

## คำนิยม

ในนามของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ดิฉันขอแสดงความยินดีกับสาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ ได้รับเกียรติร่วมเป็นเจ้าภาพจัดการประชุมวิชาการระดับชาติเพื่อนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม นวัตกรรม และการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 7 ประจำปี 2561 ภายในงาน Eco Innovation Forum 2018 ในวันที่ 28 กันยายน 2561 ณ ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค บางนา โดยความร่วมมือระหว่างมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร (มทร. พระนคร) กับสถาบันน้ำและสิ่งแวดล้อมเพื่อความยั่งยืน สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย (ส.อ.ท.) ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อการถ่ายทอดผลงานวิจัยและพัฒนา ตลอดจนเป็นเวทีส่งเสริมให้มีการแลกเปลี่ยนผลงานวิจัยของประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการวิจัยสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อม สังคม เศรษฐกิจ พลังงานและวัสดุเพื่อความยั่งยืน ซึ่งเป็นผลงานวิจัยจากสถาบันต่างๆ อันจะนำไปสู่แนวทางการพัฒนาต่อยอดผลงานวิจัยให้เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศไทยให้ยั่งยืนต่อไป

ดิฉันเชื่อมั่นเป็นอย่างยิ่งว่า องค์ความรู้จากการวิจัยและพัฒนาที่ได้จากการประชุมวิชาการในครั้งนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อผู้เข้าร่วมประชุมทุกๆ ท่าน และสามารถพัฒนาองค์ความรู้เชิงบูรณาการทางวิศวกรรมและการจัดการธุรกิจที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เพื่อสนับสนุนให้ทุกภาคส่วนเข้ามามีส่วนร่วมในการพัฒนาอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืนร่วมกัน เป็นการสร้างความเข้มแข็งและความมั่นคงของประเทศ สัมกับเจตนารมณ์ของวิชาชีพสืบไป



(รองศาสตราจารย์ สุภัทรา โกไศยกานนท์)

อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

## คำนิยม

ด้วยสถานการณ์ทางด้านเศรษฐกิจและสังคมของประเทศไทยในปัจจุบัน การผลิตบัณฑิตและเสริมสร้างบุคลากรภาคอุตสาหกรรมที่มีความรู้ ความสามารถทางด้านวิศวกรรมและการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืนเป็นสิ่งสำคัญมาก เนื่องจากการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมมุ่งเน้นไปที่การปรับโครงสร้างเศรษฐกิจให้สมดุลและยั่งยืน องค์กรธุรกิจทั้งในภาคอุตสาหกรรมการผลิตและการบริการ สามารถปรับปรุงกระบวนการผลิตสินค้าและบริการให้ได้มาตรฐานตามหลักสากล และลดต้นทุนการผลิต รวมถึงลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติแต่ยังคงมีคุณภาพที่ดี อีกทั้งยังสามารถแข่งขันกับคู่แข่งในตลาดระดับประเทศ ระดับภูมิภาค และระดับโลกได้

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ได้ตระหนักถึงภารกิจที่สำคัญนี้ จึงให้การสนับสนุนสาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน เพื่อผลิตมหาบัณฑิตที่มีความรู้ความสามารถ และคุณธรรม สามารถสร้างสรรค์ผลงานวิจัยและนวัตกรรมใหม่ อีกทั้งเป็นการบริการสังคมในด้านวิชาการ และเป็นที่ประจักษ์ถึงการเติบโตของสาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน ทั้งในเชิงจำนวนมหาบัณฑิต จำนวนคณาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิ และผลงานวิชาการที่มีคุณภาพ

ผมในฐานะคณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ขอแสดงความยินดีกับสาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน ที่ได้รับเกียรติร่วมเป็นเจ้าภาพจัดการประชุมวิชาการระดับชาติเพื่อนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม นวัตกรรม และการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 7 ประจำปี 2561 ภายในงาน Eco Innovation Forum 2018 ในวันที่ 28 กันยายน 2561 ณ ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค บางนา โดยความร่วมมือระหว่างมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครกับสถาบันสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย (ส.อ.ท.) กระผมเชื่อมั่นเป็นอย่างยิ่งว่า การประชุมวิชาการในครั้งนี้ จะสร้างความร่วมมือระหว่างสถาบันการศึกษากับภาคอุตสาหกรรมที่สำคัญของประเทศ ในการพัฒนาความรู้ นวัตกรรมและเทคโนโลยีเพื่อสร้างความเข้มแข็งอย่างยั่งยืนของประเทศ อีกทั้งส่งผลต่อการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศไทยให้มีความก้าวหน้าต่อไป



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิโรจน์ ฤทธิทอง)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

## คำนิยม

สถาบันน้ำและสิ่งแวดล้อมเพื่อความยั่งยืน สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย ได้จัดการประชุมวิชาการและการนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม นวัตกรรม และการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน (Sustainable Industrial Innovation and Management Conference) ครั้งที่ 7 ประจำปี 2561 ร่วมกับสาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการ อุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร พร้อมทั้งจัดทำผลงานวิจัยที่นำเสนอในที่ประชุมวิชาการ (Proceedings) ฉบับนี้ ซึ่งเป็นการรวบรวมผลงานเชิงวิชาการเพื่อให้เป็นสื่อกลางและส่งเสริมให้มีการแลกเปลี่ยนประสบการณ์ต่างๆ ในด้านการพัฒนาอุตสาหกรรมเชิงบูรณาการทางเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม โดยเน้นถึงปัญหาที่เกิดขึ้นจริงในสถานการณ์ปัจจุบัน เพื่อก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด อีกทั้งยังแสดงถึงศักยภาพในการศึกษาและวิจัยของสถาบันต่างๆ ในประเทศอีกด้วย

สถาบันน้ำและสิ่งแวดล้อมเพื่อความยั่งยืน สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย มีความชื่นชมผลงานวิชาการที่เข้าร่วมการประชุมวิชาการในครั้งนี้ และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าผลงานวิจัยที่นำเสนอในที่ประชุมวิชาการ (Proceedings) ฉบับนี้จะเป็นองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ ที่เป็นประโยชน์ต่อผู้ร่วมการประชุมและผู้ที่เกี่ยวข้องทุกคน ในการนำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมของประเทศไทยให้ยั่งยืนสืบไป



(นางสาวพรรรัตน์ เพชรภักดี)

ผู้อำนวยการอาวุโสสถาบันน้ำและสิ่งแวดล้อมเพื่อความยั่งยืน  
สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย

## คณะกรรมการจัดประชุมวิชาการ

การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม นวัตกรรมและการจัดการอุตสาหกรรม

อย่างยั่งยืน “Sustainable Industrial Innovation and Management”

ครั้งที่ 7 ประจำปี 2561 วันที่ 28 กันยายน 2561

ณ ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค บางนา

### ที่ปรึกษาโครงการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

- |  |                            |
|--|----------------------------|
| 1. อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร<br>รองศาสตราจารย์สุภัทรา โกไศยกานนท์         | ประธานที่ปรึกษาด้านวิชาการ |
| 2. รองอธิการบดีฝ่ายบริหารและกิจการสภามหาวิทยาลัย<br>ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศรีจันทร์ โตเลิศมงคล | ที่ปรึกษา                  |
| 3. รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและวิจัย<br>ผู้ช่วยศาสตราจารย์เฟื่องฟ้า เมฆเกรียงไกร             | ที่ปรึกษา                  |
| 4. รองอธิการบดีฝ่ายวางแผนและกายภาพ<br>ผู้ช่วยศาสตราจารย์สทรรัตน์ วงษ์ศรีษะ                 | ที่ปรึกษา                  |
| 5. รองอธิการบดีฝ่ายการคลังและทรัพย์สิน<br>ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุใจ พรเจิมกุล                 | ที่ปรึกษา                  |
| 6. รองอธิการบดีฝ่ายกิจการนักศึกษาและศิษย์เก่า<br>ผู้ช่วยศาสตราจารย์ยุทธภูมิ สุวรรณเวช      | ที่ปรึกษา                  |
| 7. รองอธิการบดีฝ่ายบริการวิชาการ<br>ผู้ช่วยศาสตราจารย์รัมภา สุวรรณพฤษ                      | ที่ปรึกษา                  |
| 8. รองอธิการบดีฝ่ายสื่อสารและภาพลักษณ์องค์กร<br>รองศาสตราจารย์วิมลพรรณ อภาเวท              | ที่ปรึกษา                  |
| 9. ผู้ช่วยอธิการบดี<br>นางสาวสุวรรณา กลุ่มจิตร   | ที่ปรึกษา                  |
| 10. ผู้ช่วยอธิการบดี<br>นางสาวพัทริยา เห็นกลาง   | ที่ปรึกษา                  |
| 11. ผู้ช่วยอธิการบดี<br>นายกฤษณ์ เจ็ดวรรณะ   | ที่ปรึกษา                  |
| 12. ผู้ช่วยอธิการบดี<br>นายปริญญา บุญกนิษฐ   | ที่ปรึกษา                  |



- |  |           |
|--|-----------|
| 13. ผู้ช่วยอธิการบดี<br>ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชฎาภัทร์ กี่อาริโอ | ที่ปรึกษา |
| 14. ผู้ช่วยอธิการบดี<br>นางประติษฐา นาครักษา                 | ที่ปรึกษา |

**คณะกรรมการอำนวยการจากสถาบันและสิ่งแวดล้อมเพื่อความยั่งยืน สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย**

- |   |                     |
|---|---------------------|
| 1. ประธานสภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย<br>นายสุพันธ์ มงคลสุธี  | ประธานดำเนินงาน     |
| 2. ประธานคณะกรรมการบริหารสถาบันน้ำและสิ่งแวดล้อมเพื่อความยั่งยืน<br>นายสมชาย หวังวัฒนาพานิช       | รองประธานดำเนินงาน  |
| 3. รองประธานคณะกรรมการบริหารสถาบันน้ำและสิ่งแวดล้อมเพื่อความยั่งยืน<br>นายเจริญชัย ประเทืองสุขศรี | กรรมการ             |
| 4. กรรมการคณะกรรมการบริหารสถาบันน้ำและสิ่งแวดล้อมเพื่อความยั่งยืน<br>นายไพรัตน์ ตั้งคเสรณี        | กรรมการ             |
| 5. กรรมการคณะกรรมการบริหารสถาบันน้ำและสิ่งแวดล้อมเพื่อความยั่งยืน<br>นายธัญพัฒน์ มั่นนิชนันทน์    | กรรมการ             |
| 6. ผู้อำนวยการอาวุโสสถาบันน้ำและสิ่งแวดล้อมเพื่อความยั่งยืน<br>นางสาวพรรรัตน์ เพชรภักดี           | กรรมการ             |
| 7. เจ้าหน้าที่อาวุโส สถาบันน้ำและสิ่งแวดล้อมเพื่อความยั่งยืน<br>นางสาววรรณัฐ การิกกาญจน์          | กรรมการและเลขานุการ |

**คณะกรรมการอำนวยการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร**

- |   |               |
|---|---------------|
| 1. คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์<br>ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิโรจน์ ฤทธิทอง    | ประธานกรรมการ |
| 2. รองคณบดีฝ่ายวิชาการและวิจัย<br>เรืออากาศตรีพลกฤษณ์ จรรย์ตันติเวทย์ | กรรมการ       |
| 3. รองคณบดีฝ่ายบริหาร<br>นายกร พวงนาค                                 | กรรมการ       |
| 4. รองคณบดีฝ่ายวางแผน<br>ดร.ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล                    | กรรมการ       |
| 5. รองคณบดีฝ่ายกิจการนักศึกษา<br>ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิชญ์ ดาราพงษ์     | กรรมการ       |

### คณะกรรมการดำเนินงาน

1. นายสุวิทย์ แผงธีระสุขมัย
2. ดร.ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล
3. นางสาวประภาพร พลอยยอด
4. นายสุวิทย์ แผงกันยา
5. ดร.เทอดพงษ์ แดงสี
6. นายพุทธิพงศ์ เลขาชัยวรกุล
7. นางสาวปิยะภรณ์ มีศิริ

ประธานกรรมการดำเนินงาน

รองประธานกรรมการดำเนินงาน

กรรมการดำเนินงาน

กรรมการดำเนินงาน

กรรมการดำเนินงาน

กรรมการดำเนินงาน

เลขานุการ

## รายชื่อคณะกรรมการพิจารณาบทความ

### คณะกรรมการด้านวิชาการประเมินและพิจารณาบทความวิชาการ

- 1. ดร.เสกสรร พาป้อง**  
นักวิจัยด้านสิ่งแวดล้อม ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC)
- 2. ดร.ปิติพัฒน์ บุตรโคตร**  
คณะเกษตรศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตนครศรีธรรมราช
- 3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ มินนคร**  
สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม  
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
- 4. ดร.รริศรา อัมภาประเสริฐ**  
ภาควิชาจุลชีววิทยา  
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- 5. ดร.เทอดพงษ์ แดงสี**  
สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
- 6. ดร.ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล**  
สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
- 7. ดร.สุวิทย์ แพงกันยา**  
สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
- 8. ดร.ปริญญ์ บุญนิษฐ**  
สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
- 9. ดร.จันทิมา รวีลายเงิน**  
สาขาวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

## คำนำ

การจัดประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม นวัตกรรม และการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน (Sustainable Industrial Innovation and Management Conference) ครั้งที่ 7 ประจำปี 2561 ภายในงาน Eco Innovation Forum 2018 โดยความร่วมมือระหว่าง สถาบันน้ำและสิ่งแวดล้อมเพื่อความยั่งยืน สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย (ส.อ.ท.) และหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรม การจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร เป็นการดำเนินการต่อเนื่องจากการจัดประชุมวิชาการครั้งที่ 6 เมื่อปี 2560 ภายใต้ข้อตกลงความร่วมมือ **“พัฒนาศักยภาพบุคลากรสมาชิกสภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทยเพื่อการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน”** ระหว่างสภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทยและมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

การจัดประชุมวิชาการในครั้งที่ 7 นี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นเวทีนำเสนอผลงานเชิงวิชาการ พร้อมทั้งส่งเสริมให้มีการแลกเปลี่ยนประสบการณ์ในด้านการพัฒนาอุตสาหกรรมเชิงบูรณาการ 3 ส่วน ประกอบด้วย ระบบเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม โดยนักวิจัยจากสถาบันการศึกษา ด้านวิศวกรรมศาสตร์และวิทยาศาสตร์ รวมถึงนักวิจัยจากภาคอุตสาหกรรมภายใต้องค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ที่ทันสมัยสอดคล้องตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง

การนำเสนอผลงานวิจัยครอบคลุมด้านการจัดการองค์กรเพื่อความยั่งยืน การเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต การจัดการสิ่งแวดล้อม การจัดการของเสีย การรีไซเคิลวัสดุเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ การพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางวิศวกรรมและเทคโนโลยีเพื่อความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม การพัฒนาพลังงานทดแทนและนวัตกรรม การจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน เป็นต้น การจัดประชุมวิชาการในครั้งนี้ หวังเป็นอย่างยิ่งว่าผู้เข้าร่วมประชุมจะได้มีโอกาสแลกเปลี่ยนประสบการณ์ ได้รับความรู้ใหม่ และการพัฒนาเทคโนโลยีที่ทันสมัย พร้อมทั้งนำความรู้ไปประยุกต์ใช้อย่างเหมาะสม ทั้งการทำงานและการดำรงชีวิตที่ดีขึ้น เป็นบุคลากรสำคัญต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมของประเทศไทยให้ยั่งยืนต่อไป

คณะกรรมการดำเนินการจัดประชุมวิชาการ ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการพิจารณาบทความ ผู้สนับสนุนจากทุกภาคส่วน นักวิจัย ผู้นำเสนอบทความ และผู้เข้าร่วมประชุมวิชาการทุกๆ ท่าน มา ณ ที่นี้

สถาบันน้ำและสิ่งแวดล้อมเพื่อความยั่งยืน

สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย (ส.อ.ท.)

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

กันยายน 2561

## กำหนดการ

ห้องย่อย 6 : วันศุกร์ที่ 28 กันยายน 2561 ศูนย์นิทรรศการและการประชุม ไบเทค บางนา

08.00-08.45 น. ลงทะเบียน

08.45-09.00 น. พิธีเปิด ประธานกรรมการดำเนินงาน กล่าวรายงานการประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม นวัตกรรม และการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 7 ประจำปี 2561

โดย นายสุวัจน์ แผงศิระสุขมัย

หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

09.00-09.15 น. ประธานพิธี กล่าวเปิดการประชุมวิชาการ และนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม นวัตกรรม และการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 7 ประจำปี 2561

โดย รองศาสตราจารย์สุภัทรา โกไศยกานนท์

อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

09.15 – 10.15 น. การบรรยายพิเศษ เรื่อง อุตสาหกรรมสีเขียว (Green Industry)

โดย ดร.อาทิตย์ พัฒนพงศ์ชัย

วิศวกรชำนาญการ สำนักงานปลัดกระทรวงอุตสาหกรรม

การเสนอผลงานวิชาการ (Oral Presentation)

10.15-12.00 น. การนำเสนอผลงานทางวิชาการ ช่วงที่ 1

ควบคุมการบรรยาย โดย ดร.เทอดพงษ์ แดงสี

13.00-14.30 น. การนำเสนอผลงานทางวิชาการ ช่วงที่ 2

ควบคุมการบรรยาย โดย ดร.สุวิทย์ แผงกันยา

14.30-16.45 น. การนำเสนอผลงานทางวิชาการ ช่วงที่ 3

ควบคุมการบรรยาย โดย ดร.ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล

คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิควบคุมการนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม นวัตกรรมและนำเสนอผลงานทาง  
วิศวกรรมนวัตกรรมและการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ ประจำปี 2561

- |                              |                                   |
|------------------------------|-----------------------------------|
| 1. ดร.เทอดพงษ์ แดงสี         | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |
| 2. ดร.สุวิทย์ แผงกันยา       | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |
| 3. ดร.ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |

กำหนดการเสนอผลงานวิชาการภาคบรรยาย (Oral Presentation)

วันศุกร์ที่ 28 กันยายน 2561

เวลา 10.30-16.30 น.

Meeting Room: 6

ลำดับ	เวลา (น.)	ชื่อบทความ	ชื่อเจ้าของผลงาน	หน่วยงาน
<b>ภาคเช้า</b>				
1	10.30- 10.45	Torrefaction of Rice Straw using Microwave Irradiation	Prodpran Siritheerasas Chayanit Chirandon Tepparid Inkaew	Thammasat University-Rangsit Centre
2	10.45- 11.00	การใช้ถั่วแกลบ เศษแก้วสีชา และดินอ่างทองสำหรับผลิต กระเบื้องบุผนังเผาที่อุณหภูมิ ต่ำ	ดวงกมล พิรุณเจริญพร อุบลรัตน์ หวังรัชชิตีสกุล	มหาวิทยาลัยพระจอม เกล้าพระนครเหนือ
3	11.00- 11.15	การลดปริมาณการปล่อยก๊าซ เรือนกระจกด้วยเทคโนโลยี การผลิตที่สะอาด กรณีศึกษา โรงงานผลิตอาหารพร้อม รับประทาน	ศิริธร แสงใส ปริญญ์ บุญกนิษฐ ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล	มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราชมงคล พระนคร

ลำดับ	เวลา (น.)	ชื่อบทความ	ชื่อเจ้าของผลงาน	หน่วยงาน
<b>ภาคเช้า</b>				
4	11.15- 11.30	การพัฒนาเครื่องสไลด์น้ำมันแบบ ประหยัดพลังงานด้วยระบบเซลล์ แสงอาทิตย์สมัยใหม่ สำหรับ ผลิตภัณฑ์กอลอยทอดจากกลุ่ม วิสาหกิจชุมชนในเขตอำเภอเด่นชัย จังหวัดแพร่	ยศภัทรชัย คณิตปัญญา เจริญ วีระพล คงนุ่น	มหาวิทยาลัยราช ภัฏอุตรดิตถ์
5	11.30- 11.45	กรณีศึกษาการจัดการทรัพยากรโดย การประมาณเวลาในการผลิตบางส่วน โดยใช้ข่ายงานกิจกรรม	สุรพงศ์ บางพาน พีรพันธ์ บางพาน จักรกฤษณ์ นิลผาย	มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราช มงคลล้านนา เชียงใหม่
6	11.45- 12.00	การศึกษาชนิดของเหล็กกล้าเครื่องมือ และสารเคลือบผิวที่มีผลต่อแม่พิมพ์ ปัมเหรียญกษาปณ์ชนิดราคา 2 บาท	วรพจน์ อ้นกระทอง ศิริชัย ต่อสกุล	มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราช มงคลธัญบุรี
<b>ภาคบ่าย</b>				
7	13.00- 13.15	การเพิ่มประสิทธิภาพหม้อต้มไอน้ำ จากการใช้ความร้อนปล่อยทิ้งภายใน ปล่องควันด้วยเทคโนโลยีการ แลกเปลี่ยนความร้อนอีโคโนไมเซอร์	ชาญยุทธ ชัมสกุล ปริญญา บุญนิษฐ สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ	มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราช มงคลพระนคร
8	13.15- 13.30	Optimized Conditions of Removing Acid Gas from Natural Gas by Diethanolamine (DEA) using Aspen HYSYS V.9	Navaphun Thanathipmonthon Pachara Limvipuwat Tanit Bhibhatbhan	Thammasat University
9	13.30- 13.45	การประยุกต์ใช้เทคนิคคลื่นในการ ปรับปรุงกระบวนการผลิตขวด พลาสติก High Density Polyethylene	ไพศิษฐ์ สัพโรจน์ อุบลรัตน์ หวังรัชต์สิกุล	มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระ จอมเกล้าพระ นครเหนือ
10	13.45- 14.00	การพัฒนาเทคนิคการละลายปลาทุ่น้ำ แช่แข็งด้วยเทคโนโลยีไฟฟ้าสถิตจาก ไฟฟ้าแรงสูง	ชนนิกานต์ เกื้อทาน ปริญญา บุญนิษฐ สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ	มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราช มงคลพระนคร

ลำดับ	เวลา (น.)	ชื่อบทความ	ชื่อเจ้าของผลงาน	หน่วยงาน
11	14.00- 14.15	ผลกระทบของการให้ความร้อนหลัง การเชื่อมโดยกรรมวิธีการเชื่อมเสียด ทานแบบกวนต่อคุณสมบัติทางกลของ อลูมิเนียมเกรด A356 กับ AA6061	จิณกมล ลุยจันทร์	มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราชมงคล รัตนโกสินทร์
12	14.15- 14.30	การเขียนโปรแกรมทำนายค่าความดัน ไอของสารอินทรีย์ประเภท นอนอเล็ก โตรไลต์โดยวิธี Group contribution	สาธก ไชยกุลชื่นสกุล ภาณุรุจ อัครเวศพิลากร ศศิพงษ์ สมศรี	มหาวิทยาลัย ธรรมศาสตร์
13	14.30- 14.45	การศึกษาวิเคราะห์ การปล่อยก๊าซ เรือนกระจกและแนวทางการลด คาร์บอนฟุตพริ้นท์ โดยใช้เทคโนโลยี ระบบดิจิทัล กรณีศึกษา รีสอร์ทแห่งหนึ่ง เกาะสมุย จังหวัด สุราษฎร์ธานี	นายวรินทร์ ฉิมน้อย สุวิสต์ แพ่งธีระสุขมัย พุทธิพงศ์ เลขะชัยวรกุล พลังวัชร แพ่งธีระสุขมัย	มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
14	14.45- 15.00	วาล์วประหยัดน้ำ	สาธก ไชยกุลชื่น สกุลศุภณัฐ อำไพ	มหาวิทยาลัย ธรรมศาสตร์
15	15.00- 15.15	พอลิแกมมาไกลูตามิกเอซิดกราฟท์เบน ซอกซาซีน: วัสดุรีไซเคิลใหม่ที่มี สมบัติตอบสนองต่อไอออนของโลหะ หนักในน้ำ	วัลลภ พัฒนพงศ์ อรรถพล แก้ววิสัย	มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระ จอมเกล้าพระ นครเหนือ
16	15.15- 15.30	การผลิตกระเบื้องบุผนังแบบไม่ เคลือบจากดินดำปราจีน ดินขาวโคก ไม้ลาย และเศษแก้วสีเขียว	วิษณุ เลิศจันทร์รางกูร อุบลรัตน์ หวังรักษาศิสกุล	มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระ จอมเกล้าพระ นครเหนือ
17	15.30- 15.45	การถอดรหัสบทเรียนของประเทศ เดนมาร์กสู่การจัดการพลังงานที่ยั่งยืน	ณัฐกฤษ อัสนี	มหาวิทยาลัยราช ภัฏธนบุรี
18	15.45- 16.00	การศึกษาแนวทางปรับปรุงงาน บริการการจัดเก็บภาษี โดยใช้เทคนิค การกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ QFD กรณีศึกษาสำนักงานเทศบาลตำบล	จิตรานุช แก้วประชา ปริญญ์ บุญนิษฐ สหรัตน์ วงษ์ศรีชะ	มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราชมงคลพระนคร



ลำดับ	เวลา (น.)	ชื่อบทความ	ชื่อเจ้าของผลงาน	หน่วยงาน
		ขุนแก้ว อำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม		
19	16.00- 16.15	การปรับปรุงการติดตั้งงานประตูปานเลื่อนอลูมิเนียมและกระจก ด้วยเทคนิค การศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลา กรณีศึกษา บริษัท กลาสไลน์ จำกัด	รัฐบุรุษ สิทธิวงศ์ ปริญญา บุญกนิษฐ สหรัตน์ วงษ์ศรีชะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
20	16.15- 16.30	การพัฒนาแผ่นมีดซีเมนต์ทั้งสแตนคาร์ไบต์สำหรับการตัดปาดผิวหยาบในงานกัด	สรายุทธ จงเทพ สหรัตน์ วงษ์ศรีชะ ปริญญา บุญกนิษฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

### การเสนอผลงานวิชาการภาคโปสเตอร์ (Poster)

ลำดับ	ชื่อบทความ	ชื่อเจ้าของผลงาน	หน่วยงาน
21	การอบแห้งแผ่นฝักทองญี่ปุ่นด้วยอากาศร้อนโดยใช้เทคนิคปรับลดระดับอุณหภูมิ	สุวิทย์ แพงกันยา กฤษณ์ อภิญาวิศิษฐ์ รริศรา อิมภาประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลพระนคร
22	ผลของการใช้เนื้อฝักทองญี่ปุ่นต่อสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมเพื่อสุขภาพ	ปฐมพันธ์ สุวรรณมงคล สุวิทย์ แพงกันยา รริศรา อิมภาประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี
23	การพัฒนาโปรแกรมควบคุมและสั่งการสำหรับแปลงฝักสวนครัวระบบปิดอัจฉริยะ	สันติ ธนะรัตน์ ศุวิชญ์ ทั้งศรี วราพล แก้วกนก ประภาพร พลอยยอด	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลพระนคร
24	ก้าวข้ามกับดักการมีรายได้ปานกลางของประเทศด้วยการพัฒนาสมรรถนะของทรัพยากรบุคคลในการสร้างนวัตกรรมสู่ความยั่งยืนของชาติในยุคดิจิทัล	อรรณพ ปิยะสินธ์ชาติ	สถาบัน Creative Academic A School for Lifelong Learning

## สารบัญ

ชื่อบทความ	หน้า
Torrefaction of Rice Straw using Microwave Irradiation Prodpran Siritheerasas, Chayanit Chirandon and Tepparid Inkaew	1
การใช้เถ้าแกลบ เศษแก้วสีชา และดินอ่างทองสำหรับผลิตกระเบื้องบุผนังเผาที่อุณหภูมิต่ำ ดวงกมล พิรุณเจริญพร และอุบลรัตน์ หวังรัชต์สีสกุล	9
การลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกด้วยเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด กรณีศึกษา โรงงานผลิตอาหารพร้อมรับประทาน ศิริธร แสงใส, ปริชญ์ บุญกนิษฐ และณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล	17
การพัฒนาเครื่องสกัดน้ำมันแบบประหยัดพลังงานด้วยระบบเซลล์แสงอาทิตย์สมัยใหม่ สำหรับผลิตภัณฑ์กลอยทอดจากกลุ่มวิสาหกิจชุมชนในเขตอำเภอเด่นชัย จังหวัดแพร่ ยศภัทรชัย คณิตปัญญาเจริญ และวีระพล คงนุ่น	31
กรณีศึกษาการจัดการทรัพยากรโดยการประมาณเวลาในการผลิตบางส่วน โดยใช้ข่ายงาน กิจกรรม สุรพงศ์ บางพาน, พีรพันธ์ บางพาน และจักรกฤษณ์ นิลผาย	39
การศึกษาชนิดของเหล็กกล้าเครื่องมือและสารเคลือบผิวที่มีผลต่อแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์ชนิด ราคา 2 บาท วรพจน์ อ้นกระทอง และศิริชัย ต่อสกุล	45
การเพิ่มประสิทธิภาพหม้อต้มไอน้ำจากการใช้ความร้อนปล่อยทิ้งภายในปล่องควันด้วยเทคโนโลยี การแลกเปลี่ยนความร้อนอีโคโนไมเซอร์ ชาญยุทธ ชัมสกุล, ปริชญ์ บุญกนิษฐ และสหรัตน์ วงษ์ศรีษะ	53

## สารบัญ (ต่อ)

ชื่อบทความ	หน้า
Optimized Conditions of Removing Acid Gas from Natural Gas by Diethanolamine (DEA) using Aspen HYSYS V.9 Navaphun Thanathipmonthon, Pachara Limvipuwat and Tanit Bhibhatbhan	61
การประยุกต์ใช้เทคนิคลินในการปรับปรุงกระบวนการผลิตขวดพลาสติก High Density Polyethylene ไพศิษฐ์ สัพโรจน์และอุบลรัตน์ หวังรักษาศิสกุล	69
การพัฒนาเทคนิคการละลายพลาสติกแข็งด้วยเทคโนโลยีไฟฟ้าสถิตจากไฟฟ้าแรงสูง ชนนิกานต์ เกื้อทาน, ปริญญ์ บุญกนิษฐ และสหรัตน์ วงษ์ศรีษะ	77
ผลกระทบของการให้ความร้อนหลังการเชื่อมโดยกรรมวิธีการเชื่อมเสียดทานแบบกวนต่อ คุณสมบัติทางกลของอลูมิเนียมเกรด A356 กับ AA6061 จินกมล ลุยจันทร์	83
การเขียนโปรแกรมทำนายค่าความดันไอของสารอินทรีย์ประเภท นอนอเล็กโตรไลต์โดยวิธี Group contribution สาธก ไชยกุลชื่นสกุล, ภาณุรุจ อัครเลิศพลากร และศศิพงษ์ สมศรี	89
การศึกษาวิเคราะห์ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกและแนวทางการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ โดยใช้ เทคโนโลยีระบบดิจิทัล กรณีศึกษา รีสอร์ทแห่งหนึ่ง เกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี วรินทร์ ฉิมน้อย, สุวัสน์ แผงธีระสุขมัย, พุทธิพงศ์ เลอะชัยวรกุล และพลังวัชร แผงธีระสุขมัย	95

## สารบัญ (ต่อ)

ชื่อบทความ	หน้า
<p>วาล์วประหยัดน้ำ</p> <p>สาธก ไชยกุลชื่นสกุล, ศุภณัฐ อ่ำไพ</p>	105
<p>พอลิแกมมากลูตามิกเอซิดกราฟท์เบนซอกซาซีน: วัสดุรับรู้ชนิดใหม่ที่มีสมบัติตอบสนองต่อ</p> <p>ไอออนของโลหะหนักในน้ำ</p> <p>วัลลภ พัฒนพงษ์ และอรรถพล แก้ววิสัย</p>	109
<p>การผลิตกระเบื้องบุผนังแบบไม่เคลือบจากดินดำปราจีน ดินขาวโคกไม้ลาย และเศษแก้วสีเขียว</p> <p>วิษณุ เลิศจันทรางกูร และอุบลรัตน์ หวังรัชต์สกุล</p>	115
<p>การถอดรหัสบทเรียนของประเทศเดนมาร์กสู่การจัดการพลังงานที่ยั่งยืน</p> <p>ณัฐกฤช อัสนี</p>	121
<p>การศึกษาแนวทางปรับปรุงงานบริการการจัดเก็บภาษี โดยใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิง</p> <p>คุณภาพ QFD กรณีศึกษานักงานเทศบาลตำบลขุนแก้ว อำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม</p> <p>จิตรานุช แก้วประชา, ปริญญา บุญกนิษฐ และสหรัตน์ วงษ์ศรีษะ</p>	125
<p>การปรับปรุงการติดตั้งงานประตูปานเลื่อนอลูมิเนียมและกระจก ด้วยเทคนิค การศึกษาการ</p> <p>เคลื่อนไหวและเวลา กรณีศึกษา บริษัท กลาสไลน์จำกัด</p> <p>รัฐบุรี สิทธิวงศ์, ปริญญา บุญกนิษฐ และสหรัตน์ วงษ์ศรีษะ</p>	135
<p>การพัฒนาแผ่นมีดซีเมนต์ทั้งสแตนคาร์ไบด์สำหรับการตัดปาดผิวหยาบในงานกัด</p> <p>สรายุทธ จงเทพ, สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ และปริญญา บุญกนิษฐ</p>	143
<p>การอบแห้งแผ่นฝักทองญี่ปุ่นด้วยอากาศร้อนโดยใช้เทคนิคปรับลดระดับอุณหภูมิ</p> <p>สุวิทย์ แพงกันยา กฤษณ์ อภิญาวิศิษฐ์ และรริตรา อัมภาประเสริฐ</p>	149

## สารบัญ (ต่อ)

ชื่อบทความ	หน้า
ผลของการใช้เนื้อฟักทองญี่ปุ่นต่อสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมเพื่อสุขภาพ ปฐมพนธ์ สุวรรณมงคล, สุวิทย์ แพงกันยา และรริศรา อิมภาประเสริฐ	155
การพัฒนาโปรแกรมควบคุมและสั่งการสำหรับแปลงผักสวนครัวระบบปิดอัจฉริยะ สันติ ธนะรัตน์, ศุภวิชญ์ ทังศรี, วราพล แก้วกนก และประภาพร พลอยยอด	161
ก้าวข้ามกับดักการมีรายได้ปานกลางของประเทศด้วยการพัฒนาสมรรถนะของทรัพยากรบุคคลใน การสร้างนวัตกรรมสู่ความยั่งยืนของชาติในยุคดิจิทัล อรรณพ ปิยะสินธ์ชาติ	169

## Torrefaction of Rice Straw using Microwave Irradiation

Prodpran Siritheerasas\*, Chayanit Chirandon, Tepparid Inkaew

Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering

Thammasat University-Rangsit Centre

Pathumthani 12120, Thailand

[\\*sprod@tu.ac.th](mailto:*sprod@tu.ac.th)

### Abstract

In this study, torrefaction of rice straw was carried out in a household microwave oven for the microwave powers and torrefaction times of 300-600 W and 4-12 min., respectively. The properties of rice straw, including proximate analysis, ultimate analysis, heating value, and grindability, after the torrefaction were analysed and compared to those before the torrefaction. It was found that the amounts of moisture and volatile matter (VM) of the torrefied rice straw decreased after the torrefaction. After being torrefied for 12 min., moisture was technically completely removed from rice straw, whereas VM was partially driven off from rice straw. The amounts of ash and fixed carbon (FC) in the torrefied rice straw were found to be relatively constant when comparing to their corresponding initial values. Increases in microwave power and heating time caused the percentage of carbon (C) of the torrefied rice straw to increase, but resulted in decreases in the percentages of hydrogen (H) and oxygen (O). After the torrefaction, the heating value of the torrefied rice straw was found to increase. The grindability of rice straw was enhanced after being torrefied. The overall results from this study indicated that torrefaction *via* microwave irradiation could actually improve the quality of rice straw.

**Key words:** Microwave torrefaction; Proximate analysis; Ultimate analysis; Heating value; Grindability

### 1. Introduction

Concerns over the shortage of fossil fuels and the climate change, as well as the global warming, caused by the uses of fossil fuels [1-3] have prompted researchers to look for alternate sources of energy or fuels, particularly such renewable energy as biomass [4-6].

Thailand is an agricultural-based country and, as a result, agricultural residues produced from agricultural activities are available locally [7-8]. Accordingly, Thailand's Ministry of Energy has set up a plan to promote the utilisation of several alternative energy sources, including biomass energy, which aims to increase the consumption of

alternative energy from 10 million tonnes of oil equivalent (Mtoe) in 2014 to 40 Mtoe within 20 years [7]. It is reported that the uses of alternative energy sources in Thailand, particularly energy from biomass, have increased continuously and the share of alternative energy in the total energy consumption in Thailand is higher than 10% [9-11].

Since Thailand is among the World's largest rice producer and exporter [12-13], rice straw, one of the rice-farm residues, is abundant in Thailand [12-13]. Like other agricultural residues, rice straw can potentially be utilised as an energy source in various ways, such as direct combustion for heat and power, biochemical conversion for biogas and

ethanol, and thermo-chemical conversion for synthesis gas and biochar [12-13].

Problematically, however, untreated biomass, including rice straw, possess a number of disadvantages, including high moisture and VM contents, low heating value, high oxygen (O) content, and difficulty in grinding into small particles [14-16]. This makes biomass unable to be readily used. Therefore, the thermal or combustion properties of biomass must be improved before being used as an energy source.

One of the promising techniques that can be used for upgrading biomass is the torrefaction, a low-temperature thermal pre-treatment of organic materials in an inert atmosphere at the temperatures of 200-300 °C [17-18]. Additionally, microwave heating is found to be an effective heating method for pre-treating biomass, as it provides a rapid and uniform heating [15, 19]. Nevertheless, there have been only a few studies on the torrefaction of biomass, particularly rice straw, using microwave irradiation as a heating medium.

Thus, it is the principal purpose of the present study to investigate the torrefaction of rice straw *via* microwave irradiation. The effects of microwave power and torrefaction time on the properties of the torrefied rice straw are examined. The findings from this study should be useful for extending the applications of the microwave torrefaction for enhancing the quality of biomass, thus promoting the use of biomass as a source of energy.

## 2. Research Methodology

Rice straw used in this study was obtained from a rice field in the province of Pathumthani. Proximate analysis, including moisture, ash, volatile matter (VM), and fixed carbon (FC); ultimate analysis, comprising carbon (C), hydrogen (H), and oxygen (O); and heating value (HV) of raw rice straw are presented in Table 1.

In each experiment, raw rice straw was cut to the size of 2-3 cm long and put into a ceramic container (20 cm diameter and 8 cm high) with the

mass of 30 g. The ceramic container containing rice straw was then covered by a plate (to prevent air from entering into the container during the torrefaction) and placed into a microwave oven (ME711K Model, Samsung) operated at the microwave powers of 300-600 W for the torrefaction times of 4-12 min. Note that these ranges of microwave power and torrefaction time were chosen in order to obtain the treatment temperatures of 200-300 °C, which is the range of the thermal treatment *via* torrefaction.

After the torrefaction, the ceramic container containing the resulting (or torrefied) rice straw was taken out of the microwave oven.

The resulting rice straw was weighed before being kept into separate sealed plastic bags for further analyses. It was analysed for proximate analysis, following ASTM E871 for moisture content, ASTM E1755 for ash content, ASTM E872 for VM content, and ASTM D3172 for FC content; for ultimate analysis, following ASTM D3176, using an elemental (CHON) analyser (628 Series, LECO); and for heating value, following ASTM D5865, using an isoperibol bomb calorimeter (C6000 Model, IKA).

The grindability of the raw and torrefied rice straw was also examined. Cut rice straw (either raw or torrefied) was put into a cylindrical, stainless-steel ball mill (10 cm in diameter and 12 cm high), containing 10 spherical, ceramic ball (each ball has a diameter of 3.5 cm). The ball mill was placed on the rotating bars rotated at 60 rpm for 3 h. After being ground, the resulting ground rice straw (once again, either raw or torrefied), was sieved through screen plates, with the screening sizes of 0.027, 0.717, 1.11, and 1.40 mm, using a shaker. Mass of the ground rice straw on each screen plate was weighed and recorded.

## 3. Results

Proximate analysis, ultimate analysis, and heating value of raw rice straw were summarised in Table 1.



Table 1 Proximate analysis, ultimate analysis, and heating value of raw rice straw used in this study

Proximate analysis, air-dried basis (wt.%)			
Moisture	Ash	VM	FC
5.4	16.1	62.4	16.1
Ultimate analysis, dried and ash-free basis (wt.%)			
Carbon (C)	Hydrogen (H)	Oxygen (O)	
50.84	6.22	42.94	
Heating value, air-dried basis (MJ/kg)			16.16

The solid yield of the torrefied rice straw, which was the ratio between mass of the torrefied rice straw and that of the raw rice straw, was displayed in Figure 1.

It was evident that as the microwave power and torrefaction time increased, the solid yield decreased. The solid yields ranged from 77.8-86.1%.

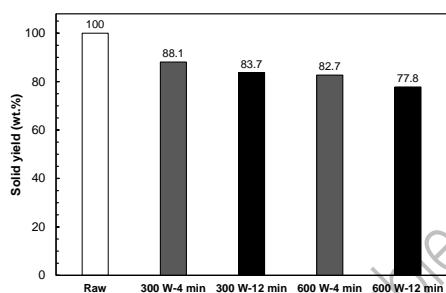


Figure 1 Solid yield of the torrefied rice straw treated at the microwave powers of 300-600 W for 4-12 min., comparing to that of the raw rice straw

The remaining amounts of moisture, ash, VM, and FC, collectively called proximate analysis, of the torrefied rice straw, relative to their corresponding initial values were shown in Figures 2-5, respectively.

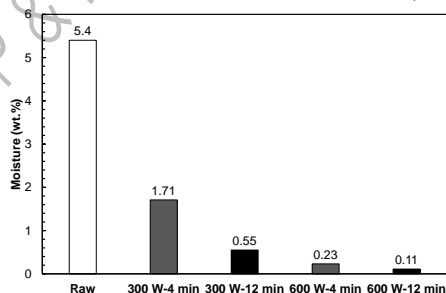


Figure 2 Remaining amount of moisture of the torrefied rice straw treated at the microwave powers of 300-600 W for 4-12 min., comparing to that of the raw rice straw

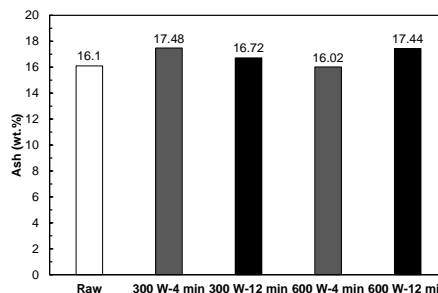


Figure 3 Remaining amount of ash of the torrefied rice straw treated at the microwave powers of 300-600 W for 4-12 min, comparing to that of the raw rice straw

It was found, from Figure 2, that moisture was reduced substantially after the torrefaction. The remaining amounts of moisture of the torrefied rice straw were within the range of 0.11-1.71%, comparing the initial amount of 5.4%.

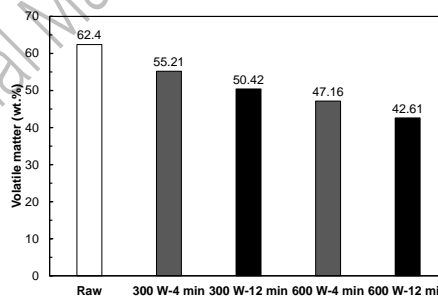


Figure 4 Remaining amount of volatile matter (VM) of the torrefied rice straw treated at the microwave powers of 300-600 W for 4-12 min., comparing to that of the raw rice straw

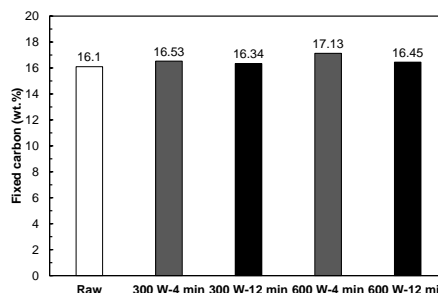


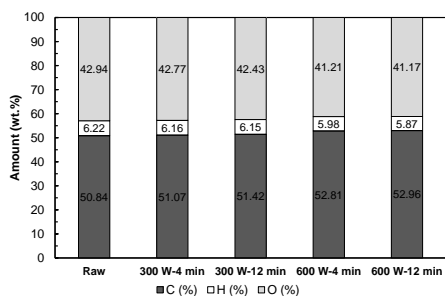
Figure 5 Remaining amount of fixed carbon (FC) of the torrefied rice straw treated at the microwave powers of 300-600 W for 4-12 min., comparing to that of the raw rice straw

The remaining amounts of ash and FC of the

torrefied rice straw, illustrated in Figures 3 and 5, respectively, were found to be negligibly affected by the changes in microwave power and torrefaction time. The remaining ash and FC contents were relatively constant, comparing to their corresponding initial values.

The amount of VM remained in the torrefied rice straw decreased with increases in microwave power and torrefaction time. The remaining VM content was in the range of 42.61-55.21%, comparing to the initial value of 62.4%.

The percentages of carbon (C), hydrogen (H), and oxygen (O), collectively called ultimate analysis, of the torrefied rice straw were depicted in Figures 6.



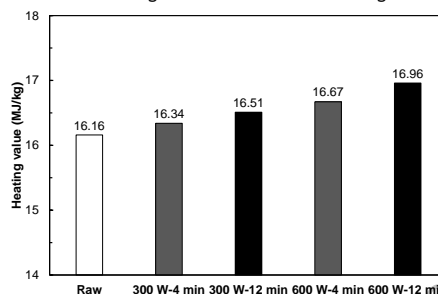
**Figure 6** Percentages of carbon (C), hydrogen (H), and oxygen (O) of the torrefied rice straw treated at the microwave powers of 300-600 W for 4-12 min., comparing to that of the raw rice straw

The percentage of C was found to increase from the initial value of 50.84% to 51.07-52.96% after the torrefaction. Increases in microwave power and torrefaction time caused the percentage of C to increase.

On the contrary, the percentages of H and O were decreased from the initial values of 6.22% and 42.94%, respectively, to 5.87-6.16% and 41.17-42.77%, respectively. Increases in microwave and torrefaction time resulted in decreases in the percentages of H and O.

The heating value of the torrefied rice straw was increased with the microwave power and torrefaction time, as displayed in Figure 7. The heating value of

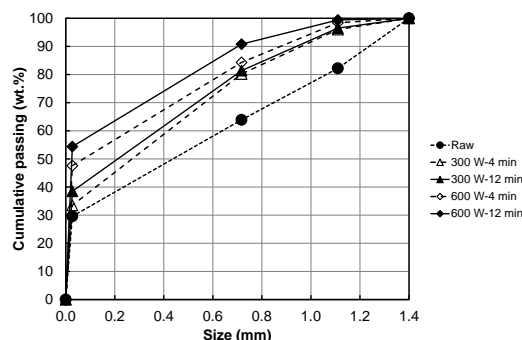
the torrefied rice straw increased from the initial value of 16.16 MJ/kg to 16.34-16.96 MJ/kg.



**Figure 7** Heating value (HV) of the torrefied rice straw treated at the microwave powers of 300-600 W for 4-12 min., comparing to that of the raw rice straw

The grindability of the torrefied rice straw, illustrated by the accumulative size passing curve after being ground in the ball mill for 3 h in Figure 8, was found to be improved (*i.e.* easier to be ground to smaller sizes) when comparing to that of the raw rice straw.

The size of the raw rice straw at 90% accumulative passing was approximately 1.23 mm, which indicated that 90% of the total mass of the raw rice straw had the size smaller than 1.23 mm.



**Figure 8** Cumulative passing curves of the torrefied rice straw treated at the microwave powers of 300-600 W for 4-12 min., comparing to that of the raw rice straw

The sizes of the torrefied rice straw at 90% treated at the microwave powers of 300 W for 4 and 12 min. were found to be approximately 0.96 and 0.93 mm, while the sizes of those at 90% treated at the microwave powers of 600 W for 4

and 12 min. were roughly 0.83 and 0.72 mm.

#### 4. Discussion

From the proximate analysis of the torrefied rice straw, it revealed that moisture and VM were removed from rice straw after the torrefaction. Moisture was significantly removed from the raw rice straw. Additionally, it was evident that moisture was essentially completely driven off from the raw rice straw after being torrefied for 12 min. Volatile matter (VM) was partially removed from the raw rice straw.

The amounts of ash and FC of the torrefied rice straw were about that same as those of the raw rice straw, indicating that ash and FC were still retained in rice straw.

It is known that moisture and VM can be driven off from biomass (rice straw is one kind of biomass) at the temperatures of nearly 100 °C and low than 200-250 °C [16, 20], respectively, with the torrefaction temperatures, which were in the range of 200-300 °C [17-18], it was reasonable that moisture could nearly completely be removed from rice straw and that VM was partially driven off from the raw rice straw.

To remove FC from biomass, it requires the temperatures higher than 300-500 °C [20-21]. Thus, it was justified that FC was still retained in the torrefied rice straw.

Additionally, ash is the inorganic component of biomass (or any solid fuels), it stays intact in biomass (or solid fuels) after any thermal treatment [17]. Hence, it was logical that the amount of ash in the torrefied rice straw were essentially constant, comparing to that of the raw rice straw.

When comparing the solid yield of the torrefied rice straw with the summation of the amounts of moisture, VM, ash, and FC of the same torrefied rice straw, it was found that these two numbers were about the same, with the discrepancies of only 0.4-3.1%. This was, once again, reasonable, as the solid yield indicated the remaining amount of rice straw after the

torrefaction. As discussed earlier, moisture was technically completely removed from rice straw along with a partial amount of VM, whereas ash and FC were still remained in the torrefied rice straw. Accordingly, the total mass of torrefied rice straw comprised a partial amount of VM that was retained in the torrefied rice straw plus the amounts of ash and FC. When dividing this total mass of the torrefied rice straw, it yielded the solid yield, or the portion that was still retained in the torrefied rice straw.

For the ultimate analysis of the torrefied rice straw, since VM contains more H and O than C [18], the removal of VM caused the percentages of H and O in the torrefied rice straw to decrease. However, as discussed previously, the torrefaction had a negligible effect on the remaining amount of FC of the torrefied rice straw. Since C was the main component of FC [17], this meant that the amount of C in the torrefied rice straw were rather constant. As the amounts of H and O were decreased, while the amount of C remained relatively constant, the relative amount or the percentage of C in the torrefied sample was found to increase, when comparing to the amounts of H and O, thus resulting in decreases in the percentages of H and O.

The result of the ultimate analysis obtained in this work indicated that O in rice straw (*i.e.* biomass) could be lowered after the torrefaction, which was in good agreement with that reported in the previous studies [6, 14-16, 18-21].

The heating value (HV) of the torrefied rice straw was found to increase from 16.16 MJ/kg to 16.34-16.96 MJ/kg or increase by approximately 1-5% after the torrefaction.

As discussed recently, the percentage of C in the torrefied rice straw was increased, whereas the percentage of O was decreased, after the torrefaction. It has been known that C plays an exothermic role (*i.e.* releases energy during combustion) as a fuel is burned, whereas O plays an endothermic role (*i.e.* consumes energy) [18]. Hence, an increase in the percentage of C and a decrease in the percentage

of O led to an increase in the HV of the torrefied rice straw.

It has been reported that the torrefaction results in the breakdown of the cell structure of biomass, which includes the removal of the fibrous exterior of the cell. This makes biomass less fibrous, smooth, and, as a result, brittle [17].

Accordingly, after the torrefaction, rice straw was easier to be ground into smaller sizes. In other words, the grindability of the torrefied rice straw was enhanced, which represented by the fact that the size of the torrefied rice straw after being ground for a certain period of time became smaller, as shown in Figure 8.

Since it is necessary that biomass be ground into small sizes for such further uses as mixing with coal, conveying through pipes in a pneumatic conveying system, and pelletising or briquetting, an enhancement in the grindability makes biomass (e.g., rice straw) more attractive and usable, as reported in the previous studies [22-23]

## 5. Conclusions

The results obtained in this study revealed that the torrefaction could actually enhance the quality of rice straw. Moisture of the torrefied rice straw was greatly reduced. Volatile matter (VM) was partially removed from rice straw, whereas FC was still retained in the torrefied rice straw, thus resulting in an increase in the percentage of carbon (C) and decreases in the percentages of hydrogen (H) and oxygen (O). The heating value of the torrefied rice straw was increased. After the torrefaction, the grindability of rice straw was improved such that it was easier to be ground into smaller sizes, which made it more attractive and usable.

## 6. References

[1] Tantawatthanaphanich T., and Zou X., “Empowering the Local Community *via* biomass Utilization: A Case Study in Thailand”, The International Review of Spatial Planning and Sustainable Development, Vol. 4.2, pp. 30-45, 2016.

[2] Sampim T, Kokkaew N., and Parnphumeesup P., “Risk Management in Biomass Power Plants Using Fuel Switching Flexibility”, Energy Procedia, Vol. 138, pp. 1099-1104, 2017.

[3] Wang T, Li Y., Zhang J., Zhao J., Liu Y., Sun L., Liu B., Mao H., Lin Y., Li W, Ju M., and Zhu F, “Evaluation of the potential of pelletized biomass from different municipal solid wastes for use as solid fuel”, Waste Management, Vol. 71, pp. 260-266, 2018.

[4] van der Stelt M.J.C., Gerhauser H., Kiel J.H.A., and Ptasinski K.J., “Biomass upgrading by torrefaction of biofuels: A review”, Biomass and Bioenergy, Vol. 35, pp. 3748-3762, 2011.

[5] Ciolkosz D., and Wallace R., “A review of torrefaction for bioenergy feedstock production”, Biofuels, Bioproducts, and Biorefining, Vol. 5, pp. 317-329, 2011.

[6] Chew J.J. and Doshi V., “Recent advances in biomass pretreatment–Torrefaction fundamentals and technology”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 15, pp. 4212-4222, 2011.

[7] Kajina W., Rousset P., Chen W.H., Sornpitak T., and Commandre J.M., “Coupled effect of torrefaction and blending on chemical and energy properties for combustion of major open burned agricultural residues in Thailand”, Renewable Energy, Vol. 118, pp. 113-121, 2018.

[8] Delivand M.K., Barz M., and Gheewala S.H., “Logistics cost analysis of rice straw for biomass power generation in Thailand”, Energy, Vol. 36, pp. 1435-1441, 2011.

[9] Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Energy Situation of Thailand 2558, Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy, 2559 (2016) [in Thai].

[10] Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Energy Situation of Thailand 2559, Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy, 2560 (2017) [in Thai].

[11] Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Energy Situation of Thailand

- 2560, Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy, 2561 (2018) [in Thai].
- [12] Silalertruksa T., Gheewala S.H., Sagisaka M., and Yamaguchi K., "Life cycle GHG analysis of rice straw bio-DME production and application in Thailand", *Applied Energy*, Vol. 112, pp. 560-567, 2013.
- [13] Unchaisri T., and Fukuda S., "Co-firing of coal and rice straw pellet in a circulating fluidized-bed reactor", *Energy Procedia*, Vol. 138, pp. 766-771, 2017.
- [14] Rousset P., Aguiar C., Labbe N., and Commandre, J.M., "Enhancing the combustible properties of bamboo by torrefaction", *Bioresource Technology*, Vol. 102, pp. 8225-8231, 2011.
- [15] Wang M.J., Huang Y.F., Chiueh P.T., Kuan W.H., and Lo, S.L., "Microwave-induced torrefaction of rice husk and sugarcane residues", *Energy*, Vol. 37, pp. 177-184, 2012.
- [16] Bilgic E., Yaman S., Haykiri-Acma H., and Kucukbayrak S., "Is torrefaction of polysaccharides-rich biomass equivalent to carbonization of lignin-rich biomass?", *Bioresource Technology*, Vol. 200, pp. 201-207, 2016.
- [17] Basu P., *Biomass Gasification, Pyrolysis, and Torrefaction*, 2<sup>nd</sup> ed., Academic Press, India, 2013.
- [18] Chen W.H., Peng J., and Bi X.T., "A state-of-the-art review of biomass torrefaction, densification, and applications", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 44, pp. 847-866, 2015.
- [19] Li H, Qu Y., Yang Y., Chang S., and Xu J., "Microwave irradiation—A green and efficient way to pretreat biomass", *Bioresource Technology*, Vol. 199, pp. 34-41, 2016.
- [20] Huang Y.F., Chen W.R., Chiueh P.T., Kuan, W.H., and Lo S.L., "Microwave torrefaction of rice straw and pennisetum", *Bioresource Technology*, Vol. 123, pp. 1-7, 2012.
- [21] Deng J., Wang G.J., Kuang J.H., Zhang Y.L., and Luo Y.H., "Pretreatment of agricultural residues for co-gasification via torrefaction, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, Vol. 86, pp. 331-337, 2009.
- [22] Phanphanich M. and Mani S., "Impact of torrefaction on the grindability and fuel characteristics of forest biomass", *Bioresource Technology*, Vol. 102, pp. 1246-1253, 2012.
- [23] Colin B., Dirion J.L., Arlabosse P., and Salvador S., "Quantification of the torrefaction effects on the grindability and the hygroscopicity of wood chips", *Fuel*, Vol. 197, pp. 232-239, 2017.

RMUTP & FTI 5th Sustainable Industrial Management Engineering

การใช้เถ้าแกลบ เศษแก้วสีชา และดินอ่างทองสำหรับผลิตกระเบื้องบุผนัง  
เผาที่อุณหภูมิต่ำ  
Used of Rice Husk Ash, Brown Glass Cullet, and Angthong Clay  
for Producing Low Sintering Temperature Wall Tile.

ดวงกมล พิรุณเจริญพร<sup>1\*</sup>, อุบลรัตน์ หวังรักษะดีสกุล<sup>2</sup>

<sup>1</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ  
1518 ถนนประชากรราษฎร์ 1 เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

[\\*bmind2316@gmail.com](mailto:*bmind2316@gmail.com)

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ของรกรงประโยชน์จากเถ้าแกลบ ของเสียจากโรงงานไฟฟ้าชีวมวล ซึ่งใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อไอน้ำ จึงนำมาใช้ประโยชน์เพื่อเป็นวัสดุทดแทนในการผลิตกระเบื้องบุผนัง และเกิดมูลค่าเพิ่ม นอกจากนี้เศษแก้วสีชาเป็นเศษของเสียที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ เพื่อช่วยลดอุณหภูมิในการเผาที่เป็นอีกหนึ่งในวัสดุทางเลือกอีกด้วย อุตสาหกรรมท้องถิ่นที่ผลิตกระเบื้องดินเผา ในจังหวัดอ่างทอง เป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่สามารถประยุกต์ใช้ เถ้าแกลบ เศษแก้วสีชา ร่วมกับดินท้องถิ่น คือ ดินอ่างทองเพื่อผลิตกระเบื้องบุผนัง ซึ่งในงานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาการผลิตกระเบื้องบุผนังแบบไม่เคลือบซึ่งเผาด้วยอุณหภูมิต่ำที่ 950 °C แล้วทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพคือ ค่าต้านทานแรงดัด น้ำหนักที่สูญเสียหลังการเผา การหดตัว การดูดซึมน้ำ และค่าความหนาแน่น โดยเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.2508-2555 งานวิจัยนี้สามารถผลิตกระเบื้องบุผนังเนื้อสีเทาต่ำ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ทางเลือกใหม่ ที่เป็นกระเบื้องบุผนังที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

**คำสำคัญ (Key word):** Rice Husk Ash; Brown Glass Cullet; Angthong Clay; Wall Tile

#### Abstract

This research aims to utilize rice husk ash, wastes from biomass power plant using rice husk as alternative fuel. It should be exploited to be the alternative materials for producing wall tiles and adding its value. In addition, brown glass cullet is a waste can be used. It can be an alternative material and reduce firing temperature. The community industry producing tiles in Angthong province can be implemented the mixtures of rice hush ash, brown glass cullet and Angthong clay for wall tiles. Low sintering temperature and unglazed wall tiles are the developed products of this study. After fired at 950 °C, all specimens have been tested physical properties consisting of bending strength, weight loss, shrinkage, water absorption and density bending strength and water absorption are compared with industrial standard TIS 2508-2555. It can be concluded that this research can propose blackgrey wall tiles which are the new alternative and environmentally friendly product.



## 1. บทนำ (Introduction)

โรงไฟฟ้าพลังงานชีวมวล เป็นโรงงานผลิตพลังงานโดยใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานสำคัญที่หาได้ภายในประเทศ โดยเฉพาะประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศเกษตรกรรม มีผลผลิตทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก ชีวมวลเหล่านี้สามารถนำมาเผาไหม้ เพื่อนำพลังงานความร้อนที่ได้ไปใช้ในกระบวนการผลิตไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี ซึ่งชีวมวลเป็นพลังงานทดแทนที่ช่วยกระจายรายได้สู่ชุมชนหรือท้องถิ่นเป็นอันดับต้น ๆ ในระยะ 2-3 ปีที่ผ่านมาจะเห็นว่าภาพรวมการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนในประเทศไทยนั้น มีอัตราการเติบโตอย่างมีนัยสำคัญ [1] แต่ก็มีผลเสียต่อชุมชนคืออาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเพราะมีการเผาไหม้เชื้อเพลิง เกิดฝุ่นละออง และเถ้าแกลบซึ่งมีปริมาณที่มาก ซึ่งเกิดค่าใช้จ่ายในการกำจัดของเสีย ซึ่งโรงไฟฟ้าชีวมวล บริษัท อุทองไบโอแมส จำกัด มีการใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าปริมาณ 64,367 ตัน/ปี และมีของเสียจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าเป็นเถ้าแกลบ จำนวน 12,873.4 ตัน/ปี [2] นอกจากนี้แกลบสีชาเป็นผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีการใช้งานมากในประเทศไทย หลังจากการใช้งานจะเหลือเศษแกลบมีปริมาณมากทิ้งเป็นขยะที่ไม่ได้นำกลับไปใช้ในกระบวนการผลิตเป็นของเสียที่นำไปใช้ประโยชน์ได้เนื่องจากเศษแกลบมีประกอบหลักทางเคมี คือ  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  และ  $\text{SiO}_2$  ซึ่งใกล้เคียงกับวัสดุที่ใช้ในงานเซรามิกส์ [3] อีกทั้งเศษแกลบมีคุณสมบัติช่วยลดจุดหลอมตัวในการเผา ทำให้การเผาที่อุณหภูมิเท่าเดิมเมื่อผลิตภัณฑ์จะเกิดการหลอมตัวได้ดีขึ้น โดยไม่ต้องเพิ่มอุณหภูมิการเผาและไม่ต้องใช้เชื้อเพลิงเพิ่มมากขึ้น [4]

ในประเทศไทยมีอุตสาหกรรมที่เป็นอุตสาหกรรมขนาดย่อมเป็นจำนวนมาก เช่น โรงงานตัดเย็บเสื้อผ้า โรงงานฟอกหนัง และโรงงานเซรามิกส์ที่เป็นอุตสาหกรรมชุมชน ซึ่งในจังหวัดอ่างทองก็เป็นจังหวัดหนึ่งที่มีดินที่มีคุณภาพผลิตเซรามิกส์เป็นเอกลักษณ์ประจำตัว มีโรงงานผลิตอิฐและกระเบื้องดินเผา จำนวน 23 โรงงาน ตามข้อมูลจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม [5] ซึ่งสามารถนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นที่ต้องการได้ และเป็นสิ่งที่ช่วยสร้างรายได้ให้กับชุมชนในจังหวัดอ่างทอง ซึ่งนับวันจำนวนของดินก็จะยิ่งลดลงจึงต้องหาวัสดุอื่นที่เหมาะสมในการทดแทนดินอ่างทองได้

จากการศึกษางานวิจัยก่อนหน้าที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้พบว่า สามารถแบ่งงานวิจัยออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มใช้ประโยชน์จากเถ้าแกลบ และ กลุ่มใช้ประโยชน์จากเศษแกลบ โดยในกลุ่มแรกประกอบด้วย หนารัช จิตชาญวิชัย ศึกษาสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นและลักษณะของเคลือบที่มีซีเถ้าแกลบเป็นส่วนผสมแทนวัสดุที่เป็นซิลิกา โดยกำหนดกลุ่มตัวอย่างของดินปั้นและของเคลือบที่มีซีเถ้า

แกลบเป็นส่วนผสม พบว่าเนื้อดินปั้นที่ตีที่สุกและอัตราส่วนผสมของเคลือบที่ตีที่สุก มีอัตราส่วนซีเถ้าแกลบร้อยละ 10 [6] คณาธิป อิศระกุล และคณะ นำเถ้าแกลบและเถ้าลอยลิกไนต์มาใช้เป็นสารเสริมความแข็งแรงโดยใช้เป็นส่วนผสมร่วมกับดินเซรามิกในการผลิตกระเบื้องเซรามิก [7] Akshay Satish More et al., ศึกษาผลการใช้ประโยชน์จากเถ้าลอยและซีเถ้าแกลบเพื่อผลิตเป็นอิฐดินเผา [11] N.Vamsi Mohan et al., นำเถ้าแกลบมาใช้ทดแทนดินบางส่วนในการผลิตอิฐ โดยใช้เถ้าแกลบ ดิน และเคลย์ เป็นส่วนผสมหลักพบว่าสามารถเพิ่มเถ้าแกลบได้มากที่สุดที่ 30% ถ้าใช้มากกว่า 40% ความแข็งแรงจะลดลง กำลังรับแรงอัดลดลง และเพิ่มการดูดซึมน้ำ [12] K. Ganesan et al., ประเมินเถ้าแกลบที่เตรียมจากกากเมล็ดที่ถูกเผาไหม้ของโรงสีข้าวแห่งหนึ่ง โดยใช้ระดับทดแทนในส่วนประกอบผสมในซีเมนต์ที่ต่างกัน 5 สภาวะ [13] J.A. Junkes et al., ประเมินความเป็นไปได้ในการใช้ขยะอุตสาหกรรมเป็นวัตถุดิบทดแทนในการผลิตกระเบื้องเซรามิก โดยศึกษาวัสดุ 4 ชนิด คือ กากตะกอนจากกระบวนการบด, กระบวนการตัดและขัดเงา, ขั้นตอนการกรองน้ำ และดิน มีการสร้างสูตร ผสมและอัดเป็นเม็ดและเผาที่อุณหภูมิ 900 950 1000 1100 และ 1150 °C ผลการศึกษาพบว่าสามารถใช้ของเสียนำไปผลิตเป็นกระเบื้องเซรามิกได้ [14] และในกลุ่มที่สอง ซึ่งใช้ประโยชน์จากเศษแกลบ ประกอบด้วยงานวิจัยของ ภาณุวัตร และคณะ พบว่าเศษแกลบมีองค์ประกอบหลักทางเคมี คือ  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  และ  $\text{SiO}_2$  ซึ่งใกล้เคียงกับวัสดุที่ใช้ในงานเซรามิกส์ [3] รัชฎาภรณ์ พบว่า เศษแกลบมีคุณสมบัติช่วยลดจุดหลอมตัวในการเผา ทำให้การเผาที่อุณหภูมิเท่าเดิมเมื่อผลิตภัณฑ์จะเกิดการหลอมตัวได้ดีขึ้น โดยไม่ต้องเพิ่มอุณหภูมิการเผาและไม่ต้องใช้เชื้อเพลิงเพิ่มมากขึ้น [4] อีกทั้งวรรณมา ต.แสงจันทร์ ใช้ประโยชน์จากเศษแกลบสีชาในการผลิตอิฐมวลเบา เพื่อใช้เป็นฉนวนความร้อนสำหรับอาคารบ้านเรือน โดยขึ้นรูปเป็นก้อนอิฐ เเผาที่อุณหภูมิ 800 และ 850 °C โดยสรุปได้ว่าเศษแกลบสามารถนำมาผลิตเป็นอิฐมวลเบาได้และลดอุณหภูมิหลอมเหลวได้ [8]

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์สีสนิมใหม่จากเถ้าแกลบ เศษแกลบสีชา และดินอ่างทอง ซึ่งจากการสืบค้นงานวิจัยยังไม่มีผู้ทำวิจัยโดยประยุกต์ใช้วัสดุดังกล่าวข้างต้น ในการผลิตกระเบื้องบุผนัง จึงเป็นที่มาในการทำงานวิจัยครั้งนี้ และเป็นการเพิ่มแนวทางเลือกสำหรับผลิตภัณฑ์เซรามิกที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม



## 2. วิธีวิจัย (Research Methodology)

วัตถุดิบที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ เถ้า  
แกลบ จากกระบวนการผลิตไฟฟ้าจาก บริษัท อุ๋ทองไบโอ  
แมส จำกัด, เศษแก้วสีชาจากโรงงานบางกอกกล้าสจำกัด  
และดินท้องถิ่นจากอำเภอบำเหน็จณรงค์ จังหวัดอำนาจทอง ซึ่งแสดง  
ส่วนประกอบทางเคมีใน ตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

สารประกอบ	วัตถุดิบ (%)		
	เถ้าแกลบ	เศษแก้วสีชา	ดินอ่างทอง
SiO <sub>2</sub>	92.67	72.1	64.95
K <sub>2</sub> O	1.96	0.2	2.46
CaO	1.18	10.6	0.59
MgO	0.78	2.4	1.43
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.54	0.1	6.45
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.56	1.6	21.95
SO <sub>3</sub>	0.34	0.15	0.23
Na <sub>2</sub> O	0.07	12.9	0.41
TiO <sub>2</sub>	0.03	0.05	0.99

### วิธีการทดลอง

1. ทำการอบไล่ความชื้นวัตถุดิบ 2 ชั่วโมง และนำไป  
บดด้วยเครื่องบด (Ball mill) โดยเถ้าแกลบ และดินอ่างทอง  
บดเป็นเวลา 30 นาที เศษแก้วสีชาบดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง  
เนื่องจากแก้วมีความแข็งแรงมากกว่าวัตถุดิบอื่น แล้วนำ  
วัตถุดิบที่ได้ไปร่อนผ่านตะแกรง 50 เมช (297 ไมครอน)

2. ชั่งวัตถุดิบด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล ตามส่วนผสมดัง  
ตารางที่ 2 ซึ่งจะพิจารณาตามแผนภาพสามแกน โดยมี  
ขอบเขตดังต่อไปนี้

- ใช้เถ้าแกลบ จาก บริษัท อุ๋ทองไบโอแมส จำกัด  
≤ 60% ต่อน้ำหนักของสูตรทดลอง

- ใช้เศษแก้วสีชา จากโรงงานบางกอกกล้าสจำกัด  
≤ 70% ต่อน้ำหนักของสูตรทดลอง

3. ผสมวัตถุดิบเข้าด้วยกันแล้วสเปรย์น้ำสัดส่วน 10%  
ของน้ำหนักทั้งหมด ใช้เวลาผสม 30 นาที แล้วร่อนวัตถุดิบ  
ผ่านตะแกรง 20 เมช (841 ไมครอน) และนำผงวัตถุดิบไปขึ้น  
รูปด้วยวิธีอัดขึ้นรูปทางเดียว (Uni Axial Pressing) ด้วย  
แรงดันขนาด 100 บาร์ จะได้ชิ้นทดสอบขนาด 50 x 100 x  
7 mm. แล้วทำการอบไล่ความชื้นชิ้นทดสอบเป็นเวลา 2  
ชั่วโมง

4. เผาชิ้นทดสอบด้วยอัตรา 100 °C/ hr. และเย็นไฟที่  
อุณหภูมิสูงสุด 950 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

ตารางที่ 2 ส่วนประกอบของการทดลอง 4 กลุ่ม

สูตรที่	วัตถุดิบ (%)		
	เถ้าแกลบ	เศษแก้วสีชา	ดินอ่างทอง
A1	20	70	10
A2	30	60	10
A3	40	50	10
A4	50	40	10
A5	60	30	10
A6	70	20	10
A7	80	10	10
B8	20	60	20
B9	30	50	20
B10	40	40	20
B11	50	30	20
B12	60	20	20
B13	70	10	20
C14	20	50	30
C15	30	40	30
C16	40	30	30
C17	50	20	30
C18	60	10	30
D19	20	40	40
D20	30	30	40
D21	40	20	40
D22	50	10	40

5. นำชิ้นงานที่เผาแล้วไปทดสอบคุณสมบัติ ดังต่อไปนี้

- ค่าความต้านทานแรงดัด (Bending Strength)  
หน่วย เมกาปาสคาล (MPa) ดังสมการที่ (1)

$$\text{Bending Strength} = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (1)$$

P คือ แรงกดที่ทำให้ชิ้นทดสอบหัก (N)

L คือ ความกว้างของบารอง (mm)

b คือ ความกว้างของชิ้นทดสอบบริเวณที่หัก (mm)

d คือ ความหนาของชิ้นทดสอบบริเวณที่หัก (mm)

- เปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังการเผา ดังสมการที่ (2)

$$\% \text{ shrinkage} = \frac{L_0 - L}{L_0} \times 100 \quad (2)$$

L<sub>0</sub> คือ ความยาวก่อนเผา (mm)

L คือ ความยาวหลังเผา (mm)

- น้ำหนักที่สูญเสียหลังการเผา ดังสมการที่ (3)

$$\% \text{ Weight Loss} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \quad (3)$$

$W_1$  คือ น้ำหนักก่อนเผา (g)

$W_2$  คือ น้ำหนักหลังเผา (g)

- เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ ดังสมการที่ (4)

$$\% \text{ Water Absorption} = \frac{(W_w - W_d)}{W_d} \quad (4)$$

$W_w$  คือ น้ำหนักชิ้นงานชิ้นงานแห้งหลังเผา (g)

$W_d$  คือ น้ำหนักชิ้นงานหลังต้มทิ้งไว้ในน้ำ 24 ชม. (g)

- ค่าความหนาแน่น (Density) ดังสมการที่ (5)

$$\rho = \frac{m}{V}$$

(5)

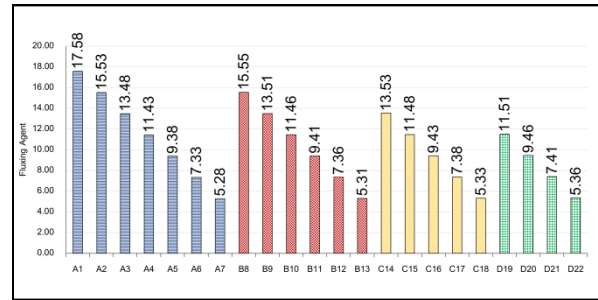
m คือ น้ำหนักตัวอย่าง (g)

V คือ ปริมาตรของตัวอย่าง ( $\text{cm}^3$ )

### 3. ผลการวิจัย (Results)

#### 3.1 การวิเคราะห์ Fluxing Agent

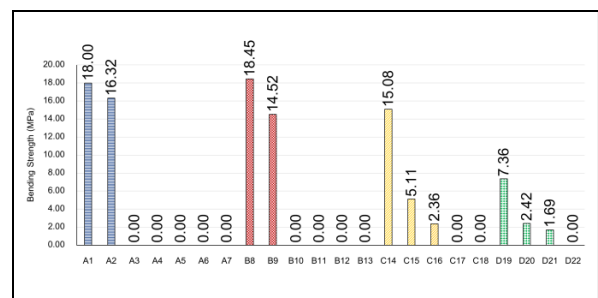
Fluxing Agent หมายถึง ธาตุ หรือออกไซด์ที่มีธาตุในกลุ่ม อัลคาไลน์ หรืออัลคาไลน์เอิร์ท เช่น  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  ซึ่งมีจุดหลอมตัวต่ำ ดังนั้นวัตถุดิบเหล่านี้ จะทำให้อุณหภูมิในการเผาต่ำลง หรือเพิ่มความต้านทานแรงดัด ในอุณหภูมิเท่าเดิม ปริมาณ Fluxing Agent ในสูตรการทดลอง 22 สูตร โดยคำนวณจากองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบตั้งต้น และปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ สรุปได้ในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ผลรวมปริมาณ Fluxing Agent ในแต่ละสูตร

#### 3.2 ค่าความต้านทานแรงดัด (Bending Strength)

ค่าความต้านทานแรงดัดแปรผันตามค่าของ Fluxing Agent พบว่าค่าความต้านทานแรงดัดสูงเมื่อสูตรนั้นมีค่า Fluxing Agent สูง และแปรผันตามปริมาณของเศษแก้วสีเขียว เศษแก้วมีสัดส่วนของ fluxing agent มากและช่วยให้เกิดแก้วที่อุณหภูมิต่ำและทำให้ชิ้นงานมีความแข็งแรง และดินอ่างทองซึ่งช่วยประสานให้วัตถุดิบเชื่อมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น เถ้าแก้วซึ่งมีส่วนประกอบซิลิกาเป็นหลัก แต่ไม่มีความเหนียว ทำให้ไม่สามารถใช้ได้ ปริมาณที่เกิน 40% จะส่งผลให้ชิ้นงานมีความเปราะ ชิ้นรูปยาก ไม่แข็งแรง ดังนั้น สูตร C17, C18 และ D22 สามารถขึ้นรูปได้แต่ค่าความต้านทานแรงดัดเท่ากับ 0 และจะไม่สามารถทดลองชิ้นงานในสูตร A3, A4, A5, A6, A7, B10, B11, B12, B13 ได้ เนื่องจากมีการใช้เถ้าแก้วมากกว่า 40% และใช้สัดส่วนของดินอ่างทองน้อย อย่างไรก็ตาม ในการทดลองนี้พบว่า สูตร A1, A2, B8 และ C14 สามารถผ่านมาตรฐาน มอก. 2508-2555 คุณสมบัติความต้านทานแรงดัดได้ ดังภาพที่ 2



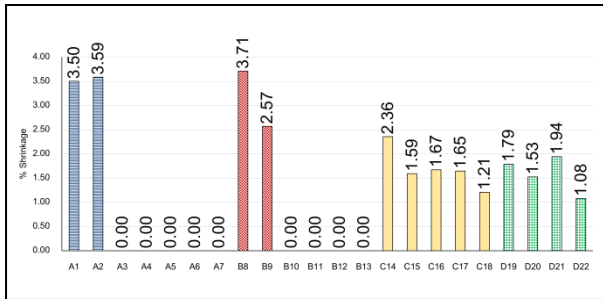
หมายเหตุ: ค่าความต้านทานแรงดัดของสูตร C17, C18 และ D22 มีค่าเท่ากับ 0 MPa เนื่องจากใช้เถ้าแก้วมากกว่า 40 %

ภาพที่ 2 ค่าความต้านทานแรงดัดในแต่ละสูตร

#### 3.3 ค่าการหดตัวหลังเผา (%Shrinkage)

การวิเคราะห์การหดตัวหลังการเผาทำเพื่อนำไปใช้ในการออกแบบแม่พิมพ์เพื่อให้ได้ขนาดของชิ้นงานหลังเผาใกล้เคียงกับขนาดชิ้นงานที่ต้องการใช้ในการผลิต จากภาพที่ 3 พบว่า การลดปริมาณเศษแก้วสีเขียว ทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวลดลง ซึ่งการหดตัวน้อย หมายถึงชิ้นงานยังมีรูปใน

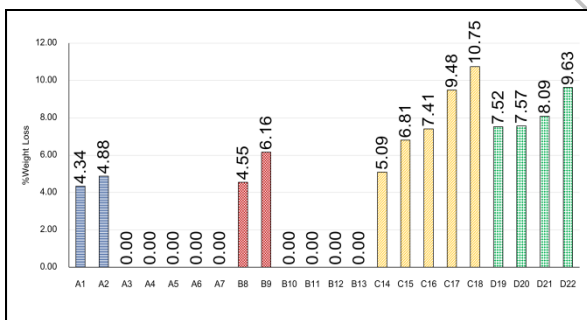
โครงสร้างสูง และสอดคล้องกับค่าความต้านทานแรงดัด เมื่อค่าการหดตัวน้อย ค่าความต้านทานแรงดัดต่ำซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ พิระภัทร์ และอุบลรัตน์ [9]



ภาพที่ 3 ค่าการหดตัวหลังการเผาในแต่ละสูตร

### 3.4 น้ำหนักที่สูญเสียหลังการเผา (%Weight Loss)

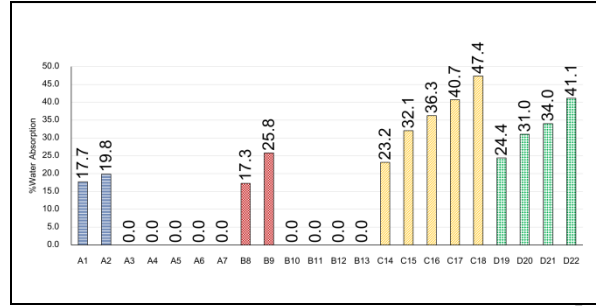
น้ำหนักที่สูญเสียหลังการเผา มีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่อมีปริมาณเถ้าแกลบ และดินอ่างทองมากขึ้น และปริมาณเศษแก้วสีชาลดลงตัวอย่างที่ A1, B8, C14 และ D19 มีค่าน้ำหนักที่สูญเสียหลังการเผาน้อยที่สุดในแต่ละกลุ่ม ซึ่งจะแปรผกผันกับค่าการหดตัวหลังเผา เนื่องจากค่าการหดตัวมากขึ้นงานมีรูพรุนต่ำ น้ำหนักที่สูญเสียจะน้อยลงดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 น้ำหนักที่สูญเสียหลังการเผาในแต่ละสูตร

### 3.5 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ (%Water Absorption)

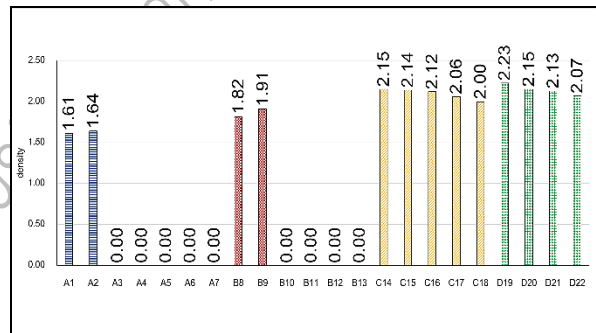
ค่าการดูดซึมน้ำ มีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่อมีปริมาณเถ้าแกลบ และดินอ่างทองมากขึ้น และปริมาณเศษแก้วสีชาลดลง ตัวอย่างที่ A1, B8, C14 และ D19 มีค่าการดูดซึมน้ำน้อยที่สุดในแต่ละกลุ่ม ซึ่งจะแปรผกผันกับค่าความต้านทานแรงดัดเมื่อมีค่าความต้านทานแรงดัดต่ำ ค่าการดูดซึมน้ำจะมีแนวโน้มสูงขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำในแต่ละสูตร

### 3.6 ค่าความหนาแน่น (Density)

การเพิ่มปริมาณของดินอ่างทองทำให้ค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ พิษณุ และ อุบลรัตน์ [10] โดยในกลุ่ม C และ D จะมีแนวโน้มลดลงตามการลดลงของเศษแก้วสีชา อย่างไรก็ตาม ค่ามากที่สุดคือ 2.23 g/cm<sup>3</sup> ในสูตร D19 และค่าต่ำที่สุดคือ 1.61 g/cm<sup>3</sup> ในสูตร A1 ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ค่าความหนาแน่นในแต่ละสูตร

## 4. อภิปรายผล (Discussion)

ผลการวิจัยนี้ แสดงให้เห็นว่า เถ้าแกลบ เศษแก้วสีชา และดินอ่างทองสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุทดแทนในการผลิตกระเบื้องบุผนังแบบเผาที่อุณหภูมิต่ำได้ ซึ่งในงานวิจัยพบว่าไม่สามารถใช้ได้ปริมาณที่เกิน 40% จะส่งผลให้ชิ้นงานมีความเปราะ ขึ้นรูปยาก ไม่แข็งแรงจะทำให้ค่าความต้านทานแรงดัดลดลง ค่าการหดตัวหลังเผาจะแปรตามค่าความต้านทานแรงดัด แต่จะมีค่าการดูดซึมน้ำสูงขึ้น เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิที่สูงขึ้นจะส่งผลให้ เถ้าแกลบที่อยู่บนชิ้นงานถึงแม้จะมี SiO<sub>2</sub> เป็นองค์ประกอบแต่ก็มีสัดส่วนของสารอินทรีย์มาก เมื่อได้รับความร้อน สารอินทรีย์เหล่านี้จะเกิดการสลายตัวทำให้ชิ้นงานไม่มีความเป็นเนื้อเดียวกันและเกิดรูพรุนในชิ้นงาน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ พิษณุ และอุบลรัตน์ [9] เมื่อพิจารณาดินอ่างทอง พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของดินอ่างทองมากขึ้นค่าความต้านทานแรงดัดและค่าความหนาแน่นจะสูงขึ้น และค่าการดูดซึมน้ำจะลดลง และเมื่อพิจารณาเศษ

แก้วสีชา จะพบว่า เมื่อใช้อัตราส่วนของเศษแก้วสีชามากขึ้น ค่าความต้านทานแรงดัดจะสูงขึ้น และค่าการดูดซึมน้ำจะลดลง ซึ่งเศษแก้วสีชาเป็นสารช่วยหลอมทำให้สามารถเผาที่อุณหภูมิต่ำ และลดรูพรุนในชิ้นงานได้ แม้ว่าวัสดุที่ใช้ทดแทน บางตัวอาจทำให้คุณสมบัติในด้านต่าง ๆ ลดลง แต่สูตร A1, A2 และ B8 สามารถผ่านมาตรฐาน มอก. 2508 – 2555 ประเภท BIII ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของสูตร A1, A2 และ B8 กับ มาตรฐาน มอก.2508-2555

	ค่าความต้านทานแรงดัด (MPa)	% ค่าการดูดซึมน้ำ
มาตรฐาน มอก. 2508-2555	15	มากกว่า > 10% แต่ไม่เกิน 20%
No. A1	18.00	17.70
No. A2	16.32	19.80
No. B8	18.45	17.30

### 5. สรุปผล (Conclusion)

จากผลการวิจัยสรุปได้ว่าแก้วเคลือบ เศษแก้วสีชา และดินอ่างทอง สามารถใช้เป็นวัสดุทดแทน ในการผลิตกระเบื้องบุผนัง โดยสูตร A1 แก้วเคลือบ 20% เศษแก้วสีชา 70% และดินอ่างทอง 10% มีค่าความต้านทานแรงดัด 18.00 MPa ค่าการดูดซึมน้ำ 17.70% สูตร A2 แก้วเคลือบ 30% เศษแก้วสีชา 60% และดินอ่างทอง 10% มีค่าความต้านทานแรงดัด 16.32 MPa ค่า ค่าการดูดซึมน้ำ 19.80% และ สูตร B8 แก้วเคลือบ 20% เศษแก้วสีชา 60% และดินอ่างทอง 20% มีค่าความต้านทานแรงดัด 18.45 MPa ค่าการดูดซึมน้ำ 17.70% ผ่านมาตรฐาน มอก. 2508-2555 โดยสูตรที่แนะนำในการนำไปผลิตคือสูตร B8 เพราะเป็นสูตรที่มีค่าความต้านทานแรงดัดมากที่สุด มีค่าการดูดซึมน้ำน้อยที่สุด

1. ค่าต้านทานแรงดัดแปรผกผัน กับ ค่าการดูดซึมน้ำ หากค่าความต้านทานแรงดัดสูง ค่าการดูดซึมน้ำต่ำ
2. การเพิ่มปริมาณแก้วเคลือบ ช่วยลดการหดตัวของชิ้นงาน แต่จะทำให้ความแข็งแรงลดลง และค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มมากขึ้น
3. การเพิ่มปริมาณเศษแก้วสีชา และดินอ่างทอง จะทำให้ความแข็งแรงสูงขึ้น และค่าการดูดซึมน้ำต่ำ
4. ค่าความต้านแรงดัดจะแปรผันตามปริมาณของสารช่วยหลอมในชิ้นงาน
5. การเพิ่มแก้วเคลือบมากกว่า 30% ส่งผลให้ค่าความต้านแรงดัดเป็นศูนย์ แสดงในสูตรการทดลองที่ C17, C18 และ D22

### 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาคีวิชาวิศวกรรมการผลิต คณะ

วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือในการทำวิจัย

### 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] เช็กสถานะพลังงานทดแทน, พลังงานชีวมวล, ข้อมูลจาก <https://www.mmthailand.com> (วันที่สืบค้นข้อมูล 17 สิงหาคม พ.ศ.2561)
- [2] นรเศรษฐ์ ไทยรินทร์ และ อุบลรัตน์ หวังรัชต์สิกุล, 2559, การใช้เถ้าแกลบเป็นวัสดุทดแทนในดินขาวและทลคัมเพื่อผลิตคอร์เดียไรท์เซรามิกส์, วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหา วิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ., 141 น.
- [3] ภาณุวัตร รื่นเรืองฤทธิ์, วิทยานิพนธ์ เอเชียประเสริฐ และ สรรค์ สยามภักดิ์, 2554, การศึกษาการใช้เศษแก้วเพื่อลดต้นทุนในกระบวนการผลิตสุขภัณฑ์เซรามิกส์, วารสารมหา วิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ว.มร., ปีที่ 5 ฉบับที่ 2
- [4] รัชฎาภรณ์ พัฒนะ. 2560, การใช้เศษแก้วเพื่อลดความพรุนตัวของผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาบ้านทุ่งหลวงตำบลทุ่งหลวง อำเภอศรีราชา จังหวัดสุโขทัย, รายงานสืบเนื่อง การประชุมสัมมนาวิชาการ (Proceedings) การนำเสนอ ผลงานวิจัย ระดับชาติ เครือข่ายบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏภาคเหนือ., ครั้งที่ 17
- [5] กรมโรงงานอุตสาหกรรม. ข้อมูลโรงงานอิฐ, ข้อมูลจาก <http://www.diw.go.th/hawk/default.php> (วันที่สืบค้นข้อมูล 17 สิงหาคม พ.ศ.2561)
- [6] ทนารัช จิตชาญวิชัย, 2558, ใช้เถ้าแกลบแทนซิลิกาสำหรับผลิตภัณฑ์เซรามิก อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส, วารสารวิจัยและพัฒนา วิทยาลัยการกรรณ ในพระบรมราชูปถัมภ์., ปีที่ 10 ฉบับที่ 3
- [7] คณาธิป อิศระกุล และ จักรกฤษณ์ มหัจฉริยวงศ์, 2557, คุณลักษณะของกระเบื้องเซรามิกที่ผสมเถ้าแกลบและเถ้าลอยลิกไนต์ภายใต้สภาวะอุณหภูมิการเผาที่แตกต่างกัน, การประชุมวิชาการมหาสารคามวิจัย., ครั้งที่ 10
- [8] วรณา ต.แสงจันทร์, 2552, การพัฒนาอิฐมวลเบาจากเศษแก้ว, วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ., ปีที่ 57 ฉบับที่ 179
- [9] พิระภัทร์ นาคกนก และ อุบลรัตน์ หวังรัชต์สิกุล, 2560, กระเบื้องบุผนังเผาครั้งเดียวจากดินตะกอนน้ำประปา, การประชุมวิชาการระดับชาติวิศวกรรมวิจัย., ครั้งที่ 1
- [10] พิษณุ สินโพธิ์ และ อุบลรัตน์ หวังรัชต์สิกุล, 2560, กระเบื้องเทอร์ราคอตจากดินอ่างทอง ดินตะกอน

น้ำประปา และเถ้าแกลบ, การประชุมวิชาการประจำปี  
2560 มหาวิทยาลัยแม่โจ้

- [11] Akshay M., Ahad T., and Ashwani A.,  
"Assessment of suitability of Fly Ash and Rice  
Husk Ash burnt clay bricks", International  
Journal of Scientific and Research Publications,  
Volume 4, Issue 7, July 2014 ISSN 2250-3153,  
2014
- [12] Vamsi M., Satyanarayana V., and Srinivasa K.,  
"Performance Of Rice Husk Ash Bricks",  
International Journal of Engineering Research  
and Applications (IJERA), ISSN: 2248-9622, 2012
- [13] Ganesan., Rajagopal., and Thangavel., "Rice  
husk ash blended cement: Assessment of  
optimal level of replacement for strength and  
permeability properties of concrete",  
Construction and Building Materials 22 (2008),  
1675–1683, 2008
- [14] Junkes J.A., Cavalho M.A., Segaes A.M. and  
Hotza D., "Ceramic Tile Formulations from  
Industrial Waste". International Ceramic Review,  
January 2011, 2011

RMUTP & FTI 5th Sustainable Industrial Management Engineering



การลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกด้วยเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด  
กรณีศึกษา โรงงานผลิตอาหารพร้อมรับประทาน

Greenhouse Gas Reduction by Cleaner Technology

Case Study at Ready to Eat Factory

ศิริธร แสงใส, ปริญญา บุญกนิษฐ และณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล

สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนประชากรราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร

siritsan09@gmail.com

**บทคัดย่อ**

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินปริมาณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ขององค์กรกรณีศึกษาโรงงานผลิตอาหารพร้อมรับประทานจากการนำเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดมาประยุกต์ใช้ในการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากแหล่งกำหนดในขอบเขตที่ 1 (การใช้เชื้อเพลิงจากน้ำมันเตาเกรดเอ) และขอบเขตที่ 2 (การใช้พลังงานไฟฟ้า) พบว่า ในปี พ.ศ. 2560 มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 1.44 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อตันผลิตภัณฑ์ ลดลงจากปี พ.ศ. 2559 ที่มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 1.73 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อตันผลิตภัณฑ์ หรือคิดเป็นร้อยละที่ลดลงเท่ากับ 16.8 และเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากปี พ.ศ. 2558 (ปีฐาน) ที่มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 1.59 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อตันผลิตภัณฑ์ หรือคิดเป็นร้อยละที่ลดลงเท่ากับ 9.4 ดังนั้น จากผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า เทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดเป็นเครื่องมือที่เหมาะสมในการนำมาใช้เพื่อลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขององค์กร

**คำสำคัญ :** คาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร ; ก๊าซเรือนกระจก ; เทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด

**Abstract**

This study aims to assess greenhouse gas reduction by product in case of Ready to Eat factory. Cleaner Technology was applied for greenhouse gas reduction in scope 1 (Fuel Oil Bunker A) and scope 2 (Electric power). Greenhouse gas emission shows a positive prospect with downward trend from 1.73 tCO<sub>2</sub>e/unit in year 2016 to 1.44 tCO<sub>2</sub>e/unit in year 2017 (16.8%). In addition, it is lesser than greenhouse gas emitted in year 2015 (1.59 tCO<sub>2</sub>e/unit or 9.4%). These Results reveal that cleaner technology is suitable tool for greenhouse gas reduction in factory.

