที่ 4 สินค้ามีการจัดเก็บที่ไมเหมาะสม
ปัญหาที่ 5 อุปกรณ์เครื่องจักรโรยแป้งนวลพบปัญหาข้อบกพร่อง
ปัญหาที่ 6 ขาดการตรวจสอบ และเครื่องจักรไม่มีการบำรุงรักษา

2.3 ดำเนินการปรับปรุงและแก้ไขปัญหา

จากการวิเคราะห์ปัญหาการดำเนินงานการเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการ โดยประยุกต์ใช้หลัก 4 M [9] ได้กำหนดวิธีในการจัดการลดปริมาณของเสียในกระบวนการผลิต 4 กระบวนการ ได้แก่

1) การฝึกอบรมพนักงาน (Man) เพื่อการเพิ่มทักษะและความชำนาญให้กับผู้ปฏิบัติงาน (On the Job Training: OJT) [10] โดยวิธีดังนี้ ตรวจสอบ ประวัติการฝึกอบรมของพนักงานผลิต กำหนดแผนกลยุทธ์ในการเพิ่มประสิทธิภาพใน 3 หลักสูตร ได้แก่ หลักสูตรที่ 1 ความปลอดภัยในการทำงานสำหรับพนักงาน หลักสูตรที่ 2 การควบคุม และการปฏิบัติงานในกระบวนการผลิต หลักสูตรที่ 3 หลักการจัดการสุขลักษณะที่ดีในการผลิต และมาตรฐานคุณภาพ และได้จัดกิจกรรมโครงการ “ร่วมใจปลอดภัยไว้ก่อน” เพื่อสร้างความตระหนักรู้ และการประเมินสรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลการพัฒนาทักษะ ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 การเพิ่มทักษะและความชำนาญโดยวิธีต่าง ๆ

2) การกำหนดวิธีขั้นตอนการทำงาน (Methods) โดยจัดทำคู่มือการปฏิบัติงาน (Work Instruction) ในกระบวนการผลิตให้ครบทุกขั้นตอนเพื่อควบคุมให้ผู้ปฏิบัติทำตามได้อย่างถูกต้อง [11]โดยวิธีดังนี้ กำหนดโครงร่าง/โครงเรื่อง (Outline) ในการเขียนคู่มือการปฏิบัติงานเพื่อนำไปจัดทำคู่มือ กำหนดหัวข้อในการเขียนคู่มือการปฏิบัติงาน (Work Instruction) ในกระบวนการผลิต และนำคู่มือการปฏิบัติงานมาเพื่อประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงกระบวนการในงานต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 การนำคู่มือการปฏิบัติงานมาเพื่อประยุกต์ใช้ในงานต่าง ๆ

3) วางมาตรการตรวจสอบเครื่องจักร (Machines) โดยวิธีดังนี้ จัดทำใบรายการตรวจสอบ (Check Sheet) ประจำวัน ปรับปรุงกระบวนการโดยประยุกต์ใช้โปรแกรม Google Forms มามีส่วนช่วยในการทำงาน และออกแบบและจัดสร้างอุปกรณ์ส่วนเสริม เพื่อแก้ไขปัญหาการโรยแป้งนวลไม่สม่ำเสมอของเครื่องจักร ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 อุปกรณ์ส่วนเสริมแก้ไขปัญหาการโรยแป้งนวลไม่สม่ำเสมอ

4) การกำหนดวัสดุและวัตถุดิบ (Materials) โดยปรับปรุงการวางผังโรงงาน (Plant Layout) จัดการพื้นที่จัดเก็บวัตถุดิบปรับปรุงโรงงานผลิตเพื่อให้สอดคล้องกับข้อกำหนด Good Manufacturing Practice: GMP โดยวิธีดังนี้ 1) กำหนดพื้นที่ตั้งเครื่องจักรในกระบวนการผลิต และจัดเก็บวัตถุดิบ แก้ไขเพื่อให้สอดคล้องหลักเกณฑ์ 2) การเก็บรักษาวัตถุดิบ และการจัดการพื้นที่ในกระบวนการผลิต เช่น จัดทำคิวอาร์โค้ดการบันทึกอุณหภูมิในไลน์ผลิตผ่านโปรแกรมประยุกต์ Google Forms จัดทำมาตรการควบคุมด้านสุขลักษณะพื้นที่ผลิต โดยจัดทำสัญญาบริการกำจัดแมลงจากหน่วยงานภายนอก จัดทำโปรแกรมการดูแลทำความสะอาด และการฆ่าเชื้อ ที่มีประสิทธิภาพจากบริษัทที่มีมาตรฐาน และการวางระบบอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

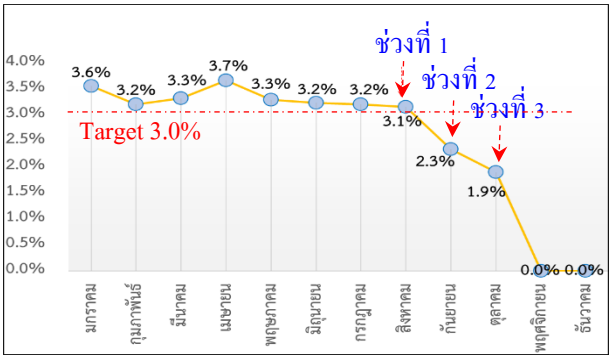
3. ผลการวิจัย (Results)

จากการดำเนินการจัดการการแก้ไขในการลดปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตเส้นบะหมี่ โดยเป้าหมายเพื่อเพิ่มปริมาณผลิตภัณฑ์เส้นบะหมี่ขึ้นโดยให้สัดส่วนของเสียลดลงจากเดิม 3.4% ให้เหลือ 3.0% ซึ่งหลังจากการประยุกต์นำหลักการวิเคราะห์ทางวิศวกรรมมาช่วยในการวางแผนดำเนินการปรับปรุงและแก้ไขปัญหาตามที่วางไว้จนลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยได้เก็บรวบรวมผลการดำเนินการในช่วงเดือนสิงหาคม ถึงตุลาคม 2565 สรุปผลการดำเนินการ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ระยะเวลาเสร็จสิ้นแต่ละงาน

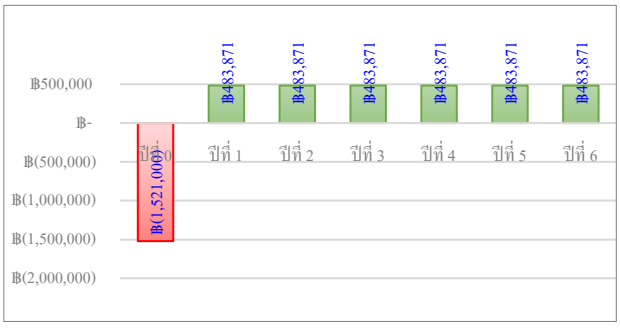
เดือน	รายละเอียดงาน	ระยะเวลาเสร็จ
ช่วงที่ 1	1. ปรับปรุงสถานที่แก้ไขโครงสร้าง	5 สิงหาคม 2565
ช่วงที่ 2	2. จัดทำคู่มือการปฏิบัติงาน	5 กันยายน 2565
	3. วางมาตรการตรวจ/บำรุงรักษา	19 กันยายน 2565
ช่วงที่ 3	4. On the Job Training: OJT	26 ตุลาคม 2565

ข้อมูลการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ปริมาณของเสีย ในเดือนมกราคม - ตุลาคม 2565 มีสัดส่วนการเกิดของเสียลดลง ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ปริมาณของเสีย

การวิจัยครั้งนี้มีการประยุกต์ใช้หลักการทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมมาใช้เพื่อวิเคราะห์หาระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB) การคำนวณหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) และการคำนวณหาอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR) เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการสื่อสารและรายงานกับผู้บริหาร ถึงความคุ้มค่าของการลงทุน ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 กระแสเงินสดรับและเงินลงทุนสุทธิเริ่มโครงการ

เงินลงทุนสุทธิเริ่มโครงการมีมูลค่า 1,521,000 บาท ต้นทุนของเงินทุนหรือดอกเบี้ยเงินกู้จากสถาบันการเงินคือ 8% ต่อปี มีกำหนดการชำระเงินต้นคืนภายใน 6 ปี โดยมีกระแสเงินสดรับของโครงการมีมูลค่า 483,871 บาทต่อปี โดยงานลงทุนในโครงการนี้กำหนดให้เมื่อสิ้นสุดโครงการมูลค่าซากที่เกิดขึ้นหลังสิ้นสุดโครงการมีมูลค่า 0 บาท สำหรับงานโครงการมีค่าที่จำเป็นสำหรับใช้พิจารณาโครงการ ดังต่อไปนี้ [12]

1) ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB) หาได้จากสมการ ระยะเวลาคืนทุน = เงินลงทุนสุทธิเริ่มโครงการ – กระแสเงินสดรับสุทธิรายปีสะสมถึงเงินจ่ายลงทุนสุทธิเริ่มโครงการเท่ากับศูนย์

PB = 1,521,000 - 483,871 - 483,871 - 483,871 = 3 ---(1)

(69,387/483,871 = 0.14 ---(2)

(1)+(2) = 3+0.14 =3.14

ดังนั้น ระยะเวลาคืนทุนโครงการนี้เท่ากับ 3.14 ปี ซึ่งระยะเวลาโครงการทั้งหมดมีอายุ 6 ปี

2) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) หาได้จากสมการ

$NPV = \sum_{t=0}^{N} \frac{CF_t}{(1+r)^t}$ - เงินลงทุนในโครงการ

CF_t = กระแสเงินสดรับและจ่ายปีที่ t

r = อัตราดอกเบี้ยเงินกู้เพื่อลงทุน

$$NPV = \frac{483,871}{(1+0.08)^1} + \ldots + \frac{483,871}{(1+0.08)^6} - 1,521,000 = 715,878 \text{ บาท}$$

ดังนั้น มูลค่าปัจจุบันสุทธิ 6 ปี มีมูลค่า 715,878 บาท มีค่าเป็นบวก ซึ่งหมายความว่าได้เงินสดรับมากกว่าเงินสดจ่ายที่ลงทุน

3) อัตราผลตอบแทนคิดลด (IRR) หาได้จากสมการ

$$\text{เงินลงทุนในโครงการ} = \sum_{t=0}^{N} \frac{CF_t}{(1+IRR)^t}$$

$$1,521,000 = \frac{483,871}{(1+IRR)^1} + \frac{483,871}{(1+IRR)^2} + \frac{483,871}{(1+IRR)^3} + \frac{483,871}{(1+IRR)^4} + \frac{483,871}{(1+IRR)^5} + \frac{438,871}{(1+IRR)^6}$$

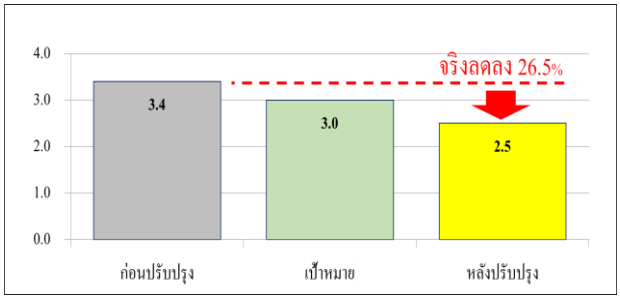
IRR = 22.31%

ดังนั้น อัตราผลตอบแทนคิดลด ของการลงทุนในครั้งนี้ คือ 22.31% มีค่ามากกว่าต้นทุนของเงินทุน

4. สรุป

จากการศึกษาปัญหาการเกิดของเสียหลายประเภทในกระบวนการผลิตเส้นบะหมี่ หลังจากดำเนินการตามแผนงานและวิธีการที่วางไว้ ได้แก่ เพิ่มทักษะและความชำนาญให้กับผู้ปฏิบัติงาน (On the Job Training: OJT) จัดทำคู่มือการปฏิบัติงาน (Work Instruction) วางมาตรการตรวจสอบและบำรุงรักษา และปรับปรุงการจัดการพื้นที่จัดเก็บวัตถุดิบในการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตเพื่อลดของเสีย โดยใช้เวลาดำเนินการช่วงเดือนสิงหาคมถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2565 ซึ่งสามารถลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตจากเดิมเฉลี่ยลง 26.5%

ทำให้สัดส่วนของเสียลดลงเหลือตามเป้าหมาย (Target) ที่ได้ตั้งไว้ ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 เปรียบเทียบปริมาณของเสียก่อนปรับปรุง และหลังปรับปรุง

สามารถวัดค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (OEE) ก่อนและหลังการปรับปรุงประสิทธิภาพมีแนวโน้มที่ดีขึ้นซึ่งจะเห็นได้ว่าแนวโน้มหลังการปรับปรุงสามารถวัดประสิทธิผลโดยรวมของกระบวนการดีขึ้นเป็นลำดับ โดยในเดือนสิงหาคม เท่ากับร้อยละ 72.6 ในเดือนกันยายน เท่ากับร้อยละ 75.8 และในเดือนตุลาคม เท่ากับร้อยละ 77.4 ทำให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 75.3 จึงถือว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้ และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในด้านทักษะและประสบการณ์ให้กับผู้ปฏิบัติงาน โดยได้เสริมความรู้และทักษะในการปฏิบัติงานโดยตรงจากผู้สอนงานเป็นผลให้การทำงานมีความถูกต้องสมบูรณ์ ลดความผิดพลาดและจำนวนข้อร้องเรียนด้านคุณภาพลดลง 33% และสามรถลดอัตราส่วนโอทีในกระบวนการผลิตบริษัทกรณีศึกษาลดลงจากตัวเลขข้อมูลก่อนปรับปรุงคิดเป็นร้อยละ 38.27 ในส่วนสายงานโรงงาน โดยตัวเลขข้อมูลหลังปรับปรุงแผนกำลังบุคลากรเพื่อให้เกิดต้นทุนที่ต่ำที่สุดและสอดคล้องการการปฏิบัติงานในแต่ละวันมากขึ้นคิดเป็นร้อยละ 37.50 โดยสามารถลดลงได้ร้อยละ 2.0 คิดเป็นเงินเมื่อเทียบกับยอดค่าใช้จ่ายรวมกว่า 9,412 บาท จากค่าใช้จ่ายโอทีเฉลี่ยพนักงาน 470,600 บาทต่อเดือน

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณบริษัทผลิตอาหารประเภทแป้งในกรณีศึกษาที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านข้อมูลต่าง ๆ ในการศึกษาค้นคว้าวิจัยเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

[1] มูลนิธิสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, “คู่มือ Lean Management for Environment.” พฤษภาคม 2555. [Online]. Available: https://www.tei.or.th. [Accessed 12 ธันวาคม 2565].

[2] กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, “ต้นทุนการผลิต และวิธีการลดต้นทุนการผลิต.” ม.ป.ป. [Online]. Available: https://bsc.dip.go.th. [Accessed 19 ธันวาคม 2565].

[3] เสขสัน นาคพ่วง, ศักดิ์ชาย รักการ และ จีรวัฒน์ ปล้องใหม่, “การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตเครื่องดื่มสมุนไพร.” พฤษภาคม-สิงหาคม 2563. วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต, 10(2), 131-147.

[4] สุชาดี ธำรงสุข, และ ธนวัฒน์ มะโนหาญ, “การปรับปรุงประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ด้วยเทคนิคการปรับปรุงงาน.” วารสารวิชาการสถาบันการอาชีวศึกษาภาคใต้ 1 ปีที่ 6 ฉบับที่ 2, กรกฎาคม-ธันวาคม 2564.

[5] H. Tannady, E. Gunawan, F. Nurprihatin, F. R. Wilujeng, “Process improvement to reduce waste in the biggest instant noodle manufacturing company in South East Asia.” (2019). [Online]. Available: https://www.researchgate.net. [Accessed: 12 ธันวาคม 2565].

[6] S. Singh, “Implementation and analysis of the clustering process in the enhancement of manufacturing productivity.” (2016). [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/342268109_Implementation_and_analysis_of_the_clustering_process_in_the_enhancement_of_manufacturing_productivity. [Accessed: 19 ธันวาคม 2565].

[7] A. Buran, “Mind Mapping Technique in Language Learning.” (2015). [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com. [Accessed: 12 ธันวาคม 2565].

[8] บุญชัย ภาละกาล, “การจัดลำดับความสำคัญของปัญหา.” ม.ป.ป. [Online]. Available: https://he02.tci-thaijo.org. [Accessed: 26 สิงหาคม 2565].

[9] C. Favi, M. Germani, & M. Marconi, “A 4M approach for a comprehensive analysis and improvement of manual assembly lines. 27th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing.” (2017). (pp. 1510-1518). Modena, Italy : ScienceDirect, Procedia Manufacturing ,11 .

[10] ทรงธรรม ดีวาณิชสกุล และ นภดล กลิ่นทอง, “การพัฒนาชุดฝึกอบรมเทคนิคการสอนงานในขณะปฏิบัติงาน (On the job training).” (2563). วารสารครุศาสตร์อุตสาหกรรม ปีที่ 19 ฉบับที่ 3 เดือนกันยายน–ธันวาคม

[11] สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาระบบราชการ, “การจัดทำคู่มือการปฏิบัติงาน (Work Manual).” (2552). [Online]. Available: http://www.rtna.ac.th/departments/pmqa/documents/PG5-01.pdf. [Accessed 26 สิงหาคม 2565].

[12] J. Fernando, “Net Present Value (NPV): What It Means and Steps to Calculate It.” (2022). [Online]. Available: https://www.investopedia.com/terms/n/npv.asp. [Accessed 12 ธันวาคม 2565].



อนุพงค์ วันแต่ง ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง
ผู้จัดการโรงงาน บริษัทเอสซีจี แกรนด์ จำกัด
วศ.ม.การจัดการงานวิศวกรรม มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
วศ.บ.วิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ



พจนีย์ ศรีวิเชียร ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง
เลขานุการบัณฑิตวิทยาลัย อาจารย์ประจำบัณฑิตวิทยาลัย บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
ศศ.ม.ภูมิศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร



ศักดิ์ชาย รักการ ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง
ผู้อำนวยการหลักสูตร วศ.ม.การจัดการงานวิศวกรรม มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
Ph.D. systems and Control, Case Western Reserve University, Ohio, USA
วศ.ม.วิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วศ.บ.วิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต



ธรรม์ณชาติ วันแต่ง ปัจจุบันดำรงตำแหน่งรองศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตและการจัดการ
วศ.ม. เทคโนโลยีการขึ้นรูปโลหะ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
วศ.บ. วิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

การจัดการเศษวัสดุที่เกิดจากการก่อสร้างในโครงการก่อสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่งริมแม่น้ำลพบุรี ต. โก่งธนู อ. เมือง จ. ลพบุรี

Waste management of the materials construction in the Lopburi Riverbank Protection Dam Construction Project Kong Thanu, Amphoe Mueang, Lopburi

รชต ชัยเมือง[1*] ศักดิ์ชาย รักการ[2] และ พจนีย์ ศรีวิเชียร[3]

[1]หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
วิทยาเขตพัฒนาการ 1761 ถนนพัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250

cmaker1967@gmail.com[1*], sakchai.rak@kbu.ac.th[2], podchanee.sri@kbu.ac.th[3]

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการศึกษาปัญหาเศษวัสดุจากการก่อสร้างที่มีมูลค่า 939,235 บาท โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดเศษวัสดุก่อสร้างในโครงการก่อสร้างให้เกิดประสิทธิผลสูงสุด โดยขั้นวิธีการดำเนินการเป็นการเก็บข้อมูลโดยตรงจากหน้างานจริง โดยการสัมภาษณ์ผู้ที่เกี่ยวข้องเพื่อให้ได้ข้อมูลที่จำเป็น แล้วนำมาวิเคราะห์เพื่อให้ทราบน้ำหนักความสำคัญ ผลของปัจจัยที่ทำให้เกิดเศษวัสดุจากการก่อสร้างที่ส่งผลกระทบมากที่สุด ดังนั้น จึงต้องนำแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนซึ่งเป็นแนวคิดที่บูรณาการผสมผสานมาประยุกต์ใช้ควบคู่กันไปกับแนวทางกระบวนการ 3Rs, 6Rs, 9Rs ซึ่งเป็นความคิดแนวหน้าของการพัฒนาที่ยั่งยืนที่ได้ผ่านการยอมรับอย่างแพร่หลายทั่วโลก เพื่อช่วยให้เกิดการพัฒนาการจัดการเศษสิ่งวัสดุก่อสร้างอย่างเป็นรูปธรรม จากผลการศึกษาวิจัยพบว่า วัสดุก่อสร้าง 2 ชนิดมีเปอร์เซ็นต์เกิดเศษจากการก่อสร้างสูง คือ แบบหล่อคอนกรีต 64% และ เหล็กรูปพรรณ 13% และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานต่าง ๆ มีมูลค่าเท่ากับ 526,410.00 บาท คิดเป็น 56.04% และ เศษวัสดุที่ไม่สามารถนำมาประยุกต์ใช้เนื่องจากเกิดการเสื่อมสภาพมีมูลค่าเท่ากับ 412,825.00 บาท คิดเป็น 43.95% จึงวิเคราะห์ได้ว่าแนวคิดดังกล่าวสามารถประหยัดต้นทุนงบประมาณก่อสร้างและอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ

คำสำคัญ : เศษสิ่งก่อสร้าง, การลดปริมาณและเพิ่มมูลค่า, การก่อสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่ง, งานโครงสร้าง

Abstract

This article is a study of the waste problem of the materials construction that is value 939,235 bath of the project. This objective is to reduce building materials scrap in the construction project for the highest effectiveness. Using the process is a direct data collection from the actual job site with interview related parties to get the necessary information and then analyzed to know the importance of the factors are cause scrap materials from the most impact. Therefore, the circular economy concept is applied in tandem with the 3Rs,6Rs,9Rs process approach, the forefront of sustainable development that has been widely accepted around the world to help develop concrete construction material scrap management. According to research studies, 2 types of building materials have a high percentage of construction debris are 64% concrete formwork and 13% steel and can be applied to various applications is worth 526,410.00 baht or 56.04% and scrap materials that cannot be applied due to deterioration are 412,825.00 baht or 43.95%. Therefore, it can be summarized that such concepts can save construction budget costs and are satisfactory.

Keywords: Construction Waste, Reduction quantity and adding value, structure

1. บทนำ

ปัจจุบันธุรกิจรับเหมาก่อสร้างในประเทศไทย มีทิศทางและแนวโน้มขยายตัวเพิ่มสูงขึ้นอันเนื่องมากจากธุรกิจอาคารที่พักอาศัยทั้งรูปแบบอาคารขนาดเล็กและขนาดใหญ่ โดยจากข้อมูลพบว่าการก่อสร้างจะมีเศษสิ่งก่อสร้างในปริมาณสูงมาก แต่กระบวนการบริหารจัดการอยู่ในระดับต่ำ จึงเกิดผลกระทบระยะยาวและระยะสั้น เช่น ค่าใช้จ่ายด้านวัสดุก่อสร้างที่ไม่จำเป็นเพิ่มขึ้น ค่าใช้จ่ายในการจัดการขยะจากเศษวัสดุก่อสร้างส่งผลกระทบต่อภาพลักษณ์ ผู้ศึกษาวิจัยจึงสนใจที่ใช้กรณีศึกษาโครงการก่อสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่งริมแม่น้ำลพบุรี ตำบลโก่งธนู อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี เพื่อเป็นแนวทางในการลดปริมาณเศษวัสดุก่อสร้างจากการก่อสร้างที่เกิดขึ้น เพื่อปรับปรุงให้ประสบผลสำเร็จขึ้นต่อไป ธเนศ มหัทธนาลัย วิจัยกรุงศรีกลุ่มอุตสาหกรรมก่อสร้าง แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรม 2564-2566

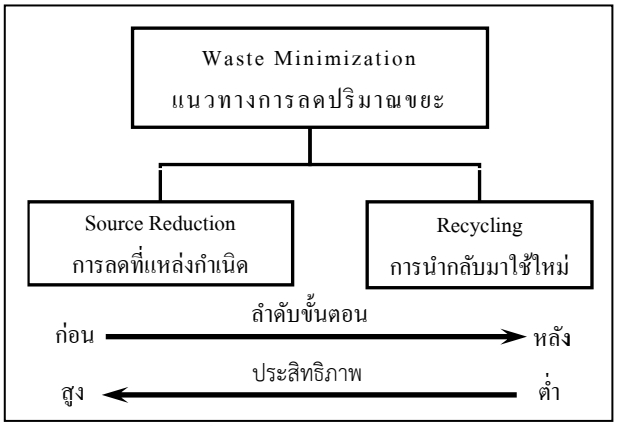
ที่การศึกษาวิจัยที่ผ่านมาจิรานุวัฒน์ จันทร์จร ได้ศึกษาเรื่องปัญหาเศษสิ่งก่อสร้างที่เกิดขึ้นได้ รวมถึงผลดีต่อทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม โดยใช้หลักการทางสถิติเชิงอนุมาน (Inference Statistics) ได้แก่ การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance ANOVA) และการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเลขคณิตระหว่างสองกลุ่มโดยวิธีของเชฟเฟ (Scheffe' Test for All Possible Comparrison) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.10 สำหรับการศึกษาสาเหตุและปัจจัยที่ทำให้เกิดเศษสิ่งก่อสร้าง วิจิตรา แสนกุดเลาะ ได้ศึกษาเรื่องวิจัยปัจจัยที่ทำให้เกิดเศษวัสดุและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการก่อสร้างรถไฟฟ้า สายบางซื่อ-รังสิต สถานีดอนเมือง โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาปัจจัยที่ทำให้เกิดเศษวัสดุ และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และเสนอแนวทางการลดปริมาณเศษวัสดุ และการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม หน่วยงานก่อสร้างควรมีการ

ฝึกอบรมแก่พนักงาน วางแผนการปฏิบัติงาน การขนย้ายวัสดุไปใช้ในหน้างาน อย่างมีประสิทธิภาพ ก้องพันธ์ รัศมีวิจารณ์ ได้ศึกษาสาเหตุที่ก่อให้เกิดเศษวัสดุในการก่อสร้างตกแต่งภายใน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาสาเหตุหลักของวัสดุ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการวัดปริมาณเศษวัสดุโดยตรงพบว่าวัสดุปิดผิวเป็นวัสดุที่มีอัตราการเกิดเศษวัสดุมากที่สุด การศึกษานี้ยังได้ทำการสร้างแบบจำลองการวางแผนการตัดวัสดุเพื่อให้เหลือเศษวัสดุน้อยที่สุด สามารถลดปริมาณเศษวัสดุได้จริง จากการศึกษาสะท้อนให้เห็นว่า การออกแบบที่คำนึงถึงการประสานทางพิกัดของขนาดมาตรฐานของวัสดุเป็นการแก้ปัญหาอย่างมีประสิทธิภาพ Kalim, Khalid and Marosszeky, Marton ได้ศึกษาสาเหตุของการเกิดเศษวัสดุก่อสร้าง พบว่า เศษวัสดุก่อสร้างสามารถเกิดได้ในทุกขั้นตอนหากขาดทักษะและความเอาใจใส่ต่อรายละเอียดการทำงานที่เพียงพอ โดยการเกิดขยะในช่วงของการก่อสร้างส่วนใหญ่นั้นมีสาเหตุจากขั้นตอนการเตรียมงานก่อนการก่อสร้างนอกจากนี้การวางแผนจัดการวัสดุก่อสร้างให้รอบคอบ และมีประสิทธิภาพมากขึ้น Faniran & Caban กลยุทธ์การลดของเสียและความสำคัญสัมพัทธ์ของแหล่งของเสียจากการก่อสร้างได้ศึกษาสาเหตุของการเกิดเศษวัสดุก่อสร้าง พบว่า เศษวัสดุก่อสร้างสามารถเกิดได้ในทุกขั้นตอนหากขาดทักษะและความเอาใจใส่ต่อรายละเอียดการทำงานที่เพียงพอผลการสำรวจระบุว่าแหล่งของเสียจากการก่อสร้างที่สำคัญที่สุดห้าแหล่ง ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงการออกแบบ เศษวัสดุที่เหลือ ของเสียจากบรรจุภัณฑ์และวัสดุสิ้นเปลืองที่ไม่สามารถเรียกคืนได้ Gavilan และ Bernold ได้ศึกษาแหล่งที่มาของขยะมูลฝอยในการก่อสร้างอาคาร อุตสาหกรรมการก่อสร้างมีส่วนสำคัญของขยะในสหรัฐอเมริกา ข้อมูลการวิจัยที่นำเสนอระบุว่าขยะมูลฝอยในการก่อสร้างที่อยู่อาศัยส่วนใหญ่เป็นเศษเหล็กที่เกิดจากการตัดวัสดุสต็อก ดังจะเห็นได้จากหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปริมาณของเสียในกระบวนการได้แนะนำให้ใช้ความสัมพันธ์ที่แน่นแฟ้นระหว่างผลผลิตที่ไม่ดีกับการสร้างของเสียในระดับสูง Vivian W. Y.Tam ได้ศึกษาการนำของเสียจากการก่อสร้างมารีไซเคิล และนำกลับมาใช้ใหม่ พบว่า ขยะมูลฝอยจากการก่อสร้างได้ก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก การใช้ซ้ำ การรีไซเคิล และการลดการใช้วัสดุก่อสร้างผลการวิเคราะห์นี้นำไปสู่การตรวจสอบปัญหาอุปสรรคและปรับปรุงการนำของเสียจากการก่อสร้างมาใช้ใหม่ และรีไซเคิลในอุตสาหกรรมก่อสร้างท้องถิ่นได้ Zhang Chunbo, Mingming Hua (3Rs, 6Rs, 9Rs) ได้ศึกษาภาพรวมของภาคการก่อสร้างเป็นตัวขับเคลื่อนการใช้ทรัพยากรและการสร้างของเสียที่ใหญ่ที่สุดในยุโรป สหภาพยุโรป (EU)และนำข้อมูลเชิงลึกมาสู่การเพิ่มประสิทธิภาพและอัปเกรดการจัดการ CDW ในแง่ของเทคโนโลยีขั้นสูงและขับเคลื่อนเส้นทางสำหรับการเปลี่ยนสหภาพยุโรปไปสู่สังคมหมุนเวียน(CDW : Connections of the waste hierarchy and circular economy were compared) [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10]

