บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 3

Proceedings of the 3rd RMUTP Conference of Engineering and Technology

กลยุทธ์การประหยัดพลังงานในระบบทำความเย็นด้วยการจัดการระบบละลายน้ำแข็ง

Energy Saving Strategies in Refrigeration Systems by Defrost Management

นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ และมนัส บุญเทียรทอง

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร E-mail: nattachote.r@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอเทคนิคการละลายน้ำแข็งที่แผงอีแวปปอเรเตอร์ของระบบเครื่องทำความเย็นในตู้แช่เย็นเพื่อลดการใช้พลังงาน ด้วยระบบนี้จะควบคุมการสั่งละลายน้ำแข็งที่แผงอีแวปปอเรเตอร์อย่างเหมาะสมตามความต้องการจริง โดยยกกรณีศึกษาจากระบบควบคุมการทำความเย็นทั่วไปที่กำหนดรอบเวลาในการละลายน้ำแข็งคงที่ ซึ่งมักจะกำหนดรอบโดยอ้างอิงจากช่วงฤดูกาลที่บรรยากาศมีความชื้นสูงที่สุดเพื่อป้องกันน้ำแข็งตันที่อีแวปปอเรเตอร์ ทำให้เกิดรอบการทำละลายที่เกินความจำเป็นในฤดูกาลที่บรรยากาศมีความชื้นต่ำและสิ้นเปลืองพลังงานในการทำความเย็นหลังช่วงการทำละลาย บทความวิจัยนี้เป็นการพัฒนาระบบควบคุมเพื่อลดการใช้พลังงานในช่วงเวลาการละลายน้ำแข็งที่ไม่จำเป็น โดยผลทดสอบพบว่าการควบคุมการละลายน้ำแข็งที่อีแวปปอเรเตอร์ตามความต้องการจริงทำให้ตู้แช่เย็นใช้พลังงานเนื่องมาจากระยะเวลาการทำงานของคอมเพรสเซอร์น้อยลงถึงร้อยละ 8 เมื่อเทียบกับระบบควบคุมการละลายน้ำแข็งตามรอบเวลา

คำสำคัญ: พลังงาน, ตู้แช่เย็น, การละลายน้ำแข็ง, อีแวปปอเรเตอร์

Abstract

This paper present technique defrost evaporator of refrigeration in refrigerator to reduce energy use. This system will control the evaporator defrost to the actual needs. The case studies of the cooling system, which determines the time to thaw stable. This is usually determined by reference to the seasonal cycle of atmospheric humidity to prevent formation of ice on the evaporator. The surrounding solvent than is necessary season with low humidity and energy consumption in cooling back to the solvent. This paper aims to develop systems to reduce energy consumption during the defrosting is not necessary. The result showed that the control defrost on demand make refrigerator energy consumption due to the operating time of the compressor less than 8%when compare to control defrost on cycle time.