**Key word :** Carbon Footprint for Organization ; Greenhouse Gas ; Cleaner Technology

## 1. บทนำ (Introduction)

สถานการณ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโลก เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง มีสาเหตุมาจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลในช่วงปฏิวัติอุตสาหกรรม ในการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศกำลังพัฒนา ซึ่งเป็นตัวเร่งสำคัญที่ก่อให้เกิดการสังสมของปริมาณก๊าซเรือนกระจก ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ก๊าซมีเทน (CH<sub>4</sub>) ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N<sub>2</sub>O) ก๊าซไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFC) ก๊าซเพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFC) และก๊าซซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF<sub>6</sub>) ในชั้นบรรยากาศ ทำให้ปรากฏการณ์ก๊าซเรือนกระจกและความเสี่ยงต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ มีแนวโน้มรุนแรงมากขึ้นในทุกภูมิภาคของโลก อาทิ อุณหภูมิเฉลี่ยที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้เกิดภัยธรรมชาติ เช่น อุทกภัย ภัยแล้ง และพายุที่รุนแรงบ่อยครั้งขึ้น เป็นต้น จากการรายงานของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาล ว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ได้ระบุให้ภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เป็นภูมิภาคที่มีความเปราะบางสูงต่อผลกระทบ จากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ สำหรับประเทศไทยได้รับการจัดลำดับจากองค์กร Germanwatch ให้เป็นประเทศหนึ่งในสิบประเทศ ที่มีความเสี่ยงสูงต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระยะยาว ประเทศไทยเป็นประเทศกำลังพัฒนาที่พึ่งพาการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล และมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เพิ่มขึ้นจึงจำเป็นต้องเร่งเตรียมความพร้อมในการเสริมสร้างขีดความสามารถด้านการปรับตัว และการลดก๊าซเรือนกระจก เพื่อเข้าสู่การพัฒนาที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำ มีภูมิต้านทานและความสามารถในการฟื้นตัวจากผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโดยในปี พ.ศ. 2558 พลเอกประยุทธ์ จันทร์โอชา นายกรัฐมนตรี ได้กล่าวถ้อยแถลงจุดยืน ในการมีส่วนร่วม แก้ไขปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อที่ประชุม รัฐภาคีอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ สมัยที่ 21 ณ กรุงปารีส สาธารณรัฐฝรั่งเศส ซึ่งแสดงเจตจำนงในการลดก๊าซเรือนกระจกให้ได้ร้อยละ 20-25 ภายใน ปี พ.ศ. 2573 โดยนำหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงมาใช้ พร้อมทั้งลดการใช้พลังงานจากฟอสซิล [1] จากข้อมูลรายงานความก้าวหน้ารายสองปีฉบับที่ 2 ของประเทศไทย ที่นำเสนอต่ออนุสัญญาสหประชาชาติ ว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ในเดือนธันวาคม พ.ศ.2559 พบว่าในปี พ.ศ. 2556 ประเทศไทย มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิ 232,560.33 GgCO<sub>2</sub>eq (พันตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า) โดยมีสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจก จากกิจกรรมในภาคพลังงาน 74.35% ภาคเกษตร 15.98%

ภาคกระบวนการอุตสาหกรรม 5.96% และภาคของเสีย 3.71% [2]

คาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร (Carbon Footprint for Organization) คือปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากกิจกรรมต่างๆ ขององค์กร เช่น การเผาไหม้ของเชื้อเพลิง การใช้ไฟฟ้า การจัดการของเสีย และการขนส่งวัตถุดิบในรูปตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า พิจารณาจาก 3 ส่วนหลักดังนี้ : ขอบเขตที่ 1 การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทางตรง (Direct Emissions) จากกิจกรรมต่างๆ ขององค์กรโดยตรง เช่น การเผาไหม้ของเครื่องจักร การใช้พาหนะขององค์กร (ที่องค์กรเป็นเจ้าของ) การรั่วซึม/รั่วไหล จากกระบวนการหรือกิจกรรม เป็นต้น ขอบเขตที่ 2 การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทางอ้อม จากการใช้พลังงาน (Energy Indirect Emissions) การซื้อพลังงานมาใช้ในองค์กร เช่น พลังงานไฟฟ้า พลังงานความร้อน พลังงานไอน้ำ และขอบเขตที่ 3 การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทางอ้อมด้านอื่นๆ เช่น การเดินทางของพนักงานด้วยพาหนะที่ไม่ใช่ขององค์กร โดยประโยชน์ของการทำคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรในภาคธุรกิจสามารถประเมินปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากกิจกรรมขององค์กร จำแนกสาเหตุของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มีนัยสำคัญ และหาแนวทางเพื่อลดขนาดของคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ซึ่งปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดลง อาจนำไปขายเป็นคาร์บอนเครดิต หรือทำการชดเชยคาร์บอนกับองค์กรอื่นๆ [3]

องค์กรกรณีศึกษาโรงงานผลิตอาหารพร้อมรับประทาน ตระหนักว่า การจัดทำคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร อย่างต่อเนื่องนั้น เป็นวิธีการที่สำคัญในการแสดงปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยจากการดำเนินกิจกรรมขององค์กรทั้งทางตรงและทางอ้อม เพื่อนำข้อมูลที่ได้มากำหนดวิธีการแนวทางการบริหารจัดการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขององค์กร ซึ่งได้กำหนดให้ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ (TonCO<sub>2</sub>e/unit) เป็นดัชนีชี้วัดด้านสิ่งแวดล้อม มีการติดตามประเมินผลอย่างต่อเนื่อง และจากข้อมูลการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรในปี พ.ศ. 2559 พบว่า มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 6,345 TonCO<sub>2</sub>e (1.73 TonCO<sub>2</sub>e/unit) เพิ่มขึ้น 8.8% จากปี พ.ศ. 2558 (ปีฐาน) ที่มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 6,064.61 TonCO<sub>2</sub>e (1.59 TonCO<sub>2</sub>e/unit) [4] ดังแสดงในตาราง 1



ตารางที่ 1 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ปี พ.ศ. 2558-2559

แหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจก	ปริมาณก๊าซเรือน กระจก (TonCO <sub>2</sub> e)	ปริมาณก๊าซเรือน กระจกต่อหน่วย ผลิตภัณฑ์* (TonCO <sub>2</sub> e/unit)	ปริมาณก๊าซ เรือนกระจก (TonCO <sub>2</sub> e)	ปริมาณก๊าซเรือน กระจกต่อหน่วย ผลิตภัณฑ์* (TonCO <sub>2</sub> e/unit)	สัดส่วน ปี 2559
	ปี 2558 (ปีฐาน)	ปี 2558 (ปีฐาน)	ปี 2559	ปี 2559	(%)
<b>ขอบเขตที่ 1 : การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรง</b>					
1 LPG station	19.77	0.005	16.43	0.004	1
2 น้ำมันเตา (Bunker A)	2,369.19	0.621	2,829.95	0.773	96
3 Fire pump (ดีเซล)	1.18	0.000	0.54	0.000	0
4 รถยนต์ 1 คัน (ดีเซล)	10.64	0.003	11.3	0.003	0
5 Car Allowance (เบนซิน)	5.3	0.001	7.24	0.002	0
11 Car Allowance (ดีเซล)	ไม่มีการใช้	0.000	0.47	0.000	0
12 Car Allowance (LPG)	0.05	0.000	ไม่มีการใช้	0.000	0
6 ปล่อย CH <sub>4</sub> บ่อน้ำเสีย	0	0.000	0	0.000	0
7 สารทำความเย็น (R 410)	25.4	0.007	29.73	0.008	1
8 สารทำความเย็น (R 134A)	0.01	0.000	0.01	0.000	0
9 สารทำความเย็น (R 404A)	0.08	0.000	0.08	0.000	0
10 ปล่อย CH <sub>4</sub> ห้องน้ำคนงาน	14.87	0.004	37.48	0.010	1
13 สารดับเพลิง CO <sub>2</sub>	0.41	0.000	ไม่มีการใช้	0.000	0
<b>รวมทั้งหมด</b>	<b>2,459.84</b>	<b>0.644</b>	<b>2,933.23</b>	<b>0.801</b>	<b>100</b>
<b>ขอบเขตที่ 2 : การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงาน</b>					
1 การใช้ไฟฟ้า	3,499.35	0.917	3,412.08	0.932	100
<b>รวมทั้งหมด</b>	<b>3,499.35</b>	<b>0.917</b>	<b>3,412.08</b>	<b>0.932</b>	<b>100</b>

\*หมายเหตุ : ปริมาณผลิตภัณฑ์ (FG) ปี 2558 = 3,818 Ton/year , ปี 2559 = 3,661 Ton/year

จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เพิ่มขึ้นในปี พ.ศ. 2559 เกิดจากแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มีนัยสำคัญ ขอบเขต 1 คือ การใช้เชื้อเพลิงจากน้ำมันเตาเกรดเอ (96% ของขอบเขต 1) และขอบเขต 2 คือการใช้ไฟฟ้า (100% ของขอบเขต 2) ซึ่งแนวคิดการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมแนวใหม่ที่ได้รับการยอมรับว่า สามารถแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่ต้นเหตุได้อย่างมีประสิทธิภาพ คือการใช้เทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด (Cleaner Technology) ที่ช่วยลดพลังงานไฟฟ้า และแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมได้ [5] เทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด มีความจำเป็นต่อการจัดการปัญหาสิ่งแวดล้อม พร้อมกับการพัฒนากระบวนการผลิตที่เน้นการลดมลพิษที่แหล่งกำเนิด เน้นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าและเกิดประโยชน์สูงสุด

เมื่อนำไปใช้แล้วเกิดผลดีทั้งในด้านเศรษฐศาสตร์ การพัฒนาอุตสาหกรรม และสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืน [6] ดังนั้น การศึกษานี้ จึงนำแนวทางเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดมาประยุกต์ใช้ เพื่อลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากแหล่งปล่อยที่มีนัยสำคัญ เพื่อให้บรรลุตามดัชนีชี้วัดด้านสิ่งแวดล้อมขององค์กรและเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนที่ 13 การรับมือการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ [7]

## 2. วิธีวิจัย (Research Methodology)

### 2.1 การวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกปี พ.ศ. 2559 เทียบปี พ.ศ. 2558 (ปีฐาน)

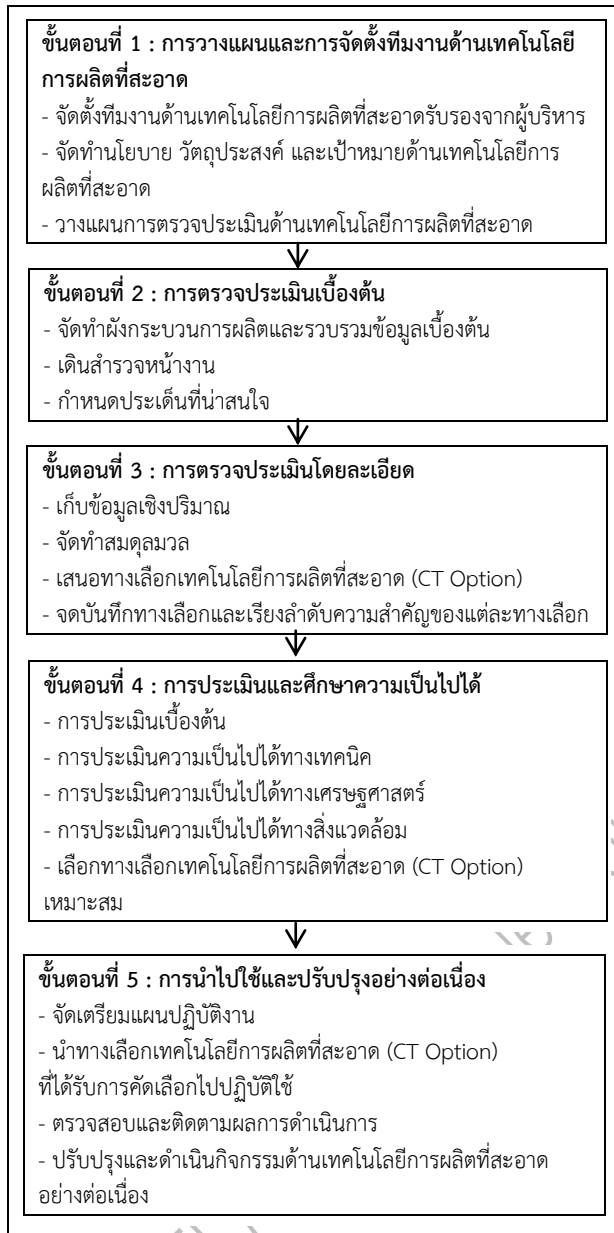
ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกปี พ.ศ. 2559 (ข้อมูลที่ใช้คำนวณ ช่วงมกราคม-ธันวาคม พ.ศ. 2559) เปรียบเทียบกับปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกปี พ.ศ. 2558 (ปีฐาน) เพื่อประเมินขอบเขตแหล่งการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ที่นำเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดมาใช้ลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปี พ.ศ. 2560

### 2.2 การเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ดำเนินงานเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดและประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกปี พ.ศ. 2560

เก็บรวบรวมข้อมูลพื้นฐาน กระบวนการผลิต และข้อมูลแหล่งการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขององค์กร เช่น วัตถุประสงค์ ทรัพยากร และเชื้อเพลิง ขององค์กรกรณีศึกษาจำนวน 12 เดือน ในช่วงเดือนมกราคม-ธันวาคม ปี พ.ศ. 2560 เพื่อนำข้อมูลที่ได้ดำเนินการตามขั้นตอนที่ระบุในหลักปฏิบัติเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด (การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและป้องกันมลพิษ) อุตสาหกรรมอาหารพร้อมรับประทาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม [8] และทำการกำหนดขอบเขตแหล่งการปล่อยก๊าซเรือนกระจก คือขอบเขต 1 แหล่งการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรง (Direct Emission) และขอบเขต 2 แหล่งการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อม (Indirect Emission) โดยอ้างอิงการคำนวณการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร ตามแนวทางองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) [9]

### 2.3 ดำเนินงานตามขั้นตอนเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด

ขั้นตอนการดำเนินงานเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ดังนี้



## 2.4 คำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

นำข้อมูลที่ได้แบ่งขอบเขตแหล่งการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมาทำการคำนวณปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกขององค์กร ดังแสดงในสมการที่ 1

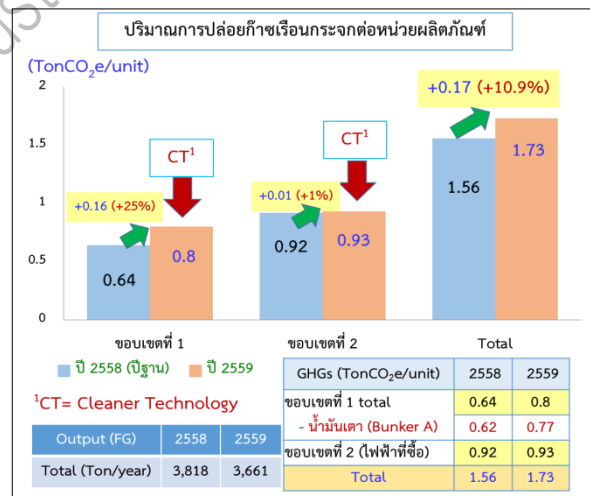
$$\text{ปริมาณก๊าซเรือนกระจก} = \text{ข้อมูลกิจกรรม} \times \text{ค่าการปล่อยหรือดูดกลับก๊าซเรือนกระจก} \quad (1)$$

## 2.5 เปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ หลังการนำ CT Option ที่คัดเลือกไปปฏิบัติใช้ในองค์กรกรณีศึกษา

ดำเนินการเปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกปี พ.ศ. 2560 (หลังนำ CT Option ที่ถูกเลือกไปปฏิบัติ) กับปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปี พ.ศ. 2559 และปี พ.ศ. 2558 (ปีฐาน) เพื่อประเมินประสิทธิภาพการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขององค์กร จากการนำเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดมาประยุกต์ใช้เพื่อให้บรรลุตามเป้าหมายขององค์กรกรณีศึกษา

## 3. ผลการวิจัย (Results)

3.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ปี พ.ศ. 2559 เปรียบเทียบกับปี พ.ศ. 2558 (ปีฐาน) และการพิจารณานำเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดมาใช้ลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่แหล่งกำเนิดของขอบเขตที่ 1, 2 ดังนี้



กราฟที่ 1 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ ปี พ.ศ. 2558-2559

จากภาพที่ 1 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ในปี พ.ศ. 2559 เพิ่มขึ้น +0.17 TonCO<sub>2</sub>e/unit หรือคิดเป็น 10.9% เทียบปี พ.ศ. 2558 (การปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วยผลิตภัณฑ์จากขอบเขต 1 เพิ่มขึ้น 25% และขอบเขต 2 เพิ่มขึ้น 1%)

3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ดำเนินงานเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดและประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

3.2.1 องค์กรกรณศึกษาโรงงานผลิตอาหารพร้อมรับประทาน มีการใช้วัตถุดิบหลัก ได้แก่ เนื้อหมู เนื้อไก่ แป้ง ผัก และข้าว โดยมีปริมาณการใช้วัตถุดิบทั้งหมด เท่ากับ 5,150 ตัน/ปี และมีปริมาณผลิตรถยนต์ทั้งหมด 5,007 ตัน/ปี จากกระบวนการผลิตเมื่อนำไปคำนวณหาร้อยละของผลิตรถยนต์ที่ได้จะทำให้ได้ %Yield เฉลี่ยประมาณ 97.22% ซึ่งแสดงข้อมูลในตารางที่ 2 โดยการหาค่า %Yield คำนวณได้จากน้ำหนักของผลิตรถยนต์ต่อน้ำหนักวัตถุดิบที่ใช้ ดังสมการต่อไปนี้

$$\%Yield = \frac{\text{น้ำหนักของผลิตรถยนต์ (ตัน)} \times 100}{\text{น้ำหนักของวัตถุดิบที่ใช้ทั้งหมด}} \quad (2)$$

ตารางที่ 2 ปริมาณวัตถุดิบและผลิตรถยนต์ขององค์กรกรณศึกษา

เดือน	ปริมาณวัตถุดิบ (ตัน)	ปริมาณผลิตรถยนต์ (ตัน)	%Yield
ม.ค.	350	339	96.86
ก.พ.	400	398	99.50
มี.ค.	420	411	97.86
เม.ย.	440	424	96.36
พ.ค.	440	423	96.14
มิ.ย.	450	433	96.22
ก.ค.	450	438	97.33
ส.ค.	440	424	96.36
ก.ย.	460	454	98.70
ต.ค.	420	406	96.67
พ.ย.	420	405	96.43
ธ.ค.	460	452	98.26
<b>รวม</b>	<b>5,150</b>	<b>5,007</b>	<b>-</b>
<b>เฉลี่ย</b>	<b>429.17</b>	<b>417.25</b>	<b>97.22</b>

จากข้อมูลในตารางที่ 2 นำมาคำนวณเพื่อเปรียบเทียบค่าปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิต (Key Factor) ในการผลิตขององค์กรกรณศึกษา ใน 3 ส่วนหลักๆ ได้แก่ อัตราส่วนระหว่างผลิตรถยนต์ต่อวัตถุดิบ การใช้พลังงาน (ความร้อนและไฟฟ้า) ต่อหน่วยผลิตรถยนต์ และการใช้น้ำต่อหน่วยผลิตรถยนต์ ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยของการผลิตและวัตถุดิบขององค์กรกรณศึกษา

เดือน	วัตถุดิบ (ตัน ต่อหน่วยผลิตรถยนต์)	น้ำใช้ (ลูกบาศก์เมตร ต่อหน่วยผลิตรถยนต์)	ไฟฟ้า (กิโลวัตต์ ชั่วโมง ต่อหน่วยผลิตรถยนต์)	น้ำมันเตา (ลิตร ต่อหน่วยผลิตรถยนต์)
ม.ค.	1.03	19.37	2,166.75	246.31
ก.พ.	1.01	18.13	1,760.24	226.26
มี.ค.	1.02	19.67	1,931.77	224.33
เม.ย.	1.04	18.55	1,839.48	201.53
พ.ค.	1.04	20.25	1,903.53	198.35
มิ.ย.	1.04	20.99	1,845.46	195.61
ก.ค.	1.03	19.03	1,873.83	187.79
ส.ค.	1.04	21.06	1,831.47	200.35
ก.ย.	1.01	22.75	1,855.87	198.46
ต.ค.	1.03	26.22	1,872.93	218.23
พ.ย.	1.04	26.09	1,875.64	199.14
ธ.ค.	1.02	26.75	1,701.28	209.85
<b>เฉลี่ย</b>	<b>1.03</b>	<b>21.57</b>	<b>1,871.52</b>	<b>208.85</b>
<b>ค่าที่ดีที่สุด</b>	<b>1.01</b>	<b>18.13</b>	<b>1,701.28</b>	<b>187.79</b>

3.2.2 องค์กรกรณศึกษา จำแนกข้อมูลวัตถุดิบ ทรัพยากร และเชื้อเพลิง ที่เป็นแหล่งการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ดังนี้

ตารางที่ 4 การจำแนกข้อมูลแหล่งการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ขอบเขตที่	แหล่งการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG)	หน่วย
1. แหล่งการปล่อย GHG ทางตรง	LPG (Station)	kg
	Boiler, Hot oil (น้ำมันเตา Bunker A)	Liter
	Fire pump (ดีเซล)	Liter
	รถยนต์ 1 คัน ฟลิทการ์ด (ดีเซล)	Liter
	ปริมาณน้ำมันรถพนักงาน (เบนซิน)	Liter
	ปริมาณน้ำมันรถพนักงาน (ดีเซล)	Liter
	ปริมาณน้ำมันรถพนักงาน (LPG)	Liter
	ปริมาณน้ำมันรถพนักงาน (NGV)	kg
	การปล่อยก๊าซจากบ่อบำบัดน้ำเสีย (CH <sub>4</sub> )	kg
	สารทำความเย็น Air (R 410)	kg
	สารทำความเย็น (ตู้แช่, ตู้น้ำดื่ม) (R 134A)	kg
	สารทำความเย็น (ตู้แช่, ตู้น้ำดื่ม) (R 404A)	kg
	การปล่อย CH <sub>4</sub> จากห้องน้ำพนักงาน	kg
สารดับเพลิง CO <sub>2</sub>	kg	
2. แหล่งการปล่อย GHG ทางอ้อม	ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	kWh

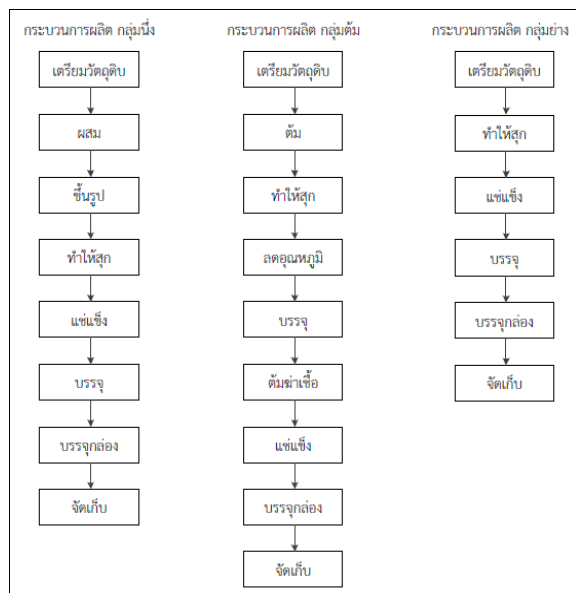
### 3.3 ผลดำเนินงานตามขั้นตอนเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด

#### 3.3.1 ขั้นตอนที่ 1 การวางแผนและการจัดตั้งทีมงานด้านเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด

ผู้บริหารสูงสุดขององค์กรกรณีศึกษาได้แสดงความมุ่งมั่นในการสนับสนุนกิจกรรมต่างๆ เพื่อการดำเนินงานเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดขององค์กร ให้บรรลุตามเป้าหมาย โดยจัดตั้งคณะกรรมการจำนวน 11 คน จากหลายหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ผลิต วิศวกรรม ประกันคุณภาพ ความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม และฝึกอบรมทีมงานโดยวิทยากรผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดจากหน่วยงานภายนอก เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจอย่างถูกต้องสามารถปฏิบัติใช้ได้จริงและวางแผนการดำเนินงาน

#### 3.3.2 ขั้นตอนที่ 2 การตรวจประเมินเบื้องต้น

ผลการสำรวจพื้นที่และจัดทำผังกระบวนการผลิต ดังนี้



ภาพที่ 1 ผังกระบวนการผลิต

ในกระบวนการผลิตอาหารพร้อมรับประทาน พลังงานที่ใช้ประกอบด้วย พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการเดินเครื่องจักรต่างๆ เช่น เครื่องอัดอากาศ เครื่องทำความเย็น ปั๊มน้ำ เครื่องบรรจุ สายพานลำเลียง โดยมีค่าดัชนีการใช้ไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 1701.28-2166.75 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ ค่าเฉลี่ย 1,871.52 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อหน่วย

ผลิตภัณฑ์ และพลังงานความร้อนที่ใช้ในกระบวนการผลิตส่วนใหญ่อยู่ในรูปแบบไอน้ำ เชื้อเพลิงที่ใช้สำหรับหม้อน้ำเป็นน้ำมันเตาเกรดเอ โดยมีการใช้น้ำและน้ำร้อนในหลายขั้นตอนการผลิต เช่น ใช้ต้มน้ำผลิตภัณฑ์และการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ เชื้อเพลิงจึงเป็นปัจจัยหลักที่สำคัญในกระบวนการผลิต สำหรับการใช้น้ำมันเตา มีค่าดัชนีการใช้พลังงานความร้อนอยู่ระหว่าง 7,468.22-9795.86 เมกะจูลต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ ค่าเฉลี่ย 8,305.95 เมกะจูลต่อหน่วยผลิตภัณฑ์

น้ำเป็นทรัพยากรที่สำคัญในกระบวนการผลิต การใช้น้ำแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การใช้น้ำในกระบวนการผลิต เช่น กระบวนการนึ่ง และการใช้น้ำในกระบวนการล้าง โดยมีค่าดัชนีการใช้น้ำอยู่ระหว่าง 18.13-26.75 ลูกบาศก์เมตรต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ ค่าเฉลี่ย 21.57 ลูกบาศก์เมตรต่อหน่วยผลิตภัณฑ์

ดำเนินการวิเคราะห์โดยนำปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในรอบปีมาวิเคราะห์หาผลกระทบต่อเชิงเทคนิค เศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อม เพื่อจัดลำดับความสำคัญ ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การจัดลำดับความสำคัญการประเมินเบื้องต้น

รายการ	ผลกระทบต่อเชิง			ผลรวมคะแนน (Ax2)+(Bx2)+ (Cx1)	ลำดับที่
	เทคนิค (A)	เศรษฐศาสตร์ (B)	สิ่งแวดล้อม (C)		
เนื้อหมู	1	2	0	6	4
เนื้อไก่	1	2	0	6	4
น้ำใช้	2	3	2	12	1
ไฟฟ้า	2	3	1	11	2
น้ำมันเตา	1	3	2	10	3
คะแนนถ่วงน้ำหนัก	X 2	X 2	X 1	-	-

จากตารางที่ 5 พบว่าปัจจัยที่จะนำมาใช้เป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพการผลิตเรียงตามลำดับความสำคัญ ได้ดังนี้ ลำดับที่ 1 การน้ำใช้ (ลูกบาศก์เมตรต่อหน่วยผลิตภัณฑ์) ลำดับที่ 2 การใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อหน่วยผลิตภัณฑ์) ลำดับที่ 3 การใช้น้ำมันเตา (ลิตรต่อหน่วยผลิตภัณฑ์) ลำดับที่ 4 การใช้เนื้อหมู เนื้อไก่ (ต้นต่อหน่วยผลิตภัณฑ์)

สำหรับเกณฑ์การให้คะแนนผลกระทบต่อเชิงเทคนิค เศรษฐศาสตร์ และสิ่งแวดล้อม ตามตารางที่ 6 สมการที่ 3 และตารางที่ 7

ตารางที่ 6 เกณฑ์การให้คะแนนผลกระทบเชิงเทคนิค เศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อม

คะแนนผลกระทบ	1	2	3	หมายเหตุ
เชิงเทคนิค	> 0-30%	31-60%	> 61%	ดำเนินการตามสมการที่ 3
เชิงเศรษฐศาสตร์	< 1 หมื่น	1 หมื่น-1 แสน	> 1 แสน	
เชิงสิ่งแวดล้อม	0-9	10-18	19-27	ผลรวม Q*E*D (ตารางที่ 7)

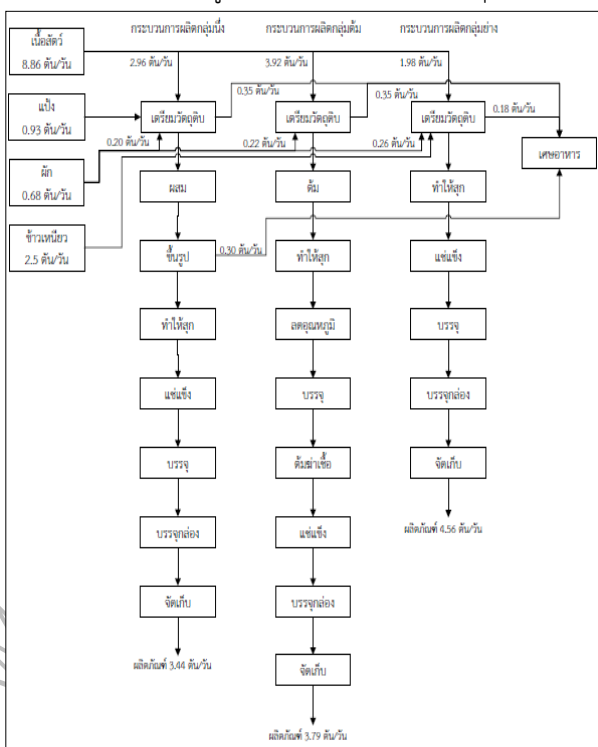
$$\text{ความสามารถในการปรับปรุงการผลิต (\%)} = \frac{\text{ค่าเฉลี่ยปริมาณการใช้ต่อเดือน} - \text{ค่าที่ดีที่สุด}}{\text{ค่าที่ดีที่สุด}} \times 100 \quad (3)$$

ตารางที่ 7 เกณฑ์สำหรับการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านปริมาณ (Q) ด้านผลกระทบ (E) และด้านกระจายตัว (D)

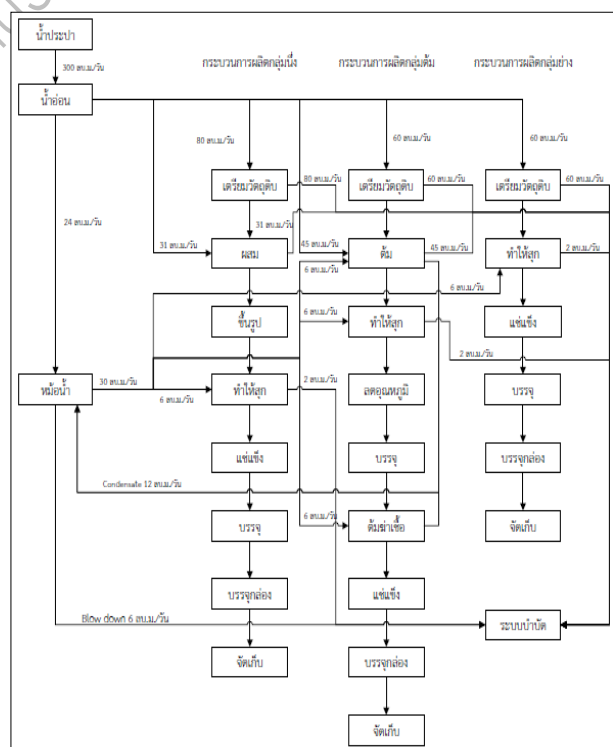
ผลกระทบสิ่งแวดล้อม	3 คะแนน	2 คะแนน	1 คะแนน
<b>ด้านปริมาณ (Quantity: Q)</b>			
ปริมาณการใช้น้ำ	> 300,000 ลบ.ม./ปี	60,000-300,000 ลบ.ม./ปี	< 60,000 ลบ.ม./ปี
CO <sub>2</sub> จากการเปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นพลังงาน	> 10 ตัน/ปี	1-10 ตัน/ปี	< 1 ตัน/ปี
<b>ด้านผลกระทบ (Effect: E)</b>			
ปริมาณการใช้น้ำ	2 คะแนน		
CO <sub>2</sub> จากการเปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นพลังงาน	-	NO <sub>x</sub> และ SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
<b>ด้านการกระจายตัว (Distribution: D)</b>			
ปริมาณการใช้น้ำ	น้ำบาดาล	น้ำประปาของรัฐ	น้ำประปาของภาคเอกชน
CO <sub>2</sub> จากการเปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นพลังงาน	3 คะแนน		

### 3.3.3 ขั้นตอนที่ 3 การตรวจประเมินโดยละเอียด

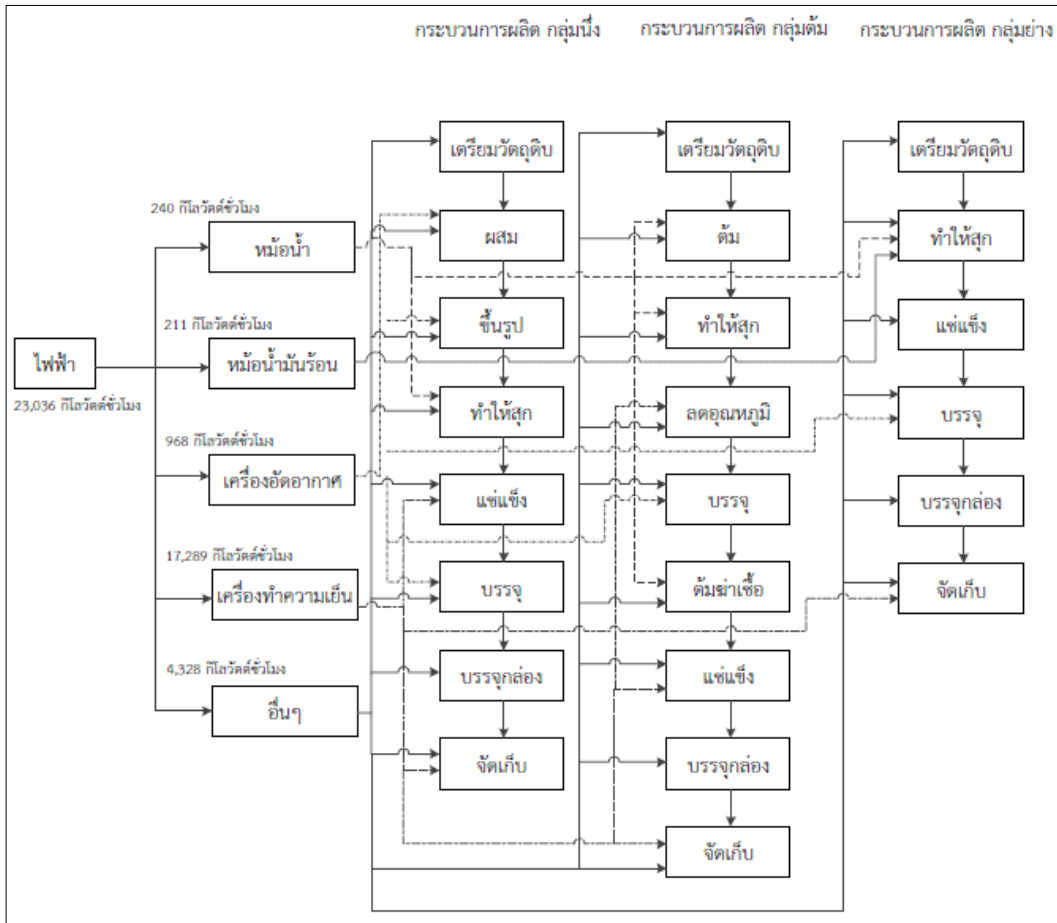
โดยทำการเก็บข้อมูลเชิงปริมาณและจัดทำสมมูลมวล ดังนี้



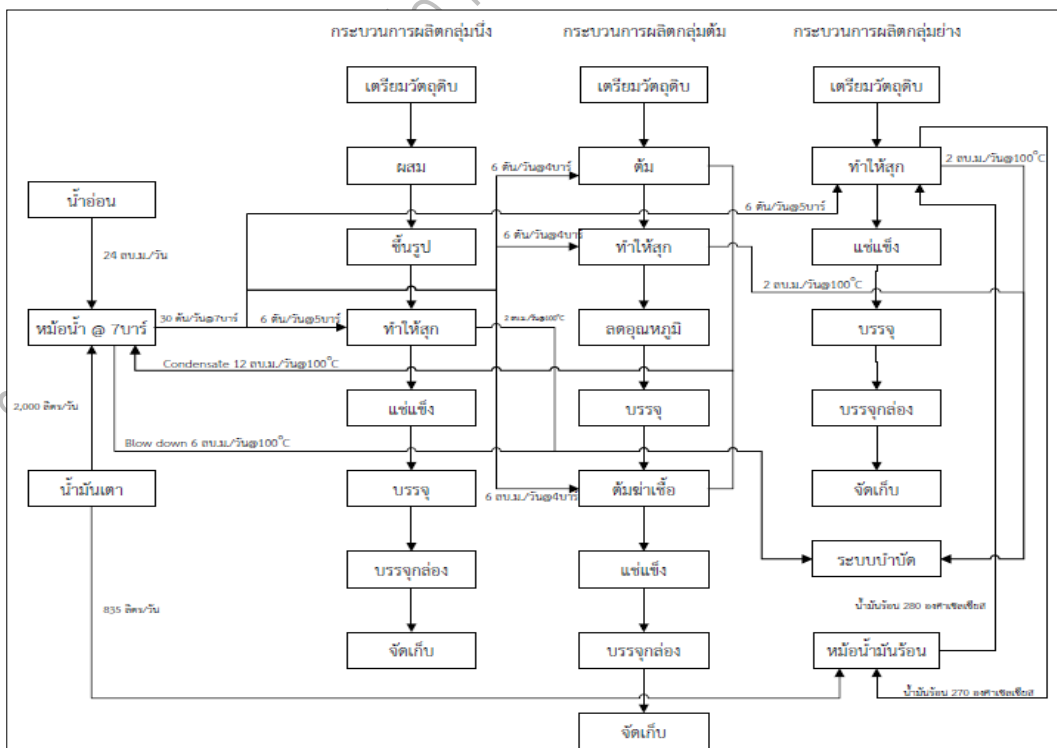
ภาพที่ 2 ผังสมมูลมวลการผลิต



ภาพที่ 3 ผังสมมูลมวลการใช้น้ำต่อวัน



ภาพที่ 4 ผังสมดุลมวลการใช้ไฟฟ้าต่อวัน



ภาพที่ 5 ผังสมดุลมวลการใช้พลังงานต่อวัน



### 3.3.4 ขั้นตอนที่ 4 การประเมินและศึกษาความเป็นไปได้

จากการตรวจประเมินและวิเคราะห์ พบว่า มีประเด็นปัญหาและการสูญเสียด้านการใช้พลังงาน(ความร้อน,ไฟฟ้า) การใช้น้ำ จึงกำหนดแนวทางวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการป้องกันมลพิษ (CT Option) ในการปรับปรุงในแต่ละประเด็น ดังแสดงในตารางที่ 8

ดำเนินการคัดเลือกและจัดลำดับทางเลือกเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดที่สามารถปฏิบัติได้ ดังแสดงในตาราง 9-11

ตารางที่ 9 การคัดเลือกทางเลือกเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดที่สามารถปฏิบัติได้

ทางเลือกเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด	ทำได้ทันที	ต้องศึกษาเพิ่มเติม	ไม่สามารถปฏิบัติได้
1. ลดการสูญเสียพลังงานความร้อนของหม้อน้ำ	✓		
2. การลดการโบลต์ดาวน์ของหม้อน้ำโดยการควบคุมค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน		✓	
3. การติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมปริมาณอากาศอัดตามภาระการใช้งาน		✓	
4. การลดขนาดห้องฟรียส์ลินค้ำ (Blast Freeze) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการแช่แข็งสินค้า และลดการใช้	✓		

พลังงานไฟฟ้า ของ คอมเพรสเซอร์ จากระบบทำความเย็น			
---	--	--	--

ตารางที่ 10 กำหนดเกณฑ์การให้คะแนนความเป็นไปได้ในการจัดลำดับทางเลือกเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด ดังนี้

การประเมินความเป็นไปได้ด้านเทคนิค	
1 หมายถึง	แก้ไขได้ยาก ต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญในการปฏิบัติงาน
2 หมายถึง	แก้ไขได้ปานกลาง ทีมงานสามารถปฏิบัติได้โดยได้รับคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญ
3 หมายถึง	แก้ไขได้ง่าย ทีมงานสามารถปฏิบัติได้ด้วยตนเอง
การประเมินความเป็นไปได้ด้านเศรษฐศาสตร์	
1 หมายถึง	ให้ผลตอบแทนด้านการเงิน/ช่วยลดต้นทุนได้น้อย
2 หมายถึง	ให้ผลตอบแทนด้านการเงิน/ช่วยลดต้นทุนได้ปานกลาง
3 หมายถึง	ให้ผลตอบแทนด้านการเงิน/ช่วยลดต้นทุนได้มาก
การประเมินความเป็นไปได้ด้านสิ่งแวดล้อม	
1 หมายถึง	ลดปริมาณมลพิษได้น้อย
2 หมายถึง	ลดปริมาณมลพิษได้ปานกลาง
3 หมายถึง	ลดปริมาณมลพิษได้มาก

สำหรับผลการคัดเลือกความเป็นไปได้ CT แสดงในตาราง 11

ตารางที่ 11 การจัดลำดับทางเลือกเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด

ทางเลือกเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด	คะแนนความเป็นไปได้			คะแนนรวม (Ax2)+(Bx2)+(Cx1)	ลำดับที่
	เทคนิค (A)	เศรษฐศาสตร์ (B)	สิ่งแวดล้อม (C)		
1. ลดการสูญเสียพลังงานความร้อนของหม้อน้ำ (ลดการใช้น้ำมันเตา)	3	3	2	13	1
2. ลดการโบลต์ดาวน์ของหม้อน้ำโดยการควบคุมค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน	2	3	2	12	2
3. การติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมปริมาณอากาศอัดตามภาระการใช้งาน	3	2	2	12	2
4. การลดขนาดห้องฟรียส์ลินค้ำ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการแช่แข็งสินค้า และลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ ระบบทำความเย็น	3	3	1	13	1
คะแนนถ่วงน้ำหนัก	X 2	X 2	X 1	-	-

ตารางที่ 8 วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการป้องกันมลพิษ (CT Option)

ประเด็น	บริเวณ/ จุดสูญเสีย	ปัญหาและการสูญเสีย	วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพ การผลิตและการ ป้องกันมลพิษ	ประโยชน์ที่คาดว่าจะ ได้รับ	เงินลงทุน/ มูลค่าการประหยัด/ ระยะเวลาดำเนินการ
การใช้ พลังงาน (ความร้อน)	หม้อน้ำ No.1, 2	การใช้งานหม้อน้ำ No.1, 2 ขนาด 3 ตันต่อชั่วโมง 2 ชุด ปัจจุบันตั้งแรงดันไอน้ำเท่ากัน (6-7 บาร์) ทำให้เดินเครื่อง พร้อมกันและหยุดพร้อมกัน ส่งผลให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิง	ปรับตั้งแรงดันหม้อน้ำ ชุดที่ 1 (6-7 บาร์) และปรับตั้งแรงดัน หม้อน้ำชุดที่ 2 (5.5-6.5 บาร์)	1. ลดปริมาณการ ใช้พลังงานความร้อน (น้ำมันเตา) 2. ลดการปล่อย CO <sub>2</sub>	1. ลงทุน 0 บาท 2. ผลประหยัด 59,233 บาทต่อปี 3. ระยะเวลาดำเนินการ ที่สั้นลง 4. CO <sub>2</sub> เทียบเท่าที่ลดลง 17,257 กิโลกรัมต่อปี
การใช้น้ำ	หม้อน้ำ	โรงงานทำการโบลต์วอร์มน้ำที่ค่า ของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงไม่เกิน 1,200 mg/l ซึ่งตามมาตรฐาน แล้วค่าดังกล่าวต้องไม่เกินค่า มาตรฐานที่ 3,500 mg/l ถ้าปรับเพิ่มให้เป็นไปตามเกณฑ์ มาตรฐานแล้วจะทำให้ช่วย ประหยัดต้นทุนได้จำนวนมาก	ปรับเปลี่ยนเกณฑ์การ ระบายน้ำจากที่ กำหนดค่าของแข็งที่ ละลายน้ำได้สูงไม่เกิน 1,200 mg/l ปรับ เปลี่ยนให้สูงขึ้นแต่ไม่ เกินค่ามาตรฐานที่ 3,500 mg/l โดย ตรวจวัดของแข็งที่ ละลายน้ำได้ (Total Dissolved Solid ; TDS) ให้มีค่าใกล้เคียง กับค่ามาตรฐานที่ 3000-3,500 mg/l	1. ลดปริมาณการ ใช้น้ำจากการที่ลด การเติมน้ำเข้ามา ทดแทนน้ำที่ทำการ ระบายน้ำ 2. ลดปริมาณการ ใช้เชื้อเพลิง (น้ำมันเตา) เนื่องจากน้ำที่ทำการ ระบายมีอุณหภูมิสูง 3. ลดภาระใน การบำบัดน้ำเสีย 4. ลดการปล่อย CO <sub>2</sub>	1. ลงทุน 0 บาท 2. ผลประหยัด 306,056 บาทต่อปี 3. ระยะเวลาดำเนินการ ที่สั้นลง 4. CO <sub>2</sub> เทียบเท่าที่ลดลง 89,174 กิโลกรัมต่อปี
การใช้ พลังงาน (ไฟฟ้า)	เครื่องอัด อากาศ	การใช้งานเครื่องอัดอากาศขนาด 90 กิโลวัตต์ มีโหลดการใช้งาน Onload เฉลี่ยเพียง 50% ทำให้ มีช่วง Unload 50% (ไม่ผลิต อากาศอัด แต่ใช้กำลังไฟฟ้า 40% ของพิกัดเครื่องอัดอากาศ)	ติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อ ควบคุมปริมาณอากาศ อัดตามโหลดการใช้งาน	1. การประหยัด พลังงานด้านไฟฟ้า 2. ลดการปล่อย CO <sub>2</sub>	1. ลงทุน 540,000 บาท 2. ผลประหยัด 396,706 บาทต่อปี 3. ระยะเวลาดำเนินการ 17 เดือน 4. CO <sub>2</sub> เทียบเท่าที่ลดลง 44,593.26 กิโลกรัมต่อปี
การใช้ พลังงาน (ไฟฟ้า)	ห้องฟรีส สินค้า (Blast Freeze)	ห้องฟรีสสินค้ามีหน้าที่แช่แข็ง สินค้ากลุ่มชาหมีโดยมีอุณหภูมิ ตั้งแต่ -10 ถึง -40 องศาเซลเซียส โดยการแช่แข็งสินค้านั้นไม่เต็ม พื้นที่ (มีพื้นที่คงเหลือ 20-30 % จากพื้นที่ห้องทั้งหมด) ส่งผลให้ คอมเพรสเซอร์ของระบบทำ ความเย็นทำงานเกินความจำเป็น (ซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้าในการแช่ แข็งสินค้า 50 % ของระบบทำ ความเย็นทั้งหมด) ทำให้สูญเสีย การใช้พลังงานไฟฟ้า	ปรับปรุงห้องแช่แข็ง สินค้าให้มีขนาดเล็กลง และพื้นที่การแช่แข็ง สินค้ามีความเหมาะสม กับสินค้า	1. การประหยัด พลังงานด้านไฟฟ้า 2. ลดการปล่อย CO <sub>2</sub>	1. ลงทุน 493,412 บาท 2. ผลประหยัด 743,488.2 บาทต่อปี 3. ระยะเวลาดำเนินการ 0.7 เดือน 4. CO <sub>2</sub> เทียบเท่าที่ลดลง 83,574.74 กิโลกรัมต่อปี

### 3.3.5 ขั้นตอนที่ 5 การนำไปใช้และปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง

จากตารางที่ 7 และ 9 องค์กรกรณีศึกษา เลือกวิธีการนำไปใช้ปฏิบัติงานจริงด้านเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดและติดตาม  
ประเมินผลอย่างต่อเนื่อง ใน 2 ประเด็นหลัก คือ



1. การลดปริมาณการใช้พลังงาน (ไฟฟ้า) จากการลดขนาดห้องฟรีสลินค้ำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการแช่แข็งสินค้าและลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ระบบทำความเย็น

2. การลดปริมาณการใช้พลังงาน (ความร้อน) จากการลดการสูญเสียพลังงานความร้อนของหม้อน้ำ โดยการปรับตั้งแรงดันหม้อน้ำชุดที่ 1 (6-7 บาร์) และปรับตั้งแรงดันหม้อน้ำชุดที่ 2 (5.5-6.5 บาร์) เพื่อให้ช่วงเวลาการทำงานของหม้อน้ำสอดคล้องกับปริมาณความต้องการใช้น้ำของกระบวนการผลิต ประมาณ 1,400-1,600 กิโลกรัมไอน้ำต่อชั่วโมง (เนื่องจากเดิมตั้งแรงดันใช้งานไว้ที่ 7 บาร์ เท่ากันทั้ง 2 ชุด ทำให้หม้อน้ำทั้ง 2 ชุด มีการหยุดและทำงานพร้อมกัน โดยหม้อน้ำสามารถผลิตไอน้ำรวมกันสูงสุดได้ 4,800 กิโลกรัมไอน้ำต่อชั่วโมง ซึ่งเป็นกำลังการผลิตที่มากเกินความต้องการใช้งานส่งผลให้ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงน้ำเตาเกรดเอสูงตามไปด้วย)

### 3.4 ผลคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก [4], [10]

ตารางที่ 12 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (ก่อน-หลังดำเนินการ CT)

ขอบเขตที่	แหล่งการปล่อยก๊าซเรือนกระจก	ปริมาณก๊าซเรือนกระจก ปี 2559 (TonCO <sub>2</sub> e) (ก่อนทำ CT)	ปริมาณก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วย ผลิตภัณฑ์ ปี 2559 (TonCO <sub>2</sub> e/unit) (ก่อนทำ CT)	ปริมาณก๊าซเรือนกระจก ปี 2560 (TonCO <sub>2</sub> e) (หลังทำ CT)	ปริมาณก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วย ผลิตภัณฑ์ ปี 2560 (TonCO <sub>2</sub> e/unit) (หลังทำ CT)
1. แหล่งการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรง	LPG (Station)	16.43	0.004	24.60	0.005
	Boiler, Hot oil (น้ำมันเตา Bunker A)	2,829.95	0.773 (96%)	3,330.56	0.665 (97%)
	Fire pump (ดีเซล)	0.54	0.000	2.71	0.001
	รถยนต์ 1 คัน ฟลิทการ์ด (ดีเซล)	11.30	0.003	11.97	0.002
	ปริมาณน้ำมันรถพนักงาน (เบนซิน)	7.24	0.002	8.18	0.002
	ปริมาณน้ำมันรถพนักงาน (ดีเซล)	0.47	0.000	0.84	0.000
	ปริมาณน้ำมันรถพนักงาน (LPG)	ไม่มีการใช้	-	0.13	0.000
	ปริมาณน้ำมันรถพนักงาน (NGV)	ไม่มีการใช้	-	0.27	0.000
	การปล่อย CH <sub>4</sub> จากบ่อบำบัดน้ำเสีย	0.00	0.000	0.00	0.000
	สารทำความเย็น Air Condition (R 410)	29.73	0.008	29.73	0.006
	สารทำความเย็น (ตู้แช่, ตู้น้ำดื่ม) (R 134A)	0.01	0.000	0.01	0.000
	สารทำความเย็น (ตู้แช่, ตู้น้ำดื่ม) (R 404A)	0.08	0.000	0.08	0.000
	การปล่อย CH <sub>4</sub> จากห้องน้ำพนักงาน	37.48	0.001	46.77	0.009
	สารดับเพลิง CO <sub>2</sub>	ไม่มีการใช้	-	ไม่มีการใช้	-
<b>รวมขอบเขตที่ 1</b>		<b>2,933.23</b>	<b>0.801 (100%)</b>	<b>3,455.86</b>	<b>0.690 (100%)</b>
2. แหล่งการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อม	ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	3,412.08	0.932 (100%)	3,748.99	0.749 (100%)
	<b>รวมขอบเขตที่ 2</b>	<b>3,412.08</b>	<b>0.932 (100%)</b>	<b>3,748.99</b>	<b>0.749 (100%)</b>
หมายเหตุ : ปริมาณผลิตภัณฑ์ (FG) ปี 2559 = 3,661 Ton/year , ปี 2560 = 5,007 Ton/year					

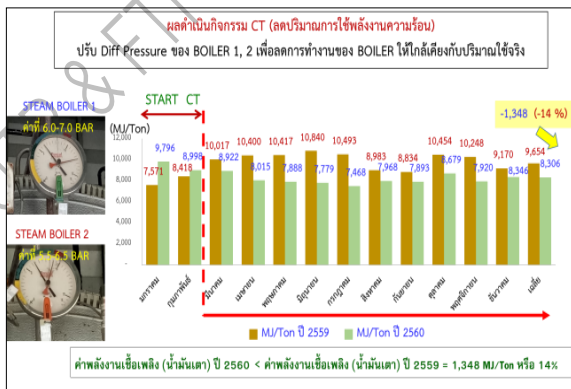
### 3.5 เปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ หลังการนำ CT Option ที่คัดเลือกไปปฏิบัติใช้ในองค์กรกรณีศึกษา

ตารางที่ 13 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ (ก่อน-หลังการทำ CT)

ขอบเขตที่/แหล่งการปล่อยก๊าซเรือนกระจก	ปริมาณก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ ปี 2559 (TonCO <sub>2</sub> e/unit) (ก่อนทำ CT)	ปริมาณก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ ปี 2560 (TonCO <sub>2</sub> e/unit) (หลังทำ CT)
1 แหล่งการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรง	0.80	0.69
2 แหล่งการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อม	0.93	0.75
<b>รวมทั้งหมด</b>	<b>1.73</b>	<b>1.44</b>
FG (Ton/year)	3,661	5,007
สรุป ปี 2560 ลดลงจากปี 2559 = -0.29 TonCO <sub>2</sub> e/unit (-16.8%)		

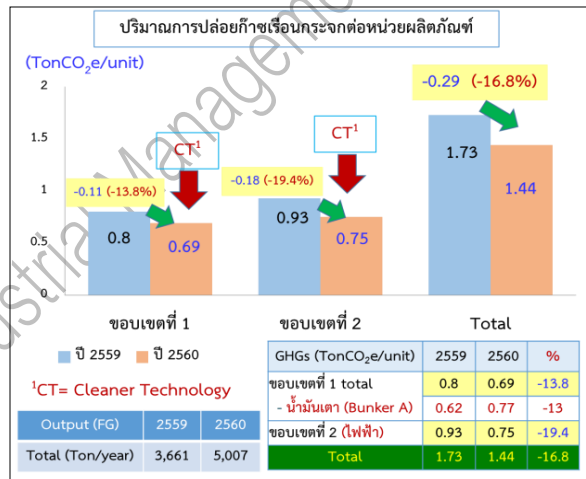
### 4. อภิปรายผล (Discussion)

จากการดำเนินกิจกรรม CT เพิ่มลดการลดปริมาณการใช้พลังงาน (ความร้อน) จากการลดการสูญเสียพลังงานความร้อนของหม้อน้ำ พบว่า ค่าพลังงานเชื้อเพลิง (น้ำมันเตา) ปี พ.ศ. 2560 มีค่าเฉลี่ย 8,306 เมกะจูลต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ ลดลงจาก ค่าพลังงานเชื้อเพลิง(น้ำมันเตา) ในปี พ.ศ. 2559 มีค่าเฉลี่ย 9,454 เมกะจูลต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ เท่ากับ 1,348 เมกะจูลต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ หรือคิดเป็นร้อยละที่ลดลงเท่ากับ 14.0 จึงส่งผลให้ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากขอบเขต 1 (แหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรง) ลดลง



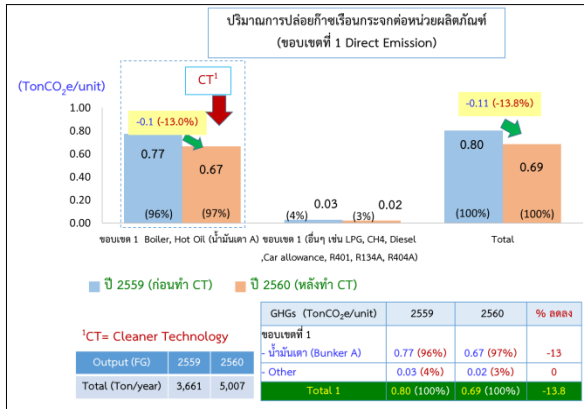
กราฟที่ 2 ผลการดำเนินงานกิจกรรม CT (ลดปริมาณการใช้พลังงานความร้อน) ปี 2559-2560

และจากข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ขององค์กรกรณีศึกษา พบว่าในปี พ.ศ. 2560 ขอบเขต 1 และขอบเขต 2 ที่มีการนำเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดมาใช้ในการปรับปรุงกิจกรรม มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 1.44 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ ลดลงจากปี พ.ศ. 2559 ที่มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 1.73 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ หรือคิดเป็นร้อยละที่ลดลงเท่ากับ 16.8 ดังแสดงในกราฟที่ 3



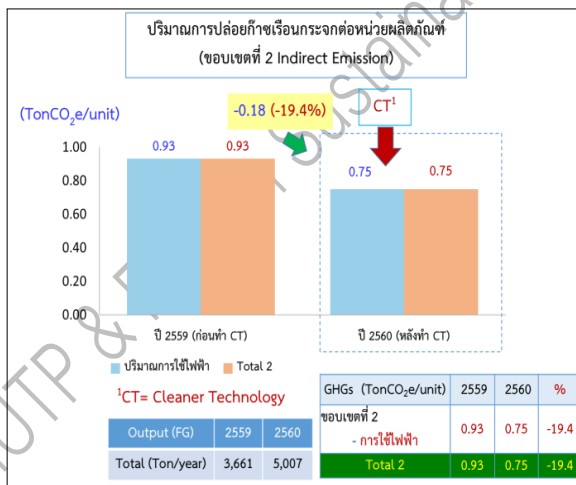
กราฟที่ 3 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ ปี 2559-2560

การได้มาซึ่งผลลัพธ์ดังกล่าว พบว่า แหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจก ขอบเขต 1 ที่มีการนำเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด มาใช้ในการปรับปรุงกิจกรรม (ทางเลือกที่ 1) ลดการสูญเสียพลังงานความร้อน (น้ำมันเตาเกรดเอ) ของหม้อน้ำ สามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในปี พ.ศ. 2560 เท่ากับ 0.67 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ ลดลงจากปี พ.ศ. 2559 ที่มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 1.77 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ หรือคิดเป็นร้อยละที่ลดลงเท่ากับ 13.0 ดังแสดงในกราฟที่ 4



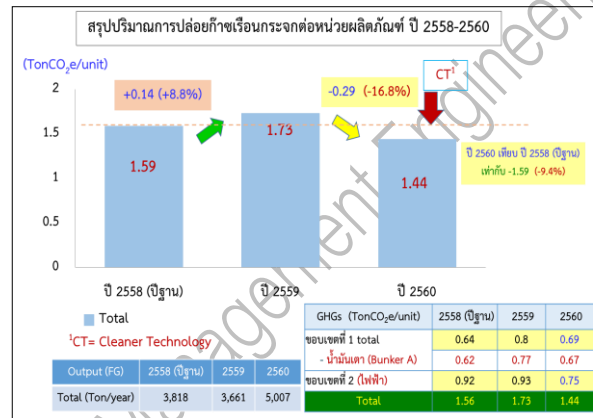
กราฟที่ 4 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ (ขอบเขต 1 Direct Emission) ปี พ.ศ.2559-2560

และแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกขอบเขต 2 ที่มีการนำเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดมาใช้ ในการปรับปรุงกิจกรรม (ทางเลือกที่ 4) การลดขนาดห้องฟรีสสินค้าเพิ่มประสิทธิภาพการแช่แข็งสินค้า และลดการใช้พลังงานไฟฟ้าคอมเพรสเซอร์ระบบทำความเย็น สามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปี พ.ศ. 2560 เท่ากับ 0.75 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ ลดลงจากปี พ.ศ. 2559 ที่มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 1.73 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ หรือคิดเป็นร้อยละที่ลดลงเท่ากับ 16.8 ดังแสดงในกราฟที่ 5



กราฟที่ 5 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ (ขอบเขต 2 Indirect Emission) ปี พ.ศ.2559-2560

และเมื่อนำผลรวมปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ ทั้งขอบเขตที่ 1 และขอบเขตที่ 2 เปรียบเทียบปี พ.ศ. 2558 (ปีฐาน) ปี พ.ศ. 2559 (ก่อนนำเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดมาใช้) และปี พ.ศ.2560 (หลังนำเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดมาใช้) พบว่า ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมีแนวโน้มลดลง ดังแสดงในกราฟที่ 6



กราฟที่ 6 เปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ ปี พ.ศ.2558-2560

### 5. สรุปผล (Conclusion)

จากผลการประเมิน ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ขององค์กรกรณีศึกษา โรงงานผลิตอาหารพร้อมรับประทานตามแนวทางคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร อ้างอิงรูปแบบการประเมิน ตามหลักการขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) โดยการนำเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด ที่ผ่านการคัดเลือกลำดับความสำคัญด้านเทคนิค เศรษฐศาสตร์ และสิ่งแวดล้อม จำนวน 2 ประเด็นมาปฏิบัติใช้ในองค์กร แหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกขอบเขต 1 การใช้พลังงานความร้อน ประเภทเชื้อเพลิงจากน้ำมันเตาเกรดเอ และขอบเขต 2 การใช้พลังงานไฟฟ้า สรุปว่า ในปี พ.ศ. 2560 มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 1.44 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ ลดลงจากปี พ.ศ. 2559 ที่มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 1.73 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ หรือคิดเป็นร้อยละที่ลดลงเท่ากับ 16.8 และเปรียบเทียบกับปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากปี พ.ศ. 2558 (ปีฐาน) ที่มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 1.59 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ หรือคิดเป็นร้อยละที่ลดลง เท่ากับ 9.4

ดังนั้น จากผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด เป็นเครื่องมือที่เหมาะสมในการนำมาใช้เพื่อลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขององค์กร ให้บรรลุดัชนีชี้วัดด้านสิ่งแวดล้อม และเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนที่ 13 (การรับมือการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ)

## 6. กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้ได้รับข้อมูลสนับสนุนจากองค์กรกรณีศึกษา โรงงานผลิตอาหารพร้อมรับประทานแห่งหนึ่ง ในจังหวัดฉะเชิงเทรา โดยข้อมูลปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ใช้สำหรับพิจารณาในครั้งนี้ ได้ผ่านการทวนสอบข้อมูลที่ถูกตั้งตามแนวทางคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร อ้างอิงรูปแบบการประเมิน ตามหลักการขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) ทั้งนี้ขอขอบคุณผู้บริหาร ทีมงานขององค์กรกรณีศึกษา อาจารย์ที่ปรึกษาและอาจารย์ทุกท่าน สาขาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่คอยให้คำปรึกษาและแนะนำ จนทำให้รายงานฉบับนี้มีความสมบูรณ์

## 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ,รายงานสรุปการดำเนินงานด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของไทย, พิมพ์ครั้งที่ 1, 2559
- [2] Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning ,Second Biennial update report of Thailand, pp. 33-35, December 2016
- [3] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), คาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร, ข้อมูลจาก [http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/organization\\_is/organization\\_is.pnc](http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/organization_is/organization_is.pnc) (วันที่สืบค้นข้อมูล 27 สิงหาคม 2561)
- [4] จุฑามาศ โดดนาดี, โรงงานการผลิตอาหารพร้อมรับประทานกรณีศึกษา, รายงานการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกขององค์กร, 4 สิงหาคม 2560
- [5] Montira Srisongkram ,Application of Clean Technology for Reducing Energy in Huataphan Hospital,Amnatcharoen Province,KKU , April-June 2012
- [6] จิตลดา หมายมัน, วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย, เทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด(Cleaner Technology)
- [7] United Nations Thailand ,เป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืนของประเทศไทย (The Global Goals For

Sustainable Development : 17 SDGs) ข้อมูลจาก <https://www.un.or.th/globalgoals/th/the-goals/>

[8] กลุ่มเทคโนโลยีการป้องกันมลพิษ สำนักเทคโนโลยีน้ำและสิ่งแวดล้อมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม, หลักปฏิบัติเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด (การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและป้องกันมลพิษ) อุตสาหกรรมอาหารพร้อมรับประทาน, กันยายน 2560

[9] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), คู่มือแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร, พิมพ์ครั้งที่ 5 (ฉบับปรับปรุงที่ 3, ตุลาคม 2559)

[10] จุฑามาศ โดดนาดี, โรงงานการผลิตอาหารพร้อมรับประทานกรณีศึกษา, รายงานการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกขององค์กร, 13 มิถุนายน 2561

## การพัฒนาเครื่องสลัดน้ำมันแบบประหยัดพลังงานด้วยระบบเซลล์แสงอาทิตย์สมัยใหม่ สำหรับผลิตภัณฑ์กลอยทอดจากกลุ่มวิสาหกิจชุมชนในเขตอำเภอเด่นชัย จังหวัดแพร่ Development of the Oil Splashing Machine with Modern Photovoltaic systems for the Fried Groy product of Denchai Community Enterprise, Phrae

ยศภัทรชัย คณิตปัญญาเจริญ<sup>1</sup>, วีระพล คงนุ่น<sup>2</sup>

สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์

27 ถนนอินใจมี อำเภอเมือง จังหวัดอุดรดิตถ์ 53000

<sup>1</sup> kunrda@uru.ac.th, <sup>2</sup> weerapon.kong@gmail.com

### บทคัดย่อ

ผลิตภัณฑ์กลอยทอดของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนในเขตอำเภอเด่นชัย จังหวัดแพร่ เป็นผลิตภัณฑ์แปรรูปแบบใหม่ที่สร้างรายได้ให้เป็นอย่างดีกับชาวบ้านในชุมชน แต่มีปัญหาด้านกระบวนการขจัดน้ำมันออกจากผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องสลัดน้ำมันแบบทั่วไป มีผลทำให้ผลิตภัณฑ์กลอยทอดแตกหักและสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าเป็นจำนวนมาก งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องสลัดน้ำมันสำหรับผลิตภัณฑ์กลอยทอด เพื่อลดการแตกหักของผลิตภัณฑ์และลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงด้วยระบบเซลล์แสงอาทิตย์สมัยใหม่ ผลการวิจัยพบว่า ความเร็วรอบที่เหมาะสมสำหรับสลัดน้ำมันกลอยทอดขนาด 1 กิโลกรัม ไม่ควรเกิน 475 รอบต่อนาที หรือใช้วิธีการปรับความถี่ของมอเตอร์ 3 เฟส ขนาด 1 แรงม้า ไม่ควรเกิน 25 เฮิร์ต สามารถเพิ่มอัตราการผลิตได้ถึง 3 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยไม่ทำให้เกิดความเสียหายให้แก่ผลิตภัณฑ์ และมีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าลดลงเหลือเพียง 68.64 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อเดือน ทำให้ต้นทุนด้านไฟฟ้าของเครื่องสลัดน้ำมันเหลือเพียง 343.20 บาทต่อเดือน นอกจากนี้หากยังไม่มีการใช้งานเครื่องสลัดน้ำมันนี้ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์สมัยใหม่ จะยังคงจ่ายกำลังงานไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดอื่นที่อยู่ในกระบวนการผลิตเดียวกันได้อย่างอัตโนมัติ ทำให้ช่วยลดค่าไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่องโดยเฉลี่ย 177.21 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อเดือน

**คำสำคัญ :** เครื่องสลัดน้ำมัน; กลอยทอด; ระบบเซลล์แสงอาทิตย์สมัยใหม่

### Abstract

Fried Groy, the product of Denchai community enterprise in Phrae province is a new processed product that generate income for the villagers in the community. But, they have some problems in process of general purpose oil splashing machine. This causes the broken products to crack and waste a lot of electricity. This research aims to develop oil splashing machine for the fried Groy product. To reduce the fracture of the product and reduce the use of electricity with modern photovoltaic systems. The research found that appropriate round speed for 1 kg of fried Groy should not exceed 475 rpm or use the frequency of 3-phase motor of 1 horsepower should not exceed 25 Hz. It can increase the product rate up to 3 kg/hour without broken and reduce the power consumption down to 68.64 kWh/month. As the result, the cost of electric shredder was reduced to 343.20 bath/month. In addition, if this oil splashing machine is not used. The electricity, generated from modern photovoltaic systems, will supply continue to other appliances in the same production process. That causes the average electricity consumption reduced to 177.21 kWh/month.

**Key word :** Oil Splashing; Fried Groy; Modern Photovoltaic systems



## 1. บทนำ (Introduction)

การแปรรูปผลิตภัณฑ์กลอยทอดด้วยวิธีการทอด มีข้อดีที่มีปริมาณน้ำมันในผลิตภัณฑ์อยู่สูงถึงร้อยละ 12-37 โดยน้ำหนัก ซึ่งปริมาณน้ำมันที่อยู่ในผลิตภัณฑ์เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเก็บรักษาเพราะทำให้เกิดกลิ่นหืนภายหลังจากเก็บรักษาเป็นระยะเวลาหนึ่ง ทำให้ส่งผลให้การตัดสินใจเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค [1] ดังนั้นจำเป็นต้องลดปริมาณน้ำมันออกภายหลังการทอดเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาให้ยาวนานยิ่งขึ้น โดยการดูดซับน้ำมันส่วนมากที่เกิดขึ้นในช่วงการเย็นตัวของอาหารภายหลังการทอด เนื่องจากเป็นช่วงเวลาของรูพรุนเล็กๆ ที่ผิวหน้าของอาหารมีอยู่สูง สามารถที่ให้น้ำมันออกจากผลิตภัณฑ์ได้ง่าย โดยวิธีการสามารถดำเนินการได้ทั้งการใช้กระดาษซับน้ำมันหรือการใช้แรงเหวี่ยงจากเครื่องจักร หากแต่การใช้แรงเหวี่ยงของถังสลัดน้ำมันดังกล่าวจกต้องไม่ให้เกิดการแตกหักของผลิตภัณฑ์กลอยทอด

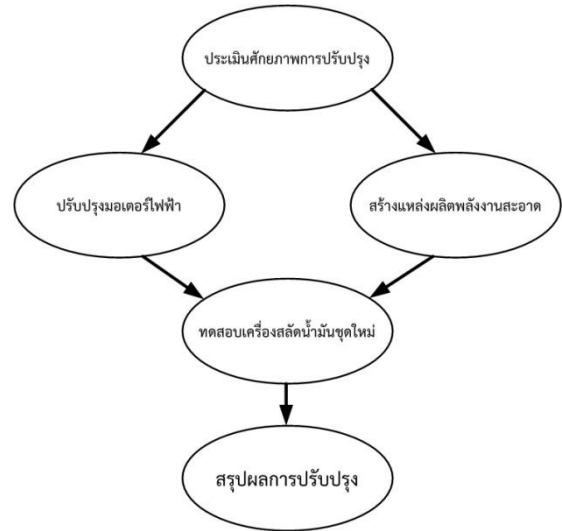
ประชา ยืนยงกุล และคณะ [2] ได้พัฒนาเครื่องสลัดน้ำมันออกจากกล้วยทอดกรอบ พบว่า ความเร็วรอบของมอเตอร์ที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 800-1450 รอบต่อนาที สอดคล้องกับผลการศึกษาของ อุทัย ผ่องศรี [3] พบว่า เครื่องสลัดน้ำมันสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารประเภททอด ควรมีความเร็วสูงสุด 900-1500 รอบต่อนาที เช่นกัน การควบคุมความเร็วมอเตอร์เครื่องสลัดน้ำมันดังกล่าวในปัจจุบัน พบว่ามีการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานหลักทำให้กลุ่มผู้ประกอบการอาชีพขายกลอยทอดต้องมีการค่าใช้จ่ายด้านกระแสไฟฟ้าและทำให้ต้นทุนต่อหน่วยมีค่าสูง ซึ่งทำให้กลไกการซื้อขายกลอยทางการตลาดมีขนาดไม่มาก จนทำให้กลุ่มผู้ประกอบการอาชีพขายกลอยทอดมีรายได้น้อย

ปัญหาข้างต้นคณะผู้วิจัยจึงมีความต้องการปรับปรุงเครื่องสลัดน้ำมันแบบประหยัดพลังงานด้วยพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับผลิตภัณฑ์กลอยทอด ซึ่งก็สามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าให้กับผู้ประกอบการอาชีพขายกลอยทอดได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่อำเภอเด่นชัย จังหวัดแพร่ที่มีการประกอบอาชีพการแปรรูปกลอยทอดเพื่อสร้างรายได้เสริม อีกทั้งยังส่งผลให้สามารถมีส่วนร่วมการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพิ่มขึ้นอีกทางหนึ่งเพื่อการส่งเสริมนโยบายการรักษาสิ่งแวดล้อมให้ยั่งยืนมากขึ้น

## 2. วิธีวิจัย (Research Methodology)

การปรับปรุงเครื่องสลัดน้ำมันแบบประหยัดพลังงานด้วยพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับผลิตภัณฑ์กลอยทอดครั้งนี้มีรูปแบบวิธีการวิจัยแบบการพัฒนาทดลอง (Experimental Development) โดยใช้ความรู้ที่ได้รับจากการวิจัยและ

ประสบการณ์ที่มีอยู่เพื่อปรับปรุงสิ่งที่มีอยู่แล้วให้ดีขึ้น มีขั้นตอนการดำเนินการวิจัย 4 ขั้นตอน ดังภาพที่ 1 รายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนที่ 1 ดำเนินการประเมินศักยภาพการปรับปรุงเครื่องสลัดน้ำมัน ซึ่งเป็นการศึกษาข้อมูลและตรวจวัดเครื่องสลัดน้ำมันตัวเก่าเพื่อเตรียมความพร้อมในการปรับปรุง ได้แก่ การตรวจวัดความเร็วรอบ การใช้พลังงานไฟฟ้า และการแตกหักของผลิตภัณฑ์กลอยทอด ดังภาพที่ 2



ตรวจวัดความเร็วรอบ



ตรวจสอบแตกหักกลอยทอด

ภาพที่ 2 การตรวจสอบการทำงานเครื่องสลัดน้ำมันชุดเก่า

จากนั้นประเมินหาขนาดมอเตอร์ไฟฟ้าที่เหมาะสม โดยการคำนวณหาขนาดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางของถังสลัดน้ำมันและเปรียบเทียบขนาดกำลังของมอเตอร์ไฟฟ้าตัวใหม่ว่ามีคุณสมบัติทดแทนกันได้หรือไม่ ซึ่งข้อมูลพื้นฐานประกอบด้วยขนาดถังสลัดน้ำมันที่มีความกว้าง 40 เซนติเมตร สูง 50 เซนติเมตร น้ำหนักถังบรรจุกลอยทอด 2

กิโลกรัม ปริมาณกลอยทอดที่ต้องการบรรจุสูงสุด 1 กิโลกรัม  
และเวลาการเคลื่อนที่ 20 วินาที ผลการประเมินมีดังนี้

$$\tau = F * r, \quad \tau = I_z * \alpha_t \quad (1)$$

$$\tau = mr^2 \alpha_t$$

โดย  $\tau$  = ทอร์ก(N-m),  $m$  = แรงที่ทำให้เกิดการหมุน(N)

$r$  = ระยะจากจุดหมุนไปตั้งฉากกับแนวแรง(m)

$\alpha$  = ความเร่งเชิงมุม(rad / sec<sup>2</sup>)

$$\alpha_t = \frac{\omega}{t}, \quad t = 20 \text{ sec}$$

$$(2) \omega = 2\pi n / 60$$

$$(3) \omega = 2 * \pi * 900 / 60 = 94.247 \text{ rad / sec}$$

$$\alpha_t = 94.247 / 20 = 4.71 \text{ rad / sec}^2$$

$$\tau = 3 * 0.4^2 * 4.71 = 2.26 \text{ N-m}$$

$$\tau = 0.23 \text{ kg-m} \quad (1 \text{ N-m} = 0.1019 \text{ kg-m})$$

ต่อด้วยการประเมินศักยภาพมอเตอร์ไฟฟ้าตัวใหม่และ  
ศักยภาพอินเวอร์เตอร์ควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า จากการนำ  
ข้อมูลการคำนวณมาประกอบการพิจารณาคุณสมบัติพื้นฐาน  
เพื่อเปรียบเทียบกับอินเวอร์เตอร์จากผู้จำหน่ายให้มีความ  
เหมาะสมทั้งขนาดแรงดันไฟฟ้า ขนาดกระแสไฟฟ้า กำลัง  
วัตต์สูงสุด และรูปแบบคลื่นไฟฟ้า สุดท้ายดำเนินการประเมิน  
ศักยภาพแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์  
ซึ่งเป็นการนำชุดข้อมูลอินเวอร์เตอร์แปลงกระแสตรงเป็น  
กระแสสลับกับชุดข้อมูลของแผงโซลาร์เซลล์ มาคำนวณค่าที่  
เกี่ยวข้อง ดังนี้

#### ข้อมูลของชุดอินเวอร์เตอร์

กำลังไฟฟ้าสูงสุด	=	1500 Watt
แรงดันไฟฟ้าที่ต้องการสูงสุด	=	400 Volt
กระแสไฟฟ้าที่ต้องการสูงสุด	=	10 Ampere

#### ข้อมูลของชุดแผงโซลาร์เซลล์

กำลังไฟฟ้าที่ผลิตสูงสุด	=	325 Watt
แรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้สูงสุด	=	46.0 Volt
แรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่ำสุด	=	37.6 Volt
กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้สูงสุด	=	9.24 Ampere
กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่ำสุด	=	8.64 Ampere

จำนวนแผงโซลาร์เซลล์ที่ต้องใช้ต่อชุดสูงสุดเพื่อให้สอดคล้อง  
กับความต้องการขนาดแรงดันของชุดอินเวอร์เตอร์

$$= 400 / 46 = 8.69 \text{ แผง}$$

$$= 9 \text{ แผง}$$

จำนวนชุดแผงโซลาร์เซลล์ที่ต้องใช้สูงสุดเพื่อให้สอดคล้องกับ  
ความต้องการขนาดกระแสไฟฟ้าของชุดอินเวอร์เตอร์

$$= 10 / 8.64 = 1.16 \text{ ชุด}$$

$$= 1 \text{ ชุด}$$

ขั้นตอนที่ 2 ปรับปรุงชุดมอเตอร์ไฟฟ้าตัวใหม่ เริ่มจาก  
การถอดฝาครอบมอเตอร์ไฟฟ้าออก ปลดสายพานส่งกำลัง  
และถอดมอเตอร์ไฟฟ้าตัวเก่าออก แล้วดำเนินการใส่มอเตอร์  
ตัวใหม่ ติดตั้งสายพานพร้อมปรับตั้งให้อยู่ในระดับเหมาะสม  
รวมทั้งทดสอบการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าตัวใหม่ สุดท้าย  
ดำเนินการปิดฝาครอบมอเตอร์ไฟฟ้าเข้าที่เดิม

ขั้นตอนที่ 3 สร้างแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าจาก  
แสงอาทิตย์ เริ่มจากการติดตั้งอุปกรณ์ผลิตพลังงานไฟฟ้า  
ด้านนอกอาคาร (บนหลังคาอาคาร) ซึ่งทำการติดตั้งราง  
รองรับแผงโซลาร์เซลล์ให้เหมาะสมกับสภาพของหลังคา  
อาคาร แล้วดำเนินการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์บนรางรองรับแผง  
โซลาร์เซลล์ ต่อด้วยการเดินสายไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์เข้าสู่  
อาคารในจุดที่ติดตั้งอินเวอร์เตอร์แปลงกระแสไฟฟ้า ส่วนการ  
ดำเนินการภายในอาคารดำเนินการติดตั้งอินเวอร์เตอร์แปลง  
กระแสไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ ติดตั้งอินเวอร์เตอร์ควบคุม  
มอเตอร์ไฟฟ้าตัวใหม่ ติดตั้งชุดตรวจวัดปริมาณการผลิต  
กระแสไฟฟ้าและปริมาณการใช้กระแสไฟฟ้า สุดท้ายติดตั้ง  
อุปกรณ์ควบคุมและป้องกันเพื่อความปลอดภัยในการทำงาน  
ของอุปกรณ์ ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การสร้างแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์

ขั้นตอนที่ 4 ทดสอบเครื่องสแตนน้ำมันชุดใหม่และชุด  
ผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ จากการเปิดอุปกรณ์  
ควบคุมระบบเพื่อให้กระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายพลังงาน  
ไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเข้าระบบชุดอินเวอร์เตอร์

แปลงกระแส ต่อด้วยการเปิดอุปกรณ์ควบคุมกระแสไฟฟ้า จากชุดแผงโซล่าเซลล์เข้าสู่ชุดอินเวอร์เตอร์แปลงกระแส ส่วนการดำเนินการทดสอบเครื่องสไลด์น้ำมันด้วยพลังงาน ไฟฟ้าจากชุดผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์ เริ่มจากการ เตรียมผลิตภัณฑ์กลอยทอดให้ได้น้ำหนักตามเป้าหมายและ เหมาะสมกับขนาดถังบรรจุกลอยทอด จากนั้นดำเนินการ เดินเครื่องสไลด์น้ำมัน และตรวจสอบความเร็วของเครื่องสไลด์ น้ำมันที่ทำได้ และตรวจสอบความแตกหักของผลิตภัณฑ์ กลอยทอด ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การทดสอบเครื่องสไลด์น้ำมันชุดใหม่

การรวบรวมข้อมูลการปรับปรุงเครื่องสไลด์น้ำมันแบบ ประหยัดพลังงานด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ รวบรวมข้อมูล ด้วยแบบฟอร์มจดบันทึกข้อมูลที่ออกแบบโดยผู้วิจัย เช่น ข้อมูลด้านพลังงาน ขนาดแรงดัน กระแส ความถี่ ความเร็ว รอบ รวมทั้งบันทึกภาพการดำเนินงานในทุกๆ ขั้นตอนของ แต่ละกิจกรรม ร่วมกับการใช้เครื่องมือวัดทางวิศวกรรม และ การสอบถามจากผู้ใช้งานวิจัยถึงความเหมาะสมของ ผลิตภัณฑ์กลอยทอดที่ได้ เช่น ลักษณะของกลอยทอดที่ได้

การวิเคราะห์ข้อมูลการปรับปรุงเครื่องสไลด์น้ำมันแบบ ประหยัดพลังงานด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้สถิติเชิง พหุคูณ ได้แก่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน รวมทั้งได้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการวิเคราะห์ ความสามารถการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ คือ PVWatts Calculator บนเครือข่ายออนไลน์ร่วมด้วย [4]

### 3. ผลการวิจัย (Results)

ผลการปรับปรุงเครื่องสไลด์น้ำมันแบบประหยัดพลังงาน ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ มีดังนี้

#### 3.1 ผลการประเมินศักยภาพการปรับปรุงเครื่องสไลด์น้ำมัน

3.1.1 การหมุนของถังสไลด์น้ำมันเครื่องเก่า พบว่า มี ความเร็วรอบ 915 รอบต่อนาที กระแสไฟฟ้าของมอเตอร์ ไฟฟ้า เท่ากับ 8.70 แอมแปร์ (Amp) โดยใช้ผลิตภัณฑ์กลอย ทอดในการทดสอบเครื่องสไลด์น้ำมันต่อครั้งน้ำหนักรวม 1 กิโลกรัม ลักษณะผลิตภัณฑ์กลอยทอดที่ได้มีการแตกหัก ทั้งหมด

3.1.2 มอเตอร์ไฟฟ้าสำหรับติดตั้งกับเครื่องสไลด์น้ำมัน กลอยทอดตัวใหม่ ต้องมีขนาดแรงบิดหรือทอร์กไม่น้อยกว่า 0.23 กิโลกรัม-เมตร (kg-m) ซึ่งจากการตรวจสอบกับผู้ จำหน่าย พบว่า มอเตอร์ไฟฟ้า โมเดล SF-JR 2 HP 2P มี คุณสมบัติเฉพาะ ขนาดแรงบิดหรือทอร์ก เท่ากับ 0.258 กิโลกรัม-เมตร (kg-m) สอดคล้องกับผลการประเมินขนาด มอเตอร์ไฟฟ้า โดยมอเตอร์มีลักษณะเฉพาะเมื่อมีภาระ โหลดเต็มพิกัด คือ ขนาดแรงดันไฟฟ้า เท่ากับ 380 โวลต์ ขนาดกระแส เท่ากับ 1.75 แอมแปร์ มีกำลังวัตต์รวม 0.75 กิโลวัตต์ (kW) มีรอบการใช้งานได้สูงสุด 2,860 รอบต่อนาที (r/min) มีความสามารถรับแรงบิดสูงสุด 0.258 กิโลกรัม- เมตร (kg-m) ดังภาพที่ 5

1HP (0.75 kW)		2 POLE		TYPE SF-JR	
Hz	50	50	50	60	60
V	220	380	415	220	440
A	3.1	1.8	1.8	2.9	1.6
min <sup>-1</sup>	2830	2830	2880	3400	3430
PF	0.86	0.86	0.81	0.90	0.86
IEC 60034-1	JEC-2137-2000		BEARING 6204ZZ 6203ZZ		
IP 55	IC 411		SERIAL		

ภาพที่ 5 ศักยภาพมอเตอร์ไฟฟ้าตัวใหม่

ที่มา : <https://www.meath-co.com/web/es-mit/UploadFile/SF-JR%201-80M25.pdf>

3.1.3 การประเมินศักยภาพมอเตอร์ไฟฟ้าตัวใหม่และ อินเวอร์เตอร์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้า พบว่า มอเตอร์ ไฟฟ้าแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ มีการใช้กระแสไฟฟ้า 9.30 แอมแปร์ หากมีการเดินเครื่องจักรสำหรับการสไลด์น้ำมันเป็น เวลา 6 ชั่วโมงต่อวัน มีหน่วยการใช้พลังงานไฟฟ้า เท่ากับ 12.28 หน่วยต่อวันหรือ 12.28 kW-h ต่อวัน และมีค่าใช้จ่าย พลังงานไฟฟ้าต่อวัน เท่ากับ 61.38 บาทต่อวัน ส่วนมอเตอร์ ไฟฟ้าแรงดันไฟฟ้า 380 โวลต์ มีการใช้กระแสไฟฟ้าน้อยกว่า คือ 1.80 แอมแปร์ ลดลง ร้อยละ 19.35 หากมีการเดิน เครื่องจักรสำหรับการสไลด์น้ำมันเป็นเวลา 6 ชั่วโมงต่อวัน มี หน่วยการใช้พลังงานไฟฟ้า เท่ากับ 4.10 หน่วยต่อวันหรือ 4.10 kW-h ต่อวัน ลดลง ร้อยละ 33.39 และมีค่าใช้จ่าย พลังงานไฟฟ้าต่อวัน เท่ากับ 20.52 บาทต่อวัน ลดลง ร้อยละ 33.43 ดังตารางที่ 1 ด้านอินเวอร์เตอร์ปรับความเร็วรอบ มอเตอร์ไฟฟ้า พบว่า โมเดลที่สามารถนำมาใช้งานร่วมกับ



มอเตอร์ไฟฟ้าได้อย่างเหมาะสม คือ รุ่น DLP101D5S2D มี พิกัดกำลังไฟฟ้ารวมสูงสุด 1.5 กิโลวัตต์ (kW) หรือ 2 แรงม้า (HP) กระแสสูงสุด 7 แอมแปร์ โดยใช้แรงดันไฟฟ้าป้อนเข้า 220 โวลต์ (VAC) รวมทั้งสามารถเลือกใช้แรงดันจากโซล่า เซลล์ได้อีกทางหนึ่ง ซึ่งต้องใช้แรงดัน ระหว่าง 200 – 400 โวลต์ (VDC) ดังภาพที่ 6

ตารางที่ 1 ผลการเปรียบเทียบมอเตอร์ไฟฟ้า

ประเภท มอเตอร์	แรงดัน (โวลต์)	กระแส (แอมแปร์)	การใช้งาน (ชั่วโมงต่อ วัน)	หน่วย ไฟฟ้า (หน่วย)	ค่า ไฟฟ้า (บาท ต่อวัน)
มอเตอร์ตัว เก่า	220	9.30	6	12.28	61.38
มอเตอร์ใหม่	380	1.80	6	4.10	20.52
ลดร่องยล	-	19.35	-	33.39	33.43



ภาพที่ 6 ศักยภาพอินเวอร์เตอร์ปรับความเร็วรอบ

ที่มา : <http://www.jadenthailand.com/files/JADEN-DLP1.pdf>

3.1.4 ประเมินศักยภาพแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าจาก แสงอาทิตย์ พบว่า ชุดแผงโซล่าเซลล์ มีกำลังผลิตพลังงาน ไฟฟ้าได้เท่ากับ 2.125 กิโลวัตต์ ( $230 * 9.24 = 2,125$  Watt) โดยมีจำนวนแผงโซล่าเซลล์ที่ต้องใช้ต่อชุดสูงสุด เพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการขนาดแรงดันของชุด อินเวอร์เตอร์ ตามคุณลักษณะจำเพาะของชุดอินเวอร์เตอร์ จำนวน 9 แผง หากแต่นักวิจัยนี้ สามารถดำเนินการได้ จำนวน 5 แผง ดังนั้นขนาดแรงดัน เท่ากับ 230 โวลต์ ( $5 * 46 = 230$  Volt) ซึ่งอยู่ในช่วงที่ชุดอินเวอร์เตอร์แปลงกระแส สามารถทำงาน คือ 55 – 380 โวลต์ ส่วนจำนวนชุดแผงโซ ล่าเซลล์ที่ต้องใช้สูงสุดเพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการ ขนาดกระแสไฟฟ้าของชุดอินเวอร์เตอร์ เท่ากับ 1 ชุด และสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้สูงสุด เท่ากับ 9.24 แอมแปร์ ดัง ภาพที่ 3 ส่วนผลการประเมินศักยภาพการผลิตกระแสไฟฟ้า จากพลังงานแสงอาทิตย์จากการคำนวณ พบว่า หน่วย พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในระยะเวลา 6 ชั่วโมงต่อวัน สามารถ ผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 1.63 หน่วยต่อชั่วโมง 9.75 หน่วยต่อวัน และ 292.50 หน่วยต่อเดือน ดังตารางที่ 2 หากแต่จากการ

ประเมินด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป พบว่า แสงแดดที่สามารถ ถ่ายโอนรังสีได้เฉลี่ย 5.48 ชั่วโมงต่อวัน หน่วยพลังงานไฟฟ้า ที่ชุดแผงโซล่าเซลล์สามารถผลิตได้เฉลี่ย เท่ากับ 184.89 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อเดือน มีหน่วยพลังงานไฟฟ้าที่ชุด อินเวอร์เตอร์สามารถผลิตได้เฉลี่ย เท่ากับ 177.21 กิโลวัตต์- ชั่วโมงต่อเดือน สามารถลดค่ากระแสไฟฟ้าได้ เฉลี่ย 850.61 บาทต่อเดือน

ตารางที่ 2 ผลประเมินศักยภาพแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้า

รายการ	หน่วยพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้* (หน่วย ; kW-h)			
	ต่อ ชั่วโมง	ต่อวัน	ต่อเดือน	ต่อปี
จำนวนแผง (แผง)	5	1.63	9.75	292.50
จำนวนชุดแผง (ชุด)	1	9.75	292.50	3,510
ปริมาณ แรงดัน (โวลต์)	230			
ปริมาณ กระแส (แอมแปร์)	9.24			
กำลังพลังงาน ไฟฟ้า (วัตต์ต่อ ชั่วโมง)	2,125			

\*6 ชั่วโมงต่อวัน

### 3.2 ผลการปรับปรุงเครื่องสไลด์น้ำมันแบบประหยัด พลังงาน

3.2.1 ผลการติดตั้งชุดมอเตอร์ไฟฟ้าและทดสอบการ สไลด์น้ำมันด้วยอุปกรณ์ควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าจากแหล่งผลิต พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้าปกติ พบว่า ชุด มอเตอร์ไฟฟ้าสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ประสิทธิภาพ โดยสามารถปรับความเร็วได้อย่างราบรื่น รอบ ความเร็วถึงบรรจุผลิตภัณฑ์ที่มีเหมาะสมโดยไม่ทำให้ ผลิตภัณฑ์กลอยทอดแตกหัก ดังภาพที่ 7 คือ ที่ความเร็วรอบ ไม่เกิน 475 รอบต่อนาที ที่ระดับความถี่ไม่เกิน 25 เฮิร์ต ด้วยกระแสไฟฟ้า 1.30 แอมแปร์ ดังตารางที่ 3 ทำให้เครื่อง สไลด์น้ำมันมีกำลังการผลิตต่อวันต่อการทำงานต่อเนื่อง 8 ชั่วโมง เท่ากับ 24 กิโลกรัม หรือ 3 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ดัง ตารางที่ 4 ทั้งนี้เครื่องสไลด์น้ำมันสามารถทำความเร็วรอบได้ สูงสุด 984 รอบต่อนาที ที่ความถี่ 50 เฮิร์ต ด้วยกระแสไฟฟ้า 2.30 แอมแปร์ แต่ผลิตภัณฑ์กลอยทอดที่ได้จะเกิดการ แตกหัก



ภาพที่ 7 ชุดเครื่องสกัดน้ำมันชุดใหม่และผลิตภัณฑ์ที่ได้

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบการสกัดน้ำมัน

ความถี่ (เฮิร์ต)	น้ำหนัก กลอย ทอด (กรัมต่อ ครั้ง)	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	ความเร็ว รอบ ถึงสกัด น้ำมัน (รอบต่อนาที)	ลักษณะ (แตกหัก/ไม่แตกหัก)
15	1	1.00	256	ไม่แตกหัก
20	1	1.13	385	ไม่แตกหัก
25	1	1.30	475	ไม่แตกหัก
30	1	1.47	572	เริ่มแตกหัก เล็กน้อย
35	1	1.74	680	แตกหัก
40	1	1.90	792	แตกหัก
45	1	2.12	883	แตกหัก
50	1	2.30	984	แตกหัก

ตารางที่ 4 ผลวิเคราะห์ระยะเวลาต้นทุน

กิโกรัม ต่อครั้ง*	กิโกรัม ต่อ ชั่วโมง	8 ชั่วโมงต่อวัน (กิโกรัม)		
		8 ชั่วโมง ต่อวัน	30 วัน	365 วัน
1	3	24	720	8,640
การใช้พลังงาน			หน่วย/ปี	บาท/ปี
การใช้พลังงานทดแทน			21,777.36	108,886.80
การใช้ไฟฟ้าก่อน-หลังปรับปรุง			0	0
เงินลงทุนทั้งหมด			150,000	บาท
ระยะเวลาคืนทุน (พลังงาน)			1.38	ปี

\*หมายเหตุ : สกัดกลอยครั้งละ 20 นาที

### 3.2.2 ผลการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจาก

การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม นวัตกรรม และการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 7 ประจำปี 2561

แสงอาทิตย์ พบว่า ระบบสามารถทำงานได้อย่างราบรื่น มีประสิทธิภาพ ประสิทธิผล โดยสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งจากการทดสอบการทำงานในสภาพบรรยากาศช่วงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2561 สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ไม่น้อยกว่า 80 หน่วย ดังภาพที่ 4 อีกทั้งสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้มากกว่าหน่วยการใช้ของชุดมอเตอร์เครื่องสกัดน้ำมันโดยชุดมอเตอร์สกัดน้ำมันมีความต้องการใช้กระแสไฟฟ้า 0.10 หน่วยต่อครั้ง ดังตารางที่ 5 ดังนั้นหากทำงานต่อเนื่อง 8 ชั่วโมงต่อวัน ต้องใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 68.64 หน่วยต่อเดือน แต่ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่าเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 177.21 – 292.50 หน่วยต่อเดือน

ตารางที่ 5 ผลวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าต่อครั้ง

ความถี่ (เฮิร์ต)	น้ำหนัก กลอย ทอด (กรัมต่อ ครั้ง)	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	การใช้ งาน ต่อครั้ง (นาที่ต่อ ครั้ง)	หน่วย ไฟฟ้า (หน่วยต่อ ครั้ง)	ค่า ไฟฟ้า* (บาทต่อ ครั้ง)
15	1	1.00	20	0.07	0.37
20	1	1.13	20	0.08	0.41
25	1	1.30	20	0.10	0.48
30	1	1.47	20	0.11	0.54
35	1	1.74	20	0.13	0.64
40	1	1.90	20	0.14	0.70
45	1	2.12	20	0.16	0.78
50	1	2.30	20	0.17	0.84

\*หมายเหตุ : 5 บาทต่อหน่วย

## 4. อภิปรายผล (Discussion)

ผลการปรับปรุงเครื่องสกัดน้ำมันแบบประหยัดพลังงานด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ในกระบวนการผลิตกลอยทอดสำหรับกลุ่มวิสาหกิจชุมชน จังหวัดแพร่ ซึ่งดำเนินการเริ่มจากการประเมินศักยภาพการปรับปรุงเครื่องสกัดน้ำมันเป็นสิ่งจำเป็นเนื่องจากเป็นข้อมูลพื้นฐานในการกำหนดคุณลักษณะของอุปกรณ์ทั้งตัวโครงสร้างของเครื่องจักรและแหล่งผลิตพลังงานจากแสงอาทิตย์ โดยผลการปรับปรุงเครื่องสกัดน้ำมันแบบประหยัดพลังงาน พบว่า การสกัดน้ำมันออกจากผลิตภัณฑ์ประเภทอาหารให้มีประสิทธิภาพ ประสิทธิผลมากที่สุดต้องดำเนินการหลังจากสิ้นสุดการทอดทันที เพื่อให้ระดับน้ำมันที่แผงอยู่ในผลิตภัณฑ์สกัดออกในขณะที่ช่องว่างของเนื้อผลิตภัณฑ์เปิดอยู่ รวมทั้งต้องบรรจุอยู่ในถุงผ้าที่มีช่องว่างที่มีขนาดกว้างที่เหมาะสมเพื่อให้ไขมันสกัดออกจากผลิตภัณฑ์และถุงผ้าได้รวดเร็ว สอดคล้องกับผลการศึกษา ดารณี คล้ายเครือ [1] พบว่า การปรับสภาวะความดันและอุณหภูมิภายหลังการทอดส่งผลให้สามารถลดปริมาณการดูดซับน้ำมันของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทอดทั้งใน

สภาวะปกติและสูญญากาศ และที่สำคัญในการสลัดน้ำมัน  
ออกจากผลิตภัณฑ์ คือ การใช้ความเร็วที่เหมาะสมตาม  
ประเภทของผลิตภัณฑ์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ  
ประชา ยืนยงกุลและคณะ [2] ที่ได้ออกแบบและสร้างเครื่อง  
สลัดน้ำมันออกจากถ้วยทอดกรอบและศึกษาหาความเร็วที่  
เหมาะสมในการสลัดน้ำมันออกจากถ้วยทอดกรอบ พบว่า  
เครื่องสามารถสลัดน้ำมันออกได้ทั้งถ้วยดิบทอดกรอบและ  
ถ้วยสุกทอดกรอบ โดยที่ถ้วยดิบทอดกรอบเครื่องทำงานที่  
ความเร็วรอบ 800 รอบต่อนาทีใช้เวลา 60 ส่วนถ้วยสุก  
ทอดกรอบเครื่องทำงานที่ความเร็วรอบ 1,450 รอบต่อนาที  
ใช้เวลา 120 นาที

การสร้างแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงาน  
แสงอาทิตย์ พบว่า ปัจจัยที่สำคัญในการสร้างและพัฒนา  
แหล่งผลิตพลังงานจากแสงอาทิตย์ ประกอบด้วย  
ปัจจัยพื้นฐานและปัจจัยผันแปร โดยปัจจัยพื้นฐานเกิดจาก  
การกำหนดจำนวนแผงโซลาร์เซลล์และจำนวนชุดของแผงโซ  
ลาร์เซลล์เป็นปัจจัยสำคัญที่มีนัยยะสำคัญโดยตรงในการผลิต  
พลังงานไฟฟ้าเนื่องจากจำนวนแผงเป็นตัวกำหนดขนาด  
แรงดันกระแสไฟฟ้าและตัวกำหนดขนาดกระแสไฟฟ้าเพื่อ  
ป้องกันพลังงานไฟฟ้าเข้าสู่ชุดอินเวอร์เตอร์ซึ่งเป็นตัวแปลงกระ  
แสไฟฟ้าจากกระแสตรงเป็นกระแสสลับให้สอดคล้องกับ  
กำลังการผลิตของชุดอินเวอร์เตอร์ โดยตามหลักการของ  
กำลังไฟฟ้าเท่ากับแรงดันคูณกับกระแส ซึ่งหากกำหนด  
จำนวนแผงโซลาร์เซลล์น้อยทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าน้อย  
รวมทั้งหากกำหนดจำนวนชุดแผงโซลาร์เซลล์น้อยทำให้เกิด  
กระแสไฟฟ้าน้อยด้วยเช่นกัน สอดคล้องกับผลการศึกษานของ  
ณัฐพรต คนตรง และคณะ [5] พบว่า การออกแบบระบบ  
ผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ต้องคำนึงถึงเกณฑ์ 4 ข้อ  
คือ มีกำลังการผลิตเพียงพอต่อความจำเป็น พื้นฐาน  
ออกแบบที่ถูกต้องทางด้านเทคนิค ยืนหยุ่นต่อสภาพการใช้  
งานหลากหลายรูปแบบ และมีเสถียรภาพในสภาพแวดล้อมที่  
แปรปรวน รวมทั้งสอดคล้องกับ บัญชา ศรีวิโรจน์ และคณะ  
[6] พบว่า การเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบผลิตพลังงาน  
ไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เกิดจากปัจจัยผันแปรที่ส่งผลต่อการ  
สร้างแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ได้แก่  
ขนาดความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบ แรงดันไฟฟ้าที่เกิด  
จากคุณสมบัติสารกึ่งตัวนำที่นำมาผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ และ  
ระดับอุณหภูมิโดยรอบของชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ควรอยู่  
ระหว่าง 25 – 35 องศาเซลเซียส

## 5. สรุปผล (Conclusion)

การปรับปรุงเครื่องสลัดน้ำมันแบบประหยัดพลังงาน  
ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่า ความเร็วรอบถึงสลัดน้ำมัน

ด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าตัวใหม่ที่เหมาะสม โดยไม่ทำให้ผลิตภัณฑ์  
กลอยทอดเกิดการแตกร้าว ควรใช้ความเร็วรอบ ไม่เกิน 475  
รอบต่อนาที ด้วยความถี่ของอินเวอร์เตอร์ปรับความเร็วรอบ  
ไม่เกิน 25 เฮิร์ต ซึ่งจะสามารถทำให้เครื่องสลัดน้ำมันมีกำลัง  
การผลิตต่อวันต่อการทำงานต่อเนื่อง 8 ชั่วโมง เท่ากับ 24  
กิโลกรัม หรือ 30 กิโลกรัมต่อชั่วโมง มีหน่วยการใช้พลังงาน  
ไฟฟ้า 68.64 หน่วยต่อเดือน สูญเสียค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้า  
ประมาณ 343.20 บาทต่อเดือน หากแต่สามารถลดค่าใช้จ่าย  
พลังงานไฟฟ้าได้ร้อยละ 100 เนื่องจากได้ทำการติดตั้งแหล่ง  
ผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ที่สามารถผลิต  
กระแสไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่องเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 177.21 –  
292.50 หน่วยต่อเดือน ทั้งนี้หากนำผลการวิจัยไปใช้  
ประโยชน์อย่างมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นต้องตรวจสอบชุด  
สายพานขับเคลื่อนอย่างต่อเนื่อง หมั่นทำความสะอาดชุด  
แผงโซลาร์เซลล์อย่างน้อยเดือนละ 1 ครั้ง อีกทั้งหากต้องการ  
เพิ่มกำลังการผลิตจำเป็นต้องเพิ่มจำนวนชุดแผงโซลาร์เซลล์  
หรือจำนวนแผงโซลาร์เซลล์ เพื่อปรับระดับกระแสไฟฟ้าและ  
แรงดันไฟฟ้าให้สามารถผลิตต่อช่วงเวลาและสภาพอากาศที่  
เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา รวมทั้งหน่วยงานที่เกี่ยวข้องควร  
ดำเนินการจัดกิจกรรมการถ่ายทอดเทคโนโลยีและการ  
เปลี่ยนแปลงชุดมอเตอร์ไฟฟ้าแบบสามเฟสในแผนประจำปี  
อย่างต่อเนื่องเพื่อการส่งเสริมการลดใช้พลังงานสิ้นเปลือง  
และเพิ่มรายได้ให้กับผู้ประกอบการของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนที่  
ยั่งยืน

## 6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงาน  
คณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏ  
อุดรดิตถ์ ศูนย์วิทยบริการมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์  
จังหวัดแพร่ สถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาลัยราชภัฏ  
อุดรดิตถ์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม และกลุ่มวิสาหกิจ  
ชุมชนบ้านไทรย้อย หมู่ที่ 2 ตำบลไทรย้อย อำเภอเด่นชัย  
จังหวัดแพร่ ที่ให้ความอนุเคราะห์และอำนวยความสะดวก  
รวมทั้งขอขอบคุณผู้เกี่ยวข้องอื่นๆ ที่ไม่ได้กล่าวนามที่มีส่วน  
ช่วยในงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

## 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] ดารณี คล้ายเครือ, การศึกษาวิธีการลดปริมาณ  
น้ำมันดูดซับของผลิตภัณฑ์อาหารหลังการทอด,  
ข้อมูลจาก <http://tar.thailis.or.th/bitstream/123456789/167/1/32.pdf> (วันที่สืบค้นข้อมูล  
10 มกราคม 2561)
- [2] ประชา ยืนยงกุล, ชาตรี ศรีสมบัติ และมณฑล จังใจ,

- เครื่องสกัดน้ำมันออกจากล้วยทอดกรอบ,  
ข้อมูลจาก [http://beyond.library.tu.ac.th/  
cdm/ref/collection/trf\\_or\\_th/](http://beyond.library.tu.ac.th/cdm/ref/collection/trf_or_th/) (วันที่สืบค้นข้อมูล  
10 มกราคม 2561)
- [3] อุทัย ผ่องรัศมี, เครื่องสกัดน้ำมันสำหรับผลิตภัณฑ์  
อาหารประเภททอด, ข้อมูลจาก  
<http://intech.pbru.ac.th/me/files/TOSMFFF.pdf>  
(วันที่สืบค้นข้อมูล 10 มกราคม 2561)
- [5] Alliance for Sustainable Energy, ผลประเมิน  
ศักยภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์,  
ข้อมูลจาก  
<https://pwatts.nrel.gov/pwatts.php>  
(วันที่สืบค้นข้อมูล 10 มกราคม 2561)
- [5] ณัฐพรต คนตรง, ชาญณรงค์ พิทน, บวรศักดิ์ เพชรานนท์  
, ชเนนทร์ มั่นคง, ฉัตรชัย งามสม และภมร ทรงยศ,  
2559, การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์  
แบบติดตั้งอิสระที่มีเสถียรภาพและเหมาะสมกับศูนย์การ  
เรียนชุมชนชาวไทยภูเขา “แม่ฟ้าหลวง” ในพื้นที่อำเภอ  
ออมก๋อย จังหวัดเชียงใหม่, เอกสารรายงานการประชุม  
วิชาการ เรื่อง นวัตกรรมเพื่อสุขภาวะชุมชน วันที่ 15 –  
16 ธันวาคม 2559 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอม  
เกล้าธนบุรี หน้า 1 – 6.
- [6] บัญชา ศรีวิโรจน์, กรพัชร ยสะวัฒนพงศ์,  
ธนวัฒน์ ประไวย์, วันเฉลิม สุขสามแก้ว และ  
อิศรา ลายทุธ, 2561, การเพิ่มประสิทธิภาพให้กับ  
ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์. TEMCA  
Magazine Issue4. Volume24 February – April  
2018, pp 32 – 36.