ดังนั้นในการวิจัยในครั้งนี้จะศึกษาเพื่อลดวัสดุคงเหลือของโครงการในปัจจุบันคิดเป็นร้อยละ 24.78% โดยจะประยุกต์ใช้กระบวนการ 3Rs, 6Rs, 9Rs เข้ามาแก้ปัญหานำวัสดุคงเหลือจากโครงการที่ผ่านมา ซึ่งคาดว่าจะกำหนดแนวทางการจัดการเศษวัสดุก่อสร้างในโครงการให้เกิดประสิทธิผล และปรับปรุงพัฒนาประสิทธิภาพขององค์กรให้ประสบผลสำเร็จขึ้นต่อไป

2. วิธีการวิจัย (Methodology)

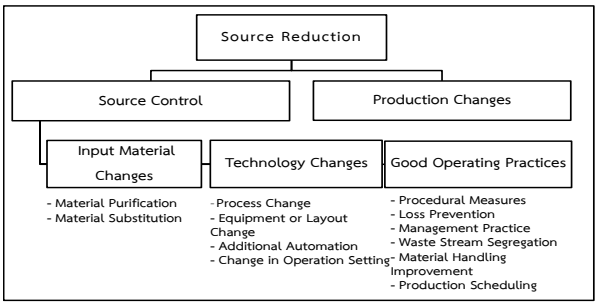
ในการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการปัญหาการสูญเสียของวัสดุก่อสร้าง ซึ่งเป็นหน่วยงานที่มีหน้าที่ดูแลสุขภาพของประชาชนและปกป้องสิ่งแวดล้อมธรรมชาติ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แนวทางการลดปริมาณขยะ

การควบคุมแหล่งกำเนิด (Source Control) การควบคุมแหล่งกำเนิดของวัสดุที่ใชในการก่อสร้าง มีองค์ประกอบ 3 กระบวนการ ดังนี้

Recycle หมายถึง การนำเศษวัสดุมาใช้ใหม่ โดยกลับมาใช้ในกระบวนการเดิมหรือไปใช้ในกระบวนการอื่นอีกครั้ง หรือการน้ำขยะที่มีค่าไปใช้ให้เกิดประโยชน์อื่น (Reclamation) ซึ่งเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในการกำจัดเศษวัสดุที่เกิดขึ้น กระบวนการดังกล่าวเป็นกระบวนการที่ใช้ในการลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น โดย USEPA ได้เน้นในส่วนของกระบวนการ Source Reduction มากกว่าการ Recycle เนื่องจากการลดปริมาณของของเสียโดยเริ่มตั้งแต่แหล่งกำเนิด ทำให้สามารถลดปริมาณของเสียที่จะเกิดขึ้นได้มีประสิทธิภาพมากกว่าการแก้ไขบำบัดของเสียให้อยู่ในสภาพที่กลับมาใช้ในภายหลัง ซึ่งเป็นการแก้ไขปัญหาที่ปลายเหตุ และยังมีผลดีต่อสิ่งแวดล้อม (Relative Environmental Desirability) มากกว่ากระบวนการลดปริมาณของเสียหรือกำจัดของเสียที่แหล่งกำเนิด (Source Reduction) มีขั้นตอน ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ได้แก่ การควบคุมแหล่งกำเนิดของวัสดุ และการเปลี่ยนแปลงวิธีการผลิต ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 กระบวนการลดขยะจากแหล่งกำเนิด

1) Input Material Change คือ การเปลี่ยนวัตถุดิบที่เข้ามาใช้ในกระบวนการผลิต ประกอบด้วย การเลือกวัตถุดิบที่ปราศจากสิ่งเจือปน

(Material Purification) และการเปลี่ยนวัตถุดิบใหม่มาแทนที่วัสดุชนิดเดิมที่ใช้อยู่ และมีปัญหาที่ทำให้เกิดของเสีย (Material Substitution)

2) Technology Change คือ การเปลี่ยนแปลงในเทคโนโลยีของอุปกรณ์เครื่องมือและเครื่องจักรในกระบวนการผลิต ประกอบด้วย การเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิต (Process Change) เป็นแนวทางที่เน้นการปรับปรุงกระบวนการผลิตใหม่ เช่น การเปลี่ยนแปลงระบบการขนส่ง การขนย้ายวัตถุดิบ ได้แก่ การใช้รถยนต์ แทนจักรยานยนต์ในการขนย้าย เพื่อป้องกันวัสดุแตกหักเสียหายระหว่างการขนส่ง การเปลี่ยนอุปกรณ์หรือการวางแผน (Equipment or Layout Changes) เป็นแนวทางที่เน้นการเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์ เครื่องมือ เครื่องจักรให้เหมาะสมในการทำงานมากขึ้น และช่วยลดปัญหาการเกิดของเสียจากกระบวนการผลิต หรือเน้นการเปลี่ยนแปลงผังการทำงานใหม่ให้เหมาะสม การใช้ระบบอัตโนมัติ (Automation) เป็นแนวทางที่เน้นการใช้การระบบอัตโนมัติเพื่อช่วยในการควบคุมการผลิต การทำงาน และสะดวกในการตรวจสอบการทำงาน และการเปลี่ยนแปลงสภาวะการทำงาน (Change in Operation Setting) เป็นแนวทางที่เน้นการปรับปรุงสภาพสภาวะการทำงานให้ดีขึ้น เพื่อป้องกันการเกิดของเสียของวัตถุดิบ เช่น การปรับปรุงอัตราการทำงาน (Flow Rate) การปรับอุณหภูมิ แสงสว่าง เป็นต้น

3) Good Operation Practices คือ การเปลี่ยนแปลงกระบวนการทำงานที่ต้องมีระเบียบ การปฏิบัติงาน การบริหารงาน การดำเนินงานที่ดี ซึ่งมีแนวทางตาม USEPA ดังนี้ มาตรการในการปฏิบัติงาน (Procedural Measures) เป็นแนวทางในการกำหนดระเบียบในการปฏิบัติงานให้พนักงาน การให้รางวัลเพื่อเป็นแรงจูงใจในการทำงานที่ดี การบริหารงานบุคคลที่ดี เป็นต้น การป้องกันการสูญเสีย (Loss Prevention) เป็นแนวทางในการป้องกันความสูญเสียที่เกิดในระหว่างกระบวนการผลิต เช่น การลดการรั่วไหลในอุปกรณ์ ลดการใช้น้ำ สารเคมี หรือลดพลังงานที่ใช้เกินความจำเป็น การบริหารงาน (Management Practices) เป็นแนวทางในการบริหารการทำงานโดยให้การอบรมกับพนักงาน การให้รางวัลเพื่อเป็นแรงจูงใจในการทำงานที่ดี การบริหารงานบุคคลที่ดี และการปรับปรุงการขนย้ายวัสดุ (Material Handling) เป็นแนวทางในการปรับปรุงการขนย้ายวัสดุเพื่อเข้าสู่กระบวนการผลิต ซึ่งในการขนย้ายเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดของเสียขึ้น เช่น การกำหนดพาหนะที่ใช้ในการขนย้าย และจัดระเบียบการเบิกวัสดุให้เป็นไปตามงวดงานของผู้รับเหมา เพื่อป้องกันวัสดุไปกองหน้างานเกินความจำเป็น ซึ่งอาจเกิดการสูญหาย แตกหัก และกีดขวางการทำงานได้ และการวางแผนการผลิต (Production Scheduling) เป็นแนวทางในการวางแผนการผลิต การทำงาน และการซ่อมบำรุง เพื่อให้การทำงานมีประสิทธิภาพและเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต

2.1 ปัญหาและอุปสรรคในการจัดการเศษวัสดุจากการก่อสร้าง

ปัญหาและอุปสรรคในการจัดการเศษวัสดุจากการก่อสร้าง พบว่า ปัญหาและอุปสรรคที่สำคัญ คือ การขาดการควบคุมดูแลจากผู้ปฏิบัติงานให้เป็นไปตามแนวทางที่กำหนดไว้ ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับสภาพปัญหา มีประเด็นที่ควรพิจารณา เนื่องจากเศษวัสดุจากการก่อสร้างมาจากวัสดุมีหลายชนิดที่แตกต่างกันในแต่ละงาน มีสัดส่วน มากสามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการเลือกวัสดุที่สำคัญที่มีสัดส่วนในการเกิดเศษสูง โดยสรุปรายละเอียดได้ดังนี้

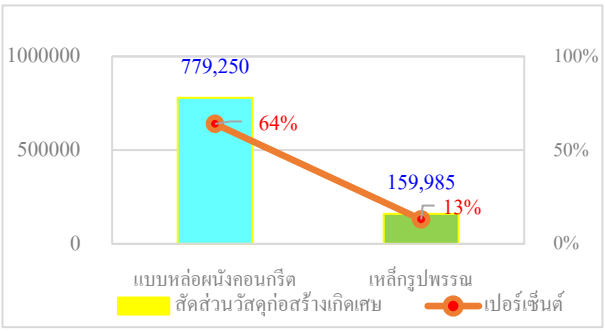
1) สภาพปัญหาที่เกี่ยวข้องกับฝ่ายบริหาร โดยที่ฝ่ายปฏิบัติการขาดประสบการณ์ ไม่มีความชำนาญเรื่องการเขียนแบบและการอ่านแบบก่อสร้าง ขาดวางแผนงานที่เหมาะสม การเปลี่ยนแปลงและแก้ไขแบบระหว่างก่อสร้าง การสื่อสารกับส่วนปฏิบัติงานไม่ชัดเจน และการเร่งรัดงาน

2) สภาพปัญหาที่เกี่ยวข้องกับฝ่ายปฏิบัติการ โดยที่แรงงานขาดทักษะในการทำงาน ไม่มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ในการใช้วัสดุ ไม่มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ในการใช้วัสดุ และการใช้เครื่องมืออุปกรณ์ไม่เหมาะสมกับการทำงาน

ซึ่งผลการวิเคราะห์ข้อมูล โดยเลือกวัสดุก่อสร้าง 2 ชนิดมาเพื่อวิเคราะห์ปัญหา คือ แบบหล่อคอนกรีตและเหล็กรูปพรรณ พบว่าแบบหล่อคอนกรีตมีสัดส่วนความเสียหายสูงสุดเท่ากับ 64% อันดับสองคือเหล็กรูปพรรณเท่ากับ 13% ดังตารางที่ 1 และ แสดงในรูปที่ 3

ตารางที่ 1 ข้อมูลมูลค่าวัสดุที่เกิดเศษ

ลำดับ	เศษวัสดุ	รวมเงิน/บาท	%	% สะสม	หน่วย
1	แบบหล่อคอนกรีต	779,250	64%	64%	ตร.ม
2	เหล็กรูปพรรณ	159,985	13%	77%	กก.
3	รวมเงิน	939,235	-	-	บาท



รูปที่ 3 มูลค่าวัสดุที่เกิดเศษ

จากการศึกษา พบว่าปัญหาด้านเศษวัสดุก่อสร้างมีผลกระทบต่อต้นทุนก่อสร้าง ผลกระทบด้านเวลา และผลกระทบด้านคุณภาพของงาน ผลจากกการวิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุของความสูญเสียวัสดุก่อสร้าง พบว่า ล้วนมีผลกระทบต่อด้านต้นทุนของการก่อสร้างทั้งสิ้น ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 กองเก็บวัสดุก่อสร้างเหล็กรูปพรรณที่เกิดเศษ

จากรูปที่ 4 เป็นการเก็บชนิดของเศษวัสดุก่อสร้างและปริมาณโดยตรง ประกอบด้วยวัสดุ 2 ชนิด แบบหล่อคอนกรีต เหล็กรูปพรรณ ซึ่งผลที่ได้จากการเก็บข้อมูลโดยตรง ทำ ให้ทราบถึงปริมาณเศษวัสดุก่อสร้างรวมถึงสาเหตุที่ก่อให้เกิดเศษวัสดุจากการก่อสร้างอย่างถูกต้อง

2.2 วิธีการแก้ไขปัญหา

การแก้ไขปัญหา โดยการนำหลักการเศรษฐกิจหมุนเวียน คือ แนวคิดที่สนับสนุนให้เราใช้สิ่งของหรือทรัพยากรที่มีอยู่ให้คุ้มค่าที่สุด) มาประยุกต์ใช้ ร่วมกับแนวทางกระบวนการ 3Rs , 6Rs และ 9Rs ที่ช่วยให้เกิดการเปลี่ยนแปลงและการพัฒนาการจัดการเศษสิ่งก่อสร้าง ตามรายละเอียด

1) Reduce เป็นการใช้แบบหล่อคอนกรีตที่วัสดุเป็นเหล็กแทนแบบหล่อคอนกรีตที่วัสดุเป็นไม้เนื่องจากแบบเหล็กนั้นสามารถนำมาใช้ได้หลายครั้ง แข็งแรงเป็นจุดเด่นหลัก มีการอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่า ประหยัดงบประมาณได้ 10% ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การนำแบบหล่อคอนกรีตเหล็กมาใช้แทนแบบแบบหล่อคอนกรีตไม้

รายละเอียด	ปริมาณ	Reduce %
แบบหล่อคอนกรีต 	246 ตร.ม (ของปริมาณแบบหล่อ 2,460 ตร.ม)	10

2) Reuse โดยการนำวัสดุกลับมาใช้ซ้ำ คือการใช้เหล็กค้ำยันท้องคานรูปสามเหลี่ยม ตั้งเพื่อค้ำยันอยู่ใต้ท้องคาน ซึ่งเหล็กค้ำยันตัวนี้จะทำหน้าที่ค้ำยันหรือพยุงแบบหล่อคานไว้ไม่ให้พังลงมาในขณะเทคอนกรีตคาน จะเห็นว่าเหล็กค้ำยันที่ใช้ จะเป็นเหล็กรูปพรรณ เปรียบเทียบสัดส่วนเศษวัสดุที่นำมาประยุกต์ใช้จัดกลางสามารถประหยัดงบประมาณได้ 4% ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การนำเหล็กค้ำยันท้องคานมาใช้ซ้ำ

รายละเอียด	ปริมาณ	Reuse %
เหล็กค้ำยันท้องคาน 	168 Kg (ปริมาณแบบหล่อ 4,210 kg)	4

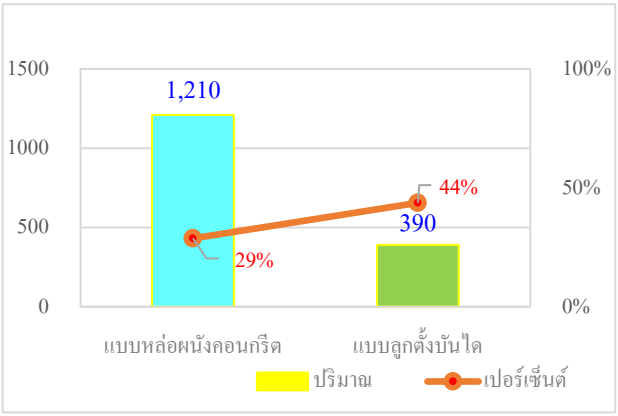
3) Recycle ได้มีการคัดแยกเศษวัสดุส่วนที่ไม่สามารถนำไปใช้งานได้ จึงมีความจะเป็นต้องนำไปขาย สามารถประหยัดงบประมาณอีกทั้งความรู้ด้านการบริหารจัดการเศษวัสดุของโครงการ ที่กำหนดไว้สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดเพิ่มความหลากหลายและเป็นได้ 7.97%

4) Rethink เป็นการคิดใหม่และเปลี่ยนแนวความคิดที่สร้างสรรเกี่ยวกับกระบวนการแนวทางแก้ไขปัญหาเรื่องการใช้ทรัพยากร การออกแบบระบบใหม่ที่ทำให้เกิดการหมุนเวียนของวัสดุทดแทนผลิตภัณฑ์เดิม โดยเน้นการใช้งานวัสดุก่อสร้างชนิดต่าง ๆ โดยการลดการเชื่อมเหล็กเป็นการผูกมัดด้วยลวด และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

5) Redesign เป็นการนำเศษวัสดุก่อสร้างที่มีข้อบกพร่องมาประยุกต์ใช้หรือปรับแต่งแบบก่อสร้างแก้ไขและใช้ในการแก้ปัญหาให้สอดคล้องกับงานที่ดำเนินการอยู่จึงใช้การออกแบบเพื่อให้สามารถใช้ประโยชน์ได้มากที่สุด โดยเศษแบบหล่อคอนกรีตนำมาเป็นแบบท้องคาน โดยลดต้นทุนค่าวัสดุได้ 48.08% ดังตารางที่ 4 และ แสดงในรูปที่ 5

ตารางที่ 4 การนำวัสดุที่เป็นเศษมาประยุกต์ใช้

ชนิดของวัสดุ	ปริมาณ	Redesign %
แบบหล่อผนัง 	1,210 kg	28.74
แบบลูกตั้งบันได 	390 ตร.ม	14.96



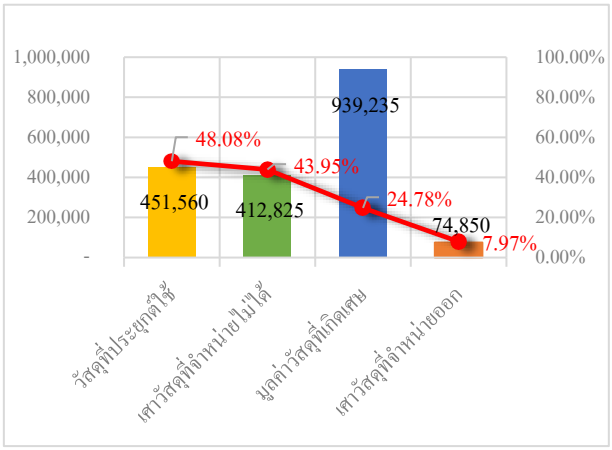
รูปที่ 5 การประยุกต์ใช้ Reuse

สามารถสรุปได้ว่าวัสดุก่อสร้างที่นำไปประยุกต์ใช้กับงานต่าง ๆ ตามแนวทาง 3Rs, 6Rs, 9Rs ผสมผสานกับ แนวทางเศรษฐกิจหมุนเวียน เป็นมูลค่าเท่ากับ 526,410.00 บาท คิดเป็น 56.04% คงเหลือยอดของเศษวัสดุที่ ไม่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ เนื่องจากเกิดการเสื่อมสภาพมี มูลค่าเท่ากับ 412,825.00 บาท คิดเป็น 43.95% จึงวิเคราะห์ได้ว่าหลักการ

ดังกล่าวทำให้สามารถประหยัดต้นทุนงบประมาณก่อสร้างโดยรวมอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ ดังตารางที่ 5 และ แสดงในรูปที่ 6

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบสัดส่วนเศษวัสดุที่นำมาประยุกต์ใช้

ลำดับ	รายละเอียด	รวมเงิน (บาท)	%	% สะสม
1	วัสดุที่เกิดเศษ	939,235	24.78	24.78
2	วัสดุที่ประยุกต์ใช้	451,560	48.08	48.08
3	วัสดุที่จำหน่ายออก	74,850	7.97	56.05
4	วัสดุที่จำหน่ายไม่ได้	412,825	43.95	100



รูปที่ 6 สัดส่วนเศษวัสดุที่นำมาประยุกต์ใช้

3. สรุปผล (Conclusion)

จากการตารางสามารถสรุปได้ว่าวัสดุก่อสร้างที่นำไปประยุกต์ใช้กับงานต่าง ๆ ตามแนวทาง 3Rs, 6Rs, 9Rs ผสมผสานกับแนวทางเศรษฐกิจหมุนเวียน เป็นมูลค่าเท่ากับ 526,410.00 บาท คิดเป็น 56.04% คงเหลือยอดของเศษวัสดุที่ ไม่สามารถนำมาประยุกต์ใช้เนื่องจากเกิดการเสื่อมสภาพมี มูลค่าเท่ากับ 412,825.00 บาท คิดเป็น 43.95% จึงวิเคราะห์ได้ว่าหลักการ ดังกล่าวทำให้สามารถประหยัดต้นทุนงบประมาณก่อสร้างโดยรวมอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ

4. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณบริษัทกรณีศึกษาที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านข้อมูลต่าง ๆ ในการศึกษาค้นคว้าวิจัยเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

[1] จิรานุวัฒน์ จันทร์จร. (2545). การศึกษาแนวทางการจัดการเศษสิ่งก่อสร้างในประเทศไทย. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต)., สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, คณะวิศวกรรมศาสตร์.

[2] วิจิตรา แสนกุดเลาะ. (2559). การจัดการเศษวัสดุและลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการก่อสร้างรถไฟฟ้าสายบางซื่อ-รังสิต : กรณีศึกษาสถานีดอนเมือง. (วิทยานิพนธ์ ศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต).สาขาวิศวกรรมศาสตร์และการจัดการเชิงธุรกิจ, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

[3] ก้องพันธ์ รัศมีวิจารณ์. (2561). สาเหตุที่ก่อให้เกิดเศษวัสดุในการก่อสร้างตกแต่งภายใน โครงการการก่อสร้างตกแต่งภายในอาคารพระปริยัติธรรม วัดปทุมวนารามราชวรวิหาร (การค้นคว้าอิสระตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต) สาขาวิชาการจัดการโครงการ ก่อสร้าง แผน ข ระดับปริญญา มหาบัณฑิต ภาควิชาเทคนิคสถาปัตยกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

[4] Kalim, Khalid and Marosszeky, Marton. (1999). Waste Strtegies in Commercial Construction Guideline for Minimizing Waste. Australian Centre for Construction Innovation, the University of New South Wales and New South Wales Environment Protection Authority, Spivey, David A. (1994, September). Construction Solid Waste. In Journal of Construction Division, 100(4), pp.501-506.

[5] Faniran, O. O., & Caban, G. (1998): Minimizing waste on construction project sites. Engineering Construction and Architectural Management, 5(2), 182-188. Article publication date: 1 February 1998.

[6] Gavilan, R. M., & Bernold, L. E. (1994). Source evaluation of solid waste in building construction. Journal of Construction Engineering and Management,120(3), 536-552.

[7] Vivian W. Y. Tam. (2011). “Rate of Reusable and Recyclable Waste in onstruction; The Open WasteManagement Journal, Vol. 4, pp.28-32

[8] Chunbo Zhang,-Mingming Hua,-Francesco Di Maio-Benjamin Sprecher,-Xining Yang,Arnold Tukker (2022:1-13), An overview of the waste hierarchy framework for analyzing the circularity in construction and demolition waste management in Europe:

[9] สำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection: USEPA, 1988: manual. Ohio: USEPA. Product-Published-Date: 12/31/1988.

[10] ธเนศ มหัทธนาลัย. [2564-2566:1-10]: วิจัยกรุงศรีกลุ่มอุตสาหกรรมก่อสร้าง แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรม 2564-2566: ธุรกิจรับเหมาก่อสร้าง



รชต ชัยเมือง ปัจจุบันดำรงตำแหน่งวิศวกรโยธา สาขาวิศวกรรมโยธา (ว.ศ.บ.) คณะวิศวกรรมศาสตร มหาวิทยาลัยศรีปทุม
วศ.ม. การจัดการงานวิศวกรรม มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต



พจนีย์ ศรีวิเชียร เลขานุการบัณฑิตวิทยาลัย อาจารย์ประจำบัณฑิตวิทยาลัย บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต



ศักดิ์ชาย รักการ ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง ผู้อำนวยการหลักสูตร วศ.ม.การจัดการงานวิศวกรรม มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
Ph.D. systems and Control, Case Western Reserve University, Ohio, USA
วศ.ม.วิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วศ.บ.วิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

การจัดการโลจิสติกส์ข้าวหอมมะลิดินภูเขาไฟเพื่อเพิ่มมูลค่าเศรษฐกิจหมุนเวียนที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ของบ้านโคกเมือง ตำบลจรเข้มาก อำเภอประโคนชัย จังหวัดบุรีรัมย์

Logistics Management of Volcanic Jasmine Rice to add value to An Environmentally friendly Circular Economy of Ban Khok Mueang, Chorakhe Mak Sub-district, Prakhon Chai District, Buriram Province

อุดมพงษ์ เกศศรีพงษ์ศา[1*]

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์*

439 ต.ในเมือง อ.เมือง จ.บุรีรัมย์ 31000, อีเมล: udompong.bru.ac.th, udompong.jo@gmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อศึกษาและพัฒนารูปแบบการจัดการโลจิสติกส์ของเกษตรกรต้นน้ำเพื่อลดต้นทุนกิจกรรมห่วงโซ่อุปทานกลุ่มผู้ผลิตข้าวภูเขาไฟของชุมชนในจังหวัดบุรีรัมย์ 2) เพื่อหาแนวทางลดต้นทุนกิจกรรมภายในห่วงโซ่อุปทาน ของกลุ่มผู้ผลิตข้าวภูเขาไฟของชุมชนในจังหวัดบุรีรัมย์ กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ จำนวนสมาชิกชุมชนกลุ่มผู้ปลูกและจำหน่ายข้าวภูเขาไฟ ในเขตตำบลจรเข้มาก อำเภอประโคนชัย จังหวัดบุรีรัมย์ 97 ราย โดยใช้เทคนิค SCOR Model มาพัฒนาตัวแบบที่จะใช้วัดประสิทธิภาพของโซ่อุปทานข้าวในการจัดการโลจิสติกส์ ผลการวิจัยพบว่า รูปแบบการจัดการโลจิสติกส์กิจกรรมห่วงโซ่อุปทานการผลิตข้าวภูเขาไฟของชุมชนในจังหวัดบุรีรัมย์ พบว่าการใช้เทคนิค SCOR Model สรุปได้ดังนี้ Plan : การวางแผน เกษตรกรส่วนใหญ่มีการวางแผนช่วงระยะเวลาในการไถกลบ ปรับสภาพหน้าดินของนาเพื่อเอาตอฟางข้าวหรือวัชพืชต่างๆ ออกก่อนเริ่มทำการไถหว่าน และจะดูว่าสภาพดินนั้นมีความชื้นมากเกินไปหรือว่าน้อยเกินไป Source : การจัดการวัตถุดิบ แหล่งที่มาของวัตถุดิบมีทั้งที่ผลิตเองและที่มีการสั่งซื้อ Make : การผลิต การผลิตนั้นเกษตรกรส่วนใหญ่เลือกทำนาหว่านเพราะต้นทุนต่ำกว่านาดำและได้ผลผลิตมากกว่า การทำนา Delivery : การส่งมอบ เกษตรกรส่วนใหญ่จะจำหน่ายข้าวให้กับโรงสีโดยมีวิธีการส่งสินค้าโดยการใช้รถบรรทุก ขึ้นอยู่กับจำนวนข้าว โดยจะใช้รถในการส่งเฉลี่ยวันละ 1-2 รอบ Return : การส่งคืน สาเหตุของการส่งคืนข้าวส่วนใหญ่คือ การมีสิ่งเจือปนอยู่ในข้าวมากเกินไปไม่ว่าจะเป็นวัชพืชต่างๆที่มากเกิน หรือการเจือปนเมล็ดข้าวที่ต่างพันธุ์ต่างชนิดกันเจือปนอยู่ และระดับความชื้นที่ไม่ได้ตามความต้องการของโรงสี

คำสำคัญ : ข้าวหอมมะลิจากดินภูขาไฟ, การจัดการโลจิสติกส์, เทคนิค SCOR Model

Abstract

The objectives of this research were 1) to study and develop a logistics management model of upstream farmers to reduce the cost of supply chain activities of the community that produced volcanic rice in Buriram Province; and 2) to find ways to reduce activity costs within the supply chain of the volcanic rice producers of the community in Buriram Province. The samples used in the study were 97 members of the community group who grow and sell volcanic rice in Chorakhe Mak Subdistrict, Prakhon Chai District, Buriram Province by using SCOR Model technique and logistics cost analysis through the activity-based cost method to develop a model to measure the efficiency of the rice supply chain in logistics management. The results of the logistics management model of volcanic rice production supply chain activities of community in Buriram Province using the SCOR model technique can be summarized as follows: Plan: most of the farmers had planned the plowing period by adjusting the topsoil condition of the rice field to remove rice stubble or weeds out before plowing begins and to check the soil moisture; Source: raw materials were both produced in-house and purchased from other sources; Make: in production, most farmers chose to cultivate rice because the cost was lower than that of paddy fields and produced more harvest; Delivery: most farmers sell rice to the mill by using truck, depending on the amount of rice, the truck will be used to deliver on average of 1-2 rounds per day; Return: the cause of most rice returns was that there were too many impurities in the rice, whether it was an excess of various weeds or contamination of rice grains from different varieties, and moisture levels that did not meet the requirements of the mill.