Keywords: Energy, Refrigerator, Defrosting, Evaporator

1. บทนำ

ปัจจุบัน พลังงานไฟฟ้าถือว่าเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมากที่ใช้ในธุรกิจเครื่องทำความเย็น มีการนำเสนอแนวทางด้านเทคโนโลยีใหม่ต่างๆ มากมายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบการทำความเย็นให้สูงขึ้น ซึ่งอาจหมายถึงการใช้พลังงานที่น้อยลง นอกเหนือจากการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อสร้างความเย็นแล้ว ช่วงระยะเวลาการละลายน้ำแข็งที่อีแวปปอเรเตอร์เป็นรอบการทำงานช่วงหนึ่งที่ต้องใช้พลังงานในการละลายน้ำแข็งที่อาจถือได้ว่าเป็นเป็นช่วงที่เกิดค่าความสูญเสียที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้นในอีแวปปอเรเตอร์หรือระบบทำความเย็นเลย แต่ด้วยข้อจำกัดของระบบตู้แช่เย็นที่เราไม่สามารถหลีกเลี่ยงการเกิดน้ำแข็งเกาะที่แผงอีแวปปอเรเตอร์ได้ จึงได้มีวิธีการละลายน้ำแข็งในอีแวปปอเรเตอร์ต่างๆ โดยวิธีการละลายน้ำแข็งที่เป็นที่นิยมได้แก่[1] การละลายน้ำแข็งด้วยวิธีการหยุดรอบทำความเย็น(Off cycle defrost) การละลายน้ำแข็งด้วยวิธีทางไฟฟ้า(Electric defrost) การละลายน้ำแข็งด้วยการใช้แก๊สร้อน (Hot gas defrost) ในระบบควบคุมการทำงานของตู้แช่เย็นทั่วไปจะเป็นการตั้งค่าการละลายน้ำแข็งตามรอบที่กำหนด เช่น กำหนดให้ละลายรอบละ 20 นาที ในทุกๆ 4 ชั่วโมง เป็นต้น วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่าย ต้นทุนต่ำ มีเสถียรภาพแต่อย่างไรก็ตามระยะเวลาในการละลายน้ำแข็งจะคำนวนมาจากกรณีที่ร้ายแรงที่สุด[2][3] ที่ทำให้แน่ใจว่าสามารถละลายน้ำแข็งได้สมบูรณ์ในสภาพที่มีน้ำแข็งเกาะที่แผงอีแวปปอเรเตอร์หนาแน่น ดังนั้นรอบในการละลายน้ำแข็งที่ไม่จำเป็นจึงมีแนวโน้มเกิดขึ้น ซึ่งจะเป็นการลดทอนประสิทธิภาพในการทำความเย็นและเป็นการใช้พลังงานที่ไม่ก่อประโยชน์ที่แท้จริง

แนวความคิดของบทความนี้เป็นการสร้างระบบควบคุมการละลายน้ำแข็งที่แผงอีแวปปอเรเตอร์ตามปริมาณที่ต้องการทำละลายเท่านั้น ไม่อ้างอิงตามรอบเวลาที่กำหนดให้ถึงรอบการละลายน้ำแข็งเหมือนดังเช่นระบบควบคุมทั่วๆไป การทำงานเบื้องต้นของระบบจะใช้การประมวลผลเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิที่แผงอีแวปปอเรเตอร์กับอุณหภูมิอากาศภายในตู้แช่เย็นในช่วงพักเครื่องที่มีความเย็นคงค้างซึ่งจะมีชั้นน้ำแข็งบางๆ ที่เกาะครีบและท่อน้ำยาของแผงอีแวปปอเรเตอร์ โดยอุณหภูมิที่แผงอีแวปปอเรเตอร์ในขณะนั้นจะต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายในตู้แช่ ซึ่งระบบจะสั่งงานให้ถ่ายเทความเย็นในส่วนนี้ไปสู่พื้นที่ทำ

ความเย็นในตู้แช่ก่อนที่จะสั่งให้คอมเพรสเซอร์ทำงาน ซึ่งจะช่วยลดเวลาการทำงานของคอมเพรสเซอร์ให้น้อยลงทำให้ประหยัดการใช้พลังงานลงได้