## กรณีศึกษาการจัดสรรทรัพยากรโดยการประมาณเวลาในการผลิตบางส่วน โดยใช้ข่ายงานกิจกรรม

### A Case Study of Resource Allocation by Estimating Some Production Time Using Activity Network

สุรพงศ์ บางพาน<sup>1\*</sup>, พีรพันธ์ บางพาน<sup>2</sup>, จักรกฤษณ์ นิลผาย<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> สาขาวิศวกรรมอุตสาหการและเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่

128 หมู่ 1 ถ.ห้วยแก้ว ต.ช้างเผือก อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50300

<sup>1\*</sup>[pang\\_pang49@yahoo.com](mailto:pang_pang49@yahoo.com), <sup>2</sup>[foundry18@yahoo.com](mailto:foundry18@yahoo.com)

<sup>3</sup> สาขาวิชาการผลิตและนวัตกรรมอาหาร สังกัดวิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ

98 หมู่ ต.ป่าป้อ อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่ 50220

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่

#### บทคัดย่อ

การสร้างกิจกรรมโดยทั่วไปสามารถทำให้เกิดผลกำไรที่มีทรัพยากรและเวลาอย่างจำกัด ทรัพยากรดังกล่าวประกอบด้วย คน วัสดุ เครื่องจักรและวิธีการวัด เป็นต้น ซึ่งมีความจำเป็นสำหรับการทำกิจกรรมต่าง ๆ ในโครงการ ดังนั้นเทคนิคการบริหารโครงการจึงเป็นประโยชน์ในการปรับเวลาและการกำหนดเวลาของทรัพยากรต่างๆ โดยการบริหารโครงการสามารถใช้เพื่อแก้ไขปัญหาความขัดแย้งของทรัพยากรและยังเป็นประโยชน์ในการลดระยะเวลาของโครงการให้น้อยที่สุดภายในทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดทั้งนี้ก็เพื่อให้โครงการได้รับผลกำไร วัตถุประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้เป็นการวิเคราะห์ทรัพยากรที่มีอยู่แล้วทำการจัดสรรโดยการปรับระดับการขจัดอุปสรรคของทรัพยากรด้วยการประมาณกิจกรรมของช่วงภายในระยะเวลาของกิจกรรมโครงการ

**คำสำคัญ (Key word):** การจัดสรรทรัพยากร; การกำหนดทรัพยากร; ระดับของทรัพยากร; การประมาณเวลา; PERT & CPM

#### Abstract

General construction activities can be managed to achieve the profit with limited resources and time. A resource such as people, material, machines, method and measurement etc. That is required for completing various activities in a project. Thus project management techniques are useful in scheduling and timing the various resources by project management can be used to resolve to resource conflicts and also useful in minimizing the project duration within the limited availability of resources to make the project profitable. The aim of this research has to analyze the available resources, then allocating them with leveling and smoothing of the resources by estimating timescale activity table within certain duration in the project activities.

**Key-word:** Resource-allocation; resource scheduling; resource levelling; estimating; PERT & CPM



## 1. บทนำ (Introduction)

### ความเป็นมาของ PERT และ CPM

PERT พัฒนาขึ้นเมื่อ พ.ศ. 2501 โดยกองทัพเรือสหรัฐอเมริกา ร่วมกับ บูช แอลเลน และ แฮมิลตัน (Booz Allen and Hamilton) และ ล็อกฮีต แอร์คราฟต์ (Lockheed Aircraft) เพื่อใช้ในการบริหารโครงการขีปนาวุธโพลาริส (Polaris) ซึ่งเป็นโครงการขนาดใหญ่ ประกอบด้วยผู้รับเหมาช่วง (Subcontractor) มากกว่า 9,000 ราย ลักษณะของโครงการเป็นการวิจัยและพัฒนา และมีการผลิตส่วนประกอบใหม่ ๆ ซึ่งไม่เคยมีผู้ใดผลิตมาก่อน ดังนั้นการประมาณระยะเวลาในการดำเนินการ ต่าง ๆ ในโครงการจึงไม่สามารถกำหนดลงไปได้แน่นอน ตายตัว จำเป็นต้องนำเอาแนวความคิดของความน่าจะเป็น (Probability concept) เข้ามาประกอบด้วย จึงอาจกล่าวได้ว่า จุดเด่นของ PERT คือ การสามารถนำไปใช้กับโครงการที่มีเวลาดำเนินงานไม่แน่นอน ส่วน CPM พัฒนาขึ้นเมื่อ พ.ศ. 2500 โดย เจ.อี. เคลลี (J.E. Kelly) แห่งบริษัทเรมิงตัน แรนด์ (Remington Rand) ร่วมกับ เอ็ม. อาร์. วอล์กเกอร์ (M.R. Walker) แห่งบริษัทดูปองต์ (DuPont) เพื่อใช้ในโครงการก่อสร้างและซ่อมบำรุงเครื่องจักรในโรงงานเคมี โดยเน้นในด้านการวางแผนและควบคุมเวลา ตลอดจนค่าใช้จ่ายโครงการ CPM มักจะนำไปใช้กับโครงการที่ผู้บริหารเคยมีประสบการณ์มาก่อน และสามารถประมาณเวลารวมทั้งค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของโครงการได้แน่นอน [3]-[4]

**ความแตกต่างระหว่าง PERT และ CPM** ข้อแตกต่างชัดเจนระหว่าง PERT และ CPM คือ เวลาในการทำกิจกรรม กล่าวคือ เวลาในการทำกิจกรรมของ PERT จะเป็นเวลาโดยประมาณการซึ่งคำนวณได้ด้วยการใช้ความน่าจะเป็น PERT จึงใช้กับโครงการที่ไม่เคยทำมาก่อน หรือโครงการซึ่งไม่สามารถเก็บรวบรวมเวลาของการทำกิจกรรมได้ เช่น โครงการพัฒนาวิจัย ส่วน CPM นั้น เวลาที่ใช้ในกิจกรรมจะเป็นเวลาที่แน่นอน ซึ่งคำนวณได้จากข้อมูลที่เคยทำมาก่อน เช่น อัตราการทำงานองงานแต่ละประเภท อัตราการทำงานองเครื่องจักร เป็นต้น CPM จึงใช้กับโครงการที่เคยทำมาก่อน ซึ่งมีความชำนาญแล้ว เช่น งานก่อสร้าง ชิ้นส่วนประกอบเครื่องจักรกลการเกษตร ส่วนประกอบเครื่องกะเทาะข้าวเปลือกชนิด 6 ลูกยาง [1]-[2]

#### 1.1 เครื่องมือที่ใช้ในการสร้างข่ายงาน

##### การสร้างข่ายงาน (Network)

ข่ายงาน (Network) คือ แผนภูมิหรือไดอะแกรมที่เขียนขึ้นแทนกิจกรรมต่าง ๆ ที่ต้องทำในโครงการ โดยแสดงรายละเอียดกิจกรรมในโครงการและลำดับการทำงานของ

กิจกรรม หรืองาน ย่อย ๆ ตามลำดับก่อนหลังของกิจกรรม ทำให้ได้ภาพที่ชัดเจนยิ่งขึ้น การสร้างข่ายงานมี 2 แบบ คือ

1. กิจกรรมบนจุดเชื่อมแบบ Activity on arrow (AOA) เป็นการเขียนข่ายงานโดยใช้เส้นเชื่อม arrow แทนกิจกรรม
2. กิจกรรมบนจุดเชื่อมแบบ Activity on node (AON) เป็นการเขียนข่ายงานโดยใช้จุดเชื่อม node แทนกิจกรรม [2]

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ต้องการหาเส้นทางวิกฤตในกระบวนการผลิต เครื่องทำความสะอาดข้าวเปลือกเป็นกรณีศึกษาโดยใช้ PERT และ CPM มาสร้างข่ายงานกิจกรรมด้วยกิจกรรมบนลูกศรและกิจกรรมบนโหนด และการจัดสรรทรัพยากรโดยวิธีประมาณเวลาเพื่อหาค่าตอบของข่ายงานกิจกรรมด้วยการปรับระดับและขจัดอุปสรรคของทรัพยากรที่มีอยู่ให้ดีที่สุด

## 2. วิธีวิจัย (Research Methodology)

การบริหารโครงการของงานวิจัยนี้มีการวางแผนการออกแบบและการดำเนินการชุดของกิจกรรมเพื่อให้บรรลุเป้าหมายที่เฉพาะเจาะจงหรืองานของแต่ละกิจกรรมแนวทางในการบริหารโครงการนี้ วิธีการสำคัญที่จะนำมาใช้คือวิธีเส้นทางวิกฤต (Critical Path Method) (CPM) และการประเมินผลโครงการและเทคนิคการทบทวน Project Evaluation and Review Technique (PERT) ในข่ายงาน CPM ของโครงการทั้งหมดประกอบด้วยจำนวนแต่ละกิจกรรมที่ระบุไว้อย่างชัดเจนและการดำเนินงานที่เรียกว่ากิจกรรม กิจกรรมมักเป็นกิจกรรมที่ต้องใช้เวลาในการดำเนินการและในงานวิจัยนี้แต่ละกิจกรรมจะมีการใช้จ่ายเกี่ยวกับค่าดำเนินการทางด้านทรัพยากร ของแต่ละโหนดระหว่างกิจกรรมที่เรียกว่าเหตุการณ์

รายละเอียดของกิจกรรมและรหัสของกิจกรรมในรูปแบบข่ายงานของ PERT ดังแสดงในตารางที่ 1 หลังจากศึกษารายละเอียด วัสดุ อุปกรณ์และเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตและประกอบ ทำการวิเคราะห์ข่ายงานเพื่อแสดงความสัมพันธ์ของกิจกรรมต่าง ๆ เรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการวิเคราะห์ข่ายงานที่สร้างขึ้น เพื่อหาเส้นทางวิกฤต (Critical path) ซึ่งประกอบด้วยงานต่าง ๆ ที่มีความสำคัญ หรือ กิจกรรมวิกฤต (Critical activity) ซึ่งนับเป็นงานที่กำหนดและควบคุมการแล้วเสร็จของโครงการเนื่องจากหากงานเหล่านี้ล่าช้าไปจะทำให้โครงการเสร็จช้าไปด้วย ส่วนกิจกรรมที่ไม่วิกฤต (Non-critical activity) เป็นงานที่อาจล่าช้ากว่าที่กำหนดไว้ได้ในเวลาหนึ่งโดยไม่กระทบกระเทือนต่อเวลาเสร็จสิ้นโครงการ เส้นทางวิกฤตนี้

จะเป็นเส้นทางที่มีระยะเวลายาวนานที่สุดของโครงการ ซึ่งระยะเวลาการดำเนินของเส้นทางวิกฤติ เรียกว่า ระยะเวลาวิกฤติ (Critical time) [1-4]

## 2.1 การปรับระดับทรัพยากรและขจัดอุปสรรคของทรัพยากร

ข้อบกพร่องของวิธีการกำหนดส่วนใหญ่ของโครงการใดๆ จะไม่ได้กล่าวถึงประเด็นเรื่องทรัพยากรที่มีอยู่และการใช้ประโยชน์ แนวโน้มวิธีการกำหนดจะมุ่งเน้นไปที่เวลาและทรัพยากรทางกายภาพ ในการกำหนดโครงการจะมีความสัมพันธ์ระหว่างการใช้เวลาและการใช้ทรัพยากร มีดังนี้

จำกัดเวลา [5]: โครงการจะต้องเสร็จสิ้นภายในระยะเวลาหนึ่งโดยใช้ทรัพยากรให้น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้  
จำกัดทรัพยากร [5]: โครงการจะต้องดำเนินการให้เสร็จสิ้นโดยเร็วที่สุด แต่ไม่เกินบางอย่างที่เฉพาะเจาะจงของระดับการใช้ทรัพยากร

การแก้ปัญหาของปัญหาที่ซับซ้อนประเภทนี้เรียกว่า การกำหนดตารางเวลาทรัพยากรที่มีวัตถุประสงค์เพื่อนำมาลงค่าใช้จ่ายและในเวลาเดียวกันลดความกดดันทางด้านข้อจำกัดทรัพยากร ในความต้องการที่มีความขัดแย้งกัน

### 2.2.1 ขั้นตอนการขจัดอุปสรรคของทรัพยากร

การปรับระดับทรัพยากรมีวัตถุประสงค์เพื่อลดระยะเวลาโดยการเปลี่ยนแปลงช่วงเวลาการไหลของทรัพยากร โดยการขยับหรือเคลื่อนที่ของงานภายในการจัดสรรกิจกรรมที่หย่อนลง ขั้นตอนการขจัดอุปสรรคของทรัพยากร คือ

- (1) เขียนไดอะแกรมช่วยงานสำหรับกิจกรรมของโครงการแสดงดังตารางที่ 1
- (2) คำนวณเวลาเร็วที่สุดที่จะเริ่มต้นของกิจกรรมและเวลาช้าที่สุดที่จะเริ่มต้นกิจกรรมนั้น ๆ โดยไม่ทำให้เวลาของโครงการเปลี่ยนไปและกำหนดเส้นทางวิกฤติ
- (3) สร้างตารางที่แสดงความต้องการทรัพยากรสำหรับแต่ละกิจกรรม ระยะเวลาและความเหมาะสมของการลอยตัวทั้งหมด
- (4) สำหรับการขจัดอุปสรรคของทรัพยากรคือการกำหนดความต้องการสูงสุด
- (5) วาดรูปแบบตารางเวลาของช่วยงานและกำหนดความต้องการทรัพยากรให้กับกิจกรรม
- (6) ด้านล่างของช่วยงานที่มีการปรับขนาดตามกำหนดเวลาจะมีการคำนวณตามความต้องการทรัพยากรสำหรับแต่ละหน่วยเวลาแสดงเป็นกราฟ

ตารางที่ 1 รายละเอียดของกิจกรรม

ลำดับที่	กิจกรรม	รายละเอียด	จำนวนชิ้น	กิจกรรมก่อนหน้า	จำนวนคน	เวลา (วัน)
1	A	เตรียม	4	-	2	2

2	B	ฐานบน ล่าง	8	A	2	3
3	C	เสาโครงเหล็กฉาก	4	A	3	3
4	D	ฐานล้อพร้อมล้อ	4	A	2	4
5	E	ประกอบชุดที่ 1	3	B,C,D	4	6
6	F	เหล็กแผ่นด้านข้าง	2	E	2	3
7	G	เหล็กเพลลา	3	E	2	2
8	H	เจาะรู ทำเกลียว	5	E	2	4
9	I	แผ่นรองแบริ่ง	4	E	2	3
10	J	ประกอบชุดที่ 2	2	F,G,H,I	4	5
11	K	ทำเพลลาข้อเหวี่ยง	2	J	2	3
12	L	ชุดพูลเลย์	4	J	2	4
13	M	สายพาน	3	J	2	3
14	N	ชุดแบริ่ง	4	J	2	4
15	O	ประกอบชุดที่ 3	6	K,L,M,N	4	6
16	P	ติดตั้งชุดอุปกรณ์ไฟฟ้า	4	O	2	3
17	Q	ตรวจสอบ	1	P	2	6

### 2.2.2 สถานการณ์การกำหนดทรัพยากรประกอบด้วยข้อจำกัดสองประเภทดังนี้ [6]

(1) ข้อจำกัด อาจเป็นระยะเวลาของโครงการทั้งหมด ซึ่งมีความต้องการทรัพยากรให้อยู่ในรูปแบบที่เป็นไปได้ เป็นที่ทราบโดยทั่วกันเกี่ยวกับขจัดอุปสรรคของทรัพยากร โดยมีวัตถุประสงค์ก็เพื่อรักษาระยะเวลาของโครงการโดยรวม ณ ระดับที่น้อยที่สุดโดยการขยับหรือเคลื่อนที่ทรัพยากรจากที่มีการลอยตัวของทรัพยากรที่สม่ำเสมอ เพื่อต้องการทรัพยากรที่ให้ผลสำเร็จได้

เกณฑ์การปรับขจัดอุปสรรคกล่าวคือต้องมีการกำหนดขั้นต่ำ  $\sum (d_i - \bar{d}^2)$

เมื่อ  $d_i$  คือความต้องการผลรวม (นักศึกษา พนักงาน หรือคนงาน) และ  $\bar{d}$  คือค่าเฉลี่ย  $d_i$ 's

(2) ข้อจำกัดประเภทที่สองอาจขึ้นอยู่กับความพร้อมใช้งานของทรัพยากรบางอย่าง ที่เป็นระยะเวลาโครงการคือไม่ถือว่าเป็นค่าคงที่ แต่ความต้องการทรัพยากรที่เฉพาะเจาะจงบางอย่างไม่ควรเกินขีดจำกัด ที่อาจเป็นไปได้ เรียกว่าการปรับระดับทรัพยากรและมีจุดมุ่งหมายเพื่อจัดลำดับความสำคัญของกิจกรรมต่อข้อจำกัดของการมีทรัพยากรและระยะเวลาน้อยสุดของโครงการควรกำหนดไว้ล่วงหน้า [6]

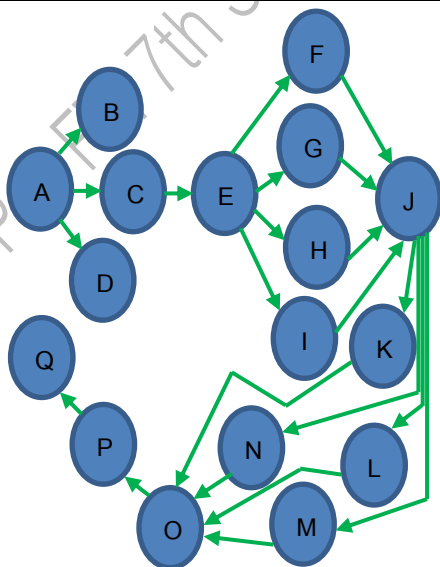


### 3. ผลการวิจัย (Results)

จากค่าตารางที่ 1 ทำการคำนวณเพื่อหาค่าต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2 โดยที่กิจกรรม A เริ่มต้นทำได้ทันที ดังตัวอย่างการคำนวณของค่า ES ของกิจกรรม A = 0 ค่าวนกำหนดเวลาเสร็จเร็วที่สุดของกิจกรรม A ได้  $EF = 0 + 2 = 2$  วัน การคำนวณกิจกรรม Q เป็นกิจกรรมสุดท้ายของโครงการ ดังนั้นค่า LF ของกิจกรรม Q มีค่าเท่ากับ 39 กิจกรรม Q ใช้เวลาดำเนินงาน 6 วัน ค่าวนค่า LS ของกิจกรรม Q =  $39 - 6 = 33$  และการคำนวณค่า slack เช่นกิจกรรม A =  $LF - EF = 2 - 2 = 0$  วัน

ตารางที่ 2 กำหนดรายละเอียดของกิจกรรมกับผลที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธี PERT

ที่	กิจกรรม	กิจกรรมก่อนหน้า	เวลา (วัน)	ES	EF	LS	LF	SL
1	A	-	2	0	2	0	2	0
2	B	A	3	2	5	3	6	1
3	C	A	3	2	5	3	6	1
4	D	A	4	2	6	2	6	0
5	E	B,C,D	6	6	12	6	12	0
6	F	E	3	12	15	13	16	1
7	G	E	2	12	14	14	16	2
8	H	E	4	12	16	12	16	0
9	I	E	3	12	15	13	16	1
10	J	F,G,H,I	5	15	20	16	21	1
11	K	J	3	20	23	21	24	1
12	L	J	4	20	24	20	24	0
13	M	J	3	20	23	21	24	1
14	N	J	4	20	24	20	24	0
15	O	K,L,M,N	6	24	30	24	30	0
16	P	O	3	30	33	30	33	0
17	Q	P	6	33	39	33	39	0

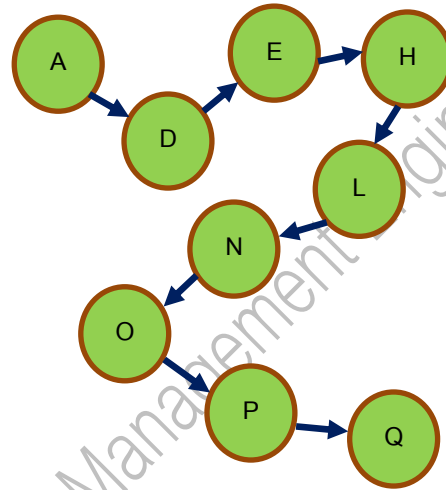


ภาพที่ 1 ข่ายงานของปัญหาที่กำหนด

จากตารางที่ 2 และภาพที่ 2 แสดงเส้นทางวิกฤตประกอบด้วย

$$= A \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow H \rightarrow L \rightarrow N \rightarrow O \rightarrow P \rightarrow Q$$

$$= 2 \rightarrow 4 \rightarrow 6 \rightarrow 4 \rightarrow 4 \rightarrow 4 \rightarrow 6 \rightarrow 3 \rightarrow 6 = 39 \text{ วัน}$$



ภาพที่ 2 เส้นทางวิกฤต

กิจกรรมของแต่ละวันและความต้องการกำลังคนสำหรับแต่ละกิจกรรมดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 กิจกรรมแต่ละวันและความต้องการกำลังคน

ลำดับที่	จำนวนคน	เวลา(วัน)
1-1	2	2
1-2	2	3
1-3	3	3
1-4	2	4
4-5	4	6
5-6	2	3
5-7	2	2
5-8	2	4
5-9	2	3
9-10	4	5
10-11	2	3
10-12	2	4
10-13	2	3
10-14	2	4
14-15	4	6
15-16	2	3
16-17	2	6

กำหนดเส้นทางที่สำคัญและระยะเวลาสูงสุดในการ

ดำเนินโครงการ ถ้ามีคนใดสามารถทำงานได้กับงานใดๆควร  
กำหนดตารางเวลาสำหรับความยาวของโครงการที่จะทำให้  
ลดลงด้วยทรัพยากรและข้อจำกัดทางด้านเทคโนโลยี

ตารางที่ 4 ตารางกิจกรรมประมาณเวลาสำหรับการปรับระดับและจัด  
อุปสรรคของทรัพยากร

1-4 (4)	4-5 (4)	5-8 (2)	10-12 (2)	10-14 (2)	14-15 (4)	15-16 (2)	16-17 (2)
1-2 (2)	1-3 (3)	5-6 (2)	5-7 (2)	8-9 (2)	9-10 (4)	10-11 (2)	10-13 (2)
Timing scale of resource levelling							
9	9	12	12	10	4	4	2
1-5 (4)	5-6 (4)	5-8 (2)	10-12 (2)	10-14 (2)	14-15 (4)	15-16 (2)	16-17 (2)
1-2 (2)	1-3 (3)	5-6 (2)	5-7 (2)	8-9 (2)	9-10 (4)	10-11 (2)	10-13 (2)
Time slack of resource smoothing							
6	9	12	12	12	10	8	8

จากตารางที่ 4 ความผันแปรจากการประมาณเวลาของ  
ข่ายงานแสดงเส้นทางวิกฤตตามแนวเส้นตรง (เส้นสีแดง) คือ  
1-5, 5-6, 5-8, 10-12, 10-14, 14-15, 15-16, 16-17  
เพื่อกำหนดจำนวนขั้นต่ำของผู้ปฏิบัติงานที่ต้องใช้ในการ  
ดำเนินโครงการให้กิจกรรมที่เกิดขึ้นเสร็จสมบูรณ์ จะเกิดขึ้น  
ก่อนช่วงถัดไป ส่วนกิจกรรมที่ไม่วิกฤต (ใช้เส้นสีน้ำเงินใน  
ภาพ) 1-2, 1-3, 5-6, 5-7, 8-9, 9-10, 10-11 และ 12-13  
แล้วจะหาข้อสรุปของเส้นทางที่วิกฤตและบุคคลากรที่  
ต้องการและระยะเวลาของโครงการจากตารางข้อมูลการ  
ปรับระดับทรัพยากรแสดงให้เห็นว่าห้าวันแรกต้องมี 9 คน  
12 คนเป็นเวลา 3 วันหลังจากนั้น 10 คนเป็นเวลา 3 วัน 9  
คนเป็นเวลา 2 วัน 4 คนเป็นเวลา 2 วัน 4 คนเป็นเวลา 2 วัน  
และอีก 2 คนเป็นเวลา 2 วันในการทำโครงการทั้งหมด  
จากข้อสังเกตความต้องการพนักงานสูงสุดเท่ากับ 12 คนเป็น  
เวลา 3 วัน

เพื่อเพิ่มความราบเรียบของภาระโหลดของแต่ละ  
กิจกรรมขึ้นอยู่กับเวลาการลอยตัว ตั้งแต่เส้นทางที่ 1 มีการ  
ลอยตัว 2 วัน ความต้องการดังกล่าวต้องได้รับการปรับปรุง  
ให้ดีขึ้นเพราะเราได้เปลี่ยนกิจกรรม 1-2, 1-3, 5-6, 5-7, 8-9,  
9-10, 10-11 และ 12-13 เป็นเวลาสองวันนับจากวันที่  
เริ่มต้นทำงาน ไปทางขวาตามที่แสดงในตารางด้านบน (เส้นสี  
น้ำเงินและสายที่เปลี่ยนจะแสดงเป็นเส้นประ) ถัดไปสำหรับที่  
เป็นเส้นทางไม่วิกฤต เริ่มต้นจากจุดกิจกรรมเริ่มต้นกิจกรรม  
อีก 14 วันหลังจากนั้นเราเปลี่ยนกิจกรรมเป็นเวลา 14 วัน  
ด้านขวาและทำกิจกรรมให้ครบ ใน 39 วัน

ดังนั้นการประมาณเวลาเพื่อจัดอุปสรรคสรุปจาก  
แผนภาพที่จัดอุปสรรค 6 คน 2 วัน 9 คน 3 วัน 12 คน 4  
วัน 10 คน 5 วัน และ 8 คนเป็นเวลา 4 วัน สำหรับการปรับ  
การจัดอุปสรรคของทรัพยากร

สรุปได้ว่าผลรวมระยะเวลาทำงานเท่ากับ 39 วัน (ไม่  
วิกฤต 25 วัน)

ดังนั้นคำนวณหาค่า  $\sum(d_i - \bar{d}^2)$  สำหรับความ  
เหมาะสมในการปรับทรัพยากร

จาก

วัน	1-4	4-5	5-8	10-12	10-14	14-15	15-16	16-17
ผลรวมวัน	4	6	4	4	4	6	3	6
ผลรวมพนักงานทั้งหมด	9	9	12	12	10	4	4	2

ดังนั้น

$$\sum d_i = (4 \times 9) + (6 \times 9) + (4 \times 12) + (4 \times 12) + (4 \times 10) + (6 \times 4) + (3 \times 4) + (6 \times 2) = 274$$

$$\sum d_i^2 = (4 \times 9)^2 + (6 \times 9)^2 + (4 \times 12)^2 + (4 \times 12)^2 + (4 \times 10)^2 + (6 \times 4)^2 + (3 \times 4)^2 + (6 \times 2)^2 = 11,284$$

$$\sum_{i=1}^{39} (d_i - \bar{d})^2 = \sum (d_i^2 - \sum \frac{d_i^2}{n}), \text{ เมื่อ } \bar{d} = \frac{\sum d_i}{n}$$

$$11,284 - \frac{(274)^2}{39} = 9,358.974$$

ภายหลังจากปรับเลื่อนขยับระดับของทรัพยากรที่มีอยู่  
กล่าวคือจำนวนพนักงานและจำนวนวันทำงานพบว่า จำนวน  
พนักงานมากที่สุดอยู่ที่ 12 คน และต่ำสุดอยู่ที่ 8 คน เส้นทาง  
ไม่วิกฤตที่ 25 วันแต่มีการปรับเปลี่ยนเพื่อขยับให้เวลาตาม  
วิกฤตคือ 39 วัน ดังนั้นค่าที่ได้จะเท่ากับ

วัน	1-4	5-6	5-7	8-9	9-10	10-11	10-13
ผลรวมวัน	2	2	2	2	4	2	2
ผลรวมพนักงานทั้งหมด	6	12	12	12	10	8	8

$$\sum d_i = (2 \times 6) + (2 \times 12) + (2 \times 12) + (2 \times 12) + (4 \times 10) + (2 \times 8) + (2 \times 8) = 156$$

$$\sum d_i^2 = (2 \times 6)^2 + (2 \times 12)^2 + (2 \times 12)^2 + (2 \times 12)^2 + (4 \times 10)^2 + (2 \times 8)^2 + (2 \times 8)^2 = 3,984$$

$$\sum_{i=1}^{39} (d_i - \bar{d})^2 = \sum (d_i^2 - \sum \frac{d_i^2}{n}), \text{ เมื่อ } \bar{d} = \frac{\sum d_i}{n}$$

$$3,984 - \frac{(156)^2}{39} = 3,360 < 9,358.974$$

เปรียบเทียบค่าทั้งหมดของ  $\sum (d_i - \bar{d})^2$  จากการ  
ปรับระดับและขจัดอุปสรรค และถ้าเราได้รับค่าต่ำสุดจาก  
การขจัดอุปสรรคเมื่อเทียบกับการปรับระดับของทรัพยากร  
แล้วเราจะได้รับผลดังนี้  
ความต้องการพนักงานในการผลิตสูงสุดเท่ากับ 12 คน  
ความต้องการพนักงานในการผลิตต่ำสุดเท่ากับ 6 คน  
ผลรวมวันทำงานเท่ากับ 39 วัน(วิกฤต) ปรับลด  $39-25 = 14$   
วัน เพราะฉะนั้นจะต้องทำงานให้แล้วเสร็จภายในไม่เกิน 25  
วัน ทั้งนี้อาจเพิ่มจำนวนพนักงานเพื่อให้งานเสร็จเร็วขึ้นแต่  
เพิ่มค่าใช้จ่าย

#### 4. อภิปรายผล (Discussion)

การขจัดอุปสรรคของทรัพยากรหมายถึงการ  
กำหนดการจัดกิจกรรมใหม่ของโครงการในลักษณะที่เราจะ  
ใช้ประโยชน์ทรัพยากรในรูปแบบที่เป็นธรรมอย่างสม่ำเสมอ  
และบรรลุระยะเวลาโครงการขั้นต่ำ ดังนั้นจากการศึกษาใน  
งานวิจัยนี้ดังเช่นเมื่อเราปรับระดับของโครงการในการผลิต  
ความต้องการกำลังคนสูงสุดคือ 12 คน สำหรับ 4 วัน และ  
หลังจากนั้นการตั้งเวลาทรัพยากรที่มีกำลังคนสูงสุดคือ 12  
คนเพียง 2 วันเท่านั้น ทั้งนี้เพื่อช่วยในการอำนวยการศึกษา  
ทรัพยากรให้ดีขึ้น ระยะเวลาโครงการทั้งหมดในระดับต่ำ  
ที่สุดโดยมีการขยับเวลาแหล่งทรัพยากรจากกิจกรรมที่มีการ  
ลอยตัวเพื่อให้มีความต้องการทรัพยากรที่เท่าเทียมกัน

#### 5. สรุปผล (Conclusion)

การหาค่าบางส่วนในกระบวนการผลิตสำหรับเครื่องทำ  
ความสะอาดข้าวเปลือกเพื่อหาขายงานกิจกรรมพบว่า  
เส้นทางวิกฤตอยู่ที่ 39 วัน ส่วนเส้นทางไม่วิกฤตเท่ากับ 25  
วัน หลังจากนั้นได้ทำการประมาณเวลา การปรับระดับและ  
การขจัดอุปสรรคของทรัพยากรที่มีอยู่ โดยเฉพาะคนงานกับ  
เวลา ในช่วงแรกจะใช้คนงานมากที่สุด 12 คน 4 วัน และ  
ปรับให้เหลือแค่ 2 วัน สำหรับกิจกรรมระหว่างที่ 5-10 และ  
คนงานน้อยที่สุดเท่ากับ 6 คน ซึ่งในโครงการนี้มีหลาย  
กิจกรรมรายละเอียดแต่ละกิจกรรมแสดงดังตารางที่ 1 ได้มี  
การปรับวิธีการทำงานขยับเวลาให้ใช้เวลา น้อยกว่าเดิม การ  
ปรับระดับและขจัดอุปสรรคของทรัพยากรเป็นวิธีการหนึ่ง  
แต่ทั้งนี้ยังมีปัจจัยหลายอย่างที่เกี่ยวข้องกัน ดังเช่น คน  
เครื่องจักร วัสดุและเครื่องมือวัด เป็นต้น ปัจจัยดังกล่าวพบว่า  
มีปัญหาพอสมควร กล่าวคือ คนงานขาดประสบการณ์ ไม่มี  
ทักษะความชำนาญ เครื่องจักรไม่พร้อม เป็นต้น เป็นอีก  
เหตุผลหนึ่งที่มีปัญหาและปัจจัยในการผลิต

#### 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา  
เชียงใหม่ ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย ภายใต้ โครงการจัด  
การศึกษาเชิงบูรณาการระหว่างการเรียนรู้ในสถานศึกษา กับ  
การนำวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และนวัตกรรม ไปพัฒนาและ  
ยกระดับผู้ประกอบการผลิตภัณฑ์ชุมชนในพื้นที่ภาคเหนือ 6  
จังหวัด ประเภททุนพัฒนา ทุนเกษตรอุตสาหกรรมกลางทาง  
: AG2 ทุนวิจัยเพื่อพัฒนางานวิจัยเกษตรอุตสาหกรรมกลาง  
ทาง อาทิเช่น โรงงานคัดแยก ตัดแต่ง แป้งคั่วบรรจุ ห้องเย็น  
โรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์ การวิจัยพัฒนา  
ผลิตภัณฑ์พืชเศรษฐกิจ เป็นต้น รหัสโครงการที่ได้รับทุนวิจัย  
คือ AG2-180307163528-60 ในการนำเสนอครั้งนี้

#### 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] [www.scaat.in.th/Bachelor/new/1\\_2552/010](http://www.scaat.in.th/Bachelor/new/1_2552/010)  
(วันที่สืบค้นข้อมูล 18 พฤษภาคม 2561)
- [2] สุรพงศ์ บางพาน, พีรพันธ์ บางพาน, ณรงค์ศักดิ์ เกียรติ  
ประชา, ธีรพล ปัญญาสุ และ นิติกร ใจตา, (2560). การ  
สร้างข่ายงานกิจกรรมในกระบวนการผลิต กรณีศึกษา:  
เครื่องกะเทาะข้าวเปลือกชนิด 6 ลูกยาง, วารสาร  
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, ฉบับ  
ที่ 24(1) มกราคม- เมษายน 2560, หน้า 9-19, 2917
- [3] สุรพงศ์ บางพาน, พีรพันธ์ บางพาน และวิบูลลักษณ์ บาง  
พาน, การบริหารโครงการด้วยการสร้างข่ายงานกิจกรรม  
ในกระบวนการผลิตชุดกระป๋องลำเลียงข้าว.  
วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ., ปีที่ 7 ฉบับที่  
2 มกราคม- มิถุนายน, หน้า 104-112, 2557
- [4] สุรพงศ์ บางพาน, การบริหารโครงการเชิงวิศวกรรม.  
เอกสารประกอบการสอน. แปลและเรียบเรียง,  
เชียงใหม่, 2554
- [5] [teedinguru.com/blog/2014/12/.../  
operationresearch-by-kanti-swarup](http://teedinguru.com/blog/2014/12/.../operationresearch-by-kanti-swarup)  
(วันที่สืบค้นข้อมูล 22 มิถุนายน 2561)
- [6] [https://www.abebooks.com/book-  
search/title/operations-  
research/author/verma-  
p/operation-research-by-A.P.Verma](https://www.abebooks.com/book-search/title/operations-research/author/verma-p/operation-research-by-A.P.Verma) (วันที่สืบค้น  
ข้อมูล 30 มิถุนายน 2561)

การศึกษาชนิดของเหล็กกล้าเครื่องมือและสารเคลือบผิวที่มีผล  
ต่อแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์ชนิดราคา 2 บาท  
Study Of Tool Steel And Coating On Die Stamping Of The  
Two - Baht Coin

วรพจน์ อ้นกระทอง<sup>1</sup>, ศิริชัย ต่อสกุล<sup>2</sup>

<sup>1</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

39 หมู่1 ถนนรังสิตนครนายก จังหวัดปทุมธานี

worapoton@hotmail.com

<sup>2</sup> สำนักกษาปณ์

### บทคัดย่อ

สำนักกษาปณ์ กรมธนารักษ์ ได้ผลิตเหรียญกษาปณ์หมุนเวียนออกใช้ในระบบเศรษฐกิจเริ่มตั้งแต่ พ.ศ.2493 เป็นต้นมา ซึ่งมีหลากหลายแบบ โดยได้ปรับเปลี่ยนรูปลักษณ์ ลวดลาย อัตราส่วนผสม และกรรมวิธีการผลิตเรื่อยมาตลอดจนมีขนาดน้ำหนักเหมาะสม สะดวกต่อการพกพา การใช้สอยและยากต่อการปลอมแปลงเหรียญกษาปณ์หมุนเวียนในปัจจุบันมีทั้งหมด 9 ชนิด ประกอบด้วย ชนิดราคา 10 บาท 5 บาท 2 บาท 1 บาท 50 สตางค์ 25 สตางค์ 10 สตางค์ 5 สตางค์ และ 1 สตางค์ แต่เหรียญกษาปณ์หมุนเวียนที่ถูกนำมาใช้ในระบบเศรษฐกิจมีทั้งหมด 6 ชนิด ราคา ประกอบด้วย ชนิดราคา 10 บาท 5 บาท 2 บาท 1 บาท 50 สตางค์ 25 สตางค์ ผู้วิจัยได้ทำการวิจัยวัสดุที่ใช้ผลิตแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญชนิดราคา 2 บาท โดยใช้วัสดุในการทดลองจำนวน 3 ชนิด ได้แก่ เหล็กกล้า W360 เหล็กกล้า K490 และ เหล็กกล้า KD 21 ทำการทดลองเคลือบผิวแม่พิมพ์ด้วยวิธีการPVD (Physical Vapour Deposition)โดยใช้สารเคลือบผิวแม่พิมพ์ 2 ชนิดคือ ไทเทเนียมไนไตรด์ (TiN) และ โครเมียมไนไตรด์(CrN) ที่ความหนาของสารเคลือบ 3  $\mu\text{m}$  จากผลการดำเนินงานวิจัยพบว่า เหล็กกล้า W360 ชนิดสารเคลือบ โครเมียมไนไตรด์ (CrN) ความหนาของสารเคลือบประมาณ3  $\mu\text{m}$  ได้จำนวน เหรียญที่ปั๊มได้มากที่สุด หรือประมาณ 1,300,000 เหรียญ ต่อแม่พิมพ์ 1 คู่ (หน้า - หลัง)

**คำสำคัญ (Key word):** “Physical Vapour Deposition” ; “โครเมียมไนไตรด์(CrN)” ; “ไทเทเนียมไนไตรด์ (TiN)”

### Abstract

The Royal Thai Mint has produced circulating coins for use in the economy since the 1950s, which has varied styles, patterns, ingredients, and process .The weight is appropriate. Easy to carry. There are 9 types of coins used in the current economic cycle, including 10 baht, 5 baht 2 baht 1 baht 50 satang 25 satang 10 satang 5 satang and 1 satang coin. There are 6 types. Price is 10 Baht 5 Baht 2 Baht 1 Baht 50 Satang 25 Satang Researcher has researched materials used to produce coins, Three types of materials were used W360, K490, KD 21, and PVD (Physical Vapor Deposition). Two types of coatings were used: titanium nitride (TiN) and Chromium nitride (CrN) at a coating thickness of 3  $\mu\text{m}$ . Based on the results of the research, it was found that W360 coated steel Chrome Coating (CrN) Coating Thickness Approximately 3  $\mu\text{m}$  has the maximum number of coin or approximately \$1,300,000perDie (Obverse – Reverse).

## 1. บทนำ (Introduction)

การศึกษาการเปลี่ยนรูปลักษณะทางกลของผิวเคลือบ TiN ด้วยกระบวนการเคลือบผิวแบบ PVD ที่ระดับความหนาประมาณ 0.7, 2.0, 3.7 และ 4.0 ไมครอน พบว่าการเพิ่มขึ้นของระดับความหนาผิวเคลือบมีผลต่อลักษณะรอยแตกของ Columnar และรอยเฉือนของผิวเคลือบ ผิวเคลือบที่บางทำให้เกิดรอยแตกเฉือนตามยาวขอบเกรน Columnar ผิวเคลือบที่หนาขึ้นจะมีรอยแตกจำนวนมากตามยาวขอบเกรน มีลักษณะรอยแตกที่ขาดเป็นส่วน ๆ เป็นไปตามสัดส่วนของความหนาผิวเคลือบ แต่แนวขอบเกรน Columnar มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ซึ่งให้เห็นได้ว่าโครงสร้างของ Columnar หรือระดับความหนาของผิวเคลือบ TiN มีอิทธิพลที่สำคัญในการเปลี่ยนรูปลักษณะทางกลของผิวเคลือบ L.W. Ma และคณะ (2010) [1] การยืดอายุการใช้งานของแม่พิมพ์เหรียญชนิดราคา 1 บาท โดยประยุกต์ใช้หลักการออกแบบการทดลองเพื่อเปรียบเทียบวัสดุระหว่างเหล็ก X กับเหล็ก Y ใช้วิธีการเคลือบผิวแบบ PVD ชนิดสารเคลือบ CrN นำแม่พิมพ์ไปปั๊มเหรียญ (โลหะใส่เหล็กชุบนิกเกิล) ปรากฏว่าเหล็ก Y ที่ความหนาผิวเคลือบประมาณ 2.7 ไมครอน ได้จำนวนเหรียญ 400,000-450,000 เหรียญต่อแม่พิมพ์ 1 คู่ เป็นจำนวนสูงสุดจากชิ้นงานทดสอบทั้งหมด วรวิทย์ สงวนพันธ์ (2554) [2] การปรับปรุงเพื่อการกำหนดปัจจัยในการชุบเคลือบผิว PVD ชนิดสารเคลือบ TiN และ TiCN ความหนาผิวเคลือบประมาณ 2 และ 3 ไมครอน อุณหภูมิชุบเคลือบผิวประมาณ 250 °C และ 500 °C บนแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญราคา 1 บาท ปรากฏว่าสารเคลือบผิว TiN ความหนา 2.87-2.98 ไมครอน อุณหภูมิชุบ 428 °C ได้อายุการใช้งานเพิ่มขึ้นประมาณ 2.5 เท่า จำนวนเหรียญสำเร็จรูปประมาณ 1,000,000 เหรียญ ต่อดวงตรา 1 คู่ อธิระยุทธ วงศ์สมานมณี (2555) [3] การชุบเคลือบผิว PVD ชนิดสารเคลือบ TiN และ TiCN ความหนาผิวเคลือบประมาณ 3 ไมครอน บนวัสดุแม่พิมพ์เหล็กกล้างานเย็น ชนิดไม่โครคลีน และการเตรียมพื้นผิวด้วยการขัดผงเพชรที่ขนาดต่างกัน พบว่าสารเคลือบ TiN ใช้ผงขัดเพชรขนาด 3 ไมครอน จำนวนเหรียญสำเร็จรูปที่ได้ 1.4 ล้านเหรียญ ต่อแม่พิมพ์ 1 คู่ อายุการใช้งานเพิ่มขึ้น 1.4 เท่า จากผลการทดลอง สารเคลือบ TiCN มีความแข็งแรงของผิวเคลือบสูงแต่มีความแข็งแรงในการยึดเกาะต่ำทำให้ต้านการสึกหรอได้ไม่ดี เห็นได้จากอัตราการสึกหรอผิวเคลือบที่ลดลงต่างกันวัดจากความหนาผิวเคลือบเทียบกับจำนวนเหรียญสำเร็จรูปที่ผลิตได้เป็นจำนวนเท่ากัน พุฒิธร เขตเจริญ (2560) [4]

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่มุ่งศึกษาชนิดของเหล็กกล้าเครื่องมือและสารเคลือบผิวที่มีผลต่ออายุการใช้งานของแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญราคา 1 บาท เป็นวัสดุที่มีค่าความแข็งประมาณ 80 - 85HV ทำให้ทำการปั๊มขึ้นรูปได้ยากมากขึ้น ประกอบกับลวดลายบนเหรียญมีความนูน และลวดลายความสูง ต่ำ ที่แตกต่างกันค่อนข้างมาก เพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นเนื่องจากแม่พิมพ์เกิดความเสียหาย เช่น เกิดรอยแตก ร้าว เกิดการสึกหรอของผิวเคลือบแม่พิมพ์จากการใช้วัสดุเดิมที่เป็นเหล็กกล้าแม่พิมพ์



ภาพที่ 1 แสดงจุดบกพร่องเนื่องจากแม่พิมพ์

## 2. วิธีวิจัย (Research Methodology)

### 2.1 ทำการทดลองโดยใช้วัสดุแม่พิมพ์ 3 ชนิด

2.1.1 เหล็กกล้า BohlerW360 [3]

2.1.2 เหล็กกล้า BohlerK490

2.1.3 เหล็กกล้า KD 21(JIS)

### 2.2 ทำการทดลองเคลือบผิวแม่พิมพ์ด้วยวิธีPVD (Physical Vapour Deposition) โดยใช้สารเคลือบผิวแม่พิมพ์ 2 ชนิดที่ความหนาของสารเคลือบ 3 µm

2.2.1 ไทเทเนียมไนไตรด์ (TiN)

2.2.2 โครเมียมไนไตรด์(CrN)

### 2.3 ทำการอบชุบแม่พิมพ์ W360 ที่อุณหภูมิชุบแข็ง

1,050°C เวลาอบแช่ (Soaking) 30 นาที และชุบแข็งด้วยแก๊สไนโตรเจน (N<sub>2</sub>)ที่แรงดัน 6 บาร์จากนั้นทำการอบคืนไฟ(Tempering) ครั้งที่ 1 ที่อุณหภูมิ 530°C เวลา 2 ชั่วโมง ครั้งที่ 2 ที่อุณหภูมิ 550°C เวลา 2 ชั่วโมง [5]

### 2.4 ทำการอบชุบแม่พิมพ์ K 490 ที่อุณหภูมิชุบแข็ง

1,050°C เวลาอบแช่ (Soaking) 30 นาที และชุบแข็งด้วยแก๊สไนโตรเจน (N<sub>2</sub>)ที่แรงดัน 6 บาร์จากนั้นทำการอบคืนไฟ(Tempering) ครั้งที่ 1 ที่อุณหภูมิ 530°C เวลา 2

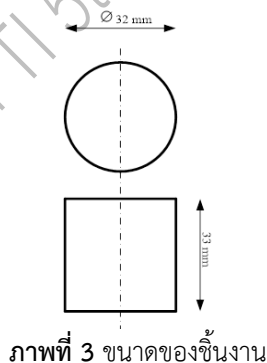


- ชั่วโมง ครั้งที่ 2 ที่อุณหภูมิ 550°C เวลา 2 ชั่วโมง ครั้งที่  
3 ที่อุณหภูมิ 550°C เวลา 2 ชั่วโมง [5]  
2.5 วัสดุที่ใช้ในการผลิตเหรียญกษาปณ์ชนิดราคา 2 บาท คือ  
อลูมิเนียมบรอนซ์ (Cu92 Al6 Ni2) DIN;CuAlNi2  
2.6 ใช้เครื่องปั๊มที่อัตราความเร็วเฉลี่ย 750 เหยี่ยว ต่อหน้าที่  
ควบคุมแรงในการปั๊มขึ้นรูปประมาณ 350-380 kN [5]  
2.7 ศึกษาโครงสร้างจุลภาคของแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์  
ชนิดราคา 2 บาท  
2.8 ศึกษาการสึกหรอของสารเคลือบผิวแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญ  
กษาปณ์ชนิดราคา 2 บาท  
ชิ้นงานทดลองใช้วัสดุ 3 ชนิด คือ เหล็กกล้าเครื่องมือ W360  
K490 และ KD21 ที่มีส่วนผสมทางเคมี ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงส่วนผสมทางเคมีของเหล็กแต่ละชนิด

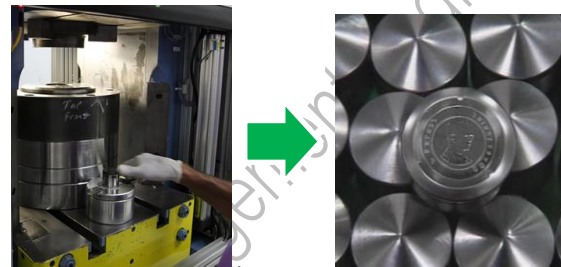
Chemical composition (%)	ชนิดของวัสดุ		
	W360	K490	Kd21
C	0.50	1.40	0.90
Si	0.20	-	1.00
Mn	0.25	-	0.34
Cr	4.50	6.40	7.88
Mo	3.00	1.50	1.90
V	0.55	3.70	0.41
W	-	3.50	-
Co	-	-	-
Nb	-	+	-

เหล็กกล้าเครื่องมือถูกตัดให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 32 มิลลิเมตร ความยาว 33 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 4 ชิ้นงานหลังการกลึง(หุ่นแหลม)

หลังจากทำการกลึงขึ้นรูปให้เป็นหุ่นแหลม(Cone) แล้วจึงนำไปกัดเพื่อให้เกิดลวดลายเป็นแม่พิมพ์เหรียญดังภาพที่5



ภาพที่ 5 การอัดขึ้นลวดลายแม่พิมพ์เหรียญ

นำชิ้นงานที่กัดอัดขึ้นลวดลายแล้วนำไปชุบแข็ง อบคืนไฟตามลำดับ ความแข็งหลังอบคืนไฟประมาณ 60 HRC นำเข้าเครื่องล้างทำความสะอาด



ภาพที่ 6 การล้างทำความสะอาด

หลังจากทำการล้างทำความสะอาดแล้วนำชิ้นงานเข้าสู่กระบวนการชุบเคลือบผิวแบบ PVD



ภาพที่ 7 เตาชุบเคลือบผิว PVD

ในการดำเนินงานวิจัยนั้นได้ดำเนินการทดลองโดยกระบวนการผลิตจริงภายในสำนักกษาปณ์ซึ่งในการ

ดำเนินการวิจัยได้ทดลองใช้วัสดุทั้ง 3 ชนิด เข้าสู่กระบวนการผลิตแม่พิมพ์เหรียญ 2 บาท เหมือนกันทั้งหมด หลังจากสิ้นสุดกระบวนการผลิตแม่พิมพ์เหรียญ 2 บาท แล้ว จึงได้นำเข้าสู่กระบวนการทดสอบต่างๆเพื่อเก็บข้อมูล ซึ่งผู้วิจัยได้แสดงรายละเอียดในส่วนของผลการวิจัยต่อไป

### 3. ผลการวิจัย (Results)

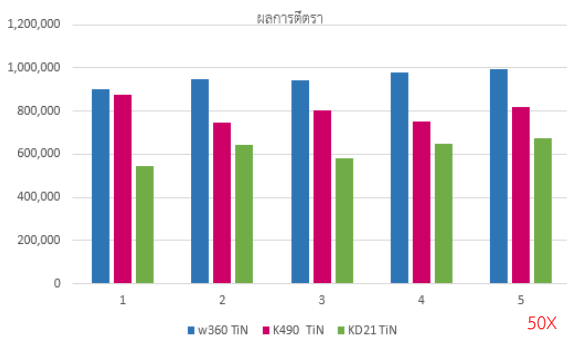
นำแม่พิมพ์ไปทดสอบปั๊มเหรียญ 2 บาท ที่ความเร็วเฉลี่ย 750 – 800 เหรียญต่อนาที แรงกดสูงสุด 150 ตัน ในการปั๊มเหรียญนั้นจะมีการสุ่มตรวจทุกๆ 5 นาที หรือประมาณทุกๆ 4,000 เหรียญ



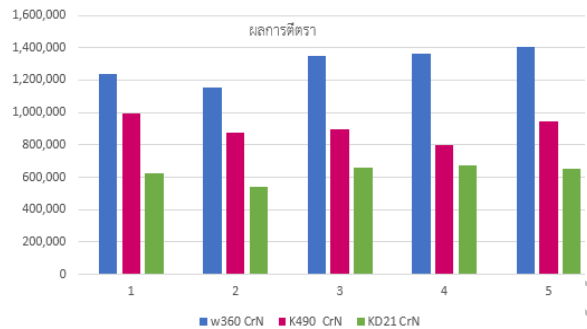
ภาพที่ 8 ภาพเครื่องปั๊มเหรียญ ชนิดราคา 2 บาท



ภาพที่ 9 เหรียญที่ผ่านการสุ่มตรวจ



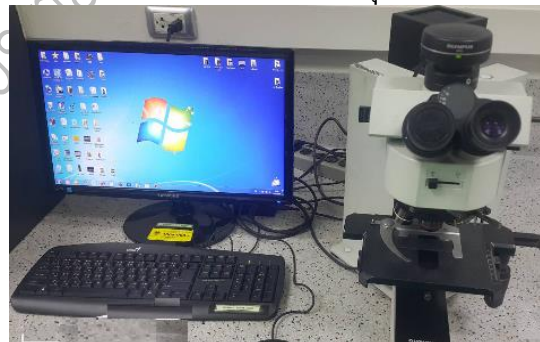
ภาพที่ 10 กราฟแสดงจำนวนเหรียญที่ได้ต่อแม่พิมพ์ 1 คู่ ชนิดสารเคลือบTiN



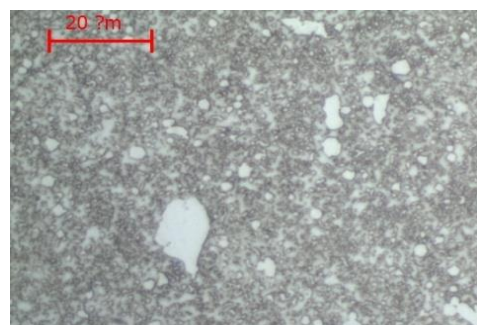
ภาพที่ 11 กราฟแสดงจำนวนเหรียญที่ได้ต่อแม่พิมพ์ 1 คู่ ชนิดสารเคลือบCrN

จากกราฟภาพที่ 8 และ 9 จะเห็นได้ว่าวัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์ชนิด w360 ชนิดสารเคลือบ CrN ได้จำนวนเหรียญต่อแม่พิมพ์ 1 คู่ (หน้า – หลัง) ได้สูงถึงประมาณ 1,400,000 – 1,500,000 เหรียญ เมื่อเปรียบกับ W360 ชนิดสารเคลือบ TiN ได้จำนวนเหรียญต่อแม่พิมพ์ 1 คู่ (หน้า – หลัง) ประมาณ 1,000,000 เหรียญ เมื่อผู้วิจัยได้ดำเนินการทดสอบปั๊มเหรียญแล้ว ผู้วิจัยได้มีการดำเนินการทดสอบทางกายภาพของวัสดุเพื่อวิเคราะห์ถึงข้อดีข้อด้อยของวัสดุแต่ละชนิดซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

#### 3.1 การวิเคราะห์ด้วยภาพโครงสร้างจุลภาค

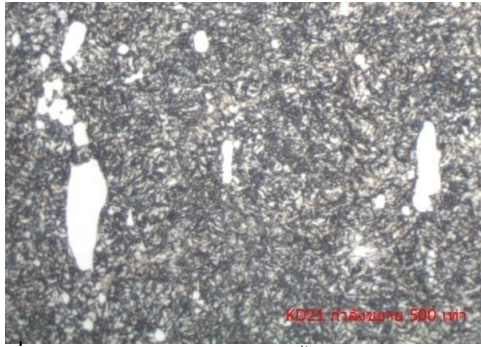


ภาพที่ 12 กล้องส่องโครงสร้างจุลภาค



ภาพที่ 13 KD21 สภาพจำหน่าย Nitric 2%(50X)





**ภาพที่ 14** KD21 สภาพหลังอบคืนไฟ Nitric 2%(50X)  
จากภาพจะเห็นได้ว่าโครงสร้างจุลภาคของวัสดุKD21จะมี  
คาร์ไบด์ตกค้างซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดข้อ  
บกพร่องของแม่พิมพ์เหนียว



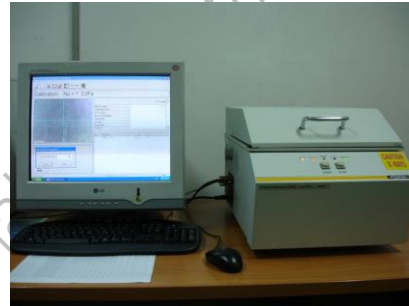
**ภาพที่ 17** W360 สภาพหลังอบคืนไฟ Nitric 5%(50X)

### 3.2 วัดความหนาของผิวเคลือบ

ในการวัดความหนาของผิวเคลือบผู้วิจัยได้ใช้เครื่อง X-Ray  
แบบ XRF ในการวัดความหนาของผิวเคลือบเพื่อใช้ในการ  
ยืนยันความหนาที่ดีที่สุด



**ภาพที่ 15** K490 Nitric 5% (50X)

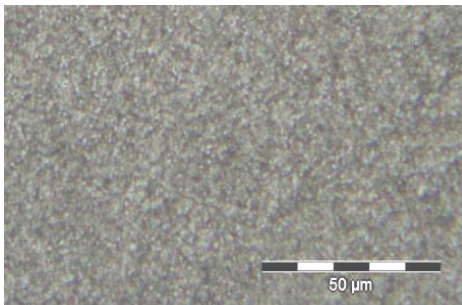


**ภาพที่ 18** เครื่อง X-Ray XRF

ในการวัดความหนาของผิวเคลือบมีความถี่ในการวัดแบบ 3  
จุด จุดละ 3 ครั้ง การวัด เวลาในการวัดต่อครั้ง 20 วินาที  
ได้ผลดังนี้

**ตารางที่ 2** แสดงผลการวัดความหนาผิวเคลือบ

จุดที่ / ครั้ง ที่	W360	W360	K490	K490	Kd21	Kd21
	CrN (um)	TiN (um)	CrN (um)	TiN (um)	CrN (um)	TiN (um)
1/1	3.01	3.05	2.98	3.01	3.11	3.03
1/2	2.98	3.13	3.01	2.99	3.09	3.02
1/3	3.02	3.01	3.01	3.02	3.11	3.05
2/1	2.96	3.02	3.07	3.08	3.07	3.12
2/2	3.03	2.99	3.06	3.07	3.03	3.10
2/3	3.03	3.03	3.10	3.05	3.05	3.12
3/1	3.15	2.97	3.12	2.98	2.99	3.01
3/2	3.20	3.15	3.08	2.97	3.02	3.04
3/3	3.13	3.09	3.03	2.96	3.01	3.02
$\bar{x}$	3.05	3.04	3.05	3.01	3.05	3.05



**ภาพที่ 16** K490 สภาพหลังอบคืนไฟ Nitric 5% (50X)  
จากภาพที่11และ12 เป็นภาพโครงสร้างจุลภาคของวัสดุชนิด  
K490 ในสภาพจำหน่าย และหลังอบคืนไฟ จะเห็นได้ว่าเป็น  
โครงสร้างในรูปแบบของมาร์เทนไซต์ แบบเอกพันธ์



**ภาพที่ 16** W360 สภาพจำหน่าย Nitric 5%(50X)

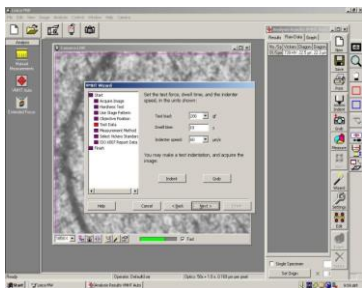
จากตารางแสดงผลการวัดความหนาผิวเคลือบแสดงให้เห็นว่าการเคลือบผิวมีความสม่ำเสมอใกล้เคียงกับการเคลือบผิวเพื่อทำการทดสอบมีความน่าเชื่อถือว่าที่ความหนาระดับ 3 um เหมาะกับการใช้งานมากที่สุด

### 3.3 ทดสอบความแข็งด้วยเครื่องไมโครฮาร์ดเนส (Micro Hardness)

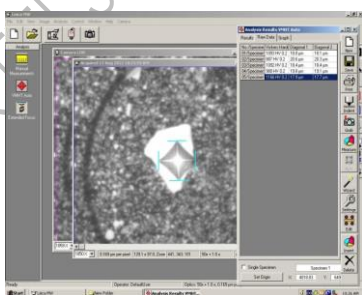
ในการวัดความแข็งแบบไมโครฮาร์ดเนสนั้นเนื่องมาจากการวิเคราะห์ด้วยภาพโครงสร้างจุลภาคเหล็กKD21 โครงสร้างมีจุดขาวๆ เป็น Cr Carbide ที่ไม่ห่อหุ้มละลาย จึงต้องการทดสอบความแข็งบริเวณเนื้อ Cr Carbide เปรียบเทียบกับโครงสร้างที่เป็นHomogeneous



ภาพที่ 19 เครื่องวัดความแข็งMicro Hardness



ภาพที่ 20 แสดงค่าแรงกด200gf เวลา10 วินาที/จุด



ภาพที่ 21 แสดงการวัดความแข็ง

ตารางที่ 3 แสดงผลการวัดความแข็ง

ครั้งที่	W360(Hv)	K490(Hv)	KD21(Hv) homo	KD21(Hv) carbide
1	735			
2	775			
3	780			
1		782		
2		779		
3		783		
1			850	1166
2			845	1095
3			861	1125

### 4. อภิปรายผล (Discussion)

การตัดดูโครงสร้างจุลภาคของเหล็กW360 และ K490 กำลังขยาย 500 เท่า จะเห็นโครงสร้างละเอียด (Homogeneous) สม่ำเสมอตลอด มีความแข็งมีความแข็งเฉลี่ย (Hardness)สม่ำเสมอตลอดที่772 HV (0.2) ทำให้ PVD ยึดเกาะได้ดี Substrate ยุบตัวเท่ากันหรือสม่ำเสมอ จำนวนเหรียญที่ผลิตได้ ประมาณ 1,000,000 – 1,400,000 เหรียญ ต่อ แม่พิมพ์ 1 คู่ โครงสร้างจุลภาคของเหล็กKD21 ที่กำลังขยาย 500 เท่า จะเห็นเนื้อคาร์ไบด์เป็นกลุ่มซึ่งมีความแข็งเฉลี่ย 1128 HV (0.2) และพื้นโลหะที่ติดกันซึ่งเป็นโครงสร้างมาแทนไซต์มีความแข็งเฉลี่ย 852 HV ไมโครฮาร์ดเนส (0.2) เหล็กKD21 จะมีความแตกต่างกันซึ่งอาจจะเป็นสาเหตุทำให้การยึดเกาะของ PVD ไม่ดีเท่าที่ควร Substrate Material ยุบตัวไม่เท่ากันทำให้อายุแม่พิมพ์ด้านหัวและก้อยต่ำเฉลี่ยเพียง 600,000 เหรียญ ต่อ แม่พิมพ์ 1 คู่

### 5. สรุปผล (Conclusion)

จากการวิเคราะห์ผลพบว่าการผลิตแม่พิมพ์เหรียญ 2 บาท (หัว – ก้อย)ควรใช้เหล็กW360 ควบคุมอุณหภูมิในการอบคืนไฟอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่ 530 – 580 °C เพื่อให้ได้ความแข็งเฉลี่ยที่ 58-60 HRC ความหนาของผิวเคลือบ CrN เฉลี่ยที่ 2.8 – 3 μm จะทำให้จำนวนเหรียญที่ผลิตได้มีปริมาณเป็นที่น่าพอใจ โดยนำแม่พิมพ์เหรียญ 2 บาท ที่มีลวดลายพร้อมใช้งานนำไปทดลองปั๊มด้วยเครื่องปั๊มเหรียญหมุนเวียนขนาดแรงกด 150 ตัน ความเร็วในการตีตรา 800 – 850 เหรียญ/นาที จำนวนเหรียญที่ได้ต่อแม่พิมพ์ 1 คู่ โดยประมาณ 1,300,000 – 1,400,000 เหรียญ ต่อแม่พิมพ์

1 คู่ ส่วนเหล็กKD21 นั้น พบว่าจำนวนเหรียญที่ได้ต่อแม่พิมพ์ 1 คู่ อยู่ที่ประมาณ 400,000 – 600,000 เหรียญ โดยใช้วิธีการทดลองแบบเดียวกันกับเหล็กW360 เหมือนกันทุกประการ เหล็กK490 จากการวิจัยพบว่าสามารถทำการชุบเคลือบผิวได้ดี จำนวนเหรียญที่ได้ต่อแม่พิมพ์ 1 คู่ ใกล้เคียงกันกับเหล็กW360 แต่เนื่องจากเหล็กK490 มีราคาค่อนข้างสูง ผู้วิจัยจึงได้สรุปผลให้กับผู้บริหารเพื่อใช้กำหนดเป็นมาตรฐานในกระบวนการต่อไป

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้อำนวยการสำนักศึกษาปณ ที่ให้การสนับสนุนการศึกษารวมทั้งวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย ขอขอบคุณFischer Thailand ให้การสนับสนุนการทดสอบ

## 7. เอกสารอ้างอิง

### 7.1 เอกสารอ้างอิงภาษาไทย

[1] สำนักบริหารเงินตรา ส่วนงานโครงการและวิเทศสัมพันธ์ กองแผนงาน ความสำคัญของเหรียญกษาปณ์  
[http://www.treasury.go.th/ewt\\_news.php?nid=91](http://www.treasury.go.th/ewt_news.php?nid=91)

[2] สำนักบริหารเงินตรา ส่วนงานโครงการและวิเทศสัมพันธ์ กองแผนงาน จำนวนเหรียญกษาปณ์หมุนเวียนในระบบเศรษฐกิจ  
[http://www.treasury.go.th/ewt\\_news.php?nid=7665&filename](http://www.treasury.go.th/ewt_news.php?nid=7665&filename)

[3] รศ.มนัส สถิริจินดา วิศวกรรมกรอบชุบเหล็กกรุงเทพมหานคร:จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2537

[4] กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ ศิริชัย ต่อสกุล อนินท์ มีมนต์ และนรพร กลั่นประชา. 2550. วัสดุวิศวกรรม. กรุงเทพฯ : เซนเอกเลนนิง. 525 หน้า

[5]=index<http://www.bohleredelstahl.com/en/W360ISOBLOC.php>

[6] อีระยุทธ วงศ์สมานมณี. (2555). การกำหนดปัจจัยการชุบเคลือบผิว PVD บนแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญกษาปณ์หมุนเวียนชนิดราคา 1 บาท เพื่อลดต้นทุนการผลิต. (วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี).

[7] วรวิทย์ สงวนพันธ์. (2554). การเพิ่มอายุการใช้งานของดวงตราเหรียญกษาปณ์หมุนเวียนชนิดราคา 1 บาทใหม่. (วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี).

Bohler, (2014). Introducing K490.

### 7.2 เอกสารอ้างอิงภาษาอังกฤษ

[8]=index<http://www.bohleredelstahl.com/en/W360ISOBLOC.php>

RMUTP & FTI 5th Sustainable Industrial Management Engineering

การเพิ่มประสิทธิภาพหม้อต้มไอน้ำจากการใช้ความร้อนปล่อยทิ้ง  
ภายในปล่องควันด้วยเทคโนโลยีการแลกเปลี่ยนความร้อนอีโคโนไมเซอร์  
Increase Efficiency Steam Boiler by Heat Recovery  
Inside Stack with Technology Heat Exchanger Economizer

ชาญยุทธ ชัมสกุล<sup>1\*</sup>, ปริญญ์ บุญกนิษฐ<sup>1</sup> และ สหรัตน์ วงษ์ศรีชนะ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน

คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนประชากรราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

chanyout.cpvn@hotmail.com

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของหม้อต้มไอน้ำขนาด 2.5 ตันต่อชั่วโมงที่ใช้แก๊สปิโตรเลียมเหลว LPG เป็นเชื้อเพลิง โดยการนำความร้อนปล่อยทิ้งในปล่องควันมาอุ่นน้ำป้อนเข้าหม้อต้มไอน้ำด้วยเทคโนโลยี การแลกเปลี่ยนความร้อน อีโคโนไมเซอร์ ที่มีขนาดความยาวท่อ 1,000 mm เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ 62 mm จำนวน 64 ท่อ วางท่อเรียงเยื้องกันเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้นก่อนป้อนน้ำเข้าหม้อต้มไอน้ำที่ป้อนผ่านดีแเอเรเตอร์ โดยการศึกษาจะเปรียบเทียบอุณหภูมิของน้ำป้อนเข้า ประสิทธิภาพของหม้อต้มไอน้ำ และผลการประหยัดการใช้เชื้อเพลิง ก่อนและหลังการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน จากผลการศึกษาสรุปได้ว่าหลังจากติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน สามารถทำให้น้ำที่ใช้ป้อนให้กับหม้อต้มไอน้ำผ่านดีแเอเรเตอร์มีอุณหภูมิสูงขึ้นจาก 38.30 °C เป็น 67.20 °C, ประสิทธิภาพของหม้อต้มไอน้ำเพิ่มขึ้นจาก 81.59 % เป็น 85.65 % สามารถประหยัดการใช้เชื้อเพลิงของหม้อต้มไอน้ำได้ 4.74 %

**คำสำคัญ:** การแลกเปลี่ยนความร้อน; อีโคโนไมเซอร์

#### Abstract

The research of this study is to increase efficiency of steam boiler 2.5Ton/hour which used liquid petroleum gas LPG as fuel by bringing heat recovery inside boiler chimney stack to preheat feed water with technology heat exchanger economize taking the economizer with its pipe length of 1,000 mm and 62 mm diameter for 64 pipe is a cross flow with staggered tube to increase water temperature before entering the boiler pass to deaerator The study is carried out to compare the differences and savings of the feed water temperature, steam boiler efficiency, and fuel consumption between having the heat exchanger installed and uninstalled reference to the study result after



installed the heat exchanger the feed water passed into steam boiler deaerator higher temperature from 38.30 °C to 67.20 °C which leads to increase efficiency of steam boiler from 81.59 % to 85.65 % meaning that the fuel consumption of steam boiler will be reduced 4.74 %

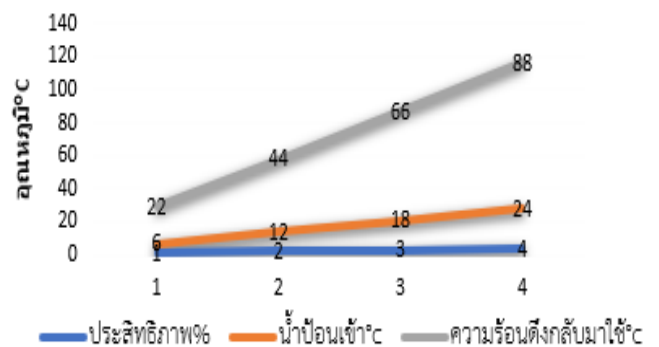
**Keywords:** heat exchanger; economizer

### 1. บทนำ (Introduction)

เนื่องจากหม้อต้มไอน้ำเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญสำหรับให้พลังงานความร้อนของโรงงานอุตสาหกรรมอาหารสำเร็จรูป และในกระบวนการผลิตอาหารสำเร็จรูปเช่น หุง ต้ม นึ่ง อบ ในกระบวนการผลิตจะฉีดหรือพ่นไอน้ำลงสัมผัสกับสินค้าโดยตรงและไอน้ำที่พ่นจะถูกดูดทิ้งไป ทำให้ไม่สามารถนำคอนเดนเสทกลับมาใช้ประโยชน์ได้จึงเป็นการสูญเสียพลังงานความร้อนส่วนหนึ่งไปโดยเปล่าประโยชน์ดังนั้นทางโรงงานจึงต้องคิดหาวิธีประหยัดพลังงานลดการใช้เชื้อเพลิง โดยการเพิ่มประสิทธิภาพของหม้อต้มไอน้ำให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นจากการสูญเสียพลังงานที่ฉีดและพ่นออกไปโดยตรง และถูกดูดทิ้งไปซึ่งทางโรงงานได้มองเห็นว่าความร้อนสูญเสียต่างๆที่เกิดขึ้นจากหม้อต้มไอน้ำเช่น ความร้อนปล่อยทิ้งจากปล่องควันของหม้อต้มไอน้ำเป็นพลังงานความร้อนซึ่งเกิดจากกระบวนการสันดาปเผาไหม้เชื้อเพลิงแล้วปล่อยสู่บรรยากาศซึ่งพลังงานส่วนนี้สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์และเป็นการประหยัดพลังงานได้วิธีหนึ่ง โดยทั่วไปจะนำความร้อนปล่อยทิ้งจากปล่องควันหม้อต้มไอน้ำไปใช้อุ่นน้ำป้อนเข้าหม้อต้มไอน้ำให้มีอุณหภูมิสูงกว่าน้ำปกติที่ป้อนเข้าจะทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหม้อต้มไอน้ำเพิ่มขึ้นประมาณ 1% ทุก 22 °C ของความร้อนที่ดึงกลับมาใช้หรือความร้อนทุก 6 °C ที่เพิ่มขึ้นของน้ำป้อนเข้าหม้อต้มไอน้ำที่ได้จากการแลกเปลี่ยนความร้อน จากไอโคโนไมเซอร์ หรืออุณหภูมิอากาศก่อนการสันดาปเพิ่มขึ้น 20 °C จากการอุ่นอากาศจะทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหม้อต้มไอน้ำเพิ่มขึ้นประมาณ 1% [ 1 ] การนำความร้อนปล่อยทิ้งจากปล่องควันมาใช้แลกเปลี่ยนความร้อนควรคำนึงถึงออกซิเจนในก๊าซร้อนที่ปล่อยทิ้งจากปล่องควันไม่ควรเกินร้อยละ 5 เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิของก๊าซเสียที่ปล่อยทิ้งกับอุณหภูมิของไอน้ำ อุณหภูมิของก๊าซเสียที่ปล่อยทิ้งควรจะไม่เกิน 60 °C ของอุณหภูมิไอน้ำ ตัวอย่างเช่นถ้าผลิตไอน้ำที่ 7 บาร์(เกจ) จะได้อุณหภูมิไอน้ำ 170 °C ดังนั้นอุณหภูมิของก๊าซเสียที่ปล่อยทิ้งจากปล่องควันไม่ควรเกิน 230 °C ปริมาณ CO ไม่ควรเกิน 250 ppm

อัตราส่วนกิโกรัมไอน้ำต่อกิโกรัมเชื้อเพลิงควรอยู่ที่ประมาณ 13 - 15 กิโลกรัม และอุณหภูมิความร้อนปล่อยทิ้งของปล่องควันเมื่อนำมาแลกเปลี่ยนความร้อนที่ไอโคโนไมเซอร์แล้วอุณหภูมิปล่อยทิ้งจะลดลงเหลือประมาณ 150 °C จาก 230 °C [3]

เปรียบเทียบประสิทธิภาพหม้อต้มไอน้ำ



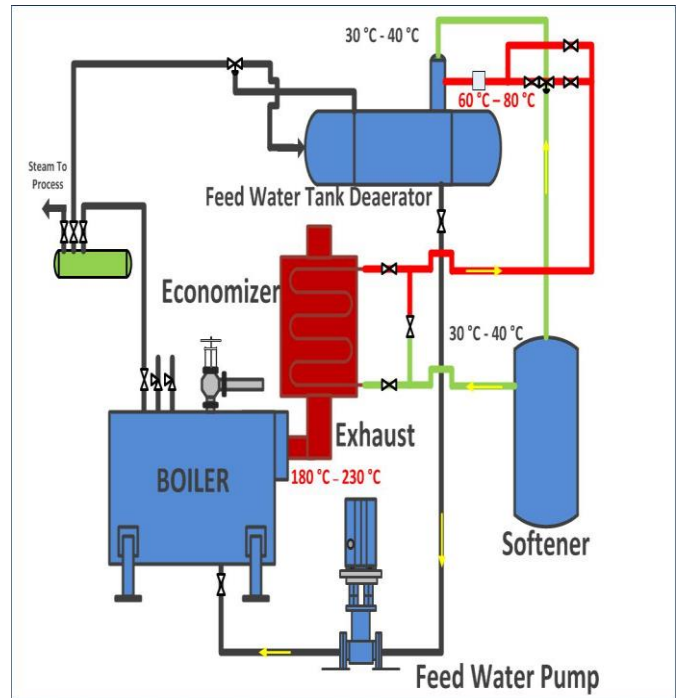
ภาพที่ 1 แสดงประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นของหม้อต้มไอน้ำเปรียบเทียบกับน้ำที่ป้อนเข้าและความร้อนดึงกลับมาใช้ [ 1 ]

กำลังการผลิตไอน้ำโดยทั่วไปอุณหภูมิน้ำป้อนเข้าหม้อต้มไอน้ำจะต้องเท่ากับ 100 °C และต้องไม่มีการใช้ไอน้ำที่หม้อต้มไอน้ำมาอุ่นจึงจะได้กำลังการผลิตไอน้ำสูงที่สุดถ้าอุณหภูมิ น้ำป้อนหม้อต้มไอน้ำต่ำกว่ากำหนดจะลดปริมาณไอน้ำที่หม้อต้มไอน้ำเพราะต้องใช้ไอน้ำจากหม้อต้มไอน้ำไปอุ่นน้ำป้อนเข้าหม้อต้มไอน้ำให้ได้ 100 °C ความแตกต่างระหว่าง



กำลังการผลิตของหม้อต้มไอน้ำทางทฤษฎีกับกำลังการผลิตไอน้ำจริงจะขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิของน้ำป้อนเข้าหม้อต้มไอน้ำ เรียกว่า factor of evaporation ถ้าไม่มีการนำ condensate กลับมาใช้และไม่มีการทำอุณหภูมิน้ำป้อนเข้าหม้อต้มไอน้ำให้สูงขึ้นก่อนป้อนเข้าหม้อต้มไอน้ำตัวอย่างเช่น ถ้าป้อนน้ำเข้าหม้อต้มไอน้ำที่อุณหภูมิน้ำปลายท่อที่โรงงานเท่ากับ 30 °C และมีการผลิตไอน้ำที่ความดัน 7 bar ตามทฤษฎีกำลังการผลิตจะลดลง 14 % [9] ดังนั้นเราต้องนำความร้อนสูญเสียกลับมาใช้ประโยชน์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับหม้อต้มไอน้ำที่ลดลงไป 14 % ความสูญเสียรูปแบบต่างๆที่เกิดขึ้นระหว่างการผลิตไอน้ำเราสามารถนำพลังงานความร้อนที่สูญเสียนี้กลับมาใช้ประโยชน์ได้เพื่อลดการสูญเสียและลดการใช้พลังงาน [7]

ความร้อนเหลือทิ้ง (waste heat) หรือความร้อนที่สูญเสียในหม้อต้มไอน้ำ ถ้าไม่มีการนำกลับมาใช้ก็จะปล่อยทิ้งสู่บรรยากาศส่งผลให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้น [2] ดังนั้นการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ใหม่ (waste heat recovery boiler economize) เป็นระบบที่โรงงานสามารถนำความร้อนกลับมาใช้เพื่อเพิ่มอุณหภูมิของน้ำป้อนให้กับหม้อต้มไอน้ำเพื่อช่วยลดการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำและยังลด อุณหภูมิก๊าซเสียที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมจะเห็นได้ว่าอีโคโนไมเซอร์ช่วยลดการใช้เชื้อเพลิงลงได้ [11] ซึ่งอีโคโนไมเซอร์จะ ติดตั้งอยู่ที่ปล่องควันของหม้อต้มไอน้ำดังแสดงที่รูปภาพ (2) และ (3)



ภาพที่ 2 แสดงจุดที่ติดตั้งอีโคโนไมเซอร์ในระบบ

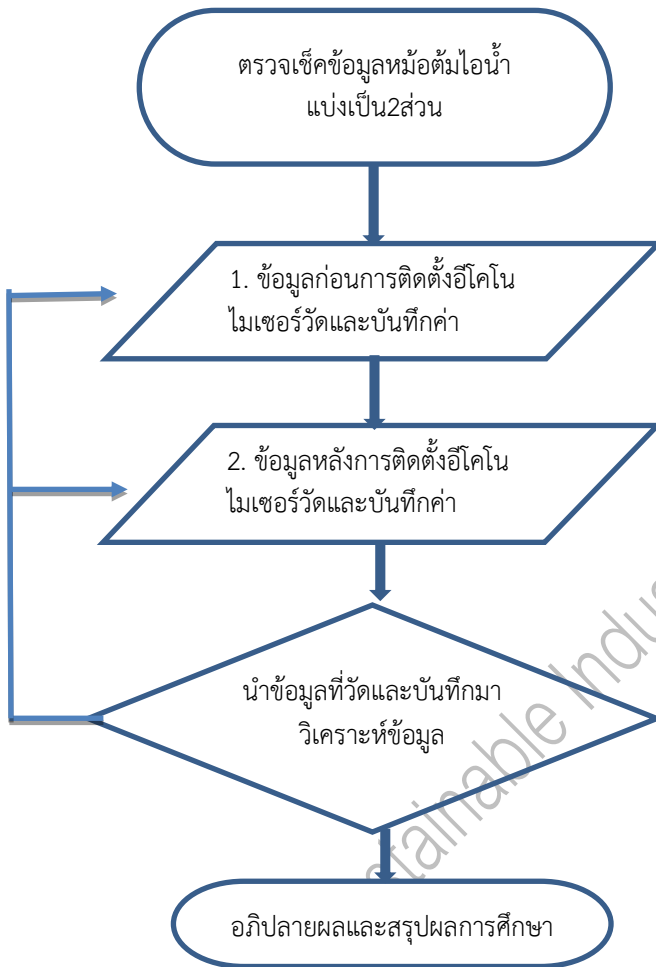


ภาพที่ 3 แสดงการติดตั้งอีโคโนไมเซอร์

## 2. วิธีวิจัย (Research Methodology)

การศึกษานี้เป็นการศึกษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของหม้อต้มไอน้ำจากการใช้ความร้อนปล่อยทิ้งในปล่องควันมาแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำที่ป้อนให้หม้อต้มไอน้ำโดยเปรียบเทียบก่อนและหลังการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความ

ร้อนอีโคโนไมเซอร์ ข้อมูลเบื้องต้นที่ศึกษามาจากหม้อต้มไอน้ำขนาด 2.5 ตันต่อชั่วโมงโดยใช้เชื้อเพลิงแก๊สปิโตเลียมเหลว LPG และ ขนาดท่อของอีโคโนไมเซอร์ยาว 1,000 mm มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 62 mm จำนวน 64 ท่อ การเก็บข้อมูลและขั้นตอนการศึกษาของหม้อต้มไอน้ำมีตามขั้นตอนตามภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย

2.1. สภาพหม้อต้มไอน้ำก่อนการติดตั้งอีโคโนไมเซอร์โดยมีการเก็บข้อมูลดังต่อไปนี้

1. ปริมาณความร้อนของก๊าซเสียทิ้งจากปล่องควันของหม้อต้มไอน้ำ
2. อุณหภูมิน้ำที่เข้า Deaerator และปริมาณการใช้น้ำ

3. ปริมาณความดันของหม้อต้มไอน้ำ
  4. ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง
  5. ปริมาณ CO, O<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>
- 2.2. สภาพหม้อต้มไอน้ำหลังการติดตั้งอีโคโนไมเซอร์โดยมีการเก็บข้อมูลดังต่อไปนี้

1. ปริมาณความร้อนของก๊าซเสียปล่อยทิ้งจากปล่องควันของ หม้อต้มไอน้ำก่อนและหลัง อีโคโนไมเซอร์
2. อุณหภูมิน้ำก่อนและหลัง อีโคโนไมเซอร์และปริมาณการใช้น้ำ
3. ปริมาณความดันของหม้อต้มไอน้ำ
4. ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง
5. ปริมาณ CO, O<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>
6. อุณหภูมิผิวหม้อต้มไอน้ำ

2.3. วิธีการทดลองและการบันทึกข้อมูล  
ขั้นตอนการทดลองและการบันทึกข้อมูลแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้

- 2.3.1. ขั้นตอนการทดลองและบันทึกค่าก่อนการติดตั้งอีโคโนไมเซอร์
  1. บันทึกค่าอุณหภูมิก๊าซเสียจากปล่องควัน โดยอ่านค่าจากเทอร์โมมิเตอร์บันทึกทุกๆ 1 ชั่วโมง
  2. บันทึกค่าอุณหภูมิน้ำก่อนเข้า Deaerator โดยอ่านค่าจากเทอร์โมมิเตอร์บันทึกทุกๆ 1 ชั่วโมงและอ่านค่าปริมาณน้ำเข้าจาก Flow mete บันทึกทุกๆ 1 ชั่วโมง
  3. บันทึกค่าความดันของหม้อต้มไอน้ำจากเกจวัดแรงดันโดยอ่านค่าทุกๆ 1 ชั่วโมง
  4. บันทึกค่าปริมาณการใช้เชื้อเพลิงโดยอ่านค่าจาก Flow mete บันทึกทุกๆ 1 ชั่วโมง
  5. ตรวจวัดปริมาณค่า CO, O<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> ทุกๆ 1 ชั่วโมง

2.3.2. ขั้นตอนการทดลองและบันทึกค่าหลังการติดตั้งอีโคโนไมเซอร์

1. บันทึกค่าอุณหภูมิก๊าซเสียปล่อยทิ้งจากปล่องควันก่อน และ หลังอีโคโนไมเซอร์โดยอ่านค่าจากเทอร์โมมิเตอร์บันทึกทุกๆ 1 ชั่วโมง
2. บันทึกค่าอุณหภูมิน้ำก่อนและหลังอีโคโนไมเซอร์ โดยอ่านค่าจากเทอร์โมมิเตอร์บันทึกทุกๆ 1 ชั่วโมงและอ่านค่าปริมาณน้ำเข้าจาก Flow mete บันทึกทุกๆ 1 ชั่วโมง

- 3.บันทึกค่าความดันของหม้อต้มไอน้ำจากเกจวัดแรงดันโดยอ่านค่าทุกๆ 1 ชั่วโมง
- 4.บันทึกค่าปริมาณการใช้เชื้อเพลิงโดยอ่านค่าจาก Flow mete บันทึกทุกๆ 1 ชั่วโมง
- 5.ตรวจวัดบันทึกค่าปริมาณค่า CO, O<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> ทุก 1 ชั่วโมง
- 6.ตรวจวัดบันทึกค่าผนังของหม้อต้มไอน้ำทุก 1 ชั่วโมง

### 3. ผลการวิจัย (Results)

การศึกษานี้เป็นการศึกษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของหม้อต้มไอน้ำโดยหลักการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำป้อนเข้าให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นโดยการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำกับความร้อนปล่อยทิ้งจากปล่องควันการวิเคราะห์ข้อมูลจะเปรียบเทียบระหว่างก่อนการติดตั้งและหลังการติดตั้งอีโคโนไมเซอร์โดยเปรียบเทียบอุณหภูมิของน้ำที่สูงขึ้น ประสิทธิภาพของหม้อต้มไอน้ำ และผลการประหยัดพลังงานเชื้อเพลิงของหม้อต้มไอน้ำและผลจากการศึกษาได้ทำการวัดและบันทึกข้อมูลดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1 ข้อมูลการตรวจวัดบันทึกค่าก่อนและหลังการติดตั้งอีโคโนไมเซอร์

ข้อมูลการตรวจวัด	หน่วยการวัด	ก่อนการติดตั้งอีโคโนไมเซอร์	หลังการติดตั้งอีโคโนไมเซอร์
ปริมาณน้ำป้อนเข้า	Kg/h	1,100	1,450
ปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้	Kg/h	1,245	1,235
ปริมาณน้ำที่อุ่นได้	Kg/h		215
ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง	Kg/h	79.62	71.76
อุณหภูมิน้ำป้อนเข้า	°C	38.50	38.30

อุณหภูมิน้ำออก	°C	-	67.20
อุณหภูมิก๊าซเสีย	°C	185	115
ความดันไอน้ำ	bar	7.00	7.10
CO	ppm	41.00	51.30
O <sub>2</sub>	%	9.81	7.00
SO <sub>2</sub>	%	0	0
ความดันน้ำเข้าออก	bar	2.30	1.90
ผนังหม้อไอน้ำ	°C	35.70	35.50
ประสิทธิภาพ	%	81.59	85.65

การตรวจวัดหาประสิทธิภาพของหม้อต้มไอน้ำสามารถตรวจสอบได้ 3 วิธี [6]

- 1.การวัดความร้อนสูญเสียออกจากปล่องไฟโดยการวิเคราะห์ คาร์บอนไดออกไซด์หรือออกซิเจนและอุณหภูมิก๊าซร้อน
- 2.การวัดปริมาณความร้อนเข้าและออก
- 3.การทำสมดุลความร้อน

การคำนวณประสิทธิภาพทางความร้อนของหม้อต้มไอน้ำสามารถคำนวณได้ดังนี้ [4]

$$\text{ประสิทธิภาพของหม้อต้มไอน้ำ} = \frac{\text{ความร้อนในไอน้ำที่ผลิตได้}}{\text{ความร้อนในเชื้อเพลิง}}$$

การหาค่าประสิทธิภาพของหม้อต้มไอน้ำ [10]

$$N_D = \frac{Q_S * h_{gB} - h_{fB}}{[q * H V] * 100}$$

- N<sub>D</sub> = ประสิทธิภาพหม้อต้มไอน้ำ  
Q<sub>S</sub> = ปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้(kg/h)  
q = ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ (SCF/h)

HV = ค่าความร้อนของก๊าซธรรมชาติ

(Heating value; Kcal / SCF)

$hg_{\text{B}}$  = เอนทาลปีของไอน้ำที่ผลิตได้จากหม้อไอน้ำ

(kcal/h of steam)

$hf_{\text{B}}$  = เอนทาลปีของน้ำที่ใช้ในหม้อไอน้ำ

(kcal/kg of water)

การคำนวณหาค่าเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้ [5]

$$= \frac{(\text{ประสิทธิภาพใหม่} - \text{ประสิทธิภาพเก่า})}{\text{ประสิทธิภาพใหม่}}$$

#### 4. อภิปรายผล (Discussion)

การศึกษานี้เป็นการศึกษาการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำก่อนป้อนเข้าหม้อต้มไอน้ำโดยการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำกับความร้อนปล่อยทิ้งจากปล่องควันของหม้อต้มไอน้ำผ่านอีโคโนไมเซอร์ซึ่งอุณหภูมิของน้ำที่ป้อนจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของความร้อนทิ้งจากปล่องควันและอุณหภูมิของน้ำที่ป้อนเข้าซึ่งจากการทดลองมีอุณหภูมิ 38.3 °C และเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของประสิทธิ์ เกียรติสุนทร [3] ที่ว่าอุณหภูมิกลั่นตัวเป็นกรดของก๊าซเสียปิโตรเลียมเหลวเท่ากับ 54 °C เพื่อลดความเสี่ยงของการเกิดการกลั่นตัวเป็นกรด ของก๊าซเสียปิโตรเลียมเหลวอุณหภูมิที่ป้อนเข้าอีโคโนไมเซอร์ควรมากกว่าอุณหภูมิกลั่นตัวเป็นกรดของก๊าซเสียปิโตรเลียมเหลวประมาณ 20 °C และการทดลองนี้ก็จะไม่สอดคล้องกับงานวิจัยของ ธิติญาณ์ เปลี่ยนมณีและมิ่งศักดิ์ ตั้งตระกูล การควบคุมอุณหภูมิน้ำก่อนเข้าอีโคโนไมเซอร์เพื่อป้องกันกรดจากก๊าซเสียกลั่นตัว [8] ได้ทำการทดลองกำหนดให้อุณหภูมิที่เข้าอีโคโนไมเซอร์อยู่ที่ 70 °C ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิกลั่นตัวเป็นกรดที่เกิดจากการเผาไหม้คือ 54 °C จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิผิวท่อด้านนอกของอีโคโนไมเซอร์มีอุณหภูมิต่ำสุด 82 °C ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิกลั่นตัวเป็นกรดของก๊าซปิโตรเลียมเหลวจากการเผาไหม้ที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนดังนั้นเพื่อความเหมาะสมควรทำอุณหภูมิที่ป้อนให้สูงกว่าอุณหภูมิกลั่นตัวก่อนป้อนเข้า [8]

#### 5. สรุปผล (Conclusion)

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของหม้อต้มไอน้ำขนาด 2.5 ตันต่อชั่วโมง โดยการเอาความร้อนปล่อยทิ้งจากปล่องควันมาแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำที่ป้อนเข้าหม้อต้มไอน้ำโดยใช้อีโคโนไมเซอร์เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งผลจากการวิจัยสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. ผลการอุ่นน้ำที่ป้อนเข้าหม้อต้มไอน้ำสามารถเพิ่มอุณหภูมิของน้ำที่ป้อนเข้าจาก 38.30 °C เป็น 67.20 °C
2. การติดตั้งอีโคโนไมเซอร์ที่บริเวณปล่องควันโดยนำความร้อนทิ้งจากปล่องควันมาอุ่นน้ำป้อนเข้าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของหม้อต้มไอน้ำสามารถทำให้ประสิทธิภาพของหม้อต้มไอน้ำเพิ่มจาก 81.59 % เป็น 85.65 %
3. ความร้อนของก๊าซเสียที่ปล่องควันปล่อยทิ้งก่อนการติดตั้งอีโคโนไมเซอร์มีอุณหภูมิที่ปล่องควันเฉลี่ยประมาณ 185 °C หลังจากการติดตั้งอีโคโนไมเซอร์แล้วอุณหภูมิที่ปล่องควันปล่อยทิ้งเฉลี่ยประมาณ 115 °C
4. ผลจากการติดตั้งอีโคโนไมเซอร์สามารถลดการใช้เชื้อเพลิงทำให้ประหยัดได้ 4.70 %

#### 6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้บริหาร วิศวกร บริษัท ซีพีเอฟ (ประเทศไทย) จำกัด มหาชน และบริษัท โกลบอล อัลลอย แอช เซอร์วิส จำกัด ที่ให้การสนับสนุนข้อมูลและเครื่องมือวัดในการศึกษาค้นคว้านี้สำเร็จลุล่วงและเกิดประโยชน์

#### 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] ธนกร ณ พัทลุง, ข้อพิจารณาศักยภาพความร้อนทิ้งสำหรับการติดตั้ง Economizer, ข้อมูลจาก <http://www.tpa.or.th> (วันที่สืบค้นข้อมูล 8 กรกฎาคม 2561)
- [2] คู่มือการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ waste heat recovery guide, ข้อมูลจาก <http://www.enconlab.com> (วันที่สืบค้นข้อมูล 9 สิงหาคม 2561)
- [3] ประสิทธิ์ เกียรติสุนทร, การศึกษาและออกแบบอีโคโนไมเซอร์โดยใช้ความร้อนปล่อยทิ้งจากหม้อไอน้ำ,

มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์, 2555

- [4] วีชระ มั่งวิฑิตกุล, กระบวนการและเทคนิคการลดค่าใช้จ่ายพลังงานสำหรับอาคารและโรงงานอุตสาหกรรม, กรุงเทพมหานคร, 2550

- [5] ศิริกัลยา สุวจิตตานนท์, เทคนิคการอนุรักษ์พลังงานใน  
โรงงานอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,  
กรุงเทพมหานคร, พิมพ์ครั้งที่ 2, 2548
- [6] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานระบบไอน้ำ,  
พิมพ์ครั้งที่ 2, 2548
- [7] โครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP) แนว  
ทางการปฏิบัติเพื่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพใน  
ภาคอุตสาหกรรมของเอเชีย, 2546
- [8] ธิติญาณ์ เป็ลียนมณี และมิ่งศักดิ์ ตั้งตระกูล การควบคุม  
อุณหภูมิน้ำก่อนเข้าอีโคโนไมเซอร์เพื่อป้องกันกรดจาก  
ก๊าซเสียกลิ่นตัว, มหาวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์, 2555
- [9] อินเตอร์ฟลอร์จำกัด, การปรับปรุงคุณภาพของไอน้ำและ  
การประหยัดพลังงาน, ข้อมูลจาก  
[http://: www. interflow-th.com](http://www.interflow-th.com)  
(วันที่สืบค้นข้อมูล 24 สิงหาคม 2561)
- [10] โอตปี กกก้าแหง, การคำนวณประสิทธิภาพทางความ  
ร้อนของหม้อต้มไอน้ำ, จุลสารก๊าซไลน์ (PTT) ฉบับที่  
75, 2552
- [11] กรวิก นามชุ่ม มาตรการสำหรับการนำกลับมาใช้ใหม่  
ของพลังงาน [https// www.site google.com](https://www.site.google.com)
- [12] ชุตินาถ ทักจันทร์ การใช้หม้อไอน้ำให้มีประสิทธิภาพ  
ด้วยเทคโนโลยีสะอาด กรณีศึกษาโรงพยาบาลนครพิงค์  
สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์, 2551



การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม  
นวัตกรรม และการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 7 ประจำปี 2561

RMUTP & FTI 5th Sustainable Industrial Management Engineering



## Optimized Conditions of Removing Acid Gas from Natural Gas by Diethanolamine (DEA) using Aspen HYSYS V.9

Navaphun Thanathipmonthon, Pachara Limvipuwat and Tanit Bhibhatbhan\*

\*Department of Chemical Engineering, Faculty of engineering, Thammasat University  
99 moo 18 Pahonyotin road, Klong Nueng, Klong Luang, Patumtani 12120, Thailand

\*Email: [btanit@engr.tu.ac.th](mailto:btanit@engr.tu.ac.th)

### Abstract

The purpose of this research is to optimize the conditions of the acid gas removal from the natural gas in order to minimize the acid gas composition in the natural gas by chemical absorption using diethanolamine (DEA) solution as a scrubbing agent. This study indicates a thoroughly, particularized process diagram for the final production of the sweet gas. The two feedstocks, which are the sour gas and the lean DEA solution, are precisely simulated through the Aspen HYSYS version 9 program. The required unit operations in the process consist of absorber, heat exchangers, distillation column as a desorber, mixer, cooler, gas/liquid separator and pumps. The lean DEA volume flow and concentration of DEA are varied to observe the CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S composition in the sweet gas. The results indicated that the optimum liquid volume flow of lean DEA and mass fraction of DEA are 38 m<sup>3</sup>/h and 0.26 respectively. Therefore, the optimal conditions of this research minimized the CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S composition performance 0.002630 %mole and 0.001446 ppm respectively. In addition, this research could better minimize the CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S composition 74.4% and 99.1% respectively comparing to the referenced research.

**Keywords:** Natural gas; CO<sub>2</sub>; H<sub>2</sub>S; Diethanolamine (DEA); Aspen HYSYS; Acid gas removal

## 1. Introduction

Most of the combustion has been come from fossil fuel in transportation, industrial plant, electrical production and household activities. Typically, the fossil fuels in this era are the main resource for energy utilization. Considering the utilization of fuels in the industry and transportation, it is significant factors for now. The greenhouse effect can be reduced by using natural gas as a fuel. The composition of natural gas stream is regulated in order to achieve suitable conditions to be used or transported. These restrictions depend on each country as they have different treatment sectors to accomplish the clean natural gas stream. However, the natural gas which regarded a proper fuel rather than oil and coal which caused more CO<sub>2</sub> emission 25-30% and 40-45% respectively have composed of acid gas including CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S [1]. One of the methods to get rid of those acid gases is the gas sweetening process, which is the most common and economical method to remove the acid gases in the natural gas by the amine solutions [2].

The aim of this research is to minimize the acid gas composition in natural gas using DEA solution. The process is simulated through the Aspen HYSYS V.9 simulation to find the optimum operating condition for the actual CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S absorption. The research also includes the optimal design of the sweetening process by hand calculation to verify the result in Aspen HYSYS as well.

## 2. Research Methodology

### 2.1 The process verification

Initially, it is necessary to study the gas sweetening process in the referenced research [3] before conducting the simulated process, making sure that the simulated process is proved by the referenced research to ensure that it is a valid model before analyzing the result. The process is “the verification” which is comparing the results between referenced research and the simulated process. The research will verify the model by comparing the mass flow rate of sour gas, mass flow rate of the product and mass fraction in each component of the product.

### 2.2 The simulated process

After achieving the verification and ensured that it is reliable to analyze the results, the simulated process conducted by using Aspen HYSYS V.9 in order to minimize the CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S composition by varying the lean DEA volume flow and mass fraction of DEA.

The following simulated process in this research showed in Figure 2.1. Whereas the data of natural gas, composition of sour gas stream and also data of the block units for the simulated process are showed in Section 2.2.1 (in Table 2.1, 2.2 and 2.3)

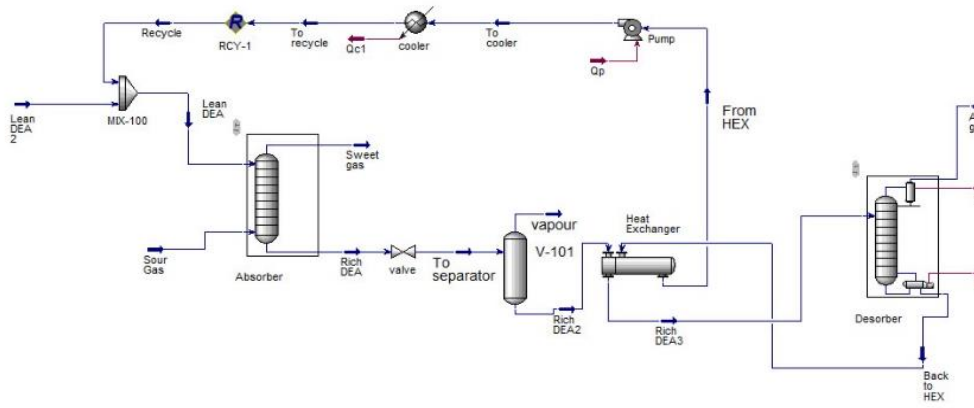


Figure 2.1 The simulated process of acid gas removal from the natural gas by DEA using Aspen HYSYS V.9

### 2.2.1 The data of the simulated process [4]

The simulated process has significant data as shown in Table 2.1, 2.2 and 2.3 respectively

Table 2.1 The data of the natural gas

Feed gas	Temperature	Pressure	Molar flow rate
Sour gas	30 °C	6895 kPa	200 kmol/h

Table 2.2 Composition of the sour gas stream

Sour gas composition	Mole fraction
N <sub>2</sub>	0.0016
CO <sub>2</sub>	0.0413
H <sub>2</sub> S	0.0172
C1	0.8692
C2	0.0393
C3	0.0093
iC4	0.0026
nC4	0.0029
iC5	0.0014
nC5	0.0012
nC6	0.0018
nC7	0.0122

Table 2.3 The data of block units

Absorber	Temperature (°C)	30
	Pressure (kPa)	6688/6895
	Number of stages	15
	Lean DEA volume flow (m <sup>3</sup> /h)	10
Heat Exchanger	Pressure drop (kPa)	68.95
	Heat Exchanger model	Simple End Point
Desorber (Distillation column)	Temperature (°C)	45/120
	Pressure (kPa)	125/137
	Number of stages	18
	Reflux ratio	0.5
	Duty (kJ/h)	9.00e+006
	Vapor flowrate (kgmole/h)	11.00
Condenser/Reboiler temperature (°C)	45/120	

### 2.3 The optimal conditions of gas sweetening by DEA

**2.3.1** Recheck the verification of the referenced research and the simulated process by hand calculation in order to compare to their results. The optimal conditions are required to calculate the block units in following steps which consists of DEA circulation rate (compared to referenced research) and heat of reaction to determine the rich amine temperature (compared to the simulation)

**2.3.2** After the recheck method, it is to consider the simulated process which varied the lean DEA volume flow 10-41 m<sup>3</sup>/h to see the its effect and determine the optimal lean DEA volume flow.

**2.3.3** After getting the optimal lean DEA volume flow, DEA mass fraction is varied from 0.25-0.35 to see its effect and determine the optimal DEA mass fraction in order to minimize the composition of CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S.