Keywords: Volcanic Jasmine Rice; Logistics management; SCOR Model Technique

1. บทนำ

เมื่อเดือนกันยายน 2563 ที่ผ่านมากรมทรัพย์สินทางปัญญา ได้ประกาศขึ้นทะเบียนสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ (GI) ให้กับ **“ข้าวหอมมะลิดินภูเขาไฟบุรีรัมย์”** ซึ่งกระบวนการกว่าจะได้ GI นี้ต้องผ่านใช้เวลาถึง 4 ปี (ตั้งแต่ปี 2559) แต่ข้าวภูเขาไฟยังไม่เป็นที่รู้จักแพร่หลายมากนัก ผลผลิตของกลุ่มเป็นข้าวสารบรรจุถุง ขนาด 1 กิโลกรัม และ 5 กิโลกรัม เท่านั้น และกลุ่มข้าวภูเขาไฟแยกฐานการผลิตไปอยู่ใน 3 หมู่บ้าน ทั้งนี้เพื่อสะดวกในการบริหารจัดการและให้มีความหลากหลายในตัวสินค้ามากขึ้น โดยแยกฐานการผลิตเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์เด่นของตนเองใน 3

หมู่บ้าน โดยผู้วิจัยได้เลือกบ้านโคกเมืองมาทำการศึกษาวิจัย บ้านโคกเมือง หมู่ที่ 6 ผลิต **“ข้าวดินภูเขาไฟ”** โดยมีผลิตภัณฑ์เด่นคือ พันธุ์ข้าวและข้าวสาร ปัญหาส่วนมากที่พบ จะเห็นว่าชาวนาบ้านโคกเมืองประสบปัญหาการขายข้าวตกต่ำเมื่อเทียบกับต้นทุนในการเพาะปลูก จากข้อมูลการปลูกข้าวของเกษตรกรผู้ปลูกข้าวบ้านโคกเมือง พบว่าต้นทุนค่าใช้จ่ายไปจนถึงช่วงเก็บเกี่ยว ระหว่างวันที่ 12 กรกฎาคม 2562 ถึง 16 พฤศจิกายน 2562 ต้นทุนเฉลี่ยอยู่ที่ 2,083.68 บาทต่อไร่ และในปี 2563 ระหว่างวันที่ 16 กรกฎาคม 2563 ถึง 13 พฤศจิกายน 2563 ทุนเฉลี่ยอยู่ที่ 2,133.68 บาทต่อไร่ จะเห็นได้ว่าต้นทุนค่าใช้จ่ายสูงขึ้น แต่เมื่อเทียบกับราคาข้าวที่ขายได้ในปี 2562 ข้อมูลจากสมาคมโรงสีข้าวแห่งประเทศไทย ราคาข้าวเปลือกหอมมะลิความชื้น 15% ราคาเฉลี่ยตันละ 15,500 บาท และในปี 2563 ราคาข้าวเปลือกหอมมะลิความชื้น 15% ราคาเฉลี่ยตันละ 9,200 ถึง 9,400 บาท จะเห็นได้ว่าต้นทุนการปลูกข้าวของเกษตรกรสูงขึ้น แต่ราคาข้าวกลับลดลง ส่วนใหญ่เกษตรกรขายให้กับพ่อค้าคนกลาง ซึ่งเป็นผู้ตั้งราคาขายข้าวให้ ทำให้บางครั้งขายได้ในราคาที่ต่ำกว่าที่ติดป้ายราคารับซื้อหน้าโกดัง เนื่องจากการขาดอำนาจต่อรองของกลุ่มเกษตรกร [1]

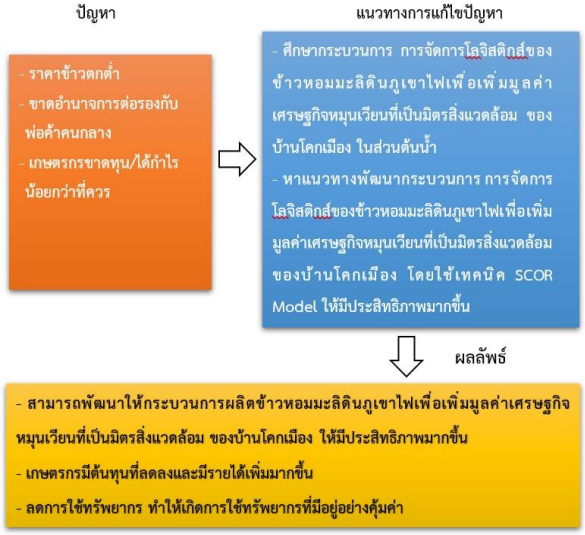
จากแนวคิดข้างต้นทำให้ผู้วิจัยต้องการศึกษาวิจัย **“การจัดการโลจิสติกส์ข้าวหอมมะลิดินภูเขาไฟเพื่อเพิ่มมูลค่าเศรษฐกิจหมุนเวียนที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ของบ้านโคกเมือง ตำบลจรเข้มาก อำเภอประโคนชัย จังหวัดบุรีรัมย์”** โดยทำการศึกษาตั้งแต่ครัวเรือนเริ่มวางแผนการทำนาไปจนถึงการเก็บเกี่ยวและจำหน่ายข้าว จำนวนข้าวที่ขายครัวเรือนละกี่ตัน และราคาข้าวที่ขายได้กิโลกรัมละเท่าไร เพื่อจะนำมาศึกษากระบวนการจัดการโลจิสติกส์ของข้าวหอมมะลิจากดินภูเขาไฟบ้านโคกเมือง ในส่วนต้นน้ำเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาและเพิ่มประสิทธิภาพทางด้านการจัดการโลจิสติกส์ของข้าวหอมมะลิจากดินภูเขาไฟบ้านโคกเมือง โดยอาศัยการร่วมมือจากผู้นำหมู่บ้านและเกษตรกรชาวหมู่บ้านโคกเมือง ลดการใช้ทรัพยากร ทำให้เกิดการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างคุ้มค่า

2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษากระบวนการ การจัดการโลจิสติกส์ข้าวหอมมะลิดินภูเขาไฟเพื่อเพิ่มมูลค่าเศรษฐกิจหมุนเวียนที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของบ้านโคกเมือง ตำบลจรเข้มาก อำเภอประโคนชัย จังหวัดบุรีรัมย์ ในส่วนต้นน้ำ

2. เพื่อหาแนวทางพัฒนากระบวนการ การโลจิสติกส์ข้าวหอมมะลิดินภูเขาไฟเพื่อเพิ่มมูลค่าเศรษฐกิจหมุนเวียนที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของบ้านโคกเมือง โดยใช้เทคนิค SCOR Model ให้มีประสิทธิมากขึ้น

3. กรอบแนวคิดการวิจัย



รูปที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

4. วิธีการดำเนินการวิจัย

4.1 กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ จำนวนเกษตรกรผู้ปลูกข้าวหอมมะลิดินภูเขาไฟบ้านโคกเมือง ตำบลจรเข้มาก อำเภอประโคนชัย จังหวัดบุรีรัมย์ (ต้นน้ำ) พบว่าประชากรมีจำนวนทั้งหมด 2,718 คน จะใช้กลุ่มตัวอย่างในการเก็บข้อมูล จำนวน 97 ราย ซึ่งคำนวณมาจากทฤษฎีของทาโร่ ยามาเน่ [2] ดังแสดงในสมการที่ (1)

$$n = N \div (1 + Ne^2) \qquad (1)$$

โดยที่ n คือ ขนาดกลุ่มตัวอย่าง, N คือ จำนวนประชากรทั้งหมด, และ e คือ ค่าความคลาดเคลื่อน โดยใช้วิธีการสุ่มแบบเจาะจง (Purposive Sampling)

4.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

4.2.1 ศึกษาค้นคว้าวิจัยที่เกี่ยวข้อง

4.2.2 จัดทำและประมาณความเที่ยงตรงของแบบสอบถาม (IOC)

4.2.3 แก้ไขแบบสอบถามตามผู้ทรงคุณวุฒิ

4.2.4 ลงพื้นที่เก็บข้อมูลแบบสอบถาม

4.2.5 วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ SCOR model

4.2.6 สรุปแนวทางพัฒนากระบวนการจัดการโลจิสติกส์ของข้าวหอมมะลิดินภูเขาไฟ

4.2.7 ถ่ายทอดองค์ความให้กับชุมชน

4.3 เครื่องมือการวิจัย

4.3.1 แบบสอบถามปลายเปิดและปลายปิด

4.3.2 แบบสัมภาษณ์

4.3.3 ประชุม Focus Group

4.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

4.4.1 ข้อมูลปฐมภูมิ เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลจากภาคสนามจากการสังเกต พฤติกรรมแบบมีส่วนร่วมและการสัมภาษณ์เชิงลึก โดยผู้วิจัยทำการศึกษาและทำความเข้าใจในแบบสอบถาม เพื่อนำไปใช้ในการสอบถาม ซึ่งต้องมีความเข้าใจในแบบสอบถามอย่างถูกต้องก่อนที่จะทำการเก็บข้อมูลซึ่งการดำเนินการเก็บข้อมูลจะดำเนินการเก็บข้อมูลโดยการเข้าไปในพื้นที่เพื่อแจกแบบสอบถามและแบบสัมภาษณ์ให้กับเกษตรกรผู้ปลูกข้าว และนำข้อมูลมาวิเคราะห์ในเชิงคุณภาพ

4.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

4.5.1 การวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบสัมภาษณ์เพื่อสรุปประเด็นการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ การสัมภาษณ์กลุ่มสมาชิก การบันทึกเสียงแล้วนำข้อมูลจากการสำรวจ การสัมภาษณ์เนื้อความจากเอกสาร ดำเนินการจัดแบ่งประเภทของข้อมูล ทำการวิเคราะห์ข้อมูล และตรวจสอบกับข้อมูล

4.6 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

4.6.1 ร้อยละ (Percentage) ร้อยละหรือเปอร์เซ็นต์

4.6.2 ค่าเฉลี่ย (X-bar)

5. ผลการวิจัย

5.1 ผลการศึกษากระบวนการ การโลจิสติกส์ข้าวหอมมะลิดินภูเขาไฟ

จากผลการเก็บข้อมูลเกษตรกรผู้ปลูกข้าวหอมมะลิดินภูขาไฟ บ้านโคกเมือง ตำบลจรเข้มาก อำเภอประโคนชัย จังหวัดบุรีรัมย์ จำนวน 97 คน พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นผู้หญิง อายุอยู่ระหว่าง 50-59 ปี ระดับการศึกษาประถมศึกษาหรือต่ำกว่า อาชีพเกษตรกรรม/ประมง รายได้เฉลี่ย/เดือนต่ำกว่า 5,000 บาท

ผลการศึกษาและพัฒนารูปแบบการจัดการโลจิสติกส์ของเกษตรกรต้นน้ำเพื่อลดต้นทุนกิจกรรมห่วงโซ่อุปทานกลุ่มผู้ผลิตข้าวภูเขาไฟของชุมชนในจังหวัดบุรีรัมย์ และหาแนวทางลดต้นทุนกิจกรรมภายในห่วงโซ่อุปทาน ของกลุ่มผู้ผลิตข้าวภูเขาไฟของชุมชนในจังหวัดบุรีรัมย์ กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ จำนวนสมาชิกชุมชนกลุ่มผู้ปลูกและจำหน่ายข้าวภูเขาไฟ ในเขตตำบลจรเข้มาก อำเภอประโคนชัย จังหวัดบุรีรัมย์ 97 ราย โดยใช้เทคนิค SCOR Model มาพัฒนาตัวแบบที่จะใช้วัดประสิทธิภาพของโซ่อุปทานข้าวในการจัดการโลจิสติกส์ ผลการวิจัยพบว่า รูปแบบการจัดการโลจิสติกส์ กิจกรรมห่วงโซ่อุปทานการผลิตข้าวภูเขาไฟของชุมชนในจังหวัดบุรีรัมย์ พบว่าการใช้เทคนิค SCOR Model สรุปได้ดังนี้ Plan : การวางแผน เกษตรกรส่วนใหญ่มีการวางแผนช่วงระยะเวลาในการไถกลบ ปรับสภาพหน้าดินของนาเพื่อเอาตอฟางข้าวหรือวัชพืชต่างๆ ออกก่อนเริ่มทำการไถหว่าน และจะดูว่าสภาพดินนั้นมีความชื้นมากเกินไปหรือว่าน้อยเกินไป Source : การจัดการวัตถุดิบ แหล่งที่มาของวัตถุดิบมีทั้งที่ผลิตเองและที่มีการสั่งซื้อ Make : การผลิตการผลิตนั้นเกษตรกรส่วนใหญ่เลือกทำนาหว่านเพราะต้นทุนต่ำกว่านาดำและได้ผลผลิตมากกว่า การทำนา Delivery : การส่งมอบ เกษตรกรส่วนใหญ่จะจำหน่ายข้าวให้กับโรงสีโดยมีวิธีการส่งสินค้าโดยการใช้รถบรรทุก ขึ้นอยู่กับจำนวนข้าว โดยจะใช้รถในการส่งเฉลี่ยวันละ 1-2 รอบ Return : การส่งคืน สาเหตุของการส่งคืนข้าวส่วนใหญ่คือ การมีสิ่งเจือปนอยู่ในข้าวมากเกินไปไม่ว่าจะเป็นวัชพืชต่างๆที่มากเกิน หรือการเจือปนเมล็ดข้าวที่ต่างพันธุ์ต่างชนิดกันเจือปนอยู่ และระดับความชื้นที่ไม่ได้ตามความต้องการของโรงสี

5.2 แนวทางพัฒนากระบวนการ การจัดการโลจิสติกส์ข้าวหอมมะลิดินภูเขาไฟเพื่อเพิ่มมูลค่าเศรษฐกิจหมุนเวียนที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ของบ้านโคกเมือง ตำบลจรเข้มาก อำเภอประโคนชัย จังหวัดบุรีรัมย์ โดยใช้เทคนิค SCOR Model สามารถสรุปได้ดังนี้



รูปที่ 2 วิเคราะห์ Old Value Chain การผลิตข้าวภูเขาไฟ

จากรูปที่ 2 พบว่าห่วงโซ่คุณค่าของกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกข้าวหอมมะลิดินภูเขาไฟบ้านโคกเมือง ตำบลจรเข้มาก อำเภอประโคนชัย จังหวัดบุรีรัมย์ได้เลือกใช้เมล็ดพันธุ์คือ พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 หรือ กข. 15 จากแหล่งผลิตเมล็ดพันธุ์ที่ได้จากการเก็บเกี่ยวเพื่อเก็บไว้เป็นเมล็ดพันธุ์โดยเกษตรกรผู้ปลูกข้าวใช้วิธีการปลูกข้าวด้วยวิธีการหว่าน มีการเลือกใช้ทั้งปุ๋ยเคมีและปุ๋ยชีวภาพแล้วแต่ครัวเรือน การใช้ปุ๋ยชีวภาพนั้นเกษตรกรมีทั้งการทำปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอกหรือมูลสัตว์ น้ำหมักชีวภาพ และปุ๋ยพืชสดเพื่อรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดินไม่ให้เสื่อมสภาพ ทั้งนี้เกษตรกรมีการใช้สารเคมีเพื่อป้องกันโรคและกำจัดศัตรูพืช หลังจากนั้นรอจนข้าวตั้งท้องและออกรวงเกษตรกรจะดูแลรักษาข้าวเป็นพิเศษเพราะถ้าข้าวเกิดโรคผลผลิตก็อาจจะไม่ได้คุณภาพรวมไปถึงผลผลิตลดน้อยลงกว่าที่ควร ดังนั้นเกษตรกรก็จะมีการใส่ปุ๋ยและมีการฉีดสารเคมี เพิ่มขึ้น หลังจากเข้าสู่เกษตรกรผู้ปลูกข้าวทำการเก็บเกี่ยวข้าวด้วยรถเกี่ยวข้าวเป็นส่วนใหญ่และมีบางรายที่เกี่ยวด้วยแรงงานคน เพราะรถเกี่ยวสามารถเก็บเกี่ยวได้รวดเร็วและมีต้นทุนประหยัดกว่าการใช้แรงงานคน เมื่อทำการเก็บเกี่ยวเสร็จแล้วก็จะทำการตากข้าวเพื่อลดความชื้นของข้าว แต่บางรายก็จะนำไปจำหน่ายทันที เป็นอันเสร็จสิ้นกระบวนการผลิต(ต้นน้ำ) หลังจากนั้นจะเป็นกระบวนการกลางน้ำได้แก่โรงสี พ่อค้าคนกลาง สหกรณ์การเกษตรทำการแปรรูปเป็นข้าวสารและส่งออกไปยังปลายน้ำหรือกลุ่มผู้บริโภค

แนวทางในการพัฒนาโดยการใช้เทคนิค SCOR Model

1. การจัดการวัตถุดิบ (Source) เกษตรกรควรมีการวางแผนหาข้อมูลการใช้ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน หรือ ใช้ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำของทางราชการ ตามชนิด อัตราและระยะเวลาที่เหมาะสม ซึ่งจะช่วยให้ข้าวที่ปลูกมีความสมบูรณ์ ไม่หัก ล้ม และไม่มีโรคแมลงเข้าทำลาย และจัดการธาตุอาหารได้เหมาะสมตามระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน จะช่วยในการลดต้นทุนการผลิตข้าวได้เช่นเดียวกัน ควรคำนวณหาต้นทุนค่าใช้จ่ายในแต่ละครั้ง และควรมีสมุดบันทึกรายรับ รายจ่าย เพื่อทราบต้นทุนค่าใช้จ่ายในแต่ละครั้งว่าคุ้มทุนหรือไม่

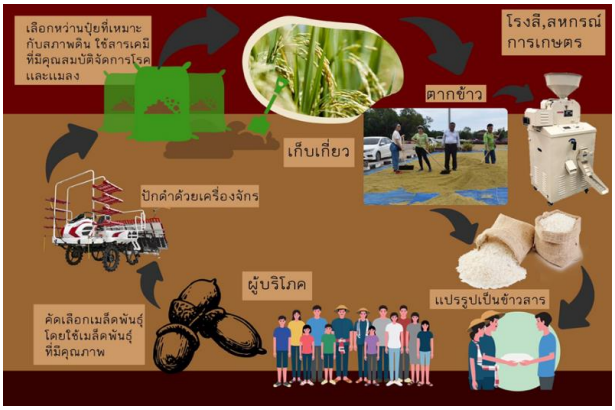
2. การจัดการวัตถุดิบ (Source) เกษตรกรควรหาเมล็ดพันธุ์ข้าวที่มีคุณภาพเพื่อที่จะได้ข้าวที่มีประสิทธิภาพและสร้างความเชื่อมั่นให้กับผู้ซื้อ ควรมีการคำนวณปริมาณเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ต้องใช้ และควรคัดแยกเมล็ดพันธุ์ข้าวโดยการนำเมล็ดพันธุ์ข้าวไปแช่น้ำโดยใส่เกลือลงไปด้วย แล้วแยกเมล็ดลีบที่ลอยน้ำออกให้หมด นำเมล็ดที่จมไปล้างน้ำให้หมดความเค็ม วิธีนี้จะทำให้ต้นกล้ามีอัตราการงอกสูงและต้นกล้าจะมีความสมบูรณ์แข็งแรง การจัดหาสารเคมีการนั้นควรหาสารเคมีที่มีคุณสมบัติจัดการโรคและแมลงศัตรูข้าว โดยใช้ทุกวิธีที่ช่วยในการป้องกันกำจัด ลดการระบาดทำลายของศัตรูข้าว เพื่อให้พันธุ์ข้าวที่ผลิตได้มีความ สมบูรณ์พันธุ์สูงที่สุด

3. การผลิต (Make) ส่งเสริมเกษตรกรให้มีการปรับระบบการผลิตข้าวที่เหมาะสมเพื่อลดต้นทุนการผลิตและลดค่าใช้จ่ายสารเคมี หรือปุ๋ยเคมีโดยเปลี่ยนแปลงวิธีการปลูก จากการหว่านน้ำตม มาเป็นการปักดำด้วยเครื่องจักร เพื่อความสะดวกในการตรวจคัดพันธุ์ปน และการจัดการปัจจัยการผลิต ซึ่งในการเปลี่ยนแปลงวิธีการปลูกทำให้ เกษตรกรสามารถลดอัตราการใช้เมล็ดพันธุ์ เท่ากับเป็นการประหยัดเงินลงทุน ส่งเสริมให้มีการพัฒนาแหล่งน้ำขนาดเล็กในไร่นา การขุดลอกคลอง หรือการขุดบ่อบาดาลเพื่อการเกษตรกรเพื่อเป็นแหล่งน้ำร่องในการเพาะปลูกและในช่วงที่หน้าฝนแล้ง

4. การส่งมอบ (Delivery) ควรเลือกโรงสีที่มีการเขียนป้ายบอกราคาข้าวที่ชัดเจนและมีรายละเอียดการซื้อข้าวต่างๆที่ครบถ้วนเพื่อประกอบการตัดสินใจในการจำหน่าย เกษตรกรส่วนใหญ่จะจ้างรถในการนำข้าวออกไปจำหน่าย เกษตรกรควรเลือกรถที่เหมาะสมกับ

5. การส่งคืน (Return) วิธีแก้ปัญหาการส่งคืนของข้าว เกษตรกรควรตากข้าวให้แห้งสนิทก่อนนำไปจำหน่าย และควรคัดสิ่งเจือปนออกจากข้าวก่อนเพื่อกันการถูกตัดราคา

New Value Chain การผลิตข้าวภูเขาไฟ



รูปที่ 3 วิเคราะห์ New Value Chain การผลิตข้าวภูเขาไฟ

จากรูปที่ 3 ผู้วิจัยได้ร่วมกันออกแบบกระบวนการของห่วงโซ่อุปทานใหม่ของการผลิตข้าวจากดินภูเขาไฟ ในกระบวนการปลูกข้าวของเกษตรกร(ต้นน้ำ) โดยเริ่มจากเกษตรกรผู้ปลูกข้าวคัดเลือกเมล็ดพันธุ์ที่มีคุณภาพและมีประสิทธิภาพไปใช้ในการเพาะปลูก จากนั้นผู้วิจัยได้เปลี่ยนแปลงวิธีการปลูกมาเป็นการปักดำด้วยเครื่องจักร เพื่อความสะดวกในการตรวจตัดพันธุ์ปนและการจัดการปัจจัยการผลิตซึ่งในการเปลี่ยนแปลงวิธีการปลูกทำให้เกษตรกรสามารถลดอัตราการใช้เมล็ดพันธุ์ เป็นการประหยัดเงินลงทุน จากนั้นเลือกใช้ปุ๋ยเคมีที่เหมาะสมกับสภาพดินของตนเองและใช้สารเคมีที่มีประสิทธิภาพที่ช่วยในการกำจัดโรคและศัตรูข้าว หลังจากข้าวสุกทำการเก็บเกี่ยวและคัดเมล็ดข้าว จากนั้นนำข้าวไปตากให้หมดความชื้นเพื่อตัดปัญหาการตัดราคาข้าวจากพ่อค้าคนกลาง หลังจากได้ข้าวเปลือกที่มีคุณภาพแล้วทำการจัดแบ่งตามสัดส่วนคือ สำหรับไว้จำหน่าย และสำหรับไว้บริโภค และผู้วิจัยได้เพิ่มเส้นทางการเพิ่มรายได้ของเกษตรกรโดยการให้เกษตรกรรวมกลุ่มแปรรูปเป็นข้าวสารใส่แพ็คเก็จที่น่าสนใจและนำไปจำหน่ายให้กับผู้บริโภคโดยตรงไม่ผ่านพ่อค้าคนกลาง วิธีนี้จะทำให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้นจากที่ขายให้โรงสี พ่อค้าคนกลางแค่อย่างเดียว

6. สรุป

6.1 สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อศึกษาและพัฒนารูปแบบการจัดการโลจิสติกส์ของเกษตรกรต้นน้ำเพื่อลดต้นทุนกิจกรรมห่วงโซ่อุปทานกลุ่มผู้ผลิตข้าวภูเขาไฟของชุมชนในจังหวัดบุรีรัมย์ 2) เพื่อหาแนวทางลดต้นทุนกิจกรรมภายในห่วงโซ่อุปทาน ของกลุ่มผู้ผลิตข้าวภูเขาไฟของชุมชนในจังหวัดบุรีรัมย์ กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ จำนวนสมาชิกชุมชนกลุ่มผู้ปลูกและจำหน่ายข้าวภูเขาไฟ ในเขตตำบลจรเข้มาก อำเภอประโคนชัย จังหวัดบุรีรัมย์ 97 ราย โดยใช้เทคนิค SCOR Model มาพัฒนาตัวแบบที่จะใช้วัดประสิทธิภาพของโซ่อุปทานข้าวในการจัดการโลจิสติกส์ ผลการวิจัยพบว่า รูปแบบการจัดการโลจิสติกส์

กิจกรรมห่วงโซ่อุปทานการผลิตข้าวภูเขาไฟของชุมชนในจังหวัดบุรีรัมย์ พบว่าการใช้เทคนิค SCOR Model สรุปได้ดังนี้ การวางแผน (Plan) เกษตรกรส่วนใหญ่มีการวางแผนช่วงระยะเวลาในการไถกลบ ปรับสภาพหน้าดินของนาเพื่อเอาตอฟางข้าวหรือวัชพืชต่างๆ ออกก่อนเริ่มทำการไถหว่าน และจะดูว่าสภาพดินนั้นมีความชื้นมากเกินไปหรือว่าน้อยเกินไป การจัดการวัตถุดิบ (Source) แหล่งที่มาของวัตถุดิบมีทั้งที่ผลิตเองและที่มีการสั่งซื้อ (Make) การผลิต การผลิตนั้นเกษตรกรส่วนใหญ่เลือกทำนาหว่านเพราะต้นทุนต่ำกว่านาดำและได้ผลผลิตมากกว่า การทำนา การส่งมอบ (Delivery) เกษตรกรส่วนใหญ่จะจำหน่ายข้าวให้กับโรงสีโดยมีวิธีการส่งสินค้าโดยการใช้รถบรรทุก ขึ้นอยู่กับจำนวนข้าว โดยจะใช้รถในการส่งเฉลี่ยวันละ 1-2 รอบ การส่งคืน (Return) สาเหตุของการส่งคืนข้าวส่วนใหญ่คือ การมีสิ่งเจือปนอยู่ในข้าวมากเกินไปไม่ว่าจะเป็นวัชพืชต่างๆที่มากเกิน หรือการเจือปนเมล็ดข้าวที่ต่างพันธุ์ต่างชนิดกันเจือปนอยู่และระดับความชื้นที่ไม่ได้ตามความต้องการของโรงสี

และจากงานวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการนำผลที่ได้จากแบบสอบถาม ใช้ SCOR Model มาวิเคราะห์พบว่าข้อมูลที่ได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของพีรศักดิ์ และวิชญุตร์ งามสะอาด [3] งานวิจัยนี้มุ่งลดปัญหาข้อบกพร่องด้านจัดการคุณภาพทุเรียน ด้วยการประยุกต์ตามหลักแนวคิด ตัวแบบเชิง ปฏิบัติการโซ่อุปทาน (SCOR Model) เพื่อแก้ไขผลกระทบที่เกิดการจำแนกคุณภาพทุเรียน มีการนำเครื่องมือการวิเคราะห์หาสาเหตุและผล ทำการปรับปรุงกระบวนการสื่อสารระหว่างชาวสวนและล้งที่ รวบรวมผลผลิต เพิ่มประสิทธิภาพ วิเคราะห์มูลค่าที่เพิ่มขึ้น งานวิจัยของ ทำนอง ชิดชอบ, กิตติศักดิ์ ร่วมพัฒนา และประทีป ดวงแว่ว [4] ได้ศึกษามีการศึกษาระบบโลจิสติกส์และโซ่อุปทานข้าวหอมมะลิอินทรีย์ของสหกรณ์การเกษตรในหกจังหวัดภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ห่วงโซ่อุปทานของข้าวหอมมะลิอินทรีย์มีลักษณะที่แตกต่างจากห่วงโซ่อุปทานข้าวทั่วไปคือ มีขั้นตอนที่สั้นกว่าโดยผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในโซ่อุปทานได้พบกันหมดตลอดห่วงโซ่อุปทานต้นทุนโลจิสติกส์ของเกษตร ระบบการจัดการตลาด 3 รูปแบบ คือ 1) การจัดการตลาดภายใต้สัญญาและการรวบรวมข้าวจากเกษตรกรและจำหน่ายต่อให้บริษัทผู้ส่งออก 2) การจัดการตลาดภายใต้สัญญาและการรวบรวมข้าวจากเกษตรกรเพื่อสีแปรรูปส่งออกต่างประเทศโดยตรงภายใต้นโยบาย Fair Trade 3) การจัดการตลาดโดยการรวบรวมซื้อข้าวและผลผลิตจากกลุ่มเกษตรกรตามโครงการนโยบายของรัฐ และสอดคล้องกับงานวิจัยของชนม์ณัฐชา กังวานศุภพันธ์ และเพ็ญนฤมล จะระ [5] ได้ศึกษาวิสาหกิจชุมชนข้าวหอมมะลิอินทรีย์ทุกกลุ่มมีรูปแบบการดำเนินกิจกรรมโลจิสติกส์คล้ายคลึงกันในกิจกรรมการจัดซื้อจัดหาปัจจัยการผลิต การดำเนินการผลิต การจัดการสินค้าคงคลัง บรรจุภัณฑ์ การเคลื่อนย้ายและขนส่ง การบริการลูกค้า การติดต่อสื่อสาร การพยากรณ์ความต้องการ และโลจิสติกส์ย้อนกลับ การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการจัดการโลจิสติกส์พบว่ากิจกรรมที่ต้องปรับปรุงด้านต้นทุน ได้แก่ การดำเนินการผลิต การจัดซื้อจัดหาปัจจัยการผลิตเมล็ดพันธุ์ การเคลื่อนย้ายและขนส่งมี และการบรรจุภัณฑ์ กิจกรรมโลจิสติกส์ที่ต้องปรับปรุงคุณภาพในการดำเนินงานได้แก่ การจัดหาปัจจัยการผลิต เมล็ดพันธุ์ที่มีคุณภาพ การขาดสถานที่เหมาะสมและเพียงพอในการตากและจัดเก็บผลผลิต และการรับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ และกิจกรรมโลจิสติกส์ที่ต้องปรับปรุงการดำเนินงานให้ทันเวลา ได้แก่ การจัดหาปัจจัยการผลิตเมล็ดพันธุ์ให้ทันความต้องการผลิตในฤดูแล้งหรือกรณีเมล็ดพันธุ์มีปัญหาคุณภาพ และการวางแผนการผลิตให้ดำเนินงานได้ทันเวลากรณีมีการเพาะปลูกหลายพื้นที่และปลูกข้าวหลายสายพันธุ์ และสอดคล้องกับงานวิจัยของทำนอง ชิดชอบ, นันทา สมเป็น, สุนิสา เยาวสกุลมาศ และประทีป ดวงแว่ว [6] ได้ศึกษาระบบโลจิสติกส์และโซ่อุปทานข้าวหอมมะลิอินทรีย์จากต้นน้ำสู่ปลายน้ำ ศึกษาต้นทุนการตลาดและส่วนเหลื่อมการตลาดข้าวหอมมะลิอินทรีย์ พัฒนาแบบจาลองโซ่อุปทานอ้างอิงข้าวหอมมะลิอินทรีย์ ผลการวิเคราะห์ พบว่า ห่วงโซ่อุปทานของข้าวหอมมะลิอินทรีย์ มีลักษณะขั้นตอนที่สั้นกว่าห่วงโซ่อุปทานข้าวทั่วไป ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในโซ่อุปทาน คือ เกษตรกรจะให้ความสำคัญกับการปลูกข้าวหอมมะลิอินทรีย์โดยเฉพาะเรื่องการปรับปรุงดิน เกษตรกรมีต้นทุนโลจิสติกส์รวม 2.31 บาท/กิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 43.42 ของต้นทุนการผลิต โรงสี มีต้นทุนโลจิสติกส์ 3.55 บาท/กิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 16.06 ของต้นทุนการผลิตทั้งหมด ในระดับโรงสีผู้ประกอบการ บรรจุถุงมีต้นทุนการตลาดมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 51.04 เกษตรกรได้กาไรต่อหน่วยมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 64.88 และสอดคล้องกับงานวิจัยของโชติรส นพพลกรัง, ทิพย์สุดา กุมผัน, ณัฐกร โต๊ะสิงห์, รุ่งรดิศ สมทอง, ศิริพงษ์ หอมแขก, กริชนันท์เจริญพันธ์ และ อนงค์นารถ ชัยทอง [7] ได้ศึกษาศึกษาปัญหาการจัดการห่วงโซ่อุปทาน ข้าวหอมมะลิ GAP ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนข้าวหอมมะลิ 105 บ้านยางตำบลน้ำคำ อำเภอเมือง จังหวัดศรีสะเกษ และเสนอแนะแนวทางในการจัดการห่วงโซ่อุปทาน ข้าวหอมมะลิ GAP ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนข้าวหอมมะลิ 105 บ้านยาง ตำบลน้ำคำ อำเภอเมือง จังหวัดศรีสะเกษ เก็บข้อมูลโดยเลือกกลุ่มตัวอย่างจากสมาชิกวิสาหกิจชุมชนข้าวหอมมะลิ 105 บ้านยาง โรงสี ผู้ส่งออก และผู้บริโภคที่ซื้อข้าวจากโรงสี ด้วยวิธีเฉพาะเจาะจงด้วยการสัมภาษณ์เชิงลึก พบว่าองค์ประกอบของกระบวนการในโซ่อุปทาน ประกอบไปด้วยกระบวนการวางแผน การจัดหา การผลิต การส่งมอบ และการสนับสนุน ซึ่งกระบวนการที่ควรปรับปรุงเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในโซ่อุปทาน ได้แก่ กระบวนการวางแผน กระบวนการจัดหา กระบวนการผลิต และกระบวนการสนับสนุน

6.2 ข้อเสนอแนะการวิจัย

6.2.1 การใช้เมล็ดพันธุ์ข้าว เกษตรกรส่วนใหญ่มักใช้เมล็ดพันธุ์ข้าวของตนเองในการทำนาในครั้งต่อ ๆ ไปซึ่งส่งผลให้เมล็ด

พันธุ์ข้าวส่วนใหญ่มักไม่ได้มาตรฐาน จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องนำกลุ่มเกษตรกรเหล่านี้เข้าสู่ระบบการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ถูกต้องและได้มาตรฐานตามเกณฑ์กำหนดเพื่อเพิ่มราคาข้าวให้สูงมากขึ้น โดยการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวจากเกษตรกร เป็นรูปแบบการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวที่มีการพัฒนาโดยเกษตรกรให้เหมาะสมในแต่ละพื้นที่

6.2.2 ด้านการตลาด เกษตรกรควรปรับปรุงผลผลิตของตัวเองให้ดียิ่งขึ้น เพื่อลดปัญหาการตัดราคาจากพ่อค้าคนกลาง โดยเกษตรกรอาจจะตากข้าวให้แห้งก่อนจะนำไปจำหน่าย หรือการเพิ่มช่องทางการขายให้ตัวเองที่นอกจากการขายให้โรงสีแล้ว เกษตรกรจัดตั้งกลุ่มสีข้าว ทำแพ็คเก็จให้สวยงามน่าสนใจ ทำเป็นสินค้าของกลุ่มเกษตรกรเอง แล้วนำไปจำหน่ายยังสถานที่ท่องเที่ยว เป็นการเพิ่มช่องทางการจำหน่าย เพิ่มมูลค่าให้กับข้าว และเพิ่มรายได้ให้เกษตรกรอีกด้วย

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ และขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ที่สนับสนุนงบประมาณการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมทรัพย์สินทางปัญญากระทรวงพาณิชย์. (2563). “*ข้าวหอมมะลิจากดินภูเขาไฟ.*”(ออนไลน์). สืบค้นเมื่อ 26 ธันวาคม 2563, จาก https://www.ipthailand.go.th/images/3534/2563/GI/GIAN156.pdf.

[2] Taro Yamane. (1970). *Statistic : an Introductory Analysis.* 2nd ed. New York : Harper & Row.

[3] พีรศักดิ์ ศักดิ์หงส์ และวิชญุตร์ งามสะอาด. “การพัฒนาการบริหารห่วงโซ่อุปทานผลผลิตทุเรียนและการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการคัดแยกทุเรียนด้วยหลักการ SCOR Model.” *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยเซาธ์อีสท์บางกอก,* ปีที่ 1, ฉบับที่ 2, หน้า 25 – 38, พฤษภาคม-สิงหาคม 2564.

[4] ทำนอง ชิดชอบ, กิตติศักดิ์ ร่วมพัฒนา และประทีป ดวงแว่ว. “การศึกษาระบบโลจิสติกส์และโซ่อุปทานข้าวหอมมะลิอินทรีย์ของสหกรณ์การเกษตรในหกจังหวัดภาคตะวันออกเฉียงเหนือ.” *การประชุมวิชาการ สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติ ครั้งที่ 14 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 6 ประจำปี 2556 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.* (น. 198-205). กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[5] ชนม์ณัฐชา กังวานศุภพันธ์ และเพ็ญนฤมล จะระ. “การจัดการระบบโลจิสติกส์ของวิสาหกิจชุมชน: กรณีศึกษาวิสาหกิจชุมชนข้าวหอมมะลิอินทรีย์ จังหวัดสุรินทร์,” *วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์* มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, ปีที่ 38, ฉบับที่ 2, หน้า 22 – 34, มีนาคม-เมษายน 2562.

[6] ทำนอง ชิดชอบ, นันทา สมเป็น, สุนิสา เยาวสกุลมาศ และประทีป ดวงแว่ว. “การพัฒนาแบบจำลองโซ่อุปทานของข้าวหอมมะลิอินทรีย์ในประเทศไทย.” คณะเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์, *วารสารแก่นเกษตร มหาวิทยาลัยขอนแก่น,* ปีที่ 42, ฉบับพิเศษ, หน้า 243 – 249, 2557.

[7] โชติรส นพพลกรัง, ทิพย์สุดา กุมผัน, ณัฐกร โต๊ะสิงห์, รุ่งรดิศ สมทอง, ศิริพงษ์ หอมแขก, กริชนันท์เจริญพันธ์ และ อนงค์นารถ ชัยทอง. “การศึกษาการจัดการโซ่อุปทานกลุ่มวิสาหกิจชุมชนข้าวหอมมะลิ 105 บ้านยาง โดยใช้ตัวแบบจำลองอ้างอิงการดำเนินงานโซ่อุปทาน.” *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ,* ปีที่ 3, ฉบับที่ 1, หน้า 22 – 32, มกราคม-มิถุนายน 2566.



ประวัติผู้เขียนบทความ

ชื่อ-นามสกุล : นายอุดมพงษ์ เกศศรีพงษ์ศา

ตำแหน่งปัจจุบัน : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.

สังกัด : สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

ประวัติการศึกษา : ปริญญาเอก : ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (ปร.ด.) สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ผลงานวิจัย :

1. รูปแบบเตาเผาถ่านประสิทธิภาพสูงที่เหมาะสมของชุมชนรอบป่าบนฐานทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ตำบลโคกกลาง อำเภอลำปลายมาศ จังหวัดบุรีรัมย์ (2559)
2. รูปแบบการบริหารจัดการแหล่งน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคอย่างมีส่วนร่วมของชุมชนบ้านเมืองแก ตำบลเมืองแก อำเภอสตึก จังหวัดบุรีรัมย์ (2563)
3. การประยุกต์ใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่ทางคุณภาพเพื่อพัฒนาเครื่องสับสมุนไพร สำหรับวิสาหกิจชุมชนในจังหวัดสุรินทร์ (2564)
4. การพัฒนาศักยภาพประกอบการโดยใช้หลักการ ECRS เพื่อลดต้นทุนการผลิตของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปกล้วยบ้านดอนสมบูรณ์ ตำบลดงอีจาน อำเภอโนนสุวรรณจังหวัดบุรีรัมย์ (2565)
5. การพัฒนาเครื่องปอกเปลือกหน่อไม้แบบกึ่งอัตโนมัติ (2565)
6. การเพิ่มประสิทธิภาพการนำน้ำมาใช้ของเครื่องกระจายน้ำประหยัดพลังงานโดยใช้จักรยาน (2565)
7. Modified Differential Evolution Algorithm for Solving Economic Crop Planning in the Northeastern Region of Thailand (2019)

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

การออกแบบบรรจุภัณฑ์พลาสติกโดยประยุกต์ใช้แนวทางอุตสาหกรรมสีเขียว กรณีศึกษา: ขวดบรรจุภัณฑ์พลาสติก 3,000 มิลลิลิตร

PLASTIC PACKAGING DESIGN USING GREEN INDUSTRY CONCEPT CASE STUDY: PLASTIC BOTTLE 3,000 MILLILITER

เศรษฐการ สุริโย[1*] และ ประจวบ กล่อมจิตร[1]

[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร 73000

E-mail: Suriyo_s@silpakorn.edu*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้แนวทางอุตสาหกรรมสีเขียว ในการการออกแบบบรรจุภัณฑ์ มุ่งเน้นการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เป็นกรณีศึกษาสำหรับการออกแบบขวดบรรจุภัณฑ์พลาสติก ขนาด 3,000 มิลลิลิตร นำหลักการวงจรบริหารงานคุณภาพมาประยุกต์ใช้ในการวางแผนปรับปรุงคุณภาพของบรรจุภัณฑ์ และใช้แผนภูมิภาพพาเรโตมาวิเคราะห์หาปัญหาหลัก โดยเก็บรวบรวมข้อมูล พบว่าปัญหาหลักในการออกแบบบรรจุภัณฑ์พลาสติกที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม คือปัญหาผู้บริโภคไม่ทราบชนิดของบรรจุภัณฑ์ทำให้ไม่ถูกรีไซเคิล และปัญหาน้ำหนักส่วนเกินของบรรจุภัณฑ์ จึงได้ทำการแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยทำการเพิ่มจุดติดตั้งสัญลักษณ์รีไซเคิลเพื่อให้ผู้บริโภคสามารถสังเกตเห็นได้ง่ายขึ้น และออกแบบขวดให้มีน้ำหนักลดลง ผลการวิจัยพบว่า ผู้บริโภคมีความคิดเห็นเกี่ยวกับการเพิ่มจุดติดตั้งสัญลักษณ์รีไซเคิล ว่าการติดตั้งสัญลักษณ์รีไซเคิลบริเวณด้านหลังขวดสามารถช่วยให้สังเหตุเห็นได้ง่ายขึ้น และผลของการลดน้ำหนักสามารถช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ร้อยละ 11.4

คำสำคัญ : การออกแบบบรรจุภัณฑ์, อุตสาหกรรมสีเขียว

Abstract

The purpose of this research is to apply the green industry approach. In the design of plastic packaging to focus on reducing the impact on the environment. It is a case study for the design of a 3,000 ml. plastic bottle container, applying the principles of quality management cycle to planning to improve the quality of the packaging. And using the Pareto chart to analyze the main problems. The researcher has collected data and found that the main problems in the design of plastic packaging that affect the environment. The problem is that consumers do not know the type of packaging. And the problem of excess weight of the packaging. The problem has been solved by designing a recycle symbol installation point, that consumers can be noticed more easily. And designing packaging bottles to reduce weight. The results showed that consumers have commented on adding a recycle symbol installation point, that adding a recycling symbol on the back of the bottle can make it easier. The effect of reducing the weight can help reduce impact on the environment 11.4%.

Keywords: Packaging Design, Green Industry

1. บทนำ

สภาวะด้านสิ่งแวดล้อมเป็นปัญหาที่สำคัญของประเทศไทยและทั่วโลก ต้นเหตุของปัญหาส่วนหนึ่ง เกิดจากการเติบโตทางเศรษฐกิจและภาคอุตสาหกรรม ปัญหาดังกล่าวเกิดจากภาคอุตสาหกรรมมุ่งเน้นพัฒนาเฉพาะการลดต้นทุนเพื่อสร้างผลกำไรสูงสุด และส่งผลให้ต้องลดต้นทุนและประสิทธิภาพการดำเนินงานด้านการรักษาสิ่งแวดล้อม โดยทุกกิจกรรมที่อยู่ในห่วงโซ่อุปทานตั้งแต่ กระบวนการจัดหาวัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง การบริโภค และการจัดการของเสีย ย่อมส่งผลให้เกิดมลภาวะด้านสิ่งแวดล้อม

ในปัจจุบันมีการใช้งานบรรจุภัณฑ์พลาสติกอย่างแพร่หลาย เมื่อมีการใช้พลาสติกจำนวนมาก จึงส่งผลทำให้เกิดขยะพลาสติกที่ใช้แล้วทิ้งเป็นจำนวนมากเช่นกัน ปัญหาขยะพลาสติกจึงนับว่าเป็นปัญหาที่สำคัญ จากข้อมูลการสำรวจของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ปี 2559 [3] บันทึกไว้ว่าประเทศไทยมีปริมาณขยะเพิ่มสูงขึ้นต่อเนื่องขึ้นทุกปี และจากรายงานสถานการณ์ขยะมูลฝอยชุมชนของประเทศไทย ขององค์กรปกครองท้องถิ่น 7,777 แห่ง พบว่าพบว่ามีเพียง 328 แห่งหรือคิดเป็นร้อยละ 4.2 ของสถานที่กำจัดทั้งหมดเท่านั้นที่ สามารถนำขยะไปใช้ประโยชน์และกำจัดได้อย่างถูกต้อง ปริมาณขยะที่ถูกกำจัดอย่างถูกต้องจากสถานที่เหล่านี้คิดเป็นร้อยละ 26.34 ของปริมาณขยะ และขยะที่เหลือกว่าร้อยละ 73.26 นั้นถูกกำจัดด้วยวิธีที่ไม่ถูกต้อง โดยอุปสรรคของการกำจัดขยะให้ถูกวิธีเช่น งบประมาณในการทำสถานที่กำจัดขยะแบบถูกต้องมีค่าใช้จ่ายสูง มีขั้นตอนเกี่ยวข้อง กับหลายฝ่าย ทั้งด้านมาตรฐานการกำจัด และการขออนุญาตให้ถูกต้อง การหาพื้นที่ที่เหมาะสม การเตรียมพื้นที่ การดูแลผลกระทบที่เกิดขึ้นจากขยะและชุมชนใกล้เคียง จุดคุ้มทุนของการลงทุนระบบ ไม่มีจำนวนขยะดีและผ่านการคัดแยกเพียงพอเอามาเปลี่ยนเป็นพลังงาน หรือการนำกลับมารีไซเคิลเป็นต้น

จากปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมดังกล่าวส่งผลให้ภาคอุตสาหกรรมหันมาตระหนักถึงความสำคัญของ การดำเนินงานขององค์กรที่มุ่งเน้นด้านการรักษาสิ่งแวดล้อมมากขึ้น เนื่องจากเป็นสาเหตุหลักของการ เกิด

ปัญหาสิ่งแวดล้อม แนวความคิดเกี่ยวกับการพัฒนาขององค์กรอย่างยั่งยืน จึงถูกกล่าวถึงและนำมาใช้มากขึ้นในปัจจุบัน

บริษัทกรณีศึกษา เป็นบริษัทที่ประกอบกิจการด้านการผลิตสินค้าอุปโภคขนาดใหญ่ ซึ่งผลิตภัณฑ์ของบริษัทจำเป็นจะต้องมีการใช้บรรจุภัณฑ์เพื่อบรรจุสินค้าเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะบรรจุภัณฑ์พลาสติก ซึ่งมีการก่อมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมโดยตรง ตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบ การผลิต ไปจนถึงผู้บริโภค โดยแต่ละปีบริษัทมีการใช้บรรจุภัณฑ์ ซึ่งจะส่งผลกระทบโดยตรงต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก จึงได้มีเป้าหมายพัฒนาบรรจุภัณฑ์ของบริษัท ให้สามารถลดผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมได้ อีกทั้งยังต้องสามารถตอบสนองต่อความต้องการของบริษัทและกลุ่มลูกค้าตามเป้าหมายด้านอื่นๆ ที่กำหนดไว้ด้วย

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 โครงการอุตสาหกรรมสีเขียว [4]

โครงการอุตสาหกรรมสีเขียวในประเทศไทยถูกส่งเสริมและพัฒนาโดย กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม โดยมีเป้าหมายเพื่อส่งเสริมและพัฒนาสถานประกอบการให้เป็นอุตสาหกรรมสีเขียว โดยการเผยแพร่องค์ความรู้ แนวคิดเพื่อให้โรงงานอุตสาหกรรมสามารถพัฒนาไปสู่การเป็นอุตสาหกรรมสีเขียว โดยการพัฒนาอย่างต่อเนื่องสู่การเป็นอุตสาหกรรมสีเขียวมี 5 ระดับ ได้แก่ระดับที่ 1 ความมุ่งมั่นสีเขียว คือ การแสดงความมุ่งมั่นในรูปแบบ ของนโยบายเป้าหมายและแผนงานที่จะลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ระดับที่ 2 ปฏิบัติการสีเขียว คือการดำเนินกิจกรรมตามนโยบาย เป้าหมายและแผนงานที่กาหนดเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างเป็นรูปธรรม ระดับที่ 3 ระบบสีเขียว คือการบริหารจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างเป็นระบบ มีการติดตามประเมินผลและทบทวนเพื่อการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ระดับที่ 4 วัฒนธรรมสีเขียว คือการที่ทุกคนในองค์กรมีจิตสำนึกร่วมกัน ในการรักษาไว้ซึ่งสิ่งแวดล้อมที่ดี และทุกด้านของการประกอบกิจการให้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เป็นส่วนหนึ่งของวัฒนธรรมองค์กร ระดับที่ 5 เครือข่ายสีเขียว คือการขยายขอบเขตของการเป็นอุตสาหกรรมสีเขียวจากภายในองค์กรสู่ภายนอกตลอดโซ่อุปทาน โดยสนับสนุนให้คู่ค้าและพันธมิตรพัฒนาเข้าสู่อุตสาหกรรมสีเขียว.

2.2 การจัดการห่วงโซ่อุปทานสีเขียว [5]

แนวคิดการจัดการห่วงโซ่อุปทานสีเขียว เป็นการบริหารจัดการห่วงโซ่อุปทานที่คำนึงถึงสิ่งแวดล้อม ครอบคลุมวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่เป็นวัตถุดิบ จนส่งถึงผู้บริโภค ประกอบด้วยปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมห่วงโซ่อุปทานสิ่งแวดล้อม ประกอบด้วย 1.การจัดซื้อสีเขียว คือการจัดซื้อที่มุ่งเน้นด้านการรักษาสิ่งแวดล้อม โดยทุกกิจกรรมของห่วงโซ่การจัดซื้อคำนึงถึงความเหมาะสมทางด้านคุณภาพ ราคา และการส่งมอบสินค้าตามที่กำหนด และเกิดการลดการใช้ทรัพยากรให้มากที่สุด มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด 2.การออกแบบสีเขียว คือการออกแบบผลิตภัณฑ์หรือบริการที่สนับสนุน ให้เกิดการตระหนักถึงสิ่งแวดล้อม โดยเป็นการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่มีการพิจารณาถึงสิ่งแวดล้อม ใช้ ปัจจัยการผลิตที่มีให้ผลกระทบสิ่งแวดล้อมให้น้อย เพื่อเข้าสู่การลดต้นทุนด้านวัตถุดิบ เพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ลดค่าใช้จ่ายด้านสิ่งแวดล้อม เป็นต้น 3.การผลิตสีเขียว คือกระบวนการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ด้วยการใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม โดยมีการลดลงของสารที่ก่อให้เกิดมลพิษและการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ แนวคิดที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมที่มีการผลิตสีเขียว ได้แก่ ระบบการผลิตแบบลีนและระบบการจัดการคุณภาพด้านสิ่งแวดล้อม เป็นต้น 4.การดำเนินงานสีเขียว คือการดำเนินการที่อยู่บนพื้นฐานของนวัตกรรมเพื่อมุ่งความเป็นมิตรกับ สิ่งแวดล้อม เน้นการดำเนินงานด้านการจัดการจำเป็นต้องอาศัยการร่วมมือกันภายใต้นโยบายที่อยู่บนพื้นฐานการพัฒนาด้านระบบนิเวศภายในองค์กร 5.โลจิสติกส์ย้อนกลับ เป็นกระบวนการนำผลิตภัณฑ์กลับคืนมาจากผู้บริโภค เพื่อการนำไปกำจัดอย่างเหมาะสม .

2.3 หลักการ 3R's [6]

เมื่อกล่าวถึงหลักการ 3R's สามารถอธิบาย สรุปโดยย่อได้ดังนี้ 1. Reduce หมายถึง การลดการใช้ซึ่งไม่ได้ห้ามใช้แต่ให้ใช้สินค้าหรือผลิตภัณฑ์ต่างๆ ตามความจำเป็น หลีกเลี่ยงลดการใช้อย่างฟุ่มเฟือย เลือกใช้สินค้าที่มีอายุการใช้งานยาวนาน 2. Reuse หมายถึง การใช้ซ้ำเป็นหนึ่งแนวคิดในการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าโดยการนำสินค้าผลิตภัณฑ์ที่เราได้ใช้งานไปแล้วและยังสามารถใช้งานได้กลับมาใช้ใหม่ 3. Recycle หมายถึง การนำไปแปรรูปใหม่ โดยใช้สินค้าหรือผลิตภัณฑ์ที่ใช้งานอย่างคุ้มค่าจนไม่สามารถใช้งานได้แล้ว และไม่สามารถนำมาใช้ ซ้ำได้อีกนำไปแปรรูปเพื่อนำกลับไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆอีกครั้ง

2.4 การออกแบบบรรจุภัณฑ์แบบยั่งยืน [7],[8]

คือการออกแบบบรรจุภัณฑ์โดยมองถึงผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมโดยรวม เพิ่มไปจากเดิมที่ออกแบบเพื่อบรรจุสินค้า หรือความสวยงาม โดยเพิ่มฟังกชันการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น การลดการใช้วัสดุ การเลือกใช้วัสดุให้เหมาะสม การคำนึงถึงการนำกลับมาใช้ใหม่ มีประสิทธิภาพที่ดีและปลอดภัยต่อผู้บริโภค การทำให้บรรจุภัณฑ์แบบยั่งยืนนั้นต้องอาศัยความร่วมมือตั้งแต่ต้นน้ำถึงปลายน้ำ ตั้งแต่ผู้ออกแบบ ผู้ผลิต ผู้บริโภค ร่วมกันสนับสนุน แนวทางในการร่วมมือระหว่างผู้ออกแบบและผู้ผลิต แบ่งออกเป็น 10 ข้อ [9] ดังนี้ 1.การออกแบบเพื่อลดส่วนที่เกินความจำเป็นในการบรรจุภัณฑ์ 2.การออกแบบเพื่อให้บรรจุภัณฑ์มีน้ำหนักเบา ใช้วัสดุน้อย 3.การออกแบบเพื่อสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำ 4.การออกแบบเพื่อให้สามารถนำกลับมาผลิตใหม่ 5.การออกแบบเพื่อให้นำกลับมารีไซเคิล 6.การออกแบบเพื่อให้สามารถกำจัดทิ้งได้โดยปลอดภัย 7.การออกแบบโดยไม่ใช้บรรจุภัณฑ์ 8.การออกแบบโดยให้สินค้ามีความเข้มข้นสูง 9.การออกแบบรวมกลุ่มสินค้าต่อหน่วยบรรจุภัณฑ์ 10.การออกแบบลดจำนวนสีที่ใช้หรือใช้สีธรรมชาติ

2.5 วงจรบริหารงานคุณภาพแบบ PDCA [10]

วงจรบริหารงานคุณภาพ หรือวงจรเดมิ่ง เป็นเครื่องในมือการจัดการคุณภาพชนิดหนึ่ง มีประโยชน์อย่างมากในการพัฒนาคุณภาพขององค์กรให้เป็นองค์กรที่มีคุณภาพ โดยการจัดการด้านคุณภาพเป็นกระบวนการที่ต้องดำเนินการอย่างต่อเนื่องเพื่อให้เกิดผลผลิตและบริการที่มีคุณภาพขึ้น โดย ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ 1. การวางแผน 2. การปฏิบัติตามแผน 3. การตรวจสอบ และ 4. การปรับปรุงแก้ไข

2.6 แผนภาพพาเรโต [11]