2. การพิจารณาออกแบบ

2.1 หลักการเบื้องต้น

ระบบที่นำเสนอนี้จะใช้วิธีการละลายน้ำแข็งแบบหยุดรอบการทำความเย็น(Off cycle defrost) ตู้แช่เย็นทั่วไปจะรักษาอุณหภูมิภายในตู้แช่ให้อยู่ที่ประมาณ 1 °C ~ 5 °C โดยอุณหภูมิของอีแวปปอเรเตอร์จะออกแบบไว้ที่ประมาณ -8°C ในรอบการทำงานของระบบทำความเย็นของตู้แช่ เมื่อตัวควบคุมอุณหภูมิตรวจจับอุณหภูมิภายในตู้แช่ได้ถึงระดับที่ตั้งไว้โดยตู้แช่เย็นทั่วไปจะตั้งไว้ที่ 1 °C ตัวควบคุมจะสั่งให้คอมเพรสเซอร์หยุดทำงาน ขณะนี้อุณหภูมิที่อีแวปปอเรเตอร์จะอยู่ที่ประมาณ -8 °C ทำให้ความชื้นในอากาศเกิดการควบแน่นและถึงจุดเยือกแข็งจับตัวสะสมที่ครีบอีแวปปอเรเตอร์ หลังจากนั้นจนกระทั่งเซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิภายในตู้แช่ได้ที่อุณหภูมิ 4 °C จึงจะสั่งงานให้คอมเพรสเซอร์ทำงานอีกครั้งและขณะนี้อุณหภูมิที่อีแวปปอเรเตอร์จะอยู่ที่ประมาณ -0.5 °C หลักการทำงานของระบบควบคุมการละลายน้ำแข็งที่แผงอีแวปปอเรเตอร์ตามความต้องการจริง จะใช้ความเย็นที่คงค้างอยู่ที่แผงอีแวปปอเรเตอร์ ซึ่งในขณะนั้นจะอยู่ที่ -0.5 °C เป็นตัวจ่ายความเย็นให้กับตู้แช่จนกระทั่งตัวตรวจจับอุณหภูมิอีกตัวที่วัดอุณหภูมิอีแวปปอเรเตอร์จะวัดอุณหภูมิได้ถึง 1°C ซึ่งเป็นจุดที่สูงกว่าอุณหภูมิหลอมละลายของน้ำและน้ำแข็งที่จับตัวที่แผงอีแวปปอเรเตอร์ละลาย จึงจะสั่งงานให้คอมเพรสเซอร์ทำงานสร้างความเย็นอีกครั้ง

2.2 ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์

ความชื้นคือละอองไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศซึ่งจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของสภาพอากาศขณะนั้นด้วย โดยอากาศในฤดูร้อนมักจะมีความชื้นมากว่าอากาศในฤดูหนาว จำนวนความชื้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการระเหยเป็นไอของละอองไอน้ำ อากาศแห้งจะเกิดการระเหยเป็นไอของละอองไอน้ำได้เร็วกว่าอากาศชื้น

ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity หรือ RH) หมายถึงอัตราส่วนระหว่าง ปริมาณความชื้นที่มีอยู่จริงในอากาศกับปริมาณความชื้นที่อากาศขณะนั้นจะรองรับได้เต็มที่ ณ อุณหภูมิเดียวกัน หากปริมาณความชื้นมีมากกว่าก็จะกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ หน่วยของความชื้นสัมพัทธ์จึงออกมาเป็นเปอร์เซนต์ (%) [6] ดังแสดงในสมการที่ 1

$$\%RH = \frac{\text{ปริมาณไอน้ำในอากาศ}}{\text{ปริมาณไอน้ำที่ทำให้อากาศอิ่มตัว}} \times 100 \qquad (1)$$

2.3 ปริมาณความร้อนที่ใช้ละลายน้ำแข็งที่อีแวปปอเรเตอร์

ปริมาณความร้อนที่ต้องดึงออกจากน้ำแข็งที่เกาะอยู่บริเวณอีแวปปอเรเตอร์หาได้ดังแสดงในสมการที่ 2 [4]