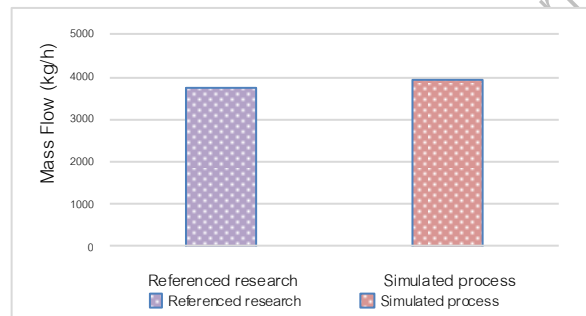
**2.3.4** The optimal parameters included lean DEA volume flow and DEA mass fraction in the process are obtained in the results and conclusions are made.

## 3. Results

### 3.1 The process verification

The simulated process was proved by the referenced research to ensure that it is valid before analyzing the results. This methodology is called “verification” which is done by comparing the results of referenced research with the simulated process. The verification of this simulated process is done by comparing the mass flow rate of sour gas, mass flow rate of the product and mass fraction in each

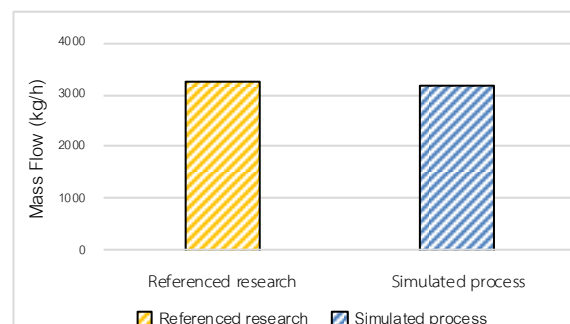
product component. The sour gas from the simulated process compares well with the one from referenced research, since the mass flow rate of both sour gas are 3973.94 kg/h and 3772.61 kg/h respectively. The percentage difference is 5.34%, which is showed in Figure 3.1 below.



The mass flow of the product as sweet gas

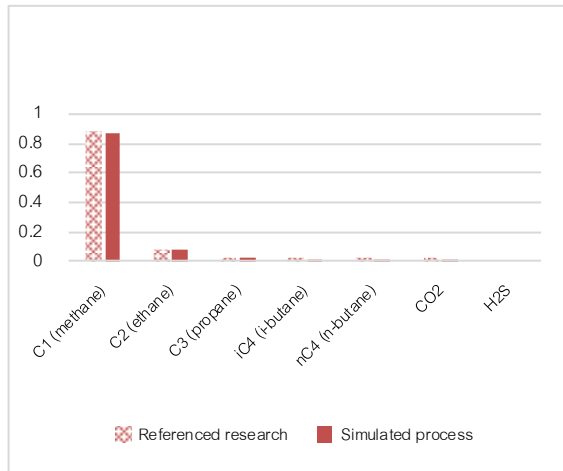
**Figure 3.1** Comparison the mass flow rate of sour gas between referenced research and simulated process

comparison between the referenced research and the simulated process is showed in Figure 3.2. The mass flow of the product from the reference research to the simulated process 3257.63 kg/h and 3184.51 kg/h respectively. The percentage difference is 2.24%.



**Figure 3.2** Comparison of mass flow rate of the product (sweet gas) between referenced research and simulated process

The comparison also considered the mass fraction of the main components of the product which are C<sub>1</sub> (methane), CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S. The main component is methane in the sweet gas and the minor components are CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S. The comparison between the referenced research and the simulated process is illustrated in Figure 3.3. The percentage error is very small closed to 0%.



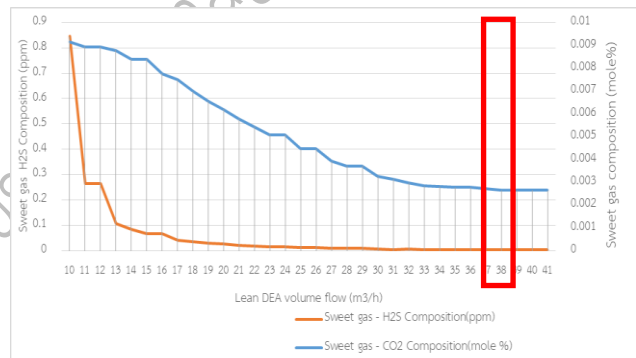
**Figure 3.3** Comparison the mass fraction of each main component in the product

The additional verification is to calculate by hand calculation compared to the referenced research. The lean DEA volume flow is varied from 10 m<sup>3</sup>/h to 40 m<sup>3</sup>/h whereas the initial volume flow of lean DEA is 10 m<sup>3</sup>/h compared to the hand calculation, which is 9.24 m<sup>3</sup>/h. The percentage difference is 7.4%. Therefore, from the process verification results, simulated process is reliable and can be used to find the optimal conditions in order to minimize the composition of CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S in the sweet gas.

## 4. Discussion

### 4.1 The effect of lean DEA volume flow to the sweet gas

After the verification, the model is used to analyze the effect of the lean DEA liquid flow on H<sub>2</sub>S and CO<sub>2</sub> composition in the sweet gas. The DEA flow is varied from 10 m<sup>3</sup>/h to 41 m<sup>3</sup>/h. The results are showed in Figure 4.1. From the results of varying the lean DEA liquid volume flow, the sweet gas H<sub>2</sub>S composition sharply decreases at initial 10 m<sup>3</sup>/h DEA flow rate up to approximately 13 m<sup>3</sup>/h. Then, the H<sub>2</sub>S composition gradually decreases with increasing DEA flow to nearly constant at the DEA flow of 30 m<sup>3</sup>/h. The optimal lean DEA volume flow is 38 m<sup>3</sup>/h.



to H<sub>2</sub>S and CO<sub>2</sub> composition in the sweet gas

### 4.2 The effect of DEA mass fraction to the sweet gas

After obtaining the optimum lean DEA volume flow of 38 m<sup>3</sup>/h, the DEA mass fraction is varied from 25 %weight to 35 %weight and the H<sub>2</sub>S and CO<sub>2</sub> compositions in the sweet gas are analyzed to find the effect of concentration of DEA solution on CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S composition. It is showed on Figure 4.2. From the obtained results, the optimal DEA concentration in this research is 26 %weight. It gives

the lowest composition of CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S compared with the other DEA mass fractions.

In addition, the simulation is rechecked by considering the rich amine temperature from the absorber, which is 42.07°C in Aspen HYSYS. To ensure result the reliability, a hand calculation is done to compare the rich amine temperature with the simulation. By hand calculation method, rich DEA temperature is 38.2 C. The percentage error is 9.2%.



and H<sub>2</sub>S composition in the sweet gas

The amounts of absorbed acid gases are proportional to the DEA flow rate. When the volume flow is increased, more acid gases are absorbed. The mass fraction of DEA does not affect both the composition of CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S much. The least CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S in the sweet gas occur at mass fraction of 0.26 DEA so, the lower mass fraction will save costs in the operation process.

As showed in Figure 4.4 and 4.5, the simulation after the modification give the compositions of CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S as 0.002630 %mole and 0.001446 ppm. respectively.

However, the referenced research indicated CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S contents in sweet gas of 0.01028 %mole and 0.1596 ppm. Obviously, this simulated process give better result than the referenced research.

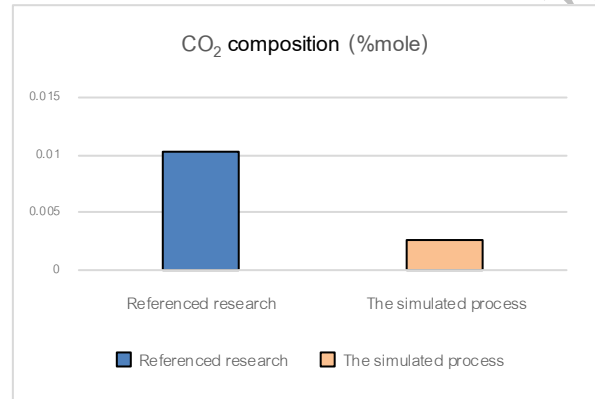


Figure 4.3 Comparison of the modification simulation and the referenced research involving the CO<sub>2</sub> composition

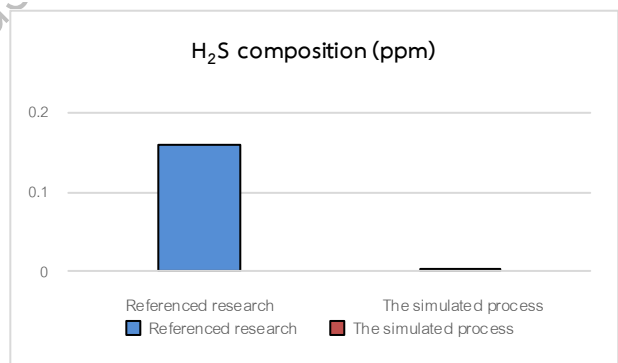


Figure 4.4 Comparison of the modification simulation and the referenced research involving the H<sub>2</sub>S composition



## 5. Conclusion

This research compares the referenced research with the simulated process by verified the mass flow rate of sour gas, the mass flow rate of the product and mass fraction of each main component in the product. The results show that the percentage difference does not exceed 6% so it ensures that the simulated process is reliable and can be applied to find optimal conditions. The simulated process varies the volume flow of lean DEA between 10 m<sup>3</sup>/h to 41 m<sup>3</sup>/h in order to minimize H<sub>2</sub>S and CO<sub>2</sub> composition. It found that the optimal conditions for the volume flow of lean DEA in the process is 38 m<sup>3</sup>/h. Then, the simulated process varies the DEA concentration from 25 %weight to 35 %weight to find the effect of DEA concentration on absorption. The optimal mass fraction of DEA obtained is 26 %weight. The simulated process after the modification can minimize the CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S composition, by operating at the optimal conditions for the sweet gas which defined the CO<sub>2</sub> 0.002630 %mole and H<sub>2</sub>S 0.001446 ppm. In addition, this simulated process could better minimize the CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S composition 74.4% and 99.1% respectively comparing to the referenced research.

This study focuses on the sweetening gas process by DEA, which is regarded as one of the best solvent amines to remove the acid gas from the sour gas. However, there are some other amines that can treat the sour gas as well for instance MEA and MDEA. Another study could investigate the suitable range of mass fraction of these amines to see the effect of them to the composition of the acid gases CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S in the sweet gas.

Another factor is absorber stages, which could be also investigated to see the effect of absorber stages on the acid gases compositions in the sweet gas.

## 6. Acknowledgement

Sincere gratitude to Department of Chemical Engineering, Faculty of engineering, Thammasat University for the kindness, equipment and setting up the Aspen HYSYS program V.9

## 7. References

- [1] Limited, P. P., Natural Gas Everyday. Retrieved from [www.pttplc.com/th/Media-Center/Energy-Knowledge/Documents/Final\\_PTT\\_GAS\\_Low\\_ResV2.pdf](http://www.pttplc.com/th/Media-Center/Energy-Knowledge/Documents/Final_PTT_GAS_Low_ResV2.pdf), 2017.
- [2] Gutierrez, J. P., et al, A sensitivity analysis and a comparison of two simulators performance for the process of natural gas sweetening, Journal of Natural Gas Science and Engineering, Vol.31, 800-807, 2016.
- [3] Abdulrahman, R. K., et al., Optimal Heat Transfer Calculation and Balancing for Gas Sweetening Process: A Case Study, European Journal of Scientific Research, V.87(no.3), 359-367, 2012.
- [4] Grisdanurak, N., 132 Acid gas treatment. Retrieved from <https://drive.google.com/file/d/0B1yvTvmEN0zNOvDYzkJJUG1aY2c/view?ts=5a942b3b>, 2016.

RMUTP & FTI 7th Sustainable Industrial Management Engineering

## การประยุกต์ใช้เทคนิคลินในการปรับปรุงกระบวนการผลิตขวดพลาสติก High Density Polyethylene Lean Technique Application for Improving Process of High Density Polyethylene Plastic Bottle Industry

ไพศิษฐ์ สัพโรจน์<sup>1</sup>, อุบลรัตน์ หวังรักษ์ดีสกุล<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ  
1518 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

[Kia.paisit@gmail.com](mailto:Kia.paisit@gmail.com)

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตขวดพลาสติกชนิด High Density Polyethylene โดยการนำเทคนิคแบบลินเข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ จากการศึกษาข้อมูลการผลิตก่อนการปรับปรุง พบว่ามีขั้นตอนการผลิตหลัก 3 ขั้นตอน และแบ่งออกเป็นขั้นตอนย่อยได้ 13 ขั้นตอน ใช้พนักงานรวม 8 คน/สายการผลิต มีรอบเวลาการผลิต คือ 5.00 วินาที/ชิ้น และมีกำลังการผลิต 6,480 ชิ้น/9 ชั่วโมง จากการวิเคราะห์กระบวนการผลิต พบว่า สถานีงานผสมเม็ดพลาสติกมีรอบเวลาการผลิตต่ำ จึงเสนอแนวทางให้ทำการจัดเตรียมผสมเม็ดพลาสติกไว้นอกเหนือเวลางาน ส่วนงานที่ 6 คือ สถานีลบครีบหัวและท้ายขวด ใช้เวลามากผลิตไม่ทันกับความต้องการ จึงเสนอให้เพิ่มเครื่องจักรในขั้นตอนนี้เพื่อทดแทนพนักงาน และ สถานีที่ 12 คือ สถานีหีบห่อ เป็นสถานีที่มีการรอคอยงาน เสนอให้ย้ายพนักงานจากแผนกก่อนหน้ามาที่แผนกนี้ หลังการปรับปรุงกระบวนการผลิตลดพนักงานในการทำงานลง 3 คน แก้ปัญหาการรอคอยงานในสถานีนั้นได้ เพิ่มผลการผลิตรวมจากเดิม 6,480 ชิ้น/9 ชั่วโมง เป็น 8,100 ชิ้น/9 ชั่วโมง คิดเป็นเพิ่มการผลิตรวม 25% และ ลดรอบเวลาการผลิต จาก 5.00 วินาที/ชิ้น เป็น 4.00 วินาที/ชิ้น คิดเป็นลดรอบเวลาการผลิต 20%

**คำสำคัญ :** โรงงานผลิตขวดพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนที่มีความหนาแน่นสูง, การปรับปรุงประสิทธิภาพ, การผลิตแบบลิน

## Abstract

The purpose of this research was to improve the High Density Polyethylene plastic bottles process by analyzing with Lean Techniques. After studying the production before improvement, we found that there were 3 main stages of production and further divided into 13 steps with 8 workers. The cycle time was 5.00 seconds/pc with capacity 6,480 pieces/ 9 hours. The analysis of the production process found that the plastic mixing station had low cycle time. Therefore, the first main stage of preparing raw materials had been moved to operate at the end of each working day. At the 6<sup>th</sup> station, cutting bottle fins, it had the high cycle time leading to could not meet the target. It is suggested to add automatic machines for worker replacement. Furthermore, at the 12<sup>th</sup> station, packing process, it also had a high cycle time leading to delay work. Moving workers from the previous station had been proposed. After improving process, the workers can be reduced to 3 people. It can solve the waiting time of the production. The capacity has been increased from 6,480 pieces/ 9 hours to 8,100 pieces/ 9 hours which increased by 25%. The cycle time has been reduced from 5.00 seconds/ pc to 4.00 seconds/ pc which reduced by 20%.

**Keyword :** High Density Polyethylene Plastic Bottle Plant, Productivity Improvement, Lean

## 1. บทนำ (Introduction)

ปัจจุบันอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ในประเทศไทยมีการขยายตัวและมีบทบาทอย่างยิ่งต่ออุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น อุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมสินค้าอุปโภคบริโภคยังต้องอาศัยบรรจุภัณฑ์ ปัจจุบันพบว่าบรรจุภัณฑ์พลาสติกเข้ามามีบทบาทสำคัญเนื่องจากพลาสติกเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติที่ดีกว่าวัสดุอื่นและสามารถใช้ทดแทนวัสดุอื่นๆ ได้ ซึ่งมีความโดดเด่นเช่น ด้านความยืดหยุ่นความทนต่อกรดด่างและเคมี และมีน้ำหนักไม่มาก ไม่แตกหักง่าย จากคุณสมบัตินี้ทำให้พลาสติกนิยมมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์อย่างมากมา โดยเฉพาะพลาสติกประเภท พอลิเอทิลีนที่มีความหนาแน่นสูง High Density Polyethylene ที่นิยมในมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ที่เป็นรูปทรงขวด

บรรจุภัณฑ์แบบขวดได้รับการผลิตขึ้นมาเพื่อทดแทนบรรจุภัณฑ์เป็นขวดแก้ว เนื่องจากสามารถขึ้นรูปทรงได้ง่ายรวดเร็ว มีความเหนียว มีน้ำหนักเบา ทนต่อกรดด่าง สะดวกต่อการขนส่ง จึงทำให้เป็นที่นิยมใช้ในการทำบรรจุภัณฑ์ เช่น บรรจุน้ำดื่ม น้ำกลั่น กรดน้ำยา

โรงงานกรณีศึกษาในการทำวิจัยนี้ เป็นโรงงานผลิตขวด High Density Polyethylene ในอุตสาหกรรมการผลิตขวดพลาสติกส่งให้กับโรงงานผู้บรรจุน้ำในประเทศ ผู้วิจัยได้ศึกษากระบวนการผลิตขวดพลาสติกทั้งสายการผลิตเพื่อปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต จากการเก็บข้อมูลพบว่าสามารถแบ่งแผนงานออกได้ทั้งหมด 3 แผนกหลัก คือ 1.แผนกจัดเตรียมวัตถุดิบ 2.แผนกผลิตขวดพลาสติก 3.แผนกพิมพ์ลายและหีบห่อ โดยมีพนักงานทั้งหมดต่อหนึ่งสายการผลิตจำนวน 8 คน กำลังการผลิตที่ผลิตได้ใน 1กะ ได้ที่ 6,480 ใบ

หลังจากทำการศึกษาปัญหาในโรงงานกรณีศึกษา พบว่าทางคณะบริหารใช้เทคนิคการปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยนำเทคนิคกระบวนการผลิตแบบลีน เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิต

## 2. วิธีวิจัย (Research Methodology)

ระบบผลิตแบบลีน คือ ระบบที่มุ่งเน้นในเรื่องการไหล ของงานเป็นหลัก โดยจะทำการกำจัด ความสูญเปล่าต่างๆ ของงานและเพิ่มคุณค่าให้กับสินค้าอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ลูกค้าเกิดความพึงพอใจสูงสุด จะสังเกตได้ว่านอกจากจะสามารถลดเวลาทำงานได้แล้ว การผลิตแบบลีนยังช่วยในการลดระดับพัสดุคงคลัง ปรับปรุงคุณภาพ ลดต้นทุน ลดความต้องการใช้พื้นที่เพิ่มผลิตภาพ เพิ่มความยืดหยุ่น สร้างความสัมพันธ์อันดีต่อผู้ส่งมอบ ทำให้สามารถจัดตารางการผลิตและควบคุมกิจกรรมต่างๆ ได้ง่ายขึ้น เพิ่ม กำลังการผลิต

ใช้ทรัพยากรมนุษย์ได้คุ้มค่ามากขึ้น รวมถึงสามารถสร้างผลิตภัณฑ์ได้หลากหลายอีกด้วย

ระบบการผลิตแบบลีน คือระบบที่มุ่งเน้นในเรื่องการไหล (Flow) ของงานเป็นหลัก โดยการ กำจัดความสูญเปล่า (Waste) ต่างๆ ของงาน และเพิ่มคุณค่า (Value) ให้กับตัวสินค้าอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ ลูกค้าเกิดความพึงพอใจสูงสุด (Customer Satisfaction) ซึ่งระบบการผลิตแบบลีนได้พัฒนามาจากระบบ การผลิตแบบโตโยต้า (Toyota Production System : TPS) ซึ่งเป็นระบบที่มุ่งการพัฒนาการบริหารเวลา และการทำงานโดยลดการสูญเสีย 7 ประการ (7 Wastes) [1] ซึ่งงานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้หลักการลด ความสูญเสียเนื่องจากการขนส่งความสูญเสีย เนื่องจากการเคลื่อนไหว และ ความสูญเสียเนื่องจากระบบการผลิตเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิต

กล่าวโดยสรุป วิธีการผลิตแบบลีนมีเป้าหมายพื้นฐาน เพื่อลดระยะเวลา (Cycle Time) ปัจจุบันการผลิตในโรงงานจะเป็นการผลิตจำนวนมากตามความต้องการของลูกค้า ซึ่งวิธีการผลิตแบบลีน จะเป็นเครื่องมือในการนำไปปรับปรุงแก้ไขได้เป็นอย่างดี และไม่ได้หมายความว่า การผลิตอื่นๆ จะใช้ วิธีการแบบลีนไม่ได้แต่มุ่งเน้นอยู่ที่ว่าจะใช้ได้เหมาะสมหรือไม่ วิธีการผลิตแบบลีนไม่ได้เจาะจงอยู่แค่ การ ผลิตแต่ยังครอบคลุมถึงวิสาหกิจ (องค์กร) ที่มีเป้าหมายเดียวกัน [2]

ซึ่งมีผู้วิจัยหลายท่านได้ประยุกต์ใช้หลักการลีน ในการปรับปรุงการผลิต เช่น ศรณิธย์ สามารถ [3] นำแนวคิดลีนมาใช้ในการลดต้นทุนในการดำเนินงาน กรณีศึกษาโรงงานฉีดพลาสติก ชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ พุทธิพงษ์ ธีระวิภากรใช้ลีนในการผลิตตู้โดยใช้เทคนิคเพิ่มประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถลดต้นทุนการผลิตได้ 10% กรณีศึกษาโรงงานผลิตเหล็กรูปพรรณ อุตสาหกรรมแบบผสม กรณีศึกษาโรงงานผลิตเหล็กรูปพรรณ จิตติพร มุสิกนันท์ [5] การประยุกต์ใช้หลักการผลิตแบบลีนในการเพิ่มกำลังผลิตของกระบวนการ ผลิตปลาเส้น อรรถพร อ่ำขวัญยืน [6] การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวดพลาสติกโดยใช้ทฤษฎีการผลิตแบบลีน [โสภิตา ศิลอ่อน](#) [7] การประยุกต์ใช้เทคนิคลีนและผังสายธารคุณค่าในการจัดการโซ่อุปทานของอุตสาหกรรมยาและเวชภัณฑ์ อรรถพล ม่วงเพชร [8] การเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการชุบตัวไอซีโดยใช้แนวคิดของลีน กรณีศึกษาบริษัทประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ สุวัฒน์ นามดี [9] การประยุกต์ใช้แนวคิดลีนเพื่อลดเวลานำในกระบวนการ รายงานผลตัวชี้วัดของแผนกลยุทธ์ สิทธิพร พิมพ์สกุล [10] การปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตตามแนวความคิดของการผลิตแบบลีนกรณีศึกษาโรงงานปั๊มชิ้นรูปขึ้นส่วนโลหะ Jafri

Mohd Rohani et al [1] การวิเคราะห์สายการผลิตโดยใช้สายธารคุณค่ากระบวนการผลิตอุตสาหกรรมสี

และในงานวิจัยนี้จึงได้นำเทคนิคการผลิตแบบลีนมาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิต ซึ่งใช้บริษัทเอ็มดับเบิลยูที พลาสติก จำกัด เป็นโรงงานตัวอย่างเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของคนงานและเครื่องจักรให้ได้ประสิทธิภาพที่สูงสุด ลดเวลาในการรอคอยงาน และลดปัญหาคอขวดในแผนกที่คนงานไม่สามารถทำงานได้ทัน

### 3. ผลการวิจัย (Results)

#### 3.1 ศึกษากระบวนการผลิตและปัญหาที่เกิดขึ้นในโรงงาน

จากการเก็บข้อมูลในโรงงานกรณีศึกษา คือ ระหว่างเดือน ส.ค. 60 - ธ.ค. 60 พบว่ากระบวนการผลิตขวดพลาสติกปัจจุบันสามารถแยกออกเป็นขั้นตอนหลักได้ 3 ขั้นตอน คือ จัดเตรียมเม็ดพลาสติก เป่าขวดพลาสติก และพิมพ์ลายขวดพลาสติก และประกอบด้วย 13 ขั้นตอนย่อย แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิตขวด HDPE

Part Number	-	Date:	08/60-12/60
Supplier Name	M.W.T Plastic Part	Part Name:	HDPE
Supplier Location			

ขั้นตอนหลัก	ขั้นตอนย่อย	Legend		
		Delay	Storage	
		Operation	Transportation	Inspection
		Operation or Event		
		Description of Operation or Event		
จัดเตรียมเม็ดพลาสติก	1	⇒		ขนย้ายเม็ดพลาสติกไปผสม
	2	○		ผสมเม็ดพลาสติก
	3	⇒		ขนย้ายเม็ดพลาสติกที่ผสมแล้วไว้ในสต็อกรอเป่า
เป่าขวดพลาสติก	4	⇒		ขนย้ายเม็ดพลาสติกที่ผสมแล้วใส่เครื่องเป่า
	5	○		เป่าขวดน้ำ HDPE
	6	○		ลบครีบทันและท้ายขวด
	7	⇒		ขนย้ายขวดน้ำไว้ในสต็อกขวด
พิมพ์ลายขวดพลาสติก	8	⇒		ขนย้ายขวดน้ำไปพิมพ์ลาย
	9	○		ป้อนขวดเข้าเครื่องพิมพ์ลาย
	10	○		เครื่องพิมพ์ลาย
	11		□	รอขวดแห้ง
	12		□	บรรจุขวดและตรวจสอบคุณภาพ
	13		▽	ขนย้ายเข้าสต็อก

ทั้ง 13 ขั้นตอนย่อย ประกอบด้วย การขนถ่ายวัสดุ การผลิต การรอคอย ตรวจสอบ และ การจัดเก็บ รวม 5, 5, 1 1 และ 1 ขั้นตอนตามลำดับ

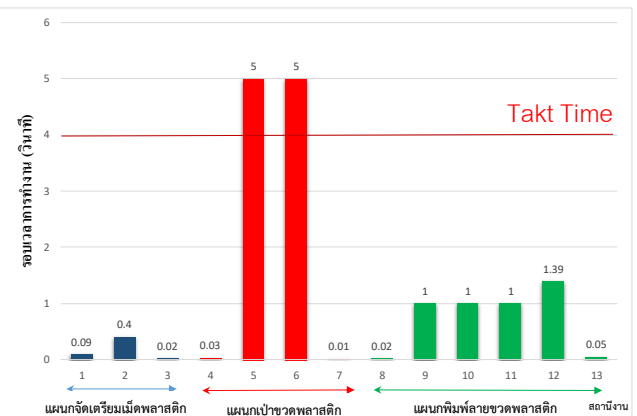
#### 3.2 วิเคราะห์ข้อมูลและความเป็นไปได้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิต

ตารางที่ 2 แผนภูมิการไหลของกระบวนการและรอบการผลิตขวด HDPE

ขั้นตอนหลัก	ขั้นตอนย่อย	สถานีงาน	เวลาทำงาน (วินาที)	พนักงาน (คน)
จัดเตรียมเม็ดพลาสติก	1	ขนย้ายเม็ดพลาสติกไปผสม	0.09	A
	2	ผสมเม็ดพลาสติก	0.4	A
	3	ขนย้ายเม็ดพลาสติกที่ผสมแล้วไว้ในสต็อกรอเป่า	0.02	A
เป่าขวดพลาสติก	4	ขนย้ายเม็ดพลาสติกที่ผสมแล้วใส่เครื่องเป่า	0.03	B
	5	เป่าขวดน้ำ HDPE	5	B
	6	ลบครีบทันและท้ายขวด	5	C,D
	7	ขนย้ายขวดน้ำไว้ในสต็อกขวด	0.01	B
พิมพ์ลายขวดพลาสติก	8	ขนย้ายขวดน้ำไปพิมพ์ลาย	0.02	E
	9	ป้อนขวดเข้าเครื่องพิมพ์	1	F
	10	เครื่องพิมพ์ลาย	1	E
	11	รอขวดแห้ง	1	-
	12	หีบห่อและตรวจสอบคุณภาพ	1.39	G,H
	13	ขนย้ายเข้าสต็อก	0.05	E
รวม			15.01	8

จากการวิเคราะห์แผนภูมิการไหลของกระบวนการในตารางที่ 2 พบว่า ในสายการผลิตใช้พนักงานรวม 8 คน มีเวลาการผลิตรวม คือ 15.01 วินาที/ชิ้น และมีกำลังการผลิต 6,480 ชิ้น /9 ชั่วโมง ได้รอบเวลาการผลิต 5 วินาที/ชิ้น ดังแสดงใน ภาพที่ 1 ซึ่งแผนกที่กำหนดเวลาเสร็จของงานคือ ขั้นตอนที่ 5 และ 6

อย่างไรก็ตามความต้องการของโรงงาน คือ 8,000 ชิ้น/9 ชั่วโมง หรือ คิดเป็น Takt time 4.05 วินาที/ ชิ้น



ภาพที่ 1 รอบเวลาและเวลาในการผลิตขวด HDPE

ซึ่งในการปรับปรุงจะใช้หลักการลีน หรือ ความสูญเสีย 7 ประการ (7 Wastes) สรุปได้ดังนี้

- งานขั้นตอนที่ 1-3 มีรอบเวลาในการทำงานต่ำ และทำงานโดยพนักงาน A,B น่าจะสามารถปรับเปลี่ยนเป็นการจัดเตรียมงาน โดยให้พนักงาน A ทำเพียงคนเดียว แต่ทำในเวลางานก่อนการเลิกงานของแต่ละวัน
- งานขั้นตอนที่ 5 เป็นงานที่ใช้เครื่องจักรเป็นหลัก ในการทำงานและสามารถปรับความเร็วได้ แต่ในการทำงานเดิมไม่ได้ปรับความเร็วเพิ่ม เนื่องจากสถานีที่ 6 ใช้เวลาใน



การทำงานมาก จากภาพที่ 1 จะเห็นได้ว่าสถานีงานที่ 6 ใช้เวลาในการทำงานสูงสุดของสายการผลิตแล้ว แต่ยังไม่สามารถทำงานได้ทัน การทำงานในขั้นตอนที่ 6 นี้ใช้พนักงานเป็นหลักในการทำงานถึง 2 คน วิเคราะห์ว่าน่าจะปรับเปลี่ยนเป็นการลงทุนใช้เครื่องตัดอัตโนมัติแทน

- งานขั้นตอนที่ 12 เป็นสถานีงานที่บิหื้อและตรวจสอบคุณภาพ ซึ่งจาก ภาพที่ 1 จะเห็นว่าสถานีงานนี้ใช้เวลาทำงานมากเป็นลำดับที่สองของสายการผลิต และมากกว่าสถานีงานก่อนหน้าทำให้เกิดการรอคอยของงานที่สถานีนี้ ซึ่งใช้พนักงานจำนวน 2 คน ทำให้ทำงานไม่ทัน ควรเพิ่มจำนวนพนักงานในการบิหื้อเพื่อช่วยให้ ลดเวลาการทำงานและผลิตงานได้ตามความต้องการ

### 3.3 การเสนอแนวทางการปรับปรุงสายการผลิต

ตารางที่ 3 แบบจำลองของการปรับปรุง

สถานีงาน	ชื่องาน	พนักงานคนที่		หมายเหตุ
		ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	
1	ขนย้ายเม็ดพลาสติกไปผสม	จัดเตรียม	ว่างหน้า	ให้พนักงาน A ทำงานในเวลาก่อนเลิกงานในแต่ละวัน
2	ผสมเม็ดพลาสติก	A	โดย A	
3	ขนย้ายเม็ดพลาสติกไปใส่ต้อกรองเป่า	โดย A		
4	ขนย้ายเม็ดพลาสติกใส่เครื่องเป่า	B	A	เพิ่มเครื่องจักรอัตโนมัติทดแทนพนักงาน C,D
5	เป่าขวดน้ำ HDPE	B	B	
6	ลบครีบหัวและท้ายขวด	C,D	เครื่องจักร	
7	ขนย้ายขวดน้ำไปไว้ในสต็อกขวด	B	A	
8	ขนย้ายขวดน้ำไปพิมพ์ลาย	F	A	ให้พนักงาน A เป็นพนักงานขนส่งทั้งหมดของสายการผลิตและเวลาที่เหลือไปช่วยในงานที่ 12
9	ป้อนขวดเข้าเครื่องพิมพ์ลาย	E	C	
10	เครื่องพิมพ์ลาย	F	C	
11	รอขวดแห้ง	-	-	
12	บิหื้อและตรวจสอบคุณภาพ	G,H	A,D,E	
13	ขนย้ายเข้าสต็อก	F	A	

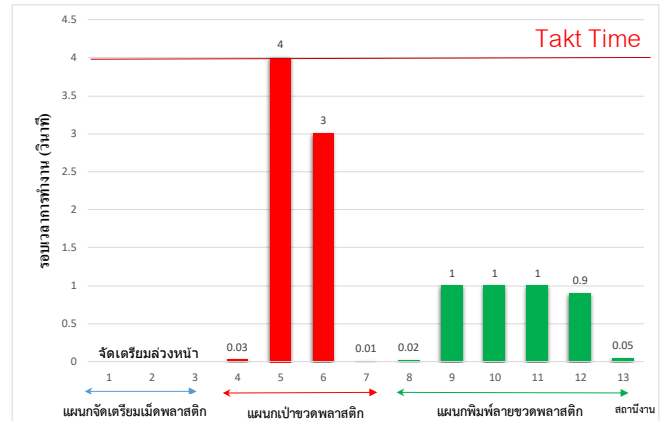
สรุปจากตารางที่ 4 ได้ดังนี้

ตารางที่ 4 ภาระงานของพนักงานหลังจากปรับปรุงพนักงาน

พนักงาน	ภาระงาน
A	1. ให้ทำงานขั้นตอนที่ 1,2,3 ในเวลาก่อนเลิกงานว่างหน้าของแต่ละวัน 2. ให้ไปทำงานขั้นตอนที่ 8,7,13 แทนพนักงาน F 3. ทำงานแทน B ในขั้นตอนที่ 4 และ 7
B	1. ยังคงการทำงานในขั้นตอนที่ 5 2. ช่วยควบคุมเครื่องจักรใหม่ในขั้นตอนงานที่ 6 ย้าย C,D ไปช่วยขั้นตอนอื่น
C	ให้ทำงานขั้นตอนที่ 9,10 แทนพนักงาน E,F
D,E	ให้ทำงานขั้นตอนที่ 12 แทนพนักงาน G,H
F,G,H	ยกเลิกการทำงาน ให้ย้ายไปทำงานในโรงงานในเครือ

### 3.4 ผลการปรับปรุงกระบวนการผลิต

จากการนำเสนอแนวทางในการปรับปรุงข้างต้น ได้นำข้อมูลดังกล่าวไปปรับปรุงการผลิตจริงได้ผลดังต่อไปนี้



ภาพที่ 2 รอบเวลาและเวลาในการผลิตขวด HDPE หลังการปรับปรุง

จากภาพที่ 2 เห็นได้ว่า Takt time จากกระบวนการผลิตลดลงจาก 5.00 วินาที/ ชิ้น เหลือ 4.00 วินาที/ ชิ้น ซึ่งสามารถผลิตขวดได้ทันได้ตรงป้ดปรุงระบบนี้การผลิตได้ตรงตามที่ 3 ตัวอย่างได้ตั้งไว้ 4.05 วินาที/ชิ้น ลดรอบเวลาในการผลิตรวมจาก 15.01วินาที/ ชิ้น เป็น 11.01วินาที/ชิ้น ในตารางที่ 5 ตารางที่ 5 เปรียบเทียบรอบเวลา ก่อนและหลังการปรับปรุง

ขั้นตอนหลัก	ขั้นตอนย่อย	สถานีงาน	เวลาทำงาน (วินาที)	
			ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
จัดเตรียมเม็ดพลาสติก	1	ขนย้ายเม็ดพลาสติกไปผสม	0.09	0
	2	ผสมเม็ดพลาสติก	0.4	0
	3	ขนย้ายเม็ดพลาสติกที่ผสมแล้วไว้ในสต้อกรองเป่า	0.02	0
เป่าขวดพลาสติก	4	ขนย้ายเม็ดพลาสติกที่ผสมแล้วใส่เครื่องเป่า	0.03	0.03
	5	เป่าขวดน้ำ HDPE	5	4
	6	ลบครีบหัวและท้ายขวด	5	3
	7	ขนย้ายขวดน้ำไปไว้ในสต็อกขวด	0.01	0.01
พิมพ์ลายขวดพลาสติก	8	ขนย้ายขวดน้ำไปพิมพ์ลาย	0.02	0.02
	9	ป้อนขวดเข้าเครื่องพิมพ์ลาย	1	1
	10	เครื่องพิมพ์ลาย	1	1
	11	รอขวดแห้ง	1	1
	12	บิหื้อและตรวจสอบคุณภาพ	1.39	0.9
	13	ขนย้ายเข้าสต็อก	0.05	0.05
รวม			15.01	11.01

งานในขั้นตอนที่ 12 ก่อนหน้าเป็นสถานีงานที่ทำงานไม่ทัน หลังจากปรับปรุงเห็นได้ว่าเวลาในการทำงานในสถานีงานนี้ลดลง ลดปัญหาการรอคอยงาน ทำให้การผลิตรวมจากเดิม 6,480 ชิ้น/9 ชั่วโมง เป็น 8,100 ชิ้น/9 ชั่วโมง ในตารางที่ 6 เปรียบเทียบกระบวนการปรับปรุงก่อนและหลัง

	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
กำลังการผลิตรวม (ใบ/9ชม.)	6,480	8,100

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบพนักงานก่อนและหลังการปรับปรุง

ลำดับงาน	ชื่องาน	พนักงานคนที่	
		ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
1	ขนย้ายเม็ดพลาสติกไปผสม		จัดเตรียม
2	ผสมเม็ดพลาสติก	A	ล่วงหน้า
3	ขนย้ายเม็ดพลาสติกไปใส่ต้อกรองเป่า		โดย A
4	ขนย้ายเม็ดพลาสติกใส่เครื่องเป่า	B	A
5	เป่าขวดน้ำ HDPE	B	B
6	ลบครีบหัวและท้ายขวด	C,D	เครื่องจักร
7	ขนย้ายขวดน้ำไปไว้ในสต็อกขวด	B	A
8	ขนย้ายขวดน้ำไปพิมพ์ลาย	F	A
9	ป้อนขวดเข้าเครื่องพิมพ์ลาย	E	C
10	เครื่องพิมพ์ลาย	F	C
11	รอขวดแห้ง	-	-
12	หีบห่อและตรวจสอบคุณภาพ	G,H	A,D,E
13	ขนย้ายเข้าสต็อก	F	A
รวม		8	5

นอกจากนี้ยังทำการ เปรียบเทียบผลการลดจำนวนพนักงานได้ 3 คน ดังแสดงในตารางที่ 7 ลดจำนวนคนงานลง ค่าแรงงานที่ประหยัดได้ 24,882 บาท ตารางที่ 8 ระยะเวลาคืนทุนหลังจากปรับปรุง

เดือน	เงินลงทุน	ค่าแรงงานที่ประหยัดได้	ระยะเวลาคืนทุน
0	96,000		
1		24,882	
2		24,882	
3		24,882	
4		24,882	96,000/24,882 = 3 เดือน 11 วัน

#### 4. สรุปและอภิปรายผล (Conclusion&Discussion)

การปรับปรุงกระบวนการผลิตขวดพลาสติกโดยใช้เทคนิคคลื่นมาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงโดยลดการสูญเสีย 7 ประการ (7 Wastes) ประการ โดยให้จัดเตรียมงานในสถานีงานที่ 1-3 ไว้ก่อนล่วงหน้าเวลางาน ให้คนที่ A ทำหน้าที่ขนย้ายทุกส่วนในสายการผลิตและเวลาว่างที่เหลือไปช่วยในขั้นตอนที่ 12 เพิ่มเครื่องจักรอัตโนมัติในการลบครีบหัวและท้ายขวดในขั้นตอนที่ 6 โดยทำงานได้ทีน้อยกว่า 5 วินาที/ชิ้น แทนคนทั้ง 2 คน ที่ทำงานรวมกัน 5 วินาที หลังจากการปรับปรุงกระบวนการผลิตจริง สามารถแก้ปัญหาการผลิตที่ไม่ทันต่อความต้องการ การเกิดการรอคอยงานในกระบวนการผลิต ซึ่งสามารถช่วยลดพนักงานในสายการผลิตลง 3 คน คิดเป็น 37.5% ลดรอบเวลาการผลิตจาก 5.00 วินาที/ชิ้น เป็น 4.00 วินาที/ชิ้น คิดเป็นลดรอบ

เวลาการผลิตลง 20% สามารถเพิ่มผลการผลิตรวมจากเดิม 6,480 ชิ้น/9 ชั่วโมง เป็น 8,100 ชิ้น/9 ชั่วโมง คิดเป็นเพิ่มการผลิตรวม 25% โดยการปรับปรุงกระบวนการต้องมีค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงแต่เมื่อไปคำนวณเปรียบเทียบกับค่าแรงงานที่ประหยัดได้ คิดเป็นระยะเวลาในการคืนทุน 3 เดือน 11 วัน ผลจากงานวิจัยนี้ช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพการผลิตให้กับอุตสาหกรรมพลาสติก SME และยังคงประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอื่นที่มีกรรมวิธีการผลิตคล้ายคลึงกันได้

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ วิศวกร และพนักงาน บริษัทเอ็มดับเบิลยูทีพลาสติก พาสท์ จำกัด ที่ให้การสนับสนุนและความร่วมมือในการเก็บข้อมูลและทดลองปรับปรุงกระบวนการ ในงานวิจัยครั้งนี้

#### 6. เอกสารอ้างอิง

6.1 เอกสารอ้างอิงภาษาไทย

- [1] นิพนธ์ บัวแก้ว. รู้จัก...ระบบการผลิตแบบลีน. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์สมาคมนักส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2551
- [2] นงนภัส ปรากฏวงศ์ ชันญญา วงษ์สายเชื้อ ประภาพร อินทร์จันทร์ รัชชานนท์ สิงห์แสง “การปรับปรุงสายการผลิต Frame Sub Assembly Seat Support: กรณีศึกษา บริษัท ไทยซัมมิท โกลด์ เพรส จำกัด” วารสารไทยการวิจัยด าเนินงาน ปีที่ 4 ฉบับที่ 2 (กรกฎาคม-ธันวาคม 2559)
- [3] ศุภนิตต์ สามารถ การประยุกต์ใช้ลีนมาใช้ในการลดต้นทุนในการดำเนินงาน กรณีศึกษา โรงงานฉีดพลาสติก ชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน คณะโลจิสติกส์มหาวิทยาลัยบูรพา 2559
- [4] พฤทธิพงษ์ โพธิ์วาพรรณ (2548) การประยุกต์ใช้การผลิตแบบลีนในอุตสาหกรรมแบบผสม (แบบต่อเนื่อง-แบบช่วง): กรณีศึกษาโรงงานผลิตเหล็กรูปพรรณ วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- [5] รูปพรรณ ฐิติพร มุสิกนันท์ (2558) การประยุกต์ใช้หลักการการผลิตแบบลีนในการเพิ่มกำลังผลิตของกระบวนการ ผลิตปลาเส้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

- [6] อรรถพร อำชาญยืน (2557) การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวดพลาสติกโดยใช้ทฤษฎีการผลิตแบบลีน
- [7] [โสภิตา ศิลาอ่อน](#) (2552) การประยุกต์ใช้เทคนิคลีนและผังสายธารคุณค่าในการจัดการโซ่อุปทานของอุตสาหกรรมยาและเวชภัณฑ์
- [8] อรรถพล ม่วงเพชร (2559) การเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการชุบตัวไอซีโดยใช้แนวคิดของลีน กรณีศึกษาบริษัทประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์
- [9] สุวัฒน์ งามดี (2560) การประยุกต์ใช้แนวคิดลีนเพื่อลดเวลานำในกระบวนการ รายงานผลตัวชี้วัดของแผนกลยุทธ์ งานสมมนาทางวิชาการวิศวกรรมอุตสาหกรรมและการจัดการอุตสาหกรรม ครั้งที่ 1 ปี 2560
- [10] สิทธิพร พิมพ์สกุล “การปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตตามแนวความคิดของการผลิตแบบลีน กรณีศึกษาโรงงานปั๊มชิ้นรูปชิ้นส่วนโลหะ”, การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47, 17-20 มีนาคม พ.ศ. 2552, หน้า 311-318

## 6.2 เอกสารอ้างอิงภาษาอังกฤษ

- [1] Jafri MohdRohani et al (2558) Production Line Analysis via Value Stream Mapping: A Lean Manufacturing Process of Color Industry

RMUTP & FTI 5th Sustainable Industrial Management Engineering

## การพัฒนาเทคนิคการละลายปลาทูน่าแช่แข็งด้วยเทคโนโลยีไฟฟ้าสถิตจากไฟฟ้าแรงสูง Development of Frozen Tuna Thawing Technique Using High Voltage Electrostatic Technology

ชนนิกานต์ เกื้อทาน<sup>1</sup>, ปริญญ์ บุญนิษฐ<sup>2</sup>, สหรัตน์ วงษ์ศิริระ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร  
1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

[Chonnigan\\_14@hotmail.com](mailto:Chonnigan_14@hotmail.com)

<sup>2</sup>ฝ่ายผลิต บริษัท โกลเด้นไพร์ชแคนนิ่ง จำกัด

### บทคัดย่อ

การใช้ระบบไฟฟ้าสถิตจากไฟฟ้าแรงดันสูงเหนี่ยวนำในการทำละลายปลาทูน่าแช่แข็ง เป็นเทคนิคการควบคุมอุณหภูมิเนื้อปลา จาก  $-18^{\circ}\text{C}$  เป็น  $1-2^{\circ}\text{C}$  เท่าๆ กันตลอดทั้งตัวปลา ก่อนถึงกระบวนการนึ่ง และเมื่อนึ่งให้สุกที่อุณหภูมิ  $60^{\circ}\text{C}$  ผลปรากฏว่า ปลาที่มีผิวไหม้เล็กน้อย จากนั้นเมื่อเข้าสู่กระบวนการขูดปลาโดยการแยกหัวปลา หนังปลา และก้างปลาออกให้เหลือเพียงเนื้อปลาและเลือดปลา ปรากฏว่าปริมาณเนื้อปลาที่ได้คิดเป็น 45% ปริมาณเลือดที่ได้คิดเป็น 5% เมื่อเทียบกับวิธีการเดิม อุณหภูมิในตัวปลาก่อนนึ่งที่แกนกลางและผิวปลาแตกต่างกัน มีอุณหภูมิ  $-2^{\circ}\text{C}$  และ  $12^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ ทำให้เมื่อทำการนึ่งปลาเกิดผิวไหม้ และเป็นสาเหตุของการสูญเสียเนื้อปลابرืบริเวณผิวไหม้ ให้ผลผลิตเนื้อปลาเพียง 42% และทำให้เนื้อปลาแห้ง ปริมาณเลือดเพียง 3% สรุปได้ว่า กระบวนการละลายปลาด้วยเทคนิคไฟฟ้าสถิตจากไฟฟ้าแรงดันสูง สามารถทำให้เกิดผลผลิตที่สูงขึ้น

**คำสำคัญ:** คุณภาพ; การละลายปลา; เทคโนโลยีไฟฟ้า; อุณหภูมิ

### Abstract

Use of static electricity from high voltage. It is a technique to control tuna temperature from  $-18^{\circ}\text{C}$  to  $1-2^{\circ}\text{C}$  all together. Before the cooking process and when cooked to the temperature  $60^{\circ}\text{C}$ . Appear tuna have a little burn skin. Then, when entering the tuna de-skinning process. By separating the heads, skin and bone from the body. Leave only meat and blood tuna. Appear the amount of tuna meat accounted for 45 %. The amount of tuna blood accounted for 5 %. Compared to the original method the temperature in the backbone and tuna skin are different. The temperature is  $-2^{\circ}\text{C}$  to  $12^{\circ}\text{C}$ . When cooking tuna, the skin tuna has burned, and Cause loss of tuna meat at burn skin. Only tuna meat 42 % and Dried tuna fillets. The amount of blood tuna is only 3 %. Concluding that the process of tuna thawing using Static electricity from high voltage, can produce higher yields.

**Keywords:** Quality; Tuna Thawing; Electricity Technology; Temperature

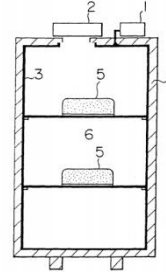
## 1. บทนำ (Introduction)

การละลายอาหารแช่เยือกแข็งเป็นขั้นตอนในการเตรียมที่สำคัญอย่างยิ่งในการแปรรูปอาหาร ปัจจุบันวิธีการละลายที่ใช้ในระดับอุตสาหกรรม ได้แก่ การแช่ในบ่อน้ำ เพื่อให้ น้ำเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน ซึ่งเป็นวิธีที่มีหลักการที่ง่ายและไม่ซับซ้อน แต่ใช้เวลาในการละลายที่ยาวนาน และส่งผลกระทบต่อ การสูญเสียคุณภาพของอาหารอย่างมาก เกิดการสูญเสียน้ำหนักในระหว่างการละลาย และการเสื่อมเสียของคุณภาพในสีและเนื้อสัมผัส รวมทั้งการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ นอกจากนี้ยังเสี่ยงต่อการปนเปื้อนสารพิษจากการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในระหว่างการละลายที่ยาวนาน [4]

การละลายอาหารแช่เยือกแข็ง สามารถแบ่งออกได้ 2 วิธีการตามลักษณะของกลไกการถ่ายเทความร้อนในระหว่างการละลาย ได้แก่ การใช้ตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนสู่ผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นวิธีการแบบดั้งเดิม และการสร้างความร้อนให้เกิดขึ้นภายในผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นเทคโนโลยีสมัยใหม่ [2] แต่ในปัจจุบันวิธีการละลายอาหารแช่เยือกแข็งในอุตสาหกรรม การแปรรูปในประเทศไทยนั้น ยังใช้วิธีการละลายด้วยวิธีการแบบดั้งเดิม เนื่องจากมีวิธีการควบคุมการทำงานที่ง่าย และค่าใช้จ่ายต่ำ อาทิเช่น การละลายปลาแช่เยือกแข็งด้วยวิธีการแช่ในบ่อน้ำ โดยใช้ น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน หรือที่เรียกว่า การละลายโดยใช้อากาศเป็นตัวกลาง [1] เช่น การวางซูริมิแช่เยือกแข็งทิ้งไว้ให้เกิดการละลายตามธรรมชาติ วิธีการละลายแบบดั้งเดิมนี้ มีอัตราการละลายช้า และใช้เวลานาน และใช้พื้นที่เป็นจำนวนมากซึ่งจะทำให้เกิดการสูญเสีย น้ำหนักของอาหารระหว่างการละลาย เนื่องจากในระหว่างการละลายผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กที่อยู่รอบๆ โครงสร้างเซลล์ในอาหารจะรวมตัวกันเป็นผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ซึ่งแทรกอยู่ระหว่างโครงสร้างเซลล์และคมของผลึกน้ำแข็งมีเกิดขึ้นจะทำให้ลายโครงสร้างเซลล์ในอาหาร ส่งผลทำให้ของเหลวภายในเซลล์เกิดการสูญเสีย หรือการสูญเสีย น้ำหนักในระหว่างการละลายแบบช้าๆ จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ อาหารสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ รวมถึงการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางกายภาพ และเคมีของอาหารแช่เยือกแข็งอย่างมาก นอกจากนี้ยังมีโอกาสเกิดความเสี่ยงของการปนเปื้อนสารพิษเนื่องจากการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ [3]

การละลายด้วยการใช้ไฟฟ้า เป็นแนวทางที่สำคัญในการพัฒนากระบวนการละลายด้วยวิธีการแช่ในน้ำ เนื่องจากช่วยเร่งการเปลี่ยนเฟสของน้ำแข็งให้มีระเบียบมากขึ้น สามารถช่วยเร่งอัตราการเปลี่ยนเฟสของผลึกน้ำแข็งและการถ่ายเทความร้อนจากภายในเนื้ออาหารแช่เยือกแข็ง ส่งผลให้เกิด

การสูญเสีย น้ำหนักระหว่างการละลายลดลง กลไกการละลายของอาหารแช่เยือกแข็ง เทียบกับการละลายโดยกลไกการถ่ายเทความร้อนแบบธรรมชาติ พบว่าการประยุกต์ไฟฟ้ามาใช้ในการละลายอาหารแช่เยือกแข็งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการละลาย



1. negative electron generator,  
2. freezer,  
3. conductive part,  
4. insulating part,  
5. frozen food,  
6. thawing chamber.

ภาพที่ 1 การละลายของอาหารแช่เยือกแข็งด้วยวิธีการใช้ไฟฟ้า [5]

สอดคล้องกับงานวิจัยของ Tatsukiyo [5] ซึ่งศึกษาการละลายเนื้อวัวและเนื้อปลาทูน่าแช่เยือกแข็งด้วยไฟฟ้า ซึ่งแม้ว่าการละลายโดยใช้ไฟฟ้าจะช่วยลดอัตราการสูญเสียคุณภาพของอาหารแช่เยือกแข็งได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตาม ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการละลายไฟฟ้ายังมีอยู่น้อย จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้ เพื่อแปรรูปปลาทูน่าแช่แข็งให้มีคุณภาพมากขึ้น ในด้านของเปอร์เซ็นต์เนื้อขาว เปอร์เซ็นต์เลือด และมีความต่างของอุณหภูมิแกนกลางและผิวปลาลดน้อยลง

## 2. วิธีวิจัย (Research Methodology)

ศึกษากระบวนการละลายปลาทูน่าแช่แข็งในปัจจุบันของโรงงานที่ทำการศึกษา โดยชนิดปลาที่มีการนำมาละลายเพื่อเข้าสู่ไลน์ผลิตคือ ปลาทูน่าสายพันธุ์ท้องแถบ (Skipjack) ลักษณะการละลายปัจจุบัน คือ ทำการเบิกปลาทูน่าแช่แข็งจากคลังห้องเย็น และนำมาละลายโดยใช้รอกเกี่ยวตะแกรงลงไปแช่ในบ่อน้ำ เมื่อทำการละลายเสร็จครบตามเวลาที่ระบุไว้ในวิธีการปฏิบัติงานแล้ว จะนำตะแกรงปลาขึ้นจากบ่อน้ำโดยใช้รอกเกี่ยวขึ้น แล้วเทลงบนรางผ่าปลา เพื่อวัดอุณหภูมิและทำการผ่าท้องควักไส้ในลำดับถัดไป

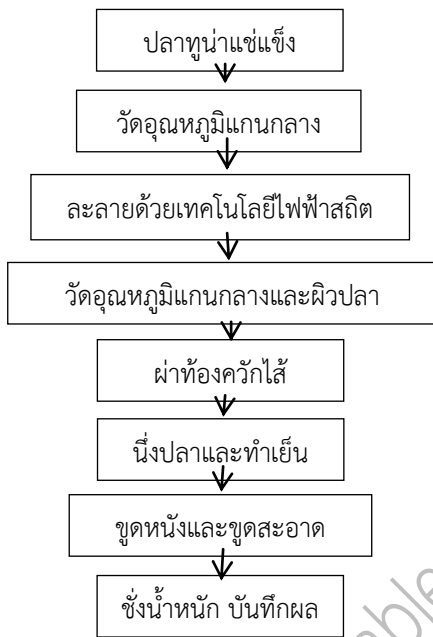


ภาพที่ 2 ปลาทูน่าท้องแถบที่ใช้ในการทดลอง



จากนั้นปรับเปลี่ยนการละลาย โดยใช้เทคโนโลยีไฟฟ้าแรงดันสูง 1300 โวลต์ แผนการทดลองและแผนผังการศึกษาคุณภาพของวิธีการละลายปลาทูน่าแช่แข็ง มีการแสดงแผนผังการทดลองสำหรับการศึกษานี้ไว้ในภาพที่ 3

วิธีการละลายโดยการใช้อิฟฟ้าสถิต : นำปลาทูน่าใส่ถังสแตนเลส แล้วใส่น้ำอุณหภูมิ 36-40 องศาเซลเซียส วัดโดยเทอร์โมมิเตอร์ชนิดดิจิตอล จนอุณหภูมิแกนกลางของปลาทูน่าสูงขึ้นถึง -2 องศาเซลเซียส ไม่เกิน 5 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 3 แผนผังการศึกษาคุณภาพหลังการละลายโดยใช้ไฟฟ้าสถิตของปลาทูน่าแช่แข็ง

หลังการละลายปลาทูน่าแช่แข็ง จะนำมาวัดอุณหภูมิแกนกลางตัวปลาและผิว เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างจากนั้นนำไปผ่าท้อง ควักไส้เพื่อดูสภาพปลา และนำไปนึ่งที่ตู้นึ่ง แล้วดูสภาพปลาหลังนึ่ง รวมถึง % เนื้อขาว % เลือดที่ได้ และเปรียบเทียบกับวิธีการละลายแบบแช่ในบ่อน้ำ

### 3. ผลการวิจัย (Results)

ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิแกนกลางตัวปลาและอุณหภูมิผิว :พบว่า เกิดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของทั้ง 2 วิธีการละลาย

การละลายโดยแช่ในบ่อน้ำ อุณหภูมิแกนกลางหลังละลายเฉลี่ยอยู่ที่ -1.6 องศาเซลเซียส อุณหภูมิผิวเฉลี่ยอยู่ที่ 11.6 องศาเซลเซียส ซึ่งต่างกัน 12 องศาเซลเซียส

การละลายโดยใช้อิฟฟ้าสถิตจากไฟฟ้าแรงดันสูง ใช้เวลาละลาย 5 ชั่วโมง อุณหภูมิแกนกลางหลังละลายเฉลี่ยอยู่ที่ -

2.0 องศาเซลเซียส อุณหภูมิผิวเฉลี่ยอยู่ที่ 1.7 องศาเซลเซียส ซึ่งต่างกัน 3.7 องศาเซลเซียส

ความแตกต่างหลังนึ่ง : พบว่า การละลายโดยใช้น้ำสภาพปลาหลังนึ่งมีผิวไหม้ หนังถลอก และผิวแห้ง ส่วนการละลายโดยใช้อิฟฟ้าสถิต สภาพปลาหลังนึ่ง เกิดการไหม้เล็กน้อยที่ผิวปลา ผิวปลาดลอกน้อยกว่า และผิวไม่แห้งมาก



ภาพที่ 4 สภาพปลาที่ละลายโดยแช่ในบ่อน้ำหลังนึ่ง



ภาพที่ 5 สภาพปลาที่ละลายโดยแช่ในบ่อน้ำหลังชูดหนัง



ภาพที่ 6 สภาพปลาที่ละลายโดยใช้อิฟฟ้าสถิตหลังนึ่ง



ภาพที่ 7 สภาพปลาที่ละลายโดยใช้อิฟฟ้าสถิตหลังชูดหนัง

ความแตกต่างของจำนวนเนื้อปลา หรือ %Yield : พบว่า ปลาทูน่าแช่แข็งที่ละลายโดยแช่ในบ่อน้ำ ผ่านกระบวนการผ่าท้อง ควักไส้ นึ่ง ชูดหนัง แกะก้าง ชูดเลือดแล้ว ได้จำนวนปลา 6,376 กิโลกรัม ได้จำนวนเนื้อปลาเท่ากับ 2,703 กิโลกรัม คิดเป็น 42.40 เปอร์เซ็นต์

และปลาทูน่าแช่แข็งจำนวน 6,487 กิโลกรัม หลังละลายโดยใช้อิฟฟ้าสถิต ผ่านกระบวนการผ่าท้อง ควักไส้ นึ่ง ชูด

หนัง แกะก้าง ขูดเลือดแล้ว ได้จำนวนเนื้อปลาทั้งหมด 2,934 กิโลกรัม เท่ากับ 45.23 เปอร์เซ็นต์

ความแตกต่างของจำนวนเลือดปลา : พบว่า จำนวนเลือดปลาทั้งหมดที่ได้จากปลาทูน่าแช่แข็งที่ผ่านการละลายแบบแช่ในบ่อน้ำเกลือ 3.82 % และจำนวนเลือดปลาทั้งหมดที่ได้จากปลาทูน่าแช่แข็งที่ผ่านการละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิต คือ 332.8 กิโลกรัม คิดเป็น 5.13 %

การทดลองทำทั้งหมด 3 ครั้ง ผลการทดลองสรุปได้ดังนี้  
**ตารางที่ 1 สรุปจำนวนเนื้อขาวและเลือดปลาของการละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิต**

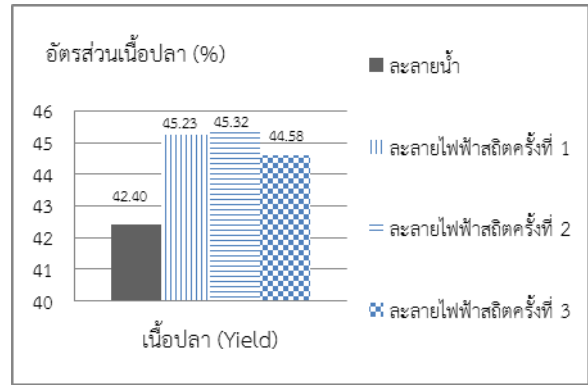
การทดลองที่	จำนวนปลาทูน่าแช่แข็ง (ตัน)	จำนวนเนื้อปลา (ตัน)	% Yield	จำนวนเลือดปลา (ตัน)	% เลือด
1	6.487	2.934	45.23	0.333	5.13
2	5.642	2.557	45.32	0.314	5.48
3	6.148	2.741	44.58	0.337	5.12

#### 4. อภิปรายผล (Discussion)

จากผลการทดลอง พบความแตกต่างของคุณภาพปลาในด้านต่างๆ จากวิธีการละลายปลาทูน่าแช่แข็งที่ต่างกัน ความแตกต่างในด้านของอุณหภูมิแกนกลางตัวปลา และผิวที่พบว่า การละลายปลาโดยไฟฟ้าสถิต ทำให้ความต่างของ BBT และผิวแตกต่างกันน้อยที่สุด ซึ่งเนื่องมาจากกลไกการถ่ายเทความร้อนเป็นการค่อยๆ ถ่ายเทความร้อน และจัดเรียงเฟสของน้ำแข็งให้เป็นระเบียบมากยิ่งขึ้น จึงทำให้อุณหภูมิของปลาในถังทั้งแกนกลางตัวปลาและผิวปลา มีความแตกต่างกันเล็กน้อย

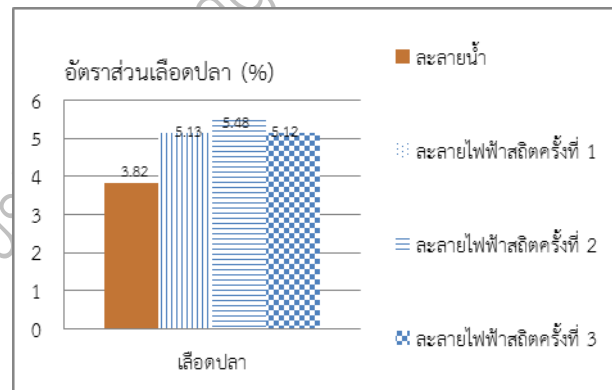
ความแตกต่างในด้านของสภาพหลังการนึ่งปลา พบว่า ปลาทูน่าแช่แข็งที่ผ่านการละลายปลาโดยใช้ไฟฟ้าสถิต มีสภาพที่ดีกว่าปลาทูน่าที่ละลายแบบแช่ในบ่อน้ำ และมีน้ำมันปลาบริเวณผิวปลาที่มากกว่า เนื่องมาจาก อุณหภูมิตั้งต้นของปลาทูน่าหลังละลายหรือก่อนการนึ่งที่สม่ำเสมอทั้งตัวปลา

ความแตกต่างของจำนวนเนื้อปลา หรือ %Yield พบว่า % Yield ของปลาทูน่าที่ละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิตสูงกว่าปลาทูน่าที่ละลายแบบแช่ในบ่อน้ำ ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ความแตกต่างของ % Yield ปลาทูน่าแช่แข็งระหว่างการละลายแบบใช้น้ำและการละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิต

ความแตกต่างของจำนวนเลือดปลา หรือ %เลือด พบว่า % เลือด ของปลาทูน่าที่ละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิตสูงกว่าปลาทูน่าที่ละลายแบบแช่ในบ่อน้ำดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ความแตกต่างของ % เลือดปลาทูน่าแช่แข็งระหว่างการละลายแบบใช้น้ำและการละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิต

#### 5. สรุปผล (Conclusion)

การวิจัยครั้งนี้ ทำให้ทราบถึงความแตกต่างของคุณภาพในด้านต่างๆ หลังการละลาย ของปลาทูน่าแช่แข็งที่วิธีการละลายที่ต่างกัน คือ การละลายแบบใช้น้ำเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน และการละลายแบบใช้ไฟฟ้าสถิตเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน ทั้งความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิแกนกลางตัวปลาและผิวปลา ความแตกต่างของคุณภาพปลาหลังทำการนึ่ง % Yield และ % เลือด ที่แตกต่างอย่างชัดเจน ซึ่งจากการวิจัยสรุปได้ว่า การละลายปลาโดยการใช้น้ำเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนส่งผลให้คุณภาพของปลาทูน่า ในการนำเนื้อปลาไปใช้ในกระบวนการผลิตถัดไปได้ดีกว่า การละลายโดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนเพียงอย่างเดียว

## 6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือของอาจารย์ทุกท่านในสาขาวิศวกรรมการจัดการ อุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ซึ่งได้ให้คำแนะนำต่างๆในการทดลอง โดยเฉพาะท่าน ดร.ปริญญ์ บุญกนิษฐ ดร.ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล ผศ.สหรัตน์ วงษ์ศิระชะ ที่ให้การสนับสนุน รวมทั้งคำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่มิวิศวกร จากพัฒนาอาสา ที่ได้คำแนะนำในการละลายปลาและอุปกรณ์ ในการละลายปลาโดยใช้ไฟฟ้าสถิต และคุณไพศาล หวังธำรงค์วิทย์ กรรมการผู้จัดการ บริษัทโกลเด้นไพร์ช แคนนิ่ง จำกัด ที่ช่วยเหลือในการทดลองต่างๆด้วยดีตลอดมา ซึ่งให้คำแนะนำ ข้อเสนอแนะต่างๆ เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิจัย

## 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] น้ำฝน ไชยลังกา, ผลกระทบของวิธีการละลายต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพเนื้อไก่แช่เยือกแข็ง, คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยแม่โจ้, 2555
- [2] ฤทธิชัย อัครวราชันย์, การศึกษาค่าการนำไฟฟ้าและวิธีการละลายด้วย Ohmic ของซูริมิแช่เยือกแข็ง, โครงการงานวิศวกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี (วพ 149231), 2546
- [3] Miao, Y., Chen, J.Y. and Noguchi, A, Studies on ohmic Thaw of frozen surimi, Food Sci. Technol.Res.13(4), 296-300, 2007
- [4] Shirai, T. and Yoshikawa, T. Changes in components during freezing and thawing for food storage, Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi 50, 151-156, (in Japanese), 1999
- [5] Tatsukiyo, O. Process for thawing foodstuffs.Saiwaicho, Okayama-shi, 9-25, 1990

RMUTP & FTI 5th Sustainable Industrial Management Engineering

ผลกระทบของการให้ความร้อนหลังการเชื่อมโดยกรรมวิธีการเชื่อมเสียดทานแบบกวน  
ต่อคุณสมบัติทางกลของอลูมิเนียมเกรด A356 กับ AA6061  
Effect of post weld heat treatment by friction stir welding  
on mechanical properties grade A356 and AA6061 aluminum alloy joints

จิงกมล ลุยจันทร์<sup>1</sup>

<sup>1</sup> สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมการผลิต

คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ 77110

jinkamon.lui@rmutr.ac.th, jinkamon\_mate01@hotmail.com

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของการให้ความร้อนหลังการเชื่อมโดยกรรมวิธีการเชื่อมเสียดทานแบบกวนต่อคุณสมบัติทางกลของอลูมิเนียมเกรด A356 กับ AA6061 กำหนดให้ชิ้นงานทดลองมีขนาด 75 x 230 x 4 มิลลิเมตร ทำการเชื่อมด้วยสลักเกลียวแบบหัวเกลียว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของบ่า 18 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสลักเกลียวหมุนโต 6 มิลลิเมตร สลักเกลียวยาว 3.6 มิลลิเมตร ความเร็วรอบของสลักเกลียวกำหนดที่ 1000 รอบต่อนาที ความเร็วเดินเชื่อมโดยทดลองที่ 80 มิลลิเมตรต่อนาที ชิ้นงานผ่านกระบวนการทางความร้อนอบละลายของแข็ง (Solution Heat Treatment) ที่อุณหภูมิ 540 องศาเซลเซียส เวลา 12 ชั่วโมง และอบบ่มเทียม (Artificial Aging) ที่อุณหภูมิ 157 องศาเซลเซียส เวลา 4, 8, 12, 16, และ 20 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่าค่าความแข็งเฉลี่ยบริเวณตรงกลางแนวเชื่อม (SZ) ของชิ้นงานที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการทางความร้อน และอบบ่มเทียม เวลา 4, 8, 12, 16, และ 20 ชั่วโมง มีค่า 86.88 HV, 107.34 HV, 120.64 HV, 125.12 HV, 121.72 HV และ 123.99 HV ตามลำดับ

**คำสำคัญ (Key word):** การเชื่อมเสียดทานแบบกวน ; อลูมิเนียม ; ความร้อนหลังการเชื่อม

#### Abstract

The objective of this research was to study the effect of post weld heat treatment with friction stir welding on mechanical properties of grade A356 and AA6061 aluminum alloy joints. The experiment used workpieces with dimension of 75 x 230 x 4 mm. They were welded with thread probe which have 6 mm. diameter, 3.6 mm. length and 18 mm. diameter shoulder. The experiment rotational speed is constant at 1000 RPM and welding speed is 80 mm/min. The workpieces were undergone heat treatment by solution heat treatment, the solution heat treatment process at 540 degree Celsius for 12 hours. After that, they artificially aged at 157 degree Celsius again for 4, 8, 12, 16 and 20 hours. The experiment found that the average hardness at stir zone, had 86.88 HV, 107.34 HV, 120.64 HV, 125.12 HV, 121.72 HV and 123.99 HV respectively.

**Key word:** friction stir welding ; aluminum ; post weld heat treatment

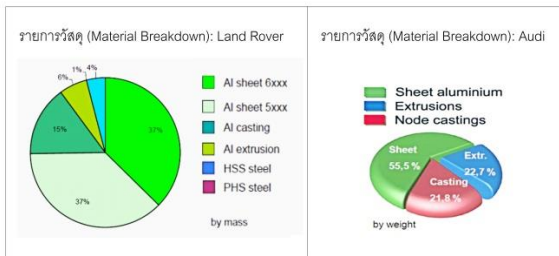
#### 1. บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมมีการพัฒนาทางด้านระบบการผลิตให้มีความทันสมัยเพื่อให้สินค้ามีคุณภาพสูงอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ โดยเฉพาะ

บริษัทผู้ผลิตรถยนต์ ระดับพรีเมียม เช่น BMW, Audi, Ferrari, Mercedes Benz และ Land Rover วัสดุที่ใช้ทำโครงสร้างรถยนต์ส่วนใหญ่ ประกอบไปด้วย อลูมิเนียม (Al) และ เหล็กกล้าความแข็งแรงสูง (HSS) เป็นหลัก อลูมิเนียมที่



ใช้ทำส่วนประกอบรถยนต์ก็จะแบ่งเป็น อลูมิเนียมแผ่น เกรด 6xxx อลูมิเนียมผ่านกระบวนการอัดไหลขึ้นรูป เกรด 6xxx และ อลูมิเนียมหล่อ เกรด 3xx เป็นที่ทราบกันดีว่าอลูมิเนียม เกรดงานหล่อ เช่น Al-Si-Mg (A356) และ Al-Si-Cu (A319) มีความสามารถในการงานหล่อที่ดี สามารถหล่อชิ้นงานที่มีความซับซ้อนได้สูง ในชิ้นส่วนยานยนต์ที่มีการเชื่อมต่อกันระหว่าง ชิ้นส่วน 2 ชนิดที่มีความซับซ้อนสูงกับชิ้นส่วนที่มีลักษณะ เป็นแผ่นโดยผ่านการขึ้นรูปด้วยแรงทางกลนั้นจึงมีความ จำเป็นในกระบวนการผลิต เมื่อคิดเป็นรายการวัสดุ (Material Breakdown) ดังแสดงในภาพที่ 1 โดยส่วนใหญ่ วัสดุที่ใช้ทำโครงสร้างหลักของรถยนต์ เช่น อลูมิเนียมที่ผ่าน กระบวนการขึ้นรูปโดยการหล่อ (Casting Process) และ กระบวนการอัดไหลขึ้นรูป (Extrusion Process) [1] ใช้ทำ ส่วนประกอบชิ้นส่วนรถยนต์จำนวนมาก ดังนั้นกระบวนการ ในการจับยึดข้อต่อของชิ้นส่วนแต่ละชิ้นมีความสำคัญ อ้างอิง กระบวนการในการจับยึดข้อต่อจากฐานข้อมูล ดังแสดงใน ภาพที่ 2



ภาพที่ 1 รายการวัสดุที่ใช้ทำส่วนประกอบรถยนต์ Land Rover และ Audi [1]

จากสภาวะการแข่งขันที่รุนแรงมากขึ้นในอุตสาหกรรม ยานยนต์ ทำให้อุตสาหกรรมโรงประกอบและชิ้นส่วนได้รับ ผลกระทบ ทั้งในด้านการกดดันทั้งราคาและต้องพยายามใน การลดต้นทุนลง โดยที่ต้นทุนส่วนหนึ่งมาจากกระบวนการ เชื่อมชิ้นส่วนโครงสร้างรถยนต์ [2] ปัจจุบันมีกระบวนการ เชื่อมเสียดทานแบบกวน สามารถช่วยลดต้นทุนจาก กระบวนการผลิตได้ ซึ่งกระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวน (Friction Stir Welding; FSW) เป็นการเชื่อมโลหะในสภาวะ ของแข็ง (Solid State Welding) ที่คิดค้นโดยสถาบันการ เชื่อมอังกฤษ (The Welding Institute; TWI) เพื่อเชื่อมวัสดุ ที่ยากต่อการเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อมแบบหลอมปกติ เช่น อลูมิเนียม เป็นต้น

Joining technique	Number of joints or length of seal
Resistance spot welds	135
MIG welding	59.8 m
Friction stir welding	8.1 m
Adhesive bonding	76.2 m
Self-piercing rivets	1235
Clinch spots	213
Screws (incl. self-threading screws)	152
Tacks (ImpAcT)	14

ภาพที่ 2 แสดงเทคนิคการจับยึดข้อต่อรถยนต์ (Source: Mercedes-Benz) [1]

จากการเชื่อมในห้องทดลองสถาบันการเชื่อมอังกฤษ ซึ่ง ต่อมาเกิดการประยุกต์ใช้การเชื่อมดังกล่าวนิยมใช้กันอย่าง แพร่หลายในชิ้นส่วนอากาศยาน โครงสร้างเครื่องบิน และ ส่วนประกอบขีปนาวุธ มีงานวิจัยและการประยุกต์ใช้การ เชื่อมเสียดทานแบบกวน (Friction Stir Welding; FSW) ใน การเชื่อมอลูมิเนียม A356 [3] ได้แสดงให้เห็นว่า ความเร็ว รอบ ความเร็วการเดินเชื่อม มีผลต่อสมบัติทางกลของรอย เชื่อม สอดคล้องกันกับ (SSM) 356-T6 และ AA6061-T651 [4] ให้ความเห็นไว้ว่าความเร็วในการหมุนหัวกวนที่สูงขึ้น ส่งผลกระทบบต่อความต้านทานแรงดึงสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับความเร็วในการหมุนหัวกวนต่ำ ยังพบว่า (SSM) 356 [5] ในสภาวะการให้ความร้อนหลังการเชื่อม (T6) ส่งผลต่อ สมบัติทางกลสูงขึ้นและโครงสร้างจุลภาค เนื่องจากโลหะ วิทยาบริเวณแนวเชื่อมมีความละเอียดกว่าเนื้อโลหะเดิม [6] แต่อย่างไรก็ตามการเชื่อมเสียดทานแบบกวนของ อลูมิเนียมต่างชนิดกัน (ที่มีส่วนผสมทางเคมีต่างกัน) ที่ได้จาก กระบวนการหล่อ เกรด A356 เชื่อมเสียดทานแบบต่อชนกับ อลูมิเนียมเกรด AA6061 ที่ผ่านกรรมวิธีขึ้นรูปด้วยแรงทาง กล (Wrought Aluminium) และใช้เวลาในการอบบ่ม แตกต่างกันหลังการเชื่อม ซึ่งงานวิจัยประเภทนี้ยังมีจำนวน น้อยมากในการทำวิจัย

จากข้อมูลและเหตุผลดังกล่าวข้างต้นจึงเป็นที่มาของ โครงการวิจัย ศึกษาผลกระทบของการให้ความร้อนหลังการ เชื่อมโดยกรรมวิธีการเชื่อมเสียดทานแบบกวนต่อคุณสมบัติ ทางกลของอลูมิเนียมหล่อ A356 กับ อลูมิเนียมที่ขึ้นรูปด้วย แรงทางกล AA6061 โดยศึกษาถึงเวลาในการอบบ่มหลังการ เชื่อม ที่มีผลต่อการสมบัติทางกล อีกทั้งในอนาคตอาจจะนำ ผลการทดลองมาปรับปรุงและประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับ กระบวนการเชื่อมของอลูมิเนียมที่ผ่านการหล่อและ อลูมิเนียมที่ขึ้นรูปด้วยแรงทางกล (Wrought Aluminium) ในอุตสาหกรรมยานยนต์ จึงเป็นเรื่องที่ทำนายต่อวิศวกรรมและ

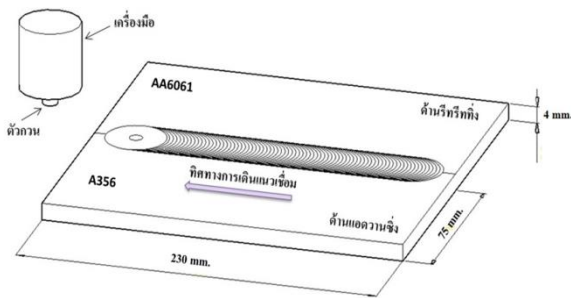


นักออกแบบต้องเผชิญกับกระบวนการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ด้านยานยนต์ที่มีคุณภาพตรงตามข้อกำหนดและต้นทุนต่ำ

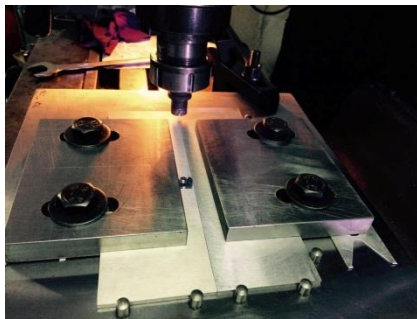
## 2. วิธีการทดลอง

### 2.1 การเชื่อมเสียดทานแบบกวน

ทำการเชื่อมบนอลูมิเนียมผสมเกรด A356 และ AA6061 รูปแบบการจัดวางชิ้นงานแสดงดังภาพที่ 3 กำหนดให้ชิ้นงานทดลองมีขนาด 75 x 230 x 4 มิลลิเมตร โดยนำชิ้นทดลองสองชิ้นมาต่อชนกันและยึดแน่นบนอุปกรณ์ (Fixture) ที่ถูกติดตั้งบนแท่นเครื่องกัดแนวตั้ง ดังภาพที่ 4 ภายใต้งานวิจัยนี้มีการทดลองซ้ำจำนวน 2 ครั้ง กลุ่มชิ้นงานเท่ากับ 12 ชิ้น



ภาพที่ 3 รูปแบบของการจัดวางชิ้นงาน



ภาพที่ 4 ตำแหน่งเชื่อมเสียดทานแบบกวนและการจับยึด

2.1.1 ตัวกวนรูปทรงกระบอกทำจากเหล็กกล้าเครื่องมืองานร้อน SKD61 ทำการเชื่อมด้วยสลักเกลียวแบบหัวเกลียว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของบ่า 18 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสลักเกลียวหมุนโต 6 มิลลิเมตร สลักเกลียวยาว 3.6 มิลลิเมตร เนื่องจากสลักชนิดเกลียวที่ใช้ในการเชื่อม นั้นส่งผลต่อรอยเชื่อมที่สมบูรณ์มากที่สุด [7], [10]

2.1.2 ความเร็วรอบของสลักเกลียวกำหนดที่ 1000 รอบต่อนาที ความเร็วเดินเชื่อมโดยทดลองที่ 80 มิลลิเมตรต่อนาที เพราะว่าส่งผลต่อคุณสมบัติทางกลที่ดีในการเชื่อมเสียดทานแบบกวนสำหรับอลูมิเนียมหล่อกับอลูมิเนียมผ่านการขึ้นรูปทางกล [8]

2.1.3 เียงมุมของเครื่องมือที่ใช้ในการเชื่อม 3 องศา เพราะว่าเป็นการประยุกต์เอาเครื่องกัดแนวตั้งมาเป็นเครื่องเชื่อมเสียดทานแบบกวน

### 2.2 กรรมวิธีทางความร้อนและการทดสอบสมบัติเชิงกล

2.2.1 จากตารางที่ 1 กระบวนการทางความร้อน T6 ประกอบด้วยขั้นตอนอบละลายของแข็ง (Solution Heat Treatment) ที่อุณหภูมิ 540 องศาเซลเซียส เวลา 12 ชั่วโมง และอบบ่มเทียม (Artificial Aging) ที่ 157 องศาเซลเซียส เวลา 4, 8, 12, 16, และ 20 ชั่วโมง หลังจากนั้นให้ชิ้นงานเย็นตัวในอากาศ

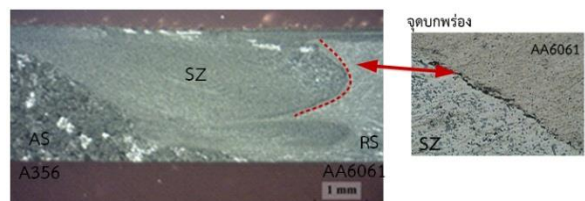
ตารางที่ 1 เงื่อนไขการทดลอง

ชิ้นงานเชื่อม	อบละลายของแข็ง		อบบ่มเทียม	
	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (ชั่วโมง)
1	non	non	non	non
2	540	12	157	4
3	540	12	157	8
4	540	12	157	12
5	540	12	157	16
6	540	12	157	20

2.2.2 การวัดค่าความแข็งจะวัดบริเวณหน้าตัดแนวเชื่อม ซึ่ง จะทำการวัดที่ระดับความสูงกึ่งกลางของความหนา โดยจะ วัดออกไปทางด้านซ้ายและด้านขวาของแนวเชื่อมรวม ทั้งหมด 19 จุด ในแต่ละจุดจะมีระยะห่างระหว่างจุด 1 มิลลิเมตร แรงที่ใช้ในการทดสอบ 100 กรัม และเวลาในการ กัด 10 วินาที อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM E18

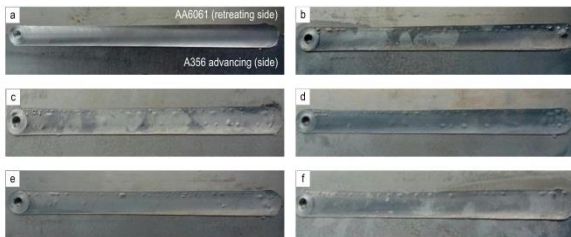
## 3. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

### 3.1 ผลการตรวจสอบแนวเชื่อมด้วยสายตา



ภาพที่ 5 โครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อม

เมื่อทำการเชื่อมเสียดทานแบบกวนอลูมิเนียมผสมเกรด A356 กับ AA6061 ด้วยความเร็วหมุนหัวกวน 1000 รอบต่อ นาที ความเร็วเดินเชื่อม 80 มิลลิเมตรต่อนาที เอียงแกนหมุน 3 องศา พิจารณาภาพตัดขวางรอยเชื่อม พบว่ารอยเชื่อมมี จุดบกพร่องบริเวณรอยต่อระหว่างแนวเชื่อมกับโลหะพื้นผิวด้าน AA6061 ดังแสดงในภาพที่ 5 จากนั้นนำชิ้นงานเชื่อมไปอบละลายของแข็งที่อุณหภูมิ 540 องศาเซลเซียส จากนั้นอบบ่มที่อุณหภูมิ 157 องศาเซลเซียส เวลา 4, 8, 12, 16, และ 20 ชั่วโมงแล้ว ได้ทำการพิจารณาแนวเชื่อมเกิดการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกัน โดยทำการพิจารณาแนวเชื่อมด้วย สายตา ในภาพที่ 6 (a) พบว่าลักษณะของผิวด้านบนของแนวเชื่อมก่อนอบละลายของแข็งมีลักษณะเรียบ สะอาด โดยที่ บริเวณแนวเชื่อมที่ผ่านกระบวนการทางความร้อน ดังภาพ 6 (b, c, d, e, f) เกิดการพองคล้ายฟองอากาศใต้ผิวแนวเชื่อมฝั่ง AA6061 เนื่องจากการเกิดการแตกร้าจากการกวน ที่บริเวณแนวเชื่อม ดังนั้นการอบละลายของแข็งที่อุณหภูมิสูง ทำให้บริเวณเกิดการแตกร้ามีอากาศฝังตัวอยู่ภายใต้แนวเชื่อมเกิดการดันตัวให้ผิวแนวเชื่อมพองออกมานอกผิวแนวเชื่อม สอดคล้องกับงานวิจัย Naktewan J. [9]

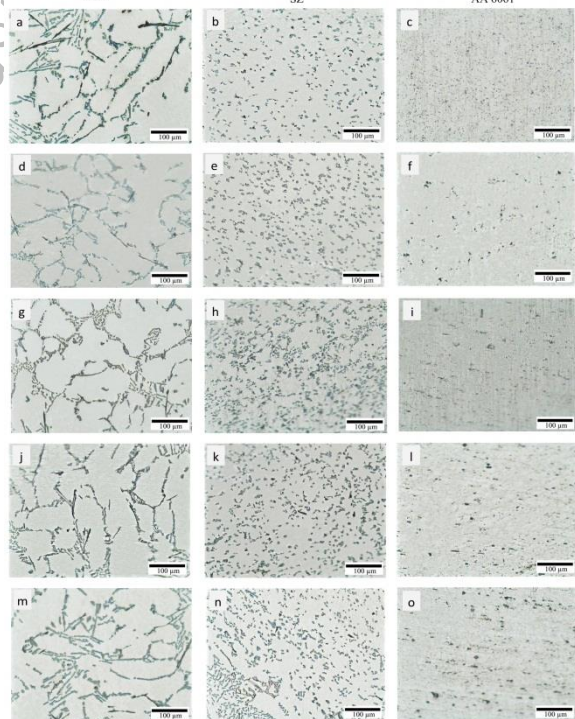
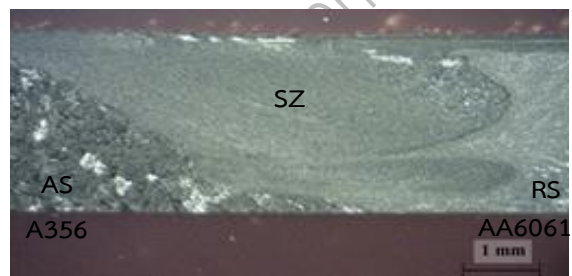


**ภาพที่ 6** ภาพชิ้นงานก่อนและหลังให้ความร้อน  
(a) ก่อนอบละลายของแข็ง (b) หลังอบบ่มเทียม 4 ชั่วโมง  
(c) หลังอบบ่มเทียม 8 ชั่วโมง (d) หลังอบบ่มเทียม 12 ชั่วโมง  
(e) หลังอบบ่มเทียม 16 ชั่วโมง (f) หลังอบบ่มเทียม 20 ชั่วโมง

### 3.2 ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

โครงสร้างจุลภาคชิ้นงานทดสอบหลังผ่านกระบวนการอบบ่มที่เวลา 4, 8, 12, 16 และ 20 ชั่วโมง แสดงในภาพที่ 7 (a, d, g, j, และ m) คือโลหะผสมอลูมิเนียมเกรด A356 โครงสร้างจุลภาคประกอบด้วยเฟสยูเทคติกซิลิคอน และเฟส  $Mg_2Si$  เมื่อพิจารณาลักษณะและรูปร่างพบว่า เวลาในการอบบ่มที่แตกต่างกันนั้น ส่งผลต่อลักษณะและรูปร่างของเฟสยูเทคติกซิลิคอนน้อยมาก ภาพที่ 7 (b และ e) แสดงบริเวณที่มีการกวน (SZ) เวลาในการอบบ่ม 4 และ 8 ชั่วโมง ประกอบด้วยเฟสซิลิคอนที่มีขนาดเล็ก มีการกระจายตัวอยู่

ทั่วไป เมื่อเวลาในการอบบ่มสูงขึ้น 12, 16 และ 20 ชั่วโมง พบว่าจะเกิดการรวมตัวของเฟส  $Mg_2Si$  เกิดขึ้นในโครงสร้างจุลภาค ดังแสดงในภาพที่ 7 (h, k และ n) นอกจากนี้ยังพบว่าที่เวลาในการอบบ่ม 20 ชั่วโมง มีการฟอร์มตัวของเฟส  $\alpha-Al_{15}(Mn,Fe)_3Si_2$  เป็นตัวอักษรจีน เกิดขึ้น เป็นผลมาจากปริมาณธาตุแมงกานีสที่มีปริมาณสูงจากฝั่ง AA6061 ถูกกวนเข้ามาผสมกัน ภาพที่ 7 (c, f, i, l และ o) คือโลหะผสมอลูมิเนียมเกรด AA6061 โครงสร้างจุลภาคประกอบด้วยเฟส  $Mg_2Si$  และ  $FeAl_3$  เมื่อพิจารณาลักษณะและรูปร่างพบว่า เวลาในการอบบ่มที่แตกต่างกันนั้น ส่งผลต่อลักษณะและรูปร่างของเฟส  $Mg_2Si$  เมื่อเวลาในการอบบ่มเพิ่มมากขึ้นเฟส  $Mg_2Si$  มีแนวโน้มที่จะเกิดการรวมตัวกันและขยายตัวใหญ่ขึ้น

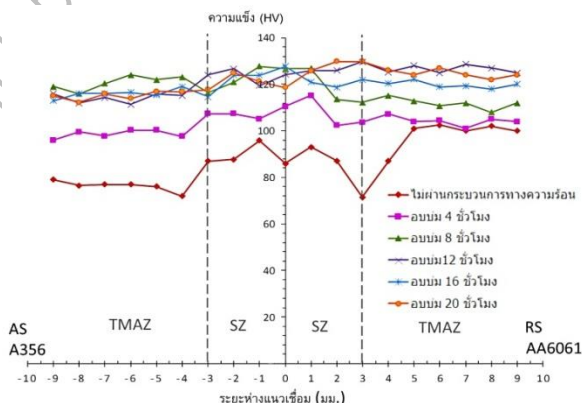


**ภาพที่ 7** โครงสร้างจุลภาค (a, b, c: ผ่านการอบบ่ม 4 ชั่วโมง) (d, e, f: ผ่านการอบบ่ม 8 ชั่วโมง) (g, h, i: ผ่านการอบบ่ม 12 ชั่วโมง) (j, k, l: ผ่านการอบบ่ม 16 ชั่วโมง) (m, n, o: ผ่านการอบบ่ม 20 ชั่วโมง)

**ภาพที่ 8** ค่าความแข็งขึ้นงานทดสอบเวลาใน การอบบ่ม  
แตกต่างกัน

**3.3 ผลการทดสอบความแข็งบริเวณแนวเชื่อม**

จากการทดลองความแข็งบริเวณแนวเชื่อม ด้วยเครื่องทดสอบความแข็งไมโครวิกเกอร์ ที่ใช้แรงกด 100 กรัม เวลาในการกด 10 วินาที ดังแสดงในภาพที่ 8 พบว่าชิ้นงานที่ไม่ผ่านกระบวนการทางความร้อนจะมีค่าความแข็งต่ำด้านพื้นเนื้อโลหะเดิมและบริเวณรอยเชื่อมบริเวณที่มีการทวน (SZ) เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานผ่านกระบวนการทางความร้อน T6 ในทุกช่วงอุณหภูมิในการทดลอง เมื่อสภาวะทางความร้อนเข้ามามีส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการเชื่อม เนื่องมาจากกระบวนการทางความร้อนมีอิทธิพลต่อสมบัติทางกลในด้านความแข็ง ทำให้การละลายตัวของเฟส  $Mg_2Si$  แทรกซึมเข้าสู่เนื้ออลูมิเนียมได้ดี ทำให้สามารถเพิ่มค่าความแข็งได้[12] เมื่อขึ้นงานผ่านกระบวนการทางความร้อน T6 เวลาในการอบบ่ม 4 ชั่วโมง จะมีค่าความแข็งต่ำทางด้านพื้นเนื้ออลูมิเนียมและบริเวณรอยเชื่อมเมื่อถูกเปรียบเทียบ จากช่วงอุณหภูมิ 8, 12, 16 และ 20 ชั่วโมง เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการอบบ่มนั้นส่งผลให้เกิดกลไกการตกผลึกที่ทำให้เกิดเฟส  $Mg_2Si$  ไม่สมบูรณ์ อย่างไรก็ตาม เมื่อเวลาในการอบบ่มที่ 8, 12, 16 และ 20 ชั่วโมง ส่งผลต่อค่าความแข็งมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน และค่าความแข็งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากเกรนบริเวณแนวเชื่อมเกิดกลไกการตกผลึกของเฟส  $Mg_2Si$  กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ในเนื้อพื้นของเฟส  $\alpha$  ซึ่งเกิดจากการแพร่ของอะตอมแมกนีเซียมและซิลิคอนมาจากสารละลายอิ่มตัว[11] มีผลทำให้ความแข็งของโลหะเพิ่มสูงขึ้น และจากกราฟพบว่าค่าความแข็งเฉลี่ยบริเวณกลางแนวเชื่อม (SZ) ชิ้นงานไม่ผ่านกระบวนการทางความร้อนประมาณ 86.88 HV และผ่านการอบบ่ม 4 ชั่วโมง ประมาณ 107.34 HV ผ่านการอบบ่ม 8 ชั่วโมง ประมาณ 120.64 HV ผ่านการอบบ่ม 12 ชั่วโมง ประมาณ 121.72 HV และค่าความแข็งเฉลี่ยบริเวณกลางแนวเชื่อม (SZ) ผ่านการอบบ่ม 20 ชั่วโมง ประมาณ 123.99 HV



**5. สรุปผล**

- 1 กระบวนการทางความร้อน T6 ที่เวลาในการอบบ่มแตกต่างกันส่งผลต่อค่าความแข็งของแนวเชื่อมที่ผ่านกระบวนการเชื่อมโดยใช้แรงเสียดทานแบบทวน
- 2 เวลาในการอบบ่มที่เหมาะสมอยู่ในช่วงเวลา 8 ชั่วโมง เพราะค่าความแข็งเฉลี่ยบริเวณแนวเชื่อมมีแนวโน้มใกล้เคียงกับช่วงเวลาในการอบบ่ม 12, 16 และ 20 ชั่วโมง
- 3 เวลาในการอบบ่มนานเกินไปไม่ส่งผลต่อค่าความแข็งเฉลี่ยบริเวณกลางแนวเชื่อม (SZ) ให้มีความแข็งสูงกว่าโลหะพื้นเดิม

**6. กิตติกรรมประกาศ**

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ สัญญาเลขที่ A-6/2559 ผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

**7. เอกสารอ้างอิง**

- [1] European Aluminium. Aluminium Automotive Manual Version 2013© European Aluminium Association. (<http://www.european-aluminium.eu>), (2013).
- [2] Arularasu, S., & Jothilingam, A. (2012). Design and Development of Low Cost Friction Stir Welding Machine. IEEE-International Conference on Advances in Engineering, Science and Management (ICAESM -2012), 30-31 March 2012, (pp. 305-311).
- [3] Jayaraman, M., & Balasubramanian, V. "Effect of process parameters on tensile strength of friction stir welded cast A356 aluminium alloy joints", Transactions of Nonferrous Metals Society of China , 23, 605-615, 2013.
- [4] Tehyo M. et al., "Influence of friction stir welding parameters on metallurgical and mechanical properties of dissimilar joint between semi-solid metal 356-T6 and aluminum alloys 6061-T651" Songklanakarin J. Sci. Technol, 34 (4), 415-421, 2012.
- [5] Boonchouytana W. et al., "Effect of Pre/Post Heat Treatment on the Friction Stir Welded SSM356 Aluminum Alloys", Procedia

- Engineering, 32, 1139 – 1146, 2012.
- [6] Boonchouytan W. et al., “Influences of post-weld Heat Treatment T6 of Friction Stir Welding Aluminum Semi-Solid Metal 6061” Engineering Journal of Siam University, 15(1), 23-37, 2014.
- [7] Zhao Y. et al., “The influence of pin geometry on the bonding and mechanical properties in friction stir weld 2014 Al alloy”, Materials Letters, 59, 2948-2952, 2005.
- [8] Ghosh M. et al., “Optimization of friction stir welding parameters for dissimilar aluminum alloys” Materials and Design, 31(2010), 3033–3037, 2010.
- [9] Naktewan J., “Friction Stir Welding of Semi Solid Cast 7075 Alloy”. A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Engineering in Materials Engineering, Prince of Songkla University, 2012.
- [10] ILANGO VAN M., et al., “Effect of tool pin profile on microstructure and tensile properties of friction stir welded dissimilar AA 6061 & AA 5086 aluminium alloy joints”, Defence Technology, 11, 174-184, 2015.
- [11] Abdulwahab M. et al., “Effect of multiple-step thermal ageing treatment on the hardness characteristics of A356.0 type Al-Si-Mg Alloy”, Materials and Design, 32, 1159-1166, 2011



## การเขียนโปรแกรมทำนายค่าความดันไอของสารอินทรีย์ประเภท นอนอิเล็กโทรไลต์โดยวิธี Group contribution

### Vapor Pressure of Non-Electrolyte Organic Compound Estimating Program By Group contribution Method

สารก ไชยกุลชื่นสกุล<sup>1</sup>, ภาณุรุจ อัครเลิศพลากร<sup>1</sup>, ศศิพงษ์ สมศรี<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

99 หมู่ 18 ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

[csatok@engr.tu.ac.th](mailto:csatok@engr.tu.ac.th)

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำวิธีการ Group เปรียบเทียบความแม่นยำกับโปรแกรมคำนวณของ DORTMUND DATA BANK SOFTWARE & SEPARATION TECHNOLOGY (DDBST) ซึ่งใช้วิธีการ Group contribution ของ Moller B และคณะทำนายค่าความดันไอ ของสารอินทรีย์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ สารอินทรีย์กลุ่มไฮโดรคาร์บอน (3 สาร) ,สารกลุ่มแอลกอฮอล์ (3 สาร) กลุ่มกรดคาร์บอกซิลิก (1 สาร) กลุ่มอีเธอร์ (1 สาร) กลุ่มออกไซด์ (2 สาร) และกลุ่มเอสเทอร์ (2 สาร) วิเคราะห์ผลด้วยค่า Average Percentage Absolute Error (APAE) ผลการทำนายพบว่า โปรแกรมทำนายค่าความดันไอได้ใกล้เคียงกับผลการทดลอง โดยมีค่า APAE น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับโปรแกรม DDBST ยกเว้นในกลุ่มสารออกไซด์ ที่โปรแกรมทำนายมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงเกินไป และกลุ่มสารเอสเทอร์ ที่โปรแกรมทำนายมีค่าสูงกว่าโปรแกรม DDBST

#### Abstract

This research used the Moller B 's Group Contribution Method to estimate vapor pressure to compare the DORTMUND DATA BANK SOFTWARE & SEPARATION TECHNOLOGY (DDBST), which is estimated by using the same method. This research compares the experimental data and the estimated value by calculating Average Percentage Absolute Error (APAE) of 6 types of non-electrolyte organic compound which include 3 hydrocarbons, 3 alcohols, a carboxylic acid, a ether, 2 oxide and 2 ester. The result of comparison showed that the estimating program is more accurate than DDBST excepted in the oxide substances that the calculation is not accurate. Also in the ester, the calculation has APAE slightly higher than DDBST.