เป็นเครื่องมือใช้แสดงสาเหตุของปัญหาที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดข้อบกพร่อง โดยแสดงสาเหตุหลักและสาเหตุรองลงมาตามลำดับ เพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจว่าควรปรับปรุงสาเหตุใดก่อน และใช้ตรวจสอบผลที่เกิดขึ้นหลังจากการแก้ไขปรับปรุง แผนภาพพาเรโตมีลักษณะคล้ายกับฮิสโตแกรม คือเป็นกราฟแท่งรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีความกว้างเท่ากัน และในแต่ละแท่งจะเรียงชิดติดกัน แผนภาพพาเรโตจะประกอบด้วยแกนตั้ง 2 แกนและแกนนอน 1 แกน คือ แกนตั้งด้านซ้ายเป็นจำนวนของการเกิดสาเหตุข้อบกพร่อง แกนตั้งด้านขวา เป็นร้อยละสะสมของการเกิดสาเหตุข้อบกพร่อง ส่วนแกนนอนเป็นสาเหตุของการเกิดข้อบกพร่องโดยจะเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นพรุจ ธรรมจิโรจ (2555) [12] ได้ทำการปรับปรุงการบริหารจัดการห่วงโซ่อุปทานของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์เม็ดพลาสติกโดยการวิจัยประกอบด้วยขั้นตอน การออกแบบสีเขียว การจัดหาสีเขียว การผลิตสีเขียว โลจิสติกส์สีเขียว โดยการดำเนินการ 6 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนเริ่มต้น, ขั้นตอนวางแผน, ขั้นตอนสร้าง ประเมินลำดับทางเลือกสีเขียว, ขั้นตอนดำเนินการทางเลือกสีเขียว, ขั้นตอนติดตามและทบทวน, และขั้นตอนความยั่งยืนสีเขียว เพื่อลดปัญหาความสูญเสียทางเศรษฐศาสตร์ ความสูญเสียด้านพลังงาน การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และผลกระทบต่อสังคม ผลการการศึกษาโดยใช้หลักการการสำรวจความสูญเสีย และการปรับปรุงโดยใช้หลัก 3R ผ่านการบริหารจัดการด้าน การออกแบบสีเขียว,โลจิสติกส์สีเขียว, ผลิตภัณฑ์สีเขียว ซึ่งการดำเนินการทั้งภายในองค์กรและดำเนินการร่วมกับผู้ส่งมอบและลูกค้า ผลการดำเนินการทั้งหมด สามารถสรุปผลการลดลงของการใช้พลังงาน การใช้วัสดุและการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ ผลที่ได้จากงานวิจัยสามารถลดความสูญเสียทางเศรษฐศาสตร์คิดเป็นมูลค่า 46,923,543 บาท/ปี ลดความสูญเสียพลังงานไฟฟ้า 76 เมกะวัตต์-ชั่วโมง/ปี ลดการสูญเสียพลังงานก๊าซธรรมชาติสำหรับยานยนต์ 1,123,200 กก./ปี ลดการสูญเสียพลังงานสำหรับรถโฟล์คลิฟท 33,814 กก./ปี ลดการสูญเสียพลังงานเชื้อเพลิงดีเซลสำหรับยานยนต์ 1,156,272 ลิตร/ปี ลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 5,888 ตัน/ปี และไม่เกิดข้อร้องเรียนจากสังคมโดยรวม

สวนีย์ ตั้งบัณฑิต (2563) [13] ได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตอาหารสัตว์แปรรูปเกี่ยวกับการ สูญเสียผลิตภัณฑ์ 3 แบบ ได้แก่ ถุงกระป๋อง และถ้วยพลาสติก โดยใช้แผนผังก้างปลา มาวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา และนำข้อมูลมาวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบด้วยการใช้วงจรการควบคุมคุณภาพ โดยการใช้วิธีการที่เหมาะสมกับแต่ละสาเหตุที่ทำการวิเคราะห์ แล้วทำการติดตามผลด้วยการเก็บข้อมูลปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นอีกครั้ง เพื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นก่อนปรับปรุง พบว่าสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพให้ดีขึ้นได้

จุฑารัตน์ชุนหะศรี (2556) [14] ได้ศึกษาพฤติกรรมการลดคาร์บอนฟุตปริ้นท์ กรณีศึกษาบุคลากรที่ปฏิบัติงานในเทศบาลตำบลเมืองแกลง จังหวัดระยอง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการลดคาร์บอนฟุตปริ้นท์ และปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการลดคาร์บอนฟุตปริ้นท์ ซึ่งผลการศึกษาพบว่า บุคลากรที่ปฏิบัติงานในเทศบาลมีพฤติกรรมการลดคาร์บอนฟุตปริ้นท์ในระดับปานกลาง โดยปัจจัยด้านทัศนคติเกี่ยวกับการลดคาร์บอนฟุตปริ้นท์ส่งผลต่อพฤติกรรมการลดคาร์บอนฟุตปริ้นท์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.001 ปัญหาและอุปสรรคที่พบจากการศึกษา คือบุคลากรที่ปฏิบัติงานในเทศบาลขาดการรับรู้ข่าวสารเกี่ยวกับการลดปล่อยคาร์บอนฟุตปริ้นท์ เนื่องจากความไม่แพร่หลายของวิธีในการประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์ รวมทั้งขาดการนำความรู้ไปปรับใช้ทำให้มี ข้อเสนอแนะที่ได้จากการ วิจัยในครั้งนี้ คือการสร้างความเข้าใจเรื่องคาร์บอนฟุตปริ้นท์เพิ่มเติมโดยการเผยแพร่ความรู้ และเทศบาลควรเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ที่ช่วยลดการปล่อยคาร์บอนฟุตปริ้นท์เพื่อให้เป็นตัวอย่าง รวมทั้งขยายเส้นทางและเวลาของรถขนส่งสาธารณะของเทศบาลให้ครอบคลุมการเดินทางมาทำงานของบุคลากร และควรจัดให้มีการรณรงค์ลดการใช้ถุงพลาสติก เปลี่ยนวิธีการกำจัดขยะเป็นการทำปุ๋ยหมัก เพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและลดมลพิษทางอากาศที่จะเกิดขึ้น

3. วิธีการดำเนินงาน

งานวิจัยทำการศึกษาผลของการออกแบบบรรจุภัณฑ์พลาสติกโดยประยุกต์ใช้แนวคิดอุตสาหกรรมสีเขียว เน้นการลดผลกระทบของบรรจุภัณฑ์ที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมและเสนอแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพของบรรจุภัณฑ์ โดยนำหลักการวงจรบริหารงานคุณภาพ PDCA มาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของบรรจุภัณฑ์ สามารถสรุปขั้นตอนการดำเนินงานได้ 5 ขั้นตอน ได้แก่

3.1 ศึกษากระบวนการดำเนินงานของบริษัทกรณีศึกษา

งานวิจัยได้ทำการสำรวจหน้าที่ และความรับผิดชอบของกระบวนการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ของบริษัทกรณีศึกษา สามารถจำแนกกระบวนการทำงานออกเป็น 2 กระบวนการหลัก ได้แก่ 1. กระบวนการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ มีหน้าที่ในการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ตั้งแต่กระบวนการสำรวจแนวโน้มตลาด การวิจัย การออกแบบ การกำหนดมาตรฐานของบรรจุภัณฑ์ โดยประกอบไปด้วย 4 หน่วยงานย่อย ได้แก่ งานสำรวจและวิจัยนวัตกรรม, งานด้านความยั่งยืนและสิ่งแวดล้อม, งานออกแบบ และงานกำหนดมาตรฐานของบรรจุภัณฑ์ 2. กระบวนการบริหารคุณภาพบรรจุภัณฑ์ มีหน้าที่บริหารงานด้านคุณภาพของบรรจุภัณฑ์ เช่นการตรวจสอบคุณภาพ งานเอกสาร งานแก้ปัญหาเชิงเทคนิคของเครื่องจักรและบรรจุภัณฑ์ โดยประกอบไปด้วย 3 หน่วยงานย่อย ได้แก่ งานควบคุมเอกสาร, งานบริการควบคุมคุณภาพและงานด้านเทคนิคของบรรจุภัณฑ์ หลังจากนั้นนำมาแบ่งขั้นตอนการจัดการตามแนวคิดการจัดการห่วงโซ่อุปทานสีเขียว ซึ่งแบ่งขั้นตอนการจัดการออกเป็น 5 ด้าน ได้แก่ 1.การจัดซื้อสีเขียว 2.การออกแบบสีเขียว 3.การผลิตสีเขียว 4.การดำเนินงานสีเขียว 5.โลจิสติกส์ย้อนกลับ เพื่อวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากกระบวนการดำเนินงาน ผลการจัดแบ่งขั้นตอน พบว่าขั้นตอนการดำเนินงานที่โรงงานกรณีศึกษาสามารถปรับปรุงการดำเนินงานที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ขั้นตอน

การออกแบบบรรจุภัณฑ์ เช่นรูปแบบลักษณะทางกายภาพของบรรจุภัณฑ์, การเลือกใช้วัสดุของบรรจุภัณฑ์, การกำหนดมาตรฐานของบรรจุภัณฑ์ เป็นต้น ซึ่งสอดคล้องกับขั้นตอนการออกแบบสีเขียวตามแนวคิดการจัดการห่วงโซ่อุปทานสีเขียว

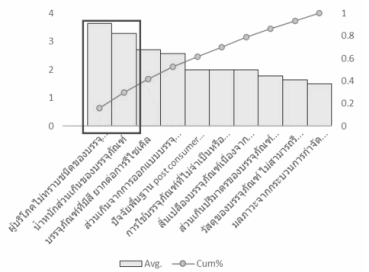
3.2 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น

จากการศึกษาและรวบรวมข้อมูลจากแนวคิดที่เกี่ยวข้อง เพื่อหาสาเหตุของปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมจากการออกแบบบรรจุภัณฑ์ โดยโดยประยุกต์สาเหตุจากแนวทางการออกแบบบรรจุภัณฑ์อย่างยั่งยืน [9] สรุปได้ 10 ข้อ ได้แก่ 1.ชิ้นส่วนเกินจากการออกแบบบรรจุภัณฑ์ 2. น้ำหนักส่วนเกินของบรรจุภัณฑ์ 3.วัสดุของบรรจุภัณฑ์ไม่สามารถรีไซเคิลได้ 4.ปัจจัยพื้นฐาน Post-consumer Recycled ไม่ดีพอ 5.ผู้บริโภคไม่ทราบชนิดของบรรจุภัณฑ์ทำให้ไม่ถูกรีไซเคิล 6.มลภาวะจากกระบวนการกำจัดบรรจุภัณฑ์ 7.การใช้บรรจุภัณฑ์ที่ไม่จำเป็นหรือเกินความจำเป็น 8.ส่วนเกินของปริมาตรบรรจุภัณฑ์มากกว่าสินค้า 9. สิ้นเปลืองบรรจุภัณฑ์เนื่องจากสินค้าขนาดเล็ก 10. บรรจุภัณฑ์มีสียากต่อการรีไซเคิล

3.3 เลือกปัญหาและชนิดของบรรจุภัณฑ์ที่ต้องการปรับปรุง

3.3.1 เลือกปัญหาที่ต้องการปรับปรุง

งานวิจัยเลือกปัญหาที่ต้องการปรับปรุง จากการสร้างแบบสอบถาม ที่ได้มาจากการศึกษาปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมจากการออกแบบบรรจุภัณฑ์ที่เกิดขึ้น ในข้อ 3.1 และใช้แบบสอบถามในการสำรวจความคิดเห็น จำนวน 10 ข้อ สำรวจพนักงานของบริษัทกรณีศึกษาระดับหัวหน้างาน จำนวน 14 ท่าน ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการออกแบบและตัดสินใจในการเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ของบริษัทกรณีศึกษา หลังจากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์โดยใช้แผนภาพพาเรโต ในการเลือกปัญหาที่ต้องการปรับปรุง ผลที่ได้จากการสำรวจแสดงดังภาพที่ 1 พบว่าปัญหาของการออกแบบบรรจุภัณฑ์ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดคือ 1.ผู้บริโภคไม่ทราบชนิดของบรรจุภัณฑ์ ทำให้บรรจุภัณฑ์ไม่ถูกส่งไปรีไซเคิล และ 2.น้ำหนักและขนาดส่วนเกินของบรรจุภัณฑ์ที่มีน้ำหนักมากเกินความจำเป็น จึงได้ทำการเลือกประเด็นปัญหาดังกล่าวมาทำการปรับปรุง



ภาพที่ 1 ปัญหาการออกแบบบรรจุภัณฑ์ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

3.3.2 เลือกชนิดของบรรจุภัณฑ์ที่ต้องการปรับปรุง

งานวิจัยได้วิเคราะห์และเลือกชนิดของบรรจุภัณฑ์ที่จะใช้เป็นกรณีศึกษา โดยรวบรวมข้อมูลการสั่งซื้อบรรจุภัณฑ์พลาสติกย้อนหลังของบริษัทกรณีศึกษา ในปี พศ. 2564 ที่ถูกนำเข้ามาบรรจุผลิตภัณฑ์ เพื่อค้นหาชนิดและประเภทของบรรจุภัณฑ์ ที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด ผลการสำรวจพบว่าในปี พ.ศ. 2564 ยอดจัดซื้อขวดบรรจุภัณฑ์พลาสติกของบริษัทกรณีศึกษา คำนวณจากน้ำหนักของขวดบรรจุภัณฑ์ รวมทุกประเภท 4,417.57 ตัน และชนิดของบรรจุภัณฑ์พลาสติกที่บริษัทกรณีศึกษาสั่งซื้อมากที่สุดคือ ขวดพลาสติก HDPE ขนาด 3,000 มิลลิลิตร คิดเป็นน้ำหนัก จำนวน 1,377.22 ตัน หรือคิดเป็นร้อยละ 31.2 จากยอดน้ำหนักการสั่งซื้อบรรจุภัณฑ์พลาสติกทั้งหมด จึงได้เลือกบรรจุภัณฑ์ชนิดดังกล่าวเป็นกรณีศึกษา

3.4 การออกแบบการทดลองเพื่อพัฒนาบรรจุภัณฑ์

ปัญหาผู้บริโภคไม่ทราบชนิดของบรรจุภัณฑ์ ทำให้ไม่ถูกส่งไปรีไซเคิล ผลการศึกษาพบว่าจุดติดตั้งสัญลักษณ์รีไซเคิลบนบรรจุภัณฑ์ก่อนการปรับปรุงจะติดตั้งเฉพาะบริเวณก้นขวด ซึ่งยากแก่การมองเห็นของผู้บริโภค งานวิจัยจึงได้ทำการประยุกต์แก้ปัญหาโดยการออกแบบกำหนดจุดสัญลักษณ์รีไซเคิลบนบรรจุภัณฑ์เพิ่มเติม บริเวณฉลากของบรรจุภัณฑ์ เพื่อให้ผู้บริโภคสามารถสังเกตุได้ง่ายขึ้น

ปัญหาน้ำหนักและขนาดส่วนเกินของบรรจุภัณฑ์ ที่มีน้ำหนักมากเกินความจำเป็น ผลการศึกษาพบว่าน้ำหนักขวดบรรจุภัณฑ์พลาสติก HDPE ขนาด 3,000 มิลลิลิตร (รูปแบบเดิม) มีน้ำหนัก 140 กรัมต่อหน่วย เนื่องจากการออกแบบเดิมมุ่งเน้นเฉพาะด้านความสวยงามเป็นหลัก จึงได้ทำการการออกแบบและพัฒนามาตรฐานของบรรจุภัณฑ์ (รูปแบบใหม่) ให้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น มีน้ำหนักลดลง เพื่อลดปริมาณพลาสติกที่ออกสู่สิ่งแวดล้อม และอยู่ภายใต้ข้อจำกัดในด้านกระบวนการผลิตของบริษัทกรณีศึกษาจะต้องไม่มีการเปลี่ยน หรือปรับการตั้งค่าการทำงานของเครื่องจักรใหม่ และบรรจุภัณฑ์รูปแบบใหม่ใหม่จะต้องมีประสิทธิภาพในการใช้งานไม่น้อยกว่าหรือเท่ากับบรรจุภัณฑ์รูปแบบเดิม

3.5 การวิเคราะห์ เปรียบเทียบและสรุปผล

3.5.1 การวัดผลการติดตั้งสัญลักษณ์รีไซเคิลเพิ่มเติมบนฉลากบรรจุภัณฑ์

งานวิจัยทำการวัดผลเพื่อเปรียบเทียบ ก่อน - หลัง การปรับปรุงบรรจุภัณฑ์ โดยใช้วิธีการสร้างแบบสอบถามเกี่ยวกับผลของการเพิ่มจุดติดตั้งสัญลักษณ์รีไซเคิลเพิ่มเติมบนฉลากบรรจุภัณฑ์ ว่าเป็นอย่างไร สามารถช่วยให้ผู้บริโภคสามารถสังเกตุและคัดแยกขยะก่อนทิ้งได้ดีขึ้นหรือไม่ โดยการนำข้อมูลที่ได้จากการสำรวจมาทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง ประชากรและกลุ่มตัวอย่างในการวิจัย สำรวจจากผู้บริโภคที่ซื้อสินค้าในกลุ่มอุปโภค ที่ร้านสะดวกซื้อแห่งหนึ่ง ในจังหวัดนครปฐม โดยใช้วิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบไม่อาศัยความน่าจะเป็น เลือกตัวอย่างแบบตามสะดวก และกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างแบบกรณีไม่ทราบจำนวนประชากรที่แน่ชัด โดยกำหนดระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 90 ค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 5 ได้จำนวนกลุ่มตัวอย่างเท่ากับ 280 คน แบบสอบถามแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม และส่วนที่ 2 แบบสอบถามเกี่ยวกับระดับความ

คิดเห็นของผู้บริโภค ในการติดสัญลักษณ์รีไซเคิลเพิ่มเติมบนฉลากของบรรจุภัณฑ์ จำนวน 5 ข้อ โดยแต่ละข้อคำถามมีเกณฑ์ในการตอบให้ความเห็นโดยมีเกณฑ์ในการกำหนดค่าน้ำหนักของการประเมิน 5 ระดับ เรียงจากมากไปหาน้อยตามมาตรวัดของลิเคิร์ท และได้ทำการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ โดยนำแบบสอบถามไปทดสอบใช้กับประชากรที่มีลักษณะคล้ายกันกับกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 20 คน เพื่อทดสอบคุณภาพของเครื่องมือก่อนนำไปใช้จริง โดยการหาค่าความเชื่อมั่นของแบบสอบถามด้วยวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์แอลฟ่าของครอนบาค จากผลการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์แอลฟ่าของครอนบาค ได้ค่าความเชื่อมั่นของแบบสอบถามโดยรวมเท่ากับ 0.89 ซึ่งแปรผลถึงค่าความน่าเชื่อถือของแบบสอบถามอยู่ในระดับ ดี จึงนำแบบสอบถามไปเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 280 คน

ผลการเก็บรวบรวมข้อมูลในการวิจัย เกี่ยวกับระดับความคิดเห็นของผู้บริโภค ในการติดสัญลักษณ์รีไซเคิลเพิ่มเติมบนฉลากของบรรจุภัณฑ์ โดยเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย ได้แก่ 1.ผู้บริโภคคิดว่าการติดสัญลักษณ์รีไซเคิลบนฉลากของบรรจุภัณฑ์ มองเห็นได้ง่ายกว่าบริเวณก้นขวด 2.ผู้บริโภคมีความพึงพอใจต่อการติดสัญลักษณ์รีไซเคิลเพิ่มเติมบนฉลากของบรรจุภัณฑ์ 3.ผู้บริโภคมีความคิดเห็นว่าการติดสัญลักษณ์รีไซเคิลเพิ่มเติมบนฉลากของบรรจุภัณฑ์ 4.ผู้บริโภคคิดว่าการรีไซเคิลสามารถช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ 5.ผู้บริโภคมีปัญหาเกี่ยวกับการไม่ทราบชนิดของขยะสำหรับคัดแยก โดยระดับคะแนนที่ได้จากการสำรวจแสดงดังตารางที่ 1

ข้อ	คำถาม	คะแนนเฉลี่ย
1	ท่านมีปัญหาเกี่ยวกับการไม่ทราบชนิดขยะเพื่อคัดแยกหรือไม่	3.30
2	ท่านคิดว่าการรีไซเคิลช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้	3.95
3	ท่านคิดว่าการติดสัญลักษณ์รีไซเคิลบนฉลากของบรรจุภัณฑ์สามารถช่วยให้ท่านแยกขยะได้ง่ายขึ้น	4.05
4	ท่านคิดว่าการติดสัญลักษณ์รีไซเคิลบนฉลากบรรจุภัณฑ์ มองเห็นง่ายกว่าจุดบริเวณก้นขวดบรรจุภัณฑ์	4.35
5	ท่านมีความความมีความพึงพอใจต่อการติดสัญลักษณ์รีไซเคิลเพิ่มเติมบนฉลากบรรจุภัณฑ์	4.15
	คะแนนเฉลี่ยรวม	**3.96**

ตารางที่ 1 ผลสำรวจความคิดเห็นเกี่ยวกับการติดตั้งสัญลักษณ์รีไซเคิล

3.5.2 การวัดผลการลดน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์

งานวิจัยทำการวัดผลเพื่อเปรียบเทียบ ก่อน - หลัง การปรับปรุงบรรจุภัณฑ์ โดยใช้วิธีการคำนวนน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์ ก่อนและหลังการออกแบบ ว่าสามารถลดน้ำหนักลงไปได้เป็นจำนวนเท่าใด โดยจากผลการทดลองพบว่า มีน้ำหนัก 124 กรัมต่อชิ้น ลดลงจากเดิม 16 กรัมต่อชิ้น คิดเป็นน้ำหนักที่สามารถลดลงไปได้ร้อยละ 11.4 และยังมีประสิทธิภาพในการใช้งานเทียบเท่ากับขวดบรรจุภัณฑ์แบบเดิม โดยผลการปรับปรุงขวดบรรจุภัณฑ์กรณีศึกษารูปแบบใหม่เปรียบเทียบกับขวดบรรจุภัณฑ์รูปแบบเดิมแสดงดังตารางที่ 2 และภาพเปรียบเทียบตัวอย่างขวดบรรจุภัณฑ์กรณีศึกษา แสดงภาพที่ 2

ลักษณะทางกายภาพ	บรรจุภัณฑ์ (รูปแบบเดิม)	บรรจุภัณฑ์ (รูปแบบใหม่)
Material	HDPE	HDPE
Hight (Maximum)	285.5	285.5
Wide (Maximum)	195.0	195.0
Weight	140 g.	124 g.
ID Mouth	30.6 mm.	28.0 mm.
Neck Height	14.8 mm.	12.5 mm.
Thickness	0.42 mm.	0.40 mm.

ตารางที่ 2 ผลการปรับปรุงขวดบรรจุภัณฑ์รูปแบบใหม่เปรียบเทียบกับขวดบรรจุภัณฑ์รูปแบบเดิม



ภาพที่ 2 เปรียบเทียบตัวอย่างลักษณะของบรรจุภัณฑ์กรณีศึกษา

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

ผลการแก้ไขปัญหาผู้บริโภคไม่ทราบชนิดของบรรจุภัณฑ์ ทำให้บรรจุภัณฑ์ไม่ถูกส่งไปรีไซเคิล โดยการออกแบบกำหนดจุดสัญลักษณ์รีไซเคิลบนบรรจุภัณฑ์เพิ่มเติม บริเวณฉลากของบรรจุภัณฑ์ เพื่อให้ผู้บริโภคสามารถสังเกตุได้ง่ายขึ้น และทำการวัดผลการดำเนินงานจากการวิเคราะห์แบบสอบถาม ผลการศึกษาในส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม สามารถจำแนกได้ดังนี้ เพศ พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง จำนวน 200 คน คิดเป็นร้อยละ 71.4 รองลงมาเป็นเพศชาย จำนวน 80 คน คิดเป็นร้อยละ 28.6 อายุ พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีอายุระหว่าง 20-40 ปี จำนวน 100 คน คิดเป็น ร้อยละ 35.7 รองลงมามีอายุระหว่าง 41-60 ปี จำนวน 84 คน คิดเป็นร้อยละ 30 อายุตั้งแต่ 61 ปีขึ้น ไป จำนวน 52 คน คิดเป็นร้อยละ 18.6 และอายุต่ำกว่า 20 ปี จำนวน 44 คน คิดเป็นร้อยละ 15.7 สถานภาพการสมรส พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีสถานภาพสมรส จำนวน 152 คน คิดเป็นร้อยละ 54.3 รองลงมามีสถานภาพโสด จำนวน 96 คน คิดเป็นร้อยละ 34.3 และสถานภาพ หย่าร้าง/ม่าย จำนวน 32 คน คิดเป็นร้อยละ 11.4 ระดับการศึกษา พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีการศึกษาระดับปริญญาตรีจำนวน 160 คน คิดเป็นร้อยละ 57.1 รองลงมามีการศึกษาระดับต่ำกว่าปริญญาตรี จำนวน 100 คน คิดเป็นร้อย ละ 35.7 และมีการศึกษาสูงกว่าระดับปริญญาตรี จำนวน 20 คน คิดเป็นร้อยละ 7.1 อาชีพ พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีอาชีพอื่นๆ จำนวน 88 คน คิดเป็นร้อยละ 31.4 รองลงมามีอาชีพพนักงานเอกชน จำนวน 56 คน คิด

เป็นร้อยละ 20 มีอาชีพประกอบธุรกิจส่วนตัวและนักเรียน/นักศึกษาอย่างละ 52 คน คิดเป็นอย่างละ/ร้อยละ 18.6 และอาชีพรับราชการ/พนักงานรัฐวิสาหกิจ จำนวน 32 คน คิดเป็นร้อยละ 11.4 ส่วนที่ 2 ระดับความคิดเห็นของผู้บริโภคในการติดสัญลักษณ์รีไซเคิลเพิ่มเติมบนฉลากของบรรจุภัณฑ์ โดยคำถามที่ผู้บริโภคมีความเห็นด้วยอยู่ในระดับ "เห็นด้วยมากที่สุด" ได้แก่ การติดสัญลักษณ์รีไซเคิลบนฉลากบรรจุภัณฑ์ มองเห็นง่ายกว่าจุดบริเวณก้นขวดบรรจุภัณฑ์ แสดงถึงผลตอบรับในเชิงบวกของการแก้ไขปัญหา ซึ่งอาจสามารถอนุมานได้ว่า การติดสัญลักษณ์รีไซเคิลบนฉลากของบรรจุภัณฑ์เพิ่มเติมสามารถช่วยให้ผู้บริโภคสามารถสังเกตุและคัดแยกขยะก่อนทิ้งได้ดีขึ้น

ผลการแก้ไขปัญหาน้ำหนัก และขนาดส่วนเกินของบรรจุภัณฑ์ที่มีน้ำหนักมากเกินความจำเป็น จากการปรับปรุงการออกแบบลักษณะทางกายภาพของบรรจุภัณฑ์ พบว่าสามารถลดน้ำหนักของขวดบรรจุภัณฑ์กรณีศึกษา จากรูปแบบเดิมน้ำหนักเฉพาะขวด 140 กรัมต่อชิ้น เปรียบเทียบกับรูปแบบใหม่ น้ำหนักเฉพาะขวด 124 กรัมต่อชิ้น คิดเป็นน้ำหนักที่สามารถลดลงไปได้เมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบเดิม 16 กรัมต่อชิ้น คิดเป็นร้อยละ 11.4 ผลสำรวจการดำเนินงานจากการลดน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์กรณีศึกษา ช่วงระหว่างเดือน พฤศจิกายน 2565 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ 2566 พบว่าโรงงานกรณีศึกษามีการสั่งซื้อขวด HDPE ขนาด 3,000 มิลลิลิตร เพื่อนำมาบรรจุผลิตภัณฑ์ (เฉพาะรูปแบบใหม่) จำนวน 962,114 หน่วย คิดเป็น น้ำหนักรวม 119.3 ตัน หากเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลาสติกของขวดรูปแบบเดิม ที่มีน้ำหนักรวม 134.7 ตัน สามารถลดปริมาณการใช้พลาสติกได้ 15.4 ตัน ในการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น ผู้วิจัยได้ใช้วิธีการเปรียบเทียบจากปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงระยะเวลาในการเก็บข้อมูล โดยวิธีการคำนวนปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ใช้แนวทางอ้างอิงจากระเบียบวิธีการประมาณการและค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก พบว่าโรงงานกรณีศึกษาสามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการออกแบบบรรจุภัณฑ์แบบใหม่ โดยสามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงไปได้ 103.25 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

5. สรุปและอภิปรายผล

ผลจากการออกแบบบรรจุภัณฑ์พลาสติก โดยประยุกต์ใช้แนวทางอุตสาหกรรมสีเขียว พบว่าผลในการติดตั้งสัญลักษณ์รีไซเคิลบนบรรจุภัณฑ์เพิ่มเติมบริเวณฉลากของบรรจุภัณฑ์ สามารถช่วยให้ผู้บริโภคสามารถสังเกตุและจำแนกได้ง่ายขึ้น และผลจากจากการปรับปรุงการออกแบบลักษณะทางกายภาพของขวดบรรจุภัณฑ์กรณีศึกษา สามารถลดน้ำหนักของขวดบรรจุภัณฑ์ลงไปได้เมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบเดิม 16 กรัมต่อชิ้น เมื่อรวมปริมาณทั้งหมดในช่วงระยะเวลาการเก็บข้อมูล พบว่าสามารถลดปริมาณการใช้พลาสติกได้ 15.4 ตัน และเมื่อคำนวนเป็นการวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นสามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ลงไปได้ 103.25 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

เอกสารอ้างอิง

[1] *Diane Holt et al.* (2009). An empirical study of green supply chain management practices amongst UK Manufacturers. Journal of Manufacturing Technology Management, 20, 933-956.

[2] *Wendy et al.* (2001). Positive Consumer Perception-Leveraging Green: Opportunities for renewable, non-wood packaging as part of a sustainable consumer market.

[3] กรมควบคุมมลพิษ. (2559). คู่มือประชาชน การคัดแยกขยะมูลฝอยอย่างถูกวิธีและเพิ่มมูลค่า. กรุงเทพมหานคร: บริษัท ฮีซ่จำกัด.