$$Btu = (lbs \times Sp.H \times T.D.) + L.H \qquad (2)$$

Btu = ปริมาณความร้อนที่ต้องดึงออก

Lbs = น้ำหนักของน้ำแข็ง

Sp.H. = ความร้อนจำเพาะของน้ำแข็ง

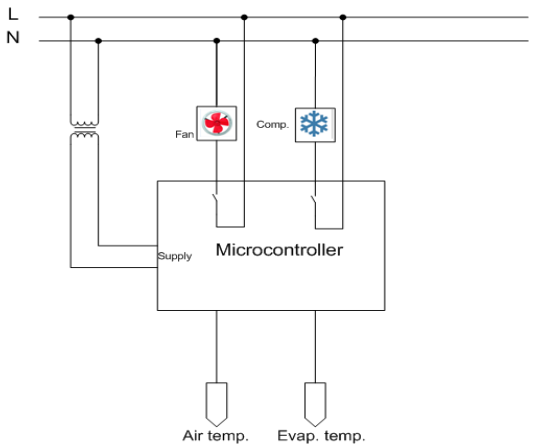
T.D. = อุณหภูมิแตกต่างของน้ำแข็ง

L.H. = ความร้อนแฝงของการหลอมละลายของน้ำแข็ง

2.4 ชุดควบคุม

ระบบที่นำเสนอนี้จะใช้การประมวลผลค่าที่วัดได้จากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ 2 จุด คือ จุดที่ 1 วัดอุณหภูมิอากาศภายในตู้แช่และจุดที่ 2 วัดอุณหภูมิแผงอีแวปปอเรเตอร์ ก่อนนำค่าที่วัดได้ไปประมวลผลเพื่อสั่งงานให้พัดลมหรือคอมเพรสเซอร์ทำงานตามลำดับ โดยเริ่มต้นจากการปรับตั้ง cut in – cut off การทำงานของคอมเพรสเซอร์ ซึ่งใช้เซนเซอร์วัดอุณหภูมิจุดที่ 1 เป็นตัวแสดงผลอุณหภูมิภายในตู้แช่และตั้งค่าอุณหภูมิสูงสุด – ต่ำสุดของอีแวปปอเรเตอร์(max-min evaporator temperature)ที่ถูกวัดโดยเซนเซอร์วัดอุณหภูมิจุดที่ 2

เมื่อค่าที่วัดได้จากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิจุดที่ 1 สูงกว่าหรือเท่ากับค่า cut in ค่าที่วัดได้จากเซนเซอร์จุดที่ 2 จะถูกนำมาเปรียบเทียบหากอุณหภูมิของอีแวปปอเรเตอร์ต่ำกว่าหรือเท่ากับค่า cut off หน่วยประมวลผลจะสั่งงานให้พัดลมทำงานเพียงอย่างเดียวเพื่อถ่ายเทความเย็นจากอีแวปปอเรเตอร์ไปสู่ภายในตู้แช่จนกระทั่งอุณหภูมิของอีแวปปอเรเตอร์สูงกว่าหรือเท่ากับค่า cut off หน่วยประมวลผลจึงจะสั่งให้คอมเพรสเซอร์ทำงานพร้อมกับพัดลมจนกว่าเซนเซอร์วัดอุณหภูมิจุดที่ 1 จะวัดอุณหภูมิภายในตู้แช่ได้ต่ำกว่าหรือเท่ากับค่า cut off จึงสั่งให้ พัดลมและคอมเพรสเซอร์หยุดทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ผังการทำงานของระบบควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

2.5 การติดตั้งระบบ

ติดตั้งระบบควบคุมเข้ากับตู้แช่เย็นแสตนเลสขนาดขนาดหน้ากว้าง 150 เซนติเมตร จำนวน 2 ใบ มาทำงานพร้อมกันภายใต้สภาวะเงื่อนไขเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 2 และรูปที่ 3 โดยวางตำแหน่งเครื่องบันทึกอุณหภูมิตามตำแหน่งต่างๆ ดังนี้

1.เซนเซอร์วัดอุณหภูมิอากาศภายในตู้แช่

2.เซนเซอร์วัดอุณหภูมิอีแวปปอเรเตอร์

3.เครื่องมืออุณหภูมิสินค้า

4.เครื่องมือบันทึกอุณหภูมิอากาศภายในตู้แช่เย็น

5.เครื่องมือบันทึกอุณหภูมิและความชื้นอากาศบริเวณภายในห้องทดสอบ

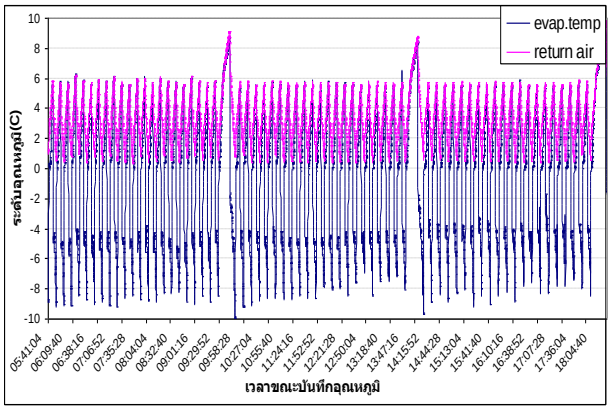
รูปที่ 2 การติดตั้งตู้แช่เย็นเพื่อทดสอบเปรียบเทียบ