**คำสำคัญ (Key word):** Vapor Pressure; Estimation; Group contribution; DDBST

## 1. บทนำ (Introduction)

ในโรงงานมีสารมากมายหลายชนิดที่ใช้ในกระบวนการผลิต จึงจำเป็นต้องรู้สมบัติต่างๆของสารนั้น จึงจะสามารถใช้ได้ อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย ซึ่งมีสารเพียงบางชนิดที่มีข้อมูลสมบัติเหล่านี้้อย่างละเอียดในอุณหภูมิที่แตกต่างกัน หากต้องการทราบค่าอย่างละเอียด ก็ต้องอาศัยการทดลองหลายครั้ง ซึ่งทำให้เสียเวลาและค่าใช้จ่ายมาก การใช้โปรแกรมในการทำนายสมบัติเหล่านี้จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะทำให้เกิดความสะดวก รวดเร็วมากขึ้น การสร้างโปรแกรมเพื่อทำนายสมบัติของสารจึงเป็นงานที่ทำทางวิศวกรรมอย่างหนึ่ง

ความดันไอเป็นสมบัติหนึ่งที่มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรม เนื่องจากความดันไอนี้มีผล ต่อการทำงานของอุปกรณ์หลายประเภทในโรงงานที่มีความเกี่ยวข้องกับเทอร์โมไดนามิกส์ การออกแบบการทำงานในโรงงานจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงความดันไอของสารแต่ละประเภทที่ใช้ ไม่ว่าจะเป็นการออกแบบหอกลั่น การจัดเก็บสารเคมี แม้กระทั่งการขนส่งทางท่อ ที่จำเป็นจะต้องคำนวณความดันไอเพื่อไม่ให้เกิดฟองในของเหลว นอกจากนี้ยังสำคัญต่อผลกระทบของสารเคมีในสิ่งแวดล้อม เพราะความดันไอนี้มีผลต่อสัมประสิทธิ์การกระจายตัว ระหว่างอากาศและองค์ประกอบทางเคมีอื่น ๆ ความดันไอเป็นสมบัติทางเทอร์โมฟิสิกส์ที่สำคัญที่สุดเป็นอันดับสองรองจากสมบัติที่ภาวะวิกฤตของสาร ปกติแล้ววิศวกรคำนวณหาความดันไอจากสมการ Antoine

$$\ln P = A - \frac{B}{T-C} \quad \text{โดย } P \text{ คือความดันไอ } T \text{ คืออุณหภูมิ}$$

และค่า A B C เป็นค่าคงที่ของแต่ละสาร และหาได้จากผลการทดลอง

ในงานวิจัยของ Moller B. และคณะ<sup>(1)</sup> ได้มีการต่อ ยอดการทำวิจัยเกี่ยวกับการประมาณค่าความดันไอจากโครงสร้างโมเลกุล เพื่อให้เกิดความแม่นยำมากยิ่งขึ้น โดยคณะผู้จัดได้ ข้อมูลของงานวิจัย Moller B. และคณะ<sup>(2)</sup> มาใช้เขียนโปรแกรมคำนวณค่าความดันไอ

## 2. วิธีวิจัย (Research Methodology)

ความดันไอของสาร เป็นไปตามสมการ Clapeyron

$$\frac{d \ln P}{d(1/T)} = - \frac{\Delta H_{vap}}{R \Delta Z} \quad (1)$$

โดยพจน์  $-\frac{\Delta H_{vap}}{R \Delta Z}$  ได้รับการหาค่าและนำไปสู่สมการ

Antoine

ส่วนวิธี Group contribution เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ทำนายสมบัติของสารบริสุทธิ์ เช่น อุณหภูมิจุดเดือด ความดันไอ เป็นต้น โดยอาศัยหลักการว่าแต่ละหมู่ฟังก์ชันในสารบริสุทธิ์มีค่า Contribution จำเพาะต่อหมู่ฟังก์ชันนั้น ซึ่งสามารถคำนวณหาสมบัติของสารที่ต้องการทราบได้ จากผลรวมของจำนวนความถี่ของหมู่ฟังก์ชันในสารคูณกับค่าคอนทริบิวชันของสารนั้นๆ

Nannoolal Y. และคณะ<sup>(2)</sup> ได้พัฒนาวิธีการรูปคอนทริบิวชันเพื่อใช้ทำนายค่าความดันไอ โดยแสดงดังสมการต่อไปนี้

$$\log P(\text{atm}) = (4.1012 + dB) \left( \frac{\frac{T}{T_b} - 1}{\frac{T}{T_b} - \frac{1}{s}} \right) \quad (2)$$

โดย dB เป็นค่าที่คำนวณจากกลุ่มพันธะในสาร ต่อมา<sup>(1)</sup> Moller B. และคณะ<sup>(2)</sup> ได้นำงานวิจัยของ Nannoolal Y. และคณะ มาพัฒนาต่อเพื่อให้ การคำนวณมีความแม่นยำมากขึ้น

$$\ln P(\text{atm}) = B' \frac{T-T_b}{T-C(T_b)} + D' \ln \frac{T}{T_b} \quad (3)$$

โดย T คืออุณหภูมิ (K) และ T<sub>b</sub> คืออุณหภูมิจุดเดือดที่ความดันบรรยากาศ

$$B' = 9.42208 + \sum v_i dB_i \quad (4)$$

$$D' = D + \frac{1}{n_a} \sum v_i dE_i \quad (5)$$



$$C(T_b) = -2.65 + \frac{T_b^{1.485}}{135} \quad (6)$$

ซึ่ง  $v_i$  คือจำนวนพันธะในสาร  $dB_i$  และ  $dE_i$  คือค่าคงที่ของ  
กลุ่มพันธะ  $n_a$  คือจำนวนอะตอม (ไม่นับรวมไฮโดรเจน) ใน  
สาร, ค่า  $dB_i$  หาได้จากตารางในงานวิจัยของ Moller B  
และคณะ<sup>(2)</sup> และตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าคงที่ D และ  $dE_i$  ของ Group contribution

	D	$dE_i$
Aliphatic alcohols	-4.798	6.578
Aliphatic carboxylic acids	-7.162	41.830

วิธี Group contribution เพื่อคำนวณหาความดันไอ จำเป็น  
ต้องทราบโครงสร้างและพันธะในสาร ซึ่งลักษณะ file มาตรฐาน  
ที่นิยมเขียนกันคือ .mol และสามารถหา file นี้ของสาร  
ต่างๆ ได้จาก website ต่างๆ เช่น  
<http://www.chemspider.com/> ในกรณีที่เป็นสารที่สร้าง  
ขึ้นใหม่ หรือไม่มี file .mol ก็สามารถเขียนขึ้นได้เองจาก  
โปรแกรม เช่น molview การคำนวณทำโดยอาศัยโปรแกรม  
ที่เขียนขึ้นในโปรแกรม MatLab ซึ่งผลที่คำนวณได้ถูกเปรียบ  
เทียบกับผลการทดลอง และเปรียบเทียบกับโปรแกรม  
DDBST<sup>(3)</sup> (เป็นโปรแกรมเชิงพาณิชย์ ซึ่งอ้างว่าใช้หลักการ  
ของ Moller B. และคณะ ในการคำนวณเช่นกัน)

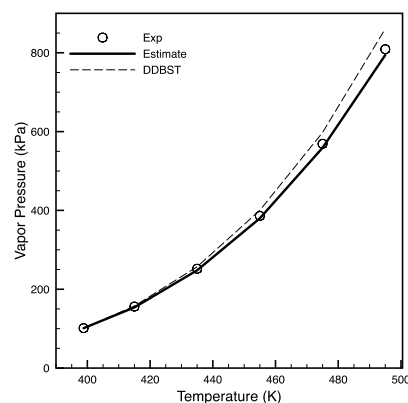
### 3. ผลการวิจัย (Results)

สารที่ใช้ในการเปรียบเทียบมีทั้งหมด 12 สาร ประกอบด้วยสารในกลุ่มไฮโดรคาร์บอน แอลกอฮอล์ กรดคาร์บอก-  
ซิลิก อีเธอร์ ออกไซด์ และเอสเธอร์ และผลการเปรียบเทียบ  
เป็นไปตามตารางที่ 2 ซึ่งพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนจาก  
โปรแกรม มีค่าต่ำกว่าโปรแกรม DDBST ยกเว้นสารในกลุ่ม  
ออกไซด์ ซึ่งโปรแกรมคำนวณค่ามีค่าความคลาดเคลื่อนสูง  
กว่ามาก และกลุ่มเอสเธอร์ ที่มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงกว่า  
โปรแกรม DDBST (เปรียบเทียบผลการทำนายกับผลการ  
ทดลองเป็นตามภาพที่ 1-12 โดยผลการทดลองนำมาจาก  
Beaton, C.F.<sup>(4)</sup>)

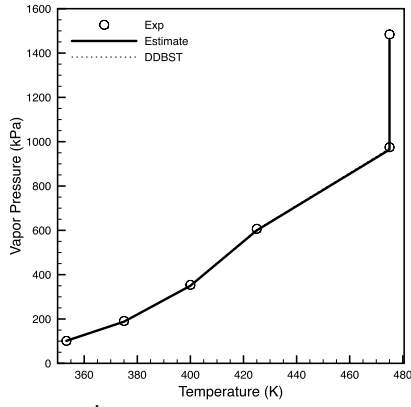
ตารางที่ 2 ค่าความคลาดเคลื่อน (AAE) ของความดันไอ  
ระหว่างผลการทดลอง กับ การคำนวณ และกับโปรแกรม  
DDBST

	$T_b$ (K)	APAE	APAE Calculate
DDBST			
Octane (415-495 K)	398.8	1.607	3.604
Benzene (375-475 K)	353.3	1.347	0.742
Toluene (400-500 K)	383.78	1.457	1.507
Ethanol (373-453 K)	351.3	2.681	3.796
Isopropanol (373-443 K)	355.65	2.79	11.778
Phenol (480-580 K)	455	2.836	10.478
Acetic acid (420-500 K)	391.15	9.465	72.061
Diethyl ether (323-403 K)	307.75	0.988	2.123
Ethylene Oxide (320-400 K)		283.5	10.848
		1.221	
Propylene oxide (320-400 K)		307.5	12.848
		1.358	
Methyl acetate (350-430 K)		331	7.369
		4.268	
Ethyl acetate (370-450 K)		350.25	2.426
		2.148	

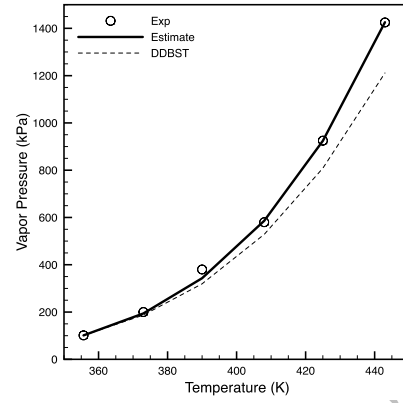
$$APAE = \frac{1}{N} \sum \left| \frac{Exp - X}{EXP} \right| \times 100$$



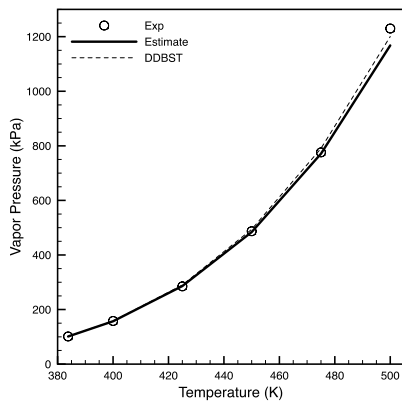
ภาพที่ 1 ความดันไอของ Octane



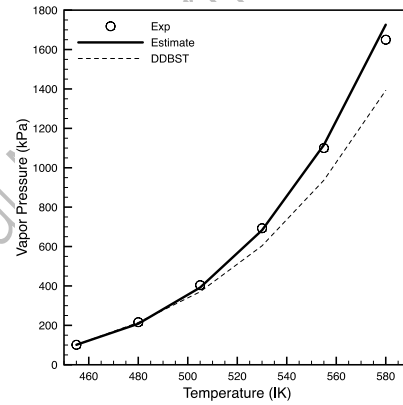
ภาพที่ 2 ความดันไอของ Benzene



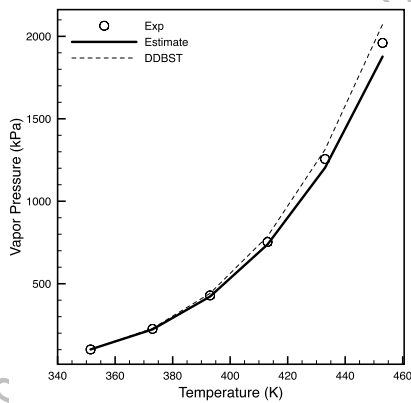
ภาพที่ 5 ความดันไอของ Isopropanol



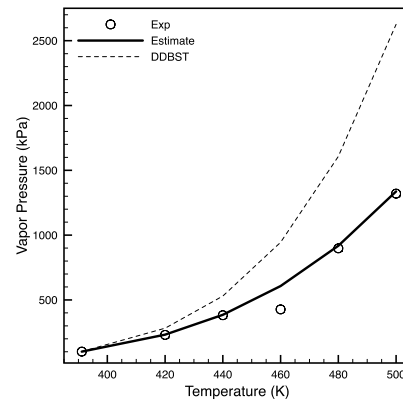
ภาพที่ 3 ความดันไอของ Toluene



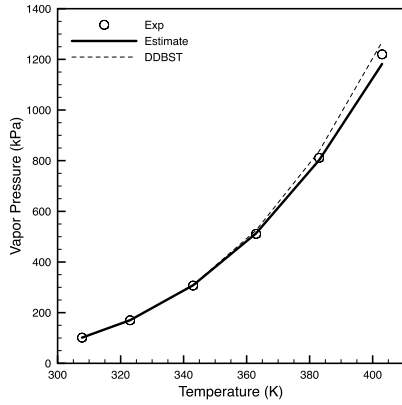
ภาพที่ 6 ความดันไอของ Phenol



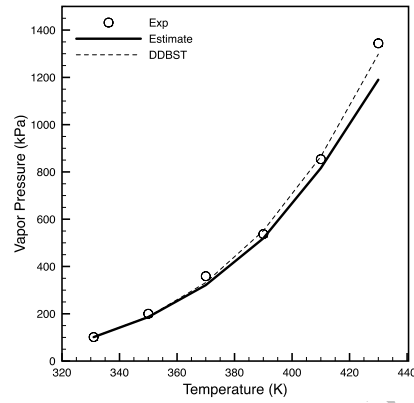
ภาพที่ 4 ความดันไอของ Ethanol



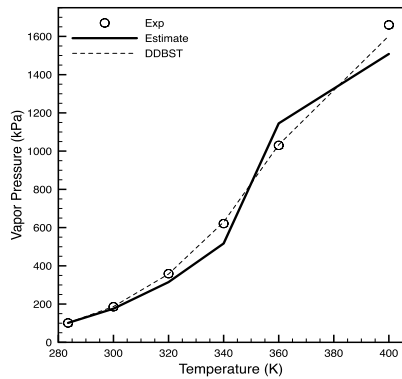
ภาพที่ 7 ความดันไอของ Acetic acid



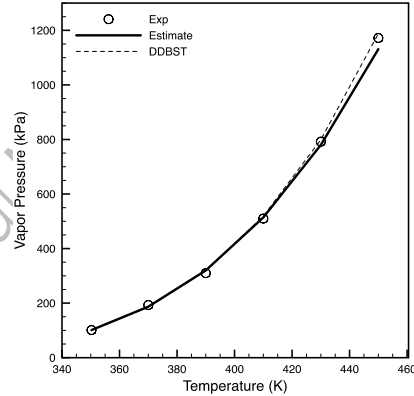
ภาพที่ 8 ความดันไอของ Diethyl ether



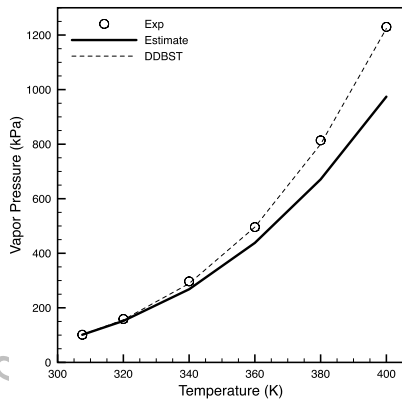
ภาพที่ 11 ความดันไอของ Methyl acetate



ภาพที่ 9 ความดันไอของ Ethylene Oxide



ภาพที่ 12 ความดันไอของ Ethyl acetate



ภาพที่ 10 ความดันไอของ Propylene oxide

#### 4. อภิปรายผล (Discussion)

จากตารางที่ 2 พบว่าโปรแกรมทำนายค่าความดันไอ มีค่า APAE ต่ำกว่า DDBST ซึ่งน่าจะเป็นเพราะการกำหนดค่า dB<sub>i</sub> และ dE<sub>i</sub> ที่แตกต่างกัน (ไม่สามารถทราบได้ว่า DDBST ใช้ค่าคงที่เหล่านี้เท่าใด) ส่วนในกลุ่มสารออกไซด์ นั้น โปรแกรมให้ค่าความคลาดเคลื่อนสูงกว่า เนื่องมาจากการกำหนดค่า dB<sub>i</sub> และ dE<sub>i</sub> ในโปรแกรมมีค่าเท่ากับในกลุ่มสารอีเธอร์

#### 5. สรุปผล (Conclusion)

วิธีการของ Moller B และคณะ และโปรแกรมที่เขียนขึ้นสามารถคำนวณหาความดันไอได้ใกล้เคียงกับผลการทดลองและมีความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าโปรแกรม DDBST แต่จำเป็นที่จะต้องตรวจสอบกับสารที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ขึ้น และต้องปรับปรุงในส่วนที่คำนวณของสารประเภท ออกไซด์ และเอสเตอร์ ให้มีความคลาดเคลื่อนลดลง ตลอดจนเพิ่มเติม

โปรแกรม ในส่วนของพันธะกับธาตุต่างๆ เช่น ไนโตรเจน  
และไอโอดีน เป็นต้น

## 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Moller B, Rarey J, Rajugernath D., “Estimation of the vapor pressure of non-electrolyte organic compounds via group contribution and group interaction” J. Mol. Liq., Vol143, 2008
- [2] Nannoolal Y, Rarey J, Ramjugernath D., “Estimation of pure component properties Part 3. Estimation of the vapor pressure of non-electrolyte organic compounds via group contributions and group interactions” Fluid Phase Equilib., Vol269, 2008
- [3] DORTMUND DATA BANK SOFTWARE & SEPARATION TECHNOLOGY (DDBST), ข้อมูลจาก [http://www.aim.env.uea.ac.uk/aim/ddbst/pcalc\\_main.php](http://www.aim.env.uea.ac.uk/aim/ddbst/pcalc_main.php) (วันที่สืบค้นข้อมูล 10 มกราคม 2559)
- [4] Beaton, C.F. Hewitt, G.F., Physical Property Data for the Design Engineer, Hemisphere Publishing Corporation, 1988

การศึกษาวิเคราะห์ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกและแนวทางการลด  
คาร์บอนฟุตพริ้นท์ โดยใช้เทคโนโลยีระบบดิจิทัล กรณีศึกษา  
รีสอร์ตแห่งหนึ่ง เกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี

Analytical studies Greenhouse gas emissions and reduction approaches  
Carbon Footprint Using Digital Case study at a resort in  
Koh Samui, Surat Thani Province.

นายวรินทร์ ฉิมน้อย<sup>1</sup>, สุวิมล แผงธีระสุขมัย<sup>1</sup>, พุทธิพงษ์ เลหะชัยวรกุล<sup>1</sup>, พลังวัชร แผงธีระสุขมัย<sup>1</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน

<sup>2</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมบำรุงรักษา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนประชากรราษฎร์ 1 เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

Poup\_2004@hotmail.com

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและแนวทางในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก จากกิจกรรมการดำเนินงานของรีสอร์ตกรณีศึกษาแห่งหนึ่งในอำเภอเกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี โดยนำอุปกรณ์ เครื่องมือระบบดิจิทัล มาประยุกต์ใช้สำหรับเก็บข้อมูลกิจกรรมที่เป็นแหล่งการปล่อยก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจก ด้วยวิธีการคำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ตามแนวทางขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) จากศึกษา พบว่าการนำระบบดิจิทัล เข้ามาดำเนินการรวบรวมข้อมูล ทำให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยก๊าซ เรือนกระจก สามารถตรวจสอบปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่สูงสุดในแต่ละช่วงเวลาได้ สามารถระบุข้อมูลก๊าซเรือน กระจกเป็นช่วงระยะเวลา เป็นรายวัน รายสัปดาห์ รายเดือน และรายปี โดยระบบดิจิทัลสามารถตรวจสอบการใช้ พลังงานไฟฟ้าขององค์กรนักศึกษาได้ทุกๆ 15 นาที โดยวัดจากช่วงเวลาที่ใช้จริงในขณะนั้น (Real time) โดยในช่วง เดือน มกราคม-ธันวาคม ปี 2560 รีสอร์ตกรณีศึกษามีการปล่อยคาร์บอน ฟุตพริ้นท์เท่ากับ 4,783.5 Ton Co<sub>2</sub> eq และมีปริมาณก๊าซเรือนกระจกต่อห้องพัก (Room Night) เท่ากับ 4.2 Ton Co<sub>2</sub> eq โดยผู้ทำการวิจัยได้พิจารณาข้อมูลปริมาณก๊าซเรือนกระจกสูงสุดของแต่ละวัน พบว่า ในช่วงระหว่างเวลา 14.00 น.-16.00 น. เป็นช่วงเวลาที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุด (Peak) ของรีสอร์ตกรณีศึกษา โดยการใช้ไฟฟ้าเป็นกิจกรรมที่ ก่อให้เกิดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงที่สุด มีปริมาณรวมทั้งสิ้น จำนวน 4215.1 Ton Co<sub>2</sub> eq การใช้ LPG มี ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 412.8 ton Co<sub>2</sub>eq คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 88.12% และ 8.63% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับทุกกิจกรรมที่เกิดขึ้นในองค์กร โดยกำหนดแนวทาง ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานด้วยการลดการใช้ไฟฟ้า 10% ซึ่งแนวทางดังกล่าวจะสามารถลดการปล่อย ก๊าซเรือนกระจกที่เกิดได้ 421.52 Ton Co<sub>2</sub> eq ต่อปีหรือ สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเฉลี่ยต่อ 1 ห้องพักได้ ในปริมาณ 0.4 Ton Co<sub>2</sub> eq ต่อ Room night

**คำสำคัญ:** “คาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร” “คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโรงแรม” “การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของรีสอร์ต”

## Abstract

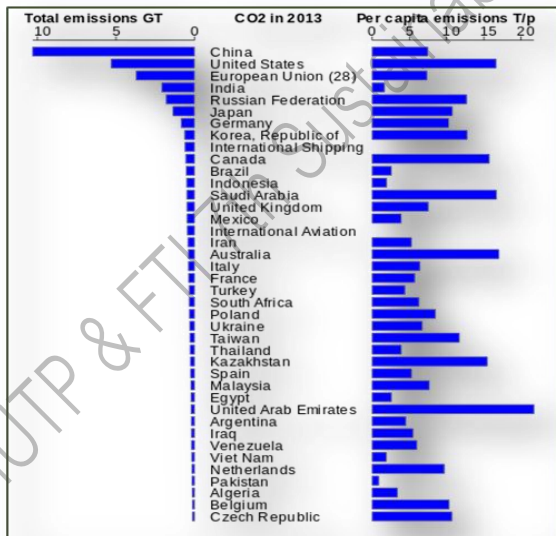
This research aims to study the amount of greenhouse gas emissions and the ways to reduce greenhouse gas emissions. Based on the activities of the resort, a case study in Koh Samui, Surat Thani by bringing digital tools. It is used to collect activity data as a source of emissions, resulting in greenhouse gases. How to Calculate Carbon Footprint According to the guidelines of the Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization). The study found that data gathering by technology Digital come to collect the data, that makes it easy to analyze the amount of greenhouse gas emissions. The highest amount of greenhouse gases can be monitored at any given time. GHG emissions can be specified on a daily, weekly, monthly and yearly basis. Digital systems can monitor the use of a case study every 15 minutes, measured by the actual period. (Real time) During January-December 2017, case studies have released carbon footprints. The amount of greenhouse gases is 4,783.5 Ton Co<sub>2</sub> eq and the amount of greenhouse gases per room is 4.2 Ton Co<sub>2</sub> eq. 2.00Pm-4.00Pm is the peak time of the resort's electricity. Using electricity is the activity that produces the highest amount of greenhouse gases. The total volume of greenhouse gas emissions was 412.8 tons Co<sub>2</sub>eq, equivalent to 88.12% and 8.63%, respectively, compared to all activities in the organization. By definition. Greenhouse gas emissions from energy use are reduced by a 10% reduction in electricity consumption, which can reduce greenhouse gas emissions by 421.52 Ton Co<sub>2</sub> eq per year or reduce average greenhouse gas emissions by one. 0.4 Ton Co<sub>2</sub> eq per Room night

Keywords: "carbon footprint of the organization," "carbon footprint of the hotel," "Resort greenhouse gas emissions"



## 1. บทนำ (Introduction)

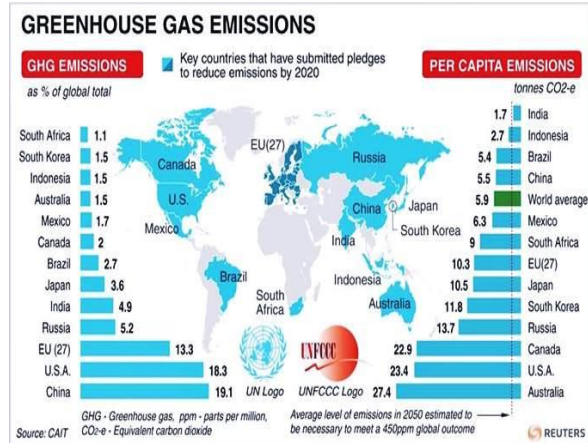
ภาวะโลกร้อน มีแนวโน้มทวีความรุนแรงมากขึ้น โลกต่างเผชิญกับปัญหาโลกร้อนซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตต่างๆที่อาศัยอยู่ในโลกเป็นอย่างมาก มีหลักฐานและปรากฏการณ์มากมาย ที่เกิดขึ้นกับโลกของเราเรื่องปัญหาเกี่ยวกับโลกร้อน ทำให้กลุ่มนักวิทยาศาสตร์คนทั่วโลกได้ร่วมกันศึกษา วิจัย และติดตามผลอย่างต่อเนื่องอย่างใกล้ชิดมานานหลาย 10 ปีแล้ว ซึ่งได้ผลยืนยันเป็นที่แน่ชัดว่าปัญหาโลกร้อน หรือ Global Warming กำลังก่อกวนโลกและเป็นปัญหาขั้นวิกฤติ ที่ทุกฝ่ายต่างต้องร่วมกันแก้ไข ดังนั้นใน พ.ศ. 2535 นานาชาติซึ่งได้ตระหนักถึงความสำคัญในปัญหาดังกล่าว จึงได้จัดตั้งรัฐภาคีว่าด้วยอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (United Nations Framework Convention on Climate Change - UNFCCC) เพื่อเป็นการบรรเทาและแก้ไขปัญหาโลกร้อนดังกล่าว ปัจจุบันอนุสัญญาของโลกได้เพิ่มสูงขึ้นอย่างมาก จากปี ค.ศ. 1880 ประมาณ 0.85 องศาเซลเซียส และมีปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศโลกประมาณอยู่ที่ประมาณ 401 PPM (อ้างอิงจากรายงาน AR 5 ของ IPCC 2014) จากการศึกษาพบว่าหากอุณหภูมิของโลกยังคงสูงขึ้นจนไม่สามารถหยุดยั้งการเปลี่ยนแปลงได้ และจะเกิดผลกระทบต่อมนุษย์ในโลกร้อนอย่างแน่นอน โดยกลุ่มประเทศอุตสาหกรรมที่มีอัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงที่ 20 ประเทศ ดังภาพ ที่ 1.1 (<https://static.guim.co.uk> 2013)



ภาพ 1.1 ลำดับประเทศที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงสุด

โดย สถิติดังกล่าวถูกรวบรวมไว้เมื่อปี เมื่อปี 2013 โดยมีการเปรียบเทียบกันระหว่าง กลุ่มประเทศอุตสาหกรรมชั้นนำของโลก 20 ประเทศที่มีการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ออกสู่ชั้นบรรยากาศ ในขณะที่เดียวกันก็มีการพยากรณ์ว่าภายในปี

ค.ศ. 2020 นี้ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจะทวีความรุนแรงอย่างต่อเนื่อง โดยกลุ่มประเทศอุตสาหกรรมชั้นนำขนาดใหญ่ของโลกยังคงมีการปล่อยปริมาณก๊าซเรือนกระจกมากเป็นอันดับต้นๆของโลก ปรากฏตามภาพถ่าย 1.2 แสดงการพยากรณ์การปล่อยปริมาณก๊าซเรือนกระจกใน ค.ศ. 2020



ภาพที่ 1.2 พยากรณ์ ประเทศที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงสุดใน ค.ศ. 2020 (ที่มา<http://www.alanbarton.me>)

โดยมีการประมาณการว่าความเข้มข้นของปริมาณก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศ จะมีความเข้มข้นประมาณ 478 ppm) ซึ่งเมื่อถึงเวลานั้น ทุกประเทศต้องร่วมกันในการควบคุมให้ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศตัวเอง (<https://www.egat.co.th> 2016) สำหรับประเทศไทย ถึงแม้ว่า จะมีการปล่อยปริมาณก๊าซเรือนกระจกไม่มาก โดยมีสัดส่วนประมาณ 0.9-1% เท่านั้นหากเทียบกับประเทศชั้นนำของโลกโดยในปี ค.ศ.2013 (ที่มา <https://static.guim.co.uk> 2013) แต่จากข้อมูลรายงานความก้าวหน้าราย 2 ปีฉบับที่ 1 ของประเทศไทย (Thailand Biennial Update Report 2011) ซึ่งได้รายงานต่อ UNFCCC ในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 โดยได้ระบุในรายงานว่า ประเทศไทยมีปริมาณก๊าซเรือนกระจก ประมาณ 305.52 MtCO<sub>2</sub>e (ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า) โดยมีสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมในการผลิตไฟฟ้าประมาณ 86.87 MtCO<sub>2</sub>e หรือประมาณ 39% ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย ซึ่งถือว่าเป็นปริมาณที่สูงพอสมควร ซึ่งประเทศไทยเองก็ได้ตระหนักและให้ความสำคัญเป็นอย่างมากดังจะเห็นได้จากการประชุม COP 21 ในปี พ.ศ. 2558 พณฯท่าน พล.อ. ประยุทธ์ จันทร์โอชา นายกรัฐมนตรี ได้ให้ถ้อยแถลงเจตจำนงการลดก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทยภายหลังปี 2020 หรือ การลดก๊าซเรือนกระจกอย่างมุ่งมั่นของประเทศ (Intended Nationally Determined Contributions:

INDCs) โดยประเทศไทยจะดำเนินการลดก๊าซเรือนกระจกในทุกภาคส่วน (Economy Wide) ร้อยละ 20-25 ประมาณ 110-140 tCO<sub>2</sub>e ในปีพ.ศ. 2573 (ที่มา : ถ้อยแถลง INDC ของประเทศไทยในการประชุม COP 21 2558 ) ดังนั้น จึงถือว่าเป็นเรื่องท้าทายประเทศไทย ที่จะสามารถทำได้อย่างที่ ได้ประกาศไว้หรือไม่ จึงต้องช่วยกันต่อไป

## 2. วิธีวิจัย (Research Methodology)

การศึกษาการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในครั้งนี้ ใช้วิธีการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร โดยใช้แนวทางตามองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน)ซึ่งประยุกต์จากข้อกำหนด ใน ISO 14064-1(2006) โดยการนำเทคโนโลยีดิจิทัล เข้ามาเป็นส่วนหนึ่งในการรวบรวมข้อมูล เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ รวดเร็ว เทียบตรง แม่นยำ เพื่อสามารถนำเอาข้อมูลดังกล่าวไปใช้ได้อย่างทันท่วงที โดยข้อมูลที่รวบรวมโดยระบบดิจิทัล นำใช้เป็นฐานในการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรีสอร์ททกรณีศึกษา มีการสุ่มจำนวนประชากรและกลุ่มตัวอย่าง รีสอร์ททกรณีศึกษา ตามการวิจัยนี้กลุ่มตัวอย่างงานวิจัยได้แก่ รีสอร์ทในอำเภอเกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี ซึ่งมีจำนวนที่พักทั้งสิ้น 363 รีสอร์ท และมีจำนวนห้องพักทั้งสิ้น 21,587 ห้อง เพื่อให้บริการแก่นักท่องเที่ยวในขณะที่ อำเภอเกาะสมุยเอง มีพื้นที่เพียง 228 ตารางกิโลเมตรและพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นภูเขาสูง ดังนั้นสัดส่วนความหนาแน่น 0.62 ต่อตารางกิโลเมตร (อำเภอเกาะสมุย, 2560) ดังนั้นในการหากลุ่มตัวอย่าง ของโรงแรมและรีสอร์ทที่ให้บริการในพื้นที่เกาะสมุยนั้น เพื่อที่จะนำมาเป็นกลุ่มตัวอย่างในกรณีศึกษา โดยวิธีการเทียบเคียงกับจำนวนโรงแรมและรีสอร์ท ที่มีอยู่ทั้งหมดทั้งหมดในพื้นที่ โดยสามารถนำมาคำนวณได้โดย อ้างอิงได้จากสมการของ Taro Yamane (Taro Yamane, 1973) ซึ่งโดยข้อเท็จจริงแล้ว หากจะทำการกำหนดให้ใช้สมการ ดังกล่าวเป็นสมการเพื่อเป็นฐานในการคำนวณ กลุ่มตัวอย่างโรงแรมรีสอร์ททกรณีศึกษานั้น นี้ในทางทฤษฎีแล้วเพื่อให้เกิดความน่าเชื่อถือ 95% ขึ้นไป จึงต้องหาจำนวนรีสอร์ททกรณีศึกษาโดยวิธีการคำนวณดังต่อไปนี้ กำหนดให้ n แทนจำนวนกลุ่มตัวอย่าง และกำหนดให้ e เป็นระดับความคลาดเคลื่อนที่ 5% ดังสมการดังต่อไปนี้

$$n = \frac{N}{1+Ne^2} \quad \text{สมการที่ 1}$$

363

$$\text{จากสมการที่ 1 } n = \frac{363}{1+363e^2}$$

$$\text{ดังนั้น } n = 1.90/363 = 191.05$$

ดังนั้นหากอ้างอิงสมการของ Taro Yamane ต้องใช้ รีสอร์ทที่เป็นกรณีศึกษาจำนวน 191 รีสอร์ทเป็นอย่างน้อย แต่ในทางปฏิบัติ แล้วขนาด ปริมาณการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ แต่ละรีสอร์ทที่มีความแตกต่างกันอย่างมาก ซึ่งขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ขนาดของพื้นที่ จำนวนของห้องพัก จำนวนและขนาดของกิจกรรมที่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจก ประกอบกับ ในพื้นที่เกาะสมุยเอง ผู้ประกอบการยังไม่มีความรู้เรื่องคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่าไรนัก จึงยังไม่ได้สนใจมาก และอาจเนื่องด้วยความพร้อมของระบบโครงสร้างพื้นฐาน ภายในเกาะสมุยเอง หรือเนื่องจากไม่ได้รับการส่งเสริมและสนับสนุนด้านความรู้ และการเข้าถึงข้อมูลเกี่ยวกับคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากหน่วยงานของรัฐในพื้นที่ยังมีไม่มากนักเท่าที่ควร ดังนั้นจึงยังไม่มีกรคำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์อย่างเป็นทางการสำหรับธุรกิจโรงแรมและรีสอร์ทภายในเกาะสมุยแห่งนี้

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ใช้รีสอร์ททกรณีศึกษาแห่งหนึ่งซึ่งมีจำนวนพนักงานทั้งหมด รวม 265 คน มีจำนวนบ้านพักเป็นหลังเป็นจำนวน 81 หลัง ทุกหลังมีสระว่ายน้ำให้บริการแขก (Pools Villa) โดยแบ่งออกเป็นวิลล่า ขนาด 1 ห้องนอน มีพื้นที่ รวม 75 ตารางเมตร จำนวน 65 หลัง ( 1 Bed room Pools Villa) วิลล่า ขนาด 2 ห้องนอน พื้นที่ขนาด 95 ตารางเมตร จำนวน 14 หลัง ( 2 Bed room Pools Villa) และ เป็นวิลล่า ขนาดใหญ่ขนาด 150 ตารางเมตร จำนวน 2 ห้อง (3 Bed room Pools Villa) โดยในศึกษา กิจกรรมที่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกภายในของกรณีแห่งนี้ โดยในการศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลกิจกรรม ๆ ผู้วิจัยได้นำระบบดิจิทัล มาใช้ในการรวบรวมข้อมูลรีสอร์ททกรณีศึกษา โดยระบบดิจิทัลที่นำมาเก็บค่ากิจกรรมที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรีสอร์ททกรณีศึกษามีดังต่อไปนี้

### 1). AMR Automatic Meter Reading

เป็นระบบการอ่านค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบอัตโนมัติโดยผ่านระบบสื่อสารผ่านระบบระบบเน็ตเวิร์ค โดยมีการเชื่อมต่อกับระบบอินเตอร์เฟส (Interface)ของการไฟฟ้าโดยข้อมูลที่อ่านได้ทั้งหมดเก็บที่ AMR DATA CENTER ของการไฟฟ้า โดยข้อมูลดังกล่าวเป็นข้อมูลของผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมดใจใบแจ้งค่าไฟฟ้าพร้อมกันนั้น ลูกค้ายังสามารถตรวจสอบและดาวน์โหลดข้อมูลการใช้ไฟฟ้าผ่าน AMR Website ได้ตลอดเวลา โดยคุณสมบัติของระบบ AMR สามารถแสดงข้อมูลการใช้ไฟฟ้า

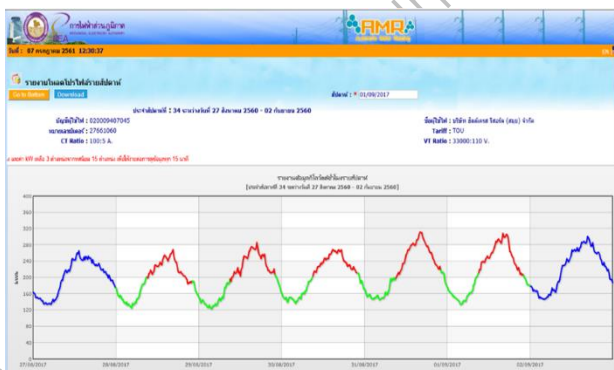
ทุก 15 นาทีตามช่วงเวลา เช่น รายวัน, รายสัปดาห์, รายเดือน, และรายปี หรือตามช่วงเวลากำหนด โดยผู้ใช้งานสามารถให้แสดงผลอยู่ในรูปแบบกราฟเส้นหรือกราฟแท่งก็ได้ ตามตัวอย่างภาพที่ 1.3 และ 1.4



ภาพที่ 1.3 รายการการใช้พลังงานไฟฟ้าทุกๆ 15 นาที ใน 1 วัน

จากภาพที่ 1.3 เป็นการแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าของรีแอสอร์ทกรณีศึกษาโดยสีแดงที่ลูกศรชี้หมายถึงช่วงเวลาที่ใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละวัน ส่วนกรอบสีแดงหมายถึงช่วงเวลาทุกๆ 15 นาทีที่ AMR Update ข้อมูลแล้วส่งมาภายในระบบ โดยระยะเวลาเริ่มต้นของแต่ละวันคือ เที่ยงสจน 00.15 จนถึง 24.15 น. โดยระบบจะส่งข้อมูลมาให้แบบทันทีทันใด (real Time)

และภาพที่ 1.4 เป็นภาพการแสดงผลข้อมูลแบบเป็นสัปดาห์ ระบบไฟฟ้าจะมีอัตราการใช้ค่าไฟฟ้าต่อ Unit เป็นแบบ Peak and Off Peak ซึ่งแสดงในตามที่ 1.4



ภาพที่ 1.4 เป็นภาพแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นรายสัปดาห์

สำหรับการแสดงผลข้อมูลการใช้พลังงานเป็นรายสัปดาห์สามารถดูได้ตั้งแต่ช่วง off-Peak ซึ่งเป็นวันหยุด เป็นเส้นสีน้ำเงิน ซึ่งมีอัตราค่าไฟฟ้าต่ำกว่าช่วง Peak ช่วงที่มีการใช้ไฟฟ้าสูงสุดของแต่ละวันซึ่งแสดงเป็น สีแดง และช่วงมีการใช้งานไฟฟ้าปกติแสดงเป็นสีเขียว เป็นต้น

## 2. Waste Water Treatment Plant (WWTP.)

Smart Monitoring WWTP. โปรแกรมควบคุมระบบน้ำเสียอัตโนมัติโปรแกรมคำสั่งถูกพัฒนาเพื่อใช้กับระบบบำบัดน้ำเสียเนื่องจากรีแอสอร์ทกรณีศึกษามีการผลิตน้ำเสียต่อวันๆ ละไม่น้อยกว่า 150 คิว. (Cubic Meter) ระบบบำบัดน้ำเสียเป็นระบบเติมอากาศ โดยระบบเริ่มเมื่อน้ำเสียถูกปล่อยเข้าสู่ระบบบำบัด ระบบจะมีการคั่นแยกไขมันออกจากระบบก่อน (Grease trap) จากนั้นจะมีถังเก็บกากของเสียและตะกอนถูกเก็บไว้ในบ่อเก็บตะกอน เพื่อรอรีดออกจากระบบ ระบบบำบัดในส่วนนี้เป็นระบบปิด ส่วนน้ำจากส่วนอื่นไม่ว่าจากท่อน้ำในส่วนของน้ำ, ท่อน้ำเสียส่วนอื่น, หรือท่อน้ำเสียจากครัว (Soil, Waste and Kitchen) จะถูกเข้าสู่กระบวนการบำบัดโดยมีการเติมอากาศและมีการเลี้ยงจุลินทรีย์อายุสั้นเพื่อกำจัดของเสียส่วนต่างๆ โดยมีการควบคุมระยะเวลาและปริมาณของน้ำเสียให้สอดคล้องสัมพันธ์ กับปริมาณน้ำเสียชุดใหม่ที่จะเข้ามาเพื่อบำบัด โดยกลไกการควบคุมดังกล่าวนี้ มีการควบคุมผ่าน Software WWTP. Smart Monitoring ระบบการทำงานเริ่มจากตรวจสอบปริมาณน้ำเสียที่เข้ามาในระบบ กำหนดปริมาณน้ำเสียที่เข้ามาในระบบแต่ละช่วงเวลากักน้ำเสียไว้ในแต่ละบ่อเพื่อบำบัดหรือรอการบำบัดและกระบวนการทำยาสูด การสูบน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วนำไปเก็บไว้ในถังน้ำดีที่ผ่านการบำบัดแล้ว (น้ำรีไซเคิล) เพื่อเตรียมนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับมาใช้ใหม่ (รดน้ำต้นไม้, ล้างถนน, ล้างพื้น ฯลฯ) ซึ่งกระบวนการในจัดการระบบบำบัดน้ำเสียทั้งหมดถูกจัดการโดยโปรแกรมที่เรียกว่า WWTP. Smart Monitoring นอกจากระบบดังกล่าวจะสามารถสื่อสารเครื่องจักรทุกตัว ไม่ว่าจะเป็น ปั๊มน้ำ, เครื่องรีดตะกอน, เครื่องกวนตะกอน, กังหันน้ำ, เครื่องเติมอากาศ, พัดลมดูดกลิ่นอับ, พัดลมดูดอากาศ ฯลฯ ระบบดังกล่าวยังสามารถสื่อสารกับ ผู้ดูแลระบบ User ได้อีกด้วยโดยการส่งสัญญาณผ่านระบบอินเทอร์เน็ต โดยผู้ใช้โปรแกรมดังกล่าวสามารถตรวจสอบดูระบบได้ทุกเวลาทุกสถานที่เพียงแค่ขอให้ มี อินเทอร์เน็ตเท่านั้น



ภาพที่ 1.5 หน้าหลักของโปรแกรม WWTP. Smart Monitoring.





ภาพที่ 1.6 WWTP. Smart Monitoring ขณะกำลังทำงาน  
ในส่วนของน้ำ รีไซเคิล

### 3. Digital Check in Application

โปรแกรม ดิจิทัลเช็คอิน เป็นแอปพลิเคชันที่ใช้งานเฉพาะ  
กลุ่มรีสอร์ททริคเคิล (Hotel-Resort Chains) ซึ่งถูก  
พัฒนาเพื่อให้ลูกค้าผู้พักอาศัยสะดวกในการใช้บริการริ  
สอร์ท โดยลูกค้าสามารถ เลือกจองห้องที่ว่างระบุวันเวลาที่  
จะเข้าพัก ขอบห้องที่อยู่ชั้นสูงหรือชั้นต่ำ ต้องการสูบบุหรี่  
หรือไม่ ต้องการอะไรเป็นพิเศษหรือไม่ ในวันเข้าพักลูกค้า  
สามารถนำรหัสที่เป็น QR. Code เข้า Scan เพื่อใช้งานลิฟต์  
เปิดประตูเข้าห้องพักหรือทำกิจกรรมใดๆในรีสอร์ทได้โดยไม่ต้อง  
ติดต่อกับพนักงานเลย โดยระบบนี้เพียงแค่ลูกค้าต้อง  
ยืนยันตัวตนในระบบสำหรับรีสอร์ทผู้ให้บริการ ด้วยข้อมูล  
ทั้งหมดของลูกค้าที่มี ผู้ให้บริการสามารถตอบสนองลูกค้าได้  
ตามต้องการโดยมีรายละเอียดตามที่ลูกค้าขอไว้ล่วงหน้าอยู่  
ก่อนแล้ว การจัดเก็บข้อมูลที่ได้จากลูกค้าทั้งหมดจะถูกเก็บไว้  
ในฐานะข้อมูลลูกค้าระบบดิจิทัล สำหรับรีสอร์ทผู้ให้บริการ  
เมื่อได้ข้อมูลของลูกค้าทั้งหมดแล้ว ระบบดิจิทัลเช็คอินจะทำ  
การวิเคราะห์ข้อมูล ว่าวันและเวลาไหน จะมีจำนวนผู้เข้าพัก  
เป็นจำนวนเท่าไร แยกเป็นชาย-หญิง เด็กหรือคนแก่ เป็น  
จำนวนกี่คน มาจากชาติไหนบ้าง ความต้องการของลูกค้าแต่ละ  
คนต้องการอะไร โดยระบบจะสรุปและนำออกมาเป็น  
รายงานให้พนักงานที่ดูแลรับผิดชอบส่วนนั้นๆ ได้ทราบ  
เพื่อที่จะเตรียมพร้อมในการให้ บริการต่อไป ดังนั้นเมื่อนำ  
ระบบดิจิทัลเช็คอินมาประยุกต์ใช้ร่วมกับข้อมูลที่มีอยู่ เช่น  
ปริมาณการใช้ไฟฟ้าหรือ ปริมาณการใช้น้ำ ในส่วนอื่นที่ไม่  
เกี่ยวกับการใช้งานของลูกค้า ในห้องพัก (Back of House)  
จำนวนพนักงานที่มาทำงานในวันนั้นๆ โดยตรวจสอบจาก  
ตารางการทำงานประจำเดือนที่ได้ที่ได้อ่างแผนไว้ล่วงหน้า  
(Roster) การใช้แก๊สแอลพีจีเพื่อการหุงต้มหรือการใช้สำหรับ  
แผนกซักรีด (Laundry) โดยนำข้อมูลเก่ามาเทียบประมาณ  
การก็จะสามารถคาดการณ์ได้ถึงปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่

รีสอร์ท ทริคเคิล ได้สร้างขึ้น ว่าน่าจะมีปริมาณเป็นจำนวน  
เท่าไร ทำให้การหาแนวทางในการลดการปล่อยคาร์บอน  
ฟุตพริ้นท์ได้ง่าย เนื่องจาก สามารถคาดการณ์ ปริมาณในการ  
ปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ล่วงหน้าได้ สำหรับตัวอย่างรายงาน  
ระบบดิจิทัลเช็คอิน ผู้วิจัยได้ทำจำลองไว้ เป็นไปตามภาพที่  
1.7 และภาพที่ 1.8

Condition: Some Sun & A couple of showers		Sunrise: 06:30 AM		Moonrise: 01:40:00 AM		
Temperature: 29/27°C		Sunset: 06:31 PM		Moonset: 01:34 PM		
Statistics & Forecast						
DATE	Yesterday	Today	Mon	Tue	Wed	
Occupancy % USMKS	89	93	82	89	82	
ADR (THB)	13,591	12,758	13,629	14,568	14,374	
Arrival Rooms	21	28	21	27	21	
Departure Rooms	19	25	29	22	26	
Occupied Rooms	59	62	54	59	54	
Total Guests In-House	119	122	106	118	107	
Comp rooms +	HU	1	1	0	1	
Pot. Honors Revenues	17,665	76,548	38,964	41,479	41,091	
Statistics & Forecast						
DATE	Yesterday	Today	Sat	Tue	Wed	
Occupancy % USMKS	100	100	93	60	73	
ADR (THB)	29,471	25,306	24,492	23,331	24,104	
Arrival Rooms	2	4	3	2	4	
Departure Rooms	1	3	3	5	1	
Room Reserved	15	15	14	9	11	
Total Guests In-House	31	27	26	16	23	
Over Flow from USMKS	7	6	5	4	3	
Maintenance /OOO	0	0	0	0	0	

ภาพที่ 1.7 รูปแบบรายงานระบบดิจิทัล เช็คอินต่อวัน

96%		High EOB	Low BOB	High Pick Up	Low Picku	
Date	DOW	Occ	Slid	UCD	RMtoSell	UserFCT
Jan 17		81.3%	1,991	1,738	336	2,064
Feb 17		81.4%	1,800	1,588	294	1,800
Mar 17		69.7%	1,706	1,646	478	1,706
Apr 17		77.7%	1,842	1,626	383	1,842
May 17		71.6%	1,754	1,615	413	1,754
Jun 17		74.1%	1,757	1,629	364	1,757
Jul 17		80.8%	1,979	1,770	232	1,979
Aug 17		82.9%	2,029	1,816	166	2,029
Sep 17		83.0%	1,968	1,780	194	1,968
Oct 17		75.9%	1,860	1,658	253	1,860
Nov 17		72.7%	1,723	1,626	264	1,723
01Dec17	Fr	74.7	59	60	9	59

ภาพที่ 1.8 รูปแบบรายงานระบบดิจิทัล เช็คอินที่สรุปยอด  
เป็นรายเดือนและรายปี

### 4. Rat Trap Wifi. กับดักหนู ระบบดิจิทัล

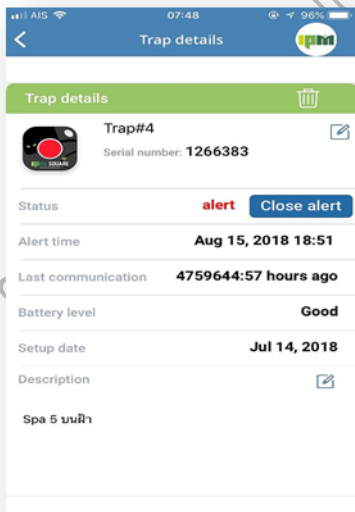
เครื่องมือหนึ่งในที่สะท้อนความเป็นยุคดิจิทัลได้เป็นอย่างดีที่  
ได้ติดตั้งในรีสอร์ททริคเคิล คือ กับดักหนูดิจิทัล สืบเนื่อง  
จากรีสอร์ททริคเคิล มีการเปิดให้บริการห้องอาหาร  
เพื่อให้ลูกค้า สามารถใช้บริการภายในร้านอาหารได้  
โดยสะดวก โดยที่ไม่ต้องออกไปใช้บริการภายนอกรีสอร์ท แต่  
มักพบว่า มีหนูมากินเศษอาหารที่ตกอยู่ตามพื้นครัวหรือ  
ห้องอาหารอยู่เสมอครั้ง เมื่อห้อง อาหาร เปิดดำเนินการ  
ใหม่ๆ บางครั้งก็ตัดสายไฟ อุปกรณ์เครื่องครัว หรือระบบ  
ไฟฟ้าเอง ซึ่งถือว่าสร้างความเสียหาย เป็นอย่างมาก รีสอร์ท  
ทริคเคิลจึงได้นำอุปกรณ์เป็นกับดักหนูที่เชื่อมต่อกับ  
สัญญาณ Internet หลักการทำงานคือ โดยผู้เกี่ยวข้อง ต้อง

ความไหลดอปพลิเคชันของผลิตภัณฑ์เพื่อติดตั้งใน  
สมาร์ตไฟซึ่ง สามารถ ติดตั้งได้ทั้งระบบแอนดรอยด์และ  
ระบบไอโอเอส

หลักการการทำงานจะเหมือนกับดักหนูทุกอย่างเพียงแต่พัฒนา  
ให้มีระบบเซ็นเซอร์ ส่งสัญญาณเตือนไปยังมือถือเมื่อมีหนูมาติด  
กับดัก เพื่อให้ภายใน 24 ชม.พนักงานผู้เกี่ยวข้องต้องมาเก็บ  
ซากหนูที่ดักได้ ทั้งนี้เพื่อกันเพื่อไม่ให้ซากหนูเน่าส่งกลิ่น และ  
ผู้เกี่ยวข้องก็จะได้ไม่สัมผัสกับซากเพราะมีการส่งสัญญาณเตือน  
ทุกๆครึ่ง ชม.หากซากหนูยังไม่ถูกเก็บและระบบยังไม่ถูกรีเซ็ต  
ให้อยู่ในสถานะปกติ การทำงานของระบบดิจิทัลระบบนี้  
สามารถกำจัดปัญหาเรื่องหนูให้หมดไปจากกรีสรทัศน์ศึกษา  
ได้อย่างถาวร



ภาพที่ 1.9 ภาพแสดงการทำงานของกับดักหนู ดิจิทัล



ภาพที่ 1.10 ภาพแสดงการแจ้งเตือนของกับดักหนู ดิจิทัล  
บนมือถือ

และจากการศึกษาพบว่า ข้อมูลที่ได้จากเทคโนโลยี ดิจิทัล  
นั้น เป็นข้อมูลที่ สามารถอ่านค่าได้อย่างสม่ำเสมอ เทียงตรง  
สามารถตรวจสอบย้อนหลังได้ตลอด และเมื่อได้รวบรวม  
ข้อมูลทั้งหมดที่ต้องใช้สำหรับการวิจัยแล้วนั้น ก็นำข้อมูล  
ที่ได้มาทำการคำนวณโดยใช้วิธีการคำนวณโดยเป็นไปตามสูตร  
 $CFO = GHG\ emission = Activity\ data \times EF$  โดย  
กำหนดให้  $= Activity\ data$  คือข้อมูลกิจกรรมที่ทำให้เกิด  
ก๊าซเรือนกระจก EF คือ (GHG Emission Factors) คือ  
ค่าคงที่ๆใช้เปลี่ยน Activity data ให้เป็นค่าปริมาณการ  
ปล่อยก๊าซเรือนกระจก หรือค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซเรือน  
กระจก และผลของการคำนวณนั้นให้แสดงผลเป็นไปในรูป  
ของตัน (กิโลกรัม)คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO<sub>2</sub>- e)

### 3. ผลการวิจัย (Results)วิธีการคำนวณคาร์บอนฟุต พริ้นท์

เมื่อรวบรวมข้อมูลกิจกรรมที่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกโดย  
นำเครื่องมือระบบดิจิทัลมาเป็นตัวช่วยในการบันทึก ทำให้ได้  
ข้อมูลที่แม่นยำ รวดเร็ว และได้ค่าที่ค่อนข้างแน่นอน ดังนั้น  
จึงนำข้อมูลกิจกรรมที่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจก ในรีสร  
ทัศน์ศึกษามา คำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในองค์กร  
ดังตารางที่ 1 กิจกรรมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกประเภทที่  
1 ทางตรง และตารางที่ 2 เป็นกิจกรรมประเภทที่ 2 และ  
ประเภทที่ 3 เป็นกิจกรรมการการปล่อยก๊าซเรือนกระจก  
ทางอ้อม และเป็นกิจกรรมประเภทอื่นๆ

เดือน	ประเภทที่ 1				
	น้ำมันดีเซล (Non Road)	Gas, LPG	ปริมาณน้ำเสีย	ค่า COD	น้ำมันดีเซล (On Road)
หน่วย	ลิตร	กิโลกรัม	ลูกบาศก์เมตร	กิโลกรัม COD	ลิตร
ค่า EF	2.708	3.1133	0	0.5821	2.7446
มค.	905	12,358	3,993	130	1,520
กพ.	15	10,061	4,158	180	1,526
มีค.	1,614	11,247	5,838	280	1,508
เมย.	75	10,232	6,355	213	1,497
พค.	939	11,520	6,419	134	1,485
มิย.	1,395	10,335	5,580	218	1,482
กค.	612	13,680	5,842	275	1,477
สค.	74	12,062	7,406	329	1,475
กย.	19	10,855	5,676	426	1,471
ตค.	1,435	10,533	5,829	148	1,452
พย.	75	9,360	4,436	224	1,507
ธค.	1,520	10,334	4,436	168	1,531
ค่าเฉลี่ยกิจกรรมทั้งปี	23.5	412.8	-	1.6	49.2

#### ตารางที่ 1 กิจกรรมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรง

ในกิจกรรมประเภทที่ 1 กิจกรรมประการใช้แก๊ส LPG เป็น  
กิจกรรมที่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด รองลงมาเป็น  
กิจกรรมการใช้น้ำมันดีเซลสำหรับพาหนะ

และในตารางที่ 2 เป็นตารางกิจกรรมการปล่อยก๊าซเรือน  
กระจกทางอ้อมโดยกิจกรรมที่ก่อให้เกิดปริมาณก๊าซเรือน  
กระจกสูงที่สุดก็คือ การใช้ไฟฟ้า ซึ่งมีปริมาณสูงมาก หาก

เทียบกับกิจกรรมอื่นๆ

ประเภทที่ 2	ประเภทที่ 3		
พลังงานไฟฟ้า	น้ำประปา	จำนวนพนักงาน	กระดาษขาว
kWh	ลูกบาศก์เมตร	คน	kg
0.5821	0.7043	0.86184	6
546,126	4,792	185	335
553,212	4,990	185	331
619,596	7,006	192	331
626,730	7,626	194	336
641,172	7,703	194	334
613,680	6,696	194	338
636,768	7,010	201	341
667,938	8,887	201	240
636,654	6,811	201	335
622,410	6,995	207	332
545,496	5,323	210	331
531,396	5,323	215	336
4,215.1	55.8	2.1	23.5

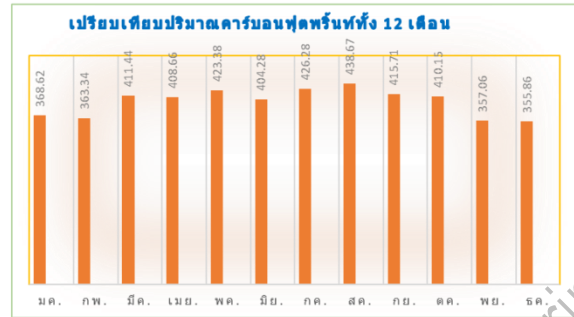
ตารางที่ 2 เป็นกิจกรรมประเภทที่ 2 และประเภทที่ 3 เป็นกิจกรรมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อม และเป็นกิจกรรมประเภทอื่นๆ

และเมื่อนำกิจกรรมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละกิจกรรมของแต่ละเดือน มารวมคำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์โดยเทียบกับ จำนวนการขายต่อห้อง (Room Night) การปล่อยปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ มากน้อยในแต่ละเดือน ส่วนหนึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณแขกผู้พักอาศัยด้วยว่ามีปริมาณมากน้อยแค่ไหน ซึ่งปรากฏตามตารางการคำนวณ ตารางที่ 3

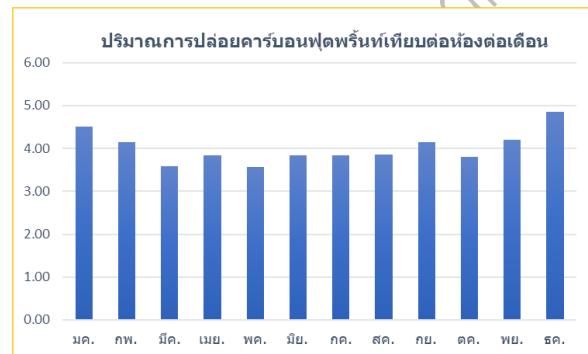
เดือน	No. Room Night	Per/Month	Per Room Night
มค.	1,661	368.62	4.51
กพ.	1,507	363.34	4.15
มีค.	1,473	411.44	3.58
เมย.	1,568	408.66	3.84
พค.	1,511	423.38	3.57
มิย.	1,552	404.28	3.84
กค.	1,638	426.28	3.84
สค.	1,696	438.67	3.87
กย.	1,723	415.71	4.14
ตค.	1,562	410.15	3.81
พย.	1,500	357.06	4.20
ธค.	1,728	355.86	4.86
รวมทั้งปี	19,119.0	4,783.5	48.2

ตารางที่ 3 เป็นตารางการคำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ โดยเทียบกับ Room Night

และเมื่อนำไปรายงานในรูปแบบของกราฟเพื่อให้ดูง่ายก็จะได้ดัง ภาพที่ 1.11 กราฟแสดงปริมาณการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในแต่ละเดือน



ภาพที่ 1.11 กราฟแสดงปริมาณการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อเดือน



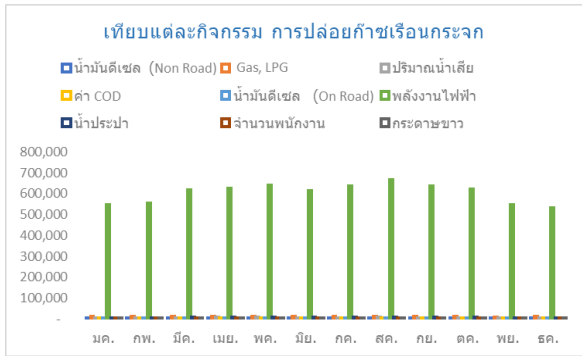
ภาพที่ 1.12 กราฟแสดงปริมาณการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์เทียบกับRoom Night.

และหากนำกิจกรรมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมาเทียบเป็นสัดส่วนแล้วจะเห็นว่ากันแล้วกิจกรรมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกประเภทที่ 2 กิจกรรมโดยอ้อม ประเภทไฟฟ้าคิดเป็นสัดส่วน ถึง 88.12 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาเป็นกิจกรรมจากก๊าซแอลพีจี คือมีจำนวน 8.63 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงได้ข้อสรุปว่า หากต้องการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจก ต้องลดการใช้ไฟฟ้าภายในองค์กรให้ได้ ดังจะเห็นได้จากตารางเทียบสัดส่วนกิจกรรมการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ตารางที่ 4

น้ำมันดีเซล (Non Road)	0.49
Gas, LPG	8.63
ปริมาณน้ำเสีย	0.00
ค่า COD	0.03
น้ำมันดีเซล (On Road)	1.03
พลังงานไฟฟ้า	88.12
น้ำประปา	1.17
จำนวนพนักงาน	0.04
กระดาษขาว	0.49
รวม	100.00

ตารางที่ 4 เป็นตารางเทียบสัดส่วนกิจกรรมที่ปล่อยให้เกิดก๊าซเรือนกระจกในองค์กร





ภาพ 1.13 กราฟแสดงสัดส่วนกิจกรรมที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกในองค์กร

#### 4. อภิปรายผล (Discussion)

จากผลการคำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ทำให้ทราบว่า กิจกรรมที่ปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการใช้ไฟฟ้า เป็นกิจกรรมที่ก่อให้เกิดปริมาณก๊าซเรือนกระจกสูงที่สุด คือมีปริมาณ ถึง 4215.1 ton.Co<sub>2</sub>e ต่อปี และ กิจกรรมที่เกิดจากการใช้แก๊ส LPG เพื่อการหุงต้มและผลิตไอน้ำ ในรีสอร์ท มีปริมาณรวมกันทั้งหมด 412.8 tonCO<sub>2</sub> eq กิจกรรมที่เกิดจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงจากเครื่องปั่นไฟสำรองมีการปล่อยปริมาณก๊าซเรือนกระจกเพียงปีละ ประมาณ 23.5 ton. Co<sub>2</sub>-e และจากงานวิจัยจะเห็นได้ว่า จากเรานำระบบดิจิทัล มาใช้เพื่อรวบรวม ข้อมูลกิจกรรมที่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกในองค์กรแล้วนั้น เราสามารถหาค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ได้ง่าย สะดวก ข้อมูลมีความแม่นยำ กว่าใช้มนุษย์เป็นผู้บันทึกข้อมูลเป็นอย่างมาก ซึ่งจะช่วยให้องค์กรต่างๆ เห็นความสำคัญในการที่จะลดปริมาณก๊าซเรือนกระจก เนื่องจากเห็น หรือทำการเปรียบเทียบ และนำข้อมูลมาศึกษาได้ง่าย จึงทำให้เป็นประโยชน์ ต่อองค์กรส่วนรวมอย่างมาก และสำหรับแนวทางในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกนั้น จากผลการวิจัย และหากต้องการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เราสามารถให้ผู้ใช้มีส่วนเกี่ยวข้อง มุ่งเน้นลดปริมาณการใช้ไฟฟ้า เป็นหลักจึงจะได้ประโยชน์สูงสุด

#### 5. สรุปผล (Conclusion)

จากการวิจัยในครั้งนี้ทำให้ทราบว่า การรวบรวมข้อมูลกิจกรรมที่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกโดยใช้เทคโนโลยีดิจิทัลสามารถทำได้รวดเร็ว แม่นยำ และสะดวก ประกอบกับเมื่อนำข้อมูลดังกล่าว ไปประมวลผลในโปรแกรมอัตโนมัติของ องค์กรบริหารการก๊าซเรือนกระจก ทำให้ได้ผลรวดเร็ว ถูกต้องลดภาระเรื่องเวลาในการนั่งคำนวณ ทั้งยังช่วยให้สามารถพยากรณ์ตัวเลขปริมาณก๊าซเรือนกระจกอันอาจจะเกิดขึ้นในอนาคตได้ง่าย อีกด้วย

#### 6. กิตติกรรมประกาศ

การค้นคว้าอิสระฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยความแนะนำให้คำปรึกษาอย่างดียิ่งของอาจารย์ที่ปรึกษาหลักการค้นคว้าอิสระคือ ดร.ปริญญ์ บุญนิษฐ และที่ปรึกษาร่วม ดร.ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล ตลอดจนถึง ผ.ศ.สหรัฐ วงษ์ศิริษะ ที่กรุณาสละเวลา ให้ข้อคิดเห็นและข้อคิดต่างๆ ของการวิจัยมาโดยตลอด พร้อมกันนั้น ผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณ คณะผู้บริหาร และเจ้าหน้าที่ของรีสอร์ท ภูมิศึกษา ที่ได้กรุณาให้ข้อมูลอันเป็นประโยชน์ ในการวิจัย เพื่อให้งานวิจัยนี้ออกมาสมบูรณ์ที่สุด

ดังนั้นผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง มา ณ โอกาสนี้ด้วย

#### 7. เอกสารอ้างอิง

- (1) Joseph Lai, Francis Yik, Michael Liu 2014 การวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโรงแรมในฮ่องกง"
- (2) Viachaslau Filimonau 2011 Life Cycle Energy Analysis – LCEA
- (3) P.O. Oluseyi เกณฑ์มาตรฐานเพื่อให้ปริมาณการใช้พลังงานต่อห้องพักต่อหน่วยไม่เกิน 40.278 MWh / ห้อง
- (4) Jahedul Islam PAS2050, ISO / TS 14067
- (5) Asia Pacific Energy Research Centre (APEREC),กลยุทธ์การพัฒนาเมืองสมัยสังคมคาร์บอนต่ำ
- (6) พงษ์ชัย พงษ์สวัสดิ์ การลดการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์สำหรับโรงแรมขนาดกลาง ขนาดเล็ก 2014

RMUTP & FTI 7th Sustainable Industrial Management Engineering

## วาล์วประหยัดน้ำ Water Saving Valve

ศาสตราจารย์ ดร.ไชยกุล ชื่นสกุล<sup>1</sup>, ศุภณัฐ อ่ำไพ<sup>1</sup>,

<sup>1</sup> ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

99 หมู่ 18 ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

[csatok@engr.tu.ac.th](mailto:csatok@engr.tu.ac.th)

### บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย เพื่อพัฒนาวาล์วประหยัดน้ำ ที่อาศัยการเติมอากาศเข้าไปในน้ำ โดยการเติมอากาศเกิดขึ้นภายในช่องแคบภายในวาล์ว ซึ่งเป็นจุดที่มีความดันต่ำสุด การออกแบบช่องแคบภายในวาล์วกระทำโดย โปรแกรม COMSOL วาล์วต้นแบบถูกทำขึ้นและเจาะรูจำนวน 4 รู ในมุม 30 และ 4 รู ในมุม 45 องศา เมื่อทำการทดสอบการล้างคราบของ ซอสมะเขือเทศ น้ำมันพืช น้ำผึ้ง น้ำยาล้างจาน และสบู่เหลว เปรียบเทียบความสามารถในการล้างระหว่างวาล์วที่สร้างขึ้นกับการล้างทั่วไป พบว่าเวลาที่ใช้ล้างลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับวาล์วปกติ แต่ปริมาณน้ำที่ใช้มีค่าลดลง โดยวาล์วที่เจาะรู ในมุม 45 องศา ลดลงได้ร้อยละ 25 และวาล์วที่เจาะรูในมุม 30 องศา ลดลงได้ร้อยละ 41.7

### Abstract

The purpose of this study was to design the valve with the curve inside for finding the narrowest point with the lowest pressure for drilling the hole and let the air inject into the valve. The concept valve designed by using the COMSOL Multiphysics program. The prototype was made from the plaster and drill the hole with 4 holes with 30 degrees angle and 4 holes with 45 degrees angle. The experiment was tested by using washing the stain on the dish that is ketchup, oil, honey, dishwashing liquid and liquid soap by using the prototype valve and the normal valve at the same time. From the experiment, model valve with 4 holes with 30 degrees angle use least time to wash the stain. However, when comparing to the amount of water was used, model valve with 4 holes with 45 degrees angle can reduce up to 25 percentage and model valve with 4 holes with 30 degrees angle can reduce up to 41.7 percentage.

คำสำคัญ (Key word): Valve, Water saving, Air

### 1. บทนำ (Introduction)

สำนักงานสถิติแห่งชาติ<sup>(1)</sup> ให้ข้อมูลว่า ในปี พ.ศ. 2559 ประชากรไทยใช้น้ำประมาณ 50 ลิตรต่อวัน ซึ่งราคาของน้ำใช้จะมีราคาสูงขึ้นและขาดแคลนในอนาคต ดังนั้น จึงเป็นสิ่ง ที่ตระหนักและหาวิธีการประหยัดน้ำ ตัวอย่างเช่น บริษัทโตโต<sup>(2)</sup> ประเทศญี่ปุ่น ได้พัฒนาฝักบัวอาบน้ำที่มีอากาศผสมอยู่ โดยอ้างว่าสามารถประหยัดเงินได้ถึง 180 ดอลลาร์ต่อปี แต่ ฝักบัวนี้มีราคาสูงถึง 2500 บาท จึงเป็นแนวทางในการ พัฒนานาล้างน้ำที่ผสมอากาศในงานวิจัยนี้

การที่น้ำผสมอากาศมีความสามารถในการทำความสะอาดได้ดีกว่าการล้างด้วยน้ำเพียงอย่างเดียว มีพื้นฐานอยู่ที่ อากาศจะแทรกระหว่างชั้นของน้ำ ซึ่งทำให้ชั้นของน้ำแต่ละ ชั้นสัมผัสและชะล้างได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งต่างจากการ ล้างด้วยน้ำเพียงอย่างเดียว ที่จะมีชั้นน้ำอยู่เหนือชั้นของน้ำ ทำให้ไม่ได้สัมผัสผิวสิ่งสกปรกได้

แนวคิดที่จะให้เกิดการผสมของอากาศกับน้ำ อาศัย ภาวะที่ความดัน ณ ตำแหน่งภายในวาล์ว มีค่าต่ำกว่าความ ดันบรรยากาศ (1 atm) โดยสมการ

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho \bar{v}_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho \bar{v}_2^2 + \rho g h_2 \quad (1)$$

โดย  $\rho$  คือความหนาแน่น ( $\text{kg/m}^3$ ) ในภาวะที่ระดับความสูง เดียวกัน ความดัน  $P_2$  ที่จุด 2 จะเพิ่มขึ้น หรือลดลง ตาม ความเร็ว  $\bar{v}_2$  ซึ่งความเร็วจะเปลี่ยนแปลงไปตาม ความสัมพันธ์

$$\int v dA = \text{constant} \quad (2)$$

และความดันภายในวาล์วจะเปลี่ยนแปลงตามระยะทางใน แนวแกน ( $Z$ ) ตามความสัมพันธ์

$$v \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{\partial P}{\partial z} + \mu \left( \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial v}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (3)$$

โดย  $r$  คือรัศมีภายในวาล์ว และ  $\mu$  คือค่าความหนืด ( $\text{Pa s}$ ) จากสมการที่ (1) - (3) สามารถหาความสัมพันธ์ของความดัน

ที่จุดต่างๆภายในวาล์วประหยัดน้ำ ซึ่งมีวาล์วประหยัดน้ำนี้มี พื้นที่หน้าตัดเปลี่ยนแปลงไปตามความยาวของวาล์ว

### 2. วิธีวิจัย (Research Methodology)

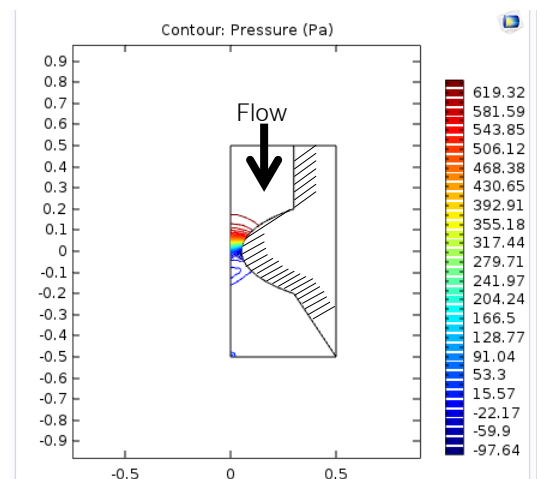
การออกแบบลักษณะของวาล์ว จากสมการที่ (1) และ (2) ทำโดยโปรแกรม COMSOL เพื่อหารูปร่างของวาล์ว เพื่อให้ได้ภาวะความดัน ที่มีความดันตามต้องการ และนำไป สร้างวาล์วต้นแบบโดยกลึงทองเหลือง นำไปขึ้นแบบด้วยบู นพลาสติก และทำการเจาะรู เป็นตำแหน่งให้อากาศเข้า

- จำนวน 4 รูบ ที่มุม 30 และ 45 องศา (ทั้งนี้ได้ ทดสอบให้มุมขนาดอื่นๆ และเจาะรูมากกว่า 4 รู พบว่า มีน้ำรั่วผ่านออกมา)

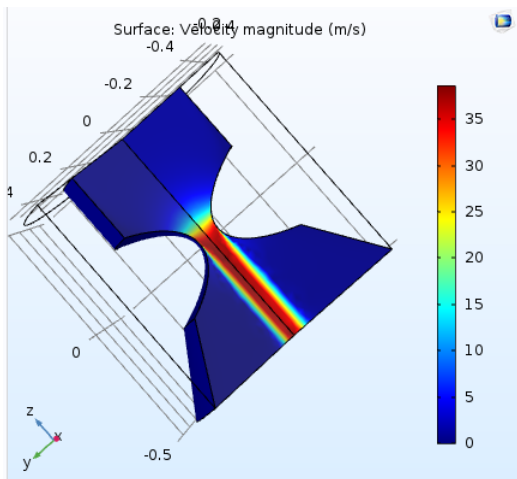
ทำการทดสอบความสามารถในการล้างโดย เลือกใช้ 1. ขอสมะเขือเทศ 2. น้ำมันพืช 3. น้ำผึ้ง 4. น้ำยาล้างจาน และ 5. สบู่เหลว เป็นตัวแทนคราบที่ใช้ทดสอบ (ตัวอย่าง 1 2 และ 3 เป็นตัวแทนประเภทอาหารที่ใช้รับประทาน ส่วน ตัวอย่างที่ 4 และ 5 ตัวแทนของสารที่ใช้ในการล้างสิ่ง สกปรก) โดยอาศัยสายตาเป็นตัววัดว่าชะคราบได้สะอาด

### 3. ผลการวิจัย (Results)

ผลการจำลองลักษณะวาล์วด้วยโปรแกรม COMSOL เป็นดังภาพที่ 1 ซึ่งพบว่าตำแหน่งที่ความดันต่ำสุด อยู่ที่ ตำแหน่งหลังจุดที่มีพื้นที่หน้าตัดต่ำสุด (-97.64 Pa) และ ความเร็วภายในวาล์ว แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 1 ความดันที่เกิดขึ้นภายในวาล์ว ที่จำลองโดย โปรแกรม COMSOL



ภาพที่ 2 ความเร็วภายในวาล์ว

โครงสร้างและขนาดของวาล์วจากโปรแกรม COMSOL  
นำไปขึ้นรูปทองเหลืองและหล่อแบบด้วยปูนพลาสติก ดัง  
ภาพที่ 3

วาล์วปูนพลาสติก นำไปเจาะรูขนาด 4 รู ในมุม 30 องศา  
และ 4 รู ในมุม 45 องศา ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 3 แบบจำลองวาล์วทองเหลืองและปูนพลาสติก



ภาพที่ 4 วาล์วต้นแบบที่เจาะรู

เมื่อทำการทดลองการล้างด้วยคราบ 5 แบบ (ซอสมะเขือเทศ  
น้ำมันพืช น้ำผึ้ง น้ำยาล้างจาน และสบู่เหลว) ดังภาพที่ 5  
โดยให้น้ำจากถังน้ำป้อนเข้าไปในท่อและแยกออกไปทดสอบ  
กับวาล์วประหยัดน้ำและกับวาล์วปกติพร้อมกัน





ภาพที่ 5 การทดลองล้างคราบ-5 แบบ เปรียบเทียบระหว่าง  
วาล์วประหยัดน้ำกับวาล์วปกติ

ตารางที่ 1 เวลา (วินาที) ที่ใช้ในการล้างคราบต่างๆ

คราบ	วาล์วปกติ	วาล์ว 45°	วาล์ว 30°
ซอสมะเขือเทศ	6.23	6.2	5.67
น้ำมันพืช	23.2	23.4	20.2
น้ำผึ้ง	3.56	3.50	3.45
น้ำยาล้างจาน	3.61	3.59	3.48
สบู่เหลว	10.2	10	9.5

#### 4. อภิปรายผล (Discussion)

เวลาที่ใช้ในการล้างคราบต่างๆ แสดงดังตารางที่ 1 และอัตรา  
การไหลของน้ำที่ใช้เป็น วาล์วปกติ 2.4 ลิตรต่อนาที วาล์ว  
เจาะรู 45 องศา 1.8 ลิตร ต่อนาที และวาล์วเจาะรู 30  
องศา 1.4 ลิตร ต่อนาที

จากตารางที่ 1 เวลาที่ใช้ในการล้างคราบแต่ละอย่าง พบว่า  
ใช้เวลาในการล้างไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งในกรณี  
ของวาล์ว ที่เจาะรูมุม 30 องศา และ 45 องศา แต่เมื่อ  
พิจารณาปริมาณน้ำที่ใช้จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า วาล์วประหยัด  
น้ำที่มีอากาศผสม สามารถลดปริมาณการใช้น้ำได้ ร้อยละ  
25 สำหรับวาล์วเจาะรู 45 องศา และร้อยละ 41.7 สำหรับ  
วาล์วเจาะรู 30 องศา ซึ่งแสดงว่าอากาศเข้าไปผสมในน้ำของ  
วาล์วเจาะรู 30 องศา มีปริมาณมากกว่าอากาศที่เข้าไปผสม  
ในวาล์วเจาะรู 45 องศา แต่อย่างไรก็ตามการวัดปริมาณน้ำที่  
ไหลจากวาล์วที่เจาะรูเปรียบเทียบกับวาล์วปกติ

#### 5. สรุปผล (Conclusion)

วาล์วประหยัดน้ำที่พัฒนาขึ้น มีความสามารถในการ  
ประหยัดน้ำเมื่อเทียบกับวาล์วปกติ อันเนื่องมาจากอากาศ  
ผสมเข้าไปจากที่เจาะไว้ ส่วนเวลาในการล้างคราบมีค่าน้อย  
กว่าวาล์วปกติเพียงเล็กน้อย โดยพบว่าวาล์วที่เจาะรู 30  
องศา สามารถประหยัดน้ำได้มากกว่า วาล์วที่เจาะรู 45  
องศา แต่สิ่งที่จะต้องทำการศึกษาเพิ่มต่อไปประกอบด้วย อัตรา  
การไหลของน้ำที่จะส่งผลกระทบต่อการทำงานของวาล์ว จำนวนรู  
และมุมเจาะ ที่สามารถเพิ่มอากาศเข้าไปมากขึ้น

#### 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานสถิติแห่งชาติ, ข้อมูลจาก [http://service.nso.go.th/nso.nsoPublish/cotizen/news/news\\_57.jps](http://service.nso.go.th/nso.nsoPublish/cotizen/news/news_57.jps), (วันที่สืบค้นข้อมูล 10 พฤศจิกายน 60)
- [2] Iddo, G., TOTO product, ข้อมูลจาก <http://thefutureofthings.com/5143-air-in-shower-can-save-35-of-your-water-consumption>, (วันที่สืบค้นข้อมูล 10 พฤศจิกายน 60)



พอลิแกมมาไกลูตามิกเอซิดกราฟท์เบนซอกซาซีน:  
วัสดุรับรู้ชนิดใหม่ที่มีสมบัติตอบสนองต่อไอออนของโลหะหนักในน้ำ

Poly-Gamma Glutamic Acid Grafted Benzoxazine:

Novel Sensing Material with Responsive Property to Heavy Metal Ion in Water

วัลลภ พัฒนพงศ์<sup>1</sup> และอรรถพล แก้ววิสัย\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมการเชื่อม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1381 ถนนประชากรราษฎร์ 1 เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

\*[attaphon.k@cit.kmutnb.ac.th](mailto:attaphon.k@cit.kmutnb.ac.th)

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้เสนอแนวทางการพัฒนาวัสดุชนิดใหม่ที่มีสมบัติการเลือกตอบสนองต่อไอออนของโลหะหนักด้วยการตัดแปรรูปโครงสร้างของพอลิแกมมาไกลูตามิกเอซิดและเบนซอกซาซีนโดยใช้ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน วัสดุที่ได้จากการตัดแปรรูปโครงสร้างคือพอลิแกมมาไกลูตามิกเอซิดกราฟท์เบนซอกซาซีน (B-PGA) ที่มีช่องว่างจำเพาะต่อขนาดไอออนของโลหะหนักและส่งผลให้ B-PGA สามารถตอบสนองต่อไอออนของโลหะได้ จากการทดสอบการตอบสนองต่อไอออนของโลหะหนักประเภทต่างๆ ที่อยู่ในน้ำ เช่น Ni(II) Cu(II) Mn(II) Co(II) Pb(II) Zn(II) Fe(III) และ Ce(III) พบว่า B-PGA มีสมบัติเลือกตอบสนองเฉพาะไอออนของ Cu(II) และ Fe(III) ซึ่งสามารถมองเห็นการเปลี่ยนแปลงได้ด้วยตาเปล่าโดยพิจารณาจากสมบัติการละลาย สี และฟลูออเรสเซนซ์ (ภายใต้แสง UV) นอกจากนี้ B-PGA ยังมีประสิทธิภาพการสกัดจับไอออนของ Cu(II) และ Fe(III) ได้ร้อยละ 59.68% และ 67.11 ตามลำดับ จากข้อมูลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าวัสดุ B-PGA มีสมบัติการเลือกตอบสนองต่อไอออนของโลหะที่สามารถใช้เป็นเซ็นเซอร์และวัสดุสกัดจับโลหะ ซึ่งองค์ความรู้ดังกล่าวสามารถนำไปพัฒนาวัสดุที่มีการตอบสนองชนิดใหม่เพื่อใช้สำหรับตรวจไอออนของโลหะหนักที่อยู่ในน้ำประเภทอื่นๆ ต่อไป

#### Abstract

This research presented the development pathway of novel material with metal ions sensing property by modification of poly-gamma glutamic acid and benzoxazine via esterification reaction. The obtained material from structural modification was poly-gamma glutamic acid grafted benzoxazine (B-PGA) which had specific cavity for the suitable size of metal ions which effected that the B-PGA could be responded to metal ions. From the metal ions responsive testing in aqueous solutions of various metal ions such as Ni(II), Cu(II), Mn(II), Co(II), Pb(II), Zn(II), Fe(III) and Ce(III), it was found that the B-PGA showed the responsive-selective property to Cu<sup>2+</sup> and Fe<sup>3+</sup> ions only. The changing could be easily considered by the necked eye from solubility, color and fluorescence (under UV). In addition, the extraction of Cu(II) and Fe(III) ions by B-PGA was found to be 59.68% and 67.11%, respectively. From the results, it indicated that the B-PGA material exhibited the responsive-selective property to metal ions which that knowledge could be later developed to novel responsive material for detecting the other of metal ions in water.

**คำสำคัญ (Key word):** พอลิแกมมาไกลูตามิกเอซิด ; เบนซอกซาซีน ; วัสดุตอบสนองต่อไอออนของโลหะ

#### 1. บทนำ (Introduction)

สารมลพิษ (Pollutant) โดยเฉพาะไอออนของโลหะหนัก (Heavy Metal Ions) ที่ปนอยู่ในแหล่งน้ำได้กลายเป็นปัญหาสำคัญของทุกประเทศ [1, 2] เนื่องจากส่งผลกระทบต่อ

โดยตรงต่อระบบนิเวศ ด้วยเหตุผลดังกล่าว นักวิจัยทั่วโลกจึงพยายามพัฒนาวัสดุรับรู้ (Sensing Material) ที่มีสมบัติตอบสนองต่อไอออนของโลหะ (Metal Ions Responsive Ability) เพื่อใช้สกัดหรือตรวจไอออนของโลหะชนิดต่างๆ

เพื่อทดแทนวัสดุและเครื่องมือที่ใช้อยู่ในปัจจุบันที่มีข้อจำกัดต่าง เช่น ราคา ขนาด ความซับซ้อนของการตรวจผลการตอบสนองต่อไอออนของโลหะ ซึ่งไม่เหมาะต่อการใช้งาน [2]

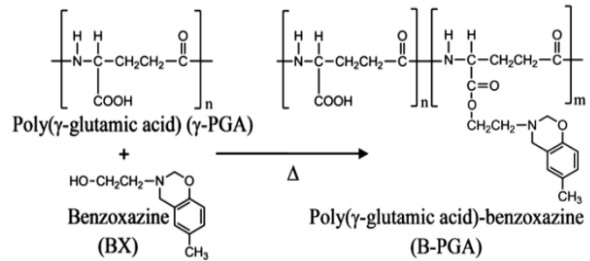
พอลิกลูตามิกแอซิดในรูปแบบแกมมา ( $\gamma$ -PGA) เป็นพอลิเมอร์ชีวภาพประเภทไฮโปพอลิเมอร์ที่เกิดจากหน่วยย่อยของกรดกลูตามิก (Glutamic Acid) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะเอไมด์ (Amide Bond) ระหว่างแอลฟาอะมิโน ( $\alpha$ -Amino) และแกมมาคาร์บอกซิลิกแอซิด ( $\gamma$ -Carboxylic Acid) จากการสืบค้นข้อมูลที่ผ่านมา พบว่า  $\gamma$ -PGA ได้ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมด้านสิ่งแวดล้อมต่างๆ มากมาย เช่น อาหาร เครื่องสำอาง หรือการบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น นอกจากนี้  $\gamma$ -PGA ยังถูกใช้เป็นสารดูดซับไอออนของโลหะ (Metal Ion Absorption) อีกด้วย เนื่องจาก  $\gamma$ -PGA มีขนาดรูพรุนสูง และมีหมู่ฟังก์ชัน (หมู่อะมิโนและหมู่คาร์บอกซิลิกแอซิด) ที่สามารถดึงดูดโลหะไอออนได้ แต่ยังไม่สามารถแสดงผลการตอบสนองต่อไอออนของโลหะได้ [3, 4]

ในช่วงปี ค.ศ.1999 – ค.ศ.2010 ได้มีการกล่าวถึงสมบัติซูเปอร์โมเลกุลของวัสดุเบนซอกซาซีน (Benzoxazine; BX) ที่สามารถตอบสนองต่อไอออนของโลหะประเภทต่างๆ ได้ดี อาทิเช่น ไอออนของโลหะอัลคาไลน์ (Alkaline Metal Ions) ไอออนของโลหะทรานซิชัน (Transition Metal Ions) และไอออนของโลหะหายากและโลหะมีค่า (Rare and Noble Metal Ions) เป็นต้น โดยพบว่า ไนโตรเจนและออกซิเจนที่เป็นโคออร์ดิเนตอคมและโมเลกุลที่มีความยืดหยุ่นเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เบนซอกซาซีนสามารถเข้าล้อมจับกับไอออนของโลหะชนิดต่างๆ ได้ดี [5, 6] อีกทั้งเบนซอกซาซีนนั้นมีวงเบนซีนและวงออกซาซีนที่เป็นคลอโรฟออร์และฟลูออโรฟออร์ (Chromophore and Fluorophore) ทำให้แสดงสมบัติการดูดกลืนแสงและการเปล่งแสงของฟลูออเรสเซนส์ได้และสมบัติดังกล่าวจะเปลี่ยนแปลงไป เมื่อ BX เกิดอันตรกิริยากับโลหะไอออน [7] แต่อย่างไรก็ตาม BX ยังคงมีข้อด้อยคือโครงสร้างโมเลกุลมีขนาดเล็กจึงทำให้ไม่มีสมบัติการเลือก (Selectivity) ตอบสนองต่อไอออนของโลหะและมีประสิทธิภาพการดูดซับหรือการสกัดจับไอออนโลหะได้น้อย ด้วยเหตุผลข้างต้น ผู้วิจัยจึงขอเสนอแนวทางการพัฒนาวัสดุรับรู้ชนิดใหม่ที่มีสมบัติการเลือกตอบสนองต่อไอออนของโลหะโดยการดัดแปรโครงสร้างของ  $\gamma$ -PGA กับ BX ซึ่งจะทำให้ได้วัสดุที่มีความจำเพาะของช่องว่างระหว่างโมเลกุลที่เหมาะสมกับโลหะไอออนที่สามารถแสดงผลการตอบสนองที่สังเกตเห็นได้ง่ายด้วยตาเปล่า ซึ่งจะก่อให้เกิดประโยชน์ในด้านการตรวจโลหะไอออนในสิ่งแวดล้อมต่อไป

## 2. วิธีวิจัย (Research Methodology)

### 2.1 การดัดแปรโครงสร้างของ $\gamma$ -PGA และ BX

การดัดแปรโครงสร้างของ  $\gamma$ -PGA และ BX ทำได้โดยการดำเนินปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างหมู่คาร์บอกซิลิกแอซิดของ  $\gamma$ -PGA และหมู่ไฮดรอกซิลของ BX ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์คือ  $\gamma$ -PGA กราฟท์ BX (B-PGA) ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่าง  $\gamma$ -PGA และ BX

ขั้นตอนการสังเคราะห์ เริ่มต้นจากการเติม  $\gamma$ -PGA (1.0 มิลลิกรัม, 2.0 มิลลิโมล) ลงในสารละลายอะซิโตนไนโตรล ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ในขวดก้นกลมขนาด 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นค่อยๆ หยดสารละลาย BX (1.5 มิลลิกรัม, 7.75 มิลลิโมล) ในอะซิโตนไนโตรล 80 มิลลิลิตร และต้มกลั่น (Reflux) จนปฏิกิริยาเกิดสมบูรณ์ ล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่นและอะซิโตน ทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งด้วยการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างทางเคมีของ B-PGA ด้วยเทคนิค FTIR (บริษัท Bruker รุ่น Alpha-E) และ <sup>1</sup>H-NMR (บริษัท Varian รุ่น Mercury-400 spectrometer)

### 2.2 การทดสอบสมบัติการตอบสนองต่อไอออนโลหะ

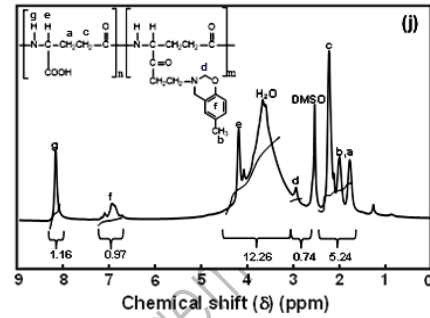
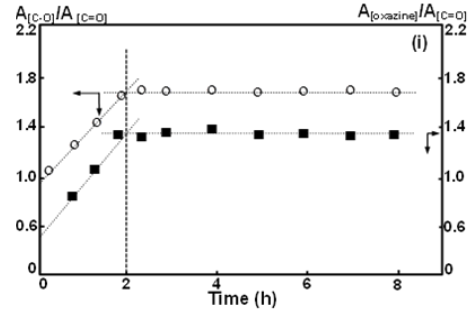
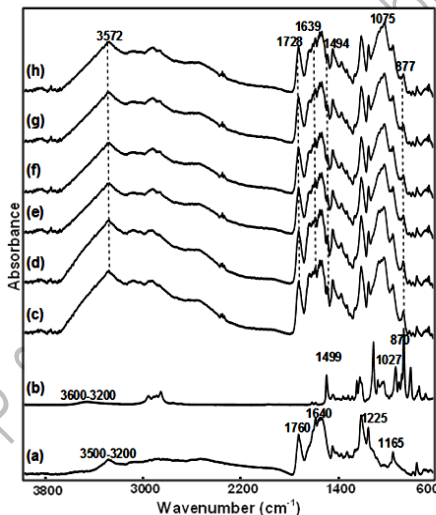
การทดสอบทำได้โดยการเติม B-PGA (2.0 มิลลิกรัม) ลงในสารละลายโลหะไอออนที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลายที่มีความเข้มข้นของโลหะไอออน 1.0 มิลลิโมล (สารละลายโลหะไอออน 8 ชนิด ได้แก่ คอปเปอร์ไอออน (Cu(II)) โคบอลต์ไอออน (Co(II)) แมงกานีสไอออน (Mn(II)) นิกเกิลไอออน (Ni(II)) ตะกั่วไอออน (Pb(II)) สังกะสีไอออน (Zn(II)) เหล็กไอออน (Fe(III)) และเหล็กไอออน (Ce(III)) ตามลำดับ) จากนั้นวิเคราะห์สมบัติการตอบสนองต่อโลหะไอออนด้วยตาเปล่าและวัดค่าการดูดกลืนด้วย เทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Shimadzu UV-1700) เพื่อคำนวณค่าร้อยละการตอบสนองต่อไอออนดังสมการ  $[A_0 - A / A_0 \times 100]$  เมื่อ  $A_0$  คือค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของสารละลายโลหะไอออน และ  $A$  คือค่าการดูดกลืนแสงของโลหะไอออนที่เปลี่ยนไปหลังสกัดด้วย B-PGA

สุดท้าย วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสมบัติฟลูออเรสเซนซ์ของ B-PGA หลังจากสกัดด้วยไอออนของโลหะที่สามารถตอบสนองได้กับ B-PGA ด้วยเครื่องฟลูออเรสเซนซ์สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Shimadzu RF-6000)

### 3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล (Results and Discussion)

#### 3.1 การดัดแปรโครงสร้างของ $\gamma$ -PGA และ BX

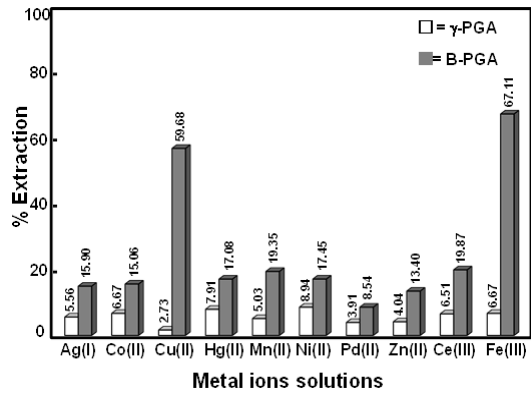
ผลิตภัณฑ์ (B-PGA) ที่ได้จากปฏิกิริยา BX และ  $\gamma$ -PGA มีลักษณะเป็นผงสีเหลือง เมื่อวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของ B-PGA ด้วยเทคนิค FTIR สามารถยืนยันการดัดแปร BX บนโครงสร้างของ  $\gamma$ -PGA ได้จากพีกของวงออกซาซีนอีเทอร์ อะโรมาติก และวงเบนซีน ซึ่งปรากฏที่ตำแหน่ง 1504, 1120 และ 871  $\text{cm}^{-1}$  ตามลำดับ ดังภาพที่ 2 a-h นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์ด้วยอัตราส่วนการดูดกลืนแสง IR ของหมู่ฟังก์ชัน C-O ต่อ C=O และ Oxazine ต่อ C=O (ภาพที่ 2 i) ได้ชี้ให้เห็นว่าปฏิกิริยาเริ่มเกิดขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป 15 นาที และเริ่มคงที่ที่เวลา 2 ชั่วโมง ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเวลาที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ B-PGA คือเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อทดสอบ B-PGA ด้วยเทคนิค  $^1\text{H-NMR}$  พบว่า  $^1\text{H-NMR}$  ของ B-PGA แสดงพีกหลักดังนี้ (DMSO- $d_6$ ,  $\delta$  in ppm): 1.62-2.35 (4H,  $-\text{CH}-\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{CO}-$ ), 2.84-3.08 (2H,  $-\text{CH}_2-\text{N}(\text{CH}_2)\text{O}-$ ), 4.10-4.45 (1H,  $-\text{NH}-\text{CH}(\text{CO}_2\text{CH}_2)\text{CH}_2-$ ), 7.96-8.43 (1H,  $-\text{NH}-\text{CH}(\text{CO}_2\text{CH}_2)\text{CH}_2-$ ), 6.49-7.22 (3H,  $-\text{O}-\text{C}-\text{CHCHCCHC}-\text{CH}_2-\text{N}-$ ) ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 FTIR สเปกตรัมของ (a)  $\gamma$ -PGA (b) BX (c-h) B-PGA ที่ทำปฏิกิริยาด้วยเวลา 15 นาที - 8 ชั่วโมง (i) กราฟ IR-ratio/time และ (j)  $^1\text{H-NMR}$  ของ B-PGA จากข้อมูล FTIR และ  $^1\text{H-NMR}$  สามารถยืนยันได้ว่าโครงสร้างของ B-PGA ประกอบด้วย BX ที่ติดกับ  $\gamma$ -PGA เมื่อคำนวณระดับการดัดแปรโครงสร้างจากอัตราส่วนของค่าอินทิเกรตฟีกโปรตอนของหมู่เอมิโน (7.96-8.43 ppm) ต่อค่าอินทิเกรตฟีกของอะโรมาติกโปรตอนของ BX (6.49-7.22 ppm) ชี้ให้เห็นว่า B-PGA มีระดับการดัดแปรโครงสร้างประมาณ 25% ซึ่งขัดจำกัดดังกล่าวเกิดจากผลของความเกะกะ (Steric Effect) ทางโครงสร้างของ  $\gamma$ -PGA ที่มีขนาดใหญ่และมีพันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุล (Intra molecular hydrogen bond) [2]

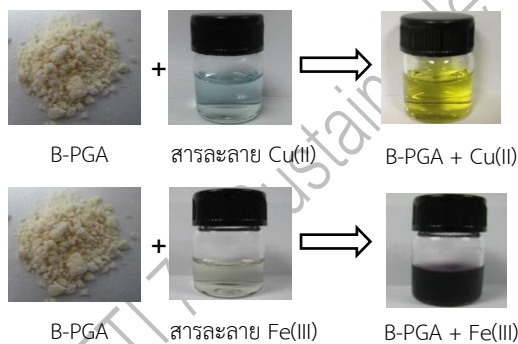
#### 3.2 การทดสอบสมบัติการตอบสนองต่อไอออนโลหะ

จากผล UV-Vis และการคำนวณค่าร้อยละการตอบสนองต่อไอออน พบว่า  $\gamma$ -PGA มีการตอบสนองต่อไอออนโลหะไม่เกิน 10% สำหรับ B-PGA มีการตอบสนองต่อไอออนโลหะ Ag(I), Co(II), Cu(II), Hg(II), Mn(II), Ni(II), Pd(II), Zn(II), Ce(III) and Fe(III) ions ประมาณ 15.90 %, 15.06%, 59.68%, 17.08%, 19.35%, 17.45%, 8.54%, 13.40%, 19.87%, 67.11% ตามลำดับ ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ผลร้อยละการสกัดไอออนของโลหะ

จากการทดสอบการตอบสนองของ B-PGA กับสารละลายโลหะไอออนทั้ง 10 ชนิด พบว่า มีเพียงสารละลายของ Cu(II) และ Fe(III) เท่านั้นที่เกิดการเปลี่ยนสี และมีค่าความยาวคลื่นที่มีการดูดกลืนแสงสูงสุดเปลี่ยนไปจากใสไม่มีสีเป็นสีเหลือง (415 nm) และสีแดง (508 nm) ตามลำดับ (ภาพที่ 4) นอกจากนี้ ยังพบว่า B-PGA ที่ไม่ละลายน้ำจะสามารถละลายได้ในสารละลาย Cu(II) และ Fe(III) จากข้อมูลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า B-PGA นั้นเลือกจับไอออนของ Cu(II) และ Fe(III) โดยเกิดเป็นสารเชิงซ้อน (Complex) ที่แสดงผลการตอบสนองให้เห็นการเปลี่ยนแปลงได้ด้วยตาเปล่า ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การตอบสนองต่อ Cu(II) และ Fe(III) ของ B-PGA

หลังจาก B-PGA เกิดเป็นสารเชิงซ้อนกับ Cu(II) และ Fe(III) ไอออน พบว่า สมบัติฟลูออเรสเซนซ์ของ B-PGA จะเปลี่ยนแปลงไป จากฟลูออเรสเซนซ์สีเขียวเปลี่ยนเป็นสีฟ้า เมื่อความเข้มข้นของไอออนโลหะเพิ่มมากขึ้น โดยค่าความยาวคลื่นฟลูออเรสเซนซ์ของ B-PGA จะเปลี่ยนจาก 489 nm เป็น 428 nm เมื่อผสม B-PGA กับ Cu(II)) และค่าความยาวคลื่นฟลูออเรสเซนซ์ของ B-PGA จะเปลี่ยนจาก 489 nm เป็น 418 nm เมื่อผสม B-PGA กับ Fe(III)) ดังแสดงในภาพที่ 5



(a) (b) (c)

ภาพที่ 5 ลักษณะฟลูออเรสเซนซ์ภายใต้แสง UV ของ  
(a) B-PGA ก่อนและหลังการเกิดสารเชิงซ้อนกับ  
(b) Cu(II) และ (c) Fe(III) ไอออน

เมื่อพิจารณาจากขนาดรัศมีโควาเลนต์ (Covalent Radii) ของโลหะไอออน พบว่า Cu(II) และ Fe(III) ไอออนมีขนาดรัศมีโควาเลนต์ที่เท่ากันคือ 132 pm ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าว ชี้ให้เห็นว่าโครงสร้างโมเลกุลของ B-PGA ที่พัฒนาขึ้นนั้นสามารถเอื้อให้มีขนาดเหมาะสมกับรัศมีโควาเลนต์ที่มีขนาด 132 pm [8] ทำให้ B-PGA เลือกตอบสนองเฉพาะ Cu(II) และ Fe(III) ไอออน และเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านการละลาย สี และสมบัติฟลูออเรสเซนซ์ ที่สามารถสังเกตเห็นได้ง่ายด้วยตาเปล่า

## 5. สรุปผล (Conclusion)

B-PGA ที่ได้จากการตัดแปรโครงสร้าง  $\gamma$ -PGA และ BX ด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันสามารถใช้เป็นวัสดุรับรู้ที่มีสมบัติการเลือกตอบสนองต่อไอออนของ Cu(II) และ Fe(III) ได้โดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงสมบัติการละลาย การดูดกลืนแสง และฟลูออเรสเซนซ์ของ B-PGA ซึ่งสามารถมองเห็นได้ง่ายด้วยตาเปล่า กล่าวคือ หลังจากเกิดการตอบสนองต่อไอออน Cu(II) และ Fe(III) จะทำให้ B-PGA ที่ไม่ละลายน้ำเปลี่ยนเป็นและสารเชิงซ้อนที่ละลายน้ำสีเหลืองและสีแดงตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า ฟลูออเรสเซนซ์ของ B-PGA จะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีฟ้า ซึ่งการตอบสนองต่อไอออนดังกล่าวเป็นผลจากโครงสร้างของ B-PGA ที่พัฒนาขึ้นนั้นสามารถเอื้อให้มีช่องว่างที่เหมาะสมกับรัศมีโควาเลนต์ขนาด 132 pm จึงทำให้มีการเลือกตอบสนองเฉพาะไอออนของ Cu(II) และ Fe(III) ดังนั้น หากออกแบบให้วัสดุตอบสนองที่มีช่องว่างที่เหมาะสมกับขนาดโควาเลนต์ของโลหะไอออนชนิดอื่นๆ ก็คาดว่าจะทำให้ได้วัสดุที่มีสมบัติการเลือกตอบสนองต่อไอออนชนิดนั้นๆ ได้ และสามารถใช้ประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อมได้ต่อไป

## 6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ตามสัญญาเลขที่ KMUTNB-NEW-60-9

## 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] OSHA, Safety and Health Topics: Toxic Metals, United States Department of Labor, 2009, Source: <https://www.osha.gov/SLTC/metalsheavy/>
- [2] Reuters, Amid China Air, Water Pollution, Soil Survey Reveals Century-Old Heavy Metal, 2013, Source: <http://in.reuters.com/article/2013/04/10/china-pollution-idINDEE93904B20130410>
- [3] Shih, I.L., and Van, Y.T., "The production of poly( $\gamma$ -glutamic acid) from microorganisms and its various applications", *Bioresource Technology*, 79, 2001.
- [4] Shimokuri, T., Kaneko, T., Serizawa, T., and Akashi, M., "Preparation and thermosensitivity of naturally occurring polypeptide poly( $\gamma$ -glutamic acid) derivatives modified by propyl groups" *Macromolecular Bioscience*, 4, 2004.
- [5] Chirachanchai, S., Laobuthee, A., and Ishida, H., "A novel ion extraction material using host-guest properties of oligobenzoxazine local structure and benzoxazine monomer molecular assembly" *Journal Applied Polymer Sciences*, 77, 1999.
- [6] Ishida, H., and Agag, T., "Handbook of Benzoxazine Resins Chapter 1, Elsevier, Amsterdam, 2011.
- [7] Chirachanchai, S., Phongtamrug, S., Laobuthee A., and Tashiro, K., "Handbook of Benzoxazine Resins, Chapter 4" Elsevier, Amsterdam, 2011.
- [8] Cordero, B., Gómez, V., Platero-Prats, A.E., Revés, M., Echeverría, J., Cremades, E., Barragán, F., Alvarez, S., "Covalent radii revisited", *Dalton Trans*, 21, 2008.