[4] กระทรวงอุตสาหกรรม. (2562), โครงการอุตสาหกรรมสีเขียว

[5] อัณยา ประเสริฐลาภ. (2558). การนำแนวคิดกรีนซัพพลายเชนมาประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในบริษัท ในการจัดการให้มีประสิทธิภาพ, คณะโลจิสติกส์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

[6] สุกัญญา กลิ่นชุ่ม (2563). การบริหารจัดการขยะมูลฝอยภายใต้หลักการ 3Rs – ประชารัฐ ของเทศบาลนครสมุทรสาคร อำเภอเมืองสมุทรสาคร จังหวัดสมุทรสาคร. Journal of Management Science Nakhonpathom Rajabhat University, ฉบับที่ 7 หน้า 216-228.

[7] อโนทัย เพ็ชรสุวรรณ. (2549). การออกแบบบรรจุภัณฑ์สำหรับข้าวแต๋น ในโครงการหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์. (งานนิพนธ์ การศึกษามหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

[8] พัชรินทร์ บุญนุ่น. (2564). การศึกษาและพัฒนาบรรจุภัณฑ์เพื่อส่งเสริมการขายสินค้าเฉพาะถิ่น กรณีศึกษาบรรจุภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ชุมชนหนองไม้แก่น อำเภอรัตภูมิจังหวัดสงขลา. วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์.

[9] กรมควบคุมมลพิษ. (2557). คู่มือการออกแบบบรรจุภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อม. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา http://tipmse.fti.or.th/2012/en/knowledge/library_dt.asp?id=49

[10] สวนีย์ตั้งบัณฑิต. (2563). การปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการควบคุมคุณภาพ กรณีศึกษาผลิตภัณฑ์อาหารสัตว์. มหาวิทยาลัยศิลปากร.

[11] พิชิต สุขเจริญพงษ์. (2543). การควบคุมคุณภาพเชิงวิศวกรรม Engineering Quality Control. ซีเอ็ดยูเคชัน จำกัด, กรุงเทพ.

[12] นพรุจ ธรรมจิโรจ. (2555). Sustainable Organization through Green Supply Chain Management (GSCM). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[13] สวนีย์ตั้งบัณฑิต. (2563). การปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการควบคุมคุณภาพ กรณีศึกษาผลิตภัณฑ์อาหารสัตว์. มหาวิทยาลัยศิลปากร.

[14] จุฑารัตน์ ชุนหะศรี. (2556). พฤติกรรมการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ กรณีศึกษาบุคลากรที่ปฏิบัติงานในเทศบาลตำบล เมืองแกลง จังหวัดระยอง.



ประวัติผู้เขียนบทความ

นายเศรษฐการ สุริโย

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทความวิจัย

การผลิตเครื่องประดับ

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

การศึกษาลวดลายงานตอกกระดาษช่างสิบหมู่เมืองเพชรเพื่อออกแบบเครื่องประดับ “ลูกแก้วล้อมลาย”

A Capital Study of Paper Punching by Chang Sip Mu in Phetchaburi for Designing Jewelry. "Lukkaeo Lomlai"

ปริศนา บุญศักดิ์[1*] จินต์จิ สหรัตน์พันธ์[2] และปุญญพัฒน์ ดอนไพรวัลย์[3]

[1,2,3] สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตเครื่องประดับ คณะวิศวะกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร

prissana.b@rmutp.ac.th[1*]

บทคัดย่อ

การศึกษาลวดลายงานตอกกระดาษช่างสิบหมู่เมืองเพชรเพื่อออกแบบเครื่องประดับ “ลูกแก้วล้อมลาย” เพื่อสืบสานลวดลายงานตอกกระดาษช่างสิบหมู่จนได้ลวดลายที่มีความสวยงามโดดเด่น ทำการสร้างเครื่องประดับ และประเมินความพึงพอใจของผู้บริโภคเครื่องประดับชุดลูกแก้วล้อมลาย โดยขั้นตอนการสร้างทางผู้วิจัยได้ศึกษาทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องสำหรับงานวิจัย ได้แก่ การออกแบบและวิเคราะห์รูปแบบเครื่องประดับ การเขียนแบบ การสร้างต้นแบบเครื่องประดับด้วยโลหะ การสร้างต้นแบบเครื่องประดับด้วยแว็กซ์ การหล่อโลหะ การชุบเคลือบผิว การฝังอัญมณี วัสดุที่ใช้ในการทำเครื่องประดับชุดนี้คือ โลหะเงิน และได้สรุปผลการประเมินความพึงพอใจจากผู้เชี่ยวชาญ 3 คน ผ่านระบบออนไลน์ นำมาคำนวณเป็นร้อยละจาก 3 ปัจจัยที่กำหนด ด้านความสวยงาม ผู้เชี่ยวชาญให้คะแนนสูงสุดร้อยละ 75 ด้านการอนุรักษ์ ผู้เชี่ยวชาญให้คะแนนสูงสุดร้อยละ 75 ด้านความคิดสร้างสรรค์ ผู้เชี่ยวชาญให้คะแนนสูงสุดร้อยละ 80 จากแบบสอบถามแบบสุ่ม จำนวน 100 คน นำมาคำนวณเป็นร้อยละจาก 3 ปัจจัยที่กำหนด ด้านความสวยงามร้อยละ 70 ด้านการอนุรักษ์ร้อยละ 70 ความคิดสร้างสรรค์ร้อยละ 69 ซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของผู้จัดทำ

คำสำคัญ : ลวดลายตอกกระดาษ, ช่างสิบหมู่เมืองเพชร, เครื่องประดับ ลูกแก้วล้อมลาย

Abstract

A study of paper punching by Chang Sip Mu in Phetchaburi for designing jewelry." Lukkaeo Lomlai " to trace the pattern of paper punching by Chang Sip Mu until the pattern is beautiful and outstanding. jewelry is created and assessing the satisfaction of consumers in jewelry sets Lukkaeo Lomlai In the creation process, the researcher has studied various theories. Relevant areas for the research include jewelry design and analysis, drawings, metal jewelry prototyping. Jewelry prototyping with wax, metal casting, surface plating, gem inlay The material used to make this set of jewelry is silver, and the satisfaction assessment results from 3 experts have been concluded through an online system. It is calculated as a percentage from 3 factors determined as follows: Beauty Experts gave the highest score of 75 percent in terms of conservation, people want to conserve Thai jewelry. Experts gave the highest score of 75 percent in terms of creativity Experts gave the highest score of 80 percent from a random questionnaire of 100 people, calculated as a percentage from 3 determined factors. with the following conclusions: 70 percent beauty, 70 percent conservation, 69 percent creativity, which is in accordance with the objectives of the organizers.

Keywords : Paper punching, Chang Sip Mu in Phetchaburi, Jewelry Lukkaeo Lomlai

1. บทนำ

ปัจจุบันมูลค่าการส่งออกอัญมณีและเครื่องประดับของไทยระหว่างเดือนมกราคม-มิถุนายน 2565 เติบโตได้ร้อยละ 93.86 เมื่อเทียบกับช่วงเดียวกันของปีก่อนหน้าที่มีมูลค่า 4,494.68 ล้านดอลลาร์สหรัฐ โดยเป็นสินค้าส่งออกในอันดับที่ 3 คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 5.84 ของสินค้าส่งออกโดยรวมของไทย

เครื่องประดับเป็นส่วนหนึ่งของการแต่งกาย เพื่อให้เกิดความสวยงาม และความโดดเด่น ทำให้รูปแบบการแต่งตัวมีความเปลี่ยนไป และในขณะเดียวกันเครื่องประดับบนร่างกายของมนุษย์ไม่ใช่แค่ใส่เพื่อความสวยงามเท่านั้นแต่ยังเป็นสัญลักษณ์ที่แสดงถึงฐานะในสังคม และเครื่องประดับ นอกจากจะสวยงามแล้วยังจะช่วยเพิ่มเสริมสร้างความเชื่อมั่นให้กับภาพลักษณ์ของผู้สวมใส่มากยิ่งขึ้น ซึ่งยุคสมัยที่เปลี่ยนไปก็ทำให้เอกลักษณ์ทางด้านการออกแบบ รวมถึงเทคนิคในด้านอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องประดับแตกต่างกันออกไป เพื่อตอบสนองการเปลี่ยนแปลงของสังคมปัจจุบัน และเป็นการอนุรักษ์คุณค่าทางด้านวัฒนธรรม ซึ่งศิลปกรรมด้านการตอกกระดาษก็เป็นวัฒนธรรมอีกรูปแบบหนึ่ง ปัจจุบันความนิยมในการใช้งานการตอกกระดาษลดลง เพราะงานตอกกระดาษนั้นเป็นงานที่ไม่คงทนถาวร และงานตอกกระดาษเป็นไปในลักษณะของ การประดับตกแต่งเฉพาะงานเมื่อเสร็จงานหรือเสร็จสิ้นพิธีแล้วก็จะรื้อถอนเมื่อกาลเวลาเปลี่ยนไปความนิยมในการใช้งานตอกกระดาษมาประดับสถานที่เริ่มเปลี่ยนไป บวกกับช่างฝีมือในการตอกกระดาษเก่งๆ เริ่มหดหายไป งานตอกกระดาษจึงลดบทบาทลง

ผู้วิจัยได้เล็งเห็นความสำคัญของลวดลายงานตอกกระดาษจึงมีความคิดที่จะนำลวดลายมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบเครื่องประดับให้มีความทันสมัยและคำนึงถึงประโยชน์ใช้สอย เพื่อสามารถตอบสนองบริบทการเปลี่ยนแปลงของสังคมในปัจจุบัน อีกทั้งยังเป็นการส่งเสริมการอนุรักษ์ สืบสานงานตอกกระดาษช่างสิบหมู่เมืองเพชรให้ยังคงอยู่ไม่เลือนหายไป และนำเทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาช่วยในการทำเครื่องประดับ

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาลวดลายของงานตอกกระดาษช่างสิบหมู่เมืองเพชร
2. เพื่อประยุกต์ใช้ในการออกแบบเครื่องประดับจากลวดลายของงานตอกกระดาษช่างสิบหมู่เมืองเพชรชุด “ลูกแก้วล้อมลาย”

3. เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้เชี่ยวชาญ ผู้บริโภค เครื่องประดับชุด “ลูกแก้วล้อมลาย”

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาลวดลายงานตอกกระดาษช่างสิบหมู่เมืองเพชรเพื่อออกแบบเครื่องประดับ “ลูกแก้วล้อมลาย” โดยผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อให้สอดคล้องตามวัตถุประสงค์ดังนี้

3.1 งานตอกกระดาษ และลวดลายไทยเพชรบุรี

ศิลปกรรมด้านการตอกกระดาษ มีขึ้นมาตั้งแต่ในสมัยอดีตกาล ปรากฏทั้งในพิธีมงคล และพิธีอวมงคล ซึ่งปัจจุบันความนิยมในการใช้งานศิลปกรรมที่สร้างสรรค์จากงานตอกกระดาษ เริ่มจางหายไปตามกาลเวลา สืบเนื่องจากวัสดุที่ค่อนข้างเก็บรักษายาก งานตอกกระดาษ คงหลงเหลือไว้ให้ศึกษาเพียงแบบลาย แต่ผลงานจริงกลับถูกทิ้งลงไปเมื่อเสร็จสิ้นพิธีกรรม เพราะงานตอกกระดาษนั้นเป็นงานที่ ไม่คงทนถาวร จึงไม่มีหลักฐานถึงที่มาที่ไปอย่างแน่นอน และอีกอย่างงานตอกกระดาษเป็นไปในลักษณะของการประดับตกแต่งเฉพาะงานเมื่อเสร็จงานหรือเสร็จสิ้นพิธีแล้วก็จะรื้อถอน เมื่อกาลเวลาเปลี่ยนไปความนิยมในการใช้งานตอกกระดาษมาประดับสถานที่เริ่มเปลี่ยนไป เมื่อชุมชน มีการพัฒนาความเป็นอยู่แบบมัยใหม่มากขึ้น การจัดงานมีการประดับด้วยสิ่งของที่มีราคาค่างวดมากขึ้น บวกกับช่างฝีมือในการตอกกระดาษเก่งๆ เริ่มหดหายไปเทคโนโลยีใหม่ๆ เริ่มนำการตกแต่งสถานที่ในรูปแบบใหม่เข้ามาแทนที่ งานตอกกระดาษจึงลดบทบาทลงแต่ยังมีให้ได้เห็นบ้างตามชนบท ซึ่งยังคงมีทำกันบ้างแต่ไม่เหมือนเดิม งานตอกกระดาษ คือ การนำค้อนมาตี ทุบ ลงบนวัสดุมีคม เช่น สิ่ว ให้เกิดลอยขาดตามคมของสิ่วลงบนผิวของงานกระดาษหรือวัสดุอื่นให้เจาะ ขาด และทะลุเป็นช่องลงไป เพื่อให้เกิดลวดลายหรือรูปที่ต้องการ ดังนั้นการตอกกระดาษให้เกิดเป็นลวดลายหรือเป็นรูปนั้น จึงมีกรรมวิธีการตอกอยู่สองประเภทคือ การตอกเพื่อคงเอาลายหรือรูปไว้ เอาพื้นหรือช่องไฟออกไป ภาษาช่างเรียกว่า “ลายติด” กับการตอกเพื่อเอาลายหรือรูปออกไป คงพื้นหรือช่องไฟไว้ ภาษาช่างเรียกว่า “ลายขาด” ดังนั้นการที่เราจะสร้างชิ้นงานออกมาในลักษณะใดนั้น ช่างจะต้องกำหนดรูปแบบหรือลายไว้โดยการเขียนเส้นร่างเป็นแบบออกมาก่อนซึ่งลายที่มีการนำมาตอกกระดาษคือลายไทยโดยได้แนวคิดมาจาก ดอกบัว พวงมาลัย ควันธูป และเปลวเทียน เป็นต้น นำมาสร้างสรรค์ให้เกิดเป็นลวดลายต่างๆ เช่น ลายกนก ลายเปลวเพลิง ลายใบเทศ ลายพฤษชาติ ลายประจำยาม ฯลฯ ผู้วิจัยจึงได้มีการศึกษาถึงที่มาของลายต่างๆ และนำข้อมูลด้านลวดลายมาใช้ในการออกแบบเครื่องประดับ [4]

3.2 เรซิ่น

เรซิ่นที่ใช้ได้จากธรรมชาติและได้จากการสังเคราะห์ทางเคมี

เรซิ่นที่ได้จากธรรมชาติก็คือยางไม้ เป็นยางเหนียว ที่ออกมาจากต้นไม้บางชนิด เช่น ต้นสน เกิดขึ้นจากกระบวนการสังเคราะห์ภายในต้นไม้ มีการใช้งานมาตั้งแต่โบราณ โดยประโยชน์มีตั้งแต่การทำน้ำมันหอมระเหย การทำกาวหรือสารเคลือบผิวต่างๆ

เรซิ่นสังเคราะห์ที่ได้มาจากพลาสติก เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า โพลีเอสเตอร์ ปกติแล้วเมื่อเราเห็นพลาสติกก็จะออกมาในรูปเม็ดพลาสติก แต่โพลีเอสเตอร์จะเป็นพลาสติกเหลว และโพลีเอสเตอร์นี่ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตสิ่งของวัตถุจนถึงงานหล่อต่างๆ [5]

3.3 หลักการออกแบบ

การศึกษาลวดลายงานตอกกระดาษช่างสิบหมู่เมืองเพชรเพื่อออกแบบเครื่องประดับ “ลูกแก้วล้อมลาย” โดยผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าโดยใช้ทฤษฎีการออกแบบเครื่องประดับ ความสัมพันธ์โดยการวิเคราะห์การออกแบบส่วนร่วม เมื่อมองส่วนรวมทั้งหมด งานจะมีลักษณะเป็นเอกภาพ แม้จะใช้วัสดุต่างชนิดกันก็ตาม ไม่รู้สึกแบ่งแยก หรือกระจัดกระจาย มีความกลมกลืนกันระหว่างความงามและประโยชน์ใช้สอย และยังมีองค์ประกอบศิลป์ คือ ส่วนประกอบต่างๆ ของศิลปะ เช่น จุด เส้น รูปร่าง รูปทรง น้ำหนัก สี และพื้นผิว อีกทั้งยังนำ ความงาม ความพอดี และความลงตัว อันเป็นรากฐานในการออกแบบ และนำ ลายกนก ลายทรงพุ่มข้าวบิณฑ์ ลายกระจัง และลายประจำยาม ทั้ง 4 ลวดลายนี้เป็นลวดลายที่เป็นเอกลักษณ์ของงานตอกกระดาษเมืองเพชร ซึ่งผู้วิจัยได้นำลวดลายที่เป็นจุดเด่นมาออกแบบเครื่องประดับ 2 ลวดลายคือ ลวดลายกระหนกก้านขดเปลว และลวดลายประจำยามหรือลายสามยาม [2]



รูปที่ 1 ลวดลายกระหนกก้านขดเปลว และลวดลายประจำยาม

3.4 การสร้างต้นแบบเครื่องประดับ

- การสร้างต้นแบบด้วยโลหะ

การทำต้นแบบด้วยโลหะ เป็นการสร้างแบบ เพื่อที่นำไปทำแม่พิมพ์ยาง ในกรณีที่ต้องการแบบเป็นจำนวนมากๆ แต่กรณีที่ต้องการเพียงชิ้นเดียวก็ใช้การทำต้นแบบด้วยโลหะซึ่ง วิธีการนี้ภาษาช่างเรียกว่า การขึ้นฝีมือ โดยช่างจะขึ้นแบบออกมาเป็นตัวเรือนโลหะตามแบบที่ต้องการ

- การสร้างต้นแบบเครื่องประดับด้วยแว็กซ์

เป็นกระบวนการหนึ่งวิธีของการทำเครื่องประดับ ที่ทำให้กระบวนการผลิตเครื่องประดับอัญมณีมีความสะดวกและรวดเร็วมากขึ้น จะใช้ในกรณีที่เครื่องประดับชิ้นนั้น จะต้องผลิตให้เป็นจำนวนมากและเป็น เครื่องประดับที่มีรูปทรงเหมือนกันการทำต้นแบบเทียนจะช่วยลดต้นทุนในการผลิตลงได้มาก [1]

3.5 การหล่อเครื่องประดับ

การหล่อเครื่องประดับ เป็นกระบวนการหนึ่งที่สำคัญในขั้นตอนการผลิต ผู้ผลิตควรรู้จักเครื่องมือในการหล่อและการทำการหล่อจำเป็นต้อง

รู้จักวิธีการและขั้นตอนที่ถูกต้อง โดยมีสูตรการหาน้ำหนักโลหะที่ใช้หล่อ คือ คำนวณค่า สูตร = น.น. (wax) × ความจำเพาะ [3]

3.6 การฝังอัญมณี

การฝังอัญมณีในตัวเรือนเป็นขั้นตอนหนึ่งของการทำเครื่องประดับ ลักษณะการฝังอัญมณีมีหลายแบบด้วยกัน ซึ่งแต่ละแบบก็ทำให้เครื่องประดับนั้นมีสไตล์ที่แตกต่างกันและเพิ่มมูลค่าให้กับเครื่องประดับ [3]

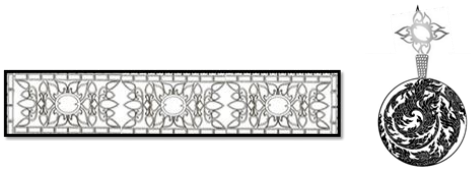
3.7 การขุบโลหะ

การขุบโลหะมีวัตถุประสงค์หลัก 3 ประการ คือ ตกแต่งผลิตภัณฑ์ให้เกิดความสวยงามแวววาว เพื่อป้องกันการผุกร่อน และยืดอายุการใช้งานผลิตภัณฑ์ [3]

4. วิธีดำเนินการวิจัย

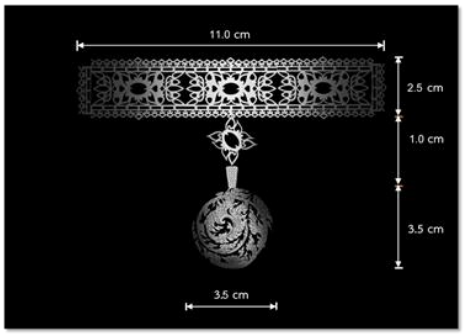
ในการศึกษาลวดลายงานตอกกระดาษช่างสิบหมู่เมืองเพชรเพื่อออกแบบเครื่องประดับ “ลูกแก้วล้อมลาย”โดยผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยดังนี้

4.1 การร่างแบบ การออกแบบเครื่องประดับชุด “ลูกแก้วล้อมลาย” โดยการร่างแบบลงในกระดาษ ที่ผ่านการคิดสร้างสรรค์และวิเคราะห์รูปแบบในเรื่องของสี ขนาดตามความเหมาะสมของชิ้นงาน และนำลวดลายงานตอกกระดาษช่างสิบหมู่เมืองเพชรมาเป็นจุดเด่น ลวดลายที่นำมาใช้ทางผู้วิจัยได้พัฒนามาจากลวดลายที่เป็นจุดเด่นงานของงานตอกกระดาษมาออกแบบเครื่องประดับ 2 ลวดลายคือ ลวดลายกระหนกก้านขดเปลว และลวดลายลายประจำยามหรือลายสามยามที่มีคุณสมบัติพิเศษคือมีลวดลายที่สวยงาม ความอ่อนช้อย และสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบจนได้แบบเครื่องประดับที่ตรงความต้องการของผู้วิจัย



รูปที่ 2 การร่างแบบเครื่องประดับชุด “ลูกแก้วล้อมลาย”

4.2 การวิเคราะห์แบบ ชุดเครื่องประดับ“ลูกแก้วล้อมลาย” ประกอบด้วยเครื่องประดับสร้อยคอพร้อมจี้ โดยกำหนดขนาดเครื่องประดับ ดังนี้



รูปที่ 3 กำหนดขนาดเครื่องประดับ

ในการวิเคราะห์งานวิจัยครั้งนี้ผู้เชี่ยวชาญประเมินรูปแบบ ซึ่งผลการประเมิน พบว่า การออกแบบที่ใช้ลวดลายงานตอกกระดาษช่างสิบหมู่เมืองเพชรในการออกแบบมีค่าประเมินสูงมากที่สุดคือ แบบที่ 1 และมีค่าประเมินรองลงมาคือ แบบที่ 3 ซึ่งเป็นเครื่องประดับที่มีรูปแบบร่วมสมัยมีการประดับอัญมณีที่สวยงาม และเหมาะสมสามารถนำไปผลิตเป็นต้นแบบเครื่องประดับจริงได้ สวมใส่ได้จริง

4.3 การหล่อเรซิ่นลูกแก้ว ในการขึ้นรูปแบบ ของลูกแก้ว เริ่มจากการหล่อเรซิ่น เรซินที่ใช้จะเป็นเรซิ่นชนิดใส โดยจะมีการผสมผงเรืองแสงแล้วก็สีสันต่างๆลงไปในระหว่างผสมเรซิ่น ในการหล่อลูกแก้วด้านในจะมีแบบพิมพ์ที่เป็นแบบพิมพ์ข้างในเป็นทรงกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.0 cm



รูปที่ 4 ชิ้นงานลูกแก้วที่หล่อขัดแต่งเสร็จสมบูรณ์

4.4 การขึ้นต้นแบบ ใช้การขึ้นต้นแบบสองวิธี คือ การขึ้นต้นแบบด้วยโลหะและการขึ้นต้นแบบด้วยการแกะแว็กซ์

- สร้อยคอใช้การขึ้นต้นแบบโลหะ



รูปที่ 5 ชิ้นงานที่ใช้การขึ้นต้นแบบด้วยโลหะ

- จี้ ใช้การขึ้นต้นแบบด้วยการแกะแว็กซ์



รูปที่ 6 แว็กซ์ที่แกะด้วยมือ

4.5 การหล่อ นำแบบเทียนที่ได้จากการขึ้นต้นแบบแว็กซ์ด้วยมือ ไปติดต้นเทียนเสร็จแล้วจะนำไปสวมประกอบเข้ากับกระบอกเหล็ก ทำการเทปูน นำเบ้าที่เทปูนเสร็จแล้วเข้าเครื่องอบปูนและเข้าเครื่องหล่อดูดสุญญากาศ หลังจากนั้นก็นำกระบอกปูนมาจุ่มน้ำเพื่อลดความร้อนและละลายปูน ให้เหลือแต่เพียงตัวชิ้นงาน



รูปที่ 7 หล่อการขัดแต่งเพื่อให้ได้ผิวที่เรียบสวยงาม มันวาว

4.6 การฝังอัญมณี หลังจากที่ขัดแต่งชิ้นงานเสร็จเรียบร้อยแล้ว นำชิ้นงานไปประกอบและฝังพลอย CZ ที่ห่วงของจี้ โดยการฝังหุ้มตามแบบชิ้นงาน

4.7 การชุบโลหะ หลังจากได้ตัวเครื่องประดับเงินที่หล่อออกมาแล้ว นำชิ้นงานไปขัดแต่ง ฝังพลอยและนำตัวชิ้นงานไปทำความสะอาดอีกครั้ง แล้วนำลงชุบพื้นผิวเครื่องประดับ โดยสีที่ทางผู้วิจัยได้ทำการชุบคือสีโรเดียม (Rhodium)



รูปที่ 8 การชุบเคลือบผิวให้ชิ้นงานเป็นสี โรเดียม (Rhodium)

5. การวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

การดำเนินงานจัดทำงานวิจัย การศึกษาลวดลายงานตอกกระดาษช่างสิบหมู่เมืองเพชรเพื่อออกแบบเครื่องประดับ “ลูกแก้วล้อมลาย” โดยดำเนินงานการผลิตตามขั้นตอนการดำเนินงาน จึงได้เครื่องประดับชุด “ลูกแก้วล้อมลาย” ที่สมบูรณ์



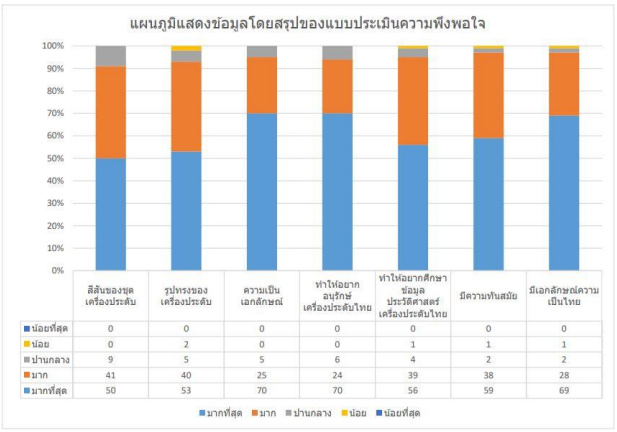
รูปที่ 9 ชิ้นงานที่สมบูรณ์

ในการวิเคราะห์งานวิจัยครั้งนี้ลวดลายที่ใช้ในการออกแบบเครื่องประดับชุด “ลูกแก้วล้อมลาย” ได้รับการพิจารณาจาก ผู้เชี่ยวชาญทางด้านงานตอกกระดาษและลวดลายไทยเมืองเพชรเป็นผู้ประเมินลวดลายซึ่งเป็นลวดลายที่มีความโดดเด่นเป็นเอกลักษณ์นิยมใช้ในงานตอกกระดาษ คือ ลวดลายกระหนกก้านขดเปลว และลวดลายประจำยาม ผู้วิจัยจึงนำลวดลายทั้ง 2 มาทำการออกแบบ และแบบที่นำมาทำการผลิตเป็นชิ้นงานได้รับการพิจารณาจากผู้เชี่ยวชาญทางด้านการออกแบบระดับเป็นผู้ประเมินแบบและเลือกแบบ

งานวิจัย การศึกษาลวดลายงานตอกกระดาษช่างสิบหมู่เมืองเพชรเพื่อออกแบบเครื่องประดับ “ลูกแก้วล้อมลาย” ได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยทางผู้วิจัยได้ทำแบบสอบถามออนไลน์กับกลุ่มผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่านและกลุ่มผู้ตอบแบบสอบถาม (ผู้บริโภค) จำนวน 100 คน คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ จากนั้น สรุปความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญและผู้ตอบแบบสอบถามว่ามีความสนใจด้านใด แยกเป็นหัวข้อและจัดลำดับ ซึ่งได้รับความร่วมมือจากผู้เชี่ยวชาญ และผู้ตอบแบบสอบถามจึงทำให้การทำวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

6. สรุปและอภิปรายผล

หลังจากจัดทำงานวิจัย การศึกษาลวดลายงานตอกกระดาษช่างสิบหมู่เมืองเพชรเพื่อออกแบบเครื่องประดับ “ลูกแก้วล้อมลาย” เสร็จเรียบร้อยแล้ว ในขั้นตอนสุดท้าย คือ การสรุปผลและประเมินผลที่ได้รับจากการทำวิจัยทั้งหมด ทั้งผลการดำเนินงาน ปัญหาอุปสรรคและข้อเสนอแนะต่างๆ เพื่อเป็นประโยชน์แก่ผู้ศึกษาทั่วไป สรุปเป็นผลจากแบบสอบถามประเมินความพึงพอใจผ่านระบบออนไลน์ นำมาคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์จาก 3 ปัจจัยที่กำหนด ดังนี้ ด้านความสวยงาม แบ่งออกเป็น 3 หัวข้อ คือ สีสันของชุดเครื่องประดับ ผู้เชี่ยวชาญให้คะแนนสูงสุดร้อยละ 55 ผู้บริโภคให้คะแนนสูงสุดร้อยละ 50 รูปทรงของเครื่องประดับ ผู้เชี่ยวชาญให้คะแนนสูงสุดร้อยละ 50 ผู้บริโภคให้คะแนนสูงสุดร้อยละ 53 ความเป็นเอกลักษณ์ ผู้เชี่ยวชาญให้คะแนนสูงสุดร้อยละ 75 ผู้บริโภคให้คะแนนสูงสุดร้อยละ 70 ด้านการอนุรักษ์ แบ่งเป็น 2 หัวข้อคือ ทำให้อยากอนุรักษ์เครื่องประดับไทย ผู้เชี่ยวชาญให้คะแนนสูงสุดร้อยละ 75 ผู้บริโภคให้คะแนนสูงสุดร้อยละ 70 ทำให้อยากศึกษาข้อมูลประวัติศาสตร์เครื่องประดับไทย ผู้เชี่ยวชาญให้คะแนนสูงสุดร้อยละ 50 ผู้บริโภคให้คะแนนสูงสุดร้อยละ 56 ด้านด้านความคิดสร้างสรรค์ แบ่งออกเป็น 2 หัวข้อ คือ มีความทันสมัย ผู้เชี่ยวชาญให้คะแนนสูงสุดร้อยละ60 ผู้บริโภคให้คะแนนสูงสุดร้อยละ 59 มีเอกลักษณ์ความเป็นไทย ผู้เชี่ยวชาญให้คะแนนสูงสุดร้อยละ 80 ผู้บริโภคให้คะแนนสูงสุดร้อยละ 69 เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ทางผู้จัดทำได้ตั้งไว้และจะนำมาเป็นแนวทางในการศึกษาต่อไป



รูปที่ 10 แผนภูมแสดงข้อมูลโดยสรุปแบบประเมินความพึงพอใจ

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณผู้มีพระคุณที่ช่วยให้ งานวิจัยการศึกษาลวดลายงานตอกกระดาษช่างสิบหมู่เมืองเพชรเพื่อออกแบบเครื่องประดับ “ลูกแก้วล้อมลาย” สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดีจากผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่าน ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยมาโดยตลอด ได้ประสาทความรู้ตลอดเวลาที่ทำงานวิจัย และได้เสียสละเวลาอันมีค่ายิ่งที่ให้คำแนะนำ จนทำให้งานวิจัยมีความสมบูรณ์ ตลอดจนผู้ที่ให้ความกรุณาช่วยเหลือให้คำปรึกษาในทุกๆ ด้านของงานวิจัยฉบับนี้ที่ไม่อาจใส่ชื่อได้หมดทุกท่าน ผู้วิจัยจะนำข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ไปพัฒนางานวิจัยอื่นๆ ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] บริษัท ภักดี แฟคทอรี่ จำกัด. (2549).กระบวนการผลิตเครื่องประดับเบื้องต้น. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์วงตะวัน จำกัด.