รูปที่ 3 การถอดห้องเครื่องเพื่อติดตั้งสายวัดอุณหภูมิ

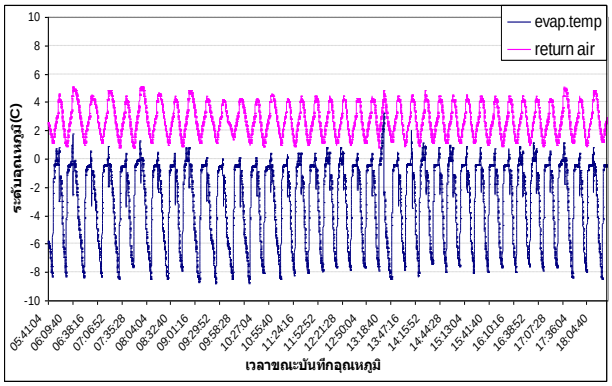
3. ผลการทดสอบ

3.1 ผลการวัดระดับอุณหภูมิภายในตู้แช่เย็น

เมื่อทำการติดตั้งเครื่องมือบันทึกอุณหภูมิเรียบร้อยแล้วจะทำการบันทึกค่าอุณหภูมิภายในตู้แช่เย็นเปรียบเทียบกันระหว่างระบบควบคุมการละลายน้ำแข็งตามรอบเวลากับระบบละลายน้ำแข็งตามปริมาณจริง ดังแสดงในรูปที่ 5 และ รูปที่ 6



รูปที่ 5 อุณหภูมิภายในตู้แช่เย็นเมื่อควบคุม
ด้วยระบบละลายน้ำแข็งตามรอบเวลา



รูปที่ 6 อุณหภูมิภายในตู้แช่เย็นเมื่อควบคุม
ด้วยระบบละลายน้ำแข็งตามปริมาณจริง

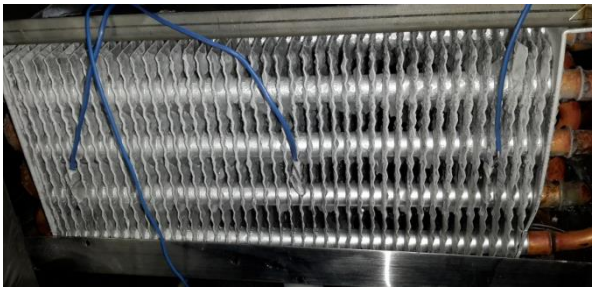
จากกราฟอุณหภูมิรูปที่ 5 และรูปที่ 6 จะเห็นว่าเมื่อเครื่องทำความเย็นทำงานด้วยระบบละลายน้ำแข็งทั้ง 2 อุณหภูมิภายในตู้แช่เย็นจะไม่ต่างกันมากนัก แต่ช่วงที่มีการละลายน้ำแข็งตามรอบเวลาอุณหภูมิภายในตู้แช่จะเพิ่มสูงและคอมเพรสเซอร์จะใช้เวลานานในการดึงอุณหภูมิให้ลดลงอยู่ในค่าที่ควบคุมอีกทั้งมอเตอร์พัดลมจะทำงานตลอดเวลา และช่วงที่มีการละลายน้ำแข็งตามรอบเวลาบางช่วง อุณหภูมิ

ภายในตู้แช่จะสูงขึ้น จะทำให้อุณหภูมิสินค้าภายในตู้แช่ไม่คงที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของสินค้า

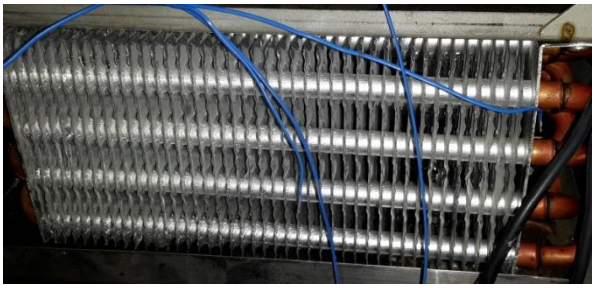
3.2 ผลการวัดเพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงาน

จากการทดลองพบว่าตู้แช่เย็นที่ใช้ระบบการละลายน้ำแข็งตามรอบเวลา ใช้พลังงานอยู่ที่ 7.86 kWh/Day ในขณะที่ระบบการละลายน้ำแข็งตามปริมาณจริง ช่วงเวลาที่คอมเพรสเซอร์ทำงานจะใช้เวลาประมาณ 12 ชั่วโมง 43 นาทีต่อ 1 วัน และใช้พลังงานอยู่ที่ 7.21kWh/Day น้อยกว่าระบบละลายน้ำแข็งตามรอบเวลาอยู่ที่ประมาณ 8%

สภาพของ evaporator ของตู้แช่ที่ทำงานด้วยระบบละลายน้ำแข็งตามรอบเวลา เมื่อหยุดเครื่องและถอดห้องเครื่องมาตรวจสอบว่าที่ครีบจะมีฟิล์มน้ำแข็งเริ่มจับตัวสะสมจนเห็นได้ชัด แต่ตู้แช่ทดสอบพบว่ามีเพียงความชื้นจับที่ครีบโดยที่ยังไม่จับตัวเป็นฟิล์มน้ำแข็งสะสมเหมือนตู้แช่ที่ทดสอบคู่กัน



รูปที่ 6 evaporator ของตู้แช่ที่ทำงานด้วยระบบละลายน้ำแข็งตามรอบเวลา



รูปที่ 7 evaporator ของตู้แช่ที่ทำงานด้วยระบบละลายน้ำแข็งตามปริมาณจริง

4. สรุป

ระบบการละลายน้ำแข็งตามปริมาณจริงเป็นระบบควบคุมอุณหภูมิของระบบทำความเย็นที่ใช้ความเย็นคงค้างที่อีแวปปอเรเตอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งมีประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมตู้แช่เย็นที่สามารถใช้งานได้โดยไม่ต้องปรับตั้งค่าการทำละลายน้ำแข็งที่แผงอีแวปปอเรเตอร์ให้เหมาะสมกับสภาพอากาศในแต่ละช่วงฤดูกาลเหมือนกับระบบควบคุมการละลายน้ำแข็งแบบเดิม ซึ่งระบบการละลายน้ำแข็งแบบตามปริมาณจริงจะเป็นการละลายน้ำแข็งออกจากอีแวปปอเรเตอร์ในทุกรอบการทำงานช่วง cut in – cut off และการจัดการทำงานของพัดลม evaporator ผลที่ได้คือมีการใช้พลังงานของระบบทำความเย็นที่ลดลงแต่ระดับอุณหภูมิภายในตู้แช่ยังคงอยู่ในระดับเดียวกัน เป็นประโยชน์ต่อธุรกิจในด้านการลดต้นทุนค่าพลังงาน แม้จะยังมีข้อจำกัดการทำงานของระบบเนื่องจากการทำงานที่ยังไม่สามารถใช้ควบคุมการทำงานของตู้แช่แข็งได้ แต่สามารถใช้เป็นฐานข้อมูลในการนำไปพัฒนาต่อยอดเพื่อให้สามารถทำงานได้ครอบคลุมทุกช่วงอุณหภูมิการทำงานได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้การสนับสนุนและความช่วยเหลือในการจัดทำบทความนี้ซึ่งได้ช่วยให้บทความนี้สำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Brian Dolin, “Frost and Defrost”, RSES journal, December 2010.

[2] Master-Bilt Refrigeration Solution, “Cool it : Defrosting Basic & Beyond”, Vol.11, October2010.

[3] Zhongliang LIU,Lingyan HUANG,Yujun GOU, “Experimental investigations of frost release by hydrophilic surfaces”, Front Energy Power Eng China, 2010.

[4] Liu, Z., H. Wang, X. Zhang, S. Meng, and C. Ma. "An experimental study on minimizing frost deposition on a cold surface under natural convection conditions by use of a novel anti-frosting paint. Part I. Anti-frosting performance and comparison with the uncoated metallic surface." *International Journal of Refrigeration* 29, no. 2 (2006): 229-236.

[5] นวภัทรา หนูนาค, ทวีพล ซื่อสัตย์, “การวัดและเครื่องมือวัด : การประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร”, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ, 2555.

[6] สนอง อิ่มเอม เครื่องทำความเย็นและปรับอากาศรถยนต์, อมรินทร์พริ้นติ้ง กรุ๊พ จำกัด, กรุงเทพฯ, 2535