RMUTP & FTI 7th Sustainable Industrial Management Engineering



## การผลิตกระเบื้องบุผนังแบบไม่เคลือบจากดินดำปราจีน ดินขาวโคกไม้ลาย และเศษแก้วสีเขียว

### Unglazed wall tile produced by Prachin clay, Kok mai lai clay and green glass cullet

วิษณุ เลิศจันทรางกูร<sup>1</sup>, อุบลรัตน์ หวังรักษาศีตกุล<sup>2</sup>

<sup>1</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1518 ถนนประชากรราษฎร์ 1 เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

Wissanu0728@gmail.com

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอทางเลือกในการใช้วัตถุดิบเซรามิกเพื่อการผลิตกระเบื้องบุผนังแบบไม่เคลือบ วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองนี้ ประกอบด้วยดินดำปราจีน ดินขาวโคกไม้ลาย และ เศษแก้วสีเขียว ซึ่งการเติมเศษแก้วสีเขียวนี้ เพื่อศึกษาผลที่มีต่อคุณสมบัติเชิงกลของกระเบื้อง หลังจากผสมวัตถุดิบตามสูตรที่กำหนดและขึ้นรูปขึ้นงานแล้ว ทำการเผาที่อุณหภูมิ 950 °C โดยทำการทดสอบคุณสมบัติขึ้นงานหลังเผา ผลการทดลองสรุปได้เป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่ม A, B, และ C ซึ่งกลุ่ม A ที่ใช้แก้วสีเขียวร้อยละ 10 มีค่าดูดซึมน้ำ อยู่ระหว่างร้อยละ 18.45 - 21.56 และ ความต้านทานแรงดัด 1.38 - 8.18 MPa ในกลุ่ม B เศษแก้วสีเขียวร้อยละ 20 มีค่าดูดซึมน้ำ อยู่ ระหว่างร้อยละ 16.61 - 19.07 และ ความต้านทานแรงดัด 2.2 - 8.34 MPa และ ในกลุ่ม C เศษแก้วสีเขียวร้อยละ 30 มีค่าดูดซึมน้ำ อยู่ระหว่างร้อยละ 14.37 - 16.23 และ ความต้านทานแรงดัด 4.53 - 9.85 MPa เปรียบเทียบคุณสมบัติกับ มอก. 2508 - 2555 พบว่าค่าดูดซึมน้ำของกลุ่ม B และ C ผ่านมาตรฐาน แต่ค่าความต้านทานแรงดัดยังไม่ผ่านมาตรฐานทั้ง 3 กลุ่ม อย่างไรก็ตามสามารถสรุปได้ว่า การประยุกต์ใช้เศษแก้วสีเขียวช่วยเพิ่มค่าความต้านทานแรงดัดได้ทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง ซึ่งสามารถทำการวิจัยต่อยอดได้ด้วยการเพิ่มอุณหภูมิในการเผา และสามารถประยุกต์ใช้ในการผลิตกระเบื้องที่เป็นผลิตภัณฑ์ชุมชนได้

**คำสำคัญ :** ดินดำปราจีน,ดินขาวโคกไม้ลาย,เศษแก้วสีเขียว,กระเบื้องบุผนัง

#### Abstract

The aims of this research is to propose the alternative materials for producing unglazed wall tile. Materials used in this experiment consists of Prachin clay, Kok mai lai clay and green glass cullet. The effect of adding of green glass cullet on mechanical properties of wall tile has been studied. After mixing materials as the constructed formulas, the specimens have been formed by uniaxial pressing. Then, all specimens are fired at temperature 950 °C and their properties are tested. The results can be divided conclude 3 groups which are group A, B and C. Group A using green glass cullet 10% has water absorption between 18.45% - 21.56% and bending strength 1.38 – 8.18 MPa. In group B, it utilizes green glass cullet 20% having water absorption between 16.61% - 19.07% and bending strength 2.2 – 8.34 MPa. And in group C, using green cullet 30% has water absorption 14.37% - 16.23% and bending strength 4.53 – 9.85 MPa. The properties of specimens are compared with Thai Industrial Standard; TIS 2508-2555. The results of this experiment found that water absorption of group B and C can pass standard but bending strength just cannot pass. However, it can be summarized that application of green glass cullet can increase bending strength to all formulas. This study can be extended by increasing temperature for more bending strength. In addition, the products of this study can be applied to be the community products.

**(Key word):** Prachin Clay; Kok Mai Lai Clay; Green Glass Cullet; Unglazed Wall tile

## 1. บทนำ (Introduction)

ภูมิปัญญาท้องถิ่นของไทย เป็นภูมิปัญญาชาวบ้านที่สืบทอดกันมานานนับปี เป็นองค์ความรู้ที่ได้รับสืบทอดต่อกันมาจากรุ่นสู่รุ่นเรื่อยๆ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของชุมชนหรือท้องถิ่นนั้นๆ ซึ่งนับว่าเป็นประโยชน์แก่ท้องถิ่นหรือชุมชนนั้นๆเป็นอย่างมากเลยทีเดียว ซึ่งแต่ละท้องถิ่นนั้นมีภูมิปัญญาแต่ละที่ไม่เหมือนกัน เนื่องจากมีความแตกต่างกันทั้งในเรื่องลักษณะทางภูมิศาสตร์และภูมิอากาศ [1]

ซึ่งกระเบื้องบุผนังก็เป็นหนึ่งภูมิปัญญาท้องถิ่นของไทยเช่นเดียวกัน ซึ่งกระเบื้องบุผนังนั้นแต่ก่อนมักจะใช้เพียงในท้องน้ำเท่านั้น แต่ในปัจจุบันกระเบื้องบุผนังได้รับความนิยมมาใช้ในการตกแต่งบ้านมากยิ่งขึ้นทั้งในห้องครัว ห้องนั่งเล่น หรือในห้องต่างๆ เพราะทำความสะอาดง่าย มีความมันเงาสวยงามและมีความคงทนสูง ซึ่งหัวใจสำคัญอยู่ที่สูตรเนื้อดินที่เข้ากันได้ มีค่าการดูดซึมน้ำที่ 12-18% การหดหรือขยายตัวหลังเผามีค่าเพียงเล็กน้อยที่ 0-0.5% สามารถทนต่อการขยายตัวด้วยความชื้นได้ดีและมีน้ำหนักเบา [2]

ในงานวิจัยนี้ทำการพัฒนาและปรับปรุงกระเบื้องบุผนังแบบไม่เคลือบสำหรับโรงงานตัวอย่างจังหวัดอ่างทอง โดยประยุกต์ใช้ ดินดำปราจีนบุรี ดินขาวโคกไม้ลาย และใช้เศษแก้วสีเขียวเพื่อเพิ่มค่าความแข็งแรงของกระเบื้องบุผนัง ซึ่งดินขาวนั้นมีลักษณะเป็นผงสีครีม ซึ่งมีธาตุสำคัญอย่างซิลิกอนและอลูมิเนียม ส่วนดินดำปราจีนนั้นมีลักษณะเป็นผงสีดำมีธาตุสำคัญ คือซิลิกอนและอลูมิเนียม เช่นเดียวกัน แต่สีดำในดินดำเป็นสารคาร์บอนในดินที่สามารถเผาไหม้หายไปที่อุณหภูมิสูงกว่า 540 °C ซึ่งดินทั้งสองชนิดมีธาตุหลักใกล้เคียงกันจึงนำมาเผาพร้อมกันและพัฒนาเป็นกระเบื้องเซรามิกได้ [3] ส่วนเศษแก้วสีเขียวที่นำมาพร้อมกันนั้นนำมาเผาพร้อมกันเพื่อลดอุณหภูมิการสุกตัวของเนื้อดิน และให้สีสันทึบที่แปลกตาสำหรับผลิตภัณฑ์ [4]

ดินดำปราจีน มีลักษณะเป็นผงสีเทา มีธาตุประกอบที่สำคัญคือ SiO<sub>2</sub> 66.71% และ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 24.65 % ดินดำปราจีนก็เป็นดินอีกหนึ่งประเภทหนึ่งที่นิยมเอามาทำผลิตภัณฑ์เซรามิก จากงานวิจัยของสุมิตรา นาคเครือ และคณะ [5] ได้ทำการทดลองตัวกรองเซรามิกจากดินขาวและดินดำ ทำการขึ้นรูปด้วยวิธีการเทน้ำสลิบ พบว่าความสามารถในการหดตัวของดินดำมีค่าสูงกว่าดินขาว ทำให้ขึ้นรูปได้ง่ายกว่า เมื่อมีปริมาณดินดำในสูตรการผสมที่มากขึ้น เปอร์เซ็นต์การหดตัว [5] นวลอนงค์ ศรีพงษ์ ซึ่งให้ข้อมูลเกี่ยวกับดินขาวไว้ว่า ดินขาวเป็นแร่ที่มีเนื้อละเอียดมาก ค่อนข้างขาว ทนต่อความร้อนสูง แหล่งดินขาวพบได้ในทุกภาคของประเทศไทย ดินขาวเกิดจากการผุพังของแร่แร่เฟลด์สปาร์จากหินแกรนิตพอร์ไฟร์และหินใกล้เคียงชนิดอื่นๆ จึงทำให้คุณสมบัติของ

ดินขาวแต่ละพื้นที่นั้นมีความแตกต่างกันบ้างในแต่ละแหล่ง [6] Michot et al ได้นำแร่เคลโอลิโนท์มาตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ด้วยการเผาที่อุณหภูมิแตกต่างกัน พบว่าที่อุณหภูมิต่ำกว่า 1,050 °C จะมีค่าต่ำกว่า 0.3 W m<sup>-1</sup> k<sup>-1</sup> ถ้าหากใช้อุณหภูมิที่สูงกว่านั้นค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนจะมีค่าสูงถึง 3 W m<sup>-1</sup> k<sup>-1</sup> [1] Jettner et al ทดลองเกี่ยวกับโครงสร้างของแร่เคลโอลิโนท์-อลูมินา พบว่าเปอร์เซ็นต์ของอลูมินาแปรผันตรงกับความพรุนของเนื้องาน [2] Jordan et al ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับอุณหภูมิการเผาของดินเซรามิก โดยเผาในอุณหภูมิ 800 – 1,150 °C พบว่าความพรุนและความแข็งแรงนั้นมีความสัมพันธ์กัน [3] เศษแก้วสีเขียว มีการทดลองมากมายเกี่ยวกับการนำเศษแก้วมาใช้ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์จากเซรามิก ภาณุวัตร รื่นเรืองฤทธิ์ ได้นำนำเศษแก้วแทนแร่ลอย(หินฟีนมา)ในการผลิตสุกซ์เซรามิก ซึ่งได้ผลว่าผลิตภัณฑ์นั้นมีคุณสมบัติตามเกณฑ์ของมาตรฐานอุตสาหกรรมและสามารถลดทุนของการผลิตได้ [7] สมพงษ์ ไชยพุ่ม ได้ศึกษาการลดอุณหภูมิการสุกตัวของการเผาดินขาว และพบว่าสารตัวเติมแก้วโซดาโลม สามารถลดอุณหภูมิการสุกตัวของดินขาวจากอุณหภูมิ 1,250 °C ลดลงเหลือ 1,150 °C โดยที่คุณสมบัติทางกลและกายภาพยังคงเหมือนเดิม [8] Huang et al ได้ทำการทดลองการลดอุณหภูมิการเผาเซรามิก Ba<sub>2</sub> Ti<sub>9</sub> O<sub>20</sub> โดยการเติมแก้วลงไป ผลที่ออกมาคือสามารถลดอุณหภูมิการเผาได้ [4]

การเผาพร้อมกันของ ดินขาวโคกไม้ลาย ดินดำปราจีน และเศษแก้วสีเขียว จำเป็นต้องมีการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการผลิต เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์กระเบื้องบุผนังที่ดีที่สุด คิวช ลาวัลย์ดีกุล ได้ศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผสมระหว่างดินขาวลำปาง ดินดำแม่ทาน ซึ่งได้ผลว่าอัตราส่วนของดินขาวลำปางและดินดำแม่ทานมีอัตราส่วน 70 : 30 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด [9]

ซึ่งงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเติมเศษแก้วสีเขียวในดินขาวโคกไม้ลาย ดินดำปราจีน ที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อเซรามิก และเพื่อเพิ่มค่าความแข็งแรงของชิ้นงาน

## 2. วิธีวิจัย (Research Methodology)

### 2.1 วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการทดลอง

วัตถุประสงค์ที่ใช้ในงานวิจัยประกอบด้วย 3 ชนิด คือ ดินดำปราจีน ดินขาวโคกไม้ลายจากจังหวัดปราจีนบุรี และเศษแก้วสีเขียว ได้วิเคราะห์ที่สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติด้วยวิธีการ X-ray Fluorescence (XRF) ซึ่งประกอบด้วยส่วนประกอบทางเคมี ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบทางเคมีของวัตถุดิบที่ใช้ในการ  
ทดลอง

สารประกอบ	วัตถุดิบ(%)		
	ดินดำ ปราจีน	ดินขาวโคก ไม้ลาย	เศษแก้วสี เขียว
SiO <sub>2</sub>	66.71	58.38	69.91
K <sub>2</sub> O	1.85	0.19	0.36
CaO	0.09	0.04	10.81
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.09	0.06	-
MgO	0.94	0.13	1.24
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.89	2.11	0.43
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24.65	37.87	1.91
Cl	-	-	0.05
SO <sub>3</sub>	0.55	0.09	0.07
MnO	0.02	-	-
Na <sub>2</sub> O	0.2	-	14.64
TiO <sub>2</sub>	0.86	1.06	0.08
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.01	0.3
ZnO	0.01	-	0.03
Rb <sub>2</sub> O	0.01	-	-
CuO	-	-	-
ZrO <sub>2</sub>	0.03	0.06	0.03
NiO	0.01	0.01	-
BaO			0.09
SrO			0.04
PbO			0.01

หมายเหตุ วิเคราะห์ด้วยวิธีการ X-ray Fluorescence  
(XRF)

## 2.2 วิธีการเตรียมวัตถุดิบ

1. ดินขาวโคกไม้ลาย นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 200 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำไปร่อนผ่านตะแกรง 50 เมช (297 ไมครอน)
2. ดินดำปราจีน ลาย นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 200 °C นำไปร่อนผ่านตะแกรง 50 เมช (297 ไมครอน)
3. เศษแก้วสีเขียว นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 200 °C นำไปร่อนผ่านตะแกรง 50 เมช (297 ไมครอน)

## 2.3 กำหนดสูตรการทดลอง

กำหนดสัดส่วนของสูตรการทดลองตามแผนภาพ  
สามแกนทั้ง 21 สูตร โดยใช้เศษแก้วสีเขียวอยู่ระหว่าง 10-

30 % ทั้งนี้การใช้เศษแก้วในสัดส่วนที่มากอาจมีผลทำให้ขึ้น  
รูปยาก ดังนั้นการทดลองนี้ได้แบ่งกลุ่มการทดลองเป็น 3  
กลุ่มที่ คือ กลุ่มที่ A ใช้แก้วสีเขียว 10% กลุ่มที่ 2 ใช้แก้วสี  
เขียว 20% กลุ่มที่ 3 ใช้แก้วสีเขียว 30% โดยกำหนดอัตรา  
ส่วนผสมของดินขาวโคกไม้ลาย ดินดำปราจีน และเศษแก้วสี  
เขียวตามแผนภาพสามแกน ซึ่งแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบในการทดลอง

สูตร	วัตถุดิบ (%)		
	ดินดำ ปราจีน	ดินขาวโคก ไม้ลาย	เศษแก้วสี เขียว
A-1	10	80	10
A-2	20	70	10
A-3	30	60	10
A-4	40	50	10
A-5	50	40	10
A-6	60	30	10
A-7	70	20	10
A-8	80	10	10
B-9	10	70	20
B-10	20	60	20
B-11	30	50	20
B-12	40	40	20
B-13	50	30	20
B-14	60	20	20
B-15	70	10	20
C-16	10	60	30
C-17	20	50	30
C-18	30	40	30
C-19	40	30	30
C-20	50	20	30
C-21	60	10	30

## 2.4 การผสมวัตถุดิบตามสูตรที่กำหนด

ผสมวัตถุดิบด้วยการผสมแห้งคลุกให้เข้ากันเป็น  
เวลา 30 นาที จากนั้นสเปรย์น้ำอัตราส่วน 10% ของน้ำหนัก  
วัตถุดิบ และร่อนผ่านตะแกรง 20 เมช (841 ไมครอน)

## 2.5 ทำการอัดขึ้นรูปผงวัตถุดิบ

อัดขึ้นรูปด้วยการใช้เครื่องอัดขึ้นรูปทางเดียว โดย  
ใช้แรงอัด 100 บาร์ จะได้ชิ้นงานทดสอบที่มีขนาด  
50x100x8 mm.

## 2.6 อบไล่ความชื้น

อบไล่ความชื้นชิ้นงานที่อุณหภูมิ 200 องศา  
เซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วทำการวัดขนาด และชั่ง  
น้ำหนักชิ้นงาน

## 2.7 เผาชิ้นงานทดลอง

เผาขึ้นงานด้วยเตาไฟฟ้า ที่อัตรา 100 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง และคงอุณหภูมิสูงสุด 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทำการวัดความยาว วัดความกว้าง และน้ำหนักของชิ้นงานหลังเผา

## 2.8 ทดสอบคุณสมบัติ

ประกอบด้วย การหดตัวหลังการเผา (%Shrinkage) ดังแสดงในสมการที่ (1) ค่าน้ำหนักที่สูญเสียหลังการเผา (%Weight Loss) ดังแสดงในสมการที่ (2) ค่าความต้านแรงดัด(Bending Strength) ดังแสดงในสมการที่ (3) ค่าความหนาแน่นรวม (Density) ดังแสดงในสมการที่ (4) และเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ (%Water Absorption) ดังแสดงในสมการที่ (5)

### 2.8.1 ค่าการหดตัวหลังการเผา (%Shrinkage)

$$\%Shrinkage = \frac{L_0 - L}{L_0} \times 100 \quad (1)$$

$L_0$  คือ ความยาวก่อนเผา (mm)

$L$  คือ ความยาวหลังเผา (mm)

### 2.8.2 ค่าน้ำหนักที่สูญเสียหลังการเผา

(%Weight Loss)

$$\%Weight Loss = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \quad (2)$$

$W_1$  คือ น้ำหนักก่อนเผา (g)

$W_2$  คือ น้ำหนักหลังเผา (g)

### 2.8.3 ค่าความต้านแรงดัด (Bending Strength)

$$Bending Strength = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (3)$$

$P$  คือ แรงกดที่ทำให้แท่งทดสอบหัก (N)

$L$  คือ ความกว้างของบารอง (mm)

$B$  คือ ความกว้างของแท่งทดสอบบริเวณที่หัก (mm)

$D$  คือ ความหนาของแท่งทดสอบบริเวณที่หัก (mm)

### 2.8.4 ค่าความหนาแน่นรวม(Density)

$$p = \frac{M}{V} \quad (4)$$

$p$  คือ ความหนาแน่นรวม ( $g/cm^3$ )

$M$  คือ น้ำหนักตัวอย่าง (g)

$V$  คือ ปริมาตรของตัวอย่าง ( $cm^3$ )

### 2.8.5 ค่าการดูดซึมน้ำ (%Water Absorption)

$$\%Water Absorption = \frac{W_w - W_d}{W_d} \times 100 \quad (5)$$

$W_d$  คือ น้ำหนักก่อนต้ม (g)

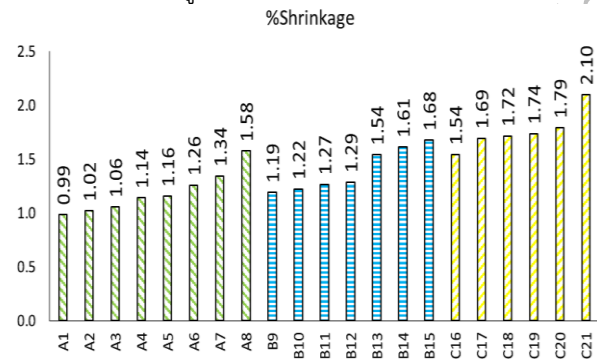
$W_w$  คือ น้ำหนักหลังต้ม (g)

## 3. ผลการวิจัย (Results)

### 3.1 ค่าการหดตัวหลังการเผา (%Shrinkage)

การวิเคราะห์การหดตัวหลังการเผาทำเพื่อนำไปใช้ในการออกแบบแม่พิมพ์เพื่อให้ได้ขนาดชิ้นงานหลังเผา

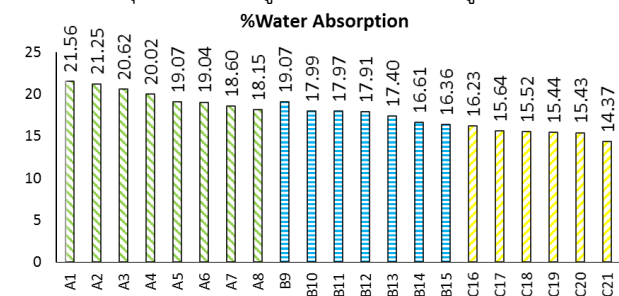
ใกล้เคียงกับขนาดชิ้นงานที่ต้องการผลิต พบว่า การเพิ่มปริมาณเศษแก้วสีเขียว ทำให้เปอร์เซ็นต์การหดตัวมากขึ้น เพราะเศษแก้วสีเขียวมีธาตุกลุ่ม Fluxing Agent สูงที่มีคุณสมบัติช่วยดึงวัตถุดิบอื่นเข้ามาหลอมรวมกันได้ดีขึ้น กลุ่ม A ถึงกลุ่ม C พบว่าสูตรที่มีค่าต่ำสุด A1 ค่าการหดตัวหลังการเผา 0.99% และสูงสุดอยู่ที่ C21 ค่าการหดตัวหลังการเผา 2.1% ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ค่าการหดตัวหลังการเผา

### 3.2 ค่าน้ำหนักที่สูญเสียหลังการเผา (%Weight Loss)

ค่าน้ำหนักที่สูญเสียหลังการเผา พบว่าค่าสูงสุดคือกลุ่ม A ค่าต่ำสุดคือกลุ่ม C เพราะว่าในกลุ่ม A มีดินมากกว่ากลุ่ม C ทำให้เวลาหลังเผามีการสูญเสียมากกว่า เนื่องจากดินมีการสูญเสียมากกว่าเศษแก้ว กลุ่ม A ถึงกลุ่ม C ส่งผลให้ค่าน้ำหนักที่สูญเสียหลังการเผามากที่สุดคือ 14.64% ในสูตร A8 ค่าต่ำที่สุด 5.56% ในสูตร C16 ดังแสดงในรูปที่ 2

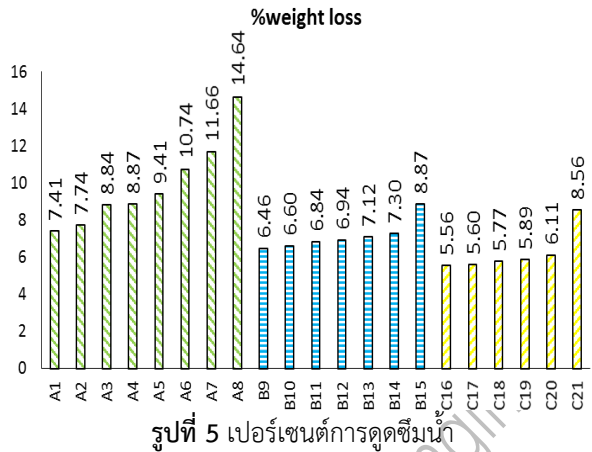
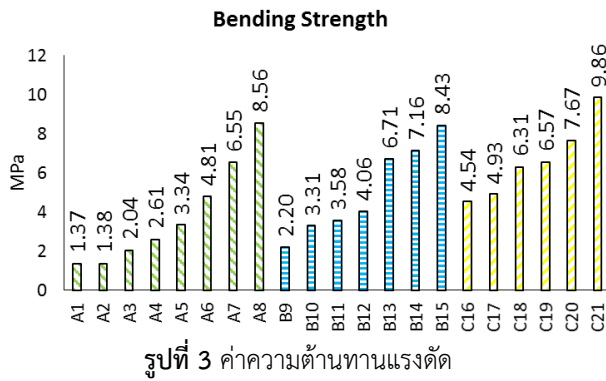


รูปที่ 2 ค่าน้ำหนักที่สูญเสียหลังการเผา

### 3.3 ค่าความต้านทานแรงดัด (Bending Strength)

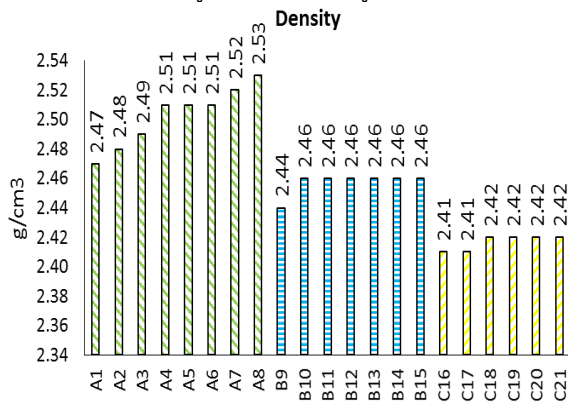
ค่าความต้านทานแรงดัดในกลุ่ม C มีค่าความต้านทานแรงดัดที่สูงที่สุดมีแก้วสีเขียวมากที่สุดถึง 30% แก้วสีเขียวมีธาตุ ที่ช่วยลดจุดหลอมตัว คือ  $Na_2O$   $K_2O$   $CaO$  เป็นธาตุที่ช่วยทำให้อุณหภูมิในการเผาต่ำลงหรือเพิ่มความต้านทานแรงดัด มีความสัมพันธ์กับค่าการหดตัวหลังเผา พบว่าค่ามากที่สุดคือ 9.85 MPa ในสูตรที่ C21 ค่าที่ต่ำที่สุดคือ 1.37 MPa ในสูตรที่ A1 ดังแสดงในรูปที่ 3





### 3.4 ค่าความหนาแน่นรวม(Density)

จากรูปที่ 4 สรุปค่าความหนาแน่นรวมมีแนวโน้มต่ำลงเมื่อดินดำปราจีนมากขึ้นเนื่องจากดินดำมีสารคาร์บอนมากเมื่อเผาที่อุณหภูมิสูง สารเหล่านี้จะสลายตัวและทิ้งช่องว่างในเนื้อผลิตภัณฑ์ทำให้ค่าความหนาแน่นลดลง นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม A, B, และ C พบว่าแนวโน้มค่าความหนาแน่นลดลง ซึ่งลดลงตามแนวโน้มการมีปริมาณของแก้วที่มากขึ้น ทำให้ความหนาแน่นมีแนวโน้มลดลงสูตร C16 ความหนาแน่นรวมต่ำสุด 2.41 g/cm<sup>3</sup> ซึ่งจะตรงกันข้ามเมื่อปริมาณดินขาวโคกไม้ลายเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความหนาแน่นรวมสูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4



### 3.5 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ (%Water Absorption)

ค่าการดูดซึมน้ำ มีแนวโน้มต่ำลง เมื่อมีปริมาณดินดำปราจีนเพิ่มขึ้นส่งผลให้มีค่าความต้านทานแรงดัดและการหดตัวมีแนวโน้มสูงขึ้น ทำให้ค่าการดูดซึมน้ำ แปรผกผันกับค่าความต้านทานแรงดัดและค่าการหดตัว ค่ามากที่สุดคือ 21.56% ในสูตร A8 ค่าต่ำที่สุดคือ 14.37% ในสูตร C21 ดังแสดงในรูปที่ 5

### 4. อภิปรายผล (Discussion)

ผลการวิจัยนี้ แสดงให้เห็นว่า ดินดำปราจีน ดินขาวโคกไม้ลายและเศษแก้วสีเขียว สามารถนำไปผลิตกระเบื้องปูผนังแบบไม่เคลือบได้ ซึ่งจากการวิจัยพบว่า ค่าการหดตัวหลังการเผาเกี่ยวข้องกับเศษแก้วสีเขียว เมื่อเพิ่มเศษแก้วสีเขียวไปในกลุ่มทดลองในแต่ละกลุ่ม % ค่าหดตัวหลังการเผาก็จะมีอัตราเพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 1 ค่าน้ำหนักที่สูญเสียหลังการเผาขึ้นอยู่กับสัดส่วนของดินดำปราจีนและดินขาวโคกไม้ลาย เนื่องจากดินมีสารคาร์บอนปะปนทำให้อัตราการสูญเสียมีมากกว่าเศษแก้ว ดังแสดงในรูปที่ 2 ค่าความต้านทานแรงดัด เมื่อมีส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียวมาก พบว่าค่าความต้านทานแรงดัดมีค่าเพิ่มมากขึ้น เพราะเศษแก้วมีธาตุ Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, และ CaO ซึ่งเป็นธาตุที่ช่วยทำให้อุณหภูมิในการเผาลดต่ำลงและเพิ่มความต้านทานแรงดัดให้มีค่าเพิ่มมากขึ้น ซึ่งมีความสัมพันธ์เกี่ยวกับค่าการหดตัวหลังเผา ดังแสดงในรูปที่ 3 ค่าความหนาแน่น เมื่อเติมดินดำปราจีนในสูตรการทดลอง ทำให้ค่าความหนาแน่นมีค่าลดลงเนื่องจากดินดำมีปริมาณคาร์บอนที่สูง เมื่อเผาที่อุณหภูมิสูงจะทำให้คาร์บอนสูญเสีย ทำให้ค่าความหนาแน่นลดลง ดังแสดงในรูปที่ 4 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ เมื่อมีปริมาณดินดำปราจีนในสูตรการทดลองทำให้ค่าดูดซึมน้ำมีแนวโน้มลดต่ำลงเนื่องจากดินดำปราจีนทำให้ค่าการหดตัวหลังเผาและค่าความต้านทานแรงดัดเพิ่มมากขึ้น ซึ่งแปรผกผันกับค่าการดูดซึมน้ำ

### 5. สรุปผล (Conclusion)

ผลจากการทดลองพบว่าดินดำปราจีน ดินขาวโคกไม้ลาย และเศษแก้วสีเขียวสามารถนำมาผลิตเป็นกระเบื้องปูผนังแบบไม่เคลือบได้ เศษแก้วสีเขียวมีผลต่อค่าความต้านทานแรงดัดยังมีปริมาณที่มากค่าความต้านทานแรงดัดก็ตามแปรผันตรงกับการดูดซึมน้ำ ค่าความหนาแน่นแปรผันตามดินดำปราจีน โดยสูตรที่ดีที่สุดคือสูตร C21 มีค่าการหดตัวหลังการ

เผา 2.1% ค่าน้ำหนักที่สูญเสียหลังการเผา 8.56% ค่าความต้านทานแรงดัด 9.85 MPa ค่าความหนาแน่นรวม 2.42 g/cm<sup>3</sup> เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ 14.37% ถึงแม้ค่าความต้านทานแรงดัดจะยังต่ำแต่สามารถเพิ่มได้จากการเพิ่มเศษแก้วสีเขียวให้มากขึ้น ในการทดลองต่อไปได้

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ให้ความเอื้อเฟื้อเครื่องมือในการทำวิจัยและขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่อุดหนุนทุนวิจัย ช่วยให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วง

## 7. เอกสารอ้างอิง

### 7.1 เอกสารอ้างอิงภาษาไทย

- [1]. ประชุม คำพุ่ม , ผลิตภัณฑ์อิฐก่อสร้างจากแหล่ง เหมืองแร่ดินขาวจังหวัดระนอง, การประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยรังสิต,2556, หน้า 274-281.
- [2]. ดร. คชินท์ สารอินทวงศ์ . การผลิตกระเบื้องบุผนังแบบ Monoporosa, ข้อมูลจาก [http://www.thaiceramicsociety.com/documents/540117\\_monoporosa.pdf](http://www.thaiceramicsociety.com/documents/540117_monoporosa.pdf) (วันที่สืบค้นข้อมูล 20 สิงหาคม พ.ศ. 2560
- [3]. ศูนย์บริการเทคโนโลยีนิวเคลียร์, สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน).
- [4]. แสงโสม จิตต์วารีย์ และ จีรวรรณ เตียรุทธ์สุวรรณ , ผลของลิเทียมคาร์บอเนตและเศษแก้วต่อการลดอุณหภูมิสุกตัวของเนื้อดินสำหรับผลิตกระเบื้องปูพื้น, วารสารวิชาการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำปาง , กรกฎาคม 2559 - ธันวาคม 2559,2559, หน้า 146-160.
- [5]. สมิตรา นาคเครือ และ สิ้นศุภา จุ้ยจุลเจิม , การเตรียมตัวกรองเซรามิกจากดินขาวดินดำและดินดำ, วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยรังสิต,2549.
- [6]. นवलอนงค์ ศรีพงษ์ , การวิจัยและพัฒนาดินขาวเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ, วารสาร วต.21,2549.
- [7]. ภาณุวัตร รื่นเรืองฤทธิ์ และ วิภาณันท์ เอียประเสริฐ, การศึกษาการใช้เศษแก้วเพื่อลดต้นทุนในกระบวนการผลิตสุษกัณฑ์เซรามิกส์, วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม; ว.มร.ม. ปีที่ 5 ฉบับที่ 2:พฤษภาคม - สิงหาคม 2554,2554.
- [8]. สมพงษ์ ไชยพุ่ม และ สมพร ท้าวภูมิเมฆ,การศึกษาการลดอุณหภูมิสุกตัวของดินขาวในผลิตภัณฑ์เซรามิก,2557.

- [9]. ศิวซ์ ลาวัลย์วดีกุล และ กิติชัย รมิงคังวงศ์,การศึกษาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างดินขาวลำปาง และดินดำแม่ทานต่อสมบัติทางกายภาพ และสมบัติเชิงกลของน้ำดินหล่อ, วารสารวิชาคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำปาง,2555.

### 7.2 เอกสารอ้างอิงภาษาอังกฤษ

- [1]. Michot A, Smith DS, Degot S, Gault C. Thermal conductivity and specific heat of kaolinite: evolution with thermal treatment. *J Eur Ceram Soc*2008;**28**:2639–44
- [2]. Jettner T, Moertel H, Svinka V, Svinka R. Structure of kaolinealumina based foam for high temperature applications. *J Eur Ceram Soc* 2007;**27**:1435–41
- [3]. Jordán, M.M., Montero, M.A., Meséguer, S., Sanfeliu, T., 2008. Influence of firing temperature and mineralogical composition on bending strength and porosity of ceramic tile bodies. *Appl. Clay Sci.* **42**, 266–271.
- [4]. Huang, M.H. Weng, C.T. Lion, C.C. Wu, Low temperature sintering and microwave dielectric properties of Ba<sub>2</sub>Ti<sub>9</sub>O<sub>20</sub> ceramics using glass additions, *Mater. Res. Bull.* **35** , (2000) 2445.



## การถอดรหัสบทเรียนของประเทศเดนมาร์กสู่การจัดการพลังงานที่ยั่งยืน Decoding Denmark 's Lesson for Energy Sustainable Management

ณัฐกฤช อัสনী<sup>1</sup>

<sup>1</sup> คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี  
59/1 หมู่ที่ 14 ซอยเทศบาลบางปู 119 ถนน สุขุมวิท  
ตำบลบางปลา อำเภอบางพลี สมุทรปราการ 10540  
[neo.solo.one@gmail.com](mailto:neo.solo.one@gmail.com)

### บทคัดย่อ

เดนมาร์กเป็นประเทศประสบความสำเร็จสำหรับการจัดการพลังงานหมุนเวียน จากผลของการศึกษาเชิงประวัติศาสตร์ของพลังงานหมุนเวียนของประเทศเดนมาร์ก พบว่ามี 3 ปัจจัยหลักสำหรับการจัดการพลังงานที่ยั่งยืน ได้แก่ การจัดตั้งนโยบายพลังงานจากล่างสู่บน การพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานของตนเอง และ การใช้กลไกเครื่องมือนโยบายทางเศรษฐกิจอย่างมีประสิทธิภาพ

**คำสำคัญ:** พลังงานหมุนเวียน, นโยบายพลังงาน, การจัดการที่ยั่งยืน

### Abstract

Denmark is the most successful for renewable energy management. As the result of the historical renewable energy study, there are 3 key factors for sustainable energy management, the bottom-up policy establishment, the own technology development and the high efficiency usage of economic policy tool.

**Key word:** Renewable Energy, Energy Policy, Sustainable Management

## 1. บทนำ (Introduction)

เดนมาร์กเป็นประเทศที่ประสบความสำเร็จในการจัดการพลังงานหมุนเวียนที่สุดในโลก โดยเดนมาร์กสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานลมในสัดส่วนร้อยละ 43.4 ของสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าทั้งหมดภายในประเทศ ในปี 2560 เพิ่มจากสัดส่วนร้อยละ 42 ในปี พ.ศ. 2558 พร้อมทั้งวางเป้าหมายสำหรับการใช้พลังงานหมุนเวียนให้ได้สัดส่วนร้อยละ 50 ภายในปี พ.ศ. 2573 ก่อนก้าวไปสู่ประเทศพลังงานสะอาดสมบูรณ์ (มีสัดส่วนการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานหมุนเวียนทั้งหมด) ภายในปี พ.ศ.2593 ตามลำดับ [1]

เมื่อตามรอยความสำเร็จด้านการจัดการพลังงานหมุนเวียนของเดนมาร์ก จะพบว่าเดนมาร์กมีความพยายามจัดตั้งเทคโนโลยีพลังงานหมุนเวียน ให้เป็นแหล่งเทคโนโลยีพลังงานหลักในประเทศไทยมากกว่า ครึ่งศตวรรษ (ตั้งแต่ พ.ศ. 2513) ผ่านช่วงล้มลุกคลุกคลานมากกว่า 20 – 30 ปี ถ้ามองย้อนไปในปี พ.ศ. 2546 สัดส่วนกำลังผลิตไฟฟ้าพลังงานลมภายในประเทศเดนมาร์กยังอยู่ที่ ร้อยละ 18 ของสัดส่วนการผลิตพลังงานไฟฟ้าของประเทศ ก่อนจะพุ่งทะยานถึงเป็นร้อยละ 22 ของสัดส่วนการผลิตพลังงานไฟฟ้าของประเทศในปี พ.ศ. 2551 สามารถพัฒนาต่อเนื่องจนถึงร้อยละ 43.4 ในปัจจุบัน การพัฒนาแบบก้าวกระโดดจนเป็นประเทศแรกในโลกที่มีแหล่งพลังงานหมุนเวียนเป็นแหล่งพลังงานหลักแทนที่จะเป็นแหล่งพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลแบบในประเทศอื่นๆ [1-3]

ดังนั้นการตามรอยความสำเร็จของการจัดการพลังงานของเดนมาร์ก ผ่านการถอดรหัสบทเรียนทางประวัติศาสตร์ของพลังงานหมุนเวียนในประเทศเดนมาร์ก มาสู่การหารูปแบบและองค์ประกอบการจัดการพลังงานที่ยั่งยืน ในการนำมาเป็นแม่แบบการจัดการพลังงานที่ยั่งยืนต่อไป จึงเป็นเรื่องสาระประโยชน์อย่างยิ่ง โดยเฉพาะสำหรับประเทศไทยที่ต้องการพัฒนาแหล่งพลังงานหมุนเวียน เป็นแหล่งพลังงานทางเลือกหลักในอนาคต

## 2. วิธีวิจัย (Research Methodology)

วิธีวิจัยเป็นการวิจัยเชิงประวัติศาสตร์ ใช้การศึกษาเป็นรายกรณี โดยใช้ประเทศเดนมาร์กเป็นกรณีศึกษา มุ่งเน้นศึกษาเป็นพัฒนาการและความเปลี่ยนแปลงของการทำให้แหล่งพลังงานหมุนเวียน (ในกรณีเดนมาร์ก เป็นแหล่งพลังงานลมเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนหลัก) เป็นแหล่งพลังงานหลักของประเทศ

## 3. ผลการวิจัย (Results)

ประเทศเดนมาร์กเริ่มพิจารณาแหล่งพลังงานทางเลือกแทนแหล่งพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิล ในปี พ.ศ. 2516

ระหว่างช่วงวิกฤตน้ำมันครั้งแรกของโลก (วิกฤตน้ำมันครั้งแรกของโลกเกิดจากการผลิตน้ำมันดิบไม่พอสำหรับการขยายตัวอย่างรวดเร็วของเศรษฐกิจโลก) แต่แหล่งพลังงานทางเลือกแรกที่เดนมาร์กพิจารณานั้นไม่ใช่แหล่งพลังงานลม แต่เป็นแหล่งพลังงานนิวเคลียร์ [2,3]

แต่อย่างไรก็ตามในปี พ.ศ. 2524 การรวมตัวของ 2 องค์กร NGOs ได้แก่ องค์กรต่อต้านพลังงานนิวเคลียร์ (The organization against nuclear power, OOA) กับ องค์กรเพื่อพลังงานหมุนเวียน (Organization for renewable energy, OVE) พร้อมการขับเคลื่อนมวลชนรณรงค์ สำหรับการผลักดันให้แหล่งพลังงานหมุนเวียนอยู่ในแผนนโยบายพลังงานทางเลือกของประเทศ[2,3]

การผลักดันเชิงนโยบายพลังงานหมุนเวียนอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งปี พ.ศ. 2528 รัฐบาลเดนมาร์กตัดสินใจล้มแผนนโยบายพลังงานนิวเคลียร์เป็นแหล่งพลังงานหลัก แล้วหันมาใช้นโยบายแหล่งพลังงานหมุนเวียนเป็นแหล่งพลังงานทางเลือกหลัก ก่อนโคกนาฏกรรมเซอร์โนบิล 1 ปี (วิกฤตการณ์การรั่วไหลของกัมมัตภาพรังสีจากโรงงานพลังงานนิวเคลียร์ในปี พ.ศ.2529) [2,3]

กลไกเครื่องมือเชิงนโยบายแรกที่เดนมาร์กเลือกทำคือ นโยบายอุดหนุนการลงทุนแหล่งพลังงานหมุนเวียน สำหรับทุนช่วยเหลือร้อยละ 30 ของการลงทุนแหล่งพลังงานหมุนเวียน พร้อมลดการผูกขาดในตลาดพลังงานจากบริษัทพลังงานขนาดใหญ่ในประเทศ ในช่วงปีพ.ศ. 2523 – 2528 [2,3]

ช่วงแรกของการลงทุนแหล่งพลังงานหมุนเวียนของประเทศเดนมาร์ก ยังเป็นการพึ่งพิงเทคโนโลยีจากต่างประเทศ โดยเฉพาะความจำเป็นนำเข้ากังหันลมจากประเทศสหรัฐอเมริกา ดังนั้นเพื่อเพิ่มความมั่นคงทางพลังงานของประเทศ เดนมาร์กจึงตั้งศูนย์วิจัยเพื่อผลิตเทคโนโลยีพลังงานลมของตนเอง ได้แก่ The Riso Research Center Wind-power test station ในช่วงปี พ.ศ. 2529 การสร้างเทคโนโลยีพลังงานของตนเองขึ้นมาทำให้เดนมาร์กลดต้นทุนผลิตพลังงานลงร้อยละ 80 [2,3]

เดนมาร์กใช้นโยบายการให้อัตราค่าไฟฟ้าตามต้นทุนจริง (Feed-in Tariff) สำหรับอุดหนุนต้นทุนการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานลม สัดส่วนร้อยละ 30 ทำให้เกิดการขยายกำลังการผลิต 7000 KWh ของแหล่งพลังงานลมในช่วงปี พ.ศ. 2533[2,3]

ในช่วงปี พ.ศ. 2545 เทคโนโลยีพลังงานลมเติบโตอย่างเต็มตัวในตลาดพลังงานของเดนมาร์ก กว่า 175,000 คริวเรือน เป็นเจ้าของแหล่งเทคโนโลยีพลังงานลม ทำให้เชื้อเพลิงพลังงานลมสามารถเข้าสู่ตลาดเสรีอย่าง

สมบูรณ์ ที่ราคาตลาด บวกราคาสิ่งแวดล้อม 0.13 ยูโร  
ดอลลาร์ต่อหน่วย [2,3]

#### 4. อภิปรายผล (Discussion)

เมื่อถอดรหัสความสำเร็จของประวัติศาสตร์การจัด  
การพลังงานยั่งยืนของเดนมาร์กประกอบหลักดังนี้

1. การสร้างนโยบายพลังงานจากล่างสู่บน (Bottom-  
up policy) ทำให้เกิดเศรษฐกิจพลังงานแบบพึ่งตนเอง  
พิจารณาจากการลดการผูกขาดตลาดพลังงานของบริษัท  
ขนาดใหญ่ เน้นการสร้างกลุ่มพลังงานชุมชนเป็นแหล่งผลิต  
พลังงานหลักของประเทศ

2. การสร้างเทคโนโลยีพลังงานของตนเอง เพื่อเพิ่ม  
ความมั่นคงทางพลังงานหมุนเวียนของตนเอง จะเห็นว่าจุด  
เปลี่ยนที่สำคัญของเดนมาร์ก คือการสร้างศูนย์วิจัยพลังงาน  
ลมแห่งชาติ นำมาสู่การผลิตกังหันของตนเอง ซึ่งช่วยลด  
ต้นทุนการผลิตพลังงานหมุนเวียน พร้อมพัฒนาเพิ่ม  
ประสิทธิภาพเทคโนโลยีพลังงานหมุนเวียนของตนเองต่อไป

3. การใช้กลไกเครื่องมือนโยบายเศรษฐกิจ  
อย่างมีประสิทธิภาพทั้งนโยบายอุดหนุนการลงทุนแหล่ง  
พลังงานหมุนเวียนและนโยบายการให้อัตราค่าไฟฟ้าตาม  
ต้นทุนจริง (Feed-in Tariff) ทำให้เชื้อเพลิงพลังงานลม  
สามารถโตเต็มที่ในตลาดเศรษฐกิจ จนอยู่ในกลไกราคาตลาด  
การค้าเสรี

#### 5. สรุปผล (Conclusion)

ความสำเร็จการบริหารจัดการพลังงานหมุนเวียนอย่าง  
ยั่งยืนของประเทศเดนมาร์ก เกิดจากการสร้างนโยบายพลัง  
งานหมุนเวียนจากล่างสู่บน การพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานของ  
ตนเอง และการใช้เครื่องมือนโยบายเศรษฐกิจอย่างมี  
ประสิทธิภาพ 3 ปัจจัยเหล่านี้ทำให้พลังงานหมุนเวียนสามารถ  
พัฒนาเป็นสินค้าเชื้อเพลิงหลักตามกลไกตลาดการค้าเสรี

#### 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] The Danish GoVernment., "Summary Energy  
Strategy 2050", 2017
- [2] Lipp J., Lessons for Effective Renewable  
Electricity Policy from Denmark, Germany and  
the United Kingdom, Journal of Energy Policy,  
Vol.35, p. 5481 – 5495, 2016
- [3] Hass R., Panzera C., Rescha G., Ragwitzb M.,  
Reece G., and Heldb A., A Historical Review of  
Promotion Strategies for Electricity from  
Renewable Energy Sources in EU Countries,  
Journal of Renewable and Sustainable Energy  
Reviews, Vol 15, p.1003 – 1034, 2011

RMUTP & FTI 7th Sustainable Industrial Management Engineering

การศึกษาแนวทางปรับปรุงงานบริการการจัดเก็บภาษี  
โดยใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ QFD  
กรณีศึกษาสำนักงานเทศบาลตำบลขุนแก้ว อำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม  
Education for Improvement Tax Collection Service by the Application Quality  
Function Deployment: QFD Case Study Khunkaew Subdistrict Municipality  
Nakhon chai si Nakhon pathom

จิตรานุช แก้วประชา<sup>1\*</sup>, ปริญญ์ บุญกนิษฐ<sup>1</sup> สหรัตน์ วงษ์ศรีระ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนประชากรราษฎร์ 1 เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

E-mail: Jittanut\_za@hotmail.com

#### บทคัดย่อ

การบริการการจัดเก็บภาษี ของสำนักงานเทศบาลตำบลขุนแก้ว โดยเจ้าของทรัพย์สิน, เป็นผู้มีหน้าที่เสียภาษีสำหรับทรัพย์สินนั้นทั้งหมด จากการดำเนินการดังกล่าว การจัดการด้านการบริการการจัดเก็บภาษี มีช่องว่างที่ไม่สามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้บริการได้ ดังนั้นในการดำเนินการดังกล่าวจึงได้ทำการศึกษาความต้องการของผู้ใช้บริการ เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการทำงาน และผู้บริการเกิดความพึงพอใจในการปรับปรุงงานบริการการจัดเก็บภาษี โดยใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ QFD ในการวิเคราะห์หาแนวทางในการปรับปรุงงานบริการการจัดเก็บภาษี ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยเป็นการเก็บตัวอย่างจากผู้ใช้บริการภาษีโรงเรือนและที่ดิน จำนวน 200 คน แล้วนำความต้องการของผู้ใช้บริการมาผ่านกระบวนการ QFD เพื่อแปลงเป็นข้อกำหนดงานบริการที่เหมาะสม โดยการใช้แบบสอบถาม ผลจากการศึกษา พบว่าผู้รับบริการมีความต้องการที่จะให้ปรับปรุงระยะเวลามาตรฐานในการปฏิบัติงานเป็นอันดับที่หนึ่ง ตามค่าระดับน้ำหนักเปอร์เซ็นต์ มีคะแนนอยู่ที่ 19.56% มีการจัดเตรียมแบบประเมินเอกสาร 15.39% มีแผนภาพขั้นตอนการจ่ายภาษีชัดเจน 15.24% มีตารางตรวจสอบข้อมูล 12.45% ให้ความสำคัญทุกคนเท่าเทียมกัน 9.23% มีการจัดเตรียมแบบฟอร์มการกรอกข้อมูล 8.93% การช่องทางติดต่อสื่อสารชัดเจน (internet board etc.) 5.73% มีการจัดบัตรคิวในการให้บริการประชาชนเท่าเทียมกัน 3.62% กฎเกณฑ์มาตรฐานการแต่งตัว 2.39% มีการจัดตารางเจ้าหน้าที่เพียงพอต่อการให้บริการ 2.20% คะแนน มีการจัดฝึกอบรมเรื่องภาษี 2.18% มีการให้คะแนนการบริการโดยประชาชน 1.60% และมีแผนการจัดสรรครุภัณฑ์ 1.50%

**คำสำคัญ :** การบริการ, การจัดเก็บภาษี, เทคนิคเชิงคุณภาพ



## ABSTRACT

Tax Collection Service of TumbolKhunkaew Municipality government, which authority of property has duty of taxpayer for their entire property. By this proceeding, Tax Collection Service management has a gab that does not meet with user requirement, therefore to proceed that, the studied of user requirement is needed to increase the efficiency of work conduct and user satisfaction to improve Tax Collection Service, by using Quality Function Deployment: QFD technique to analyzes the way to improve Tax Collection Service. Data that used for this research is the sampling from 200 users from property tax , then gathering all the user requirement and using QFD procedure in order to convert into the suitable service regulation. By using questionnaire the studied results has found that the most improvement expected from the user is to improve standard time of work conduct, which approximately 19.56% Second, is the preparation of evaluation document is 15.39% Third, is the tax payment procedure diagram is 15.24% Next, is Data checking table is 12.45% Then, the importance of equality is 9.23% and filling form document preparation is 8.93% After that, is clear communication channels (internet board etc.) is 5.73% Equality of queuing system is 3.62% Regulation of dressing is 2.39% Sufficiency of officer staff is 2.2% Providing of tax training course is 2.18% Finally, services evaluation by the citizens is 1.60% and allocate of durable goods is 1.50%

**(Key word):** Services, Tax collection, Quality Function Deployment (QFD)

## 1. บทนำ (Introduction)

ในปัจจุบันงานบริการมีความสำคัญต่อธุรกิจประเภทต่างๆ เพราะงานบริการเป็นส่วนหนึ่งที่แทรกอยู่ในส่วนงานต่างๆ ของทุกองค์กร ดังนั้นองค์กรต่างๆ จึงต้องพัฒนาคุณภาพงานบริการ เพื่อให้องค์กรของตนสามารถแข่งขันกับองค์กรอื่นได้ โดยจุดมุ่งหมายของงานบริการ คือการทำให้ผู้รับบริการเกิดความพึงพอใจสูงสุด ซึ่งจะทำได้ต้องตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างรวดเร็วและมีคุณภาพ

จากความสำคัญของงานด้านบริการ ทำให้ภาครัฐได้มีความสนใจต่อความพึงพอใจของผู้รับบริการไม่ยิ่งหย่อนไปกว่าภาคเอกชน โดยได้หันมาให้ความสำคัญกับตัวชี้วัดด้านเวลา และทำการปรับปรุงกระบวนการทำงาน เพื่อให้ตอบสนองความต้องการของประชาชน ซึ่งรัฐบาลมีนโยบายปฏิรูประบบราชการของรัฐบาล โดยมอบหมายให้หน่วยงานราชการต่างๆ ทำการปรับปรุงกระบวนการทำงาน ลดกระบวนการงานที่ไร้ประสิทธิภาพ ลดระยะเวลาการให้บริการและคำนึงถึงคุณภาพในการบริการแก่ประชาชน เพื่อเพิ่มศักยภาพการให้บริการประชาชนและการบริหารงานของภาครัฐต่อไป [1]

งานบริการการจัดเก็บภาษีมีย่านที่ดำเนินจัดเก็บภาษีให้ถูกต้อง ครบถ้วน เป็นธรรม การอำนวยความสะดวกแก่ประชาชนในการชำระภาษี รวมถึงการสร้างประทับใจแก่ประชาชนที่มาใช้บริการ ทั้งนี้เพื่อที่จะสามารถนำเงินมาพัฒนาและสร้างความเจริญให้แก่ท้องถิ่น

ในปัจจุบันการจัดการด้านการบริการการจัดเก็บภาษี มีช่องว่างที่ไม่สามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้บริการ ดังจะเห็นได้จากคำวิพากษ์วิจารณ์ จากผู้ให้บริการในกรมเสียภาษี

ด้วยปัญหาและเหตุผลที่กล่าวมา ผู้วิจัยจึงเห็นความสำคัญของการศึกษาความต้องการทางด้านงานบริการการจัดเก็บภาษี สำนักงานเทศบาลตำบลขุนแก้ว เนื่องจากเป็นจุดที่สำคัญที่มีการเสียภาษีมากที่สุด เพื่อนำเสนอแนวทางการปรับปรุงที่เหมาะสม

ขอบเขตของงานวิจัยนี้อยู่ที่การตอบสนองกลุ่มผู้ให้บริการสำนักงานเทศบาลเท่านั้น โดยไม่รวมถึงเจ้าหน้าที่ในสำนักงานเทศบาลตำบลขุนแก้ว

## 2. วิธีวิจัย (Research Methodology)

### 2.1 การเตรียมข้อมูลก่อนการประยุกต์ใช้เทคนิค QFD

#### 2.1.1 ทำการสำรวจและรวบรวมข้อมูลความต้องการ

ของผู้ใช้บริการการจัดเก็บภาษี เพื่อหาเสียงของลูกค้า (Voice of Customers, VOCs) ทางด้านการบริการการจัดเก็บภาษี ขั้นตอนนี้ใช้เทคนิคการสัมภาษณ์บุคคล โดยสัมภาษณ์แบบมีโครงสร้าง (Structured Interview) คำถามที่ใช้เป็นคำถามปลายเปิดเพื่อให้ผู้ตอบแบบสอบถามแสดงความคิดเห็นหรือความต้องการของตนเองได้อย่างอิสระในที่นี้จำนวนตัวอย่างที่เหมาะสมสำหรับวิธีการสัมภาษณ์ คือ 30 คน ซึ่งพบว่าสามารถได้ข้อมูลที่ครอบคลุมความต้องการของผู้ใช้บริการทั้งหมดถึงร้อยละ 95 [2] สำหรับงานวิจัยนี้เก็บข้อมูลกับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 40 คน

2.1.2 นำเสียงของลูกค้ามาจัดเรียงถ้อยคำใหม่ แล้วจัดกลุ่มความต้องการ โดยใช้แผนผังกลุ่มเชื่อมโยง (Affinity Diagram) เพื่อช่วยในการจัดข้อมูลโดยแยกความต้องการแต่ละประเด็นให้เป็นหมวดหมู่

2.1.3 จัดทำแบบสอบถามเพื่อสำรวจระดับความต้องการและประเมินความพึงพอใจในการบริการหัวข้อการประเมินเป็นข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์ครั้งแรก

2.1.4 ในการคำนวณหาจำนวนกลุ่มตัวอย่างที่น้อยที่สุดที่ยอมรับได้ซึ่งเพียงพอที่จะใช้เป็นตัวแทนของประชากร ดังนั้นจึงเลือกใช้การหาขนาดตัวอย่างจากทฤษฎีของ Taro Yamane เป็นเกณฑ์ว่าแบบสอบถามที่ตอบกลับนั้นเป็นที่ยอมรับและน่าเชื่อถือ[2] ดังสมการที่ (1) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และค่าความคลาดเคลื่อน  $\pm 5\%$  เมื่อโอกาสที่จะเกิด (p) และโอกาสไม่เกิด (q) เท่ากัน [3] โดยมีสูตรการคำนวณขนาดตัวอย่างดังสมการ 1

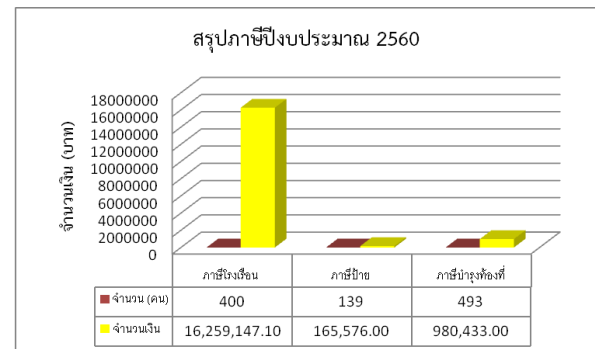
$$n = \frac{N}{1 + Ne^2} \quad (1)$$

เมื่อ n = จำนวนกลุ่มตัวอย่าง

N = ประชากรทั้งหมดที่จะศึกษา

e = ความคลาดเคลื่อน (e = 0.05)

### กราฟแสดงรายการภาษีประจำปี 2560 ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กราฟแสดงรายการภาษีประจำปี 2560

จากผู้ใช้บริการการจัดเก็บภาษีสำนักงานเทศบาล  
สำนักงานเทศบาลตำบลขุนแก้วมีจำนวนผู้เสียภาษีทั้งหมด  
1,032 คน เป็นภาษีโรงเรือนและที่ดินจำนวน 400 คน ภาษี  
ป้าย จำนวน 139 คน ภาษีบำรุงท้องที่ จำนวน 493 คน  
ภาษีที่ทำรายได้หลักของสำนักงานเทศบาลตำบลขุนแก้ว คือ  
ภาษีโรงเรือนและที่ดิน โดยเฉลี่ยรายรับ เฉลี่ยจำนวน 400  
คน พบว่าจำนวนกลุ่มตัวอย่างที่คำนวณได้จากสมการที่ (1)  
200 คน

## 2.2 การประยุกต์ใช้แบบสอบถาม

2.2.1 ตัวอย่างแบบสอบถามข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบ  
แบบสอบถาม

**แบบสอบถาม**

เรื่อง ความคิดเห็นของประชาชนต่อคุณภาพการให้บริการของ  
สำนักงานเทศบาลตำบลขุนแก้ว อำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม

---

**คำชี้แจง**

แบบสอบถามฉบับนี้เป็นข้อมูลเพื่อประกอบการศึกษาเรื่องความคิดเห็นของประชาชน ต่อคุณภาพการ  
ให้บริการของเทศบาลตำบลขุนแก้ว อำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม การตอบแบบสอบถามของท่านถือว่ามี  
คุณค่าต่อการศึกษาอย่างยิ่ง จึงขอความกรุณาจากท่านได้ตอบ แบบสอบถามและแสดงความคิดเห็นอันจะเป็น  
ประโยชน์ต่อส่วนรวม คำตอบของท่านจะถือเป็น ความลับ ไม่มีการเปิดเผยตัวบุคคลในแบบสอบถาม  
ขอขอบคุณท่านที่ให้ความร่วมมือในการตอบแบบสอบถาม มา ณ ที่นี้

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม (ขีดเครื่องหมาย / ใน  ที่ตรงกับความเป็นจริง)

1. เพศ  ชาย  หญิง

2. อายุ

ต่ำกว่า 18 ปี  19-25 ปี  26-35 ปี  
 36-59 ปี  60 ปีขึ้นไป

3. ระดับการศึกษา

ต่ำกว่ามัธยมต้น  มัธยมปลาย หรือเทียบเท่า  
 ปริญญาตรี  สูงกว่าปริญญาตรี

4. อาชีพ

ข้าราชการ/รัฐวิสาหกิจ  พนักงานบริษัทเอกชน  ประกอบธุรกิจส่วนตัว  
 เกษตรกร/ ทำสวน ทำไร่ ทำนา  นักเรียน/ นักศึกษา  อื่น ๆ โปรดระบุ.....

2. รายได้เฉลี่ยต่อเดือน

ต่ำกว่า 10,000 บาท  10,000 บาทขึ้นไป - 20,000 บาท  
 20,001 บาทขึ้นไป - 30,000 บาท  30,001 บาทขึ้นไป

ภาพที่ 2 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ตารางที่ 1 เพศของผู้ตอบแบบสอบถาม

เพศ	จำนวน (คน)	ร้อยละ
1.1 ชาย	98	49.00
1.2 หญิง	102	51.00
<b>รวม</b>	<b>200</b>	<b>100</b>

จากตารางพบว่าผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 200  
คน ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง จำนวน 102 คน คิดเป็นร้อยละ  
51.00 เป็นเพศชาย จำนวน 98 คน คิดเป็นร้อยละ 49.00

ตารางที่ 2 อายุ

ช่วงอายุ	จำนวน (คน)	ร้อยละ
2.1 ต่ำกว่า 18 ปี	-	0.00
2.2 19-25 ปี	-	0.00
2.3 26-35 ปี	57	28.50
2.4 36-59 ปี	76	38.00
2.5 60 ปีขึ้นไป	67	33.50
<b>รวม</b>	<b>200</b>	<b>100</b>

จากตารางพบว่าผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 200  
คน ส่วนใหญ่อยู่ช่วงอายุ 36-59 ปีจำนวน 76 คน คิดเป็น  
ร้อยละ 38.0 ช่วงอายุ 60 ปีขึ้นไป จำนวน 67 คน คิดเป็น  
ร้อยละ 33.5 และช่วงอายุ 26-35 ปี จำนวน 57 คน คิดเป็น  
ร้อยละ 28.5

ตารางที่ 3 ระดับการศึกษา

ระดับการศึกษา	จำนวน (คน)	ร้อยละ
3.1 ต่ำกว่ามัธยมต้น	22	11.00
3.2 มัธยมปลาย หรือเทียบเท่า	43	21.50
3.3 ปริญญาตรี	131	65.50
3.4 ปริญญาโท	5	2.50
<b>รวม</b>	<b>200</b>	<b>100</b>

จากตารางพบว่าผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 200  
คน ส่วนใหญ่การศึกษาในระดับปริญญาตรี จำนวน 131 คน  
คิดเป็นร้อยละ 65.50 ระดับมัธยมปลาย หรือเทียบเท่า  
จำนวน 43 คน คิดเป็นร้อยละ 21.50 ระดับต่ำกว่ามัธยมต้น  
จำนวน 22 คน คิดเป็นร้อยละ 11.00 และระดับปริญญาโท  
จำนวน 5 คน คิดเป็นร้อยละ 2.50

#### ตารางที่ 4 อาชีพ

สถานภาพการทำงาน	จำนวน (คน)	ร้อยละ
4.1 ข้าราชการ/รัฐวิสาหกิจ	10	5.00
4.2 พนักงานบริษัทเอกชน	16	8.00
4.3 ประกอบธุรกิจส่วนตัว	174	87.00
4.4 เกษตร/ ทำสวน ทำไร่ ทำนา	-	0.00
4.5 นักเรียน/นักศึกษา	-	0.00
4.6 อื่น ๆ	-	-
<b>รวม</b>	<b>200</b>	<b>100</b>

จากตารางพบว่าผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 200 คน ส่วนใหญ่ประกอบธุรกิจส่วนตัว จำนวน 174 คน คิดเป็นร้อยละ 87.00 พนักงานบริษัทเอกชน จำนวน 16 คน คิดเป็นร้อยละ 8.00 คน ข้าราชการ/รัฐวิสาหกิจ จำนวน 10 คน คิดเป็นร้อยละ 5.00

#### ตารางที่ 5 รายได้เฉลี่ยต่อเดือน

ช่วงรายได้	จำนวน (คน)	ร้อยละ
5.1 ต่ำกว่า 10,000 บาท	-	0.00
5.2 10,000 บาทขึ้นไป - 20,000 บาท	111	55.50
5.3 20,001 บาทขึ้นไป - 30,000 บาท	74	37.00
5.4 30,001 บาทขึ้นไป	15	7.50
<b>รวม</b>	<b>200</b>	<b>100</b>

จากตารางพบว่าผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 200 คน ส่วนใหญ่รายได้เฉลี่ย 10,000 บาทขึ้นไป - 20,000 บาท จำนวน 111 คน คิดเป็นร้อยละ 55.50 รายได้เฉลี่ย 20,001 บาทขึ้นไป - 30,000 บาท จำนวน 74 คน คิดเป็นร้อยละ 37.00 และรายได้เฉลี่ย 30,001 บาทขึ้นไป จำนวน 15 คน คิดเป็นร้อยละ 7.50

2.2.2 การวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือในการตอบแบบสอบถาม เป็นการพิจารณาจากแบบสอบถามที่ผู้ใช้บริการได้ตอบกลับเพื่อหาความน่าเชื่อถือของแบบสอบถามแบบมาตรวัดทัศนคติ โดยใช้สูตรสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่นของครอนบาคดังสมการที่ 2

$$r_{tt} = \frac{k}{k-1} \left[ 1 - \frac{\sum S_i^2}{S_t^2} \right] \quad (2)$$

โดยที่  $r$  คือ ค่าความเชื่อมั่นของครอนบาค (Alpha coefficient)

$K$  คือ จำนวนแบบสอบถามทั้งหมด

$S_i^2$  คือ ความแปรปรวนของคะแนนเป็นรายข้อ

$S_t^2$  คือ ความแปรปรวนของคะแนนทั้งหมด

โดยที่ค่าความเชื่อมั่นที่ได้เป็นเครื่องมือที่ทำให้มั่นใจได้ว่าคะแนนความสำคัญจากแบบสอบถามที่กลุ่มผู้ใช้บริการเป็นผู้ตอบนั้นเป็นอย่างไร ถ้าค่าความเชื่อมั่นสูงแสดงว่าความคลาดเคลื่อนของคะแนนที่ได้จากแบบสอบถามนั้นมีน้อย และถ้าค่าความเชื่อมั่นต่ำแสดงว่าความคลาดเคลื่อนของคะแนนที่ได้จากแบบสอบถามนั้นสูง

#### 2.2.3 การวิเคราะห์คะแนนความสำคัญของความต้องการผู้ใช้บริการ

การคำนวณคะแนนความสำคัญได้ใช้ค่าเฉลี่ยเรขาคณิตเนื่องจากเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นค่ากลางของข้อมูลเมื่อข้อมูลนั้น ๆ ไม่มีค่าใดค่าหนึ่งซึ่งสูงกว่าค่าอื่นมาก และข้อมูลไม่มีค่าศูนย์เมื่อข้อมูลเป็นค่าบวกการคำนวณค่าเฉลี่ยเรขาคณิตสามารถเข้าค่ากลางได้ดีที่สุด [4] โดยวิธีการคำนวณค่าเฉลี่ยเรขาคณิตแสดงดังสมการที่ 3

$$IMP = \sqrt[n]{(a_1 \times a_2 \times \dots \times a_n)} \quad (3)$$

โดยที่  $a$  คือ ค่าสังเกตของข้อมูลลำดับที่  $i$  (โดยที่  $i = 1, 2, \dots, n$ )

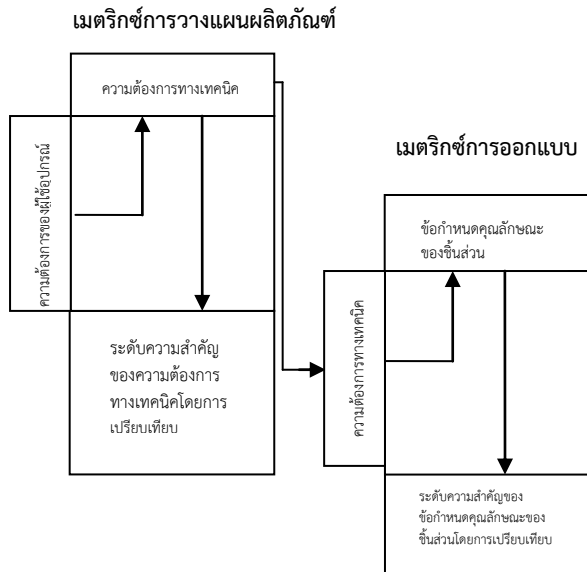
$n$  คือ จำนวนตัวอย่างข้อมูล

การคำนวณคะแนนความสำคัญจะนำไปใช้คำนวณกับแบบสอบถามทั้งหมดที่กลุ่มผู้รับบริการตอบแบบสอบถามกลับ และนำเสียงความต้องการและคะแนนความสำคัญไปใช้เป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค QFD

#### 2.2.4 การวิเคราะห์เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ

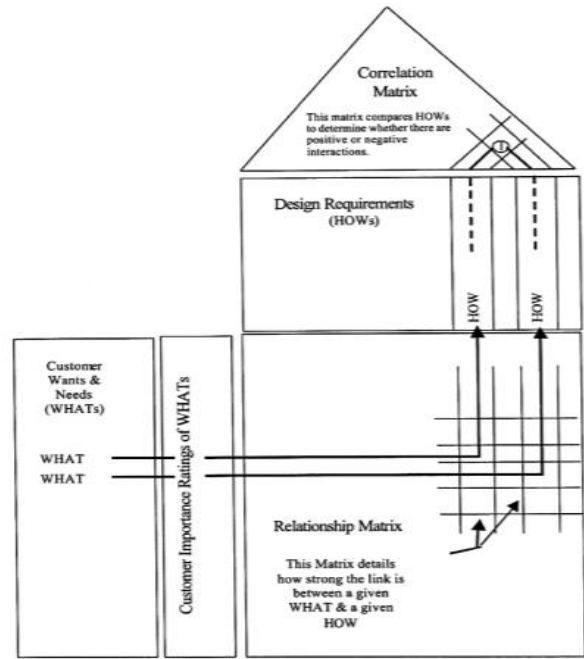
การวิเคราะห์เทคนิค QFD เป็นกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลความต้องการของผู้ใช้บริการของผู้รับบริการ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ไปเป็นแนวทางในการปรับปรุงการใช้บริการการจัดเก็บภาษีให้สามารถตอบสนองความต้องการของวิเคราะห์ผู้รับบริการ ดังนั้นการประยุกต์ใช้เทคนิค QFD จึงทำการเมตริกซ์ทั้งหมด 2 เมตริกซ์ คือ เมตริกซ์การวางแผน

ผลิตภัณฑ์ และเมตริกซ์การวางแผนการปฏิบัติงานตามลำดับ  
 ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังภาพที่ 2



ด้านซ้ายมือของเมตริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์เป็น  
 ภาพที่ 2 การเชื่อมโยงระหว่างเมตริกซ์การวางแผน

ผลิตภัณฑ์และเมตริกซ์การออกแบบ  
 แปลงไปเป็นความต้องการทางเทคนิคที่เป็นภาษาทางเทคนิค  
 ที่ใช้ในการอธิบายคุณลักษณะของการบริการโดยความ  
 ต้องการทางเทคนิคจะมีความสัมพันธ์กับความต้องการของ  
 ผู้รับบริการอย่างครอบคลุมทุกรายการ และความต้องการ  
 ทางเทคนิคที่เกิดขึ้นสามารถมีความสัมพันธ์กับความต้องการ  
 ของผู้รับบริการได้หลายรายการ [5] หลังจากนั้นผลลัพธ์ได้  
 จากเมตริกซ์แรกจะนำไปเป็นข้อมูลนำเข้าต่อในเมตริกซ์การ  
 ออกแบบชิ้นส่วนเพื่อทำการแปลงความต้องการทางเทคนิค  
 ไปเป็นข้อกำหนดของชิ้นส่วนเพื่อนำไปออกแบบอุปกรณ์ โดย  
 เมื่อพิจารณาการวิเคราะห์ในแต่ละเมตริกซ์หรือบ้านคุณภาพ  
 ดังภาพที่ 3 ความต้องการที่เป็นรายการข้อมูลนำเข้าจะอยู่  
 ด้านซ้ายของบ้านคุณภาพโดยด้านบนจะเป็นรายการที่  
 สามารถตอบสนองต่อความต้องการนำเข้าได้ครอบคลุมทุก  
 รายการ ส่วนกลางบ้านจะเป็นการให้คะแนนความสัมพันธ์  
 ระหว่างความต้องการนำเข้ากับความต้อการในการ  
 ตอบสนอง โดยใช้สัญลักษณ์การให้คะแนน  
 ความสัมพันธ์ดังนี้ 9 หมายถึง มีความสัมพันธ์มาก, 3  
 หมายถึง มีความสัมพันธ์ปานกลาง, 1 หมายถึง มี  
 ความสัมพันธ์น้อย และช่องว่าง หมายถึง ไม่มีความสัมพันธ์  
 [6]



ภาพที่ 3 แสดงตัวอย่างเมตริกซ์สำหรับการวิเคราะห์  
 เทคนิค QFD

ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ในแต่ละเมตริกซ์จะแบ่ง  
 ผลลัพธ์ออกเป็นความต้องการที่ใช้ในการตอบสนองความ  
 ต้องการนำเข้า และระดับความสำคัญในแต่ละความต้องการ  
 ที่ใช้ในการตอบสนอง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในแต่ละความ  
 ต้องการสามารถตอบสนองได้เพียงใดโดยมีระดับความสำคัญ  
 เป็นตัวชี้วัด

### 3. ผลการวิจัย (Results)

จากการเก็บข้อมูลความต้องการของผู้ใช้บริการ  
 ตลอดจนสำรวจระดับความสำคัญ และประเมินความพึง  
 พอใจในการบริการการจัดเก็บภาษี พบว่าสามารถจัดกลุ่มได้  
 เป็น 5 ด้าน ได้แก่ ด้านความเป็นรูปธรรมของการบริการ  
 (Tangibles) ด้านความน่าเชื่อถือในการบริการ (Reliability)  
 ด้านการตอบสนองต่อผู้รับบริการ (Responsiveness) ด้าน  
 การให้ความมั่นใจแก่ผู้รับบริการ (Assurance) และด้าน  
 การดูแลเอาใจใส่ (Empathy)

3.1 ผลจากการวิเคราะห์ปัจจัยจากแบบสอบถามของกลุ่มตัวอย่างที่ผู้วิจัยทำการศึกษา

จากการเก็บแบบสอบถามตามกลุ่มตัวอย่างและนำมาวิเคราะห์นั้นพบว่า เมื่อผู้ใช้บริการตอบแบบสอบถามแล้วได้ทำการหาค่าเฉลี่ยจากแบบสอบถาม โดยใช้สมการ (2) จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ออกไปประยุกต์ใช้กับแบบสอบถามผลที่ได้คือปัจจัยที่มีความต้องการทางเทคนิคมากที่สุดจำเป็นต้องปรับปรุงมี 7 ด้าน

จากนั้นนำปัจจัยความต้องการที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับเทคนิค QFD จำนวน 13 ปัจจัย จากนั้นนำข้อมูลไปดำเนินการตามแนวทาง QFD จนกระทั่งได้ผลลัพธ์เป็นบ้านแห่งคุณภาพ ซึ่งในที่นี่จะทำการอธิบายแยกเป็นส่วน ๆ เพื่อความชัดเจนดังต่อไปนี้

3.2 ผลการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพในเฟส 1 (Quality Function Deployment: QFD)

การสร้างบ้านคุณภาพตามเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพโดยประกอบไปด้วยทั้งหมด 6 ส่วนดังนี้

3.2.1 ความต้องการของผู้ใช้บริการที่มีต่องานบริการการจัดเก็บภาษี แบ่งออกเป็น 5 ด้าน คือด้านความเป็นรูปธรรมของการบริการ (Tangibles) ด้านความน่าเชื่อถือในการบริการ (Reliability) ด้านการตอบสนองต่อผู้รับบริการ (Responsiveness) ด้านการให้ความมั่นใจแก่ผู้มารับบริการ (Assurance) ด้านการดูแลเอาใจใส่ (Empathy)

3.2.2 ข้อกำหนดทางเทคนิค (Technical Requirement) เป็นการกำหนดวิธีการต่างๆ ที่สามารถตอบสนองแต่ละความต้องการของผู้ใช้บริการที่ส่งผลการใช้บริการ

3.2.3 เมทริกซ์

ความสัมพันธ์ (Relationship) เป็นการกำหนดตัวเลขความสัมพันธ์ระหว่างส่วนที่เป็นความต้องการของผู้ใช้บริการและส่วนของข้อกำหนดทางเทคนิค โดยกำหนดจำนวน 3 ค่าคือ "1" หมายถึงมีความสัมพันธ์น้อย, "5" หมายถึงมีความสัมพันธ์ระดับปานกลาง, และ "9" หมายถึงมีความสัมพันธ์กันอย่างมาก

3.2.4 ความเกี่ยวเนื่องทางเทคนิค (Technical Correlation) เป็นการกำหนดความสัมพันธ์ ระหว่างข้อกำหนดทางเทคนิคในแต่ละข้อ ว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่อย่างไร ซึ่งสามารถกำหนดสัญลักษณ์ความสัมพันธ์ไว้ 2 ประเภท คือ สัญลักษณ์ "●" หมายถึง ข้อกำหนดทางเทคนิคที่มีความสัมพันธ์ในทางส่งเสริมกัน และสัญลักษณ์ "○" หมายถึง มีความสัมพันธ์ในทางขัดแย้งกัน

3.2.5 ลำดับความสำคัญของความสัมพันธ์ (Priority Relationships) แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์ (Absolute Technical Requirement Important) และค่าน้ำหนักของระดับความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคโดยเปรียบเทียบ (Relative Technical Requirement Important)

3.2.6 เป้าหมายทางเทคนิค คือ เป้าหมายที่กำหนดขึ้นเพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้บริการและข้อกำหนดทางเทคนิคที่ผู้วิจัยได้ออกแบบไว้ในขั้นตอนก่อนหน้า เป็นการนำเอาข้อกำหนดทางเทคนิคมาวิเคราะห์หาแนวทางเพื่อให้ข้อกำหนดนั้น ๆ มีประสิทธิภาพและมีความเฉพาะเจาะจงมากยิ่งขึ้น



		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
	ข้อกำหนดหลักของงานบริการให้กับกษ	มีการจัดการเจ้าหน้าที่เกี่ยวกับบริการ	คุณภาพสินค้าและบริการ	การให้บริการที่สอดคล้องกับมาตรฐานการปฏิบัติงาน	มีแผนการจัดการธุรกิจที่ดี	มีการจัดระบบแบบฟอร์มการขอข้อมูล	มีตารางตรวจสอบข้อมูล	ให้ความสำคัญทุกด้านเท่าเทียมกัน	ระยะเวลา การดำเนินงานที่รวดเร็ว	ต้นทุนบริการสัมพันธ์กับสิ่งที่ได้จากการบริการ	มีการจัดเตรียมใบแจ้งการประเมิน	มีการจัดคิวในการให้บริการประชาชนเท่าเทียม	การใช้คอมพิวเตอร์ (Internet board etc.)	มีการใช้แผนการจัดการโดยประชาชน	
	ความต้องการเชิงเทคนิค	IMP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Tangibles	มั่นใจว่ามีเจ้าหน้าที่ในการให้บริการ	5.48	9												
	เจ้าหน้าที่มีการแต่งตัวสะอาดเรียบร้อย	5.94		9											
	เจ้าหน้าที่ มีความรู้ความสามารถในการให้บริการ เช่น ตอบข้อสงสัย หรือการให้คำแนะนำแก้ไขปัญหาได้	5.44			9			9			9	3	3	1	
	สำนักงาน มี เก้าอี้ จัดเตรียมไว้ให้ได้อย่างเพียงพอ เหมาะสมต่อการให้บริการ	5.24				3									
Reliability	เจ้าหน้าที่ มีการจัดเตรียมเอกสารและแบบพิมพ์ต่างๆ สำหรับผู้รับบริการ ไม่ให้เกิดปัญหายุ่งยากในขั้นตอนการรับบริการ	5.12					3	1		9	1	9			
	เจ้าหน้าที่ ให้บริการผู้รับบริการด้วยความรอบคอบและถูกต้อง	5.62					1	9	9	9	1	3			
	เจ้าหน้าที่ให้ความสำคัญกับผู้รับบริการอย่างเสมอภาค	4.48					1	9	9	9	3	3	3	3	
Responsiveness	เจ้าหน้าที่ให้บริการด้วยความรวดเร็ว ฉับไว และถูกต้อง	5.47					9	9	3	9	9	9	1	1	
	เจ้าหน้าที่มีตัวอย่างการรับบริการ แต่ละขั้นตอนอย่างชัดเจน สะดวกในการรับบริการ	5.43													
	เจ้าหน้าที่มีความกระตือรือร้นที่จะให้บริการแก่ผู้รับบริการ	5.19					1	3	9	9	9	9	1		
	เจ้าหน้าที่ มีความพร้อมที่จะให้บริการแก่ผู้รับบริการได้ทันทีทั้งที่	5.69					9	9	3	9	9	9	1	1	
Assurance	เจ้าหน้าที่ให้ความเอาใจใส่กับลูกค้าในแต่ ละรายอย่างเท่าเทียมกัน	5.67					9	3	9	9	9	9	3	3	
	เจ้าหน้าที่มีการแจ้งเบอร์โทรศัพท์ ผู้ที่ รับผิดชอบสามารถติดต่อสอบถามข้อมูล ที่สงสัย หรือแจ้งเรื่องร้องเรียนปัญหาต่าง ๆ ได้ตลอดเวลา	5.74							1					5	
	เจ้าหน้าที่มีการแจ้งข้อมูลให้กับ ผู้ใช้บริการต้องรับรู้อย่างทั่วถึง	5.56							1					3	
	เจ้าหน้าที่มีการประชาสัมพันธ์ ข้อมูล ข่าวสารในหลายช่องทาง	6.04							1					3	
Empathy	เจ้าหน้าที่ให้ความเอาใจใส่กับลูกค้าในแต่ ละรายอย่างเท่าเทียมกัน	5.93													3
	เจ้าหน้าที่ช่วยอำนวยความสะดวก อย่าง รวดเร็ว และเต็มใจ	5.99				3	3	3	3	9	9	9	3	3	
	เจ้าหน้าที่ยอมรับคำติชม พร้อมรับคำ ตำหนิไปปรับปรุงแก้ไข ด้วยท่าทีที่เต็มใจ	5.99													3
	ระดับน้ำหนัก (Raw score)	49.32	53.46	48.96	33.69	200.09	279.11	206.85	438.03	341.46	344.79	81.09	128.52	35.76	
	ระดับความสำคัญ (%Relative)	2.20	2.39	2.18	1.50	8.93	12.45	9.23	19.56	15.24	15.39	3.62	5.73	1.60	
	ลำดับ (Rank)	10	9	11	13	6	1	5	2	4	3	8	7	12	
	เป้าหมายด้านเทคนิค	กำหนดตารางงานให้ตรง ทันคน	มีการประเมินให้คะแนน มาตรฐานกันด้วย	มีการ low cost ในการบริการ ส่วนบริการลูกค้าด้วยใจ	ได้เตรียมไว้ เก้าอี้ บริการผู้รับ บริการให้สะดวกตามข้อ ติชม	ส่งแบบฟอร์มการกรอก ข้อมูลทางไปรษณีย์	จัดทำข้อมูลและยื่นบริการ	มีการจัดส่งข้อมูล	ข้อมูลและให้บริการแบบเต็ม ใจ ผู้บริการมีทุกด้านเชื่อมโยง	ทันเวลา และด้วยใจบริการ	จัดทำแบบประเมินสินค้า ในที่ ผู้รับบริการสามารถได้รับ	ขอใบแจ้งประเมินสินค้า ไปรษณีย์	มีการจัดลำดับคิวตามลำดับ ปรมาณลูกค้า	จัดทำเอกสารประชาสัมพันธ์ หมายลงในโทรศัพท์	จัดทำแบบประเมินหลังการ ให้บริการ

หลังจากได้บ้านคุณภาพดังกล่าว ผู้วิจัยจะได้ทำการ  
ออกแบบคุณลักษณะตามข้อกำหนดทางเทคนิคและ  
เป้าหมายทางเทคนิค ผลลัพธ์จากการประยุกต์ใช้เครื่องมือ  
QFD และมีติงานบริการ ผ่านโปรแกรมไมโครซอฟต์เอกเซล  
พบว่าผู้รับบริการมีความต้องการที่จะให้ปรับปรุงระยะเวลา  
มาตรฐานในการปฏิบัติงานเป็นอันดับที่หนึ่งตามค่าระดับ  
น้ำหนักเปอร์เซ็นต์ มีคะแนนอยู่ที่ 19.56% มีการจัดเตรียม  
แบบประเมินเอกสาร 15.39% มีแผนภาพขั้นตอนการจ่าย  
ภาษีชัดเจน 15.24% มีตารางตรวจสอบข้อมูล 12.45% ให้  
ความสำคัญทุกคนเท่าเทียมกัน 9.23% มีการจัดเตรียม  
แบบฟอร์มการกรอกข้อมูล 8.93% การช่องทางการ  
ติดต่อสื่อสารชัดเจน (internet board etc.) 5.73% มีการ  
จัดบัตรคิวในการให้บริการประชาชนเท่าเทียมกัน 3.62%  
กฎเกณฑ์มาตรฐานการแต่งตัว 2.39% มีการจัดตาราง  
เจ้าหน้าที่เพียงพอต่อการให้บริการ 2.20% มีการจัด  
ฝึกอบรมเรื่องภาษี 2.18% มีการให้คะแนนการบริการโดย  
ประชาชน 1.60% และมีแผนการจัดสรรครุภัณฑ์ 1.50%

ตารางที่ 6 ตารางสรุป HOQ

ความต้องการเชิงเทคนิค	ระดับ ความสำคัญ (%)
ระยะเวลามาตรฐานในการปฏิบัติงาน	19.56
มีการจัดเตรียมแบบประเมินเอกสาร	15.39
มีแผนภาพขั้นตอนการจ่ายภาษี ชัดเจน	15.24
มีตารางตรวจสอบข้อมูล	12.45
ให้ความสำคัญทุกคนเท่าเทียมกัน	9.23
มีการจัดเตรียมแบบฟอร์มการกรอก ข้อมูล	8.93
การช่องทางการติดต่อสื่อสารชัดเจน (internet board etc.)	5.73
มีการจัดบัตรคิวในการให้บริการ ประชาชนเท่าเทียมกัน	3.62
กฎเกณฑ์มาตรฐานการแต่งตัว	2.39
มีการจัดตารางเจ้าหน้าที่เพียงพอต่อ การให้บริการ	2.20
มีการจัดฝึกอบรมเรื่องภาษี	2.18
มีการให้คะแนนการบริการโดย ประชาชน	1.60
มีมีแผนการจัดสรรครุภัณฑ์	1.50

ตารางที่ 6 ตารางสรุป HOQ

ผลลัพธ์จากการประยุกต์ใช้เครื่องมือ QFD และมีติงาน  
บริการ ผ่านโปรแกรมไมโครซอฟต์เอกเซล พบว่าผู้รับบริการ  
มีความต้องการที่จะให้ปรับปรุงระยะเวลามาตรฐานในการ  
ปฏิบัติงานเป็นอันดับที่หนึ่งตามค่าระดับน้ำหนักเปอร์เซ็นต์ มี  
คะแนนอยู่ที่ 19.56% มีการจัดเตรียมแบบประเมินเอกสาร  
15.39% มีแผนภาพขั้นตอนการจ่ายภาษีชัดเจน 15.24%  
มีตารางตรวจสอบข้อมูล 12.45% ให้ความสำคัญทุกคนเท่า  
เทียมกัน 9.23% มีการจัดเตรียมแบบฟอร์มการกรอกข้อมูล  
8.93% การช่องทางการติดต่อสื่อสารชัดเจน (internet  
board etc.) 5.73% มีการจัดบัตรคิวในการให้บริการ  
ประชาชนเท่าเทียมกัน 3.62% กฎเกณฑ์มาตรฐานการ  
แต่งตัว 2.39% มีการจัดตารางเจ้าหน้าที่เพียงพอต่อการ  
ให้บริการ 2.20% มีการจัดฝึกอบรมเรื่องภาษี 2.18% มี  
การให้คะแนนการบริการโดยประชาชน 1.60% และ มี  
แผนการจัดสรรครุภัณฑ์ 1.50%

#### 4. อภิปรายผล (Discussion)

จากผลการวิจัยในการศึกษาแนวทางการปรับปรุงงาน  
บริการจัดเก็บภาษี สำนักงานเทศบาลตำบลขุนแก้ว พบว่าใน  
ส่วนของการเก็บรวบรวมความต้องการโดยใช้แบบสอบถาม  
ความต้องการ โดยการใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิง  
คุณภาพ แตกต่างจากการรวบรวมความต้องการด้วยวิธีอื่น  
คือ ทำให้สามารถโฟกัสไปยังสิ่งที่ผู้ใช้บริการต้องการ เป็นการ  
ใช้ข้อมูลที่ได้อย่างเต็มที่ในหลายมิติของการจัดกลุ่มข้อมูล  
อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังช่วยลดเวลาในการตั้ง  
สมมติฐานเกี่ยวกับความต้องการของผู้ใช้บริการซึ่งสอดคล้อง  
กับแนวคิดของมิซูโน [7] กล่าวว่า เทคนิคการกระจายหน้าที่  
เชิงคุณภาพจะช่วยแปลความต้องการของลูกค้า (ซึ่งอยู่ในเชิง  
คำพูด) ให้อยู่ในรูปแบบข้อมูลเชิงวิศวกรรม ส่งผลให้เรา  
สามารถแปลความต้องการของลูกค้าได้อย่างถูกต้อง ทำให้  
ลูกค้าเกิดความพึงพอใจ ซึ่งผลการศึกษาพบว่าคะแนนความ  
พึงพอใจที่ลูกค้าต้องการเชิงเทคนิคที่สำคัญ 5 อันดับแรก คือ  
1)ระยะเวลามาตรฐานในการปฏิบัติงาน 2) มีการจัดเตรียม  
แบบประเมินเอกสาร 3)มีแผนภาพขั้นตอนการจ่ายภาษี  
ชัดเจน 4) มีตารางตรวจสอบข้อมูล 5) ให้ความสำคัญทุกคน  
เท่าเทียมกัน และสอดคล้องกับผลการศึกษาของ สุรเชษฐ์  
สังข์แก้ว [8] ที่ได้ศึกษาเรื่อง การศึกษาความต้องการของ  
ลูกค้าเพื่อปรับปรุงการบริการจัดฝึกอบรมด้วยเทคนิคการ  
กระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ ซึ่งผลการศึกษาพบว่า ในปัจจุบัน  
ความพึงพอใจของลูกค้าต่อการให้บริการของสถาบันตัวอย่าง  
ค่าคะแนนเป็น 4.07 จากคะแนนเต็ม 5 คะแนน ความ  
ต้องการของลูกค้าที่สำคัญ 5 อันดับแรก ได้แก่ 1) ความ  
น่าเชื่อถือด้านความรู้ความสามารถของวิทยากร 2) ความ

มุ่งมั่นและตั้งใจในการให้บริการของเจ้าหน้าที่ 3) เนื้อหาของ  
หลักสูตรตรงตามความต้องการ 4) อัตราค่าใช้จ่ายการ  
ฝึกอบรมที่เหมาะสม 5) ความพร้อมของห้องฝึกอบรม  
โดยรวม

## 5. สรุปผล (Conclusion)

จากการใช้เทคนิค QFD ในการหาแนวทางปรับปรุง  
การให้บริการการจัดเก็บภาษี สำนักงานเทศบาลตำบลขุน  
แก้ว พบว่าผลลัพธ์ที่ได้เป็นแนวทางการปรับปรุงเกี่ยวข้องกับการ  
พัฒนาบุคลากรในการบริการเป็นหลัก (โดยมุ่งเน้นไปที่  
ระยะเวลาการปฏิบัติงาน) ส่วนประเด็นการสร้างเสริม  
องค์ความรู้และจิตสำนึกในด้านการบริการให้แก่พนักงานถือเป็น  
เรื่องรองลงมา ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากงานวิจัยนี้ จำกัด  
ขอบเขตของการเก็บข้อมูลไว้ที่ผู้ใช้บริการการจัดเก็บภาษี  
สำนักงานเทศบาลตำบลขุนแก้วบางส่วน ในที่นี้ผู้ใช้บริการให้  
ความสนใจในด้านประสิทธิภาพในการให้บริการและความ  
สะดวกเป็นหลัก

สำหรับข้อจำกัดงานวิจัยนี้มี 2 ประเด็น ได้แก่ (1)  
แบบสอบถามที่ใช้ในการวิจัย เนื่องจากมีจำนวนหน้าของ  
แบบสอบถามมีมาก ทำให้ผู้ตอบต้องใช้เวลาาน ผู้ตอบ  
แบบสอบถามบางคนจึงปฏิเสธที่จะให้ความร่วมมือ หรือตอบ  
คำถามไม่ครบถ้วนทุกข้อ และ (2) การประเมินวัดผลจากการ  
ใช้งานจริงเนื่องจากข้อจำกัดด้านระยะเวลาและนโยบายการ  
บริหาร ทำให้งานวิจัยนี้ไม่สามารถดำเนินการปรับปรุงและ  
ประเมินผลจากผู้ให้บริการโดยตรงได้

## 6. กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้ได้รับความร่วมมือเป็นอย่างดีจากผู้เสียภาษี  
โรงเรียนและที่ดิน เจ้าหน้าที่ของสำนักงานเทศบาลตำบลขุน  
แก้ว ที่เป็นกรณีศึกษาและอาจารย์ทุกท่านในคณะ  
วิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อ  
ความยั่งยืน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่  
คอยให้คำปรึกษาและนำ จนทำให้การศึกษาครั้งนี้สำเร็จ  
ลุล่วงสมบูรณ์

## 7. เอกสารอ้างอิง

### 7.1 เอกสารอ้างอิงภาษาไทย

- [1] สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาระบบราชการ,  
ข้อมูลจาก <http://www.opdc.go.th> (วันที่  
สืบค้นข้อมูล8กรกฎาคม2561)
- [3] ปรียา ประจงกิจ, การศึกษาระดับความพึงพอใจ  
ของ ผู้ใช้ผลิตภัณฑ์ข้อโซ่และบริการในกลุ่ม  
โรงงานผู้ผลิตน้ำตาลในประเทศไทย, กรุงเทพฯ,

สารนิพนธ์,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระ  
นครเหนือ, 2550

- [8] สุรเชษฐ์ สังข์แก้ว, การศึกษาความต้องการของ  
ลูกค้าเพื่อปรับปรุงการบริการจัดฝึกอบรมด้วย  
เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ, 2555.

### 7.2 เอกสารอ้างอิงภาษาอังกฤษ

- [2] Glenn D. Determining Sample Size. IF AS  
Extension. University of Florida, pp. 1-7.  
2009
- [4] Crawford G B .The geometric  
mean procedure for estimating the scale  
of a judgment matrix. Mathematical  
Modeling, 9(3):327-334, 1987
- [5] Maguad A B. Using QFD to integrate the  
voice of the customer into the  
academic planning process. Proceedings  
of A SBBS,16(1), 2009
- [6] Cohen L. Quality Function  
DeploymentHow to Make QFD Work for  
You Handbook. Canada: Engineering  
Process Improvement Series, 1995
- [7] Mizuno, S. and Y. Akao, ed, QFD : The  
Customer - Driven Approach to Quality  
Planning and Development, Asian  
Productivity Organization, Tokyo, Japan,  
available from Quality Resources, One  
Water Street, White Plains NY, 1994

การปรับปรุงการติดตั้งงานประตูบานเลื่อนอลูมิเนียมและกระจก ด้วยเทคนิค  
การศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลา กรณีศึกษา บริษัท กลาสไลน์จำกัด  
Installation Improvement for Sliding Aluminium Door and Glass by  
Using Motion and Time Study Techniques Case Study  
in Glass Line Company Limited

รัฐบุรี สิทธิวงศ์<sup>1\*</sup>, ปริญญ์ บุญกนิษฐ<sup>1</sup> และ สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน

คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

m@glasslinethai.com

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงวิธีการและเพิ่มประสิทธิภาพการติดตั้งงานประตูบานเลื่อนอลูมิเนียมและกระจก ให้มีคุณภาพตามมาตรฐานบริษัท มีความรวดเร็ว ของบริษัทกรณีศึกษา โดยการประยุกต์ใช้หลักการการศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลา ปรับสมดุลขั้นตอนการติดตั้ง ออกแบบตัวรับล็อกบานเลื่อนซึ่งขั้นตอนในการศึกษาเริ่มจากการศึกษากระบวนการติดตั้งชุดประตูบานเลื่อน ทำการรวมขั้นตอนการปฏิบัติงานและลดขั้นตอนที่ซ้ำซ้อน ที่ไม่จำเป็นต้องทำที่หน้างานออก จัดทำเวลาดำเนินการเพื่อปรับความสมดุลในการติดตั้ง จากนั้นทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการติดตั้ง ของแต่ละขั้นตอนการทำงาน จากผลการดำเนินงานพบว่า กระบวนการติดตั้งก่อนทำการปรับปรุงมีค่าประสิทธิภาพอยู่ที่ 51.13 เปอร์เซ็นต์ หลังการปรับปรุงมีค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 55.63 ค่าประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานเพิ่มขึ้น 4.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถ้าไม่มีการปรับปรุงกระบวนการการติดตั้งจะทำให้บริษัทฯ ทำงานเกิดความล่าช้าและเสียหายจนไม่สามารถส่งงานได้ทันตามแผนงาน

**คำสำคัญ :** การปรับปรุงการติดตั้ง เทคนิคการเคลื่อนไหวและเวลา ประตูบานเลื่อนอลูมิเนียม

#### ABSTRACT

This paper aim to improve the installation methods and increase the performance for Sliding Aluminium Door and Glass in order to be the good quality, installation in rapidly from company case study by applying the motion and time study, installation process line balancing and design the receiver for lock set of the sliding door. The step of process started from studied the sliding door installation process, gathering the works process and reducing unnecessary and duplicate of work process on site, establishing standardized time for balancing the installation process, compare the efficiency and variances distribution of each process. From the result before applied new method we founded that the installation process has had the efficiency at 51.13 percent and after we used the new method we founded that the installation process efficiency has been increased to 55.63 percent, the work process efficiency has been improved to 4.5 percent. Unless there are the improvement installation process, it makes they will be work delay and cannot be hand over the works in time by schedule planning.