[2] ผศ.ปริศนา บุญศักดิ์. เอกสารประกอบการสอนวิชา นวัตกรรมการออกแบบและวิเคราะห์แบบเครื่องประดับ. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

[3] วรัญชลีย์ ทวีชัย. เอกสารประการสอนวิชา งานประดับอัญมณี,เอกสารประการสอนวิชา ชุบเคลือบผิวเครื่องประดับ. เอกสารประกอบการสอนวิชา งานหล่อ. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

[4] เอกสาร โครงการสร้างต้นแบบเพื่อจัดทำองค์ความรู้ “ด้านการตอกกระดาษ ตอกฉลุหนัง” ศูนย์ศิลปะและการช่างไทย สำนักช่างสิบหมู่ กรมศิลปากร, 2555, 1, 12 – 14.

[5] เอกสารประกอบการขายน้ำยาเรซิ่น ห้างหุ้นส่วนจำกัดรุ่งโรจน์ไฟเบอร์กล๊าส, กรุงเทพฯ

ประวัติผู้เขียนบทความ



นายปุญญพัฒน์ ดอนไพรวัลย์
นักศึกษาระดับปริญญาตรี
สาขาวิศวกรรมการผลิตเครื่องประดับ
คณะวิศกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร



อาจารย์ที่ปรึกษา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปริศนา บุญศักดิ์
สาขาวิศวกรรมการผลิตเครื่องประดับ
คณะวิศกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร



อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
อาจารย์จินต์จิ สหรัตนพันธ์
สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตเครื่องประดับ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

การศึกษาลวดลายและสีงานเบญจรงค์เพื่อประยุกต์ใช้ในการออกแบบเครื่องประดับสมัยใหม่

The Study of Patterns and Colors of Benjarong for Application in Modern Jewelry Design.

ธีรวัฒน์ แม้นด้วง[1] ณัฐศรา ใจดี[2] และกรกช สัมฤทธิ์[3]

[1,2,3,] สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตเครื่องประดับ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร teerawat.m@rmutp.ac.th

1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

บทคัดย่อ

การศึกษาลวดลายและสีงานเบญจรงค์เพื่อประยุกต์ใช้ในการออกแบบเครื่องประดับสมัยใหม่มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศึกษาลวดลวดและสีของงานเบญจรงค์เพื่อประยุกต์ใช้ในการออกแบบเครื่องประดับสมัยใหม่ และเพื่อประเมินความพึงพอใจจากผู้เชี่ยวชาญและผู้ที่สนใจในเครื่องประดับ โดยมีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่มาใช้ในการสร้างเครื่องประดับ ผู้จัดทำได้ศึกษาทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ การออกแบบและวิเคราะห์รูปแบบเครื่องประดับ การสร้างต้นแบบเครื่องประดับด้วยโลหะ การเขียนแบบด้วยโปรแกรม การหล่อโลหะ การชุบเคลือบผิว การฝังอัญมณี การลงยาสี วัสดุที่ใช้ในการทำเครื่องประดับชุดนี้คือ โลหะทองเหลือง และได้สรุปผลการประเมินความพึงพอใจ จากแบบสอบถามแบบสุ่ม จำนวน 100 คน นำมาคำนวณเป็นร้อยละจาก 3 ปัจจัยที่กำหนด คือ ด้านความคิดสร้างสรรค์มากที่สุดร้อยละ 63 ด้านประโยชน์ใช้สอยมากที่สุดร้อยละ 51 ด้านความสวยงามมากที่สุดร้อยละ 63 ซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของผู้จัดทำ

คำสำคัญ : ลวดลายและสี, เบญจรงค์, เครื่องประดับสมัยใหม่

Abstract

The study of patterns and colors of Benjarong for application in modern jewelry design. Have a purpose to study of patterns and colors of Benjarong for application in modern jewelry design and to assess the satisfaction of experts and those interested in jewelry. Modern technology is applied to create jewelry. the organizer can study various theories Relevant matters for the thesis include Design and model analysis, Metal jewelry prototyping, Design with the program, Casting process, The plate coating, Jewelry inlay, and enameling. The material used to make this set of jewelry is silver metal. From a random questionnaire of 100 people was calculated as a percentage from 3 factors determined. with the following conclusions: 63 percent of creativity, 51 percent of usefulness, and 63 percent of beauty, which is in line with the author's objectives.

Keywords : Patterns and colors, Benjarong, jewelry

1. บทนำ

จากสภาวะในปัจจุบันที่ผ่านจากช่วงการแพร่ระบาดของเชื้อไวรัส เศรษฐกิจของสินค้าอัญมณีและเครื่องประดับนั้นก็มีแนวโน้มที่ดีขึ้นเรื่อยๆ สถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน) หรือ GIT กล่าวว่า การส่งออกสินค้าอัญมณีและเครื่องประดับ ไม่รวมทองคำ เดือนธ.ค.2564 มีมูลค่า 587.16 ล้านดอลลาร์ เพิ่มขึ้น 29.33% และส่งออกรวมทั้งปี 2564 (ม.ค.- ธ.ค.) ไม่รวมทองคำ มีมูลค่า 6,158.66 ล้านดอลลาร์ เพิ่ม 26.94% และช่วงเดือนมกราคม-พฤษภาคม ของปี 2565 มีมูลค่า 7,589.53 ล้านดอลลาร์สหรัฐ เติบโตได้เพิ่มขึ้นร้อยละ 113.96 เมื่อเทียบกับช่วงเดียวกันของปี 2564 ปัจจัยที่ทำให้การส่งออกสินค้า อัญมณีและเครื่องประดับในปี 2564 กลับมาเพิ่มขึ้น มาจากการฟื้นตัวของตลาดสำคัญๆ ของไทย

ตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบันเครื่องประดับเป็นส่วนหนึ่งในเครื่องแต่งกาย ช่วยเสริมความงาม ความมั่นใจ และบ่งบอกถึงฐานะในสังคมของผู้ใส่ ซึ่งยุคสมัยที่เปลี่ยนไปก็ทำให้เอกลักษณ์ทางด้านการออกแบบ รวมถึงเทคนิคในด้านอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องประดับแตกต่างกันออกไป เพื่อตอบสนองการเปลี่ยนแปลงของสังคมปัจจุบัน และเป็นการอนุรักษ์คุณค่าทางด้านวัฒนธรรม การทำเครื่องเบญจรงค์ถือได้ว่า เป็นงานด้านศิลปหัตถกรรมของไทยที่มีมาตั้งแต่สมัยโบราณ เครื่องถ้วยเบญจรงค์ของไทยในอดีตใช้การสั่งทำที่ประเทศจีนตามความคิดและลวดลายของไทย สมัยกรุงศรีอยุธยาและสมัยกรุงรัตนโกสินทร์ช่วงศตวรรษที่ 18 และ 19 “เบญจรงค์” หมายถึง เครื่องเคลือบที่มีการวาดสีลงไป 5 สี คือ สีขาว สีเหลือง สีดำ สีแดง และสีเขียว(คราม) ลวดลายที่วาดลงในเครื่องเบญจรงค์จะสะท้อนถึงภูมิปัญญาชาวบ้าน มีวัฒนธรรม ตามความเชื่อของไทย และวิถีชีวิตของคนไทย โดยลวดลายที่เป็นที่นิยมมากในปัจจุบัน คือ ลายหยดเทียน เป็นลวดลายที่ถูกพัฒนาขึ้นมาใหม่ในรัชกาลที่ 9 เป็นการออกแบบที่ร่วมสมัยรัตนโกสินทร์และต่อยอดมาจากหลายขนบดั้งเดิม ผู้จัดทำโครงงานจึงมีแนวคิดที่จะนำลายหยดเทียนและสีของเครื่องเบญจรงค์มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบเครื่องประดับชิ้นนี้ ให้มีความสมัยใหม่ยกระดับจากเครื่องปั้นเซรามิคมาเป็นเครื่องประดับบนกาย และเป็นแนวทางใหม่ในการผลิตเครื่องประดับต่อไป

จากที่มาและความสำคัญดังกล่าวคณะนักวิจัยจึงได้ทำการศึกษาลวดลายและสีสันจากเครื่องเบญจรงค์ เพื่อมาใช้ในการออกแบบเครื่องประดับสมัยใหม่ โดยใช้เทคโนโลยีมาช่วยในการผลิตและคำนึงถึงประโยชน์ใช้สอย เพื่อที่จะตอบสนองบริบทการเปลี่ยนแปลงของสังคมในปัจจุบัน อีกทั้งทั้งยังเป็นการส่งเสริมการอนุรักษ์ศิลปหัตถกรรมของไทย

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาลวดลายและสีของเครื่องเบญจรงค์
2. เพื่อประยุกต์ใช้ลวดลายและสีของเครื่องเบญจรงค์ในการออกแบบเครื่องประดับสมัยใหม่
3. เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้เชี่ยวชาญ และผู้ที่สนใจในเครื่องประดับ

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 ลวดลายที่นิยมใช้ในเครื่องเบญจรงค์

"เบญจรงค์" หมายถึง เครื่องเคลือบที่มีการวาดสีลงไป 5 สี คือ สีขาว สีเหลือง สีดำ สีแดง และสีเขียว (คราม) ลวดลายที่วาดลงในเครื่องเบญจรงค์ สะท้อนถึงภูมิปัญญาชาวบ้าน มีวัฒนธรรม ตามความเชื่อของไทย และวิถีชีวิตของคนไทย

ลายหยดเทียน เป็นลวดลายที่ถูกพัฒนามาใหม่ที่สุด และร่วมสมัยโดยเกิดขึ้นใหม่ในสมัยรัชกาลที่ 9 สันนิษฐานว่าถูกพัฒนามาจากลวดลายแบบแผนของลายข้าวหลามตัด และลายพุ่มข้าวบิณฑ์เดิม [7]

3.2 หลักการออกแบบและการประยุกต์ใช้ลวดลาย

ความสัมพันธ์โดยส่วนร่วม เมื่อมองส่วนรวมทั้งหมด งานจะมีลักษณะเป็นเอกภาพ แม้จะใช้วัสดุต่างชนิดกันก็ตาม ไม่รู้สึกแบ่งแยก หรือกระจัดกระจาย มีความกลมกลืนกันระหว่างความงามและประโยชน์ใช้สอย และยังมีองค์ประกอบศิลป์ คือ ส่วนประกอบต่างๆ ของศิลปะ เช่น จุด เส้น รูปร่าง รูปทรง น้ำหนัก สี และพื้นผิว อีกทั้งยังหมายถึง ความงาม ความพอดี และความลงตัว อันเป็นรากฐานเนื้อหาของศิลปะ [3]

3.3 โปรแกรมสร้างชิ้นงานในคอมพิวเตอร์

ปัจจุบันงานเครื่องประดับและอัญมณีของไทย เป็นสินค้าส่งออกที่ทำรายได้ให้กับประเทศ ซึ่งขาดแคลนนักออกแบบเครื่องประดับที่มีคุณภาพทัดเทียมกับนักออกแบบเครื่องประดับต่างประเทศ "เครื่องมือ" คือสิ่งสำคัญ หากเราสามารถบูรณาการเครื่องมือที่ช่วยในการออกแบบเครื่องประดับอย่างโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้สามารถช่วยให้นักออกแบบเครื่องประดับสามารถใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ออกแบบเครื่องประดับได้ง่ายขึ้นและจะช่วยพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ด้านการออกแบบเครื่องประดับได้อีกด้วย [2]

3.5 การหล่อเครื่องประดับ

การหล่อเครื่องประดับ เป็นกระบวนการหนึ่งที่สำคัญในขั้นตอนการผลิต ผู้ผลิตควรรู้จักเครื่องมือในการหล่อและการทำการหล่อจำเป็นต้องรู้จักวิธีการและขั้นตอนที่ถูกต้อง โดยมีสูตรการหาน้ำหนักโลหะที่ใช้หล่อ คือ คำนวณค่า สูตร = น.น. (wax) × ความจำเพาะ [1]

3.6 การขุบโลหะ

การขุบโลหะมีวัตถุประสงค์หลัก 3 ประการ คือ ตกแต่งผลิตภัณฑ์ให้เกิดความสวยงามแวววาว เพื่อป้องกันการผุกร่อน และยืดอายุการใช้งานผลิตภัณฑ์ [5]

3.7 การฝังอัญมณี

การฝังอัญมณีในตัวเรือนเป็นขั้นตอนหนึ่งของการทำเครื่องประดับ ลักษณะการฝังอัญมณีมีหลายแบบด้วยกัน ซึ่งแต่ละแบบก็ทำให้เครื่องประดับนั้นมีสไตล์ที่แตกต่างกันและเพิ่มมูลค่าให้กับเครื่องประดับ[5]

3.8 การลงยาสี

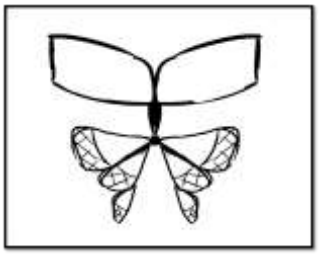
ยาสีเย็น หรือเรซิ่นปัจจุบันสามารถหาซื้อได้ง่าย ซึ่งจะประกอบไปด้วยตัวเร่งแข็ง และตัวเรซิ่น อัตราส่วนผสมของยาสีเย็นนั้นไม่แน่นอนขึ้นอยู่ที่ชนิดของน้ำยาซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นอัตราส่วนที่ 2:1 หรือ 1:1 ส่วนสีสันของเรซินจะเป็นสีเฉพาะที่ใช้ส่วนผสมกับเรซิ่นเท่านั้น[6]

3.9 การประเมิน

ประเมินผลจากกลุ่มตัวอย่างผู้ใช้งานด้วยวิธีการประเมินผ่าน google form

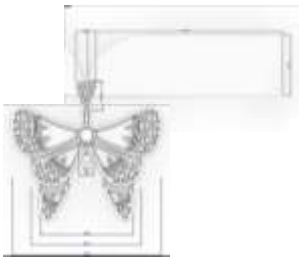
4. ขั้นตอนการดำเนินงาน

4.1 การร่างแบบ การออกแบบเครื่องประดับชุดจากเครื่องเบญจรงค์ โดยการร่างแบบลงในกระดาษ ที่ผ่านการคิดสร้างสรรค์และวิเคราะห์รูปแบบในเรื่องของสี ขนาดตามความเหมาะสมของชิ้นงาน และนำลวดลายในเครื่องเบญจรงค์เป็นจุดเด่น ลวดลายที่นำมาใช้ทางผู้วิจัยได้พัฒนามาจากรูปภาพในหนังสือ จนได้แบบเครื่องประดับที่ตรงความต้องการของผู้วิจัย



รูปที่ 1 การร่างแบบเครื่องประดับจากเครื่องเบญจรงค์

4.2 การวิเคราะห์แบบ ชุดเครื่องประดับ ประกอบด้วยเครื่องประดับคอพร้อมจี้ โดยกำหนดขนาดเครื่องประดับ ดังนี้



รูปที่ 2 กำหนดขนาดเครื่องประดับ

4.3 การขึ้นต้นแบบ ใช้การขึ้นต้นแบบสองวิธี คือ การขึ้นต้นแบบด้วยโลหะและขึ้นต้นแบบด้วยคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3 ชิ้นงานสร้อยโดยการขึ้นต้นแบบโลหะ



รูปที่ 4 ชิ้นงานจี้ โดยการขึ้นต้นแบบด้วยเครื่องRP

4.4 การหล่อ นำแบบเทียนที่ได้จากการปริ๊นซ์ RP ไปติดต้นเสร็จแล้วจะนำไปสวมประกอบเข้ากับกระบอกเหล็ก ทำการเทปูน นำเบ้าที่เทปูนเสร็จแล้วเข้าเครื่องอบปูนและเข้าเครื่องหล่อดูดสุญญากาศ หลังจากนั้นก็นำกระบอกปูนมาจุ่มน้ำเพื่อลดความร้อนและละลายปูน ให้เหลือแต่เพียงตัวชิ้นงาน



รูปที่ 5 ชิ้นงานที่หล่อเสร็จสมบูรณ์

4.5 การฝังอัญมณี หลังจากที่ขัดแต่งชิ้นงานเสร็จเรียบร้อยแล้ว นำชิ้นงานประกอบและไปฝังพลอย CZ โดยการฝังไข่ปลาและฝังหุ้มตามแบบชิ้นงาน
4.6 การชุบโลหะ หลังจากได้ตัวเครื่องประดับทองเหลืองที่หล่อออกมาแล้ว นำชิ้นงานไปขัดแต่งและนำตัวชิ้นงานไปทำความสะอาดแล้วลงชุบพื้นผิวเครื่องประดับ โดยสีที่ทางผู้วิจัยได้ทำการชุบคือสีทอง



รูปที่ 6 ชิ้นงานที่ชุบทอง

4.7 การลงยาสี เทคนิคที่ใช้คือการลงยาสีเย็น สีที่จะใช้ลงมี 3 สี แดง ขาว และน้ำเงิน โดยการผสมน้ำยาเรซิ่นกับตัวเร่งแข็งให้เข้ากันด้วยอัตราส่วน 1:1 แล้วนำสีน้ำเงินมาผสม เสร็จแล้วนำยาสีที่ผสมเสร็จมาลงบนชิ้นงาน เมื่อเสร็จแล้วทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ให้แห้งสนิทจะได้สีตามงานเบญจรงค์



รูปที่ 7 การลงยาสีชิ้นงาน

5. การวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

การดำเนินงานจัดทำงานวิจัย การศึกษาลวดลายและสีงานเบญจรงค์เพื่อประยุกต์ใช้ในการออกแบบเครื่องประดับสมัยใหม่ โดย ดำเนินงานการผลิตตามขั้นตอนการดำเนินงาน จึงได้เครื่องประดับชุดจากเครื่องเบญจรงค์



รูปที่ 8 ชิ้นงานที่เสร็จสมบูรณ์

คณะผู้วิจัยการศึกษาลวดลายและสีงานเบญจรงค์เพื่อประยุกต์ใช้ในการออกแบบเครื่องประดับสมัยใหม่ ได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยทางคณะผู้วิจัยได้ทำแบบสอบถามออนไลน์กับกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 100 คน คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ จากนั้น สรุปความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถามว่าความสนใจด้านใด แยกแยะเป็นหัวข้อและจัดลำดับ ซึ่งได้รับความร่วมมือจากผู้ตอบแบบสอบถามจึงทำให้การทำโครงการสำเร็จลุล่วงเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

6. สรุปผล

จากการจัดทำวิจัยเรื่อง การศึกษาลวดลายและสีงานเบญจรงค์เพื่อประยุกต์ใช้ในการออกแบบเครื่องประดับสมัยใหม่ คณะผู้วิจัยได้เริ่มต้นจากการศึกษาข้อมูลต่าง ๆ ในการทำเครื่องประดับครั้งนี้ โดยเริ่มจากการศึกษาศิลปวัฒนธรรมและความเป็นมาของงานเบญจรงค์ รวมไปถึงลวดลายการประยุกต์ใช้ในการศึกษาทางด้านเทคนิคและทฤษฎีที่ใช้ในกระบวนการผลิต เพื่อนำมาออกแบบชิ้นงานให้สมจริงและสอดคล้องกับหัวข้อวิจัย พร้อมวิเคราะห์แบบควบคู่กับการศึกษารายละเอียดของเนื้อหา ดังนั้นในการดำเนินการวางแผนงานในแต่ละขั้นตอนทำให้เมื่อเกิดปัญหาจะสามารถแก้ไขได้ ทำให้ได้ชิ้นงานที่สมบูรณ์สวยงาม และจากผลการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยแจกแบบสอบถามประเมินความพึงพอใจผ่านระบบออนไลน์ Google Form กับกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 100 คน ประกอบไปด้วยกลุ่มสตรี วัยรุ่นและวัยทำงาน คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ จากนั้นสรุปความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ว่ามีความสนใจด้านใดโดยแยกเป็นหัวข้อและจัดลำดับ ในการดำเนินการจัดทำ ผู้วิจัยได้รับความร่วมมือ

เป็นอย่างดี จากผู้ตอบแบบประเมินความพึงพอใจต่อชุดเครื่องประดับ พบว่าในด้านความคิดสร้างสรรค์ได้รับความพึงพอใจมากที่สุดคือ ลวดลายสื่อถึงความเป็น เอกลักษณ์ของเครื่องประดับคิดเป็นร้อยละ 63 ในด้านประโยชน์ใช้สอยได้รับความพึงพอใจมากที่สุดคือ สามารถตอบสนองความพึงพอใจของผู้ใช้คิดเป็นร้อยละ 51 และในด้านความสวยงามได้รับความพึงพอใจมากที่สุดคือ ความสวยงามของตัวเรือนเครื่องประดับคิดเป็นร้อยละ 63 และได้รับความพึงพอใจในระดับน้อยที่สุดคือ รูปแบบและขนาดมีความเหมาะสมกับสรีระของผู้สวมใสและสามารถนำไปสวมใส่ได้หลายโอกาส คิดเป็นร้อยละ 1 ตามลำดับ และจากผู้เชี่ยวชาญตอบแบบประเมินความพึงพอใจต่อชุดเครื่องประดับพบว่า ด้านความคิดสร้างสรรค์ได้รับความพึ่งพอใจมากที่สุดคือ ลวดลายสื่อถึงความเป็นเอกลักษณ์ของเครื่องประดับคิดเป็นร้อยละ 70 ในด้านประโยชน์ใช้สอยได้รับความพึ่งพอใจมากที่สุดคือ รูปแบบและขนาดมีความเหมาะสมกับสรีระของผู้สวมใส่ คิดเป็นร้อยละ 57 และด้านความสวยงามได้รับความพึ่งพอใจมากที่สุด ความสวยงามของตัวเรื่อนเครื่องประดับ คิดเป็นร้อยละ 75

7. กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างดีจากผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่าน ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยมาโดยตลอด และขอกราบขอบพระคุณทุกท่านที่ให้คำแนะนำและข้อคิดที่เป็นประโยชน์เพื่อการพัฒนาต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] จักรกฤษณ์ ยิ้มแฉ่ง.(2558) เอกสารประกอบการสอนวิชา งานแว็กซ์. งานหล่อ. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

[2] ผศ.ปริศนา บุญศักดิ์. ตำราประกอบการเรียนวิชา คอมพิวเตอร์เพื่อการออกแบบเครื่องประดับ. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

[3] ผศ.ปริศนา บุญศักดิ์. เอกสารประกอบการสอนวิชา นวัตกรรมการออกแบบและวิเคราะห์แบบเครื่องประดับ. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

[5] วรัญชลีย์ ทวีชัย. เอกสารประการสอนวิชา งานประดับอัญมณี,เอกสารประการสอนวิชา ชุบเคลือบผิวเครื่องประดับ. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

[6] ศศนันท์ ศรีเพ็ชร์พันธุ์. ศึกษาและพัฒนางานออกแบบเครื่องประดับสกุลช่างสุโขทัยให้ร่วมสมัย. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศิลปากร.

[7] ศูนย์ส่งเสริมศิลปาชีพระหว่างประเทศ(องค์การมหาชน). งานศิลปหัตถกรรมประเภทเบญจรงค์ (เขียน-วาดลายด้วยมือ). สืบค้นเมื่อวันที่ 11 พ.ย. 2565

ประวัติผู้เขียนบทความ



นายธีรวัฒน์ แม้นด้วง
อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตเครื่องประดับ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
งานวิจัยที่สนใจ : โลหะมีค่าในงานเครื่องประดับ



นางสาวณัฐศรา ใจดี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
งานวิจัยที่สนใจ : โลหะมีค่าในงานเครื่องประดับ



นายกรกช สัมฤทธิ์
อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตเครื่องประดับ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
งานวิจัยที่สนใจ : โลหะมีค่าในงานเครื่องประดับ

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

การออกแบบเครื่องประดับร่วมสมัย กรณีศึกษาลวดลายกระติบข้าวจังหวัดสุรินทร์

Contemporary Jewelry Design A Case Study of Kratib Khao PatternSurin Province

วรัญชลีย์ ทวีชัย[1*] นครินทร์ บุญเกิด [2] รัตนภรณ์ ใจปันธิ[3]

[1,2,3] สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตเครื่องประดับ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร

Waruncharee-t@rmutp.ac.th[3*]

บทคัดย่อ

การออกแบบเครื่องประดับร่วมสมัย กรณีศึกษาลวดลายกระติบข้าว จังหวัดสุรินทร์ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาลวดลายกระติบข้าวที่จังหวัดสุรินทร์ เพื่อประยุกต์ใช้ในออกแบบเครื่องประดับจากลวดลายกระติบข้าว จังหวัดสุรินทร์ และเพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้เชี่ยวชาญ ผู้บริโภคเครื่องประดับชุดกระติบข้าว จนได้ลวดลายที่มีความสวยงามเป็นเอกลักษณ์ที่โดดเด่นมาออกแบบ และมีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ในการสร้างเครื่องประดับ โดยได้ศึกษาทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ วัสดุที่ใช้ในการทำเครื่องประดับ การออกแบบและวิเคราะห์รูปแบบเครื่องประดับ การสร้างต้นแบบเครื่องประดับด้วยโลหะ การหล่อโลหะ การชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า และการลงยาสี จากนั้นประเมินความพึงพอใจจากผู้เชี่ยวชาญด้านออกแบบเครื่องประดับจากลวดลายกระติบข้าว จังหวัดสุรินทร์ จำนวน 3 ท่าน โดยผู้เชี่ยวชาญประเมินแบบ 3 ด้าน ดังนี้ ด้านความสวยงาม ด้านความคิดสร้างสรรค์ และด้านประโยชน์ใช้สอย ผู้เชี่ยวชาญมีความพึงพอใจในรูปแบบที่ 1 มากที่สุด ซึ่งผู้วิจัยได้เลือก ชุดเครื่องประดับรูปแบบที่ 1 นำมาผลิตเป็นชุดเครื่องประดับ และได้สรุปผลการประเมินความพึงพอใจจากผู้บริโภคจากแบบสอบถามออนไลน์ ซึ่งเป็นกลุ่มตัวอย่างที่ได้มาโดยการเลือกแบบสุ่มผู้บริโภคเครื่องประดับจำนวน 100 คน นำมาคำนวณเป็นร้อยละจาก 3 ปัจจัยที่กำหนด โดยได้ข้อสรุปดังนี้ ด้านความคิดสร้างสรรค์ มากที่สุด ร้อยละ 79 ด้านการประโยชน์ใช้สอยมากที่สุด ร้อยละ 81 ด้านความสวยงามมากที่สุด ร้อยละ 83 ซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์

คำสำคัญ : ลวดลายกระติบ , ข้าวสุรินทร์ , เครื่องประดับร่วมสมัย

Abstract

Contemporary Jewelry Design A case Study of Kratib Khao Pattern Surin Province Objectives were to study and develop rice Kratib patterns in Surin Province. to be applied in the design of jewelry from Kratib Khao pattern Surin Province and to assess the satisfaction of experts. Consumers of Kratib Khao ornaments Until getting a pattern that is beautiful, unique and outstanding to design and the application of modern technology to create jewelry. The related theories were studied, including materials used in jewelry making, design and analysis of jewelry styles. Metal jewelry prototyping, metal casting, electroplating and enameling. Then evaluate the satisfaction of jewelry designers from Kratib Khao patterns. Surin Province, 3 persons, by experts assessing in 3 aspects as follows: beauty Creativity and usability Experts were most satisfied with Model 1, which the researcher had chosen. The first type of jewelry set is used to produce a set of jewelry. and summarized the results of the satisfaction assessment from consumers. from online questionnaire which is a sample group obtained by random selection of 100 jewelry consumers, calculated as a percentage from 3 determined factors with the following conclusions: Creativity the most, 79 percent, the most useful, 81 percent, the beauty the most, 83 percent, which is in accordance with the objectives.

Keywords : Kratib pattern, Surin Rice , Contemporary Jewelry

1. บทนำ

กระติบข้าว จังหวัดสุรินทร์ คือ ภาชนะในการเก็บอาหารที่เป็นงานหัตถกรรมอันทรงคุณค่าชนิดหนึ่งที่มากด้วยภูมิปัญญาท้องถิ่นเป็นของที่มีประจำบ้านของชาวไทยทางภาคอีสานและภาคเหนือมายาวนาน ใช้สำหรับบรรจุข้าวเหนียวที่นึ่งสุกแล้วหรือใช้เก็บเมล็ดพันธุ์พืช หรือแม้แต่ใช้เป็นเครื่องประดับในครัวเรือนหรือประดับในพิพิธภัณฑ์ประวัติศาสตร์ต่างๆ เป็นเครื่องจักสานที่ทำจากวัสดุธรรมชาติ เช่น ไม้ไผ่ ใบจาก ใบตาล ใบลาน ต้นคล้า หรือ จากต้นพืชที่มีลักษณะยาวเรียว (วิสาหกิจชุมชนกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรจักสานคูณน้อยนางสาวจอมใจ แพนสิงห์) ลวดลายในการจักสานเพื่อขึ้นรูปทรงของเครื่องจักสานนั้นเป็นวิธีที่มีแบบแผน และมีระบบระเบียบอย่างหนึ่ง เพื่อการสร้างโครงสร้างของเครื่องจักสานให้เกิดดการเชื่อมต่อซ้ำๆ กันไป โดยใช้ลักษณะการขัดกันของเส้นตอกหรือวัสดุอื่น ที่ใช้จักสานได้เพื่อให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างกันจนเป็นผืนแผ่นเพื่อเป็นผนังของโครงสร้างเครื่องจักสานตามต้องการ (ศักดิ์ชาย สิกขา 2544 : 15) ซึ่งลวดลายที่เกิดขึ้นถือได้ว่าเป็นการปรับปรุงแก้ไขของมนุษย์ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน โดยมนุษย์นั้นพบว่า สิ่งที่ธรรมชาติสร้างให้มีความไม่เหมาะสมสอดคล้องต่อการนำไปใช้งาน มนุษย์จึงเริ่มต้นปรับปรุง เปลี่ยนแปลงลักษณะรูปทรงของสิ่งต่างๆ รอบตัว และการที่มนุษย์ดัดแปลงรูปทรงของสิ่งแวดล้อมนับว่ามนุษย์ได้เริ่มต้น การออกแบบ (นวลน้อย บุญวงษ์ 2539 : 8)

จากการศึกษาที่มาและความสำคัญดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะออกแบบเครื่องประดับร่วมสมัยโดยการศึกษาลวดลายกระติบข้าวจังหวัดสุรินทร์ แล้วนำลวดลายมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบเครื่องประดับมีความทันสมัยและคำนึงถึงประโยชน์ใช้สอย เพื่อเป็นการ

ส่งเสริมการอนุรักษ์ และนำเทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาช่วยในการทำเครื่องประดับจากลวดลายกระติบข้าวจังหวัดสุรินทร์

2. วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาลวดลายกระติบข้าว จังหวัดสุรินทร์

1.2.2 เพื่อประยุกต์ใช้ในออกแบบเครื่องประดับจากลวดลายกระติบข้าว จังหวัดสุรินทร์

1.2.3 เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้เชี่ยวชาญ ผู้บริโภคชุดเครื่องประดับจากลวดลายกระติบข้าว จังหวัดสุรินทร์

3. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การออกแบบเครื่องประดับร่วมสมัย กรณีศึกษาลวดลายกระติบข้าว จังหวัดสุรินทร์ มีแนวทางในการศึกษาโดยใช้กรอบแนวคิดดังต่อไปนี้

3.1 ศึกษารูปแบบลวดลายกระติบข้าว จังหวัดสุรินทร์ ผู้วิจัยได้ศึกษาตามแนวคิด ของ วัฒนะ จูฑะวิภาต (2535:3) โดยสรุปเป็นกรอบในการศึกษาดังนี้

1. ด้านปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการสร้างสรรค์เครื่องประดับ
2. ด้านลวดลาย
3. ด้านวัสดุและกระบวนการผลิต

3.2 ศึกษาหลักการออกแบบเครื่องประดับ ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามแนวคิดเรื่อง หลักการออกแบบเครื่องประดับของ วัฒนะ จูฑะวิภาต (2545:73 - 113) โดยสรุปเป็นกรอบในการศึกษา ดังนี้

1. หลักการออกแบบเครื่องประดับด้านความสวยงาม
   - พื้นฐานการออกแบบ
   - หลักการออกแบบด้านความคิดสร้างสรรค์
   - องค์ประกอบการออกแบบ
   - การประยุกต์รูปแบบและลวดลาย
2. ด้านประโยชน์ใช้สอย
   - ความเหมาะตามสรีระของผู้สวมใส่
   - ความสะดวกง่ายต่อการใช้งาน
   - ความปลอดภัยในการสวมใส่
   - การบำรุงรักษาเครื่องประดับ

3.3 เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้บริโภค สามารถนำกรอบแนวคิดและทฤษฎีมาประยุกต์ใช้ในขั้นตอนการหาค่าและประเมินความพึงพอใจดำเนินตามกรอบแนวคิด ของ วัฒนะ จูฑะวิภาค (2545:73-113) ดังนี้

1. ด้านความคิดสร้างสรรค์
2. ด้านประโยชน์ใช้สอย
3. ด้านความสวยงาม

4. วิธีดำเนินการวิจัย

ในการออกแบบเครื่องประดับร่วมสมัย กรณีศึกษาลวดลายกระติบข้าว จังหวัดสุรินทร์ โดยผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อให้สอดคล้องตามวัตถุประสงค์ ดังนี้

4.1 ศึกษาลวดลายกระติบข้าว จังหวัดสุรินทร์ ได้แก่ ข้อมูลด้านลายที่ใช้ในการออกแบบเครื่องประดับ

4.2 ออกแบบเครื่องประดับจากลวดลายกระติบข้าว จังหวัดสุรินทร์ โดยใช้ทฤษฎีการออกแบบเครื่องประดับ วิศวกรรมย้อนรอย (วัฒนะ จูฑะวิภาค 2545:73-113) ในการประเมินความเหมาะสมของรูปแบบชุดเครื่องประดับ และประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบและการผลิตเครื่องประดับ จำนวน 3 ท่าน

4.3 เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้เชี่ยวชาญ ผู้บริโภคเครื่องประดับชุด กระติบข้าวจังหวัดสุรินทร์

4.3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร คือ ผู้บริโภคเครื่องประดับ จำนวน 100 คน

กลุ่มตัวอย่าง คือ ผู้บริโภคเครื่องประดับ จำนวน 100 คน โดยใช้เครื่องมือแบบสอบถาม เป็นการสุ่มแบบบังเอิญ

4.3.2 ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

ตัวแปรต้น ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ชุดเครื่องประดับจากลวดลายกระติบข้าว จังหวัดสุรินทร์

วัสดุและกรรมวิธีการผลิตเครื่องประดับ

ตัวแปรตาม ได้แก่ ความพึงพอใจผู้บริโภคที่มีต่อชุดเครื่องประดับจากลวดลายกระติบข้าว จังหวัดสุรินทร์

4.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ผู้วิจัยได้สร้างแบบสอบถาม (Questionnaire) เป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล จากผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบและการผลิตเครื่องประดับ

4.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

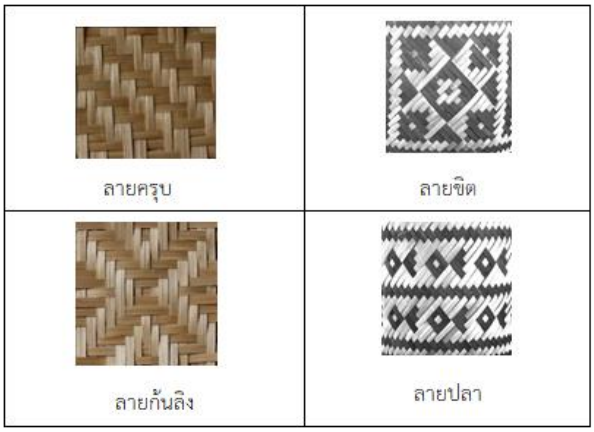
ผู้วิจัยนำข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถาม มาวิเคราะห์โดยหาค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation : S.D.) โดยแบ่งเกณฑ์ในการแปลความหมายของค่าเฉลี่ย ดังนี้

4.51 – 5.00 หมายถึง มากที่สุด
3.51 – 4.50 หมายถึง มาก
2.51 – 3.50 หมายถึง ปานกลาง
1.51 – 2.50 หมายถึง น้อย
1.00 – 1.50 หมายถึง น้อยที่สุด

5. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

จากการศึกษาผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะออกแบบเครื่องประดับร่วมสมัย ผู้วิจัยได้ดำเนินงานและวิเคราะห์ข้อมูลจากการศึกษาให้สอดคล้องตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยที่กำหนดไว้ เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลตามวัตถุประสงค์ ดังนี้

5.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลรูปแบบลวดลายกระติบข้าว จังหวัดสุรินทร์ พบว่า มีลวดลายที่ได้รับความนิยมและน่าสนใจในการนำมาประยุกต์ใช้มีจำนวน 17 ลวดลาย คือ ลายสามขึ้นลง ลายดีหล่ม ลายครุ ลายครุบ ลายก้นลิง ลายสาม ลายกระดังฝัด ลายตาแหลวมืด ลายสองขึ้นลง ลายข้างกระแต ลายตาแหลว (ลายเฉลว) ลายสอง ลายหน่วย ลายดอกผักแว่น ลายขอ ลายขิต ลายปลา เป็นต้น [2]



รูปที่ 1 ลวดลายจักสานกะติบ [2]

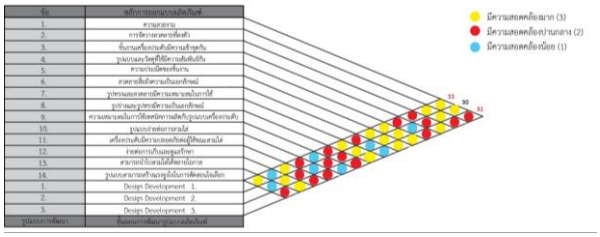
จากการศึกษาลวดลายกระติบข้าว ผู้วิจัยได้นำลวดลายขิตและลวดลายปลามาใช้ในการออกแบบเครื่องประดับ

5.2. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการออกแบบชุดเครื่องประดับจากลวดลายกระติบข้าว จังหวัดสุรินทร์ในการออกแบบครั้งนี้ผู้วิจัยได้ใช้แนวความคิดในการออกแบบจากลวดลายช้างที่เป็นเอกลักษณ์ของจังหวัดสุรินทร์ และลวดลายขิตและลวดลายปลาจากแบบจักสาน มาใช้ในการออกแบบ โดยได้นำกรอบแนวคิดของ วัฒนะ จูฑะวิภาค (การออกแบบเครื่องประดับ 2545:73-113)



รูปที่ 2 การออกแบบชุดเครื่องประดับ 3 รูปแบบ

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์รูปแบบชุดเครื่องประดับ 3 แบบ โดยใช้ทฤษฎีการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ วิศวกรรมย้อนรอย



การวิเคราะห์สรุปผลตัดทอนรูปแบบเครื่องประดับชุด กระติบข้าวจังหวัดสุรินทร์ รูปแบบที่ 1-3 โดยใช้ทฤษฎีวิศวะกรรมย้อนรอย พบว่า รูปแบบที่มีค่าคะแนนสูงสุด ได้แก่ รูปแบบที่ 1 มีค่า 33 คะแนน รองลงมารูปแบบที่ 3 มีค่า 31 คะแนน และรูปแบบที่ 2 มีค่า 30 คะแนน

จากการประเมินรูปแบบเครื่องประดับชุด กระติบข้าวจังหวัดสุรินทร์ โดยผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบและการผลิตเครื่องประดับ พบว่า ผู้เชี่ยวชาญมีความคิดเห็นสอดคล้องกันว่า ชุดเครื่องประดับรูปแบบที่ 1 มีความเหมาะสมมากที่สุด รองลงมาคือ รูปแบบที่ 3 รองลงมาคือ รูปแบบที่ 2 ตามลำดับ

5.2.1 การกำหนดขนาดชุดเครื่องประดับจากลวดลายกระติบข้าว จังหวัดสุรินทร์



รูปที่ 3 การกำหนดขนาดเครื่องประดับ

5.2.2 การขึ้นต้นแบบ ใช้การขึ้นต้นแบบสองวิธี คือ การขึ้นต้นแบบด้วยคอมพิวเตอร์และการขึ้นต้นแบบด้วยโลหะ



รูปที่ 4 ชิ้นงานที่ทำการขึ้นต้นแบบโลหะ

5.2.3 การขัดแต่งตัวเรือนเครื่องประดับ นำชิ้นงานไปขัดตกแต่งผิวเก็บรายละเอียดชิ้นงาน ไม่ให้เห็นรอยบริเวณทางฉลุและบริเวณผิวที่เป็นรอยจากกระบวนการขัดแต่ง



รูปที่ 5 ชิ้นงานที่ขัดแต่ง

5.2.4 การชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า หลังจากได้ตัวเครื่องประดับเงินที่นำชิ้นงานไปขัดแต่งและนำตัวชิ้นงานไปทำความสะอาดแล้วนำเข้าสู่กระบวนการชุบเคลือบผิวเพื่อให้ชิ้นงานมีความเงางาม

5.2.5 การลงยาสี เทคนิคที่ใช้คือการลงยาสีเย็น โดยการผสมน้ำยาเรซิ่นกับตัวเร่งแข็งให้เข้ากันด้วยอัตราส่วน 1:1 แล้วนำสีมาผสม แล้วนำมาทาลงบนชิ้นงาน เมื่อเสร็จแล้วทิ้งไว้ให้แห้งสนิท



รูปที่ 6 ชิ้นงานลงยาสี



รูปที่ 7 ชิ้นงานเสร็จสมบูรณ์

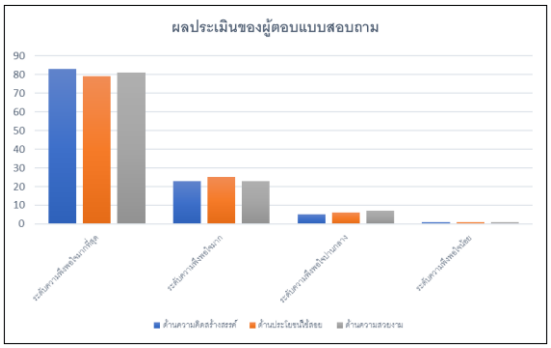
5.3 ผลการวิเคราะห์แบบประเมินความพึงพอใจผู้บริโภคที่มีต่อชุดเครื่องประดับจากลวดลายกระติบข้าว จังหวัดสุรินทร์จำนวน 100 คน พบว่า

ด้านความคิดสร้างสรรค์มีระดับความพึงพอใจมากที่สุด คือ ลวดลายสื่อถึงความเป็นเอกลักษณ์ แสดงความพอใจมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 79

ด้านประโยชน์ใช้สอยมีระดับ ความพึงพอใจมากที่สุด คือ รูปแบบและขนาดมีความเหมาะสม แสดงความพอใจมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 81

ด้านความสวยงามมีระดับความพึงพอใจมากที่สุด คือ ความสวยงามของตัวเรือนเครื่องประดับ แสดงความพอใจมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 83

สรุปผลวิเคราะห์ความพึงพอใจกลุ่มกลุ่มผู้บริโภค ที่มีต่อผลิตภัณฑ์ชุดเครื่องประดับจากลวดลายกระติบข้าว จังหวัดสุรินทร์ มีความพึงพอใจในระดับมากสุด คือ ความสวยงามของตัวเรือนเครื่องประดับ แสดงความพอใจมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 83



รูปที่ 8 แผนภูมิแสดงข้อมูลโดยสรุปของแบบประเมินความพึงพอใจ

6. สรุปผล

การศึกษาลวดลายและสีงานกระติบข้าวจังหวัดสุรินทร์เพื่อประยุกต์ใช้ในการออกแบบเครื่องประดับสมัยใหม่ ผู้วิจัยได้เริ่มต้นจากการศึกษาข้อมูลต่าง ๆ ในการทำเครื่องประดับครั้งนี้ โดยเริ่มจากการศึกษาศิลปวัฒนธรรมและความเป็นมาของงานกระติบข้าว รวมไปถึงการศึกษาทางด้านเทคนิคและทฤษฎีที่ใช้ในกระบวนการผลิต เพื่อนำมาออกแบบชิ้นงานให้สมจริง พร้อมวิเคราะห์แบบควบคู่กับการศึกษารายละเอียดของเนื้อหา ดังนั้นในการดำเนินการวางแผนงานในแต่ละขั้นตอนทำให้เมื่อเกิดปัญหาจะสามารถแก้ไขได้ ทำให้ได้ชิ้นงานที่สมบูรณ์สวยงาม และจากผลการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยแจกแบบสอบถามประเมินความพึงพอใจผ่านระบบออนไลน์ Google Form กับกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 100 คน ผลการวิเคราะห์แบบประเมินความพึงพอใจผู้บริโภคที่มีต่อชุดเครื่องประดับจากลวดลายกระติบข้าว จังหวัดสุรินทร์จำนวน 100 คน พบว่า ด้านความคิดสร้างสรรค์มีระดับความพึงพอใจมากที่สุด คือ ลวดลายสื่อถึงความเป็นเอกลักษณ์ แสดงความพอใจมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 79 ด้านประโยชน์ใช้สอยมีระดับ ความพึงพอใจมากที่สุด คือ รูปแบบและขนาดมีความเหมาะสม แสดงความพอใจมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 81 ด้านความสวยงามมีระดับความพึงพอใจมากที่สุด คือ ความสวยงามของตัวเรือนเครื่องประดับ แสดงความพอใจมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 83

7. กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างดีจากผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่าน ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยมาโดยตลอดและขอกราบขอบพระคุณทุกท่านที่ให้คำแนะนำและข้อคิดที่เป็นประโยชน์

เอกสารอ้างอิง

[1] กระติบข้าวจังหวัดสุรินทร์.(ออนไลน์) สืบค้นจาก วิสาหกิจชุมชนกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรจักสานคูณน้อยนางสาวจอมใจ แพนสิงห์ สืบค้นเมื่อเมื่อ 10 มกราคม 2566

[2] ประทักษ์ คูณทอง.การศึกษาลวดลายหัตถกรรมเครื่องจักสานพื้นบ้านท้องถิ่น เพื่อเปนแนวทางในการออกแบบและพัฒนาลวดลายบนเครื่องเรือน : กรณีศึกษา กลุ่มหัตถกรรมเครื่องจักกสานบ้านหนองขอน อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธาน

[3] ลำเพา ลาพันธ์,รักชาติ ท่าโพธิ์.การศึกษาสมบัติทางกายภาพของกระติบข้าวที่สานด้วยไม้ไผ่ กก และคล้า. (2016)

[4] วิบูลย์ลี้สุวรรณ. 2532. ศิลปหัตถกรรมไทย. กรุงเทพฯ : ด่านสุทธาการพิมพ์.

[5] วรรณรัตน์ อินทร์อ่ำ.(2536). ศิลปเครื่องประดับ กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์

[6] วัฒนะ จูฑะวิภาต.(2545).การออกแบบเครื่องประดับ.กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[7] ศักดิ์ชาย สิกขา.(2552).ต่อยอดภูมิปัญญาหัตถกรรม. อุบลราชธานี : โรงชพิมพ์มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ประวัติผู้เขียนบทความ



นางสาววรัญชลีย์ ทวีชัย
อาจารย์ สาขาวิศวกรรมการผลิตเครื่องประดับ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
งานวิจัยที่สนใจ : การออกแบบเครื่องประดับ



นายนครินทร์ บุญเกิด
นักศึกษา สาขาวิศวกรรมการผลิตเครื่องประดับ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
งานวิจัยที่สนใจ : การออกแบบเครื่องประดับ



นางสาวรัตนภรณ์ ใจปันธิ
นักศึกษา สาขาวิศวกรรมการผลิตเครื่องประดับ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
งานวิจัยที่สนใจ : การออกแบบเครื่องประดับ

ดรรชนีผู้เขียนบทความ

ก	หน้า
กฤษณะ เศวตโพธิทอง	51
กฤษดา เสือเอี่ยม	293
กันยารัตน์ เอกเอี่ยม	112
กาญจนา สันติปาตี	24
เกรียงวุฒิ วรุณสิน	136

ค	หน้า
คชพงศ์ สุมานนท์	199

จ	หน้า
จักรพันธ์ นันทพันธุ์กุล	273
จุฑารัตน์ อินทรีย์นันทน์	238

ช	หน้า
ชัยภัทร ถาวรโลหะ	332
ชายชาตรี ศรีโท	20
ชิษณุ อัมพรายน์	326
โชคชัย จำปีเรือง	7
ไชยา สุภัคเจริญศรี	55

ญ	หน้า
ญาตินันท์ ทองเนียม	203

ณ	หน้า
ณัฏฐกิตติ์ พลเมืองดี	187
ณัฐกิตติ์ กาบุตร	99
ณัฐพงศ์ พันธุนะ	118
ณัฐพร แซ่ผ้าง	87

ต	หน้า
ต้าย บัณฑิศักดิ์	91

ธ	หน้า
ธนพัฒน์ น้ำจันทร์	305
ธนพัต ว่องธัญกิจ	13
ธนพันธ์ นววงศานันต์	222
ธนวัฒน์ แข็งแรง	359
ธนะกิจ วัฒกีกำธร	193
ธเนศ อุ่นชัยศรี	343
ธวัชชัย ภัทรดนัย	148
ธัชกร พลเสนา	268
ธีรวัฒน์ แม้นด้วง	394

น	หน้า
นพพล รุ่งเรือง	154
นริศรา นาคเมธี	262
นเรศ ชลังสุทธิ์	108
นิโรจน์ เงินพรหม	299

บ	หน้า
บุรินทร์ ทองเกลี้ยง	320
บูชิต มาโห้	309
เบญญาภา ธันวารชร	65

ป	หน้า
ปณัฐ มณีพงษ์เศรษฐ	130
ประภัสรา ว่องวัฒนกูล	142
ประเสริฐ วิโรจน์ชีวัน	46
ปริศนา บุญศักดิ์	389
ปิติ อนนตพันธ์	1

ดรรชนีผู้เขียนบทความ

พ	หน้า
พรพิศ ศิริมา	166
พลกฤษณ์ จริยตันติเวทย์	176
พิษณุ ทองขาว	172
แพรวพธู เพียรชูชัย	36
ไพจิตร ผาวัน	337
ภ	**หน้า**
ภัทรชัย พงศ์โสภา	315
ม	**หน้า**
มานะชัย พรมดี	181
ร	**หน้า**
รชต ชัยเมือง	371
รัฐนันท์ ราษฎรปราณี	75
รุ่งโรจน์ สุพงษ์วิบูลพันธ์	283
ว	**หน้า**
วรมันต์ เจริญรักษา	253
วรัญชลีย์ ทวีชัย	398
วัชระ สมจิตต์	95
วิภวา อัศวโนดม	41
วีรวรรณ จันทนะทรัพย์	208
ศ	**หน้า**
ศักดิ์ชัย ไตรศรี	258
ศักดิ์ชาย รักการ	365
ศิวกร ดีชูศร	233
ศุวิล ชมชัยยา	227
เศรษฐการ สุริโย	383

ส	หน้า
สมพงษ์ เชื้อพระคา	160
สิงห์แก้ว ป๊อกเที่ง	288
สิริพงศ์ วรประชา	243
สุกัญญา เชิดชูงาม	277
สุขสวรรค์ คำวงศ์	214
สุธินนท์ พัชรัชต์วิรากุล	348,353
สุรัตน์ อินทรเพชร	30
ห	**หน้า**
หัสวรรษ ศิริลักษณ์	249
อ	**หน้า**
อติศักดิ์ ไสวอมร	126
อัญญาณี อ้นวงษ์	81
อานนท์ เหมมัน	61
อุดมพงษ์ เกศศรีพงษ์ศา	377
อุดมศักดิ์ โชติมงคล	122
L	**หน้า**
Latdavone Phothilack	103
P	**หน้า**
Prachuab Peerapong	70

รายนามผู้สนับสนุน

คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
๑๓๘๑ ถนนประชาราษฎร์ ๑ แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ
กรุงเทพมหานคร ๑๐๘๐๐
โทรศัพท์ ๐๒-๘๓๖-๓๐๐๐ ต่อ ๔๑๑๘, ๔๒๐๘
เว็บไซต์ http://eng.rmutp.ac.th


AppliCAD
Public Company Limited


สมาคมนักเรียนเก่า
ช่างกลพระนครเหนือ

OUR PARTNERS

MITSUBISHI ELECTRIC FACTORY AUTOMATION

SMC

DOBOT

DAE SUNG G-3

AUTOMATION STUDIO™ E6 Educational Edition

OMRON

YOUIBOT 优艾智合

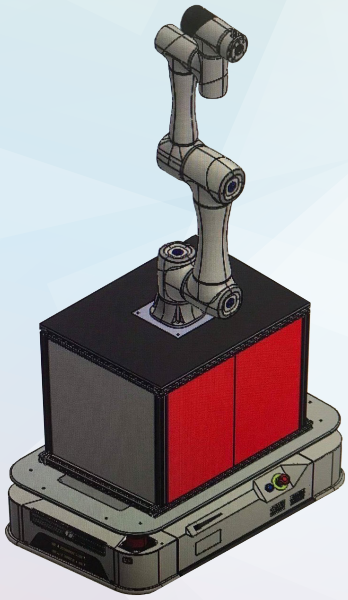
JFAC TRAINING CENTER

HANBACK ELECTRONICS

TERCO

Manufacturer and Distributor

- Pneumatic/Hydraulics Training System
- CIM : Computer Integrated Manufacturing
- Electrical/Electronice Automation System
- Electronic & Telecommunication Technology
- Measuring Instrument
- CNC Training & Simulation Software
- Robot & Intelligent Training System
- Mechatronics Automation Training System
- Training Program & Teaching Aid
- Smart Logistics Technologies System
- AI & IoT Technologies System
- Basic & Advanced Smart Electric Vehicle



Cobot+AGV



Electric Vehicle Integrated System

AUTO DIDACTIC CO.,LTD.
บริษัท ออโต ไดแด็กติก จำกัด
111 Soi Sukhumvit 62/1, Sukhumvit Rd.,
Prakanongtai, Prakanong, Bangkok 10260
Tel. : +662-311-2717(Auto Line)
Fax : +662-332-9372
E-mail : ad@autodidactic.co.th
www.autodidactic.co.th

The 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology 2023

INNOVATION RESEARCH FOR DEVELOPMENT IN SUSTAINABLE ENERGY AND ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY

Proceedings of
The 7th RMTP Conference on
Engineering and Technology 2023
ISBN 978-974-625-991-0

9 789746 259910

www.engcon-rmutp.org
ฝ่ายวิชาการและวิจัย คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กทม. 10800
โทรศัพท์ 02-836-3000 ต่อ 4112, 4113, 4118