**Keyword :** Improvement Installation, Motion and Time Study, Sliding Aluminium Door

## 1. บทนำ (Introduction)

ธุรกิจรับเหมางานติดตั้งงานประตู่ – หน้าต่างอลูมิเนียมและกระจก มีการแข่งขันรุนแรงทั้งตลาดภายในประเทศและต่างประเทศ ประกอบกับหลายปีที่ผ่านมาต้นทุนการผลิตเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากราคาวัตถุดิบที่สูงขึ้น ทำให้บริษัทที่รับเหมาก่อสร้างงานประตู่ – หน้าต่างอลูมิเนียมและกระจก ต้องแข่งขันกันมากขึ้นในการที่จะสนองความต้องการของลูกค้า

บริษัทที่ได้ทำการศึกษาในครั้งนี้เป็นบริษัทผู้ผลิตและติดตั้งงานประตู่ – หน้าต่างอลูมิเนียมและกระจก ซึ่งมีหลากหลายรูปแบบโดยมีโรงงานผลิตประตู่ – หน้าต่างอลูมิเนียมตั้งอยู่บนถนนพุทธมณฑลสาย 4 ทำการซื้อเส้นอลูมิเนียม (Aluminium Extrusion) [1] และนำมาเข้าสู่กระบวนการทำสี ตัด ประกอบ และนำไปติดตั้งยังโครงการที่ทางบริษัทฯ ได้รับความไว้วางใจให้ดำเนินการติดตั้งประตู่ – หน้าต่างอลูมิเนียมและกระจกโดยทีมงานช่างของทางบริษัทฯ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการปรับปรุงวิธีการและเพิ่มประสิทธิภาพการติดตั้งงานชุดประตู่บานเลื่อนอลูมิเนียมออกกระเบื้องมาทำการศึกษาเป็นตัวอย่างก่อน ซึ่งที่ผ่านมาทางบริษัทฯ ได้รับความไว้วางใจให้ดำเนินการติดตั้งชุดประตู่บานเลื่อนออกกระเบื้องของงานอาคารสูง ซึ่งจากการศึกษาและรวบรวมข้อมูลจากการทำงานติดตั้งพบว่าที่ผ่านมาการทำงานติดตั้งประตู่บานเลื่อนอลูมิเนียมชุดกระเบื้องต่อวันพบปัญหาการติดตั้งล่าช้า ผลงานที่ออกมาไม่ได้ตามเป้าหมายที่ทางบริษัทฯ ได้วางแผนงานไว้ร่วมกับทางผู้รับเหมาหลัก ซึ่งเป็นผู้ว่าจ้างและผู้กำหนดแผนส่งมอบงานรวม การทำงานเพื่อส่งมอบงานอย่างไม่เป็นไปตามมาตรฐานและไม่มีประสิทธิภาพ รวมทั้งการส่งงานล่าช้านี้มีผลทำให้บริษัทฯ เกิดความเสียหาย เกิดความไม่น่าเชื่อถือในตัวบริษัท เกิดชื่อเสียงไม่ดี ลดโอกาสในการขยายตัวของธุรกิจอีกด้วย



ภาพที่ 1 ตัวอย่างรูปแบบประตู่บานเลื่อนอลูมิเนียม

จากการเข้าศึกษากระบวนการติดตั้งงานประตู่บานเลื่อนอลูมิเนียมและกระจก ชุดกระเบื้องของบริษัทฯ พบว่าแต่ละขั้นตอนในกระบวนการติดตั้งใช้เวลาในการทำงานแตกต่างกัน อีกทั้งทางบริษัทฯ ยังไม่เคยมีการทำการปรับสมดุลสายขั้นตอนการติดตั้ง [2] และนอกจากนี้ยังพบว่าพนักงานช่างติดตั้งต้องรับผิดชอบงานส่วนที่สามารถทำได้ในส่วนการผลิตที่โรงงานได้ก่อน ทำให้พนักงานช่างติดตั้งต้องเสียเวลาบางส่วนในการทำงานเพิ่ม และทำให้ขั้นตอนการติดตั้งเกิดความไม่ต่อเนื่อง เพราะต้องรอนานส่วนนั้นให้เสร็จเรียบร้อยก่อนจึงเริ่มขั้นตอนต่อไปได้ เกิดเวลาสูญเปล่าในการทำงาน และมีงานรอกระหว่างปฏิบัติงานมาก ส่งผลให้จำนวนงานในแต่ละวันไม่เป็นไปตามแผนที่กำหนด ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้นนี้ งานของผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นปรับปรุงวิธีการและเพิ่มประสิทธิภาพการติดตั้งงานประตู่บานเลื่อนอลูมิเนียมชุดกระเบื้องให้มีคุณภาพ มีความรวดเร็ว และส่งงานได้ตามแผนโดยการปรับสมดุลภายในสายการติดตั้งเพื่อให้สามารถทำงานได้ตามมาตรฐานและอย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น [3] – [4]

## 2. วิธีวิจัย (Research Methodology)

งานวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงสายการติดตั้งให้กับบริษัทกรณีศึกษา โดยนำหลักการการเคลื่อนไหวและเวลาและการปรับปรุงสายงานติดตั้ง และ ECRS โดยมีขั้นตอนการ

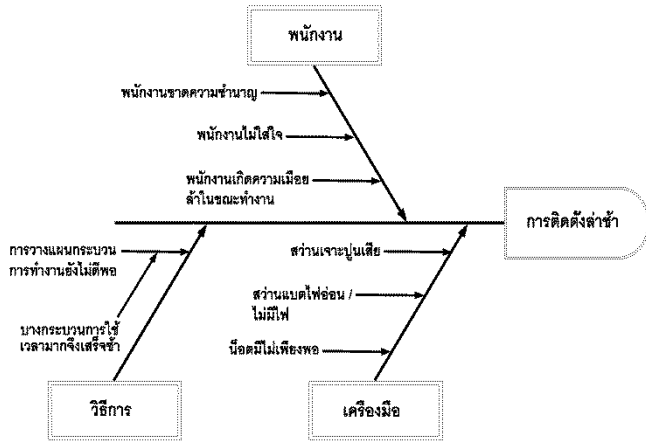
ดำเนินการดังต่อไปนี้

### 2.1 การวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้แผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

แผนผังสาเหตุและผล หรือผังก้างปลา เป็นแผนผังที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหา (Problem) กับสาเหตุทั้งหมดที่เป็นไปได้ ที่อาจก่อให้เกิดปัญหานั้น (Possible Cause)

จากการศึกษาและเก็บข้อมูลพบว่าสายการติดตั้งยังไม่มีประสิทธิภาพ อันเนื่องมาจากการติดตั้งที่ไม่ต่อเนื่อง เพราะมีการรอกคอยชิ้นงานติดตั้ง พนักงานบางคนยังขาดประสบการณ์ และสายการติดตั้งยังขาดความสมดุลปัญหาดังกล่าวข้างต้นสามารถวิเคราะห์โดยใช้แผนผังสาเหตุและผลหรือผังก้างปลา





ภาพที่ 2 ผังสาเหตุและผล

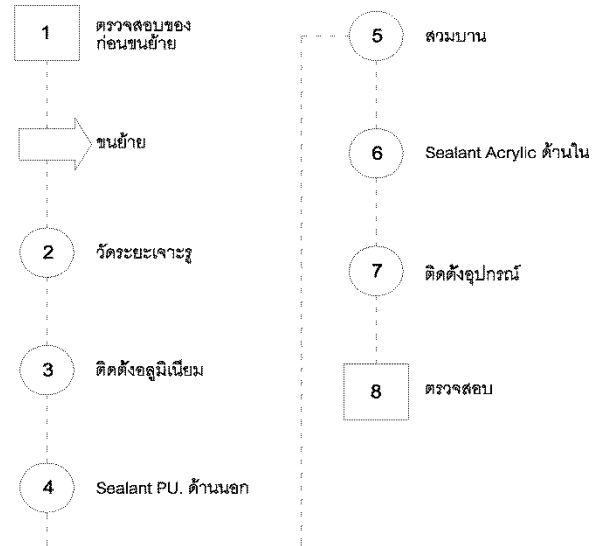
2.2 ศึกษากระบวนการติดตั้ง และการศึกษาแผนผังสายการติดตั้ง

จากการศึกษาสายการติดตั้งประตูบานเลื่อนอลูมิเนียม และกระจก พบว่ากระบวนการติดตั้งประกอบด้วย 8 ขั้นตอน แต่ละขั้นตอนแสดงจำนวนพนักงาน ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 กระบวนการติดตั้งประตูบานเลื่อนอลูมิเนียม และกระจก

ขั้นตอน	พนักงาน (คน/ชุด)
1. ตรวจสอบของก่อนขนย้าย	2
2. วัดระยะเจาะรูก่อนติดตั้ง	2
3. ติดตั้งอลูมิเนียม	2
4. Sealant PU. ด้านนอก	2
5. สวมบาน	2
6. Sealant Acrylic ด้านใน	2
7. ติดตั้งอุปกรณ์	2
8. ตรวจสอบงานติดตั้ง	1

จากการศึกษากระบวนการทำงาน และแผนผังสายการติดตั้ง สามารถแสดงเป็นไดอะแกรมการเคลื่อนที่ (Flow Diagram) ได้ดังนี้



ภาพที่ 3 ไดอะแกรมการเคลื่อนที่สายการติดตั้งประตูบานเลื่อนอลูมิเนียมและกระจก

2.3 ศึกษาข้อมูลด้านเวลา และจัดทำเวลามาตรฐาน

การศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลา (Time and Motion Study) หมายถึง เทคนิคในการวิเคราะห์ขั้นตอนของการปฏิบัติงานเพื่อขจัดงานที่ไม่จำเป็นออก และสรรหาวิธีการทำงานที่ดีที่สุด และเร็วที่สุดในการปฏิบัติงานนั้นๆ ทั้งนี้รวมถึงการปรับปรุงมาตรฐานของวิธีการทำงาน สภาพ

การทำงาน เครื่องมือต่างๆ และการฝึกคนให้ทำงานด้วยวิธีที่ถูกต้อง การหาเวลามาตรฐานของงาน โดยการหาค่าเวลามาตรฐานสามารถหาได้จากสมการที่ (1)

$$STD.T = NT + (A \times NT) \quad (1)$$

เมื่อ STD.T = เวลามาตรฐาน (Standard Time)

NT = เวลาปกติ (Normal Time)

A = เวลาเผื่อ (Allowance)

ทำการศึกษาข้อมูลด้านเวลาของกระบวนการติดตั้งประตูบานเลื่อนอลูมิเนียมและกระจก เพื่อนำมาคำนวณหาเวลามาตรฐาน ดังตารางที่ 2



ตารางที่ 2 เวลามาตรฐานขั้นตอนการติดตั้งประตูบานเลื่อน  
อลูมิเนียม (ก่อนการปรับปรุง)

ขั้นตอน	เวลาเฉลี่ย	เวลาปกติ	เวลามาตรฐาน	จำนวน (ชุด)	เวลามาตรฐานต่อ (ชุด)
1	1.5	1.5	1.65	1	1.65
2	8.37	8.37	9.21	1	9.21
3	20.85	20.85	22.94	1	22.94
4	20.84	20.84	22.92	1	22.92
5	1.63	1.63	1.79	1	1.79
6	11.91	11.91	13.10	1	13.10
7	22.21	22.21	24.43	1	24.43
8	3.53	3.53	3.88	1	3.88

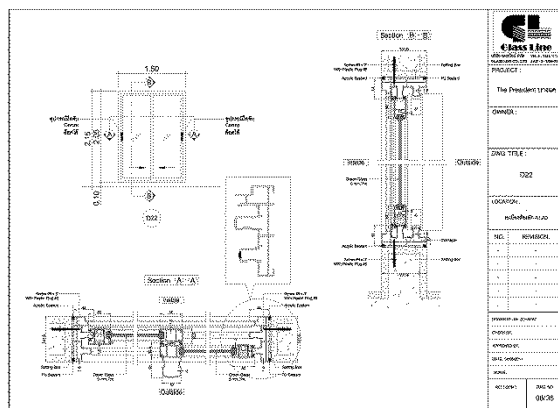
หมายเหตุ 1. เวลาในตาราง หน่วยเป็นนาที 2. ค่าปรับเวลา  
= 100% ค่าเผื่อ 10% กำหนดโดยบริษัทกรณีศึกษา

จากการศึกษาข้อมูลข้างต้น สามารถสรุปได้ว่าปัจจุบัน  
กระบวนการติดตั้งประตูบานเลื่อนอลูมิเนียมและกระจก  
ประกอบด้วยสถานีงานทั้งหมด 8 สถานีงาน พนักงานรวม  
ทั้งหมด 7 คน และขั้นตอนที่เป็นตัวกำหนดรอบเวลางาน  
(Cycle Time) คือขั้นตอนที่ 7 คือขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์  
โดยมีรอบเวลาเท่ากับ 24.43 นาที

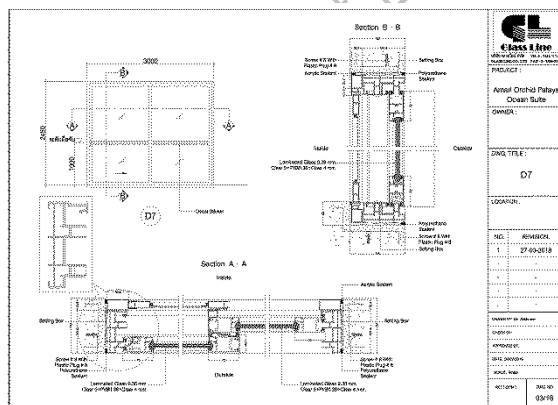
2.4 การลดความสูญเสียโดยใช้หลักการ ECRS

หลักการ ECRS เป็นหลักการที่ประกอบด้วย การกำจัด  
(Eliminate) การรวมกัน (Combine) การจัดใหม่  
(Rearrange) และการทำให้ง่าย (Simplify) ซึ่งเป็นหลักการ  
ง่ายๆ ที่สามารถใช้ในการเริ่มต้นลดความสูญเสียเปล่าหรือ  
MUDA ลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.4.1 การขจัดออก (Eliminate) : ขั้นตอนที่ 7 ทำการ  
ออกแบบรูปแบบ Section เฟรมวงกบอลูมิเนียมบานเลื่อน  
ใหม่ให้สามารถทำการติดตั้งอุปกรณ์ได้ง่ายขึ้นเนื่องจากรูปแบบ  
เดิมเวลาเจาะตัวรับล้อคบานเลื่อนใช้เวลาในการเจาะ  
นานและบางทีก็ทำให้เกิดความเสียหายที่เฟรมได้ในขณะ  
เวลาเจาะ สาเหตุเกิดจากช่างติดตั้งมีความเมื่อยล้า ไม่  
รอบคอบ และไม่มีเครื่องมือ



ภาพที่ 4 รูปแบบ Section เดิมก่อนทำการปรับปรุง



ภาพที่ 5 รูปแบบ Section หลังทำการปรับปรุง

2.4.2 การรวมกัน (Combine) : ในขั้นตอนที่ 5 และ  
ขั้นตอนที่ 6 สามารถทำงานรวมกันได้ คือ โดยปกติหลังจาก  
ทำงานในขั้นตอนที่ 4 เสร็จที่ PU. ให้ระเหิด 1 วัน พนักงาน  
จะดำเนินการไล่สวมบานให้เสร็จก่อนค่อยย้อนกลับมา  
Sealant Acrylic ด้านใน ขั้นตอนการทำงานนี้ทำให้เกิด  
ความสูญเสียเรื่องของเวลาในการเคลื่อนที่และยังทำให้ไม่  
สามารถส่งพื้นที่ให้กับผู้รับเหมาช่วงต่อได้

2.4.3 การจัดใหม่ (Rearrange) : ในการทำงานที่ผ่าน  
มาไม่ค่อยได้จัดอบรมเพิ่มความรู้ให้กับพนักงานรวมถึงเมื่อมี  
การเปลี่ยนหรือปรับปรุง Section ใหม่จะรู้กันอยู่ในวงแคบๆ  
ทำให้เวลาพนักงานติดตั้งไปติดตั้งที่หน้างานเกิดปัญหาในการ  
ทำงาน

ทางผู้วิจัยและทีมวิศวกรของบริษัทฯ เล็งเห็นปัญหาที่  
เกิดขึ้นจึงจัดการอบรมพนักงานทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนหรือ  
ปรับปรุง Section ใหม่เพื่อให้พนักงานสามารถทำงานไปใน  
ทิศทางเดียวกัน

2.4.4 การทำให้ง่าย (Simplify) : ในขั้นตอนที่ 7 ก่อนปรับปรุง Section จะต้องทำการเจาะรูที่เฟรมอลูมิเนียมเพื่อทำเป็นตัวรับล๊อคกับบานเลื่อนขั้นตอนนี้ใช้เวลาเจาานานและต้องใช้ความชำนาญของพนักงานที่ทำอย่างมาก

ทางผู้วิจัยและทีมผู้ออกแบบของบริษัทฯ จึงได้ทำการออกแบบตัวรับล๊อคเพื่อที่จะนำมาใช้กับ Section ที่ทำการปรับปรุงใหม่เพื่อให้สามารถช่วยลดเวลาในการติดตั้งได้



ภาพที่ 6 ตัวรับล๊อคที่เจาะรูที่เฟรม Section ก่อนปรับปรุงของบริษัทฯ



ภาพที่ 7 ตัวรับล๊อคที่ทำการออกแบบมาใช้งานกับ Section ที่ปรับปรุงของบริษัทฯ

2.5 การจัดสมดุลสายการติดตั้ง (Line Balancing) การทำให้สายงานติดตั้งสมดุลก็คือ การแบ่งงานหรือมอบหมายงานให้แต่ละสถานีงานทำงานในลักษณะที่จะทำให้

แต่ละสถานีงานใช้เวลาในการทำงานใกล้เคียงกัน และไม่เกินรอบเวลางานที่ต้องการซึ่งจะทำให้ลดการสูญเสียเปล่าลงได้

การจัดสมดุลสายการติดตั้งมีตัวชี้วัดประสิทธิภาพที่สำคัญ เช่น ประสิทธิภาพความสมดุล ดังสมการที่ (2)

$$E = \frac{\sum_{i=1}^m a_i}{K \times C} \times 100\% \quad (2)$$

เมื่อ  $a_i$  = เวลาการทำงานของขั้นตอน  $i$ ,  $m$  = จำนวนขั้นตอนการทำงาน,  $K$  = จำนวนสถานีงาน,  $C$  = รอบเวลางาน

ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลจากการทำงานของพนักงานช่างทั้งหมด 7 คน โดยทำการบันทึกวิธีการทำงานด้วยการจดบันทึกขั้นตอนการทำงาน (Work Record) และถ่ายภาพเก็บข้อมูล ตั้งแต่เดือนมิถุนายน 2561- สิงหาคม 2561

### 3. ผลการวิจัย (Results)

จากวิธีการดำเนินการงานวิจัยดังหัวข้อที่ 2 สามารถแสดงผลการศึกษา และวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

3.1 ผลจากการปรับปรุงการติดตั้ง และลดความสูญเสียเปล่าโดยใช้หลักการ ECRS ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เวลามาตรฐานขั้นตอนการติดตั้งประตูบานเลื่อนอลูมิเนียมและกระจก (หลังการปรับปรุง)

ขั้นตอน	เวลาเฉลี่ย	เวลาปกติ	เวลามาตรฐาน	จำนวน (ชุด)	เวลามาตรฐานต่อ (ชุด)
1	1.5	1.5	1.65	1	1.65
2	8.37	8.37	9.21	1	9.21
3	20.85	20.85	22.94	1	22.94
4	20.84	20.84	22.92	1	22.92
5+6	12.1	12.1	13.31	1	13.31
7	14.02	14.02	15.42	1	15.42
8	3.53	3.53	3.88	1	3.88

3.1.1 ในขั้นตอนที่ 7 ก่อนทำการปรับปรุง Section ใช้เวลาในการดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์ 24.43 นาที หลังจากมีการปรับปรุง Section ใหม่สามารถจับเวลาในการดำเนินการ

ได้ 15.42 นาที ลดจากเดิมถึง 9.01 นาที

3.1.2 ในขั้นตอนที่ 5 , ขั้นตอนที่ 6 ก่อนทำการ  
ปรับปรุงเวลาในการดำเนินการสวมบานและ Sealant  
Acrylic ด้านในใช้เวลาารวมกัน 14.89 นาที หลังจากมีการ  
ปรับปรุงขั้นตอนในการทำงานทั้ง 2 ขั้นตอนมารวมกันแล้ว  
จับเวลาในการดำเนินการได้ 13.31 นาที ลดจากเดิม 1.58  
นาที ที่ได้แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 เวลามาตรฐานขั้นตอนที่ 5 , ขั้นตอนที่ 6 และ  
ขั้นตอนที่ 7

ขั้นตอนการทำงาน	เวลามาตรฐาน (นาทีต่อชุด)	
	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
ขั้นตอนที่ 5 - สวมบาน	1.79	13.31
ขั้นตอนที่ 6 - Sealant Acrylic ด้านใน	13.1	
ขั้นตอนที่ 7 - ติดตั้งอุปกรณ์	24.43	15.42

3.2 ประสิทธิภาพของสายงานติดตั้งประตูบานเลื่อน  
อลูมิเนียมและกระจก หลังการปรับปรุง

ตารางที่ 5 ประสิทธิภาพสถานีงานและสายการติดตั้ง

ขั้นตอน	เวลามาตรฐาน (นาทีต่อชุด)		ประสิทธิภาพ สถานีงาน(%)	
	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
1	1.65	1.65	6.75	7.19
2	9.21	9.21	37.70	40.15
3	22.94	22.94	93.90	100.00
4	22.92	22.92	93.82	99.91
5	1.79	13.31	7.33	58.02
6	13.10		53.62	
7	24.43	15.42	100.00	67.22
8	3.88	3.88	15.88	16.91
ประสิทธิภาพสายการติดตั้ง			51.13	55.63

จากตารางข้างต้น พบว่าหลังการปรับปรุงข้างต้นมีค่า  
ประสิทธิภาพรวมของสายการติดตั้งมีค่าเท่ากับ 55.63  
เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าประสิทธิภาพมากกว่าก่อนปรับปรุงเดิมมี

ค่า 51.13 เปอร์เซ็นต์เพิ่มขึ้นจากเดิม 4.5 เปอร์เซ็นต์

#### 4. อภิปรายผล (Discussion)

จากการศึกษาการปรับปรุงการติดตั้งงานประตูบาน  
เลื่อนอลูมิเนียมและกระจก ด้วยเทคนิคการศึกษาการ  
เคลื่อนไหวและเวลา กรณีศึกษา บริษัท กลาสไลน์ จำกัด นั้น  
พบว่าเมื่อพนักงานได้รับการฝึกอบรมตามมาตรฐานการ  
ทำงานแล้วนั้นพนักงานมีการทำงานติดตั้งที่รวดเร็วและเมื่อ  
ได้รับการปรับปรุง Section อลูมิเนียมรวมถึงออกแบบตัวรับ  
ล็อกบานเลื่อนใหม่ ขั้นตอนการทำงานที่ไม่ก่อให้เกิด  
ประโยชน์ในงาน จึงทำให้สามารถทำงานได้รวดเร็วขึ้น ซึ่ง  
เมื่อเทียบกับงานวิจัยเรื่อง “การปรับปรุงผลผลิตภาพในการผลิต  
ประตู-หน้าต่างด้วยเทคนิคการศึกษาการเคลื่อนไหวและ  
เวลา” [11] ที่ทำการศึกษาเรื่องการปรับปรุงผลผลิตภาพในการ  
ผลิตนั้นได้ผลคือพบว่าสามารถลดระยะทางในการเคลื่อนที่  
ของพนักงานให้น้อยลง ทำให้ตำแหน่งของวัสดุ อุปกรณ์อยู่  
ใกล้สะดวกต่อการใช้งาน จึงช่วยเพิ่มอัตราการผลิตต่อวัน  
ช่วยลดปัญหาการส่งสินค้าล่าช้าและช่วยลดค่าใช้จ่ายในการ  
ผลิตต่อหน่วยได้

ดังนั้นผลการวิจัยจึงเป็นไปได้ในทิศทางเดียวกัน คือ  
สามารถลดขั้นตอน ระยะเวลาในการทำงานและเพิ่มผลผลิต  
ในการทำงานต่อชิ้นให้เป็นไปตามแผนงานได้

#### 5. สรุปผล (Conclusion)

การศึกษานี้เป็นการศึกษาการปรับปรุงการติดตั้งงาน  
ประตูบานเลื่อนอลูมิเนียมและกระจก ด้วยเทคนิคการศึกษา  
การเคลื่อนไหวและเวลากรณีศึกษา เพื่อลดเวลาในการ  
ทำงานรวมไปถึงลดขั้นตอนของงานเพื่อให้สามารถทำงานได้  
อย่างมีประสิทธิภาพและนำข้อมูลมาวิเคราะห์การทำงานซึ่ง  
ผลที่ได้มีดังนี้

1. ผลของการอบรมทีมพนักงานติดตั้งสามารถลด  
ขั้นตอนของการทำงานในช่วงเวลาของการทำงานลงได้ถึง  
24.43 นาที ลดเหลือ 22.94 นาที

2. การลดขั้นตอนของการทำงานในการสวมบานกับ  
Sealant Acrylic ด้านใน มารวมกัน ทำให้การทำงานลดลง  
จาก 14.89 นาที ลดเหลือ 13.31 นาที

3. ผลของการปรับปรุงรูปแบบ Section เฟรมบาน  
เลื่อนรวมถึงออกแบบตัวรับล็อกใหม่ทำให้พนักงานติดตั้ง  
ทำงานได้รวดเร็วจากเดิมทำได้ 24.43 นาที ลดเหลือ  
15.42 นาที และยังสามารถลดความเสียหายที่เฟรม  
อลูมิเนียมให้น้อยลงไปด้วย

4. ผลจากการศึกษาวิจัยการปรับปรุงการติดตั้งงาน  
ประตูบานเลื่อนอลูมิเนียมและกระจก สามารถดำเนินงานทำ  
ให้ประสิทธิภาพรวมของสายการติดตั้งเพิ่มขึ้นจาก 51.13

เปอร์เซ็นต์ เป็น 55.63 เปอร์เซ็นต์

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะผู้บริหารและพนักงานบริษัท  
กลาสไลน์ จำกัด ที่ให้การสนับสนุนข้อมูลในการศึกษา  
ค้นคว้า และอาจารย์ทุกท่านในสาขาวิชาวิศวกรรมการ  
จัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืนคณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้คำปรึกษาทำ  
ให้การศึกษาค้นคว้านี้สำเร็จลุล่วงและเกิดประโยชน์

## 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] เขาวลิต ลีหมณีวิจิตร. อลูมิเนียม : โลหะวิทยาและ  
กรรมวิธีการผลิต 3. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยพระจอม  
เกล้าธนบุรี, 2553.
- [2] อิศรา ธีระวัฒน์สกุล. การศึกษาความเคลื่อนไหวและ  
เวลา. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม, คณะ  
วิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2548.
- [3] ฤทธิชัย สังฆทิพย์, วิชชุดมภ์ ชิววิริยะนนท์, เฉลิมศักดิ์  
ถาวรวัตร์, วิชชุรย์ อบรม และ ประยูร สุรินทร์. การลด  
เวลาการผลิตกระบวนการเชื่อมชิ้นส่วนยานยนต์ด้วย  
เทคนิค ECRS. การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรม  
อุตสาหกรรมประจำปี, สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต,  
คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน,  
2556.
- [4] Miranda, F.A.A. Application of Work Sampling  
and ECRS (Eliminate, Combine, Re-lay out and  
Simplify) Principles of Improvement at TO1  
Assembly. Industrial Engineering, Saint Louis  
University, 2001.
- [5] คมสัน จิระภัทรศิลป์. การวิเคราะห์และปรับปรุง  
ความสามารถกระบวนการการทำแบบหล่อทรายขึ้น  
เพื่อพัฒนาคุณภาพงานหล่อโลหะ. ภาควิชาครุศาสตร์  
อุตสาหกรรม, คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและ  
เทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า  
ธนบุรี, 2548.
- [6] นวนพ สุวรรณภูมิ. การปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิต  
ในโรงงานของเล่นไม้ โดยใช้เทคนิคการศึกษาการ  
เคลื่อนไหวและเวลา. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม,  
คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2551.
- [7] จักกฤษณ์ อ้นยะลา. การปรับปรุงประสิทธิภาพการ  
ผลิตในโรงงานผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูปด้วยเทคนิค  
การศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลา. วิทยานิพนธ์,

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม, คณะวิศวกรรมศาสตร์,  
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2552.

- [8] ณัฐสิทธิ์ มหานาม. การปรับปรุงประสิทธิภาพการ  
ผลิตชิ้นงานสินค้าด้วยเทคนิคการศึกษาการเคลื่อนไหว  
และเวลา. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2553.
- [9] นิยม ไชยคำวัง. การปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตใน  
โรงงานเย็บผ้าโดยเทคนิคการศึกษาความเคลื่อนไหว  
และเวลา. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม, คณะ  
วิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2551.
- [10] Khalid, S. A-S. Productivity Improvement of a  
Motor Vehicle Inspection Station Using Motion  
and Time Study Techniques. Industrial  
Engineering Department, College of  
Engineering, King Saud University, 2010.
- [11] กฤษฎา วงศ์วรรณ. การปรับปรุงผลิตภาพในการผลิต  
ประตู - หน้าต่างด้วยเทคนิคการศึกษาความ  
เคลื่อนไหวและเวลา. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม,  
คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2557.

RMUTP & FTI 5th Sustainable Industrial Management Engineering



## การพัฒนาแผ่นมีดซีเมนต์ทังสเตนคาร์ไบด์สำหรับการตัดปาดผิวหยาบในงานกัด Development of cemented tungsten carbide for rough milling machine

สรายุทธ จงเทพ , สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ , ปริญญ์ บุญนิษฐ  
สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร  
1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800  
[rscb.sarayut@gmail.com](mailto:rscb.sarayut@gmail.com)

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์แผ่นมีดซีเมนต์คาร์ไบด์ที่มีขนาดเทียบเท่า SEKN1203AFTN เพื่อเพิ่มอายุการใช้งาน สำหรับการตัดปาดผิวหยาบ (Rough machine) ในงานปาดหน้า (Face milling machine) โดยให้ผิวหยาบ (Flank) มีพื้นผิวสัมผัสลดลงเพื่อคงความแข็งแรงของคมตัด เนื่องจากสารหล่อเย็นมีระบบการไหลเปลี่ยนไปส่งผลให้ผิวงานและคมตัดมีความร้อนสะสมลดลง ซึ่งการตัดเฉือนแตกต่างไปจากเดิม ผิวหยาบส่งเสริมการไหลของสารหล่อเย็น (Coolant) และลดแรงเสียดทาน (Friction force) ผลปรากฏว่าอายุการใช้งานเพิ่มขึ้น (Life Time) ร้อยละ 26.31 การสั่นสะเทือนลดลง (Vibration) จากผลการวิเคราะห์ความดังเสียงลดลง (Decibel) ร้อยละ 35 และชิ้นงานที่ผลิตมีความหยาบผิวลดลง (Surface Roughness) ร้อยละ 62.79 ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาผิวหยาบมีอายุการใช้งานเพิ่มขึ้น จึงสามารถนำไปใช้ในการผลิตในอุตสาหกรรมต่อไป

**คำสำคัญ (Key word):** ซีเมนต์ทังสเตนคาร์ไบด์; กัดผิวหยาบ; ทังสเตนคาร์ไบด์; อายุการใช้งาน; ความหยาบผิว

### Abstract

Carbide Insert product development of this research equivalent to standard insert type : SEKN1203AFTN. For the higher operating efficiency is the machining time by the tool life increased for rough machine of face milling machine. Flank designed to have a flow slot coolant , flow rate of coolant to have a increased convenient flow as a result, the surface and cutting edges less heat. The machining ability is different compared to the unslot in flank. The flank slot reduces the contact and slot, which to have coolant flow and friction force milling machining. As a result the milling time was 26.31%, the vibration was reduced by 35% and the workpiece surface Roughness was reduced 62.79%. As a result to development the phototype product is performance in using and cutting edge increased. It can be apply in using Cement Tungsten Carbide in sustainable industries.

**Key word:** Cementcarbide; Rough machine; Tungsten Carbide; Tool Life; Surface Roughness



## 1. บทนำ (Introduction)

การพัฒนาอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนโลหะความแข็งสูง (Hard metals) จำเป็นต้องมีการพัฒนากระบวนการรีไซเคิลวัสดุต้นน้ำชนิดทั้งสแตนคาร์ไบด์เพื่อผลิตโลหะผงให้มีสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งาน โดยเฉพาะคุณลักษณะผงโลหะในด้าน ขนาด รูปร่าง การกระจายและความบริสุทธิ์ ซึ่งมีอิทธิพลต่อสมบัติของชิ้นส่วนซีเมนต์คาร์ไบด์โดยเฉพาะความแข็ง (Hardness) ความต้านทานการสึกหรอ เป็นต้น ผู้ผลิตในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนโลหะความแข็งสูงมีการรีไซเคิลโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์จากเศษซีเมนต์คาร์ไบด์กลับมาใช้ใหม่มากขึ้น [1] ซึ่งโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลส่วนใหญ่ประยุกต์ใช้สำหรับการผลิตชิ้นส่วนโลหะความแข็งสูง (Hard metals) คิดเป็นร้อยละ 72 ปริมาณการบริโภคทั้งสแตนคาร์ไบด์ทั่วโลกประมาณ 59,000 ตันต่อปี ประกอบด้วย ยุโรปบริโภค 17,000 ตันต่อปี จีนบริโภค 16,000 ตันต่อปี สหรัฐอเมริกาประมาณ 10,000 ตันต่อปี ญี่ปุ่น 5,000 ตันต่อปี รัสเซียและอินเดีย 4,000 ตันต่อปี และเกาหลีใต้บริโภคทั้งสแตนคาร์ไบด์ 3,000 ตันต่อปี [2] ปัจจุบันการเติบโตในด้านอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนและแม่พิมพ์ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมพื้นฐานสำคัญ ซึ่งเครื่องมือตัดที่ใช้นั้นส่วนใหญ่จะนำเข้าจากต่างประเทศใช้เป็นจำนวนมาก และมีราคาสูงซึ่งจากปัญหาดังกล่าวจะทำให้ผู้ประกอบการหรือผู้ใช้งานภายในประเทศไม่สามารถที่จะผลิตใช้งานเองได้ จะทำให้สูญเสียต้นทุนในการนำเข้าจากต่างประเทศ ทำให้เกิดความล่าช้า มีราคาสูง ซึ่งเป็นปัญหาสำหรับผู้ประกอบการเป็นอย่างยิ่ง แผ่นมิดซีเมนต์คาร์ไบด์เป็นที่ต้องการสำหรับการตัดเฉือน เนื่องจากมีความแข็งและความต้านทานการสึกหรอได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าวัสดุประเภทอื่น โดยประสิทธิภาพการทำงานเหล่านี้สัมพันธ์ระหว่างเครื่องมือและชิ้นงาน ทั้งสแตนเป็นโลหะที่ทำได้ยากโดยใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการบินและอวกาศและอุตสาหกรรมทางทหารประมาณครึ่งหนึ่งของทั้งสแตนที่ใช้ในการผลิตซีเมนต์คาร์ไบด์หรือทั้งสแตนคาร์ไบด์ (WC) ผงและคาร์ไบด์ซีเมนต์นี้ใช้กันอย่างแพร่หลายในการทำเครื่องมือตัดและเครื่องมือในการทำเหมือง เครื่องมือผ่าตัด ชิ้นส่วนที่สึกหรอและกระสุนเพราะความแข็งสูงและต้านทานการสึกหรอ จุดหลอมเหลวสูงและมีความทนทานต่อการกัดกร่อนของสารเคมี แม้ว่าทั้งสแตนจะผลิตจากเหมืองในประเทศจีนเป็นอันดับแรกของโลกคิดเป็น 81.61% ของยอดส่งออกทั่วโลก รวม 87,000 ตันในปี 2015 [3] การส่งออกซีเมนต์คาร์ไบด์, วัสดุทั้งสแตน, เส้นใยทั้งสแตนและผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูงอื่น ๆ ในประเทศจีนมีเพียง 38.32% ของมูลค่าการส่งออกผลิตภัณฑ์ทั้งสแตนทั้งหมดในปี 2015 สัดส่วนนี้เป็นส่วนหนึ่ง

เนื่องจากคุณภาพ (เช่น ความบริสุทธิ์, ความละเอียด) ของวัตถุดิบ (เช่น WC) มีคุณภาพต่ำ [4] ความต้องการสำหรับทั้งสแตนได้เพิ่มขึ้น ในขณะที่การเจริญเติบโตประจำปีโดยเฉลี่ยอัตราการผลิตแร่ทั้งสแตนมีน้อยกว่า 5% ในปี 2553-2558 [3] ภายใต้สถานการณ์นี้ การรีไซเคิลเศษของทั้งสแตนกลายเป็นแหล่งสำคัญของอุปทานทั้งสแตนของโลก ปริมาณของการรีไซเคิลทั้งสแตนของอเมริกันประมาณเป็นที่ยอมรับคิดเป็น 59% ของการบริโภคทั้งหมด และ 24% ของค่าเฉลี่ยของโลก[3] อย่างไรก็ตามในประเทศจีนมีเพียง 10% ของข้อมูลทั้งหมด (AM, 2016) เมื่อเทียบกับกำลังการผลิตทั้งสแตนของโลกที่สูง อุตสาหกรรมคาร์ไบด์ในประเทศจีนเป็นอุตสาหกรรมที่ยังไม่ประสบความสำเร็จ ซึ่งประสบกับภาวะมลพิษทางสิ่งแวดล้อม ทำให้การรีไซเคิลอยู่ในระดับต่ำ [4]

ปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะการใช้งานของแผ่นมิดซีเมนต์คาร์ไบด์ ได้แก่ ชนิดของตัวประสาน ปริมาณโคบอลต์ ขนาดของเกรน การกระจายของขนาดเกรน ปริมาณการผสมกันของชนิดคาร์ไบด์ และเทคนิคกระบวนการผลิตคาร์ไบด์ของผู้ผลิต ปริมาณของโคบอลต์ เป็นปัจจัยที่สำคัญในการแบ่งเกรดของคาร์ไบด์ หากใช้ปริมาณของโคบอลต์สูงขึ้นจะได้ซีเมนต์คาร์ไบด์อ่อนลง ทำให้ทนการสึกหรอได้น้อย ขนาดเกรน ส่งผลต่อความแข็งโดยตรง เกรนยิ่งเล็กความแข็งยิ่งสูง ในขณะที่เกรนของคาร์ไบด์ขนาดใหญ่ช่วยให้ทนแรงกระแทกได้ดีกว่า (ดร.สุรศิษฐ์ โรจนนันท.ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี) [5]

เหล็กแม่พิมพ์เกรด S45C เป็นเหล็กกล้าที่มีคาร์บอนเป็นธาตุผสมหลัก มีคุณสมบัติที่ดีในหลายด้าน ทั้งความแข็งแรง ความเหนียว ความแกร่ง และมีราคาถูก นอกจากนี้ยังสามารถทำการอบชุบเพื่อเพิ่มความแข็งและความแข็งแรงได้ ตัวอย่างส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้า [6]

อธิบายการศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อความขรุขระผิวในการกัดปาดผิวหน้าเหล็กแม่พิมพ์ด้วยมิดคาร์ไบด์เพื่อประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตแม่พิมพ์พลาสติกและอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง วัสดุทดลองเป็นเหล็กแม่พิมพ์ เกรด S50C ความแข็งอยู่ระหว่าง 280-325 HB ใช้เครื่องกัดกึ่งอัตโนมัติ ยี่ห้อ Obraeci Stroje รุ่น FGV 32 ใช้เม็ดมิดคาร์ไบด์ ยี่ห้อ Iscar แบบ SEKT 1204AFR-HM ปัจจัยในการทดลองประกอบด้วย ความเร็วรอบ อัตราป้อน และความลึกในการกัด จากการทดลองเบื้องต้นพบว่าความลึก ไม่มีผลต่อค่ากำหนดความลึกในการกัดคงที่ไว้ 0.5 มม. จากการทดลองพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อความขรุขระผิว คือ อัตราป้อน และความเร็วรอบ โดยมี

แนวโน้มว่าเมื่อใช้อัตราป้อนต่ำและการเพิ่มความเร็วยกขึ้นให้สูงขึ้นมีผลทำให้ค่าความขรุขระผิวลดลง [7]

อิทธิพลของตัวแปรในการกัดด้วยเม็ดมีดคาร์ไบด์เคลือบผิวไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์บนเหล็กหล่อสีขาวพบว่า ความเร็วตัดมีผลต่อการสึกหรอของเม็ดมีดมากที่สุด รองลงมาคือ อัตราป้อน และความลึกในการกัด ค่าที่เหมาะสมเมื่อพิจารณาด้านการสึกหรอของเม็ดมีดคือ ความเร็วตัด 100 เมตร/นาที อัตราป้อน 0.1 มิลลิเมตร/ฟัน และความลึกในการกัด 0.6 มิลลิเมตร สำหรับต้นทุนการผลิตค่าที่เหมาะสมที่สุดคือ ความเร็วตัด 100 เมตร/นาที อัตราป้อน 0.1 มิลลิเมตร/ฟัน และความลึกในการกัด 1.0 มิลลิเมตร ให้ต้นทุนการผลิตที่ต่ำที่สุด [8]

อิทธิพลของตัวแปรในการเล่นประสานที่มีผลต่อความต้านทานแรงเฉือนในรอยต่อระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเกรด SS400 กับทังสเตนคาร์ไบด์ (WC) โดยใช้โลหะเติมชนิด Si CD1050-5M ซึ่งตัวแปรที่พิจารณาประกอบด้วย อุณหภูมิและเวลาทำการทดลองแบบแฟคทอเรียล 32 ทดลองซ้ำ 3 ครั้ง และเปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงเฉือนระหว่างการเล่นประสานในเตาภายใต้บรรยากาศปกติกับการเล่นประสานในเตาภายใต้บรรยากาศ [9] เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ  $\alpha = 0.05$  ผลพบว่า อุณหภูมิมีอิทธิพลต่อค่าความต้านทานแรงเฉือน โดยการเล่นประสานที่อุณหภูมิ 790°C ภายใต้บรรยากาศอาร์กอนให้ค่าความต้านทานแรงเฉือนสูงสุด [10]

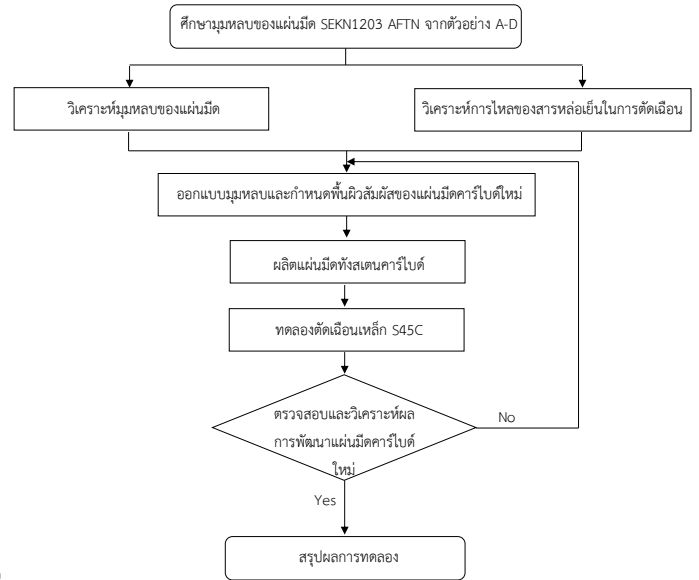
การใช้งานผลิตภัณฑ์ทังสเตนคาร์ไบด์ในประเทศไทยนิยมใช้ผลิตภัณฑ์ของผู้ผลิตที่มีชื่อเสียงและเป็นผู้นำของอุตสาหกรรมเครื่องมือตัดเช่น KYOCERA SECO และ SANDVIK ดังนั้นเพื่อเป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์แผ่นมีดคาร์ไบด์สำหรับใช้งานภายในประเทศและศึกษาประสิทธิภาพการใช้งาน กรณีศึกษา แผ่นมีดคาร์ไบด์รหัส SEKN1203 AFTN โดยแผ่นมีดซีเมนต์คาร์ไบด์ที่ใช้จากผู้ผลิตที่มีชื่อเสียงข้อจำกัดที่พบคือมีราคาสูง โดยการพัฒนาขึ้นภายในประเทศนั้นจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อ

องค์กรและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนผู้ประกอบการและผู้ใช้งาน ซึ่งจะสามารถพึ่งพาตัวเองได้อย่างยั่งยืน

การวิจัยนี้จึงศึกษาผลิตภัณฑ์แผ่นมีดคาร์ไบด์สำหรับการตัดปาดผิวหยาบในการกัด โดยพัฒนาแบบของแผ่นมีดที่มีพื้นที่การสัมผัสผิวชิ้นงานลดลง เพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของคมตัด โดยลดแรงเสียดทาน และลดความร้อนบริเวณคมตัด ซึ่งส่งผลให้อายุการใช้งานของคมตัดเพิ่มขึ้น และนำผลการศึกษาความคิดค้นออกแบบพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบแผ่นมีดซีเมนต์คาร์ไบด์ที่มีประสิทธิภาพในการกัดผิวเพื่อการใช้งานในอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืนต่อไป

## 2. วิธีการวิจัย (Research Methodology)

การพัฒนาผลิตภัณฑ์แผ่นมีดคาร์ไบด์รหัส SEKN1203 AFTN [11] ทดสอบด้วยเครื่องมือกลึง CNC Hurco Model: VM1P Serial No.VM1P-06311018 AKA สามารถอธิบายขั้นตอนการวิจัยได้ ดังนี้



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการออกแบบวิจัยแผ่นมีดซีเมนต์คาร์ไบด์

ศึกษาแบบของแผ่นมีดทังสเตนคาร์ไบด์ SEKN1203 AFTN ตามแผ่นมีดมาตรฐานตัวอย่าง A-D โดยการศึกษามุมตัดเฉือนและมุมของแผ่นมีดที่มีอิทธิพล และตัวแปรในการกัดชิ้นงานเหล็ก S45C เพื่อนำผลและขีดจำกัดตามแผ่นมีดมาตรฐานมาออกแบบพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบใหม่สำหรับการออกแบบแบบให้ป็นร่อง (Slot) เพื่อลดการสัมผัสแผ่นมีดกับผิวชิ้นงานและสารหล่อเย็นไหลผ่านดีขึ้นสามารถลดความร้อนระหว่างการตัดเฉือนชิ้นงาน ส่งผลให้อายุการใช้งานเพิ่มขึ้น

การผลิตแผ่นมีดทังสเตนคาร์ไบด์ที่พัฒนาขึ้นใหม่ จากการออกแบบแบบที่เป็นร่อง โดยจะนำทังสเตนคาร์ไบด์ในรูปของผง (RTP : Ready To Press) ที่มีปริมาณทังสเตน (W) ร้อยละ 80.5 และปริมาณโคบอลต์ (Co) ร้อยละ 9.5 (Grain size 3.0  $\mu\text{m}$ ) นำมาอัดขึ้นรูปตามรูปร่างของแม่พิมพ์ด้วยเครื่องอัด (Press) แล้วนำชิ้นงานที่ได้อบผนึก ด้วยเครื่องอบผนึกสุญญากาศ (Sintering) เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เมื่อได้ชิ้นงานที่อบผนึกแล้วนำมาวัดค่าความหนาแน่น (Spec. 13.00  $\text{g/cm}^3$ ) วัดขนาดชิ้นงาน และวัดค่าความแข็ง (Spec.90.4 HRA) จากนั้นทำการเจียรระโนผิวหน้าและร่อง Slot ตามขนาดที่ได้ทำการออกแบบไว้ด้วยหินเพชร

การทดสอบการตัดเฉือน กำหนดการทดสอบโดยใช้  
ชิ้นงานเหล็ก S45C ขนาด 45x300x124 มิลลิเมตร ด้วย  
เครื่อง มิลลิ่ง CNC Hurco Model : VM1P ความเร็วรอบ  
600 รอบต่อนาที (Speed) , อัตราป้อน 120 เมตรต่อนาที  
(Feed) ทดสอบการกัดชิ้นงานโดยใช้หัวกัดปาดผิวจำนวน 4  
แผ่นมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร (Face Milling  
Holder) กัดชิ้นงานลึกครั้งละ 2 มิลลิเมตร (Depth/Cut)  
เก็บข้อมูลการทดลองด้านอายุการใช้งาน วัดจากระยะทางใน  
การกัดชิ้นงานทั้งหมด ตั้งแต่เริ่มการกัดจนแผ่นมีดเกิดความ  
เสียหายคำนวณเป็นระยะทาง (เมตร) , ความดังเสียงวัดจาก  
ความดังเสียง ณ ตำแหน่งเดียวกันในการกัดชิ้นงาน จากเริ่ม  
การกัดจนแผ่นมีดเกิดความเสียหายแล้วคำนวณเป็นค่าเฉลี่ย  
(เดซิเบล) และความหยาบผิว วัดจากการใช้ไดอัลเกจค่าความ  
ละเอียด 0.001 มิลลิเมตร ลากผ่านผิวชิ้นงานแล้วอ่านค่า ( $\mu$   
m) เมื่อการทดสอบและการวัดผลเป็นไปตามเงื่อนไขดังกล่าว  
แล้วจึงทำการรวบรวมผลการทดลองของแผ่นมีดมาตรฐาน  
และแผ่นมีดที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ทำการวิเคราะห์ผลและ  
สรุปผลต่อไป

### 3. ผลการวิจัย (Results)

ทดสอบจากแผ่นมีดคาร์ไบด์จากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 5  
ตัวอย่าง เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพของแผ่นมีดซีเมนต์คาร์ไบด์  
รหัส SEKN1203 AFT ผลการวิจัยพบว่าการพัฒนาแผ่นมีด  
ซีเมนต์คาร์ไบด์ E ที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ มีค่าอายุและ  
ประสิทธิภาพการมิลลิ่งชิ้นงานเพิ่มขึ้นร้อยละ 26.31 มีความ  
ดังเสียงลดลงร้อยละ 35 และมีความหยาบผิวลดลงร้อยละ  
62.79 ซึ่งเป็นผลการทดสอบที่มีผลลัพธ์และประสิทธิผล  
มากกว่าแผ่นมีดมาตรฐาน

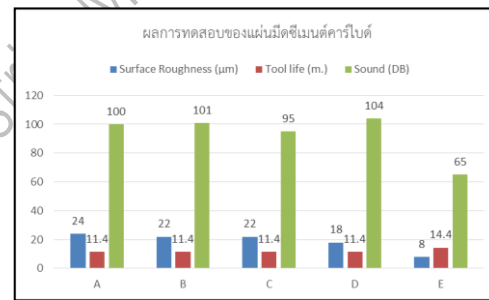
ตารางที่ 1 การทดสอบแผ่นมีดซีเมนต์คาร์ไบด์สำหรับงานกัด  
ผิว โดยใช้แผ่นมีดมาตรฐานและแผ่นมีดที่พัฒนาขึ้นมาใหม่

จากตารางที่ 1 แสดงผลการทดสอบแผ่นมีดสำหรับงาน

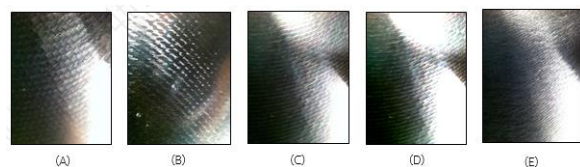
Insert	Speed (RPM)	Feed (m/min)	Life Time (min)	Sound (DB)	Tool Life (m.)	Surface Roughness ( $\mu$ m)	Hardness (HRA)
A	600	120	95 min	100	11.40	24	90
B	600	120	95 min	101	11.40	22	91
C	600	120	95 min	95	11.40	22	88.5
D	600	120	95 min	104	11.40	18	90
E	600	120	120 min	65	14.40	8	90.6

กัดผิวหน้าคาร์ไบด์มาตรฐาน A-D ที่เป็นแผ่นมีดมาตรฐานที่  
ผลิตขึ้นจากต่างประเทศ ได้แก่ ประเทศสวีเดน ประเทศญี่ปุ่น  
เป็นต้น และแผ่นมีดที่ผ่านการพัฒนาใหม่เพื่อใช้งาน  
ภายในประเทศ ผลการศึกษาพบว่า แผ่นมีดคาร์ไบด์ A ที่  
ความเร็วรอบ 600 rpm อัตราป้อน 120 เมตรต่อนาที ใช้  
เวลากัด 95 นาที กัดได้ระยะทาง 11.40 เมตร ผิวชิ้นงานมี

ความเรียบ 24 ไมครอน ความแข็ง 90 HRA ความดังของ  
เสียงขณะทดสอบ 100 เดซิเบล แผ่นมีดคาร์ไบด์ B ที่ความเร็ว  
รอบ 600 rpm อัตราป้อน 120 เมตรต่อนาที ใช้เวลากัด 95  
นาที กัดได้ระยะทาง 11.40 เมตร ผิวชิ้นงานมีความเรียบ 22  
ไมครอน ความแข็ง 91 HRA ความดังของเสียงขณะทดสอบ  
101 เดซิเบล แผ่นมีดคาร์ไบด์ C ที่ความเร็วรอบ 600 rpm  
อัตราป้อน 120 เมตรต่อนาที ใช้เวลากัด 95 นาที กัดได้  
ระยะทาง 11.40 เมตร ผิวชิ้นงานมีความเรียบ 22 ไมครอน  
ความแข็ง 88.5 HRA ความดังของเสียงขณะทดสอบ 95  
เดซิเบล แผ่นมีดคาร์ไบด์ D ที่ความเร็วรอบ 600 rpm อัตรา  
ป้อน 120 เมตรต่อนาที ใช้เวลากัด 95 นาที กัดได้  
ระยะทาง 11.40 เมตร ผิวชิ้นงานมีความเรียบ 18 ไมครอน ความแข็ง  
90 HRA ความดังของเสียงขณะทดสอบ 104 เดซิเบล และ  
แผ่นมีดคาร์ไบด์ E ที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ ที่ความเร็วรอบ 600  
rpm อัตราป้อน 120 เมตรต่อนาที ใช้เวลากัด 95 นาที กัด  
ได้ระยะทาง 14.40 เมตร ผิวชิ้นงานมีความเรียบ 8 ไมครอน  
ความแข็ง 90.6 HRA ความดังของเสียงขณะทดสอบ 65 เดซิ  
เบล



ภาพที่ 2 ผลการทดสอบ ความหยาบผิว อายุการใช้งาน และ  
ความดังเสียง ของแผ่นมีดซีเมนต์คาร์ไบด์มาตรฐานและ  
แผ่นมีดที่พัฒนาขึ้นมาใหม่



ภาพที่ 3 พื้นผิวชิ้นงานทดสอบความหยาบผิว (Surface  
Roughness) ที่ผ่านการตัดปาดจากแผ่นมีดซีเมนต์คาร์ไบด์

จากพื้นผิวชิ้นงาน A แสดงผิวงานงานที่ผ่านการกัด  
ผิวหน้าด้วยแผ่นมีดซีเมนต์คาร์ไบด์มาตรฐาน A ผลการ  
ทดสอบพบว่า ลักษณะพื้นผิวชิ้นงานเป็นคลื่น ไม่ราบเรียบ มี  
ลักษณะเป็นรอยแบบมีการสะท้อนของเครื่องมือ (Tool)  
(Surface Roughness 24  $\mu$ m)

จากพื้นผิวชิ้นงาน B แสดงผิวงานงานที่ผ่านการกัด  
ผิวหน้าด้วยแผ่นมีดซีเมนต์คาร์ไบด์มาตรฐาน B ผลการ

ทดสอบพบว่า ลักษณะพื้นผิวชิ้นงานเป็นคลื่นสะท้อนตัดกัน เป็นเส้นโค้ง มีความราบเรียบน้อย (Surface Roughness 22  $\mu\text{m}$ )

จากพื้นผิวชิ้นงาน C แสดงผิวงานที่ผ่านการกัดผิวหน้าด้วยแผ่นมีดซีเมนต์คาร์ไบด์มาตรฐาน C ผลการทดสอบพบว่า ลักษณะพื้นผิวชิ้นงานเป็นคลื่นสะท้อนตัดกัน เป็นเส้นโค้ง มีความราบเรียบน้อย (Surface Roughness 22  $\mu\text{m}$ )

จากพื้นผิวชิ้นงาน D แสดงผิวงานที่ผ่านการกัดผิวหน้าด้วยแผ่นมีดซีเมนต์คาร์ไบด์มาตรฐาน D ผลการทดสอบพบว่า ลักษณะพื้นผิวชิ้นงานเป็นคลื่นสะท้อนตัดกันเป็นเส้นโค้ง มีความราบเรียบปานกลาง (Surface Roughness 18  $\mu\text{m}$ )

จากพื้นผิวชิ้นงาน E แสดงผิวงานที่ผ่านการกัดผิวหน้าด้วยแผ่นมีดซีเมนต์คาร์ไบด์ที่พัฒนาขึ้นใหม่ E ผลการทดสอบพบว่า ลักษณะพื้นผิวชิ้นงานมีรอยเล็กน้อยเป็นเส้นโค้ง มีความราบเรียบมาก (Surface Roughness 8  $\mu\text{m}$ )

#### 4. อภิปรายผล (Discussion)

การตัดเฉือนชิ้นงานแบบกัดหยาบสำหรับงานปาดหน้า มุ่งเน้นปริมาตรการตัดหรืออัตราการตัดต่อเวลาเพิ่มขึ้นโดยการลดการถอดเปลี่ยนแผ่นมีดดังนั้นจึงขึ้นกับอายุการใช้งานที่มากขึ้นเป็นหลัก ผลจากการออกแบบแผ่นมีดโดยลดพื้นที่บริเวณผิวหลบของแผ่นมีดให้สัมผัสกับผิวชิ้นงาน (Work piece) น้อยลงแต่ยังคงความแข็งแรงเหมือนเดิมได้นั้น โดยการทำให้ผิวหลบมีลักษณะเป็นร่อง (Slot) แบบฟันปลา สอดคล้องกับการทำร่องฟันปลาเพื่อลดแรงเสียดทาน ซึ่งลักษณะของร่องเป็นสี่เหลี่ยมคางหมู ส่วนการออกแบบใหม่ของงานวิจัยนี้แตกต่างที่ร่อง (Slot) มีรัศมีโค้ง 0.77 มิลลิเมตร ตลอดความยาวร่อง 4.97 มิลลิเมตร ระยะห่าง (Pitch) 1.40 มิลลิเมตร ความสูง 0.30 มิลลิเมตร ร่องฟันปลาห่างจากคมตัด (Cutting edge) 2.70 มิลลิเมตร และรัศมีของร่องฟันปลา 10.49 มิลลิเมตร ลดผิวสัมผัสระหว่างแผ่นมีดและชิ้นงานลงร้อยละ 49.15

การวิจัยนี้จึงเป็นการพัฒนาต่อยอดที่มีความแตกต่างด้านการออกแบบร่องฟันปลา จากผลการทดลองการใช้งานของแผ่นมีดมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลเพิ่มขึ้น ประกอบด้วย การสั่นสะเทือนลดลง (Reduce of Vibration) พิจารณาได้จากการตรวจสอบความดังเสียงลดลง ร้อยละ 35 ขณะที่อายุการใช้งานเพิ่มขึ้น สาเหตุจากบริเวณคมตัดมีความร้อนลดลง

ดังนั้น ความร้อนที่ลดลงมีสาเหตุมาจากระบบสัมผัส (พื้นผิวสัมผัสน้อยลง การไหลและความร้อนของสารหล่อ

เย็น) น้อยลงและการไหล (Flow rate) ของ Coolant สะดวกมากกว่าแบบร่องสี่เหลี่ยม [12] จึงมี ผลต่อการเสียดทาน (Friction) บริเวณการตัดลดลง เป็นผลที่เกิดจากลักษณะของร่องที่มีรัศมีโค้ง ดังนั้น ทั้งการสัมผัสน้อยลง การไหลของสารหล่อเย็นไหลดีขึ้นและการเสียดทานความร้อนจะเกิดช้าหรือความร้อนน้อยลงที่มีความสัมพันธ์กับระดับเสียงลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

ความสัมพันธ์ดังกล่าวทำให้การตัดเฉือนมีประสิทธิภาพมากขึ้น อัตราการตัดเป็นไปตามเงื่อนไข (Condition) แต่อายุการใช้งานเพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากการออกแบบ การใช้เครื่องมือเฉพาะทาง (Special tool) ในการเจาะรูร่อง (Slot) จึงเป็นการวิจัยที่สามารถพัฒนาเครื่องมือตัดให้อายุการใช้งานยาวนานมากขึ้น อย่างไรก็ตามการวิจัยนี้เป็นการตัดเฉือนเหล็กกล้าชนิด S45C ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาระบบการตัดเฉือนที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่อไป

#### 5 สรุปผล (Conclusion)

ผลการวิจัยเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์แผ่นมีดซีเมนต์คาร์ไบด์ สำหรับงานกัด (milling) กรณีศึกษาแผ่นมีดรหัส SEKN1203AFTN โดยแผ่นมีดมาตรฐานใช้เวลาในการกัดอยู่ที่ 95 นาที ได้ระยะทางในการกัดผิวที่ 11.40 เมตร ความดังของเสียงที่เกิดจากการตัดเฉือนระหว่าง 95-104 เดซิเบล มีความแข็งแรงระหว่าง 88.5 - 91 HRA ผิวชิ้นงานมีความหยาบผิวอยู่ระหว่าง 18-24  $\mu\text{m}$  สรุปได้ว่าแผ่นมีดซีเมนต์คาร์ไบด์ที่พัฒนาขึ้นใหม่มีประสิทธิภาพมากกว่าแผ่นมีดมาตรฐานที่อายุการใช้งานเพิ่มขึ้น (Life Time) ร้อยละ 26.31 การสั่นสะเทือนลดลง (Vibration) จากผลการวิเคราะห์ความดังเสียงลดลง (Decibel) ร้อยละ 35 และชิ้นงานที่ผลิตมีความหยาบผิวลดลง (Surface Roughness) ร้อยละ 62.79 สามารถใช้งานได้มีประสิทธิภาพและลดการนำเข้าแผ่นมีดซีเมนต์คาร์ไบด์จากต่างประเทศที่มีราคาสูง เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาสู่อุตสาหกรรมอย่างยั่งยืนต่อไป

#### 6. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณ ดร.ปริญญา บุญกนิษฐ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ ที่ได้คำปรึกษาและแนะนำ การพัฒนาแผ่นมีดซีเมนต์ทั้งสแตนดาไบด์สำหรับการตัดปาดผิวหยาบในงานกัด



## 7. เอกสารอ้างอิง (Reference)

- [1] Sandvik Annual Report 2011
- [2] Wolf-W.Albrecht. 2008. “Hard Metal (WC-Co), retired Director of H.C. Starck,Germany, and November.”
- [3] U.S. Geological Survey, Reston, Virginia: 2016
- [4] Yuan et al., 2016; Liu et al., 2010; Hu et al., 2016
- [5] ดร.สุรศิษฐ์ โรจนนันต์.ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- [6] อภิชาติ และ อุษณีย์. 2554. การอบชุบทางความร้อนของโลหะ, หน่วยวิจัยการประยุกต์ใช้ความรู้ทางโลหะวิทยาสำหรับการขึ้นรูปโลหะ (IMIARU) สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- [7] จักรนรินทร์และคณะ. 2555. อิทธิพลของตัวแปรที่เหมาะสมในการกัดปาดผิวหน้าเหล็กแม่พิมพ์ เกรด S50C ด้วยมีดคาร์ไบด์, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 26, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.
- [8] เกษร หล่อบุญสม. 2554. อิทธิพลของตัวแปรในการกัดด้วยเม็ดมีดคาร์ไบด์เคลือบผิวไททานีี่ยมอลูมิเนียมไนไตรด์บนเหล็กหล่อสีขาว, วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการพัฒนางานอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- [9] อาหาร แสงทับทิม และ กรรณชัย กัลยาศิริ. 2557. การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรในการแล่นประสานที่มีต่อความต้านทานแรงเฉือนในรอยต่อระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ เกรด SS400 และทั้งสแตนคาร์ไบด์,สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [10] ดร.สุรศิษฐ์ โรจนนันต์.ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- [11] MITSUBISHI MATERIALS CORPORATION.  
Function of tool features for turning

## การอบแห้งแผ่นฟักทองญี่ปุ่นด้วยอากาศร้อนโดยใช้เทคนิคปรับลดระดับอุณหภูมิ Drying of Japanese Pumpkin Slices using Step-Down Convective Air Temperature

สุวิทย์ แพงกันยา<sup>1\*</sup>, กฤษณ์ อภิญญาวิศิษฐ์<sup>2</sup>, รริศรา อัมภาประเสริฐ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน, <sup>2</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนประชากรราษฎร์ 1 เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

[suwit.p@rmutp.ac.th](mailto:suwit.p@rmutp.ac.th)

<sup>3</sup> ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

126 ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

### บทคัดย่อ

การผลิตผงฟักทองญี่ปุ่นด้วยวิธีการอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิคงที่ตลอดทั้งกระบวนการอบแห้งมีข้อจำกัดคือไม่สามารถใช้ อุณหภูมิสูงได้ เนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานานส่งผลกระทบต่อคุณภาพของฟักทองอบแห้ง ทำให้ ผลผลิตเกิดความเสียหายได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการอบแห้งแผ่นฟักทองญี่ปุ่นด้วยอากาศ ร้อนโดยใช้เทคนิคปรับลดระดับอุณหภูมิ โดยพิจารณาจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งและคุณภาพสีของผงฟักทองญี่ปุ่น การทดลองดำเนินการโดยใช้ฟักทองญี่ปุ่นแผ่นหนา 1 มิลลิเมตร อบแห้งด้วยอากาศร้อนโดยใช้เทคนิคปรับลดระดับ อุณหภูมิในช่วง 65-90 °C เปรียบเทียบกับวิธีการอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิคงที่ 65 °C โดยอบแห้งตัวอย่าง จนกระทั่งเหลือความชื้นสุดท้ายไม่เกิน 4.0% ฐานแห้ง จากผลการทดลองพบว่า ทุกเงื่อนไขของวิธีการอบแห้งด้วย อากาศร้อนโดยใช้เทคนิคปรับลดระดับอุณหภูมิมิ้อัตราการอบแห้งสูงกว่าวิธีการอบแห้งด้วยอากาศร้อนโดยใช้อุณหภูมิ คงที่ ทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งสั้นกว่า ผงฟักทองญี่ปุ่นที่ผ่านการอบแห้งด้วยอากาศร้อนโดยใช้เทคนิคปรับลดระดับ อุณหภูมิที่เงื่อนไข 90 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตามด้วย 80 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตามด้วย 70 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และตามด้วย 65 °C มีค่าความสว่างของสีมากกว่า แต่มีค่าสีแดงและค่าสีเหลืองต่ำกว่าผงฟักทองญี่ปุ่นอบแห้งด้วย เงื่อนไขอื่น และงานวิจัยนี้เงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับผลิตผงฟักทองญี่ปุ่นคือการอบแห้งที่ 90 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตามด้วย 80 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตามด้วย 70 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และตามด้วย 65 °C

**คำสำคัญ:** การอบแห้งด้วยอากาศร้อน; จลนพลศาสตร์การอบแห้ง; เทคนิคการปรับลดระดับอุณหภูมิ; ผงฟักทองญี่ปุ่น

### Abstract

The production of Japanese pumpkin powder using constant temperature drying throughout the drying process is limited. Since high temperature for long drying time affect the quality of the dried pumpkin, the product will be damaged. Therefore, the objective of this research was to study the drying of Japanese pumpkin slices using step-down convective air temperature technique. The drying kinetic and the color quality of Japanese pumpkin powder were considered. The experiments were carried out using the sample slices of a 1 mm thickness and dried by step-down convective air temperature technique in the ranges of 65-90 °C compared with a convective air drying method at 65 °C. The final moisture content of sample is not more than 4.0% dry basis. The results showed that all cases of hot air drying using step-



down convective air temperature technique were higher than those of hot air drying at constant temperature, resulting in the short drying time. The Japanese pumpkin powder obtained from drying using step-down convective air temperature at 90 °C for 1 h followed by 80 °C for 1 h, followed by 70 °C for 1 h and followed by 65 °C provided higher lightness of color value, but lower in the redness and yellowness values than the other cases of dried Japanese pumpkin powder. For this research, the optimal conditions for producing Japanese pumpkin powder were drying at 90 °C for 1 h followed by 80 °C for 1 h, followed by 70 °C for 1 h and followed by 65 °C.

**Key words:** Convective air drying; Drying kinetic; Step-down hot air technique; Japanese pumpkin powder

## 1. บทนำ (Introduction)

ฟักทองญี่ปุ่นเป็นพืชที่นิยมปลูกมากทางภาคเหนือของประเทศไทย เนื่องจากมีสภาพภูมิอากาศที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโต โดยเฉพาะจังหวัดเชียงใหม่ถือเป็นพื้นที่ที่มีการเพาะปลูกฟักทองญี่ปุ่นที่มีคุณภาพและมีปริมาณมาก เนื่องจากมีการส่งเสริมผ่านทางศูนย์พัฒนาโครงการหลวงม่อนเงาะ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกษตรกรในท้องถิ่นมีรายได้พอกิน และได้บริโภคอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง เนื่องด้วยฟักทองญี่ปุ่นนั้นเป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรต โปรตีนคุณภาพที่มีกรดอะมิโนจำเป็น แร่ธาตุ และสารเบต้าแคโรทีนค่อนข้างสูง ซึ่งมีส่วนช่วยในการป้องกันโรคต่างๆ [1] ซึ่งทำให้ปัจจุบันฟักทองญี่ปุ่นเป็นที่ต้องการของท้องตลาดในธุรกิจอาหารสุขภาพเป็นอย่างมาก ในขณะที่เดี๋ยวนี้กระบวนการแปรรูปฟักทองก็ทำให้เกิดของเสียจากชิ้นส่วนของฟักทองที่ไม่ได้มาตรฐานหรือชิ้นส่วนที่ไม่เป็นที่ต้องการของลูกค้ายิ่งขึ้นด้วย เช่น เปลือก เมล็ด เนื้อติดเมล็ด และเนื้อฟักทองที่เหลือจากการตัดแต่ง เป็นต้น ซึ่งเป็นภาระด้านค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บและกำจัดของเสีย จากการสำรวจข้อมูลพบว่าในการผลิตฟักทองตัดแต่งมีของเสียเหลือทิ้งจากกระบวนการตัดแต่งสูงถึงร้อยละ 70 ซึ่งยังมีส่วนที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นอาหารได้อีกมากถึงร้อยละ 55 ด้วยเหตุนี้จึงเป็นที่มาของการวิจัยเพื่อนำของเสียเหล่านี้มาใช้ประโยชน์ให้มีมูลค่าเพิ่มมากขึ้น โดยมีแนวคิดที่จะออกแบบกระบวนการใช้ประโยชน์จากของเสียที่เหลือทิ้งจากกระบวนการตัดแต่งฟักทองญี่ปุ่น โดยศึกษากระบวนการอบแห้งที่เหมาะสมในการผลิตผงฟักทองญี่ปุ่น ทั้งนี้เพื่อนำผงฟักทองญี่ปุ่นที่ได้มาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารให้มีส่วนผสมจากฟักทองมากที่สุดและใช้วัตถุดิบที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น และคัดเลือกผลิตภัณฑ์อาหารที่สามารถบริโภคได้บ่อย เช่น เส้นพาสต้า ปราศจากกลูเตนจากฟักทองญี่ปุ่น เป็นต้น [2]

วิธีการอบแห้งผักและผลไม้โดยทั่วไปใช้อุณหภูมิในการอบแห้งค่อนข้างต่ำ (60-70 °C) และใช้อุณหภูมิคงที่ตลอดทั้ง

กระบวนการอบแห้ง เพื่อรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง แต่มีข้อเสียคือใช้เวลาในการอบแห้งนาน อย่างไรก็ตามหากใช้อุณหภูมิในการอบแห้งสูงเกินไปจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีคล้ำ ซึ่งไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค ดังนั้นวิธีการอบแห้งด้วยอากาศร้อนโดยใช้เทคนิคการปรับลดอุณหภูมิจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจสำหรับการผลิตผงฟักทองอบแห้งเพื่อสุขภาพที่มีไขมันต่ำ เนื่องจากการประยุกต์ใช้อุณหภูมิสูงในช่วงแรกของกระบวนการอบแห้งในขณะที่วัสดุยังมีความชื้นสูงอยู่ จากนั้นปรับลดระดับอุณหภูมิลงตามความเหมาะสมเพื่อป้องกันความเสียหายกับผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง โดยการอบแห้งด้วยวิธีนี้ช่วยลดระยะเวลาในการอบแห้งลงได้และสามารถรักษาคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งได้ [3-4] จากการทดลองเบื้องต้นพบว่ากระบวนการอบแห้งฟักทองญี่ปุ่นด้วยอากาศร้อนโดยใช้เทคนิคการปรับลดอุณหภูมิใช้เวลาในการอบแห้งลดลงร้อยละ 40 เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอบแห้งด้วยอากาศร้อนโดยใช้ระดับอุณหภูมิคงที่ โดยที่ยังรักษาคุณภาพด้านสีของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งได้

จากข้อดีของวิธีดังกล่าวข้างต้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการอบแห้งแผ่นฟักทองญี่ปุ่นด้วยอากาศร้อนโดยใช้เทคนิคปรับลดระดับอุณหภูมิเปรียบเทียบกับวิธีการอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิคงที่ โดยพิจารณาจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งและคุณภาพทางด้านสีของผลิตภัณฑ์ผงฟักทองญี่ปุ่นอบแห้ง

## 2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

### 2.1 วัตถุดิบ

นำฟักทองญี่ปุ่นที่ได้รับมาจากซูเปอร์มาร์เก็ตปอกเปลือกผ่าเอาเมล็ดและเนื้อส่วนที่ติดกับเมล็ดออก จากนั้นนำส่วนของเนื้อฟักทองญี่ปุ่นหั่นเป็นแผ่นบางที่มีความหนา 1 มิลลิเมตร โดยเนื้อฟักทองญี่ปุ่นที่ได้มีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 403.5-493.3% ฐานแห้ง จากนั้นนำแผ่นฟักทองญี่ปุ่นที่เตรียมไว้อบแห้งด้วยอากาศร้อนที่เงื่อนไขต่างๆ

จนกระทั่งตัวอย่างมีความชื้นสุดท้ายไม่เกิน 4.0% ฐานแห้ง  
สำหรับงานวิจัยนี้ในการอบแห้งแต่ละเงื่อนไขการทดลองใช้  
ตัวอย่างที่มีน้ำหนักประมาณ 150±1 กรัม

## 2.2 อุปกรณ์

ตู้อบลมร้อนแบบภาค (MEMMERT, รุ่น memmert-  
UNE/UFE, Germany) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการอบแห้ง  
ฟักทองญี่ปุ่น ดังแสดงในรูปที่ 1 ขนาดความจุของตู้อบลม  
ร้อนประมาณ 53 ลิตร สามารถดำเนินการอบแห้งได้ครั้งละ 4  
ภาค และปรับตั้งอุณหภูมิอากาศร้อนได้ในช่วง 40 °C-250  
°C ซึ่งมีค่าความถูกต้อง ±0.5 °C มีระบบถ่ายเทอากาศ  
Ventilation ภายในห้องตู้อบลมร้อน และการควบคุมเป็น  
แบบ LED (Digital Display)



ภาพที่ 1 ลักษณะของตู้อบลมร้อนแบบภาค

## 2.3 การหาความชื้นของฟักทองญี่ปุ่น

การหาความชื้นเริ่มต้นและความชื้นสุดท้ายของฟักทอง  
ญี่ปุ่นดำเนินการโดยนำตัวอย่างมาหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ หรือบด  
ให้ละเอียดประมาณ 5-8 กรัม และนำเข้าสู่ตู้อบลมร้อนที่  
อุณหภูมิ 103 °C (MEMMERT, รุ่น memmert-UNE/UFE,  
Germany) เป็นเวลา 3 ชั่วโมง [5] ซึ่งวิธีดังกล่าวสามารถ  
เปรียบเทียบได้กับวิธีมาตรฐาน AOAC [6] โดยมีความ  
คลาดเคลื่อนไม่เกิน 5%

สำหรับอัตราส่วนความชื้นของแผ่นฟักทองญี่ปุ่น  
(Moisture ratio; MR) สามารถหาได้จากสมการ (1)

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_o - M_e} \quad (1)$$

เมื่อ

$M_t$  คือ ความชื้นของฟักทองญี่ปุ่นในขณะอบแห้งที่  
เวลาใดๆ, kg/kg (ฐานแห้ง)

$M_o$  คือ ความชื้นเริ่มต้นของฟักทองญี่ปุ่น, kg/kg (ฐาน  
แห้ง)

$M_e$  คือ ความชื้นสมดุลของแผ่นฟักทองญี่ปุ่น, kg/kg  
(ฐานแห้ง)

อัตราการอบแห้งของฟักทองญี่ปุ่นอบแห้ง (Drying rate;  
DR) สามารถหาได้จากสมการ (2)

$$DR = -\frac{dM_t}{dt} \quad (2)$$

เมื่อ

DR คือ อัตราการอบแห้งแผ่นฟักทองญี่ปุ่น, kg  
water/kg dry matter s

t คือ เวลาในการอบแห้ง, s

## 2.4 วิธีการทดลอง

วิธีการทดลองอบแห้งแผ่นฟักทองญี่ปุ่นด้วยอากาศร้อน  
โดยใช้เทคนิคปรับระดับอุณหภูมิดำเนินการด้วยการเปิด  
ตู้อบลมร้อนแบบภาคจนกระทั่งได้อุณหภูมิของอากาศได้ตาม  
เงื่อนไขที่กำหนด จากนั้นนำแผ่นฟักทองญี่ปุ่นที่เตรียมไว้วาง  
เรียงบนถาดสแตนเลส ขนาด 30x30 cm<sup>2</sup> ให้ได้น้ำหนัก  
ตามที่กำหนด จากนั้นนำถาดที่เตรียมตัวอย่างไว้แล้วเข้าสู่ตู้อบลม  
ร้อน โดยการอบแห้งแผ่นฟักทองญี่ปุ่นอากาศลมร้อนโดย  
ใช้เทคนิคปรับระดับอุณหภูมิดำเนินการที่อุณหภูมิอากาศ  
ร้อนในช่วง 65-90 °C โดยอบแห้งจนกระทั่งตัวอย่างเหลือ  
ความชื้นสุดท้ายไม่เกิน 4.0% ฐานแห้ง สำหรับวิธีการอบแห้ง  
ในแต่ละเงื่อนไขทดลองแสดงในตารางที่ 1 สำหรับการ  
เปลี่ยนแปลงความชื้นของตัวอย่างในขณะอบแห้งสามารถหา  
ได้จากโดยการนำถาดบรรจุตัวอย่างออกมาชั่งน้ำหนักทุกๆ  
30 นาที ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล (Sartorius,  
model CP3202S, Germany) มีความถูกต้อง ± 0.01 กรัม  
โดยการทดลองแต่ละเงื่อนไขดำเนินการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง  
และค่าเฉลี่ยที่ได้นำมารายงานผล

### ตารางที่ 1 วิธีการอบแห้งแผ่นฟักทองญี่ปุ่น

วิธีการอบแห้ง	ความหมาย
HA65	การอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 65 °C
HA90_1h/HA80_1h/HA70	การอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตามด้วย 80 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตามด้วย 70 °C
HA90_1h/ HA80_1h/HA70_1h/HA65	การอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตามด้วย 80 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตามด้วย 70 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และตามด้วย 65 °C
HA90_1.5h/HA70	การอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง และตามด้วย 70 °C

HA90_1.5h/HA8 0_1.5h/HA65	การอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง ตามด้วย 80 °C เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง และตามด้วย 65 °C
------------------------------	--

## 2.5 การทดสอบคุณภาพด้านสี

การวัดสีของฟักทองญี่ปุ่นอบแห้งในงานวิจัยนี้นำตัวอย่างมาบดให้ละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 60 เมช ก่อนแล้วจึงนำไปวัดค่าสีด้วยเครื่อง Colorimeter (HunterLab, ColorFlex, UK) ด้วยระบบการวัดสีแบบ CIE โดยวัดค่าเป็นแบบ L, a และ b ซึ่งค่า L คือ ความสว่างของวัตถุ (0 ดำ, 100 ขาว) a คือ ค่าสีแดง/เขียว (+ แดง, - เขียว) และค่า b คือ ค่าสีเหลือง/น้ำเงิน (+ เหลือง, - น้ำเงิน) อย่างไรก็ตามก่อนเริ่มต้นวัดสีของตัวอย่างต้องสอบเทียบเครื่อง Colorimeter กับแผ่นสีมาตรฐานทั้งแผ่นสีดำและแผ่นสีขาวก่อนการทดลองทุกครั้ง ในงานวิจัยนี้ทำการทดสอบวัดสีของฟักทองญี่ปุ่นผงซ้ำ 3 ครั้ง ในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง และค่าเฉลี่ยที่ได้นำมารายงานผล

## 2.6 การวิเคราะห์ทางสถิติ

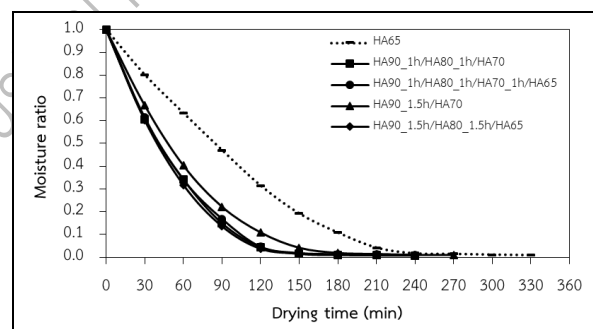
การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติสำหรับงานวิจัยนี้พิจารณาจากข้อมูลค่าสีของผงฟักทองญี่ปุ่น โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's New Multiple range test ด้วยโปรแกรม SPSS โดยข้อมูลจากการทดลองที่ได้นำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อพิจารณาความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

## 3. ผลการวิจัย

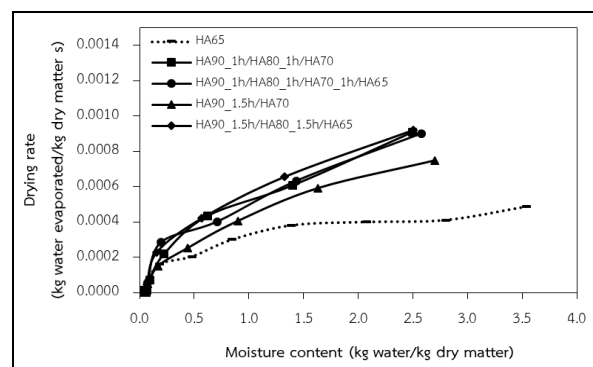
### 3.1 จลนพลศาสตร์ของการอบแห้งแผ่นฟักทองญี่ปุ่น

การศึกษาจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งแผ่นฟักทองญี่ปุ่น ในงานวิจัยนี้เนื้อฟักทองญี่ปุ่นมีความชื้นเริ่มต้นอยู่ในระหว่าง 405.2-441.9% ฐานแห้ง โดยดำเนินการอบแห้งด้วยอากาศร้อนโดยใช้เทคนิคปรับลดระดับอุณหภูมิและอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิคงที่จนวัสดุมีความชื้นสุดท้ายไม่เกิน 4% ฐานแห้ง จลนพลศาสตร์ของการอบแห้งแผ่นฟักทองญี่ปุ่นด้วยอากาศร้อนโดยใช้เทคนิคปรับลดระดับอุณหภูมิที่เงื่อนไขการอบแห้งต่างๆ เปรียบเทียบกับการอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิคงที่ที่แสดงในภาพที่ 2 จากผลการทดลองพบว่า การอบแห้งแผ่นฟักทองญี่ปุ่นด้วยอากาศร้อนโดยใช้เทคนิคปรับลดระดับอุณหภูมิที่เงื่อนไข 90 °C เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง ตามด้วย 80 °C เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง และตามด้วย 65 °C, เงื่อนไข 90 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตามด้วย 80 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตามด้วย 70 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และตามด้วย 65 °C และเงื่อนไข 90 °C

เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตามด้วย 80 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตามด้วย 70 °C มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นไม่แตกต่างกัน ทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งเท่ากัน คือ 240 นาที แต่มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นมากกว่ากรณีการอบแห้งด้วยอากาศร้อนโดยใช้เทคนิคปรับลดระดับอุณหภูมิที่เงื่อนไข 90 °C เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง และตามด้วย 70 °C และการอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิคงที่ 65 °C ตามลำดับ เนื่องจากการใช้อากาศอบแห้งที่มีอุณหภูมิสูงในช่วงที่แรก และช่วงที่สองของกระบวนการอบแห้งเป็นเวลานาน ช่วยเร่งให้ความชื้นที่อยู่ภายในวัสดุแพร่ออกจากวัสดุอย่างรวดเร็วกว่า [4] ซึ่งช่วยเพิ่มอัตราการถ่ายเทมวลของวัสดุให้สูงขึ้น ส่งผลให้อัตราการอบแห้งสูงขึ้นดังแสดงในภาพที่ 3 จึงทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งสั้นกว่า อย่างไรก็ตามวิธีการอบแห้งด้วยอากาศร้อนโดยใช้อุณหภูมิคงที่ 65 °C พบว่า มีการใช้เวลาในการอบแห้งนานที่สุดคือใช้เวลาประมาณ 330 นาที เนื่องจากการใช้อุณหภูมิในการอบแห้งคงที่และต่ำกว่ากรณีอื่น ซึ่งทำให้อุณหภูมิของวัสดุต่ำกว่า ส่งผลให้ความชื้นภายในวัสดุค่อยๆ แพร่ออกมาอย่างช้าๆ



ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นของฟักทองญี่ปุ่นในขณะอบแห้งด้วยอากาศร้อนโดยใช้เทคนิคปรับลดระดับอุณหภูมิที่เงื่อนไขต่างๆ



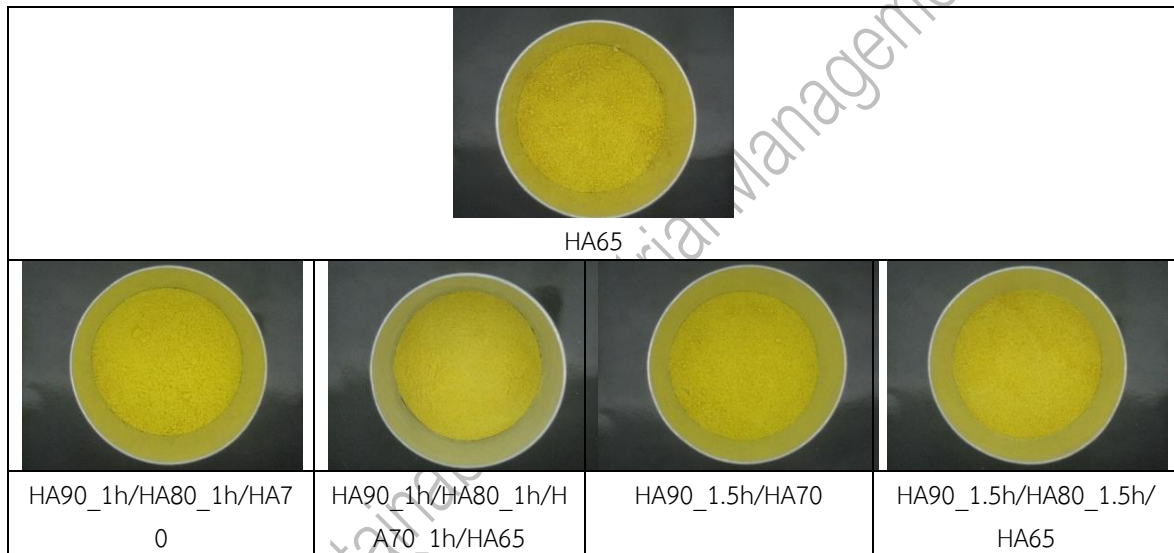
ภาพที่ 3 การเปลี่ยนแปลงอัตราการอบแห้งของแผ่นฟักทองญี่ปุ่นในขณะอบแห้งด้วยอากาศร้อนโดยใช้เงื่อนไขการ

อบแห้งแบบต่างๆ

### 3.2 สีของผงฟักทองญี่ปุ่นอบแห้ง

ลักษณะสีของผงฟักทองญี่ปุ่นและค่าสีของผงฟักทองญี่ปุ่นที่ผ่านการอบแห้งด้วยอากาศร้อนโดยใช้เทคนิคปรับลดระดับอุณหภูมิภายใต้เงื่อนไขการทดลองแบบต่างๆ แสดงในภาพที่ 4 และตารางที่ 1 ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าผงฟักทองญี่ปุ่นผงที่ผ่านการอบแห้งด้วยลมร้อนโดยใช้เทคนิคปรับลดระดับอุณหภูมิที่ 90 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตามด้วย 80 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตามด้วย 70 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และตามด้วย 65 °C มีค่าความสว่างของสี (L) มากกว่า แต่มีค่าสีแดง (+a) และค่าสีเหลือง (+b) ต่ำกว่าผง

ฟักทองญี่ปุ่นที่ผ่านการอบแห้งด้วยเงื่อนไขอื่น เนื่องจากการอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่เงื่อนไขดังกล่าว วัสดุได้รับอุณหภูมิอบแห้งในช่วงแรกและช่วงที่สองเป็นเวลาสั้น ซึ่งอาจจะทำให้อุณหภูมิของวัสดุอบแห้งต่ำกว่า จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่มีเอนไซม์มาเกี่ยวข้องน้อยกว่า [5] ในขณะที่ผงฟักทองญี่ปุ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิคงที่ 65 °C มีค่าความสว่างของสี (L) ต่ำกว่า แต่มีค่าสีแดง (+a) และค่าสีเหลือง (+b) สูงกว่าผงฟักทองญี่ปุ่นที่ผ่านการอบแห้งด้วยเงื่อนไขอื่น เนื่องจากการอบแห้งด้วยวิธีการดังกล่าวใช้เวลาในการอบแห้งนาน ทำให้ตัวอย่างอบแห้งสัมผัสกับอากาศร้อนเป็นเวลานาน ส่งผลให้ฟักทองญี่ปุ่นอบแห้งมีสีคล้ำกว่ากรณีอื่น



ภาพที่ 4 ลักษณะสีของผงฟักทองญี่ปุ่นอบแห้งด้วยอากาศร้อนโดยใช้เงื่อนไขการอบแห้งแบบต่างๆ

ตารางที่ 1 ค่าสีของผงฟักทองญี่ปุ่นอบแห้งด้วยอากาศร้อนโดยใช้เทคนิคปรับลดระดับอุณหภูมิที่เงื่อนไขการทดลองต่างๆ

วิธีการอบแห้ง	L	a	b	เวลาอบแห้ง (นาที)
HA65	74.80±0.21 <sup>a</sup>	9.85±0.34 <sup>c</sup>	49.40±0.27 <sup>d</sup>	330
HA90_1h/HA80_1h/HA70	76.82±0.59 <sup>c</sup>	9.33±0.02 <sup>b</sup>	40.29±0.40 <sup>a</sup>	240
HA90_1h/HA80_1h/HA70_1h/HA65	77.43±0.09 <sup>d</sup>	7.44±0.29 <sup>a</sup>	39.74±0.65 <sup>a</sup>	240
HA90_1.5h/HA70	77.32±0.17 <sup>d</sup>	9.15±0.05 <sup>b</sup>	44.87±0.37 <sup>c</sup>	270
HA90_1.5h/HA80_1.5h/HA65	76.10±0.06 <sup>b</sup>	9.33±0.19 <sup>b</sup>	41.92±0.33 <sup>b</sup>	240

\* ตัวอักษรยกที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันแตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



#### 4. สรุปผล

การศึกษาผลของเงื่อนไขการอบแห้งที่มีต่อ  
จลนพลศาสตร์ของการอบแห้งและคุณภาพสีของผงฟักทอง  
ญี่ปุ่นที่ผ่านการอบแห้งแผ่นฟักทองญี่ปุ่นด้วยอากาศร้อนโดย  
ใช้เทคนิคปรับลดระดับอุณหภูมิเปรียบเทียบกับการอบแห้ง  
ด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิคงที่ พบว่า วิธีการอบแห้งด้วย  
อากาศร้อนโดยใช้เทคนิคปรับลดระดับอุณหภูมิทุกเงื่อนไข  
การทดลองมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าวิธีการอบแห้งด้วย  
อากาศร้อนโดยใช้อุณหภูมิคงที่ การอบแห้งฟักทองญี่ปุ่นด้วย  
อากาศร้อนโดยใช้เทคนิคปรับลดระดับอุณหภูมิที่เงื่อนไข 90  
°C เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง ตามด้วย 80 °C เป็นเวลา 1.5  
ชั่วโมง และตามด้วย 65 °C, เงื่อนไข 90 °C เป็นเวลา 1  
ชั่วโมง ตามด้วย 80 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตามด้วย 70 °C  
เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และตามด้วย 65 °C และเงื่อนไข 90 °C  
เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตามด้วย 80 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตาม  
ด้วย 70 °C มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นมากกว่า  
กรณีการอบแห้งด้วยอากาศร้อนโดยใช้เทคนิคปรับลดระดับ  
อุณหภูมิที่เงื่อนไข 90 °C เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง และตามด้วย  
70 °C ส่งผลให้ใช้เวลาในการอบแห้งสั้นกว่า ในขณะที่แผ่น  
ฟักทองญี่ปุ่นอบแห้งด้วยอากาศร้อนโดยใช้เทคนิคปรับลด  
ระดับอุณหภูมิที่ 90 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตามด้วย 80 °C  
เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตามด้วย 70 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และ  
ตามด้วย 65 °C มีค่าความสว่างของสีมากกว่า แต่มีค่าสีแดง  
และค่าสีเหลืองมากกว่าผงฟักทองญี่ปุ่นอบแห้งที่เงื่อนไขอื่น

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณโครงการ Innovation Hub-  
Agriculture & Food เพื่อสร้างเศรษฐกิจฐานนวัตกรรมของ  
ประเทศตามนโยบายประเทศไทย 4.0 (สัญญาเลขที่  
083/2560) ที่สนับสนุนทุนวิจัย และขอขอบคุณ  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครและมหาวิทยาลัย  
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือ  
และสถานที่ในการทำวิจัย

#### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] สุวิทย์ แพงกันยา และรริศรา อิมภาประเสริฐ,  
“การศึกษาผลของอุณหภูมิมร้อนที่มีต่อจลนพลศาสตร์  
ของการอบแห้งและคุณภาพสีของฟักทองญี่ปุ่นผง”, การ  
ประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พ  
ระนคร ครั้งที่ 3 , หน้า 300-303, 2561.
- [2] S. Paengkanya, P. Jumnonphan, and R.  
Impaprasert, “Effects of Drying Temperatures  
and Pretreatment Conditions on the Drying

Kinetic and Color Quality of Japanese Pumpkin  
Powder obtained from Hot Air Drying”, 10<sup>th</sup>  
International Conference on Sciences,  
Technology and Innovation for Sustainable  
Well-Being (STISWB 2018) Vientiane, Lao PDR.  
July 11th -13th, pp.65-69, 2018.

- [3] สุวิทย์ แพงกันยา, อติศักดิ์ นาดกรณกุล และสมชาติ  
โสภณธฤทธิ, “การอบแห้งทุเรียนแผ่นด้วยไมโครเวฟ  
ร่วมกับลมร้อนโดยใช้เทคนิคการปรับลดระดับกำลัง  
ไมโครเวฟ”, วารสารวิทยาศาสตร์ มช. ฉบับบัณฑิตศึกษา  
ปีที่ 16 ฉบับที่ 3, เดือนกรกฎาคม-กันยายน 2559, หน้า  
102-111, 2559.
- [4] สิทธิชัย ศรีไทย, สุวิทย์ แพงกันยา, อติศักดิ์ นาดกรณกุล  
และสมชาติ โสภณธฤทธิ, “การผลิตมะม่วงอบแห้งโดย  
ปราศจากการเติมสารละลายน้ำตาลโดยวิธีการอบแห้ง  
ด้วยลมร้อนแบบใช้เทคนิคปรับลดระดับอุณหภูมิ”, การ  
ประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่  
13 ระหว่างวันที่ 31 พฤษภาคม-2 มิถุนายน 2560 ณ  
โรงแรม ดีเอ็มเพรส จังหวัดเชียงใหม่, หน้า 607-613,  
2560.
- [5] S. Prachayawarakorn, C. Raikham, and S.  
Soponronnarit, “Effects of ripening stage and  
steaming time on quality attributes of fat free  
banana snack obtained from drying process  
including fluidized bed puffin”, Journal of Food  
Science and Technology, Vol. 53, pp. 946-955,  
2016.
- [6] Association of Official Analytical Chemists  
Official Methods of Analysis of the AOAC  
International, 16<sup>th</sup> ed., Gaithersburg, MD., 1995.



## ผลของการใช้เนื้อฟักทองญี่ปุ่นต่อสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมเพื่อสุขภาพ Effects of Japanese Pumpkin Flesh on Physical Properties of Healthy Ice Cream

ปฐมพนธ์ สุวรรณมงคล<sup>1</sup>, สุวิทย์ แพงกันยา<sup>2</sup>, รริศรา อัมภาประเสริฐ<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

126 ถนนประชาธิปไตย แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

[rarisara.imp@mail.kmutt.ac.th](mailto:rarisara.imp@mail.kmutt.ac.th)

<sup>2</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการนำเศษเหลือทิ้งของฟักทองญี่ปุ่นจากโรงงานแปรรูปฟักทองญี่ปุ่นตัดแต่งมาใช้เพื่อพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ไอศกรีมไขมันต่ำ โดยศึกษาผลของปริมาณเนื้อฟักทองญี่ปุ่นต่อคุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ สี ความหนืด ความแข็ง อัตราการละลาย อัตราการขึ้นฟู (%Overrun) และประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมที่มีการเติมเนื้อฟักทองญี่ปุ่นในปริมาณร้อยละ 30 35 และ 40 ผลทดสอบพบว่าเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณฟักทองส่งผลให้คุณภาพทางกายภาพในด้าน สี ความหนืด ความแข็ง อัตราการละลาย และ %Overrun มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ซึ่งการใช้เนื้อฟักทองญี่ปุ่นร้อยละ 40 ได้รับความพึงพอใจมากที่สุดในด้านลักษณะปรากฏและเนื้อสัมผัส

**คำสำคัญ:** ฟักทองญี่ปุ่น; ไอศกรีม; ไขมันต่ำ; อัตราการขึ้นฟู

### Abstract

This research aims to use wastes from Japanese pumpkin trimming process for development of low fat ice cream product. Effects of Japanese pumpkin flesh content (30, 35, and 40%) on physical properties of low fat ice cream was studied in term of color, viscosity, hardness, melting rate and %overrun including sensory evaluation were studied. The result indicated that the physical properties in term of color, viscosity, hardness, melting rate and %overrun was significantly increased ( $p \leq 0.05$ ) when increasing Japanese pumpkin flesh content. Using 40% of Japanese pumpkin flesh has been accepted from most of the taste panel in terms of appearance and texture properties.

**Key words:** Japanese pumpkin; Ice cream; Low fat; Overrun

## 1. บทนำ (Introduction)

ปัญหาที่มักพบในอุตสาหกรรมอาหารแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรคือ การเกิดเศษเหลือทิ้งจากกระบวนการตัดแต่งเพื่อคัดคุณภาพและเพื่อให้เหมาะสมกับกระบวนการผลิตและบรรจุ ทำให้เกิดของเสียและเพิ่มค่าใช้จ่ายในการกำจัดหนึ่งในของเสียจากกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่น่าสนใจคือ ฟักทองญี่ปุ่น ซึ่งพบว่ามีเศษที่เหลือทิ้งจากการกระบวนการตัดแต่งมากถึงร้อยละ 50 ซึ่งมีตำหนิหรือมีรูปร่างไม่สม่ำเสมอแต่ยังมีคุณค่าทางโภชนาการครบถ้วน โดยเป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรต active proteins, กรดอะมิโนจำเป็น แร่ธาตุ เช่น ฟอสฟอรัส แคลเซียม และมีสารเบต้าแคโรทีน ค่อนข้างสูง ช่วยป้องกันโรคมะเร็ง เมล็ดฟักทองช่วยป้องกันไม่ให้ต่อมลูกหมากโต ป้องกันและรักษาโรคหัวใจ ป้องกันโรคเบาหวาน โรคความดันโลหิตสูง [1] ฟักทองมีปริมาณเบต้าแคโรทีน ( $\beta$ -carotene) อยู่ระหว่าง 3.3 ถึง 7.6 mg/100 g น้ำหนักสด ปริมาณเบต้าแคโรทีนเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของฟักทอง [2] ซึ่งเบต้าแคโรทีนสัมพันธ์กับการลดโอกาสในการเกิดโรคในคน นอกจากนี้การบริโภคฟักทอง พบว่าสามารถกระตุ้นการหลั่งอินซูลิน ซึ่งช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด ป้องกันโรคความดันโลหิต บำรุงตับ ไต นัยน์ตา และช่วยสร้างเซลล์ใหม่ทดแทนเซลล์เก่าที่ตายไปให้ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ [3] จึงเกิดเป็นแนวคิดที่จะนำของเสียที่เกิดขึ้นนี้มาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถสร้างรายได้เพิ่มเติมให้กับเกษตรกรผู้ปลูกฟักทองญี่ปุ่น

ไอศกรีมเป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์ที่มีความหลากหลายอย่างมาก มีการปรับปรุงและพัฒนาสูตรอย่างต่อเนื่อง ไม่ว่าจะเป็น สี กลิ่น รส เนื้อสัมผัส และรวมไปถึงวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต เพื่อให้เข้ากับยุคสมัยและตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภค อย่างไรก็ตามองค์ประกอบหลักของไอศกรีมมักเป็นครีม นมสด นมผง น้ำมัน เนย หรือกะทิ ซึ่งมีคุณสมบัติทำให้ไอศกรีมมีเนื้อนุ่มและมีเนื้อสัมผัสที่ดี อ่อนตัวเมื่ออยู่ในปาก เพิ่มความมัน และเพิ่มกลิ่นรสที่ดีขึ้น แต่ในขณะเดียวกันยังส่งผลให้มีปริมาณไขมันในร่างกายเพิ่มขึ้นและอาจมีผลกระทบต่อสุขภาพของผู้บริโภคได้ ดังนั้นเพื่อให้สามารถรับประทานไอศกรีมได้อย่างสบายใจมากขึ้น รวมทั้งลดความเสี่ยงจากการเกิดโรคหัวใจ โรคอ้วน และความดันโลหิตสูง การปรับปรุงสูตรไอศกรีมให้มีปริมาณไขมันต่ำลงแต่ยังคงคุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัสไว้ได้จึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก อย่างไรก็ตาม [4] พบว่าการลดปริมาณไขมันต่ำกว่า 4% ในโครงสร้างของไอศกรีม อาจส่งผลต่อคุณภาพด้านลักษณะปรากฏหรือเนื้อสัมผัสของไอศกรีมได้ ดังนั้นจึงต้องมีการหาสารที่มีคุณสมบัติ หรือมีการสังเคราะห์สารที่มี

ความคล้ายคลึงกับไขมันมาใส่ทดแทนลงไป เช่น 1) สารในกลุ่มคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate based fat replacer) ที่เป็นสารให้ความหนืด (Thickener) และสารให้ความคงตัว (Stabilizer) ได้แก่ เซลลูโลส (Cellulose) มอลโตเดกซ์ทริน (Maltodextrin) กัม (Gum) อินนูลิน (Inulin) และแป้งดัดแปร (Modified-Starch) เหมาะสำหรับอาหารที่ต้องผ่านการให้ความร้อน แต่ไม่เหมาะกับอาหารที่ต้องนำไปทอด 2) สารในกลุ่มโปรตีน (Protein – based fat replacer) ได้แก่ โปรตีนหางนม (Whey protein) โปรตีนนม (Milk protein) และโปรตีนจากไข่ (Egg protein) เหมาะกับอาหารแช่แข็งและอาหารแช่เย็น รวมไปถึงผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ (Pasteurization) แต่ไม่เหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่ต้องนำไปทอด และ 3) สารในกลุ่มไขมันดัดแปลงที่ให้พลังงานต่ำและไม่ถูกย่อยโดยเอนไซม์ในร่างกาย เช่น Olestra , Caprenin, น้ำมันพืช, Salatrim, Dialkyl Dihexadecylmalonate (DDM), Esterified Propoxylated Glycerol (EPG), Sorbestrin และ Trialkoxytricyclate (TATCA) เป็นต้น เหมาะกับผลิตภัณฑ์อาหารทอดและสามารถทดแทนเนยโกโก้ได้ ปัจจุบันมีงานวิจัยที่ใช้สารทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์ไอศกรีม ได้แก่ อินนูลิน [5] แป้งข้าวบาร์เลย์ เบต้ากลูแคนที่สกัดได้จากแป้งข้าวบาร์เลย์ และคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) [6] 42 Dextrose Equivalent corn syrup และเส้นใยจากฝรั่ง [7] ซึ่งพบว่าการใช้ทดแทนไขมันได้และส่งผลกระทบต่อลักษณะทางกายภาพของไอศกรีม อย่างไรก็ตามยังไม่พบงานวิจัยที่นำฟักทองญี่ปุ่นมาใช้ทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์ไอศกรีม

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของปริมาณเนื้อฟักทองญี่ปุ่นต่อคุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ สี ความหนืด ความแข็ง อัตราการละลาย อัตราการขึ้นฟู (% Overrun) และประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมที่มีการเติมเนื้อฟักทอง

## 2. วิธีการดำเนินงานวิจัย (Research Methodology)

### 2.1 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของฟักทองญี่ปุ่นในการผลิตไอศกรีม

ทำการเตรียมส่วนผสมของไอศกรีมตามสูตรในตารางที่ 1 สำหรับเนื้อฟักทองญี่ปุ่นที่ได้จากศูนย์พัฒนาโครงการหลวงม่อนเงาะ บ้านม่อนเงาะ ตำบลเมืองเก่า อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ นำมานึ่งให้สุกและควั่นเฉพาะเนื้อสีเหลืองมาใช้ในการทดลอง จากนั้นนำมาผสมรวมกันและนำเข้าเครื่องปั่นเพื่อทำให้ส่วนผสมรวมเป็นเนื้อเดียวกัน นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 วินาที

ทำให้เย็นทันทีจนกระทั่งส่วนผสมมีอุณหภูมิลดลงเหลือ 10 องศาเซลเซียส นำไปปั่นด้วยเครื่องปั่นที่อุณหภูมิต่ำกว่า -2.2 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 นาที จากนั้นจึงตักใส่ภาชนะแล้วนำไปแช่ที่ช่องแช่แข็งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนการทดสอบ

สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส การละลาย และความชอบรวม โดยใช้แบบสอบถามกับผู้บริโภคทั่วไปจำนวน 36 คน เพื่อหาค่าคะแนนความชอบเฉลี่ย จากปัจจัยคุณภาพที่กำหนดในการทดสอบ

ตารางที่ 1 ส่วนผสมของไอศกรีมที่ใช้ในการทดสอบ

Ingredient	Control	30% Pumpkin	35% Pumpkin	40% Pumpkin
Low fat milk	46.65	42.32	36.78	31.52
Whipping cream	32.50	11.11	11.11	11.11
Skim milk powder	5.20	8.35	8.88	9.14
Sugar	12.00	8.0	8.0	8.0
Guar gum	0.65	0.22	0.22	0.22
Pumpkin flesh	-	30	35	40
total	100	100	100	100

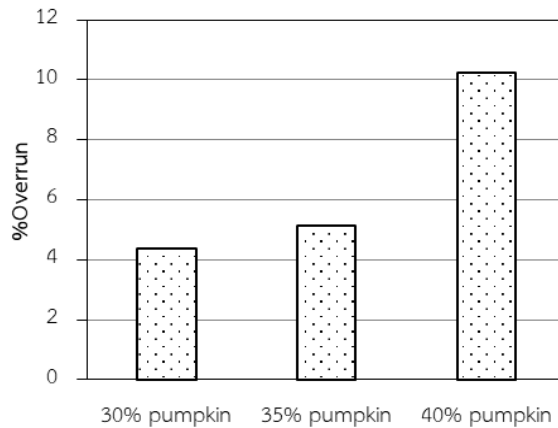
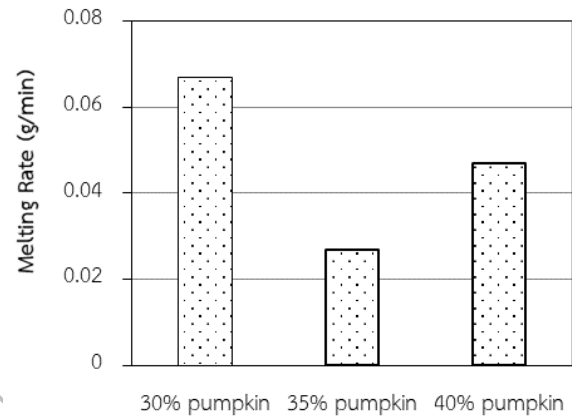
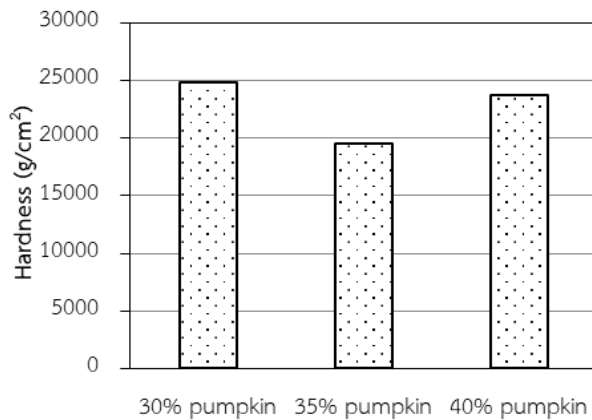
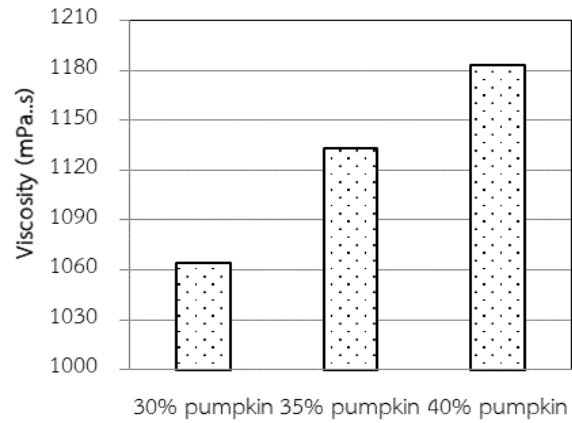
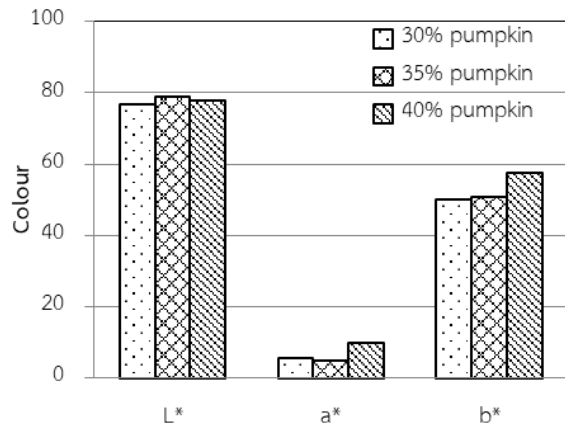
ศึกษาคุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ไอศกรีม ได้แก่ สี (Hunter Lab, ColourQuest XE) ความหนืด (Brookfield Rotational Viscometer, Atago) ความแข็ง (Texture Analyzer, TA.XT-plus, Stable Micro System, UK) อัตราการละลาย (ดัดแปลงจากวิธีของ Rosalina et al. [8] และอัตราการขึ้นฟู (ดัดแปลงจากวิธีของ Arbuckle [9]) ทำการทดสอบ 3 ซ้ำ ทุกการทดลอง คำนวณค่าอัตราการขึ้นฟูโดยใช้สมการที่ (1)

$$\text{อัตราการขึ้นฟู (\% Overrun)} = \frac{(\text{น้ำหนักไอศกรีมเหลว} - \text{น้ำหนักไอศกรีม})}{\text{น้ำหนักไอศกรีม}} \times 100 \quad (1)$$

ประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ด้วยวิธีการทดสอบแบบให้คะแนนความชอบตั้งแต่ 1 ถึง 5 คะแนน (5-Point Hedonic Scale) ในด้านลักษณะปรากฏ

### 3. ผลการวิจัย (Results)

จากผลการทดลองในภาพที่ 1 พบว่าเมื่อมีการเพิ่มปริมาณฟักทองในส่วนผสม ส่งผลให้ค่า  $L^*$   $a^*$   $b^*$  เพิ่มขึ้น นอกจากนี้เมื่อนำไอศกรีมทั้ง 3 สูตรไปทำการวัดค่าความหนืดโดยใช้หัวทดสอบ L3 ที่ความเร็วรอบ 100 rpm พบว่าตัวอย่างไอศกรีมมีความหนืดเพิ่มมากขึ้น โดยความหนืดจะเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณฟักทองที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการที่ฟักทองมีใยอาหารสูง ดังนั้นการเพิ่มปริมาณฟักทองซึ่งมีปริมาณใยอาหาร จึงส่งผลให้ความหนืดเพิ่มสูงขึ้น โดยจะไปช่วยในการดูดซับน้ำส่งผลให้เกิดความหนืดของไอศกรีมที่มากขึ้น ในขณะที่เดียวกันการเพิ่มปริมาณฟักทองถือเป็นการเพิ่มปริมาณของแข็งให้กับผลิตภัณฑ์ส่งผลให้ไอศกรีมมีเนื้อมากขึ้น จึงมีผลต่อค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ และยังส่งผลต่อค่าการละลายโดยมีแนวโน้มที่ทำให้การละลายของผลิตภัณฑ์ช้าลง เมื่อเพิ่มปริมาณเนื้อฟักทอง จากการวิเคราะห์ปริมาณอัตราการขึ้นฟู (% Overrun) ในตัวอย่างไอศกรีมพบว่า เมื่อมีการเพิ่มปริมาณเนื้อฟักทองลงไป จะส่งผลให้อัตราการขึ้นฟูเพิ่มมากขึ้นซึ่งหมายถึงการที่ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสที่โปร่งมีการเก็บกักอากาศได้ดี ทั้งนี้ปัจจัยที่ทำให้ค่าอัตราการขึ้นฟูเพิ่มขึ้น หนึ่งในนั้นมาจากปริมาณฟักทองที่เพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณของแข็งมีมากขึ้น ส่งผลให้ไอศกรีมมีเนื้อที่แน่นขึ้น จึงทำให้อากาศสามารถแทรกเข้ามาในเนื้อไอศกรีมได้มากขึ้นเช่นกัน นอกจากนี้ปริมาณไขมันในไอศกรีมยังเป็นส่วนประกอบที่สำคัญ เนื่องจากเม็ดไขมัน (Fat globule) จะที่ช่วยในการทอหุ้มและเก็บกักฟองอากาศไว้ได้

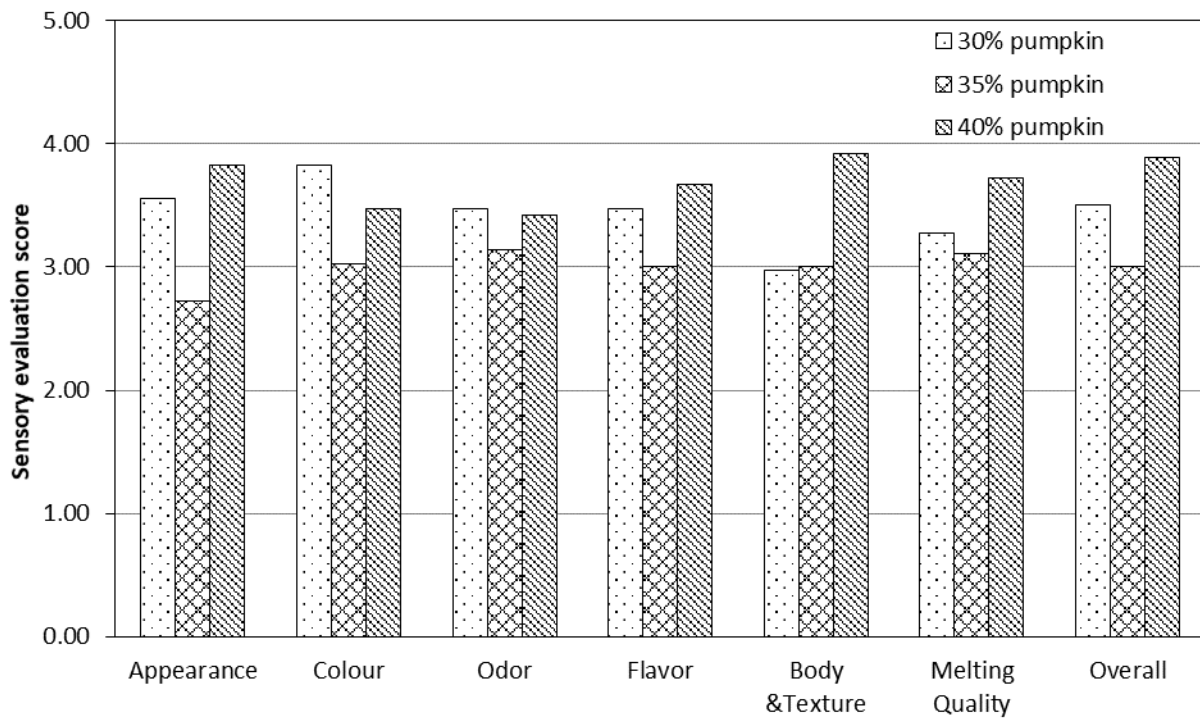


ภาพที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมผสมฟักทองญี่ปุ่น

จากการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส โดยวิธีทดสอบความชอบ 5 ระดับคะแนน ดังแสดงในภาพที่ 2 จากผู้ทดสอบชิมทั่วไปจำนวน 36 คน พบว่า การเพิ่มปริมาณฟักทองเป็นการเพิ่มปริมาณของแข็งในผลิตภัณฑ์ ส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสทำให้เนื้อไอศกรีมมีความเรียบเนียนขึ้น ผลิตภัณฑ์มีลักษณะปรากฏที่ดี ส่งผลให้ได้คะแนนการยอมรับเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้การเติมเนื้อฟักทองส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นรสที่ดี จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส

ผู้บริโภคให้การยอมรับการเติมเนื้อฟักทองญี่ปุ่นในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมที่ระดับร้อยละ 40 น้ำหนัก/ปริมาตร

ในด้านลักษณะปรากฏ ความเรียบเนียน กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส การละลายในปาก และความชอบรวมสูงสุด ( $p \leq 0.05$ ) ดังนั้นจึงเลือกชุดการทดลองที่มีการเติมเนื้อฟักทองญี่ปุ่นในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมที่ระดับร้อยละ 40 น้ำหนัก/ปริมาตร เป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุด



ภาพที่ 2 การประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส (Hedonic Test) ของไอศกรีม

#### 4. สรุปผล (Conclusion)

ผลจากการนำเนื้อฟักทองญี่ปุ่นมาใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเพื่อสุขภาพพบว่าเมื่อมีการเพิ่มสัดส่วนของฟักทองส่งผลให้ค่าความสว่าง ค่าสีเหลือง ค่าความหนืด ค่าความแข็ง (Hardness) และค่าอัตราการขึ้นฟู (% Overrun) สูงขึ้น แต่การเพิ่มปริมาณเนื้อฟักทองมีผลให้การละลายลดลง เนื่องจากการมีใยอาหารในเนื้อฟักทองญี่ปุ่น และการเติมเนื้อฟักทองญี่ปุ่นในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมที่ระดับร้อยละ 40 น้ำหนัก/ปริมาตร เป็นสูตรที่เหมาะสมและได้คะแนนการยอมรับมากที่สุด

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

ทีมผู้วิจัยขอขอบพระคุณศูนย์พัฒนาโครงการหลวงม่อนเงาะ บ้านม่อนเงาะ ตำบลเมืองเก่า อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ สำหรับการสนับสนุนวัสดุดิบที่ใช้ในการทดลอง และที่ประชุมอธิการบดีแห่งประเทศไทย (ทปอ.) สำหรับการสนับสนุนทุนวิจัยภายใต้โครงการ Innovation Hub-Agriculture & Food เพื่อสร้างเศรษฐกิจฐานนวัตกรรมของประเทศตามนโยบายประเทศไทย 4.0 หัวข้อเรื่องการใช้ประโยชน์จากเศษเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตฟักทองญี่ปุ่นตัดแต่ง และขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีและมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครที่สนับสนุนสถานที่และเครื่องมือในการทำวิจัย

#### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ฐานข้อมูลพืชผัก บทความเกษตร, ฟักทองญี่ปุ่น, ข้อมูลจาก <http://www.vegetweb.com>. (วันที่สืบค้นข้อมูล 17 มิถุนายน 2559).
- [2] Niewczas J., Szewda D., Mitek M., The content of selected prohealthful components in winter squash (*Cucurbita maxima*) fruits. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, Vol. 2 (43) Suppl., 147–155 (in Polish, English abstract), 2005.
- [3] สถาบันวิจัยโภชนาการมหาวิทยาลัยมหิดล, มหัทศจรย์ผัก 108. สถาบันวิจัยโภชนาการมหาวิทยาลัยมหิดล. จัดพิมพ์คปกไฟ, กรุงเทพฯ, 412 หน้า.
- [4] Goff, H.D. and Hartel, R.W., 2013, *Ice Cream*, Springer Science & Business Media, pp. 437-438, 2541.



- [5] กนกอร อีสริยะชัยกุล, การพัฒนาไอศกรีมดัดแปลงไขมันโดยใช้อินนูลินเป็นสารทดแทนไขมัน, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิทยาศาสตร์การอาหารเพื่อโภชนาการ สถาบันโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2551.
- [6] Abdel-Haleem et al, "Some quality attributes of low fat ice cream substituted with hullless barley flour and barley  $\beta$ -glucan", Journal of Food Science Technology, Vol. 52 (10): 6425-6434, 2015.
- [7] สุขศิริ โตกระแสร, การพัฒนาผลิตภัณฑ์และการยอมรับไอศกรีมโยเกิร์ตชนิดไขมันต่ำเส้นใยสูงโดยการผสมเส้นใยจากฝรั่ง, (รายงานผลงานวิจัย), มหาวิทยาลัยมหิดล: กรุงเทพฯ, 2538.
- [8] Rosalina, P. S. and Richard W. H., "Effects of Overrun on Structural and Physical Characteristics of Ice cream", Int. Dairy Journal, Vol. 14: pp. 255-262, 2004.
- [9] Arbuckle WS, Ice cream, 4<sup>th</sup> ed., AVI Publishing Company, Inc. Westport, Connecticut. pp. 325, 1986.

RMUTP & FTI 7th Sustainable Industrial Management Engineering

## การพัฒนาโปรแกรมควบคุมและสั่งการสำหรับแปลงผักสวนครัวระบบปิดอัจฉริยะ The development of application and command on a closed system of smart backyard plot

สันติ ธารรัตน์<sup>1</sup>, ศุภวิชัย ทังศรี<sup>1</sup>, วราพล แก้วกนก<sup>1</sup> และประภาพร พลอยยอด<sup>1</sup>

<sup>1</sup> สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมนวัตกรรมเพื่อความยั่งยืน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนประชากรราษฎร์ 1 เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

[santitanarat1995@gmail.com](mailto:santitanarat1995@gmail.com)

### บทคัดย่อ

การพัฒนาโปรแกรมควบคุมและสั่งการสำหรับแปลงผักสวนครัวระบบปิดอัจฉริยะ มีวัตถุประสงค์เพื่ออำนวยความสะดวกสำหรับการปลูกพืชในพื้นที่จำกัดและลดผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศที่แปรปรวน ฝนไม่ตกต้องตามฤดูกาลรวมทั้งการลดปริมาณการใช้ทรัพยากรในการปลูกพืชที่ฟุ่มเฟือยที่มีผลกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโตของพืช (Growth rate) โดยพัฒนาจากแพลตฟอร์มที่เรียกว่า NodeMCU ควบคู่กับ Android studio ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมแอปพลิเคชันให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ในการพัฒนาชุดคำสั่งนี้เป็นสั่งการแบบเคลื่อนที่ (Mobile application) ในการควบคุมและสั่งการแจ้งเตือนสำหรับการปลูกผักสวนครัวระบบปิดอัจฉริยะ โดยมีกำหนดปัจจัยควบคุมตามความต้องการใช้ทรัพยากรในการเจริญเติบโตของพืชแต่ละชนิด อ้างอิงปริมาณการใช้ที่เหมาะสมจากกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะเป็นชุดคำสั่งบนสมาร์ตโฟนหรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เคลื่อนที่ที่สามารถติดตั้งได้ทั่วไป ปัจจัยควบคุมของพืชได้แก่ อุณหภูมิ (Temperature) ความชื้น (Moisture) และปุ๋ย (Fertilizer) โดยการควบคุมในปริมาณที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืชแต่ละชนิด ซึ่งพบว่า ชุดคำสั่งที่พัฒนาขึ้นนั้น สามารถทำงานได้ในแปลงผักสวนครัวจริง แต่ทั้งนี้ ระบบการแจ้งเตือนจะทำงานได้ดีมากขึ้นขึ้นอยู่กับสัญญาณของอินเทอร์เน็ต ซึ่งในการแสดงผลจะแจ้งค่าสถานะอุณหภูมิ ความชื้น และปริมาณปุ๋ยได้ และเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ ระบบจะแจ้งเตือนให้ผู้ใช้งาน สั่งการทันที ทำให้สามารถจัดการกับแปลงผักสวนครัวได้อย่างเหมาะสม ประหยัดทรัพยากร และสามารถอำนวยความสะดวกแก่คนที่อาศัยอยู่ในสังคมเมืองได้อย่างแท้จริง โดยมีหลักการบูรณาการข้อมูลจากเครือข่ายไร้สาย (Wireless sensor network) หรือเทคโนโลยีเซนเซอร์และอินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง ที่ดำเนินการติดตั้งชุดคำสั่ง

**คำสำคัญ (Key word):** โหนด เอ็มซียู, เทคโนโลยีเซนเซอร์, แอปพลิเคชัน, อินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง

## Abstract

The aims of the development of application and command on a closed system of smart backyard plot project are convenient for growing crops in limited areas and reducing the impact of climate variability, in fact there is no rainy season then resources will be increased as well the plants growth. The project commands is developed referred to a platform called NodeMCU, it's linked with Android studio, a tool for developing high-performance applications. As a conclusion we will set a mobile application to control and command alarms for smart backyard plot. The control factors are based on the demand for resources in the growth of each plant, referred to the appropriate usage data from the Ministry of Agriculture and Cooperatives. This factor is a set of commands on a smartphone or mobile electronic device can be installed in general. The Plant control factors including to Temperature, Moisture and Fertilizer. By controlling the amount suitable for the growth of each plant. The results showed that the developed commands set was well used in smart backyard plot. But the notification system will be highly effective depending on the signal of the Internet. The display shows the status of temperature, moisture and fertilizer and when the weather changes, automatically. The system will alert to the user. It's can handle the smart backyard plot properly and reduces the use of resources then facilitates the people living in the city. The project are integrated between data from wireless sensor networks and sensor technology and the Internet of Things that installs the command.

**Keyword:** NodeMCU, Sensor technology, Application, Internet of Things

## 1. บทนำ (Introduction)

พื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศไทยยังเป็นพื้นที่เกษตรกรรม ตามการจำแนกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินปีล่าสุดคือ พ.ศ. 2559 ของกรมพัฒนาที่ดิน พบว่า เป็นพื้นที่เกษตรกรรมร้อยละ 55.42 รองลงมาได้แก่ พื้นที่ป่าไม้ร้อยละ 33.00 และพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างร้อยละ 5.59 นอกจากนั้นเป็นพื้นที่เบ็ดเตล็ดร้อยละ 3.13 และพื้นที่แหล่งน้ำร้อยละ 2.86 ของพื้นที่ประเทศไทยทั้งหมด แต่เมื่อพิจารณาพื้นที่เกษตรกรรม ซึ่งมีการใช้ประโยชน์ที่ดินสูงสุดของประเทศแล้วนั้น สามารถจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินย่อยลงไปได้อีกซึ่งพบว่าเป็นพื้นที่นามากที่สุดร้อยละ 22.87 รองลงมาได้แก่พื้นที่ปลูกไม้ยืนต้นร้อยละ 13.37 และพื้นที่ปลูกพืชไร่ 12.86 ของพื้นที่เกษตรกรรมทั้งหมด [1] ทั้งนี้ ระบบการเกษตรกรรมในประเทศไทยมี 2 ระบบคือ เกษตรกรรมในเขตชลประทานและนอกเขตชลประทานซึ่งอาศัยน้ำฝนธรรมชาติ ถ้าคิดตามพื้นที่เกษตรกรรมทั้งประเทศจะพบว่ายังคงเป็นเขตรนอกเขตชลประทานร้อยละ 74.41 ของพื้นที่เกษตรกรรมทั้งหมด นั่นหมายถึงว่าเป็นพื้นที่อาศัยน้ำฝนธรรมชาติในการเพาะปลูก [2] และสภาพภูมิอากาศตามธรรมชาติ ดังนั้น ประเด็นเรื่อง ฝนมากไป ฝนน้อยไป ฝนทิ้งช่วง ฝนไม่ตกต้องตามฤดูกาล มีความแปรปรวนสูงก่อให้เกิดความไม่แน่นอนในแต่ละปีและส่งผลกระทบต่อเกษตรกรที่ปลูกพืชอาศัยน้ำฝน [3] ประกอบกับการพัฒนาประเทศในปัจจุบันมุ่งสู่การเป็นเมืองอุตสาหกรรมเชิงนิเวศ ดังนั้น แรงงานวัยทำงานจึงเข้ามาทำงานในภาคอุตสาหกรรมจำนวนมาก จึงก่อให้เกิดปัญหาแรงงานผู้สูงอายุทำงานในพื้นที่เกษตรกรรมดั้งเดิม ซึ่งไม่สามารถทำงานได้ จึงต้องพึ่งพาแรงงานต่างชาติเข้ามา ทำให้ต้นทุนการผลิตในภาคเกษตรกรรมเพิ่มขึ้นและเกิดการขาดแรงงานที่ชำนาญในการทำงานด้านการเกษตร รวมทั้ง การทำการเกษตรแบบธรรมชาติยังมีความเชื่อเรื่องการใช้ทรัพยากรจำนวนมาก ซึ่งบางครั้งเป็นสิ่งที่ไม่จำเป็น เช่น ปริมาณน้ำในการเพาะปลูกจะต้องเติมแปลงนาในการปลูกข้าว หรือให้น้ำจนเต็มแปลงเพื่อให้พืชเจริญเติบโตได้ดี เป็นต้น ซึ่งทำให้สิ้นเปลืองทรัพยากรในการทำเกษตรกรรม อีกทั้ง ยังเป็นการทำการเกษตรที่ยังอาศัยสภาพภูมิอากาศตามธรรมชาติ ปลูกพืชตามฤดูกาล ซึ่งปัจจุบันมีความเสี่ยงในการลดลงของผลผลิตอันเนื่องมาจากพืชไม่สามารถปรับตัวกับสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็วได้ ดังนั้น สภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงในปัจจุบัน ก่อให้เกิดภาวะการณต่างๆ มากมาย เช่น ฝนไม่ตกต้องตามฤดูกาล เกิดภาวะแล้งซ้ำซาก และน้ำท่วมซ้ำซาก ส่งผลกระทบต่อปริมาณและคุณภาพ

ของผลผลิตจากการเกษตรกรรม โดยปัจจัยเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช ปริมาณผลผลิตที่ได้ รวมทั้งคุณภาพของผลผลิตที่ได้รับ ทำให้ไม่เหมาะสมในการลงทุนทำการเกษตรแบบธรรมชาติดั้งเดิม [4] รวมทั้งการใช้สารฆ่าแมลงหรือยากำจัดศัตรูพืชในปัจจุบันก็ส่งผลกระทบต่อผู้บริโภคอย่างเป็นห่วงโซ่อาหาร ซึ่งเกษตรกรอาจจะคาดการณ์ได้ยากต่อเพิ่มขึ้นหรือลดลงของศัตรูพืชเนื่องจากแปรผันตามการเปลี่ยนแปลงของสภาพดินฟ้าอากาศเช่นกัน ดังนั้น การปรับเปลี่ยนพฤติกรรม หรือการปรับเปลี่ยนกระบวนการในการทำเกษตรแบบดั้งเดิมอาศัยธรรมชาติ จึงมีการประยุกต์ใช้ระบบอัตโนมัติต่างๆ เข้ามาช่วยเป็นเครื่องมือทุ่นแรงในการทำงานและเพิ่มผลผลิตที่ปลอดภัยให้เป็นมิตรต่อผู้บริโภคและสิ่งแวดล้อม ปัจจุบัน เทคโนโลยีสมัยใหม่หรือระบบเครือข่ายไร้สายเข้ามามีบทบาทในการอำนวยความสะดวกให้กับประชาชนจำนวนมาก ดังนั้น คณะผู้ศึกษาจึงพัฒนาและประยุกต์ใช้ระบบอัตโนมัติในการสั่งการแทนการใช้แรงงาน โดยใช้ระบบอินเทอร์เน็ตเข้ามาช่วย หรือที่เรียกว่า อินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง หรือ Internet of Things (IoT) [5] รวมถึงพัฒนาเครื่องมือช่วยอำนวยความสะดวกในการทำการเกษตรให้ดียิ่งขึ้นและลดปัญหาต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้น โดยการพัฒนาเครื่องมือการสั่งการและควบคุมการเกษตรแบบอัตโนมัติโดยนั้น สามารถดำเนินการได้ทั้งในพื้นที่ธรรมชาติและพื้นที่ขนาดเล็กในชุมชนเมือง เช่น การปลูกพืชปักสวนครัว เป็นต้น โดยการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจจับเข้ามาช่วยภายใต้เครือข่ายไร้สาย

ดังนั้น คณะผู้ศึกษาจึงเล็งเห็นถึงปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้น โดยเฉพาะพื้นที่ชุมชนเมือง มีพื้นที่ค่อนข้างจำกัด และประชาชนทำงานในภาคอุตสาหกรรมต่างๆ จึงมีการแนวคิดพัฒนาโปรแกรมชุดคำสั่งและควบคุมระบบสวนครัวอัจฉริยะขึ้น ซึ่งจะช่วยให้สามารถบริหารจัดการข้อมูลเกี่ยวกับการปลูกผักสวนครัวในขณะที่กำลังทำงานได้ และเหมาะกับสังคมการแข่งขันและเร่งรีบในเมืองอุตสาหกรรมและยุคอุตสาหกรรมที่กำลังพัฒนาเข้าสู่อุตสาหกรรม 4.0 และดิจิทัล 4.0 และแนวคิดนี้มีความสอดคล้องกับแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 11 และฉบับที่ 12 ซึ่งเป็นหนึ่งในประเด็นยุทธศาสตร์มุ่งเน้นการพัฒนาคุณภาพชีวิตของเกษตรกร และเป็นไปตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงเพียงคือ การพึ่งพาตนเองได้ รวมทั้งมีระบบภูมิคุ้มกันพร้อมรับมือกับความเสี่ยงจากการเปลี่ยนแปลงของสังคมและการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศ (climate change) ได้อีกด้วย

## 2. วิธีวิจัย (Research Methodology)

ขั้นตอนการวิจัยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 ศึกษาและทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้องทั้งในและต่างประเทศเกี่ยวกับระบบเกษตรอัจฉริยะเพื่อพัฒนาและประยุกต์ใช้ให้สอดคล้องกับสภาพพื้นที่จริง

2.2 ศึกษาแพลตฟอร์ม (Platforms) ที่ใช้ในการสร้างชุดคำสั่งเพื่อเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต (IoT) ที่เหมาะสมในปัจจุบัน โดยพิจารณาถึงความเหมาะสมและเกษตรกรสามารถใช้ได้จริง ซึ่งเน้นให้เหมาะสมกับพื้นที่ทำเกษตรในพื้นที่จำกัด เช่น คอนโดมิเนียมและหมู่บ้านจัดสรร

2.3 กำหนดชุดคำสั่งที่เกี่ยวข้องลงในแพลตฟอร์ม (Platforms) ที่ดำเนินการคัดเลือกโดยการอ้างอิงข้อมูลสถิติจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับชนิดพืชที่ดำเนินการคัดเลือกปลูก

2.4 พัฒนาโปรแกรม (Mobile application) เพื่อประยุกต์ใช้ในการสั่งการแบบเคลื่อนที่ด้วย Android studio เพื่อใช้ในการสั่งการในแพลตฟอร์ม (Platforms) ที่พัฒนาขึ้นให้สามารถทำงานได้ในสภาวะที่กำหนด โดยกำหนดค่าปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืช

2.5 นำชุดโปรแกรมที่พัฒนาแล้วไปทดลองในพื้นที่แปลงผักสวนครัวขนาด 1\*1 เมตร ตามชุดคำสั่งที่กำหนดขึ้น

2.6 บันทึกผลการทำงานของชุดคำสั่งและแก้ไขค่าความคลาดเคลื่อนและ

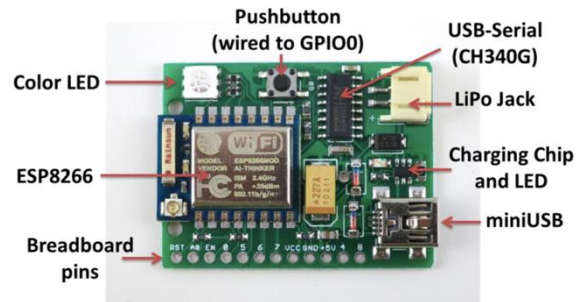
2.7 จัดทำคู่มือการใช้งานชุดคำสั่งเพื่อพัฒนาต่อยอดในการทำการเกษตรหลากหลายรูปแบบต่อไป

2.8 สรุปผลการทดลองการพัฒนาโปรแกรมควบคุมและสั่งการสำหรับแปลงผักสวนครัวอัจฉริยะ

### 3. ผลการวิจัย (Results)

การวิจัยในครั้งนี้กำหนดขอบเขตการดำเนินงานไว้ดังนี้  
1) พื้นที่ดำเนินการทดลองเหมาะสมสำหรับพื้นที่ที่เป็นคอนโดมิเนียมหรือหมู่บ้านจัดสรร 2) ตัวแปรควบคุมในการพิจารณา ได้แก่ อุณหภูมิ (Temperature) ความชื้น (Moisture) และปริมาณปุ๋ย (Fertilizer) อ้างอิงปริมาณการใช้ตามกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ได้ดำเนินการศึกษาเป็นค่าอ้างอิงมาตรฐาน โดยผลการศึกษาพบว่า แพลตฟอร์ม (Platforms) ที่พิจารณาคัดเลือกคือ โหนด เอ็มซียู ซึ่งต่อไปจะเรียกว่า NodeMCU [6] โดยเป็นบอร์ดที่ใช้ ESP8266 ทำหน้าที่เป็นหน่วยประมวลผลกลาง (Central Processing Unit: CPU) สำหรับประมวลผลโปรแกรมต่างๆ และเป็นแพลตฟอร์มที่ใช้ช่วยในการสร้างโปรเจกต์ Internet of Things (IoT) ที่ถูกพัฒนาขึ้น โดยมีพื้นที่เขียนโปรแกรมมากกว่าแพลตฟอร์มอื่น อีกทั้งยังมีความสามารถเชื่อมต่อกับชุดผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่สามารถใช้ได้กับมาตรฐานเครือข่าย

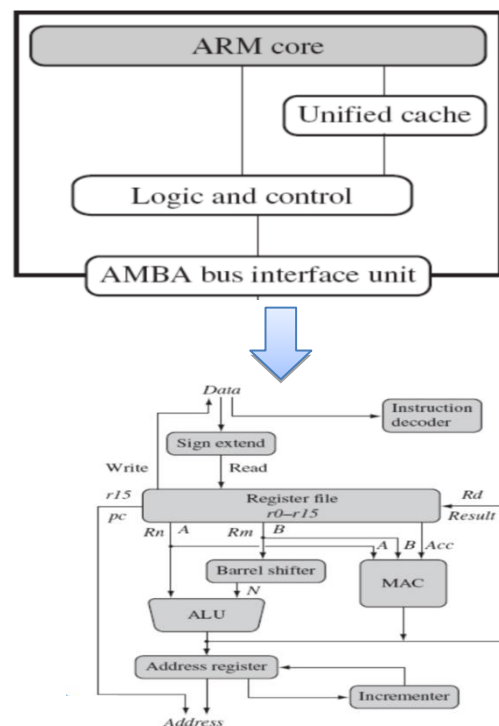
คอมพิวเตอร์แบบไร้สาย หรือที่เรียกสั้นๆ ว่า Wi-Fi (Wireless fidelity) ได้สะดวกและง่ายต่อการทำงาน โดยในบอร์ดรุ่นนี้ใช้ ESP8266 12E มีพื้นที่หน่วยความจำที่สามารถอ่านได้อย่างเดียว ไม่สามารถบันทึกข้อมูลใดๆ ลงไปได้ หรือที่เรียกว่า รอม (ROM: Read Only Memory) สูงถึง 4MB เพียงพอสำหรับการเขียนโปรแกรมขนาดใหญ่ในการสั่งการ



รายละเอียดอุปกรณ์ของ NodeMCU ดังภาพที่ 1

ภาพที่ 1 รายละเอียดของ NodeMCU

อีกทั้งภายใน NodeMCU ยังเป็นอาร์ม (ARM: Advanced RISC Machine) หรือที่เรียกอีกอย่างว่าเป็นโปรเซสเซอร์ในคอมพิวเตอร์ชนิดฝังตัวขนาดย่อมๆ ใช้ความถี่สูงถึง 40 MHz ทำให้สามารถประมวลผลโค้ดโปรแกรมได้อย่างรวดเร็ว เหมาะสำหรับงานด้านการเกษตรอัจฉริยะ (Smart farming) และ IoT [5] โดยมีผังการทำงานของ ARM ดังภาพที่ 2





ภาพที่ 2 ผังการทำงาน ARM  
 ที่มา: สุรินทร์ กิตติธรรกุล, 2560 [7]

ในการออกแบบชุดคำสั่ง นั้น พิจารณาให้สอดคล้องกับ การเจริญเติบโตของพืชสวนครัวที่ดำเนินการเพาะปลูก โดย กำหนดคำสั่งที่เป็นปัจจัยควบคุมตามที่กำหนดไว้ข้างต้น ซึ่งมี ปริมาณความต้องการแตกต่างกันของแต่ละชนิดพืชสวนครัว โดยรายละเอียดผังการออกแบบและพัฒนาชุดคำสั่งดังภาพที่ 3 โดยมีชุดคำสั่งที่พัฒนาขึ้นให้สอดคล้องต่อการเจริญเติบโต ของพืชสวนครัวทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษกำกับ ดังนี้

- 1) อุณหภูมิ (Temperature)
- 2) ความชื้น (Moisture)
- 3) ปุ๋ย (Fertilizer)



ภาพที่ 3 ผังการพัฒนาชุดคำสั่งเข้าสู่ NodeMCU

โดยในการพัฒนาชุดสั่งนี้ ได้ออกแบบไว้สำหรับพืชสวน ครัวอัจฉริยะ 3 ชนิด ในการพัฒนาแอปพลิเคชันในการสั่ง การได้แก่ ผักบุ้ง คื่นฉ่ายและผักกวางตุ้ง เนื่องจากเป็นพืช อายุสั้นและทุกครัวเรือนในสังคมเมืองสามารถประกอบ อาหารได้ง่าย ซึ่งในแต่ละชนิดมีปัจจัยความต้องการในการ เจริญเติบโตไม่เท่ากัน รายละเอียดดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ปริมาณการใช้น้ำของพืช

ชนิดพืช	อายุพืช (วัน)	ปริมาณการใช้น้ำ (วัน)	จำนวนวันที่ต้องส่งน้ำ (วัน)	น้ำใช้ของพืชต่อวัน (มม.)
ผักบุ้ง	25-30	200	24	3.1
กวางตุ้ง	35-45	170	28	2.9
คื่นฉ่าย	25-30	150	30	2.7

ที่มา: กรมชลประทาน, 2550 [8]

จากตารางที่ 1 จะพบว่า การพัฒนาชุดคำสั่งนั้นจะต้อง พิจารณาอายุพืชตลอดช่วงการเจริญเติบโตของพืชที่กำหนด ปริมาณความต้องการใช้น้ำและจำนวนวันที่จะต้องรดน้ำของ พืชแต่ละชนิด รวมทั้งการให้ปุ๋ยโดยปุ๋ยที่ใช้จะเป็นปุ๋ยอินทรีย์ ละลายน้ำได้ เช่น น้ำหมักชีวภาพ เป็นต้น เพื่อให้ชุดคำสั่ง สามารถสั่งการและแจ้งเตือนได้ตามความต้องการใช้ของพืช ได้ ทำให้ลดการสิ้นเปลืองและค่าใช้จ่ายของทรัพยากรได้ รวมทั้งพิจารณาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของ พืชทั้ง 3 ชนิดด้วย รายละเอียดดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช

ชนิดพืช	ปริมาณ ความ ต้องการปุ๋ย (ลิตร)	อุณหภูมิของพืชที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโต	อุณหภูมิสูงสุดที่ต้องปล่อยไอน้ำ	ปริมาณความชื้นในการสั่งสปริงเกอร์ทำงาน
ผักบุ้ง	7	25-35 °C	40°C	> 15 % จากจุดความชื้นชลประทาน
กวางตุ้ง	2.250	20-25°C	40°C	> 15 % จากจุดความชื้นชลประทาน
คื่นฉ่าย	2.250	15-20°C	40°C	> 15 % จากจุดความชื้นชลประทาน

ที่มา: กรมชลประทาน, 2550 [8]

จากตารางที่ 2 จะพบว่า ในชุดคำสั่งในการสั่งการและควบคุมนั้น จะแบ่งตามเงื่อนไขดังนี้

1) เมื่ออุปกรณ์ตรวจวัดความชื้น มากกว่า 15 % จากจุดความชื้นชลประทาน แอปพลิเคชันจะทำการแจ้งเตือนให้ผู้ใช้งาน (User) ทราบเพื่อสั่งการให้สปริงเกอร์ทำงาน

2) เมื่ออุณหภูมิร้อนถึงจุด 40 องศาเซลเซียส แอปพลิเคชันจะทำการแจ้งเตือนให้ผู้ใช้งาน (User) ทราบและสั่งการให้ปล่อยไอน้ำ เพื่อลดระดับของอุณหภูมิป้องกันพืชเหี่ยวและตายในที่สุด

เมื่อดำเนินการพัฒนาชุดคำสั่งในแพลตฟอร์มของ NodeMCU และสร้างในแอปพลิเคชันแบบเคลื่อนที่แล้ว ระบบการทำงานจะผ่านเทคโนโลยีการตรวจจับสัญญาณหรือที่เราเรียกว่า เซ็นเซอร์ (Sensor) และ Wi-Fi ดังนั้น เมื่อดำเนินการทดลองและดำเนินการเก็บข้อมูลในพื้นที่แปลงทดลองจริงเพื่อแก้ไขความคลาดเคลื่อนของคำสั่งที่ดำเนินการพัฒนาขึ้น โดยดำเนินการปลูกผักสวนครัวขนาด 1\*1 เมตร ซึ่งเป็นระบบการปลูกแบบปิด ทั้งนี้ พิจารณาจากพื้นที่ในคอนโดมิเนียมหรือหมู่บ้านจัดสรร โดยออกแบบแปลงผักสวนครัวอัจฉริยะดังภาพที่ 4 ซึ่งแสดงผังการปลูกผักสวนครัวนี้มีสปริงเกอร์ ขนาดแรงดันน้ำ 3-4 บาร์ ปริมาณน้ำ (Flow) 36 ลิตรต่อชั่วโมง รัศมี 3-4 เมตรแล้วแต่แรงดัน บีมกับจำนวนสปริงเกอร์ จ่ายน้ำแบบ 1 หัว หรือแยก 4 หัว วัสดุทำจากพลาสติกทนแรงกระแทก และถังบรรจุน้ำ (Water storage tank) ขนาด 20 ลิตร โรงเรือนทำจากวัสดุที่เรียกว่า พลาสติก PE ความหนา 150 ไมครอน ซึ่งสามารถป้องกันแสงแดดได้ 7% และสามารถทนทานต่อคลอรีนที่ใช้น้ำประปาได้รวมทั้งสามารถป้องกันแมลงศัตรูพืช

Application on smartphone



ภาพที่ 4 ผังการปลูกผักสวนครัวอัจฉริยะ

หลักการการทำงานของระบบการสั่งการและแจ้งเตือนการปลูกผักสวนครัวอัจฉริยะนี้มีดังนี้ ผู้ใช้งาน (User) สั่งการจากระบบประมวลผล (Cloud computing) ผ่านระบบเครือข่ายไร้สายที่อยู่กับโรงเรือนของแปลงผักสวนครัว เพื่อประมวลผลที่จะทำให้ตัวแปรที่ควบคุมในชุดคำสั่งในการเพาะปลูกเชื่อมโยงกันหมดจากสมาร์ตโฟนหรืออุปกรณ์เคลื่อนที่สู่โรงเรือนเพราะปลูก ทำให้สะดวกต่อการสั่งการและการแจ้งเตือน หรือใช้ในการตรวจสอบการเจริญเติบโตของพืชได้ ดังนั้น เกษตรกรที่ทำการปลูกผักสวนครัวนี้ จะลดความวิตกกังวลเรื่องระยะเวลาในการรดน้ำ การให้ปุ๋ยในการปลูกผักสวนครัว ซึ่งสามารถดำเนินการได้ทุกพื้นที่ที่สัญญาณอินเทอร์เน็ตเข้าถึงได้

#### 4. อภิปรายผล (Discussion)

ระบบโปรแกรมควบคุมและสั่งการที่พัฒนาจาก NodeMCU ผ่านเครือข่าย Wi-Fi นั้นเป็นการตอบโจทย์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่ไม่แน่นอน ฝนไม่ตกต้องตามฤดูกาล อันส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชได้ดี รวมทั้งเหมาะกับพื้นที่ที่เป็นพื้นที่ระบบปิด มีพื้นที่น้อย เช่น หมู่บ้านจัดสรร คอนโดมิเนียม หรือพื้นที่แคบ ทำให้สะดวกสบายในการควบคุมและการสั่งการ ซึ่งการพัฒนาโปรแกรมคำสั่งนี้เหมาะกับการปลูกพืชผักสวนครัวอายุสั้น และความต้องการใช้น้ำน้อย และมีพื้นที่ค่อนข้างจำกัด

ในการทำงานของระบบเกษตรอัจฉริยะ นี้มีความสัมพันธ์และเชื่อมโยงกันเช่นเดียวกันกับการเป็นสำนักงานอัจฉริยะ (Smart office) หรือเจ้าของบ้าน หรือเจ้าหน้าที่ของรัฐ ที่มีแนวคิดในการพัฒนาการเกษตรที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและปลอดภัยเพื่อใช้และลดการสิ้นเปลืองของทรัพยากร ก้าวเข้าสู่การลดของเสียจากการเกษตรและลดการใช้ยากำจัดศัตรูพืช เนื่องจากเป็นระบบปิด ลดอันตรายที่จะก่อให้เกิดต่อสุขภาพ เมื่อพิจารณาขยายพื้นที่ทำการเกษตรเป็นพื้นที่ธรรมชาติ จะพบว่า สามารถลดการใช้ทรัพยากรน้ำ ปุ๋ย และสามารถที่จะควบคุมให้เป็นไปตามความต้องการใช้ของพืชได้ ทำให้ผลผลิตที่ได้มีคุณภาพ

#### 5. สรุปผล (Conclusion)

จากการพัฒนาและประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศ ระบบอินเทอร์เน็ต เข้ามาช่วยในการจัดการด้านการเกษตรให้การเจริญเติบโตของพืชสวนครัวเป็นไปตามความเหมาะสมของความต้องการของพืชแต่ละชนิด และอำนวยความสะดวกสบายให้กับสังคมเมืองนั้น ผลจากการพัฒนาโปรแกรมควบคุมและสั่งการสำหรับแปลงผักสวนครัว

อัจฉริยะนั้น ได้ชุดคำสั่ง 1 ชุดที่พัฒนาจากแพลตฟอร์มของ NodeMCU เป็นบอร์ดในการพัฒนาชุดคำสั่งและ พัฒนาแอปพลิเคชันรองรับชุดคำสั่งแบบเคลื่อนที่ (Mobile application) เพื่อความสะดวกในการสั่งการและควบคุมแจ้งเตือนการปลูกผักสวนครัว ด้วยระบบการตรวจจับสัญญาณ (Sensor) ผ่าน Wi-Fi ทั้งนี้ การนำชุดคำสั่งนี้มาใช้งานในพื้นที่จริงสามารถช่วยลดปัญหาเรื่องการแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศ การขาดแรงงาน และแรงงานผู้สูงอายุในการทำเกษตรกรรม รวมทั้งการลดการใช้ทรัพยากรที่ฟุ่มเฟือยและสิ้นเปลืองในการปลูกผักสวนครัวตามแบบธรรมชาติดั้งเดิม เมื่อนำโปรแกรมชุดคำสั่งนี้ลงไปใช้ในพื้นที่ทดลองจริงพบว่าการทำงานจะมีความรวดเร็วหรือช้าของระบบการสั่งการจะเชื่อมโยงกับความเร็วและความแรงของอินเทอร์เน็ต ส่วนระบบคำสั่งอื่นๆ สามารถใช้งานได้ตามคำสั่งที่โปรแกรมไว้ใน NodeMCU ดังนั้น การปลูกผักสวนครัวด้วยระบบนี้จึงเหมาะกับสังคมในปัจจุบันที่ประชาชนส่วนใหญ่ต้องออกมาทำงานและต้องการลดภาระค่าใช้จ่ายด้วยการปลูกผักสวนครัวเพื่อรับประทานในครัวเรือน

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาและอาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมนวัตกรรมเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ทุกท่านที่ให้คำแนะนำและคำปรึกษาในการดำเนินการศึกษาในครั้งนี้จนประสบความสำเร็จลงได้ด้วยดี และขอขอบคุณทีมผู้ศึกษาทุกคนที่ร่วมมือและร่วมใจกันทำงานนี้จนประสบความสำเร็จได้ด้วยดี

## 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาที่ดิน, การใช้ที่ดินของประเทศไทย, ข้อมูลจาก <http://www.ddd.go.th> (วันที่สืบค้นข้อมูล 10 กันยายน 2561)
- [2] สำนักเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, เนื้อที่เพาะปลูกในประเทศไทย <http://www.oae.go.th> (วันที่สืบค้นข้อมูล 2 กันยายน 2561)
- [3] ศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, ข้อมูลพื้นฐานเศรษฐกิจการเกษตร, กรุงเทพฯ, 2559
- [4] ระบิณ ปาลี, การดูแลแลวางระบบฟาร์ม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา, 2554
- [5] ระบิณ ปาลี, การสั่งงานด้วยระบบ IoT (Internet of thing), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา, 2553
- [6] ธนศรสุวรรณค์ วรรณมงคลชัย, Arduino ESP8266 (NodeMCU), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, มปป.
- [7] สุรินทร์ กิตติธรรมกุล, เอกสารคำสอนสถาปัตยกรรมคอมพิวเตอร์, 2560
- [8] กรมชลประทาน, ปริมาณการใช้น้ำของพืช, 2550

RMUTP & FTI 7th Sustainable Industrial Management Engineering

ก้าวข้ามกับดักการมีรายได้ปานกลางของประเทศด้วยการพัฒนาสมรรถนะ  
ของทรัพยากรบุคคลในการสร้างนวัตกรรมสู่ความยั่งยืนของชาติในยุคดิจิทัล  
Moving across the middle Income Trap by Developing Human Resources  
Innovation Competency to Sustainable Country in Digital Era

ดร.อรรณพ ปิยะสินธ์ชาติ

ประธานเจ้าหน้าที่บริหาร สถาบัน Creative Academic School for Lifelong Learning.

E-mail: [dr.annop.p@gmail.com](mailto:dr.annop.p@gmail.com)

**บทคัดย่อ**

บทความนี้นำเสนอเป้าหมายแนวความคิดและเรื่องที่ต้องดำเนินการเพื่อจุดประกายให้ทุกภาคส่วนของสังคมไทยตระหนักถึงปัญหาสมรรถนะในการแข่งขันของประเทศไทยในเวทีโลก โดยนำเสนอข้อมูลการจัดอันดับความสามารถในการแข่งขันของประเทศทั่วโลกโดย World economic forum (WEF) ซึ่งจะเห็นได้ว่าในทศวรรษแห่งการเปลี่ยนแปลงของกระแสเทคโนโลยีของโลกที่เปลี่ยนไป ประเทศไทยยังคงอยู่กับที่ในขณะที่ประเทศเพื่อนบ้านมีการพัฒนาที่ดีขึ้นตลอดเวลา ถึงเวลาที่ต้องหันกลับมาช่วยกันผลักดันประเทศให้ก้าวพ้นจากการเป็นประเทศที่ติดกับดักของประเทศที่มีรายได้ปานกลาง (Middle income trap) แนวทางหนึ่งของการพัฒนาเพื่อหลุดพ้นจากการติดกับดักดังกล่าวอย่างยั่งยืน (Sustainable escaping from middle income trap) คือ การพัฒนาให้เศรษฐกิจของประเทศถูกขับเคลื่อนด้วยนวัตกรรม แต่การจะเกิดนวัตกรรมใหม่ๆ ได้อย่างต่อเนื่องสม่าเสมอ นั้นกุญแจสำคัญคือการพัฒนาทรัพยากรบุคคลในชาติให้มีสมรรถนะสูงในการสร้างนวัตกรรม (Human Innovation) ซึ่งเป็นเสาหลักที่สำคัญที่ใช้เป็นเครื่องมือในการขับเคลื่อนประเทศไปสู่ประเทศที่เศรษฐกิจถูกขับเคลื่อนด้วยนวัตกรรม (Innovation-driven economics) โดยเริ่มต้นจากหน่วยพื้นฐานคือองค์กรต่างๆ ในประเทศที่ต้องพัฒนาบุคลากรในองค์กรให้มีสมรรถนะในการสร้างนวัตกรรมสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องซึ่งจะเป็นแรงขับเคลื่อนไปสู่องค์กรที่มีสมรรถนะสูง (High performance organization: HPO) ทั้งภาครัฐ รัฐวิสาหกิจและเอกชน

**คำสำคัญ :** กับดักของประเทศที่มีรายได้ปานกลาง (Middle income trap) องค์กรสมรรถนะสูง (High performance organization: HPO) นวัตกรรม (Innovation)



## 1. คำทำนายการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยีที่จะเกิดขึ้น ภายในปี 2022

พลัมเมอร์รองประธานเจ้าหน้าที่บริหารของบริษัท Gartner ซึ่งเป็นบริษัทที่ปรึกษาที่ได้รับการยอมรับทั่วโลกได้นำเสนอในงาน Symposium/IT-expo 2017 ว่า “ประธานเจ้าหน้าที่ฝ่ายบริหารสารสนเทศขององค์กรปลายทางที่เป็นผู้ใช้เทคโนโลยีทุกแห่งต้องมีการกำหนดก้าวอย่างที่จะทำให้องค์กรเกิดความยั่งยืนไม่ว่าจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไรของเทคโนโลยีในอนาคต” โดยได้ทำนายสิ่งที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลง 10 ประการภายในปี ค.ศ. 2022 ดังนี้ [1]

### 1.1 ผู้บริโภคจะเปลี่ยนพฤติกรรมในการซื้อสินค้า

ผู้บริโภคจะเปลี่ยนวิธีการซื้อของ จากการออกไปเดินเลือกซื้อสินค้าและบริการมาเป็นการใช้วิธีการค้นหาสินค้าโดยใช้เสียงและภาพผ่านระบบอินเทอร์เน็ต (Consumers favor visual and voice search) ทำให้มูลค่าของการซื้อขายผ่านระบบออนไลน์เพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 30 จากปัจจุบันภายในปี ค.ศ. 2021

1.2 ผู้ประกอบการดิจิทัลรายใหญ่ จำนวน 5 ใน 7 ของโลก เช่น Amazon Apple Facebook และ Google จะทำการพลิกโฉมตัวเอง (Digital giants self-disrupt) การพลิกโฉมจะทำได้โดยใช้เทคโนโลยีที่เกิดขึ้นใหม่ตลอดเวลา แต่เนื่องจากมีความยากในการพลิกโฉมในตลาดที่ไม่เคยเข้าไปเกี่ยวข้อง บริษัทเหล่านี้จึงต้องหาทางพลิกโฉมสินค้าและบริการของบริษัทเอง ดังตัวอย่างที่เกิดขึ้นแล้วในอดีตจากการที่บริษัท Apple ปรับโฉมเทคโนโลยี MP3 บน i-pod ที่เป็นผู้นำอยู่มาเป็นผลิตภัณฑ์ i-phone

1.3 ธนาคารพาณิชย์ทั้งระบบจะก้าวเข้าสู่ระบบ Cryptocurrencies ที่ถูกต้องตามกฎหมาย (Legitimized cryptocurrencies) ระบบธนาคารพาณิชย์จะปรับเปลี่ยนมูลค่าการเงินกว่า 1,000 ล้านเหรียญเอสตอลาร์จากมูลค่าโดยรวมทั้งหมดทั่วโลกประมาณ 1,000,0000 ล้านเหรียญเอสตอลาร์ มาสู่ระบบ Cryptocurrencies ที่ถูกต้องตามกฎหมาย (Legitimized cryptocurrencies) ภายในปี 2020

1.4 ข่าวสารข้อมูลส่วนใหญ่บนระบบอินเทอร์เน็ตจะไม่มีมูลความจริงเพิ่มมากขึ้น (Increased fake news) ภายในปี 2022 บริษัทต่างๆ ต้องมีระบบที่มีประสิทธิภาพในการเฝ้าติดตามวิเคราะห์และคัดกรองให้ได้ข่าวสารที่ถูกต้องที่สุดเพื่อนำมาใช้วางแผนกลยุทธ์ทางธุรกิจที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการที่แท้จริงของผู้บริโภค

1.5 จะเกิดการทำเทียมเหมือนของจริงหรือเนื้อหาเทียมเหมือนเนื้อหาจริงด้วยปัญญาประดิษฐ์จนสามารถ

แทนที่ของจริงแบบไร้รอยต่อ (Counterfeit reality, CR, overtakes reality)

ภายในปี 2020 ปัญญาประดิษฐ์จะเป็นตัวขับเคลื่อนการทำเทียมเหมือนของจริง (ในบทความนี้ผู้เขียนจะแทนด้วยคำว่า CR) ซึ่งถือเป็นสิ่งผิดกฎหมายเพราะเป็นการแอบอ้าง รูปร่างตราสินค้าของผลิตภัณฑ์หรือบริการ ซึ่งจะแตกต่างจากการทำเลียนแบบที่ผู้ทำประกาศชัดเจนว่าไม่ใช่ของจริงไม่ใช่ตราผลิตภัณฑ์ที่ทำเลียนแบบจึงถือว่าไม่ได้หลอกลวงลูกค้า ด้วยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ที่ซับซ้อนมากขึ้นทำให้ CR ที่ถูกสร้างขึ้นด้วยปัญญาประดิษฐ์เองไม่สามารถถูกตรวจสอบความจริงว่าเป็นของแท้หรือของเทียมได้แม้จะใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ก็ตาม CR ในที่นี้อาจหมายถึงสื่อดิจิทัลเทียมที่ถูกสร้างดัดแปลงจนให้ภาพหรือความรู้สึกเหมือนของจริงทั้งๆ ที่ของจริงแบบ CR ไม่เคยมีจริงเลยบนโลกนี้เหมือนการสร้างเรื่องราวในโลกฮอลลีวูด

1.6 บอต (Bots) จะทดแทนทุกสิ่งในแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์มือถือ ภายในปี 2021 มากกว่าร้อยละ 50 ของค่าใช้จ่ายที่องค์กรใหญ่ๆ ต้องจ่ายในแต่ละปีจะถูกใช้ในในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับ บอต หรือ แชทบอต (Chat-bot) ซึ่งหมายถึงโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีไว้สื่อสารโดยการสนทนากับมนุษย์โดยอัตโนมัติผ่านระบบอินเทอร์เน็ต เพื่อประโยชน์ไม่ทางใดก็ทางหนึ่ง Bot ย่อมาจากคำว่า Robot ซึ่งแปลว่าหุ่นยนต์ โลกกำลังก้าวเข้าสู่ปลายยุคของแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์มือถือเพราะแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์มือถือจะถูกแทนที่ด้วยบอตหรือแชทบอต ด้วยสาเหตุที่ตลาดแอปพลิเคชันเริ่มอิ่มตัว เนื่องจากปริมาณแอปพลิเคชันที่ล้นเกินและผู้บริโภคเหนียวกับการโหลดแอปพลิเคชันใช้งานเฉพาะ เช่น จะจอร์นร้านอาหารก็ต้องใช้แอปพลิเคชันหนึ่ง จะเรียกรถแท็กซี่ก็ใช้แอปพลิเคชันหนึ่ง จะซื้อของออนไลน์ก็ต้องใช้อีกแอปพลิเคชันหนึ่ง เป็นต้น จึงเกิดคำถามขึ้นว่าหากเราสามารถนำสารพันคุณสมบัติที่กล่าวไปจากแอปพลิเคชันต่างๆ มาย่อส่วนในรูปแบบบอตหรือแชทบอตก็จะสามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้ โดยที่ขณะนี้ ทั้ง Facebook Messenger WeChat และ Line มีการนำบอตหรือแชทบอต (Chat bot) มาใช้และพัฒนาให้มีคุณภาพสูงขึ้นตลอดเวลา

1.7 บุคคลากรที่มีความสามารถรอบด้านจะมีความต้องการในตลาดแรงงานมากกว่าบุคคลากรที่มีความเชี่ยวชาญด้านใดด้านหนึ่ง (Versatility wins over specialization) ภายในปี 2021 ร้อยละ 40 ของผู้ที่รับผิดชอบเรื่องเทคโนโลยีและข้อมูลข่าวสารทั้งหมดจะต้องการความรู้หลายด้าน มิใช่เชี่ยวชาญเพียงด้านหนึ่งด้านใดและจะ

มีหน้าที่หลายหน้าที่ โดยหน้าที่ส่วนใหญ่จะเป็นหน้าที่ด้านการจัดการธุรกิจมากกว่าด้านเทคโนโลยี ข้อมูลในปัจจุบันคือร้อยละ 42 ของผู้รับผิดชอบด้านเทคโนโลยีและข้อมูลข่าวสารทั้งหมดจะเป็นผู้เชี่ยวชาญเรื่องเทคโนโลยีและข้อมูลข่าวสาร

1.8 ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) จะก่อให้เกิดการสร้างงานใหม่ๆ มากกว่าการเข้าไปแทนที่งานเดิม ๆ (AI creates more jobs than it takes) ภายในปี 2020 ปัญญาประดิษฐ์จะก่อให้เกิดงานใหม่ๆ ขึ้นมาโดยรวมประมาณ 2.3 ล้านงานแทนปริมาณงานที่ไปทดแทนจำนวน 1.8 ล้านงาน โดยการเข้าไปทดแทนงานเดิมจะทำให้ประสิทธิภาพและประสิทธิผลของงานเดิมเพิ่มขึ้น

1.9 อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งจะมีอยู่ทั่วไปในทุกสรรพสิ่ง (Internet of things, IoTs, in everything) ภายในปี 2020 ร้อยละ 95 เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งจะมีในเครื่องใช้อิเล็กทรอนิกส์และสินค้าที่ออกแบบใหม่ในโลก ทำให้การใช้ชีวิตประจำวันของผู้คนเปลี่ยนไปตัวอย่าง เช่น เครื่องชงกาแฟภายในบ้านจะชงกาแฟโดยอัตโนมัติตามคำสั่งด้วยเสียง สามารถปรับอุณหภูมิและเวลาของการชงกาแฟชนิดที่เราต้องการชงดื่มจากข้อมูลภาพของกาแฟที่เราส่งไฟล์เข้าโทรศัพท์มือถือ เครื่องซักผ้าสามารถอ่านลักษณะของเสื้อผ้าจากแผ่นป้ายที่ติดบนเสื้อผ้า เพื่อปรับค่าการตั้งการซักผ้าตลอดจนการเติมผงซักฟอกหรือน้ำยาปรับผ้านุ่มด้วยอัตโนมัติ หรือเครื่องปรับความเย็นในอาคารที่พิกัดสามารถตรวจประเมินการใช้งานของเครื่องเองตลอดจนสามารถบอกการบำรุงรักษาเบื้องต้นและกำหนดเวลาการบำรุงรักษาตามกำหนดเวลาให้เราทราบผ่านอุปกรณ์มือถือ

1.10 ความอ่อนด้อยของประสิทธิภาพการรักษาความปลอดภัยที่เกิดขึ้นจากเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT security vulnerabilities) ภายในปี 2022 กว่าครึ่งหนึ่งของงบประมาณในการรักษาเสถียรภาพของระบบ IoTs จะถูกนำไปใช้ในการแก้ไขปัญหาของระบบ IoTs ที่เกิดขึ้นหรือการเรียกคืนงานที่มีปัญหา กลับมามากกว่าที่จะถูกนำไปใช้ในการป้องกันไม่ให้เกิดปัญหา

## 2. ความท้าทายจากการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยี

การเกิดขึ้นของเทคโนโลยีใหม่ ๆ (Emerging Technology) ซึ่งเรียกกันว่า เทคโนโลยีพลิกโฉมโลก (Disruptive Technology) ทำให้เกิดการสิ้นสุดลงของเทคโนโลยีเดิมและก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการใช้ชีวิตประจำวันอย่างมากดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 1 การเชื่อมโยงวัตถุต่าง ๆ เข้าด้วยกันภายใต้เทคโนโลยีการเชื่อมต่อของอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of things:

IoT) จะก่อให้เกิดให้เกิดการแข่งขันของโลกรุนแรงในภาคเอกชนเป็นอย่างมาก จะเห็นได้จากจำนวนธุรกิจที่เกิดขึ้นใหม่ด้วยคนจำนวนน้อย (Startup) ที่เกิดขึ้นมากมายในปัจจุบัน ภายใต้กระแสของเทคโนโลยีพลิกโฉมโลกที่กล่าวมาแล้วและจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ตามกระแสการผลักดันของเทคโนโลยีและความคิดสร้างสรรค์ใหม่ๆ ที่เกิดขึ้น ความสัมพันธ์ระหว่างเทคโนโลยีที่เกิดขึ้นใหม่กับการเกิดขึ้นของธุรกิจที่เกิดขึ้นใหม่ (Startup) ที่ต้องอาศัยการพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ที่แหลมคม จะเหมือนกับการขับเคลื่อนของวงจรที่หมุนไปอย่างไม่มีที่สิ้นสุด เพราะการพัฒนาอย่างไม่หยุดยั้งของเทคโนโลยีจะทำให้เกิดการพัฒนาวิธีการที่จะสร้างธุรกิจใหม่ๆ และผลักดันธุรกิจที่มีอยู่เดิมให้ปรับปรุงและพัฒนาาระบบสาธารณูปโภคของสินค้าและบริการตามแรงขับเคลื่อนของการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยี ซึ่งจะก่อให้เกิดการเพิ่มของปริมาณของผู้ประกอบการในหลายภาคส่วนของธุรกิจ และจะเป็นแรงผลักดันองค์กรเดิมไปสู่การพัฒนาให้องค์กรมีความสามารถในการแข่งขันสูงขึ้นเพื่อดำรงความอยู่รอดขององค์กร โดยการมุ่งมั่นในใช้ความคิดสร้างสรรค์เพื่อสร้างสิ่งใหม่ๆ จากเทคโนโลยีที่ทันสมัยที่เกิดขึ้นและแน่นอนเป็นช่องทางเพื่อเข้าสู่สนามของการแข่งขันของธุรกิจที่เกิดขึ้นใหม่ (Startup) เราเรียกองค์กรประเภทนี้ว่า องค์กรพหุคูณ (Exponential organization) ซึ่งหมายถึงองค์กรที่มีการเตรียมการที่ดี สามารถปรับตัวตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงได้ดีและมีความสร้างสรรค์มากกว่า คงปฏิเสธไม่ได้ว่าการเพิ่มขีดความสามารถดังกล่าวจำเป็นต้องอาศัยพนักงานที่มีความสามารถเท่าทันต่อการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นซึ่งจะเกิดขึ้นได้ด้วยการพัฒนาอบรมให้ความรู้ให้กับพนักงานเพื่อให้เท่าทันต่อการเปลี่ยนแปลงนั้นๆ

## 3. พลังขับเคลื่อนเหนือการควบคุม (Uncontrollable driving force)

บริษัท McKinsey ซึ่งเป็นบริษัทที่ปรึกษาชั้นนำของโลก กล่าวถึงแรงขับเคลื่อนของโลก 4 ประการที่อยู่นอกเหนือการควบคุมของแนวโน้มแบบเดิมที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพลิกโฉมโลก [2] ประการแรก คือ การเกิดขึ้นของเมืองใหม่ทั่วโลก (Urbanization) จะทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายธุรกิจไปสู่ตลาดที่เกิดขึ้นใหม่ โดยบริษัทขนาดใหญ่ในโลกจะย้ายสำนักงานใหญ่ไปยังเมืองใหม่ เช่น เมืองใหม่ที่เกิดขึ้นในประเทศจีน ทำให้ศูนย์กลางของเศรษฐกิจของโลกเปลี่ยนฐานไปอยู่ในซีกโลกตะวันออกและซีกโลกใต้ ประการที่สองคือ อัตราเร่งของขอบข่าย ขนาด และเศรษฐกิจที่เกิดจากแรงผลักดันของเทคโนโลยีที่กำลังเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ถึงแม้ว่าในอดีตเทคโนโลยีจะมีส่วนสำคัญในการผลักดันให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแต่ในโลก

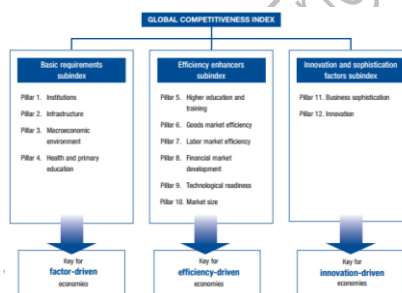
ปัจจุบันนี้การเกิดขึ้นของเทคโนโลยีใหม่ด้วยอัตราเร่งที่สูงมากจนสามารถพลิกโฉมสร้างการยอมรับจากผู้ใช้งานอย่างกว้างขวางและรวดเร็ว ประการที่สามคือ การเคลื่อนตัวของสัดส่วนของประชากรของโลกผู้สูงอายุของผู้สูงอายุ (Aging society) ซึ่งสร้างแรงกดดันให้กับรัฐบาลของทุกประเทศในโลกที่ต้องต่อสู้กับปัญหานี้ และประการสุดท้าย คือ ระดับของการที่โลกปัจจุบันมีการเชื่อมต่อทางการค้าอย่างทั่วถึงทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของเงินทุน คนและข่าวสารครอบคลุมทุกมุมโลกอย่างรวดเร็ว ถึงแม้ว่าในอดีตที่ผ่านมาการเชื่อมต่อของระบบการค้าและการการเงินจะเกิดขึ้นมาก่อนแล้วแต่จะเป็นการเชื่อมต่อที่ไม่ซับซ้อนเป็นลำดับระหว่างศูนย์การค้าและการเงินจากยุโรปไปยังอเมริกาเหนือ แต่ในปัจจุบันมีการเชื่อมต่อเป็นเครือข่ายที่เป็นไปอย่างซับซ้อน แรงขับเคลื่อนดังกล่าวทั้ง 4 ประการจะผลักดันอย่างต่อเนื่องต่อสภาพเศรษฐกิจของโลก

ผลของการเกิดขึ้นของเทคโนโลยีพลิกโฉมโลกในโลกอุตสาหกรรมคือการปฏิวัติสู่ระบบอุตสาหกรรม 4.0 ที่จะทำให้อุปกรณ์การใช้ชีวิตของผู้คนในสังคมโลกเปลี่ยนไป บริษัท McKinsey ให้คำจำกัดความของอุตสาหกรรม 4.0 ว่าเป็นการเข้าสู่โลกดิจิทัลของภาคอุตสาหกรรมโดยสมบูรณ์โดยการขับเคลื่อนของเทคโนโลยีพลิกโฉมโลก 4 ประการ คือ การเกิดขึ้นของข้อมูลดิจิทัลจำนวนมาก ความทรงพลังในระบบการประมวลผลของคอมพิวเตอร์ ความสามารถในการเชื่อมโยงสื่อสารโดยเฉพาะระบบเครือข่ายที่กว้างไกลด้วยการใช้พลังงานที่ต่ำ และความสามารถที่เพิ่มขึ้นอย่างมหาศาลในการวิเคราะห์ของระบบธุรกิจอัจฉริยะ (Business Intelligence) และรูปแบบใหม่ของการปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์และเครื่องจักร เช่น ระบบหน้าจอสัมผัสและโลกเสมือนจริงบนโลกแห่งความจริง (Augmented reality: AR) ตลอดจนการส่งผ่านชุดคำสั่งดิจิทัลเพื่อสั่งงานโลกทางกายภาพจริง (Physical world) ตัวอย่างเช่นการทำงานของหุ่นยนต์อุตสาหกรรมและเครื่องพิมพ์ 3 มิติ [3] จากนิยามของอุตสาหกรรม 4.0 ดังกล่าวข้างต้น ฤกษ์แห่งความสำเร็จของการก้าวเข้าสู่อุตสาหกรรม 4.0 อย่างยั่งยืนขึ้นอยู่กับโครงสร้างหรืออย่างน้อยที่สุดคือการสร้างแนวความคิดใหม่ๆ หรือพัฒนาสิ่งใหม่ๆ แต่มีประเด็นปัญหาอยู่ว่าการสร้างนวัตกรรมใหม่จำเป็นต้องมีบุคลากรที่มีความสามารถในการสร้างนวัตกรรม สำหรับประเทศไทยนั้นเป็นปัญหาใหญ่ที่ทำนายเพราะถ้าต้องการก้าวข้ามการติดกับดักของการเป็นประเทศที่มีรายได้ปานกลางสู่ประเทศที่มีความมั่งคั่ง ก็มีความจำเป็นต้องมีการนำเอาเทคโนโลยีพลิกโฉมโลกที่กล่าวมาแล้วมาใช้งาน นั่นหมายถึงสิ่งแรกที่ต้องทำคือ ต้องมีการพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ในประเทศไทยให้มีขีด

ความสามารถในการสร้างนวัตกรรม

#### 4. ความสามารถของประเทศไทยเทียบกับประเทศต่างๆทั่วโลก

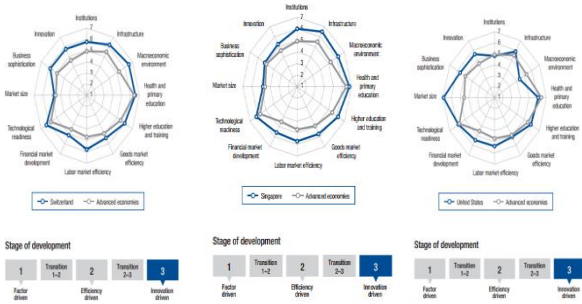
งานวิจัยของ World Economic Forum (WEF) เกี่ยวกับความสามารถด้านนวัตกรรมของประเทศต่างๆ ทั่วโลกที่เป็นส่วนสำคัญในการเพิ่มสมรรถนะในการแข่งขันของแต่ละประเทศ โดยมุ่งเน้นวิเคราะห์ความสามารถในการแข่งขันของทุกประเทศในโลก โดยใช้การพิจารณาจากองค์ประกอบหรือที่เรียกว่าเสาหลัก (Pillar) จำนวน 12 เสา ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 เสาหลัก 12 เสาที่ใช้เป็นดัชนีวัดความสามารถของการแข่งขันของประเทศต่างๆ ทั่วโลก [4]

WEF แบ่งการจัดระดับขั้นความสามารถในการแข่งขันของแต่ละประเทศเป็น 3 ระดับของสภาพเศรษฐกิจ คือ ระดับแรกเรียกว่า การขับเคลื่อนด้วยองค์ประกอบพื้นฐาน (Factor-driven) ระดับที่ 2 คือ การขับเคลื่อนโดยประสิทธิภาพ (Efficiency-driven) และระดับท้ายสุด คือ การขับเคลื่อนโดยนวัตกรรม (Innovation-driven) เสาหลักแต่ละเสาจะเป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญที่จะแสดงให้เห็นว่าแต่ละประเทศจะอยู่ในระดับขั้นความสามารถใดประเทศที่ถูกการขับเคลื่อนโดยนวัตกรรมจะคำนวณด้วยเสาหลัก 2 เสาสุดท้าย คือ การมีธุรกิจที่ซับซ้อนยากต่อการเลียนแบบ (Business sophisticate) และนวัตกรรม (Innovation) ซึ่งเป็นเสาหลัก 2 เสาที่บรรลุได้ยากที่สุดเพราะต้องอยู่บนพื้นฐานที่มั่นคงของเสาหลักเสาอื่นๆ ก่อนหน้านั้นทั้งหมด รายงานการวิเคราะห์ของ World Economic Forum ในปี 2015-2016 [5] ทำการวิเคราะห์ขีดความสามารถในการแข่งขันของ 140 ประเทศทั่วโลก โดยแบ่งระดับการให้คะแนน แต่ละประเทศเป็นค่า 1 ถึง 7 ตามลำดับความสามารถจากน้อยไปมาก ผลของการจัดลำดับ 3 อันดับแรกของโลก ได้แก่ ประเทศสวีเดน ประเทศสิงคโปร์ และประเทศสหรัฐอเมริกา ดังแสดงในภาพที่ 2

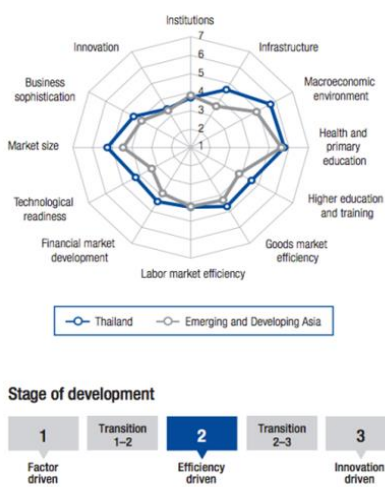




ภาพที่ 2 แสดงการจัดอันดับขีดความสามารถในการแข่งขันของ 140 ประเทศทั่วโลก 3 อันดับแรกของโลก คือ ประเทศสวีเดน ประเทศสิงคโปร์และประเทศสหรัฐอเมริกา

### 5. ความท้าทายของประเทศไทย

จากกราฟที่แสดงในรูปที่ 2 บอกถึงความสามารถในการแข่งขันของประเทศชั้นนำ 3 ประเทศที่อยู่ในระดับของการขับเคลื่อนด้วยนวัตกรรม จะมีคะแนนของเสาค้ำจุนทั้ง 12 ต้น อยู่ในระดับที่สูง โดยเฉพาะประเทศสิงคโปร์มีคะแนนที่น่าประทับใจมากที่สุด แต่สำหรับประเทศไทยจากการจัดอันดับของ WEF ในปี 2015-2016 คะแนนที่ได้จะอยู่ในระดับ การขับเคลื่อนด้วยประสิทธิภาพ (Efficiency-driven) ได้คะแนนเฉลี่ย 4.6 จากคะแนนเต็ม 7.0 ถูกจัดอยู่ในลำดับที่ 32 จาก 140 ประเทศและที่สำคัญคือการจัดอันดับที่เกิดขึ้นในปี 2016-2017 นั้นอันดับของประเทศไทยลื่นไหลจากอันดับที่ 32 ในปี 2015-2016 ไปอยู่อันดับที่ 34 แต่ทุกประเทศในอาเซียนกลับมีผลการจัดอันดับที่ดีขึ้นเมื่อเทียบกับการจัดอันดับในปี 2015-2016 ผลของการจัดอันดับแสดงให้เห็นว่าประเทศไทยมีความจำเป็นต้องมีการเตรียมพร้อมที่เพียงพอสำหรับคนรุ่นต่อไปเพื่อสร้างสภาพแวดล้อมที่ช่วยเสริมสร้างขีดความสามารถในการแข่งขัน



ภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.2

ภาพที่ 3 กราฟแสดงความสามารถในการแข่งขันของประเทศไทยเทียบกับประเทศที่เริ่มพัฒนาในเอเชีย (ภาพ 3.1) และเทียบกับประเทศในเอเชียตะวันออกและประเทศในมหาสมุทรแปซิฟิก (ภาพ 3.2)

ถ้าพิจารณากราฟภาพที่ 3.1 จะพบว่าคะแนนขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศไทยต่ำสุดในเรื่องการสร้างนวัตกรรมและการมีธุรกิจที่ซับซ้อนยากต่อการเลียนแบบในการผลิตและให้บริการที่ หมายความว่าเราต้องเร่งปรับปรุงเสาค้ำจุน 2 เสาดังกล่าวและในขณะเดียวกันก็ต้องปรับปรุงเสาค้ำจุนอื่นๆ ให้มีคะแนนเพิ่มขึ้นเพื่อจะได้บรรลุถึงระดับประเทศที่มีการผลักดันโดยนวัตกรรม ดังนั้นหนึ่งในกุญแจที่สำคัญสำหรับประเทศไทยคือการเร่งพัฒนาการสร้างนวัตกรรมให้เกิดขึ้นโดยจะสำเร็จได้ด้วยการพัฒนาทักษะเฉพาะด้านที่จำเป็นในการสร้างเสริมความสามารถเพื่อสร้างงานนวัตกรรมของบุคลากรในประเทศเพื่อผลักดันให้เกิดองค์การที่มีสมรรถนะสูง (High performance organization: HPO) อีกประการหนึ่งถ้าเราพิจารณาจากกราฟทั้ง 2 จุดอ่อนที่เห็นได้ชัดเจนของประเทศไทยคือคะแนนส่วนใหญ่ในทุกๆ เสาค้ำจุนยังคงอยู่ที่เดิมไม่ได้เพิ่มขึ้น จึงมีความจำเป็นเป็นอย่างมากสำหรับประเทศไทยที่ต้องเร่งแก้ปัญหาในข้อนี้ รัฐบาลปัจจุบันจึงได้กำหนดยุทธศาสตร์การพัฒนาประเทศให้ก้าวทันกับดักรองประเทศที่มีรายได้ปานกลางที่เศรษฐกิจของประเทศคงที่อยู่ ในจุดนี้มีหลายทศวรรษแล้วภายใต้นโยบายที่ชื่อว่า ประเทศไทย 4.0 (Thailand 4.0) โดยกระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม (Digital economy and society) กำหนดนโยบายในการพาประเทศไทยเข้าสู่ยุคเศรษฐกิจดิจิทัลอย่างเต็มรูปแบบเพื่ออำนวยความสะดวกความยั่งยืนในเศรษฐกิจที่สร้างคุณค่า (Value-based economy) ภายใต้ยุทธศาสตร์ 3 ด้าน คือ 1) สร้างชุมชนสังคมดิจิทัล 2) สร้างดิจิทัลปาร์คสำหรับผู้ประกอบการระดับกลางและระดับย่อม (SMEs)

และ 3) สร้างเครือข่ายของธุรกิจเกิดใหม่ด้านดิจิทัล (Digital innovative start-up network) [6] โดยมุ่งหวังว่านโยบายประเทศไทย 4.0 จะเป็นการขับเคลื่อนประเทศไปสู่เศรษฐกิจที่ขับเคลื่อนด้วยนวัตกรรมที่จะส่งผลให้ประเทศไทยหลุดพ้นจากประเทศที่มีรายได้ปานกลาง ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยการปรับตัวและพัฒนาองค์กรต่างๆ ภายในประเทศทั้งภาครัฐ รัฐวิสาหกิจและเอกชนไปสู่การเป็นองค์กรที่มีสมรรถนะสูง (High performance organization: HPO)

## 6. องค์กรที่มีสมรรถนะสูง (High performance organization: HPO) มีลักษณะอย่างไร

องค์กรที่มีสมรรถนะสูง (High performance organization: HPO) เป็นองค์กรที่เข้าใจวิธีการที่นำพาองค์กรไปสู่ความสำเร็จสูงสุดในธุรกิจของตน องค์กรจะใช้กลยุทธ์และวิธีการที่หลากหลายที่สร้างความมั่นใจว่าองค์กรจะดำเนินงานอย่างมีประสิทธิภาพและสามารถปรับตัวเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงได้เป็นอย่างดี ตัวอย่างที่สำคัญเรื่องหนึ่งขององค์กรเหล่านี้ คือ รู้จักคาดเดาสถานะการณ์ที่จะเปลี่ยนแปลงในอนาคตและเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมกับการเปลี่ยนแปลง ซึ่งเป็นผลมาจากการที่องค์กรมีบุคลากรและทีมงานที่เข้มแข็งที่สามารถช่วยเหลือกันในการเสริมความคิดสร้างสรรค์เพื่อให้ได้คำตอบที่เป็นนวัตกรรมใหม่ๆ ในช่วงเวลาที่รวดเร็วทำให้เกิดกระบวนการที่ได้ประสิทธิผล องค์กรที่มีสมรรถนะสูงจะประสบผลสำเร็จตลอดเวลาในการสร้างความแตกต่างจากองค์กรคู่แข่งขึ้นด้วยการใช้นวัตกรรมที่สามารถประเมินผลได้ผ่านสมรรถนะของผลประกอบการด้านการเงิน (Financial status) และสินทรัพย์ที่จับต้องไม่ได้ (Intangible asset) เช่น สินทรัพย์ทางปัญญา ได้แก่ ปริมาณของลิขสิทธิ์ใหม่ๆ ที่จดทะเบียนไว้หรือความจงรักภักดีในตราสินค้าของผู้บริโภคต่อองค์กร

จากงานวิจัยของ Boston consultant group (BCG) ลักษณะขององค์กรที่มีสมรรถนะสูง (High performance organization: HPO) ประกอบไปด้วย 1) เป็นองค์กรที่ผู้นำและผู้ตามมีทิศทางของเป้าหมายไปในทิศทางเดียวกันและมีทิศทางเดียวกับองค์กรทำให้เกิดประสิทธิผลลึกลงไปทั่วทั้งองค์กร 2) เป็นองค์กรที่แบนราบไม่มีลำดับของโครงสร้างหลายระดับและสามารถแสดงภาพสะท้อนของกลยุทธ์ขององค์กรได้ทั่วทั้งองค์กร 3) องค์กรแปลงสารกลยุทธ์ของธุรกิจและสื่อสารไปสู่พนักงานที่มีพลังปฏิบัติงานตามกลยุทธ์ขององค์กรโดยสามารถสร้างแรงดึงดูดและรักษาบุคลากรที่มีคุณค่าขององค์กรไว้ได้ 4) องค์กรสามารถขับเคลื่อนความเป็นองค์กรสมรรถนะสูงอย่างยั่งยืนไปสู่การเปลี่ยนแปลงในวงกว้างทั่วทั้งองค์กร สามารถคาดการณ์หรือปรับตัวอย่างรวดเร็วต่อการเปลี่ยนแปลงต่างๆ [7]

ลักษณะทั้ง 4 ประการข้างต้นจะนำไปสู่การปรับเปลี่ยนวัฒนธรรมขององค์กรทำให้องค์กรสามารถบรรลุเป้าหมายตามกลยุทธ์ที่ได้กำหนดไว้โดยที่บุคลากรในองค์กรจะเป็นผู้เสาะแสวงหาหนทางเพื่อให้บรรลุเป้าหมายขององค์กรเอง การปรับเปลี่ยนบุคลากรและทรัพยากรขององค์กรให้มีความสมรรถนะสูงนั้นเป็นเรื่องที่มีความสำคัญมากไม่ใช่แต่เพียงในระบบราชการหรือรัฐวิสาหกิจเท่านั้นแต่ก็มีความสำคัญเป็นอย่างมากสำหรับองค์กรเอกชนเช่นกัน การริเริ่มสร้างกลยุทธ์ในการสร้างงานที่สร้างสรรค์ให้กับบุคลากรในองค์กรเพื่อพัฒนาให้สมรรถนะสูงขึ้นเป็นสิ่งสำคัญในการผลักดันให้องค์กรพัฒนาไปสู่องค์กรที่มีสมรรถนะสูง องค์กรที่มีสมรรถนะสูงจะมีเครื่องมือและกระบวนการที่สร้างเสริมให้เกิดความคิดสร้างสรรค์ภายในสังคมขององค์กร ความแตกต่างระหว่างองค์กรที่มีสมรรถนะสูงกับองค์กรทั่วไปคือ องค์กรที่มีสมรรถนะสูงบุคลากรในองค์กรจะมีความเข้าใจในความมุ่งหมายของตนเองและสอดคล้องกับความมุ่งหมายขององค์กรซึ่งก่อให้เกิดผลประโยชน์ที่ชัดเจนร่วมกัน ทำให้องค์กรมีผลประกอบการที่ดีมีสถานะทางการเงินที่มั่นคงและยั่งยืน มีสมรรถนะในการดำเนินงานที่มีประสิทธิภาพทำให้องค์กรโดดเด่นเป็นผู้นำในกลุ่มธุรกิจเดียวกัน ในขณะที่เดียวกันองค์กรส่วนใหญ่ที่พยายามดิ้นรนเพื่อให้เป็นผู้นำในธุรกิจมักจะพยายามเพียงแต่สร้างกลยุทธ์ที่จะช่วยนำไปสู่ความสำเร็จเท่านั้น

จากผลงานวิจัยของ BCG ผู้บริหารระดับสูงขององค์กรนั้นๆ มักจะมีเครื่องมือและมาตรวัดเพื่อที่จะปรับปรุงการปฏิบัติงานและสมรรถนะทางการเงินแต่ไม่ได้ให้ความสำคัญในการขับเคลื่อนความสามารถของบุคลากรในองค์กร แนวทางหนึ่งที่องค์กรใช้ในการพัฒนาไปสู่องค์กรที่มีสมรรถนะสูง คือ การนำเอาเทคโนโลยีที่ทันสมัยมาช่วยทำให้องค์กรได้รับผลประโยชน์เพิ่มหรือสามารถรักษาผลประโยชน์เดิมได้ ตัวอย่างเช่น การใช้การฝึกอบรมเสมือนบนโลกความจริง (Augmented reality, AR, training) งานวิจัยของ Waal และ อัครบวร พบว่าสภาพแวดล้อมของประเทศไทยมีความเหมาะสมและเป็นไปได้ที่จะพัฒนาไปสู่องค์กรที่มีสมรรถนะสูงแต่ต้องมีการพัฒนาที่โปร่งใสตรงไปตรงมา [7]

## 7. ข้อเสนอแนะ

จากข้อมูลที่ผู้เขียนได้นำเสนอขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศไทยเมื่อเทียบกับประเทศต่างๆ ทั่วโลกทำให้มีเป้าหมายที่เราสามารถกำหนดได้อย่างชัดเจนว่าควรจะมีร่วมมือร่วมใจกันเพื่อพัฒนาศักยภาพของประเทศให้อันดับความสามารถในการแข่งขันเพิ่มขึ้นต่อเนื่องอย่างมีนัยสำคัญได้อย่างไร จากข้อมูลต่างๆ ของประเทศที่ประสบ



ผลสำเร็จในการผลักดันประเทศไทยไปสู่การเป็นประเทศที่เศรษฐกิจเติบโตด้วยการถูกขับเคลื่อนโดยการสร้างนวัตกรรมทำให้สามารถช่วงชิงความเป็นผู้นำในการแข่งขันบนเวทีโลกได้อย่างยั่งยืน โดยมีกุญแจแห่งความสำเร็จคือการสร้างเสาหลักทั้งหมดยุค 12 เสา และมีเสาสุดท้ายที่ทำให้ประเทศประสบผลสำเร็จในการเป็นผู้นำการแข่งขันคือการสร้างนวัตกรรมใหม่ๆ ขึ้นมาบนโลกนี้ ซึ่งแน่นอนย่อมเกิดจากกระบวนการการสร้างบุคคลากรในชาติให้มีสมรรถนะในการสร้างนวัตกรรมที่สูง ผู้เขียนได้นำเสนอแนวทางในการพัฒนาอย่างชัดเจนซึ่งเป็นข้อเท็จจริงที่ไม่ต้องรอการพิสูจน์เพราะได้ผ่านการทดสอบจากหลายประเทศทั่วโลกแล้วว่าเป็นแนวทางที่ถูกต้องสามารถเห็นผลได้ในเชิงประจักษ์ เราจะเห็นประเทศเกิดใหม่ (Emerging country) ที่กระโจนเข้าสู่การพัฒนาประเทศและใช้เวลาเพียง 2-3 ทศวรรษก็สามารถก้าวขึ้นมาอยู่ในกลุ่มประเทศที่เศรษฐกิจถูกผลักดันโดยนวัตกรรม (Innovation driven) เช่น ประเทศเกาหลีใต้และประเทศจีน คำถามสำหรับทุกภาคส่วนในสังคมไทยคือ เราจะก้าวเดินตามเส้นทางดังกล่าวด้วยวิธีการอย่างไรจึงเหมาะสมกับบริบทและจุดแข็งของประเทศไทยบนเวทีโลก คำตอบคือต้องเริ่มต้นจากหน่วยพื้นฐานของประเทศซึ่งหมายถึงองค์การต่างๆ ในประเทศต้องเข้าใจลักษณะและความจำเป็นของการที่ต้องผลักดันองค์การของตนเองไปสู่องค์การที่มีสมรรถนะสูง (High performance organization: HPO) ทั้งภาครัฐ รัฐวิสาหกิจและเอกชนที่สำคัญที่สุดของการพัฒนาเพื่อให้หลุดพ้นจากการติดกับดักดังกล่าวอย่างยั่งยืน (Sustainable escaping from middle income trap) คือ การพัฒนาบุคลากรในชาติซึ่งปั้นกุญแจแห่งความสำเร็จที่ประเทศชั้นนำทั่วโลกทำอย่างต่อเนื่อง ผู้เขียนหวังว่าบทความนี้จะก่อให้เกิดแนวคิดหรือมีส่วนในการกระตุ้นให้เกิดการพัฒนาบุคลากรภายในองค์กร เพื่อขับเคลื่อนประเทศไทยไปสู่ประเทศที่เศรษฐกิจถูกขับเคลื่อนด้วยนวัตกรรมในอนาคตอันใกล้

## 8. เอกสารอ้างอิง

- [1] Plummer, et al., 2018. Top strategic predictions for 2018 and beyond: pace yourself, for sanity's sake, Gartner. Retrieved on August 28, 2018. From <https://www.cognizant.com/InsightsWhitepapers/Augmented-Reality-A-New-Workforce-Mobilization-Paradigm-codex1434.pdf>
- [2] Dobbs, Manyika, & Woetzel, 2015. No Ordinary disruption: The four global forces breaking all the trends. McKinsey. Retrieved on August 22, 2018. From <https://www.summary.com/book-reviews/No-Ordinary-Disruption/>
- [3] Baur, C., & Wee, D., 2015. Manufacturing's next Act. McKinsey. Retrieved on August 20,

2018. From <http://www.mckinsey.com/business-functions/operations/ourinsights/manufacturing-next-act>
- [4] World Economic Forum, 2016-2017. The Global Competitiveness Report: 2016-2017 FINAL, p21. Retrieved on August 23. From: [http://www3.weforum.org/docs/GCR2016-2017/05FullReport/TheGlobalCompetitivenessReport2016-2017\\_FINAL.pdf](http://www3.weforum.org/docs/GCR2016-2017/05FullReport/TheGlobalCompetitivenessReport2016-2017_FINAL.pdf)
- [5] World Economic Forum, 2015-2016. The global competitiveness report: 2015-2016. Retrieved on August 23. From: <http://www3.weforum.org/docs/gcr/2015-2016/GlobalCompetitivenessReport2015-2016.pdf>
- [6] Tortermvasana, 2016. ICT pushes drive towards Thailand 4.0. Bangkok Post. Retrieved on August 23, 2018. From: <http://www.bangkokpost.com/tech/local-news/990257/ict-pushes-drive-towards-thailand-4-0>
- [7] Bhalla, V, et. al., 2011. High Performance Organization: The Secrets of Their Success. The Boston Consulting Group, BCG. Retrieved from [http://imagesrc.bcg.com/Images/BCG\\_High\\_Performance\\_Organizations\\_Sept\\_11\\_tcm\\_9-110515.pdf](http://imagesrc.bcg.com/Images/BCG_High_Performance_Organizations_Sept_11_tcm_9-110515.pdf)
- [8] Waal & Akaraborworn, 2013. Is the high performance organization framework suitable for Thai organization. Measuring business excellence, Vol. 17 Issue: 4, pp.76-87. Retrieved on August 22, 2018. From <https://doi.org/10.1108/MBE-01-2013-0001>



ดร.อรรณพ ปิยะสินธ์ชาติ

### ประวัติการศึกษา

- ระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมเคมี  
ปีที่สำเร็จ พ.ศ. ๒๕๒๓  
สถาบันการศึกษา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ระดับปริญญาโท สาขาวิชาบริหารธุรกิจ  
ปีที่สำเร็จ พ.ศ. ๒๕๓๑  
สถาบันการศึกษา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ระดับปริญญาเอก สาขาวิชา เทคโนโลยีสารสนเทศและการ  
สื่อสารเพื่อการศึกษา  
ปีที่สำเร็จ พ.ศ. ๒๕๕๗  
สถาบันการศึกษา เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

### ประวัติการทำงานและผลงาน

- ๒๕๓๐ - ปัจจุบัน  
ประธานเจ้าหน้าที่บริหาร (Chief Executive Officer: CEO)  
บริษัท DBIC Co., Ltd.  
สถาบัน Creative Academic School for Lifelong Learning
- ๒๕๓๐ - ปัจจุบัน  
คณะกรรมการสถาบันรับรองมาตรฐานไอเอสโอ  
(Management System Certification Institute: MASCI) กระทรวงอุตสาหกรรม

- ๒๕๔๕ - ปัจจุบัน  
คณะกรรมการสภาวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
- ๒๕๔๘ - ปัจจุบัน  
ผู้เชี่ยวชาญด้าน Total Quality Management: AOTS ประเทศญี่ปุ่นประจำประเทศไทย
- ๒๕๕๐ - ๒๕๕๘  
ที่ปรึกษาอาวุโส APEC Future Education Forum, Institute of APEC Collaborative Education (IACE)
- ๒๕๕๘ - ๒๕๕๘  
TQM Guest Lecturer for Thai Garment Industry
- ๒๕๔๔ - ๒๕๔๔  
ประกาศนียบัตร Total Quality Management AOTS, Yokohama, Japan
- ๒๕๔๔ - ๒๕๔๔  
ประกาศนียบัตร Quality Control in Industry Stockholm, Sweden
- ๒๕๔๓ - ๒๕๔๓  
ประกาศนียบัตร ISO 9000:2000 IRCA Lead Auditor, Singapore
- ๒๕๔๑ - ๒๕๔๑  
ประกาศนียบัตร ISO 14000:1994 EARA Advanced EMS Lead Auditor, England
- ๒๕๔๐ - ๒๕๔๐  
ประกาศนียบัตร ISO 9000:1994 IRCA Lead Auditor, Singapore
- ๒๕๒๓ - ๒๕๓๐  
สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม