



การศึกษาทดลองการจัดการละลายน้ำแข็งในระบบเครื่องทำความเย็น
เพื่อการประหยัดพลังงาน

Experimental Study Defrost Management in Refrigeration to Energy Saving

นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ
มนัส บุญเทียรทอง

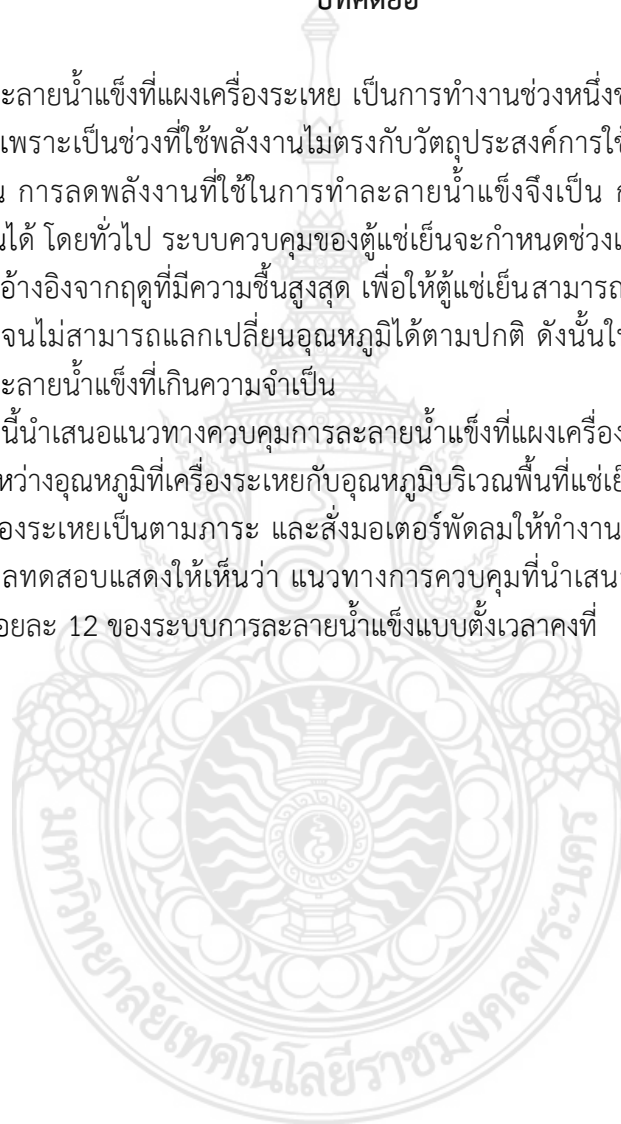
งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณเงินรายจ่าย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อเรื่อง : การศึกษาทดลองการจัดการละลายน้ำแข็งในระบบเครื่องทำความเย็นเพื่อการประหยัดพลังงาน
ผู้วิจัย : รศ.ดร. นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.พระนคร
ผศ.ดร.มนัส บุญเทียรทอง สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.พระนคร
พ.ศ. : 2561

บทคัดย่อ

การทำละลายน้ำแข็งที่แผงเครื่องระเหย เป็นการทำงานช่วงหนึ่งของตู้แช่เย็นที่ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงาน เพราะเป็นช่วงที่ใช้พลังงานไม่ตรงกับวัตถุประสงค์การใช้งานซึ่งต้องการใช้พลังงานเพื่อทำความเย็น การลดพลังงานที่ใช้ในการทำละลายน้ำแข็งจึงเป็น กลยุทธ์หนึ่งที่สามารถช่วยประหยัดพลังงานได้ โดยทั่วไป ระบบควบคุมของตู้แช่เย็นจะกำหนดช่วงเวลาละลายน้ำแข็งด้วยการตั้งเวลาคงที่ โดยอ้างอิงจากฤดูที่มีความชื้นสูงสุด เพื่อให้ตู้แช่เย็นสามารถทำงานได้โดยไม่เกิดปัญหา น้ำแข็งหนาแน่นจนไม่สามารถแลกเปลี่ยนอุณหภูมิได้ตามปกติ ดังนั้นในฤดูที่มีความชื้นต่ำจะเกิดช่วงเวลาการทำละลายน้ำแข็งที่เกินความจำเป็น

งานวิจัยนี้นำเสนอแนวทางควบคุมการละลายน้ำแข็งที่แผงเครื่องระเหยของตู้แช่เย็น โดยใช้ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่เครื่องระเหยกับอุณหภูมิบริเวณพื้นที่แช่เย็น เพื่อให้การทำละลายน้ำแข็งที่แผงเครื่องระเหยเป็นตามภาวะ และสั่งมอเตอร์พัดลมให้ทำงานสัมพันธ์กับช่วงเวลาในการละลายน้ำแข็ง ผลทดสอบแสดงให้เห็นว่า แนวทางการควบคุมที่นำเสนอทำให้ตู้แช่เย็นใช้พลังงานโดยรวมน้อยลงร้อยละ 12 ของระบบการละลายน้ำแข็งแบบตั้งเวลาคงที่



Title : Experimental Study Defrost Management in Refrigeration to Energy Saving
Researcher : Associate Professor Dr.Nattachote Rugthaicharoencheep,
Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, RMUTP
Assistant Professor Dr.Manut Boontieantong,
Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, RMUTP
Year : 2018

Abstract

Defrosting at evaporator panel is one of working cycles in freezer. Power consumption in defrosting does not meet the objective of using freezer, therefore, the approach to decrease power consumption in defrosting is one strategy for energy saving. Normally, the cycle of defrosting in freezer is a constant time that specify by referring to the highest humidity period. With this control concept, the problem of temperature exchange is not occurred from ice accumulation at evaporator panel but it makes the over necessity of defrosting process in the low humidity season and cause the unnecessary power usage in freezer.

This research presents the control approach for defrosting by using the difference of the temperature at evaporator and the temperature at chilling area. By using this approach, the defrosting process is operated depend on load and the fan is on or off relate to defrosting time. Test results demonstrate that about 12% of power can be saved by this control approach when compared to constant time control.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่อง การศึกษาทดลองการจัดการละลายน้ำแข็งในระบบเครื่องทำความเย็นเพื่อการประหยัดพลังงาน ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณเงินรายจ่าย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณผู้เกี่ยวข้องที่ไม่ได้กล่าวนามในที่นี้ ที่ให้ความช่วยเหลือตลอดมา ประโยชน์อันใดที่เกิดจากงานวิจัยในครั้งนี้ ล้วนเป็นผลมาจากความกรุณาทุกท่าน คณะผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยขอมอบบูชาแด่คณาจารย์ทุกท่านที่ประสาทวิชาความรู้แก่คณะผู้วิจัย

คณะผู้วิจัย



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 บทนำ	5
2.2 ระบบการทำความเย็นแบบอัดไอ	5
2.3 องค์ประกอบการถ่ายโอนความร้อนของเครื่องระเหย	7
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	14
บทที่ 3 การออกแบบชุดควบคุมการทำละลายน้ำแข็งที่แผงเครื่องระเหยตามภาวะ	16
3.1 การออกแบบชุดควบคุมการทำละลายน้ำแข็งที่แผงเครื่องระเหยตามภาวะ	16
3.2 ไดอะแกรมการทำงานของชุดควบคุมการทำละลายน้ำแข็งที่แผงเครื่องระเหยตามภาวะ	18
3.3 การประยุกต์ใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์สำเร็จรูป	19
3.4 ฮาร์ดแวร์ที่นำมาประยุกต์ใช้งานต่อพ่วง	20

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 วิธีการทดสอบและผลการทดสอบ	23
4.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ทำการทดสอบ	23
4.2 การทดสอบภายนอกห้องทดสอบ	24
4.3 การทดสอบภายในห้องทดสอบ	23
4.4 การทดสอบอุณหภูมิ	27
4.5 การทดสอบการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า	28
4.6 ผลการทดสอบอุณหภูมิ	29
4.7 ผลการทดสอบการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า	33
4.8 การตรวจสอบการละลายน้ำแข็ง	35
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	37
5.1 บทนำ	37
5.2 สรุปผลการวิจัย	37
5.3 ข้อเสนอแนะ	39
บรรณานุกรม	41
ภาคผนวก	44
ประวัติผู้วิจัย	53



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1	1
1.2	2
2.1	5
2.2	9
2.3	10
2.4	11
2.5	12
2.6	13
3.1	17
3.2	18
3.3	20
3.4	21
3.5	21
3.6	22
3.7	22
4.1	23
4.2	24
4.3	25
4.4	26
4.5	26
4.6	27
4.7	30
4.8	30
4.9	31

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.10	กราฟแสดงอุณหภูมิในสภาวะเสถียร ตู้แช่เครื่องที่ 2	31
4.11	กราฟอุณหภูมิของสิ่งทดสอบในสภาวะเสถียร ตู้แช่เครื่องที่ 1	32
4.12	กราฟอุณหภูมิของสิ่งทดสอบในสภาวะเสถียร ตู้แช่เครื่องที่ 2	32
4.13	กราฟแสดงความถี่ในการเดิน – หยุดคอมเพรสเซอร์ของตู้แช่เครื่องที่ 1	33
4.14	กราฟแสดงความถี่ในการเดิน – หยุดคอมเพรสเซอร์ของตู้แช่เครื่องที่ 2	34
4.15	ภาพน้ำแข็งบริเวณต่างๆ ของเครื่องระเหยฝั่งลมออกของตู้แช่เครื่องที่ 1	35
4.16	ลักษณะหยดน้ำแข็งจับตัวเป็นก้อนเล็กน้อยตามครีบบของเครื่องระเหย	36
5.1	กราฟแสดงอุณหภูมิเครื่องระเหยและอากาศภายในตู้แช่เครื่องที่ 1	38
5.2	กราฟแสดงอุณหภูมิเครื่องระเหยและอากาศภายในตู้แช่เครื่องที่ 2	38
5.3	ถาดรองรับน้ำจากถาดใต้เครื่องระเหยของตู้แช่เครื่องที่ 2 มีน้ำล้นถาด	40



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	ค่าพารามิเตอร์ในการปรับตั้งชุดควบคุม	18
4.1	ชั้นภูมิอากาศ (เรียงตามมวลไอน้ำในอากาศแห้ง)	25
4.2	แสดงผลการอุณหภูมิเฉลี่ยของสิ่งทดสอบในสถานะเสถียร	33
4.3	ผลการทดสอบการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า	34

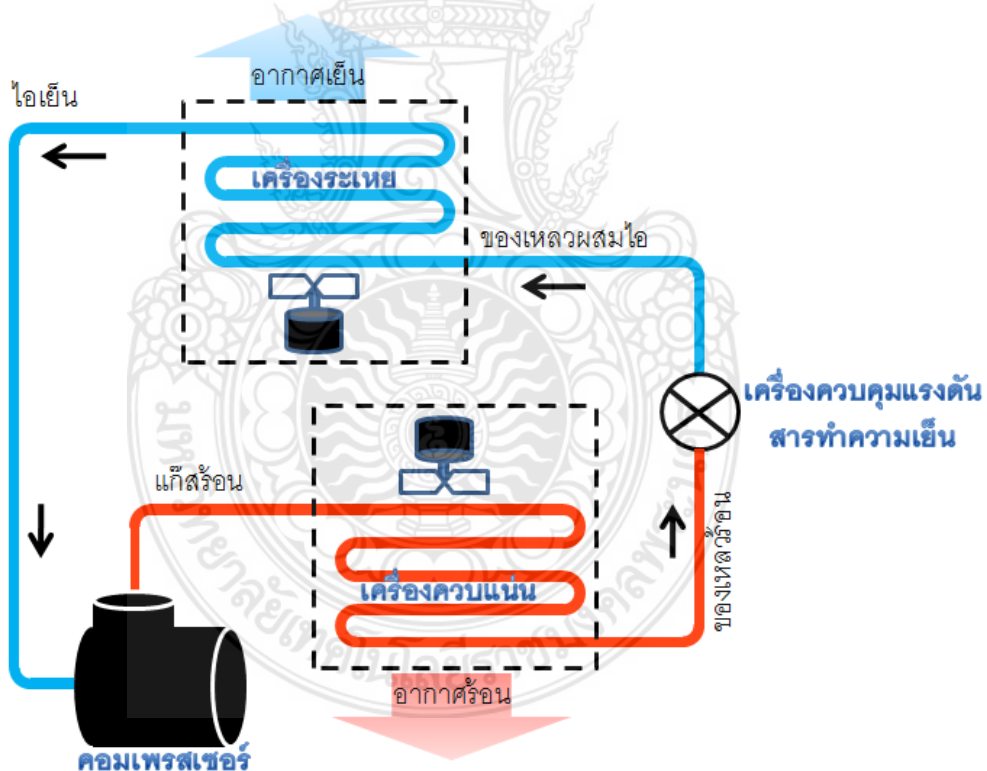


บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหา

ปัจจุบันพลังงานไฟฟ้าถือว่าเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมากที่ใช้ในธุรกิจเครื่องทำความเย็น มีการนำเสนอแนวทางด้านเทคโนโลยีใหม่ๆ มากมายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบการทำความเย็นให้สูงขึ้น ซึ่งอาจหมายถึง การใช้พลังงานที่น้อยลง นอกเหนือจากการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อสร้างความเย็นแล้ว ช่วงระยะเวลาการละลายน้ำแข็งที่เครื่องระเหยเป็นรอบการทำงานช่วงหนึ่งที่ต้องใช้พลังงานในการละลายน้ำแข็งที่อาจถือได้ว่าเป็นช่วงที่เกิดค่าความสูญเสียที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้นในเครื่องระเหย หรือระบบทำความเย็นเลย แต่ด้วยข้อจำกัดของระบบตู้แช่เย็นที่เราไม่สามารถหลีกเลี่ยงการเกิดน้ำแข็งเกาะที่แผงเครื่องระเหยได้ จึงต้องมีระบบละลายน้ำแข็งเพื่อรักษาประสิทธิภาพการทำความเย็นของระบบ



ภาพที่ 1.1 วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ

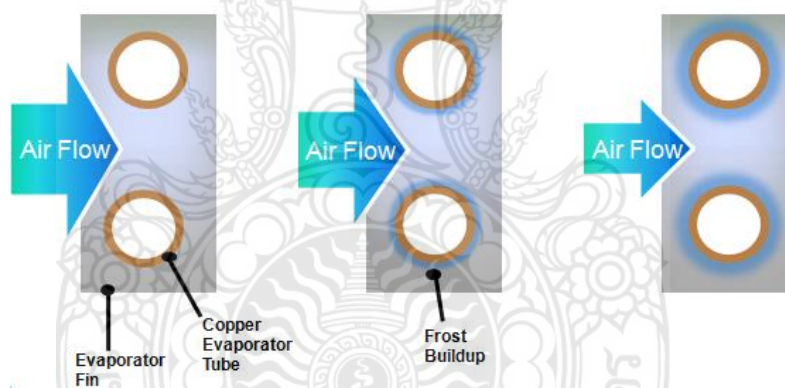
เครื่องทำความเย็นถูกนำมาใช้เพื่อทำอุณหภูมิให้เหมาะสมแก่การรักษาของผลิตภัณฑ์ โดยส่วนใหญ่จะใช้ระบบการทำความเย็นแบบอัดไอ ในเทคนิคนี้สารทำความเย็นที่ถูกอัดจากคอมเพรสเซอร์รวมตัวเป็นของเหลวในเครื่องควบแน่น จากนั้นสารทำความเย็นที่มีสถานะเป็นของเหลวจะถูกลดความดัน และถูกฉีดเข้าเครื่องระเหย ที่เครื่องระเหยนี้ความร้อนจะถูกดูดเข้าไปช่วยในการระเหยของ

สารทำความเย็น และสารทำความเย็นที่ระเหยนี้จะถูกดูดกลับไปยังคอมเพรสเซอร์เพื่อเข้าสู่กระบวนการอัดอีกครั้งเป็นวัฏจักรอัดที่สมบูรณ์ ดังภาพที่ 1.1

โดยทั่วไป อากาศเย็นจากเครื่องระเหยจะถูกนำไปใช้ทำให้สินค้าเย็น โดยกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อน อุณหภูมิของของสารทำความเย็นในเครื่องระเหยจะเย็นกว่าอุณหภูมิของอากาศ และมีอุณหภูมิพื้นผิวระเหยต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำ ที่ผิวของเครื่องระเหยจะเริ่มมีน้ำแข็งก่อตัวขึ้นดังภาพที่ 1.2

ชั้นของน้ำแข็งที่ใกล้เคียงกับพื้นผิวของเครื่องระเหยจะมีแนวโน้มที่จะเป็นลักษณะคล้ายกับก้อนน้ำแข็ง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความชื้นอุณหภูมิระเหย และการไหลของอากาศ ชั้นต่อมาของน้ำแข็งอาจจะมีมากขึ้นเป็นผลึกน้ำแข็ง ในบางกรณีน้ำแข็งจะไม่เริ่มก่อตัวที่พื้นผิวจนกระทั่งอุณหภูมิที่ผิวใกล้ -5°C (26°F) แต่ในระบบทั่วไปจำเป็นต้องมีการละลายน้ำแข็ง

โดยทั่วไปอุณหภูมิเครื่องระเหยจะต่ำมาก และครีบบมีการเว้นระยะที่เหมาะสมเพื่อเป็นพื้นที่สำหรับน้ำแข็งที่จะก่อตัวขึ้นก่อนที่จะขัดขวางการไหลของอากาศ และน้ำแข็งจะกลายเป็นฉนวนขัดขวางการแลกเปลี่ยนความร้อนของแผงเครื่องระเหย นอกจากนี้ยังขัดขวางการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผงเครื่องระเหยอีกด้วยซึ่งจำเป็นต้องมีการละลายน้ำแข็งเพื่อรักษาประสิทธิภาพของระบบเครื่องทำความเย็น



ภาพที่ 1.2 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนความร้อนจะลดลง
เมื่อเกิดน้ำแข็งเกาะที่ครีบบของเครื่องระเหย

เอกสารประกอบการฝึกอบรมของศูนย์ทรัพยากรฝึกอบรมเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน [1] เรื่อง การประหยัดพลังงานในระบบทำความเย็นได้กล่าวว่าการละลายน้ำแข็งโดยใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในเชิงพลังงานขึ้นอยู่กับปัจจัยต่อไปนี้

- การละลายน้ำแข็งควรกระทำเฉพาะเท่าที่จำเป็นเท่านั้น ต่อเมื่อสมรรถนะของเครื่องลดลง
- ใช้วิธีการให้ความร้อนที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด
- จัดการให้ความร้อนกระจายอย่างสม่ำเสมอไปทั่วชุดครีบบ
- หยุดการละลายน้ำแข็งทันทีที่น้ำแข็งละลายหมดสิ้น

- ควบคุมปริมาณความร้อนที่ใช้ในการละลายน้ำแข็งซึ่งอาจมีการรั่วไหลไปสู่ของไหลในระบบ หรือของที่แช่ให้น้อยที่สุดหรือผลิตภัณฑ์ให้น้อยที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 ศึกษาแนวทางในการลดการใช้พลังงานของระบบตู้แช่เย็นเชิงพาณิชย์ ด้วยการจัดการระบบละลายน้ำแข็ง
- 1.2.2 ศึกษากระบวนการละลายน้ำแข็งที่แผงเครื่องระเหยด้วยวิธีการต่างๆ ไว้เป็นแนวทางในการเลือกใช้วิธีการละลายน้ำแข็งให้มีความเหมาะสมกับภาระ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 วิเคราะห์การจัดการระบบละลายน้ำแข็งที่แผงเครื่องระเหยของตู้แช่เย็นเชิงพาณิชย์ที่มีขนาดกำลังคอมเพรสเซอร์ไม่เกิน 1 แรงม้า
- 1.3.2 เปรียบเทียบ และวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการจัดการระบบละลายน้ำแข็งแบบกำหนดช่วงเวลากับการละลายน้ำแข็งตามปริมาณจริง

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1.4.1 ศึกษานิยาม หลักการทำงานของระบบเครื่องทำความเย็นแบบอัดไอ
- 1.4.2 ศึกษาลักษณะกระบวนการเกิดน้ำแข็งที่แผงเครื่องระเหย
- 1.4.3 ศึกษาลักษณะ วิธีการจัดการ คุณสมบัติและความสามารถในการจัดการระบบละลายน้ำแข็งด้วยวิธีการต่างๆ
- 1.4.4 เขียนโปรแกรมในการจัดการระบบละลายน้ำแข็งในตู้แช่เย็นเชิงพาณิชย์
- 1.4.5 ทดสอบการทำงานของโปรแกรม
- 1.4.6 ประเมินผลการทดสอบ และสรุปผลการทดสอบ
- 1.4.7 จัดทำงานวิจัย และตรวจสอบแก้ไข

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

- 1.5.1 ได้แนวทางลดการใช้พลังงานของตู้แช่เย็นเชิงพาณิชย์ ด้วยการจัดการระบบละลายน้ำแข็งที่แผงเครื่องระเหย
- 1.5.2 ได้ทราบถึงวิธีการละลายน้ำแข็งที่แผงเครื่องระเหยให้มีความเหมาะสมกับภาระ

บทที่ 2

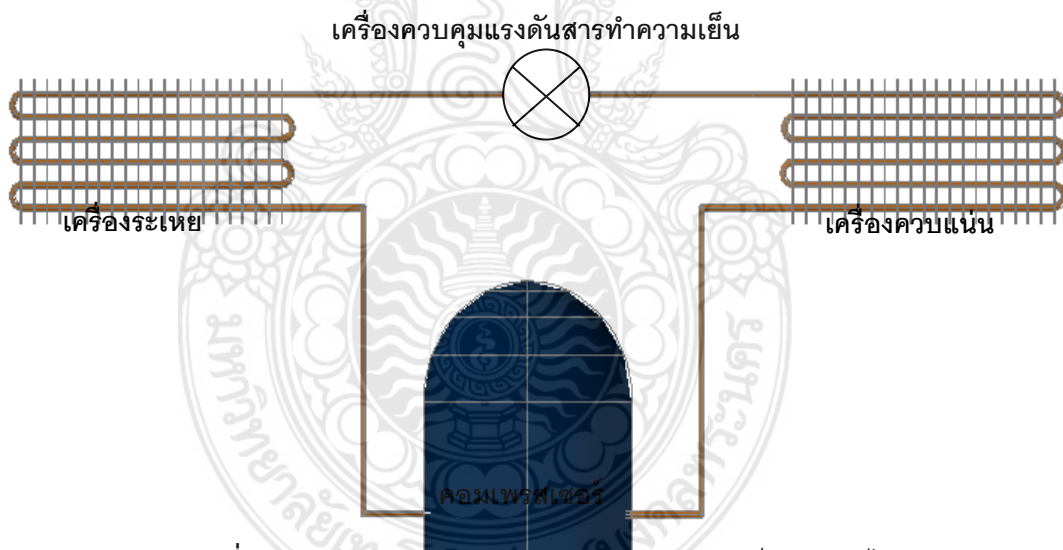
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

การทำความเย็น คือ การลด และรักษาระดับอุณหภูมิของพื้นที่ว่างหรือเทหวัตถุต่างๆ ให้ต่ำกว่าปกติ เช่น การทำความเย็นในตู้เย็น ตู้น้ำเย็น ตู้แช่ ห้องเย็น เป็นต้น การเกิดความเย็นในเครื่องทำความเย็น รวมทั้งเครื่องปรับอากาศที่มีใช้อยู่ทั่วไป ไม่ว่าจะเป็นตู้เย็น ตู้แช่ เครื่องปรับอากาศรถยนต์ มีหลักการเบื้องต้นในการทำให้เกิดความเย็นเหมือนกันหมดคือ การทำให้สารซึ่งเป็นตัวกลางในการทำความเย็น (refrigerant) เปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นไอ จะเกิดการดูดความร้อนจากบริเวณใกล้เคียง ซึ่งจะทำให้บริเวณนั้นมีอุณหภูมิต่ำลง จึงเกิดความเย็นขึ้น [2]

2.2 ระบบการทำความเย็นแบบอัดไอ (Vapor compression)

ระบบอัดไอเป็นระบบที่ทำให้เกิดความเย็นขึ้นได้โดยอาศัยการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ร่วมกัน ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 แสดงวงจรการทำงานของระบบทำความเย็นแบบอัดไอ

2.2.1 หน้าที่และการทำงานของอุปกรณ์ในระบบการทำความเย็นแบบอัดไอ

- 1) คอมเพรสเซอร์ (compressor) ทำหน้าที่ดูดสารทำความเย็นในสถานะที่เป็นไอจากเครื่องระเหย และอัดให้มีความดันสูงขึ้นจนสามารถควบแน่นได้ที่คอนเดนเซอร์
- 2) เครื่องควบแน่น (condenser) ทำหน้าที่ระบายความร้อนออกจากสารทำความเย็นเพื่อควบแน่นเป็นของเหลว

- 3) เครื่องควบคุมแรงดัน (expansion valve หรือ refrigerant control) ทำหน้าที่ลดความดันของสารทำความเย็นที่ออกจากคอนเดนเซอร์ เพื่อจ่ายให้กับเครื่องระเหย
- 4) เครื่องระเหย (evaporator) ทำหน้าที่ดูดความร้อนออกจากบริเวณรอบๆ เพื่อทำให้สารทำความเย็นเปลี่ยนสถานะเป็นไอ ทำให้บริเวณใกล้เคียงเกิดความเย็นขึ้น

2.2.2 การทำงานของวงจรการทำความเย็นแบบอัดไอ

การทำงานของวงจรการทำความเย็นแบบอัดไออาศัยสารทำความเย็น (refrigerant) ซึ่งมีหลายชนิด แต่ทุกชนิดจะต้องมีคุณสมบัติเบื้องต้นเหมือนกันคือ สามารถเปลี่ยนสถานะได้ง่าย เช่น ที่นิยมใช้กันทั่วไป คือ R-12, R-22 หรือ R-134a ซึ่งเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นไอได้ที่อุณหภูมิ -21.6°F (-29.8°C), -41.4°F (-40.8°C) และ -15.1°F (-26.2°C) ตามลำดับ ภายใต้ความดันบรรยากาศ

การทำงานเริ่มที่คอมเพรสเซอร์จะดูดสารทำความเย็นในสภาพที่เป็นไอจากเครื่องระเหยเข้าทางด้านดูด (suction) ของคอมเพรสเซอร์และอัดออกให้มีความดันสูงขึ้นและส่งออกทางด้านส่ง (discharge) ของคอมเพรสเซอร์เข้าเครื่องควบแน่น

สารทำความเย็นภายใต้อุณหภูมิ และความดันสูงนี้ เมื่อผ่านเครื่องควบแน่นจะถูกระบายความร้อนออกจนถึงจุดควบแน่น สารทำความเย็นจะเปลี่ยนสถานะจากไอไปเป็นของเหลวตกลงด้านล่างของเครื่องควบแน่น

สารทำความเย็นในสภาพที่เป็นของเหลวจะถูกส่งผ่านเครื่องควบคุมแรงดันทำให้สารทำความเย็นเกิดการขยายตัว ความดันจะลดลงจนสารทำความเย็นไม่สามารถคงสถานะเดิม (ของเหลว) จึงเปลี่ยนเป็นไอ

การเปลี่ยนสถานะของสารทำความเย็นจากของเหลวเป็นไอขณะออกจากเครื่องควบคุมความดัน และตลอดช่วงที่ผ่านเครื่องระเหยนี้ จะทำให้เกิดความเย็นขึ้นเนื่องจากของเหลวจะดูดความร้อนออกจากบริเวณรอบๆ ไปใช้เป็นการระเหยแฝงในการเปลี่ยนสถานะ ทำให้บริเวณรอบๆ เครื่องระเหยเกิดความเย็นขึ้น

เมื่อสารทำความเย็นผ่านเครื่องระเหยจะเปลี่ยนสถานะเป็นไอหมด และถูกคอมเพรสเซอร์ดูดและอัดให้มีความดันสูงขึ้น และถูกส่งไปใช้งานในวงจร หมุนเวียนเช่นนี้ตลอดไปโดยสารทำความเย็นจะไม่สูญหาย จึงไม่จำเป็นต้องเติมเพิ่มเข้าไปในระบบอีก ถ้าไม่มีจุดที่สารทำความเย็นรั่วออกมาได้

2.3 องค์ประกอบการถ่ายโอนความร้อนของเครื่องระเหย

เครื่องระเหยต้องมีคุณสมบัติที่ดีในการถ่ายโอนความร้อนจากผลิตภัณฑ์ให้กับสารทำความเย็นภายในขดท่อหรือในเครื่องระเหย การถ่ายโอนความร้อนของเครื่องระเหย เกิดขึ้นได้มาจะต้องมีองค์ประกอบสำคัญคือ [3]

2.3.1 วิธีการถ่ายโอนความร้อนของเครื่องระเหย

การถ่ายโอนความร้อนจะเกิดขึ้นระหว่างสารทำความเย็นกับผลิตภัณฑ์และปริภูมิผ่านผนังท่อและความร้อนดังกล่าวเข้าสู่เครื่องระเหยโดยการถ่ายโอนความร้อนได้ 3 วิธีดังนี้

- 1) การพาความร้อน ในกรณีอากาศไหลผ่านเครื่องระเหยอาจโดยแรงโน้มถ่วง เนื่องจากความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างเครื่องระเหยกับอากาศในปริภูมิที่จะทำให้เย็น หรือโดยวิธีใช้พัดลมพัดอากาศในปริภูมิที่จะทำให้เย็นให้เกิดการไหลเวียนผ่าน

2) การแผ่รังสีความร้อน ความร้อนเครื่องระเหยอาจได้รับการแผ่รังสีความร้อนโดยตรงจากผนังห้อง จากอากาศในปริภูมิที่ทำให้เย็น

3) การนำความร้อน ในกรณีสิ่งที่ถูกทำให้เย็นสัมผัสที่ผิวเครื่องระเหยโดยตรงที่ผิวนอกท่อเครื่องระเหย การถ่ายโอนความร้อนเกิดจากการนำความร้อน

ความร้อนจะเข้าสู่เครื่องระเหยด้วยวิธีใด ในแต่ละวิธีเป็นปริมาณเท่าใดก็ตาม ถือเอาว่าเป็นปริมาณความร้อนทั้งหมดที่จะไปทำให้สารทำความเย็นในเครื่องระเหยเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ ทำให้อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์และปริภูมิลดลงเรียกว่าเกิดความร้อน และถือว่าปริมาณความร้อนที่เครื่องระเหยถ่ายโอนรับไปได้ในหนึ่งหน่วยเวลา เรียกว่าวิสัยสามารถ เครื่องระเหย

2.3.2 วิสัยสามารถของเครื่องระเหย

วิสัยสามารถของเครื่องระเหยหรือคอยล์เย็น คือ อัตราที่ความร้อนจากปริภูมิผ่านผนังท่อเข้าไปสู่สารทำความเย็นในท่อในหนึ่งหน่วยเวลา หรืออัตราที่สารทำความเย็นในเครื่องระเหยถ่ายโอนรับเอาพลังงานความร้อนไปได้ในหนึ่งหน่วยเวลา [4] มีหน่วยเป็น kcal/h เมื่ออุณหภูมิของสารทำความเย็นในเครื่องระเหยคงที่ ประมาณเท่ากับอุณหภูมิระเหย (t_e) ตลอดช่วงที่อยู่ในเครื่องระเหย ดังนั้นวิสัยสามารถเครื่องระเหย เขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$Q_k = KA(t_m - t_e) \quad (2.1)$$

โดย $Q_k =$ วิสัยสามารถทำความเย็นได้ของเครื่องระเหย (kcal/h)
 $K =$ สปส.การถ่ายโอนความร้อนรวมของเครื่องระเหย (kcal/m²h^oC)
 $A =$ พื้นที่ถ่ายโอนความร้อนของเครื่องระเหย (m²)
 $t_m =$ อุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลที่จะทำให้เย็น (°C)
 $t_e =$ อุณหภูมิระเหย (°C)

ตามสมการที่ (2.2) เรียกว่า ภาระความร้อนของเครื่องระเหย ซึ่งก็คือวิสัยสามารถเครื่องระเหยนั่นเอง โดยปริมาณความร้อนนี้จะไปทำให้สารทำความเย็นระเหยกลายเป็นไอในเครื่องระเหย ปริมาณ q_m ในหนึ่งหน่วยเวลา และจากวัฏจักรการทำงานเครื่องทำความเย็นแบบอัดไอสารทำความเย็นบนแผนภาพมอลเลอร์ หาความสัมพันธ์ได้ตามสมการต่อไปนี้

$$Q_k = q_m(h_2 - h_1) \quad (2.2)$$

โดย $Q_k =$ วิสัยสามารถทำความเย็นได้ของเครื่องระเหย (kcal/h)
 $q_m =$ อัตราไหลผ่านเครื่องระเหยของสารทำความเย็น (kg/h)
 $h_1 =$ เอนทัลปีของสารทำความเย็นก่อนเข้าสู่เครื่องระเหย (kcal)
 $h_2 =$ เอนทัลปีของสารทำความเย็นเมื่อออกจากเครื่องระเหย (kcal)

กรณีเครื่องระเหยทำความเย็นให้กับของไหลที่ความจุความร้อนจำเพาะ c และไหลผ่านด้วยอัตราการไหล q_m ในหนึ่งหน่วยเวลา จากสมการที่ (2.2) จึงได้ความสัมพันธ์ดังสมการที่ (2.3)

$$Q_k = cq_m(t_{w1} - t_{w2}) \quad (2.3)$$

โดย $Q_k =$ วิสัยสามารถทำความเย็นได้ของเครื่องระเหย (kcal/h)
 $q_m =$ อัตราไหลผ่านเครื่องระเหยของของไหลที่จะทำให้เย็น (kcal/h)
 $t_{w1} =$ อุณหภูมิของของไหลตอนเข้าสู่เครื่องระเหย (°C)

t_{w2} = อุณหภูมิของของไหลตอนออกจากเครื่องระเหย ($^{\circ}\text{C}$)

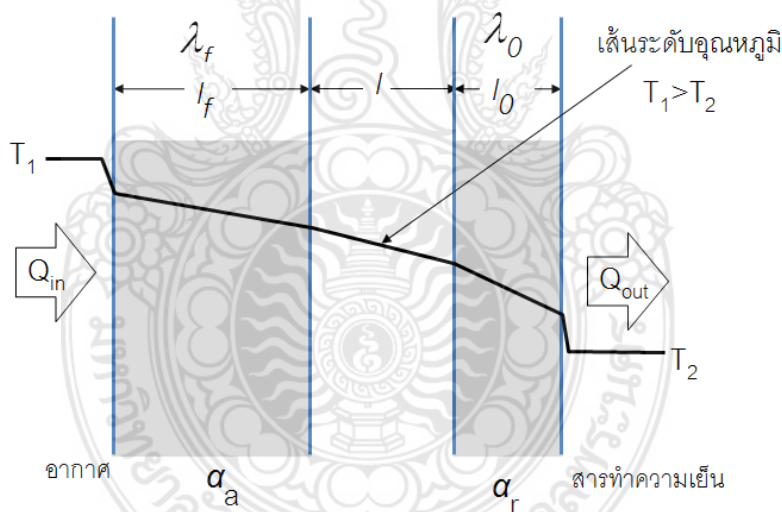
c = ความจุความร้อนจำเพาะของของไหลที่จะทำให้เย็น ($\text{kcal/kg}^{\circ}\text{C}$)

เมื่อเปรียบเทียบกับคอนเด็นเซอร์พบว่า พลังงานความร้อนถ่ายโอนออกจากสารทำความเย็นไปยังตัวกลางระบายความร้อนภายนอกท่อ แต่ที่เครื่องระเหยพลังงานความร้อนจากผลิตภัณฑ์หรือปฏิกิริยาถ่ายโอนรับความร้อนให้กับสารทำความเย็นภายในท่อ ซึ่งหาได้จากความสัมพันธ์ตามสมการที่ (2.1), (2.2) และ (2.3) สามารถใช้ประกอบในการออกแบบเครื่องระเหยได้

2.3.3 องค์ประกอบหลักที่มีผลต่อประสิทธิภาพเครื่องระเหย

องค์ประกอบดังกล่าวได้แก่ สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนทั้งหมด (K) พื้นที่ถ่ายโอนความร้อน (A) และอุณหภูมิแตกต่างกันเล็กน้อย ($t_m - t_e$) แต่ละองค์ประกอบมีผลทำให้ประสิทธิภาพเครื่องระเหยเปลี่ยนไปดังนี้

1) สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนรวม คุณสมบัติต้านทานความร้อนของโลหะที่นำมาสร้างเครื่องระเหย หากความต้านทานมาก การถ่ายโอนความร้อนเกิดขึ้นได้น้อย ดังนั้นจึงต้องเลือกโลหะที่ค่าความต้านทานความร้อนน้อยหรือ โลหะที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนมาก ในทางปฏิบัติเครื่องระเหยที่สร้างขึ้นมาใช้งานจะเกิดคราบสกปรกคราบน้ำมันที่ผิวเครื่องระเหย สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนจึงเป็นสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนรวม (K) เช่นเดียวกับของเครื่องควบแน่น



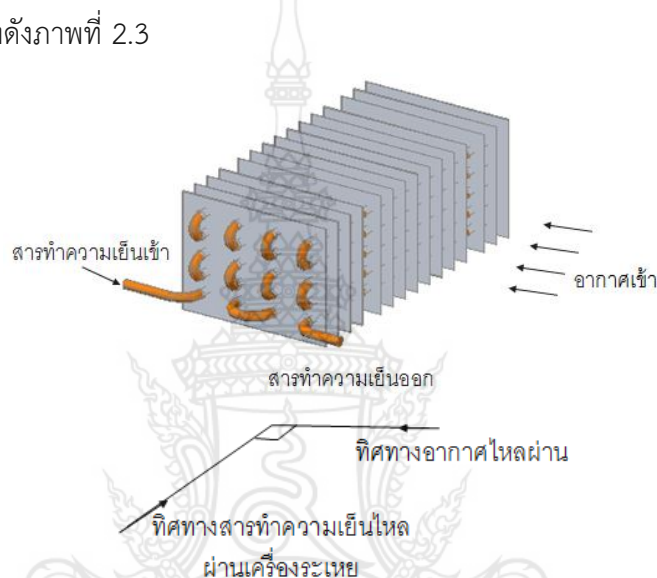
ที่มา : (Overseas Vocational Training Association, 1998, p.32)

ตามภาพที่ 2.2 เส้นเข้มแสดงระดับอุณหภูมิของอากาศที่ถ่ายโอนความร้อนผ่านคราบสกปรกผ่านผนังท่อ และผ่านคราบน้ำมันไปสู่สารทำความเย็น อุณหภูมิสารทำความเย็นสูงขึ้น ทำให้หาสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนรวม K ดังสมการที่ (2.4) (Overseas Vocational Training, 1998, p.31)

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_r} + \frac{l_0}{\lambda_0} + \frac{l}{\lambda} + \frac{l_f}{\lambda_f} + \frac{1}{\alpha_a}} \quad (2.4)$$

2) อุณหภูมิผลต่างเฉลี่ย การถ่ายโอนความร้อนระหว่างของไหลที่จะถูกทำให้เย็นกับสารทำความเย็นจะเกิดขึ้นได้ต้องมีความแตกต่างระดับพลังงานความร้อน หรือระดับอุณหภูมิแตกต่างกัน ยิ่งอุณหภูมิแตกต่างกันมากการถ่ายโอนความร้อนยิ่งเกิดขึ้นได้มาก โดยถือเอาว่าอุณหภูมิสารทำความเย็นคงที่เท่ากับอุณหภูมิระเหยตัวของสารทำความเย็นในเครื่องระเหย หรือเท่ากับอุณหภูมิเครื่องระเหย (t_e)

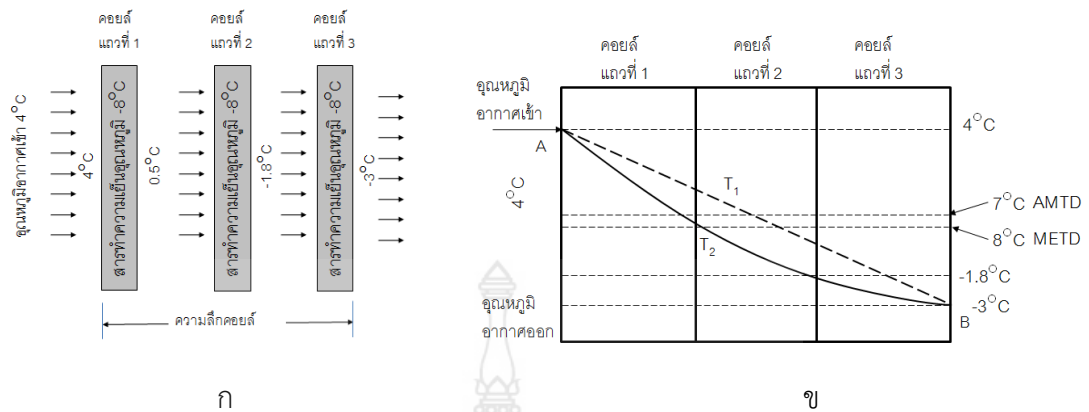
ในกรณีการถ่ายโอนความร้อนในเครื่องระเหย ของไหลที่ถูกบังคับให้ไหลผ่านในทิศทางสวนทางกับการไหลของสารทำความเย็นหรือไหลสวนทางและตั้งฉาก เพื่อทำให้เครื่องระเหยมีขนาดเล็กและประสิทธิภาพสูงดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 แผนภาพทิศทางการไหลของสารทำความเย็นกับอากาศที่ผ่านคอยล์เย็น

ภาพที่ 2.3 เป็นแผนภาพทิศทางการไหลของสารทำความเย็น และอากาศ ผ่านเครื่องระเหยแบบครีบบีมี่คอยล์ 4 แถว โดยสารทำความเย็นไหลเข้าคอยล์แถวหลังแล้วไหลออกที่แถวหน้าสุดของเครื่องระเหย ไหลในทิศทางตั้งฉากกับอากาศที่ไหลผ่านเข้าทางด้านหน้าเครื่องระเหย เพื่อให้การถ่ายโอนความร้อนเกิดมากที่สุดได้ในหนึ่งหน่วยเวลา

พฤติกรรมการถ่ายโอนความร้อนที่เกิดขึ้นจริงนั้น เมื่ออากาศไหลเข้าเครื่องระเหยผ่านสวนทางกับสารทำความเย็นในเครื่องระเหย อุณหภูมิของอากาศจะลดลงอย่างรวดเร็วในตอนต้นๆ เพราะมีความแตกต่างอุณหภูมิมาก เมื่อเข้าสู่ตอนกลาง และเลยไปยังตอนปลายเครื่องระเหย การถ่ายโอนความร้อนจะน้อยลงเพราะความแตกต่างอุณหภูมิน้อยลง



ภาพที่ 2.4 แผนภูมิการลดลงของอุณหภูมิอากาศที่ผ่านเครื่องระเหยและกราฟแสดงระดับอุณหภูมิอากาศช่วงที่อยู่ในเครื่องระเหย
ที่มา : Dossat, 1997, pp.184-185

ภาพที่ 2.4 ก แผนภูมิแสดงการลดลงของอุณหภูมิอากาศที่ไหลผ่านเครื่องระเหยแสดงว่าอากาศได้ถ่ายโอนความร้อนให้กับเครื่องระเหย อุณหภูมิอากาศลดลงเมื่อนำไปเขียนความสัมพันธ์จะได้เส้นกราฟเป็นเส้นโค้ง A-B ในภาพที่ 2.4 ข การลดลงของอุณหภูมิอากาศ หรือของเหลวที่ไหลผ่านเครื่องระเหยจะลดลงเร็วในตอนต้น ผ่านขดท่อชุดแรกมากกว่าขดท่อชุดต่อไป นั่นคือความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างสารทำความเย็นกับอากาศที่ไหลผ่านขดท่อชุดแรกมากกว่าที่ขดท่อชุดต่อไป อุณหภูมิแตกต่างเฉลี่ยที่เป็นจริงคือจุด T_2 อยู่บนเส้นโค้งนี้ อุณหภูมิที่จุด T_2 เป็นค่าแตกต่างเฉลี่ยลอการิทึม แทนด้วย LMTD ; logarithmic mean temperature difference หาได้ดังนี้ (Overseas Vocational Training Association, 1998, p.36)

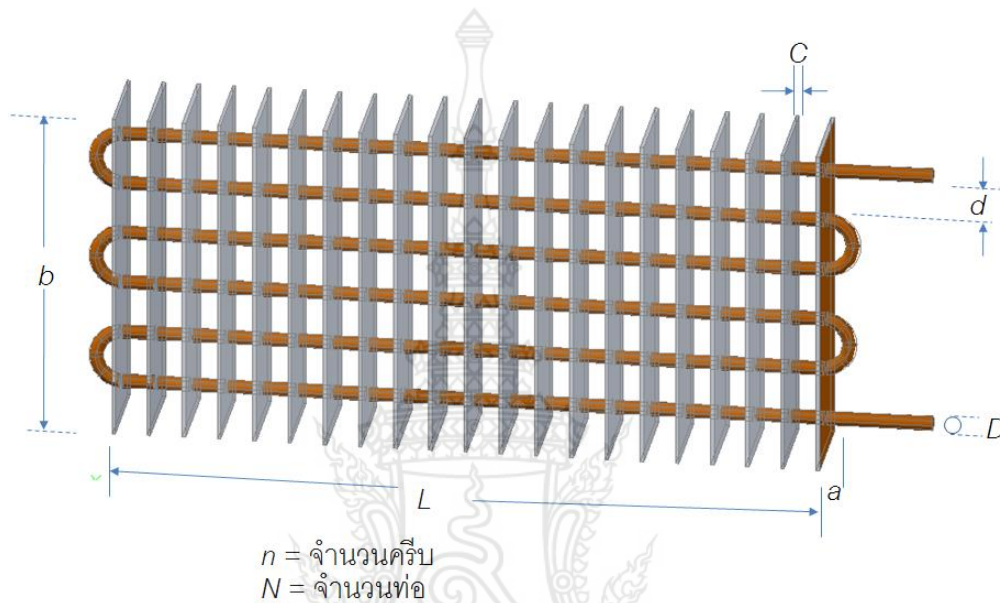
$$LMTD = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} \tag{2.5}$$

กรณีที่อากาศผ่านเครื่องระเหยที่มีขดท่อหลายแถว ไหลผ่านเครื่องระเหยที่วางจระท่อยาว การหาปริมาณความร้อนที่ถ่ายโอนไปสู่สารทำความเย็นใช้ค่า LMTD จะได้ค่าที่ถูกต้อง ซึ่งปัจจุบันเรียกว่าอุณหภูมิผลต่างเฉลี่ยยังผล แทนด้วย METD ; mean effective temperature difference แต่ถ้าเครื่องระเหยที่มีขดท่อแถวเดียวเวลาในการไหลผ่านสั้น เส้นกราฟแสดงระดับอุณหภูมิตัวกลางระบายความร้อนลดลงในอัตราคงที่ตลอดช่วงที่อยู่ในเครื่องระเหย อุณหภูมิผลต่างเฉลี่ยจะอยู่ที่จุด T_1 ซึ่งอยู่กึ่งกลางเส้นตรง A-B เรียกว่าอุณหภูมิผลต่างเฉลี่ยเลขคณิต แทนด้วย AMTD ; arithmetic mean temperature difference หาได้ดังนี้ (Overseas Vocational Training Association, 1998, p.36)

$$AMTD = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{2} \tag{2.6}$$

3) ปริมาณพื้นที่ผิว (surface area) พื้นที่ผิวเครื่องระเหย หมายถึง พื้นที่ที่ใช้เพื่อการถ่ายโอนความร้อนให้กับของไหลที่ไหลผ่าน หากเป็นเครื่องระเหยแบบท่อเปลือย พื้นที่ผิวนอกท่อทั้งหมด

ใช้เพื่อการถ่ายโอนความร้อน แต่ถ้าเป็นเครื่องระเหยแบบมีครีบริบ พื้นที่เพื่อการถ่ายโอนความร้อน (A) ประกอบด้วยพื้นที่ผิวครีบริบส่วนสัมผัสอากาศ (A_1) และพื้นที่ผิวท่อส่วนสัมผัสกับอากาศ (A_2)



ภาพที่ 2.5 ลักษณะเครื่องระเหยแบบครีบริบเพื่อหาขนาดพื้นที่ถ่ายโอนความร้อน

ภาพที่ 2.5 เป็นเครื่องระเหยแบบครีบริบ พร้อมขนาดส่วนประกอบและข้อมูลขนาดส่วนประกอบ เครื่องระเหยแบบครีบริบ สามารถหาขนาดพื้นที่ทั้งหมดของเครื่องระเหยส่วนสัมผัสตัวกลางช่วยระบายความร้อนได้ดังนี้

$$A = A_1 + A_2 \quad (2.7)$$

โดยพื้นที่ผิวครีบริบส่วนสัมผัสอากาศ (A_1) หาได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

$$A_1 = 2nab + 2n(a+b)c - 2nN\pi r^2 \quad (2.8)$$

เมื่อ $2nab =$ พื้นที่ผิวครีบริบทั้งหมด (ครีบริบละ 2 หน้า)

$2n(a+b)c =$ พื้นที่ผิวรอบขอบครีบริบทั้งหมด

$2nN\pi r^2 =$ พื้นที่ครีบริบส่วนที่ถูกเจาะออกเพื่อสอดใส่ท่อ
(จำนวน n ครีบริบ ครีบริบละ $2N$ รู)

พื้นที่ผิวท่อส่วนสัมผัสกับอากาศ (A_2) หาได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

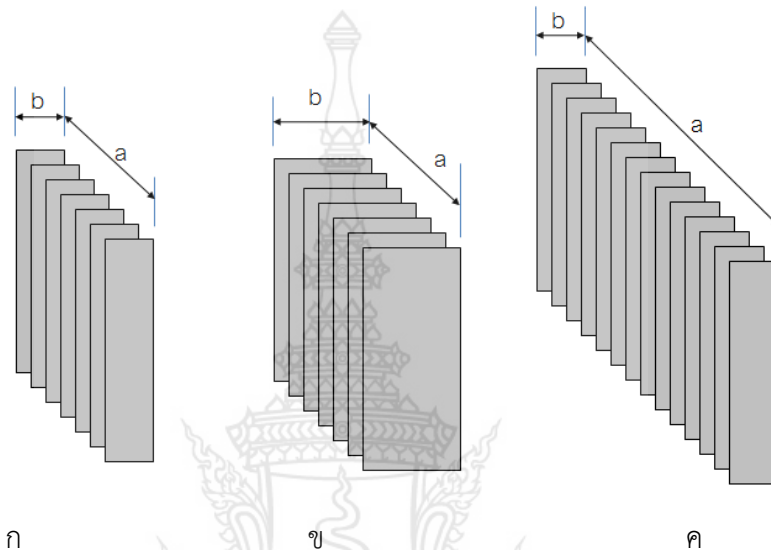
$$A_2 = N\pi DL + (N-1)\left(\frac{1}{2}\pi d\right)(\pi D) - 2nc\pi DN \quad (2.9)$$

เมื่อ $N\pi DL =$ พื้นที่ผิวนอกท่อส่วนที่ตรงทั้งหมด

$$(N-1)\left(\frac{1}{2}\pi d\right)(\pi D) = \text{พื้นที่ผิวนอกท่อส่วนที่โค้งเชื่อมต่อระหว่างท่อ}$$

$$2nc\pi DN = \text{พื้นที่ผิวท่อส่วนที่ถูกความหนาเคลือบปิดทับไว้ทั้งหมด}$$

ตามสมการที่ (2.7) แสดงให้เห็นวิสัยสามารถของเครื่องระเหยแปรผันตรงกับปริมาณพื้นที่ผิวภายนอกของเครื่องระเหย เมื่อให้ค่า K และค่า METD คงที่ แต่มีหลายกรณีเมื่อปริมาณพื้นที่ผิวของเครื่องระเหยเปลี่ยนไปแล้วมีผลต่อค่า K และค่า METD



ภาพที่ 2.6 แผนภาพพื้นที่ผิวเครื่องระเหยมีผลต่อวิสัยสามารถและ METD

ภาพที่ 2.6 แผนภาพเปรียบเทียบพื้นที่ผิวเท่ากันแต่วิสัยสามารถไม่เท่ากันและการเพิ่มพื้นที่ผิวเครื่องระเหยเพื่อให้วิสัยสามารถเครื่องระเหยเพิ่มขึ้น แต่วิสัยสามารถที่เพิ่มจะไม่เท่ากันแม้ว่าพื้นที่ผิวที่เพิ่มขึ้นเท่ากัน หาก METD ไม่เท่ากัน

พิจารณาเครื่องระเหยภาพที่ 2.6 ข และ ค ต่างมีพื้นที่ผิวเป็น 2 เท่าเครื่องระเหย ภาพที่ 2.6 ก เมื่อให้อากาศไหลผ่านเครื่องระเหย ภาพที่ 2.6 ก, ข และ ค ด้วยอัตราไหลเดียวกัน METD ของเครื่องระเหย ภาพที่ 2.6 ก และ ค เท่ากัน วิสัยสามารถเครื่องระเหย ภาพที่ 2.6 ค เป็น 2 เท่าของ ภาพที่ 2.6 ก เพราะพื้นที่หน้าตัดรับอากาศไหลผ่านเครื่องระเหย ภาพที่ 2.6 ค เป็น 2 เท่าอากาศผ่านเครื่องระเหย ภาพที่ 2.6 ก แต่เมื่อพิจารณาเครื่องระเหยที่เครื่องระเหย ภาพที่ 2.6 ข มีพื้นที่ผิวเป็น 2 เท่าของเครื่องระเหย ภาพ 2.6 ก แต่อากาศที่ไหลผ่านเครื่องระเหย ภาพที่ 2.6 ข ค่า METD จะต่ำกว่าเครื่องระเหย ภาพที่ 2.6 ก และ ค ทำให้เครื่องระเหย ภาพที่ 2.6 ข มีวิสัยสามารถต่ำกว่าเครื่องระเหย ภาพที่ 2.6 ค

สำหรับเครื่องระเหยที่พื้นที่ผิวเท่ากัน เครื่องระเหยที่ยาว กว้าง และบางจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าเครื่องระเหยที่แคบ สั้น และลึก เช่น กรณีพื้นที่ติดตั้งจำกัด เครื่องระเหยต้องมีขนาดกะทัดรัดก็ขดเขยด้วยการเพิ่มความเร็วลม การใช้เครื่องระเหยเล็กๆ เวลาที่อากาศไหลผ่านเครื่องระเหยจะยาวนาน อุณหภูมิของอากาศประมาณว่าเท่ากับอุณหภูมิผิวท่อเครื่องระเหย อากาศบางส่วน อุณหภูมิต่ำกว่าจุดน้ำค้างไอน้ำในอากาศ จึงอิมตัวกลายเป็นหยดน้ำและถูกดึงความร้อนออกจนกลายเป็นน้ำแข็งจับที่ผิวครีบของเครื่องระเหย

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

J. Cai และ J. Stoustrup [5] ได้นำเสนอบทความเรื่อง การลดความเสื่อมสภาพของอาหารที่เป็นผลมาจากการละลายน้ำแข็งว่า น้ำแข็งที่แผงเครื่องระเหยเป็นปรากฏการณ์ที่รู้จักกันดีและที่ไม่พึงประสงค์ น้ำแข็งจะลดประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อน การทำละลายน้ำแข็งจะต้องมีการทำอย่างสม่ำเสมอ ในปัจจุบัน โดยทั่วไปรูปแบบการควบคุมการละลายน้ำแข็งมีสองรูปแบบคือ การละลายน้ำแข็งตามความต้องการ และการละลายน้ำแข็งตามที่กำหนดไว้ เนื่องจากจุดบกพร่องของระบบละลายน้ำแข็งตามความต้องการที่เกี่ยวข้องกับการติดตั้งเซ็นเซอร์ชนิดพิเศษ ระบบการละลายน้ำแข็งตามที่กำหนดไว้ยังคงเป็นระบบละลายน้ำแข็งที่ใช้กันมากที่สุดตามโครงการในซูเปอร์มาร์เก็ตต่างๆ

ระบบทำความเย็นเชิงพาณิชย์ ระหว่างรอบการทำงานตามปกติอุณหภูมิอากาศภายในตู้ที่แสดงเป็นปกติการควบคุมภายในข้อกำหนดอุณหภูมิสูงและต่ำตามตัวควบคุม ซึ่งเพียงพอที่จะรักษาอุณหภูมิสินค้าอยู่ในระดับที่เหมาะสม เมื่อละลายน้ำแข็งอุณหภูมิอากาศภายในตู้จะเพิ่มขึ้น จะทำให้อุณหภูมิอาหารเพิ่มสูงขึ้นด้วย บางครั้งอุณหภูมิที่สูงมากขึ้นนี้ยังละเมิดกฎระเบียบจากหน่วยงานด้านอาหาร อุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิการจับเก็บปกติจะทำให้เกิดการการสูญเสียคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร

ปัจจุบันนี้ สำหรับระบบทำความเย็นเชิงพาณิชย์ยังไม่มีมาตรการที่ชัดเจนและเชื่อถือได้ว่าสามารถป้องกันการก่อตัวของน้ำแข็ง การละลายน้ำแข็งต้องมีการทำอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นการควบคุมแบบดั้งเดิม ผลข้างเคียงของการละลายน้ำแข็งจะมีผลต่อคุณภาพของการจัดเก็บอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ มีเพียงวิธีการลดผลข้างเคียงนี้โดยรูปแบบการเพิ่มประสิทธิภาพเพียงบางส่วน

Nasrollah Azam Baleghy, Seyed Kamal-e-ddin Mousavi Mashhadi [6] กล่าวถึงระบบควบคุมของตู้เย็นโนฟรอสต์ว่า การเจริญเติบโตและการใช้งานที่เพิ่มขึ้นของระบบทำความเย็น โดยเฉพาะอย่างยิ่งตู้เย็น และตู้แช่แข็งภายในประเทศมีการปรับปรุงการควบคุม ปัจจุบันตู้เย็นโนฟรอสต์ทางเลือกที่เหมาะสมกว่าตู้เย็นที่ละลายน้ำแข็งด้วยมือ พิจารณาจากประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และประสิทธิภาพการทำงาน การออกแบบระบบการควบคุมที่เหมาะสมสำหรับตู้เย็นดังกล่าวเป็นสิ่งที่จำเป็น ในการศึกษาปัจจุบัน ตัวควบคุมแบบใหม่ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เป็น 2 องค์ประกอบที่สำคัญในการเก็บรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ระบบการควบคุมประกอบด้วยสองส่วนแยกออกจากกันคือ การควบคุมอุณหภูมิและการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ เป็นอินพุทของตัวควบคุมและความถี่ของคอมเพรสเซอร์ และแรงดันไฟฟ้าของพัดลมระเหยเป็นเอาต์พุท ในแง่ของปัญหาในทางปฏิบัติสำหรับการทำงานของตัวควบคุมฟuzzy ในไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่ไม่เป็นเชิงเส้นหลายตัวแปรการถดถอยถูกนำมาใช้ รูปแบบไม่เป็นเชิงเส้นแบบไดนามิกของตู้เย็น และรูปแบบที่ไม่รู้จักเป็นสองสาเหตุในการออกแบบตัวควบคุมฟuzzy โฉลก

Dingyuan Wang and Tangfei Tao [7] ได้นำเสนอบทความเรื่อง การวัดความหนาของน้ำแข็งแบบไม่สัมผัสด้วยกล้องขนาดเล็ก และเทคโนโลยีการประมวลผลภาพว่า ความหนาของน้ำแข็งเป็นตัวแปรที่สำคัญที่มีผลกระทบต่อระบบเครื่องทำความเย็น แต่ไม่ใช่เรื่องง่ายที่จะวัดความหนาของน้ำแข็งด้วยวิธีการแบบดั้งเดิม สำหรับน้ำแข็งสามารถทำละลายได้โดยง่ายจากความร้อน หรือความดัน จุดมุ่งหมายของการวัดความหนาของน้ำแข็ง ที่วิธีการวัดอยู่บนพื้นฐานของระบบภาพจากกล้องจุลทรรศน์ และเทคโนโลยีการประมวลผลภาพ ที่มีการเสนอ และอธิบายแนวคิดความหนาของน้ำแข็ง

ผล การทดลองกับความหนาของน้ำแข็งที่เพิ่มหนาขึ้นที่แผ่นอลูมิเนียมทั้งสองข้างเห็นได้อย่างชัดเจนจากการสังเกต และบันทึกขั้นตอนการเกิดขึ้นของผลึกน้ำแข็ง ผลการทดลองแสดงให้เห็นวิธีการวัดแบบไม่ทำลายในช่วงกระบวนการเกิดน้ำแข็ง และมันอาจจะสังเกตกระบวนการเกิดน้ำแข็งได้อย่างง่ายดายเช่นเดียวกับการวัดความหนาของน้ำแข็งที่มีความแม่นยำสูง เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ และสามารถนำมาใช้ในการวัดการก่อตัวของผลึกน้ำค้างแข็งและความหนาของชั้นน้ำค้างแข็งบนพื้นผิวที่เย็น เช่น แผ่นอลูมิเนียม และครีบบนเครื่องระเหย



บทที่ 3

การออกแบบชุดควบคุมการทำละลายน้ำแข็งที่แผงเครื่องระเหยตามภาระ

3.1 การออกแบบชุดควบคุมการทำละลายน้ำแข็งที่แผงเครื่องระเหยตามภาระ

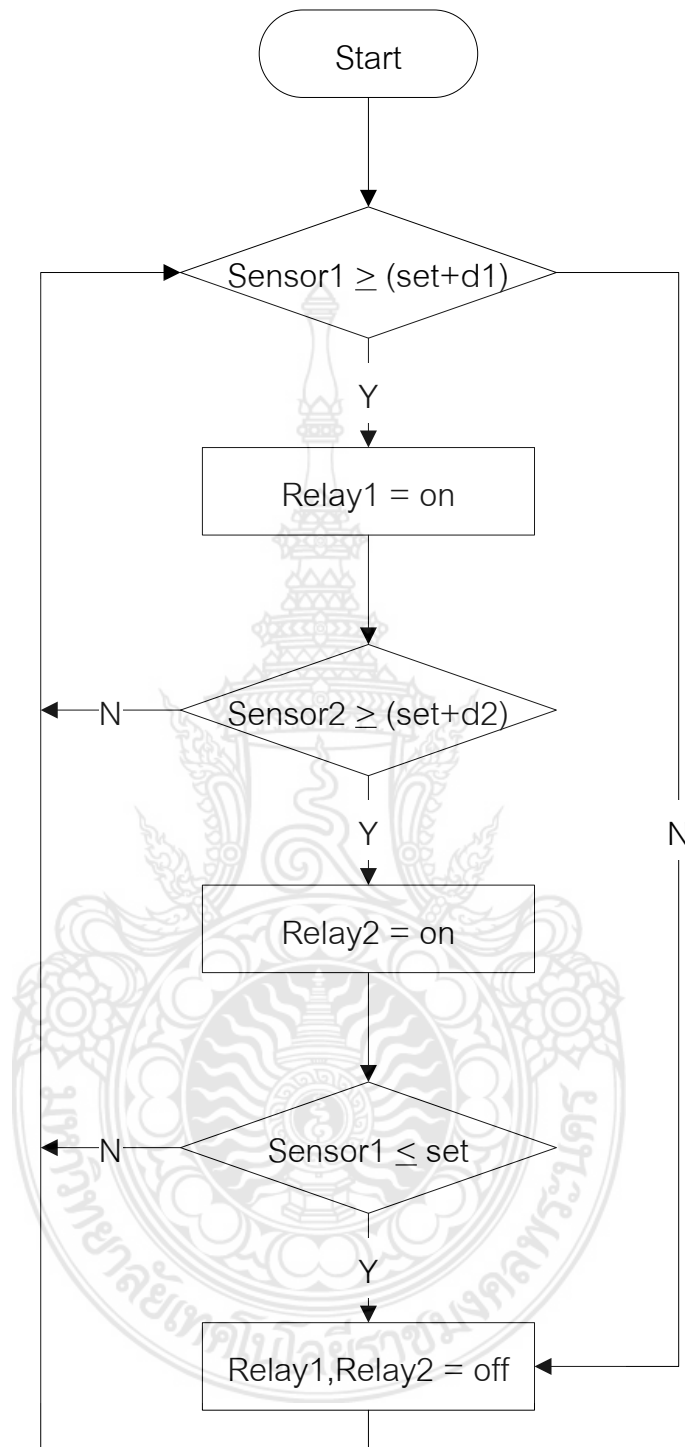
ระบบที่นำเสนอจะใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิโดยใช้เซนเซอร์วัดอุณหภูมิภายในตู้แช่จำนวน 2 ตำแหน่ง คือ

ตำแหน่งที่ 1 วัดอุณหภูมิอากาศในพื้นที่แช่เย็น

ตำแหน่งที่ 2 วัดอุณหภูมิของเครื่องระเหย

ค่าที่วัดได้จะถูกนำไปประมวลผลเพื่อจัดลำดับการทำงานของมอเตอร์พัดลม และคอมเพรสเซอร์ เริ่มต้นจากการตั้งค่า cut-in และ cut-off ที่วัดโดยเซนเซอร์ตำแหน่งที่ 1 เพื่อสั่งให้คอมเพรสเซอร์เริ่มทำงาน และหยุดทำงาน จากภาพที่ 3.1 สามารถอธิบายผังการทำงานของชุดควบคุมการทำละลายน้ำแข็งที่แผงเครื่องระเหยตามภาระได้ดังนี้

เมื่อเริ่มต้นการทำงานของเครื่อง ชุดควบคุมจะทำการวัดระดับอุณหภูมิภายในพื้นที่แช่เย็นรับค่าที่วัดได้จากเซนเซอร์ตำแหน่งที่ 1 หากมีค่าระดับอุณหภูมิสูงกว่า หรือเท่ากับค่า cut-in (set+d1) หน่วยประมวลผลจะสั่งงานให้รีเลย์ 1 จ่ายกระแสไฟฟ้าไปยังมอเตอร์พัดลมให้เริ่มทำงาน หลังจากนั้นค่าอุณหภูมิของเครื่องระเหยที่วัดได้จากเซนเซอร์ตำแหน่งที่ 2 จะถูกส่งไปยังชุดควบคุม และนำค่าที่วัดได้ไปประมวลผล ซึ่งหากระดับอุณหภูมิของเครื่องระเหยต่ำกว่าค่า set+d2 หน่วยประมวลผลจะสั่งงานให้รีเลย์ 1 ทำงานหรือให้พัดลมทำงานเพียงอย่างเดียวเพื่อถ่ายเทอุณหภูมิจากเครื่องระเหยไปสู่พื้นที่แช่เย็น จนกระทั่งระดับอุณหภูมิของเครื่องระเหยที่วัดได้จากเซนเซอร์ตำแหน่งที่ 2 สูงกว่าหรือเท่ากับค่า set+d2 หรืออุณหภูมิภายในตู้แช่อย่างใดอย่างหนึ่งมากกว่าหรือเท่ากับค่า cut-in หน่วยประมวลผลจึงจะสั่งให้รีเลย์ 2 เริ่มทำงานเพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้คอมเพรสเซอร์ทำงานพร้อมกับพัดลมจนกว่าเซนเซอร์วัดอุณหภูมิจุดที่ 1 จะวัดอุณหภูมิภายในตู้แช่ได้ต่ำกว่าหรือเท่ากับค่า cut-off หรือ set จึงสั่งให้มอเตอร์พัดลม และคอมเพรสเซอร์หยุดทำงาน

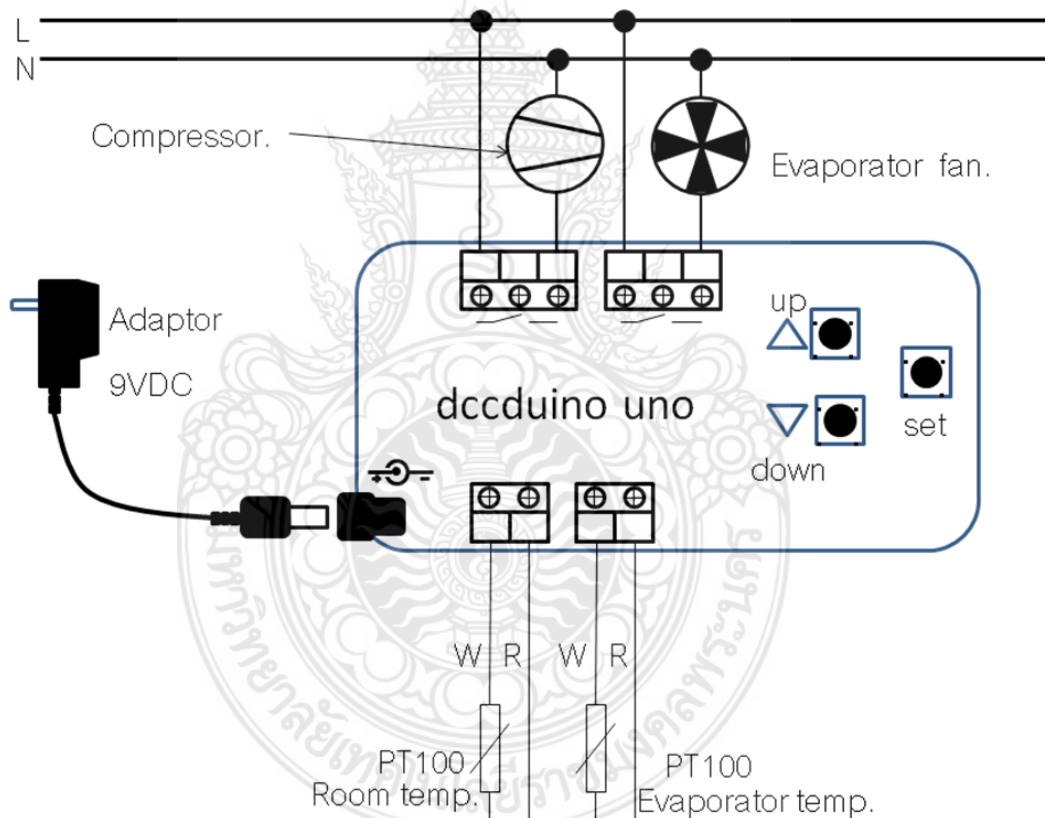


ภาพที่ 3.1 ผังการทำงานของชุดควบคุมการทำละลายน้ำแข็งที่แผงเครื่องระเหยตามภาวะ

ตารางที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์ในการปรับตั้งชุดควบคุม

สัญลักษณ์	ความหมาย
d1	ค่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ตำแหน่งที่ 1
d2	ค่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ตำแหน่งที่ 2
set+d1, cut in	ค่าอุณหภูมิที่สั่งให้คอมเพรสเซอร์เริ่มทำงาน
set, cut off	ค่าอุณหภูมิที่คอมเพรสเซอร์หยุดทำงาน
room temp.	อุณหภูมิในพื้นที่แช่เย็น
evaporator temp.	อุณหภูมิของเครื่องระเหย

3.2 ไดอะแกรมการทำงานของชุดควบคุมการทำละลายน้ำแข็งที่แผงเครื่องระเหยตามภาวะ

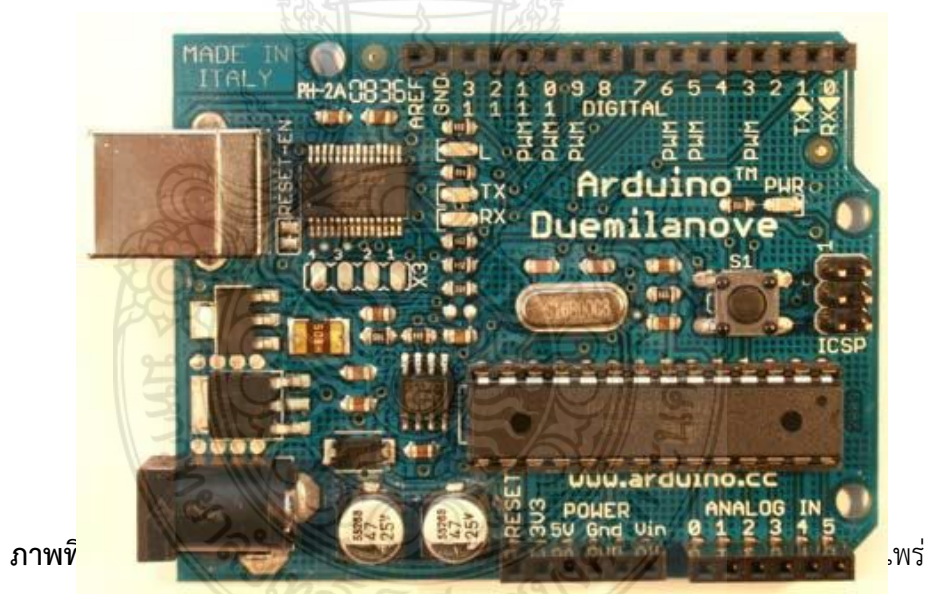


ภาพที่ 3.2 การต่อชุดควบคุมเข้ากับชุดทำความเย็นของตู้แช่

3.3 การประยุกต์ใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์สำเร็จรูป

ชุดควบคุมการทำละลายน้ำแข็งที่แผงเครื่องระเหยตามภาระนี้ ได้มีการนำบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ และอุปกรณ์ต่อพ่วงมาประกอบรวมกันเป็นชุดควบคุมขึ้น ในงานวิจัยชิ้นนี้ได้เลือกใช้งานบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์สำเร็จรูป ชื่อ Arduino ซึ่งมีจุดเด่นในเรื่องของความง่ายในการเรียนรู้และใช้งาน เนื่องจากการออกแบบคำสั่งต่างๆขึ้นมาสนับสนุนการใช้งาน ด้วยรูปแบบที่ง่ายไม่ซับซ้อน ซึ่งถึงแม้ว่า Arduino เองจะมีรูปแบบการใช้งาน คล้ายๆกับกันไมโครคอนโทรลเลอร์อย่าง Basic Stamp ของ Parallax, BX-24 ของ Netmedias และ Handy Board ของ MIT แต่ก็มีจุดเด่นกว่าของรายอื่นๆหลายอย่าง [8] เช่น

- ราคาไม่แพง เนื่องจากมี Source Code และวงจร แจกให้ฟรี สามารถต่อวงจรขึ้นมาใช้งานได้เอง
- โปรแกรมที่ใช้พัฒนาของ Arduino รองรับการทำงานทั้ง Windows, Linux และ Macintosh OSX
- มีรูปแบบคำสั่งที่ง่ายต่อการใช้งาน แต่สามารถนำไปใช้งานจริงๆที่มีความซับซ้อนมากๆได้ และยังสามารถสร้างคำสั่งและ Library ใหม่ๆ ขึ้นมาใช้งานได้ เมื่อมีความชำนาญมากขึ้นแล้ว
- มีการเปิดเผยวงจรและ Source Code ทั้งหมดทำให้สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดเพิ่มเติมได้ตามความต้องการทั้ง Hardware และ Software



ภาพที่

ฟรี

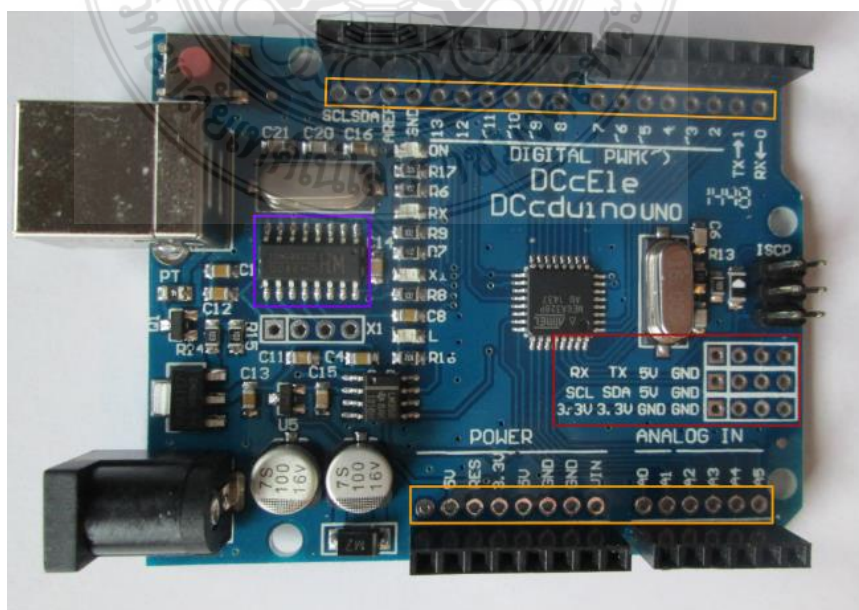
Arduino เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยใช้ AVR ขนาดเล็กเป็นตัวประมวลผลและสั่งงาน เหมาะสำหรับนำไปใช้ในการศึกษาเรียนรู้ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ และ นำไปประยุกต์ใช้งานเกี่ยวกับการควบคุมอุปกรณ์ Input/Output ต่างๆ ได้มากมาย ทั้งในแบบที่เป็นการทำงานตัวเดียวอิสระ หรือ เชื่อมต่อสั่งงานร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ เช่น คอมพิวเตอร์ ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากว่า Arduino สนับสนุนการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ Input/Output ต่างๆได้มากมาย ทั้งแบบ Digital และ Analog เช่น การรับค่าจากสวิตช์ หรืออุปกรณ์ตรวจจับ (Sensor) แบบต่างๆ รวมไปถึง การควบคุมอุปกรณ์

Output ต่างๆตั้งแต่ Light emitting diode; LED, หลอดไฟ, มอเตอร์, รีเลย์ ฯลฯ โดยระบบฮาร์ดแวร์ของ Arduino สามารถสร้างและประกอบขึ้นใช้งานได้เอง ในกรณีที่ผู้ใช้พอมีความรู้ด้านอิเล็กทรอนิกส์อยู่บ้าง หรือ สามารถซื้อแผงวงจรสำเร็จรูปที่มีการผลิตออกจำหน่ายกันในราคาที่ไม่แพง สำหรับเรื่องของโปรแกรมที่จะใช้เป็นเครื่องมือในการพัฒนานั้น สามารถ Download มาใช้งานกันได้ฟรีโดยไม่เสียค่าใช้จ่ายใดๆ โดย Arduino มีจุดเด่น ในเรื่องของความง่ายต่อการพัฒนาโปรแกรมและมีเอกสารข้อมูลรวมทั้งตัวอย่างต่างๆให้ใช้เป็นแนวทางในการศึกษาเรียนรู้เป็นจำนวนมากเนื่องจาก Arduino เป็นระบบการพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ Open Source ซึ่งมีการตีพิมพ์เอกสารต่างๆ ที่เกี่ยวข้องออกมาเผยแพร่ให้ได้รับรู้เป็นระยะๆ รวมทั้งการเปิดเผย Source Code และตัวอย่างต่างๆ ให้ผู้เข้าไปใช้งาน หรือ พัฒนาต่อยอดต่อยอดได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่ายด้วยเหตุนี้จึงมีผู้คนทั่วไปให้ความสนใจและนำไปศึกษาทดลองใช้งานกันมากมาย มีการนำไปดัดแปลงและสร้างเป็นโครงการ แบบต่างๆ กันเป็นจำนวนมาก จึงเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับผู้เริ่มต้นที่สามารถนำเอาตัวอย่างและโครงการต่างๆที่คนอื่นทำไว้แล้ว มาใช้อ้างอิงเป็นแนวทางในการศึกษาเรียนรู้ได้โดยง่ายและที่สำคัญคือ ฟรี ไม่เสียค่าใช้จ่าย

3.4 ฮาร์ดแวร์ที่นำมาประยุกต์ใช้งานต่อพ่วง

ฮาร์ดแวร์ที่นำมาประยุกต์ใช้งานต่อพ่วงกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์สำเร็จรูปชุดควบคุมการทำละลายน้ำแข็งที่เครื่องระเหยตามภาวะ ประกอบด้วย

- (1) บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ DCcEle DCcduino Arduino Uno ดังภาพที่ 3.4



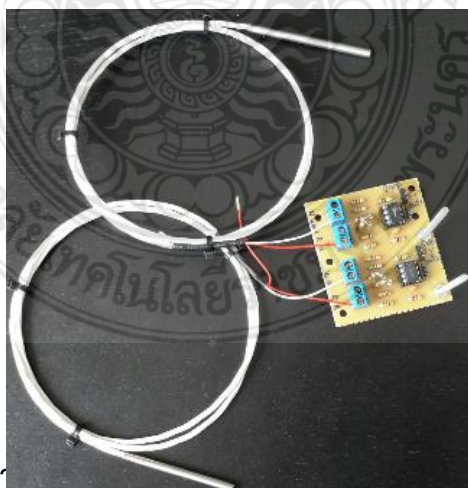
ภาพที่ 3.4 บอร์ดสำเร็จรูป DCcEle DCcduino Arduino Uno

(2) บอร์ดรีเลย์ 2 ช่อง 10A 250V ควบคุมเปิด/ปิด รีเลย์ได้ 2 ช่อง ใช้ไฟเข้า 5 V ส่งสัญญาณควบคุมแบบ Active Low ต้องการให้รีเลย์ทำงานส่งสัญญาณ 0 ไป ถ้าต้องการให้ดับส่งสัญญาณ 1 ไป วงจรเป็นแบบ แยกกราวด์ Opto isolated ดังภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 บอร์ดรีเลย์ 2 ช่อง 10A 250V

(3) โมดูลสำหรับติดต่อเซนเซอร์ PT100 ดังภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 โมดูลสำหรับติดต่อเซนเซอร์ PT100

(4) โมดูล Port IIC/I2C/TWI/SPI Interface Module for 1602 LCD Display เป็นโมดูลที่ใช้สำหรับแปลงการติดต่อสื่อสารระหว่างจอ LCD กับบอร์ด Arduino ให้อยู่ในรูปแบบ I2C ซึ่งข้อดีก็คือสามารถลด pin ใช้งานจาก 6 ให้เหลือ 2 pin ดังภาพที่ 3.7



Figure 1. Arduino Uno board with LCD display



บทที่ 4

วิธีการทดสอบและผลการทดสอบ

4.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ทำการทดสอบ

4.1.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

- เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิ 30 ช่อง ยี่ห้อ Yokogawa รุ่น DX-230-1-2
- เครื่องวัดและบันทึกพลังงาน ยี่ห้อ Hioki รุ่น Clamp On Power Hitester 3169-20/21
- ห้องปฏิบัติการทดสอบ บริษัท พัฒนาอินเตอร์คูล จำกัด



ก. เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิ 30 ช่อง



ข. เครื่องวัดและบันทึกพลังงาน

ภาพที่ 4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

4.1.2 ตู้แช่เย็นแอสตันเลส ทรงเคาท์เตอร์ ที่ใช้งานภายในร้าน 7ELEVEN ขนาดหน้ากว้าง 150cm ลึก 60cm สูง 85cm ขนาดความจุภายใน 243 ลิตร จำนวน 2 เครื่อง

- เครื่องที่ 1 ควบคุมการทำงานด้วยชุดควบคุมระบบดิจิทัลที่สั่งงานละลายน้ำแข็งที่แผงเครื่องระเหยตามรอบเวลาคงที่ สั่งงานทำละลายน้ำแข็งครั้งละ 15 นาที ในช่วงเวลาทุก 4 ชั่วโมง
- เครื่องที่ 2 ควบคุมการทำงานด้วยชุดควบคุมระบบดิจิทัลที่สั่งงานละลายน้ำแข็งที่แผงเครื่องระเหยตามภาวะ



ภาพที่ 4.2 ตู้แช่เย็นแสดนเลส ทรงเคาร์ทเตอร์ ขนาด กว้าง 150cm ลึก 60cm สูง 85cm

4.2 การทดสอบภายนอกห้องทดสอบ

การทดสอบการปิดสนิทของประตูเพื่อมิให้มีอากาศภายในตู้แช่รั่วไหลจนทำให้มีผลกระทบต่อผลการทดสอบ ขณะที่ตู้แช่ไม่ทำงานด้วยวิธีดังต่อไปนี้ ให้วางแผ่นกระดาษที่มีขนาดความกว้าง 50mm ความหนา 0.08mm และความยาว 100mm ที่ตำแหน่งปิดใดๆ หลังจากปิดประตูหรือฝาปิดตามปกติแล้วแผ่นกระดาษต้องไม่เลื่อนได้อย่างอิสระ [9]

4.3 การทดสอบภายในห้องทดสอบ

4.3.1 การทดสอบต้องทำที่ชั้นอุณหภูมิอากาศ ตามตารางที่ 4.1 ในระหว่างการทดสอบ อุณหภูมิในห้องทดสอบต้องคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 1^{\circ}\text{C}$ และความชื้นสัมพัทธ์ต้องคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 3\%$

หมายเหตุ

ห้องปฏิบัติการทดสอบไม่สามารถจำลองภาวะภูมิอากาศและวิธีการบรรจุแบบต่างๆ ที่พบในร้านจำหน่ายสินค้าได้ครบถ้วน การทดสอบครั้งนี้จึงเลือกชั้นภูมิอากาศที่ 3 เนื่องจากเป็นชั้นภูมิอากาศที่อุณหภูมิกระเปาะแห้งใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายในร้าน 7ELEVEN ของประเทศไทย

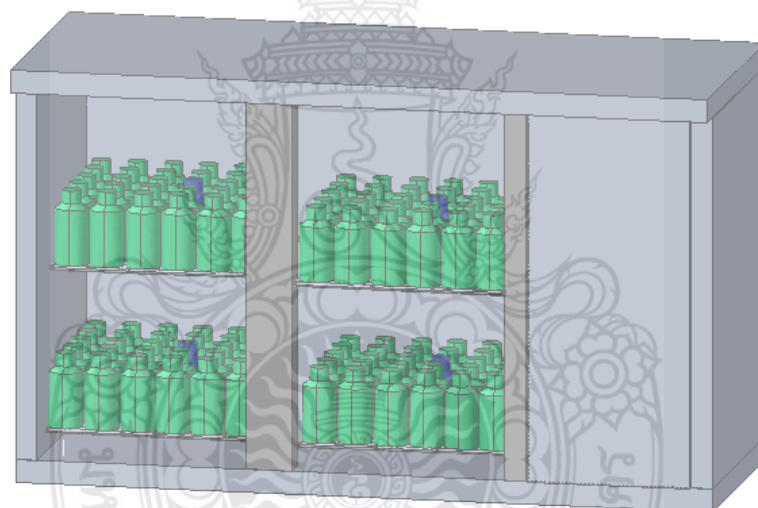
4.3.2 สิ่งทดสอบและการจัดวางสิ่งทดสอบในตู้แช่ ในการทดสอบ ใช้ขวด PET บรรจุน้ำเปล่าในปริมาณ 350ml จัดเรียงในแต่ละชั้นทั้ง 4 ชั้น จนเต็มความจุของแต่ละตู้แช่ทั้ง 2 สองตู้แช่ ดังแสดงในภาพที่ 4.3

ตาราง 4.1 ชั้นภูมิอากาศ (เรียงตามมวลไอน้ำในอากาศแห้ง)

ชั้นภูมิอากาศของห้องทดสอบ	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง ($^{\circ}\text{C}$)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	จุดน้ำค้าง ($^{\circ}\text{C}$)	มวลไอน้ำในอากาศแห้ง
---------------------------	--	----------------------	-----------------------------------	---------------------

				(g/kg)
0	20	50	9.3	7.3
1	16	80	12.6	9.1
8	23.9	55	14.3	10.2
2	22	65	15.2	10.8
3	25	60	16.7	12
4	30	55	20.0	14.8
6	27	70	21.1	15.8
5	40	40	23.9	18.8
7	35	75	30.0	27.3

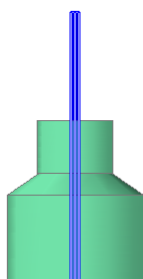
หมายเหตุ มวลไอน้ำในอากาศแห้งเป็นตัวแปรหลักตัวหนึ่งที่มีผลต่อสมรรถนะและการสิ้นเปลืองพลังงานของตู้แช่ ลำดับชั้นภูมิอากาศในตารางจึงขึ้นกับมวลไอน้ำในอากาศแห้ง



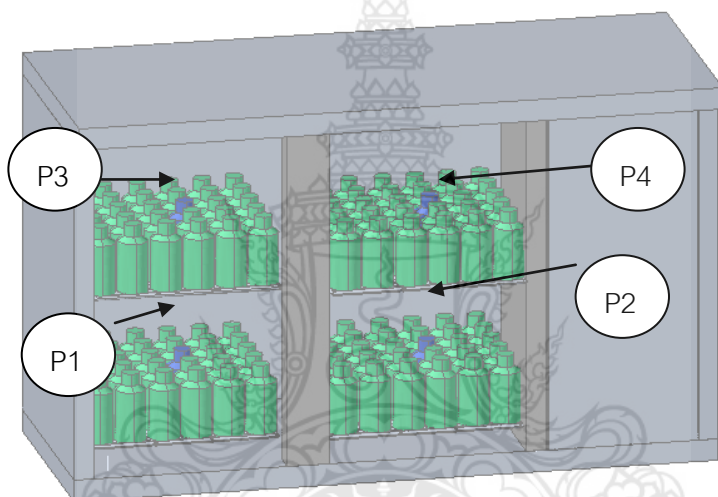
ก่อนการจัดวางสิ่งทดสอบต้องปรับอุณหภูมิสิ่งทดสอบเหล่านี้ให้เท่ากับอุณหภูมิที่ใช้ในระหว่างการทดสอบ

ในการทดสอบให้วัดอุณหภูมิสิ่งทดสอบ โดยสอดเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิเข้าไปที่จุดศูนย์กลางของสิ่งทดสอบและให้สัมผัสกับน้ำที่บรรจุภายในโดยตรง และหลีกเลี่ยงไม่ให้อากาศรั่วผ่านรูที่สอดเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิที่เปลือกหุ้ม ดังแสดงในภาพที่ 4.4 และตำแหน่งที่วัดอุณหภูมิสิ่งทดสอบได้แก่สิ่งทดสอบที่อยู่กึ่งกลางชั้นวางแต่ละชั้น ดังแสดงในภาพที่ 4.5 ดังนี้

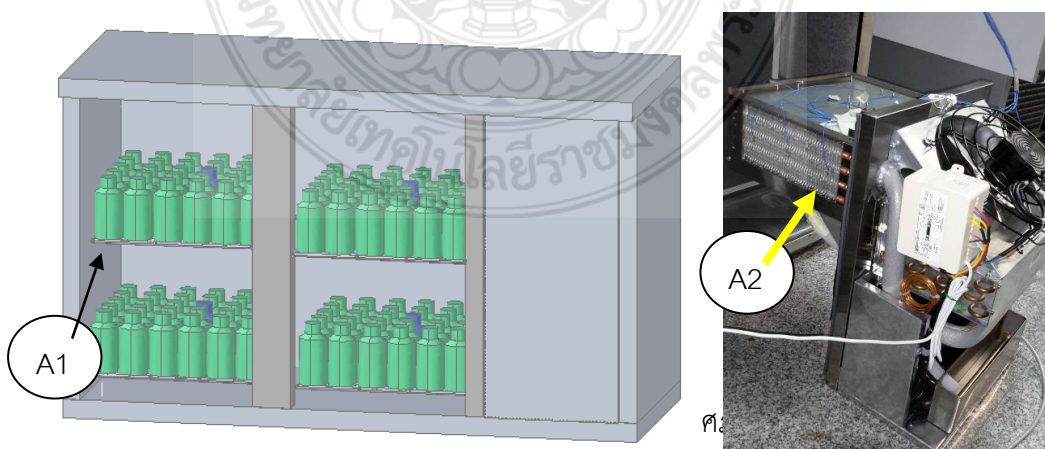
- ตำแหน่ง P1 วัดและบันทึกอุณหภูมิสิ่งทดสอบที่กึ่งกลางชั้นวางสินค้าด้านล่างฝั่งซ้าย
- ตำแหน่ง P2 วัดและบันทึกอุณหภูมิสิ่งทดสอบที่กึ่งกลางชั้นวางสินค้าด้านล่างฝั่งขวา
- ตำแหน่ง P3 วัดและบันทึกอุณหภูมิสิ่งทดสอบที่กึ่งกลางชั้นวางสินค้าด้านบนฝั่งซ้าย
- ตำแหน่ง P4 วัดและบันทึกอุณหภูมิสิ่งทดสอบที่กึ่งกลางชั้นวางสินค้าด้านบนฝั่งขวา



ภาพที่ 4.4 การสอดเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิเข้าไปในสิ่งทดสอบ



4.3.3 บันทึกค่าอุณหภูมิอากาศภายในตู้แช่ในจุดต่างๆ ดังต่อไปนี้



- ตำแหน่ง A1 วัดและบันทึกอุณหภูมิอากาศในพื้นที่แช่เย็นจุดที่อยู่ไกลจากช่องลมเย็นเป่าออกมาจากเครื่องระเหยที่สุด
- ตำแหน่ง A2 วัดและบันทึกอุณหภูมิอากาศภายในห้องเครื่องก่อนเข้าเครื่องระเหย

4.3.4 การเดินเครื่องก่อนการทดสอบ (running in) เพื่อตรวจสอบความพร้อมของตู้แช่ที่นำมาทดสอบว่าสามารถทำงานได้ปกติ ก่อนเริ่มการทดสอบให้เปิดสวิทช์ให้ตู้แช่ทำงานติดต่อยังน้อย 3 รอบ ที่ชั้นอุณหภูมิอากาศที่กำหนดโดยไม่ต้องบรรจุสิ่งทดสอบในตู้แช่และระบบทำความเย็นระบบควบคุม หรือระบบละลายน้ำแข็งต้องไม่ทำงานผิดปกติ

หลังการเดินเครื่องก่อนการทดสอบ ให้บรรจุสิ่งทดสอบในตู้แช่ตามข้อ 4.3.2 หลังจากบรรจุสิ่งทดสอบแล้ว ให้ตู้แช่ทำงานจนกระทั่งเข้าสู่ภาวะเสถียร โดยให้ถือว่าการทำงานของตู้แช่อยู่ในสภาวะเสถียร ถ้าในระหว่างคาบการทดสอบ 24 ชั่วโมง ค่าความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิของสิ่งทดสอบมีค่าอยู่ในช่วงไม่เกิน $+0.5^{\circ}\text{C}$ ณ จุดสมนัยกันบนเส้นโค้งอุณหภูมิ

4.4 การทดสอบอุณหภูมิ

4.4.1 ภาวะทดสอบ การทำงานของตู้แช่ต้องเป็นไปตามคำแนะนำของผู้ผลิตที่ภาวะที่เหมาะสมตามชั้นภูมิอากาศของห้องทดสอบที่เกี่ยวข้องตามตารางที่ 4.1

4.4.2 การตรวจสอบการละลายน้ำแข็ง หลังสิ้นสุดคาบการทดสอบอุณหภูมิที่ปลายสุดของคาบเวลาของการละลายน้ำแข็งครั้ง ให้หยุดการทำงานของตู้แช่และนำเอาสิ่งทดสอบออกจากตู้แช่ (ตามความจำเป็น) ให้เร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้จากนั้นให้ถอดอุปกรณ์และชิ้นส่วนออกตามความจำเป็น แล้วตรวจสอบพื้นผิวทุกผิวภายในตู้แช่ ยกเว้นพื้นผิวของสิ่งทดสอบเพื่อดูว่ามีน้ำ น้ำแข็ง ฝาน้ำแข็ง หรือเกล็ดหิมะหลงเหลืออยู่หรือไม่ ในกรณีที่พบว่า มีน้ำ น้ำแข็ง ฝาน้ำแข็งหรือเกล็ดหิมะหลงเหลืออยู่ และ ตู้แช่คงอุณหภูมิ ณ จุดที่กำหนดไว้ไม่ได้ ให้ทำการทดสอบครั้งที่ 2 ต่อเนื่องไปภายใต้เงื่อนไขเดิมโดยไม่ทำการปรับแต่งอุปกรณ์ควบคุมใดๆ

4.5 การทดสอบการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า

ตู้แช่จะต้องทำงานตามคาบการทดสอบ 24 ชั่วโมง และทำการบันทึกค่าต่างๆ ที่วัด

- ค่าการสิ้นเปลืองพลังงานทั้งหมด (Total Energy Consumption : TEC) เป็นกิโลวัตต์ชั่วโมง (kW-h) ต่อ 24 ชั่วโมง
- ความถี่ในการ เดิน – หยุด คอมเพรสเซอร์
- ระยะเวลาเดินเครื่องสัมพัทธ์ (อัตราส่วนระหว่างระยะเวลาเดินเครื่องต่อช่วงเวลาที่ทำการวัดทั้งหมด ไม่รวมเวลาที่ใช้ในการละลายน้ำแข็ง ดังสูตรต่อไปนี้

$$t_{rr} = \frac{t_{run}}{t_{run} + t_{stop}} = \frac{t_{run}}{24 - t_{deft}} \quad (4.1)$$

เมื่อ

$$t_{run} + t_{stop} + t_{deft} = 24 \text{ ชั่วโมง} \quad (4.2)$$

- t_{rr} = ช่วงเวลาเดินเครื่องสัมพันธ์ หรือร้อยละของช่วงเวลาเดินเครื่องตู้แช่
- t_{run} = ช่วงเวลาเดินเครื่อง หมายถึง ระยะเวลาที่คอมเพรสเซอร์ทำงานหรือสารทำความเย็นทุติยภูมิไหลเวียนภายในช่วง 24 ชั่วโมง
- t_{stop} = ช่วงเวลาหยุดเดินเครื่อง หมายถึง ระยะเวลาที่คอมเพรสเซอร์หยุดทำงานหรือสารทำความเย็นทุติยภูมิไม่ไหลเวียนภายในช่วง 24 ชั่วโมง โดยไม่รวมเวลาที่ใช้ในการละลายน้ำแข็ง
- t_{defr} = ช่วงเวลาละลายน้ำแข็ง หมายถึง ระยะเวลาขณะละลายน้ำแข็ง ซึ่งระหว่างนี้คอมเพรสเซอร์หยุดทำงานหรือสารทำความเย็นทุติยภูมิไม่ไหลเวียนภายในช่วง 24 ชั่วโมงแต่ไม่นับเป็นช่วงเวลาหยุดเดินเครื่อง

4.6 ผลการทดสอบอุณหภูมิ

4.6.1 ผลการทดสอบการปิดสนิทของประตู ใช้วิธีการทดสอบตามหัวข้อ 4.2 ซึ่งผลการทดสอบพบว่า แผ่นกระดาษไม่สามารถเลื่อนได้อย่างอิสระ แสดงให้เห็นว่าไม่อากาศภายในตู้แช่รั่วไหลออกมาภายนอกจนทำให้มีผลกระทบต่อการทำงานของตู้แช่ จึงสรุปได้ว่า “ผ่านการทดสอบตามหัวข้อ 4.2”

4.6.2 ผลการเดินเครื่องก่อนการทดสอบ (running in)

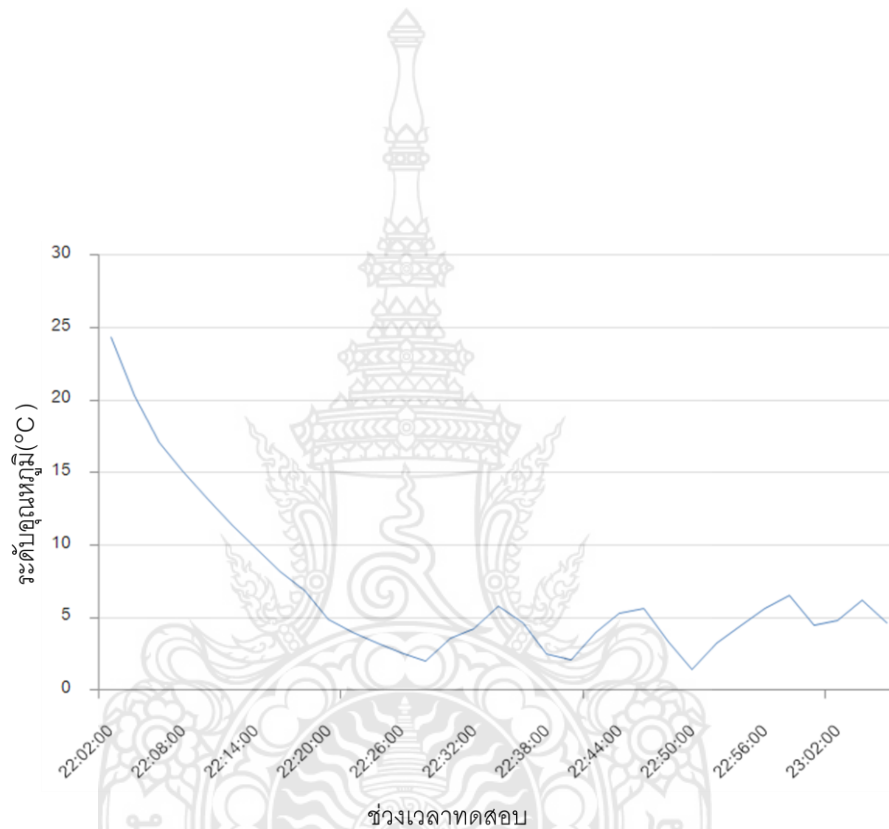
ผลการเดินเครื่องก่อนการทดสอบทั้งตู้แช่เครื่องที่ 1 และตู้แช่เครื่องที่ 2 พบว่า ทั้ง 2 เครื่องมีการทำอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงที่ต้องการที่ 2°C ถึง 6°C ได้ปกติ โดยผ่านเกณฑ์ทดสอบของโรงงานคือ ภายในระยะเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อตัวเครื่องสามารถทำอุณหภูมิภายในตู้แช่ได้ถึงค่าที่ตั้งไว้ ซึ่งในการทดสอบได้มีการตั้งอุณหภูมิตัดการทำงานของคอมเพรสเซอร์ไว้ที่ 2°C ตัวเครื่องต้องมีการตัดต่อการทำงานอย่างน้อย 2 รอบ จากกราฟแสดงอุณหภูมิผลการทดสอบสามารถอธิบายการทำงานของตู้แช่แต่ละเครื่องได้ดังนี้

ตู้แช่เครื่องที่ 1 ใช้เวลาในการทำอุณหภูมิภายในตู้แช่เริ่มต้นที่ 24°C จนถึงอุณหภูมิตัดการทำงานของคอมเพรสเซอร์ตามที่ได้ตั้งไว้ที่ 2°C ที่ 28 นาที หลังจากนั้นมีการสั่งให้คอมเพรสเซอร์ทำงานอีก 2 ครั้ง ภายในระยะเวลา 1 ชั่วโมงภายหลังจากที่มีการเริ่มเดินเครื่องทดสอบ

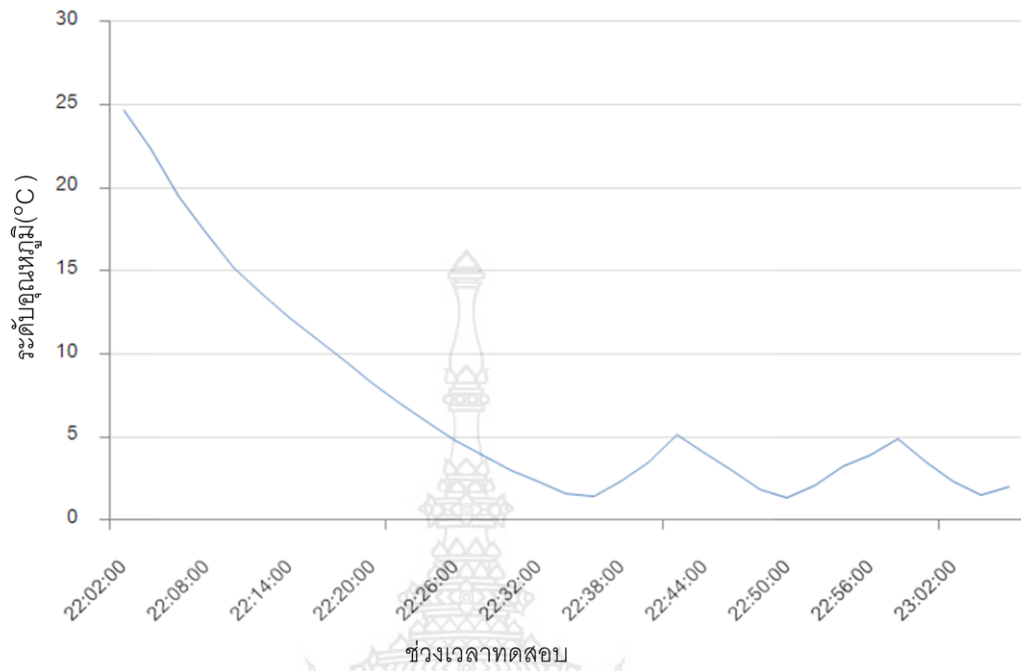
ตู้แช่เครื่องที่ 2 ใช้เวลาในการทำอุณหภูมิภายในตู้แช่เริ่มต้นที่ 24°C จนถึงอุณหภูมิตัดการทำงานของคอมเพรสเซอร์ตามที่ได้ตั้งไว้ที่ 2°C ที่ 33 นาที หลังจากนั้นมีการสั่งให้คอมเพรสเซอร์ทำงานอีก 2 ครั้ง ภายในระยะเวลา 1 ชั่วโมงภายหลังจากที่มีการเริ่มเดินเครื่องทดสอบ

ดังนั้นจึงสรุปผลการเดินเครื่องก่อนการทดสอบได้ว่า ตู้แช่ทั้ง 2 เครื่อง สามารถทำงานได้ตรงตามเกณฑ์การทดสอบที่กำหนดให้ ภายในระยะเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อตัวเครื่องสามารถทำอุณหภูมิ

ภายในตู้แช่ได้ถึงค่าที่ตั้งไว้และตัวเครื่องต้องมีการตัดต่อการทำงานอย่างน้อย 2 รอบ โดยที่ไม่มีสิ่งบ่งบอกถึงการทำงานที่ผิดปกติเกิดขึ้นกับตู้แช่ทั้ง 2 เครื่องแต่อย่างใด

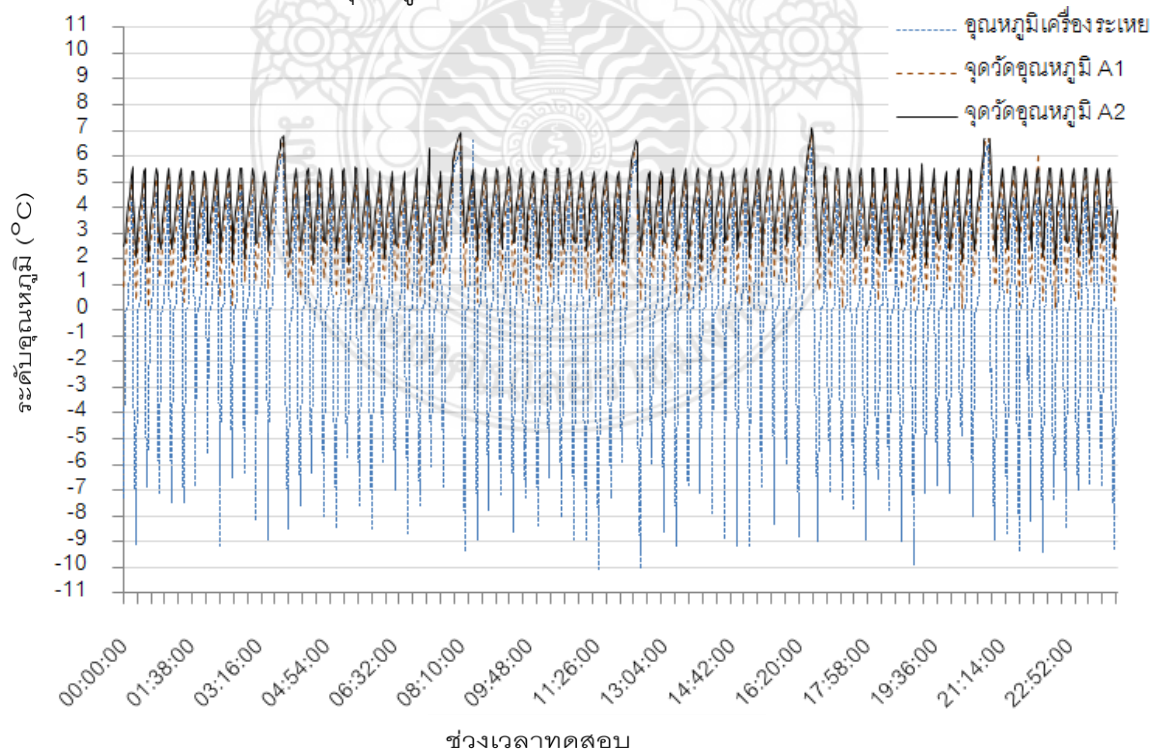


ภาพที่ 4.7 กราฟแสดงอุณหภูมิผลการเดินเครื่องก่อนการทดสอบ (running in) ตู้แช่เครื่องที่ 1

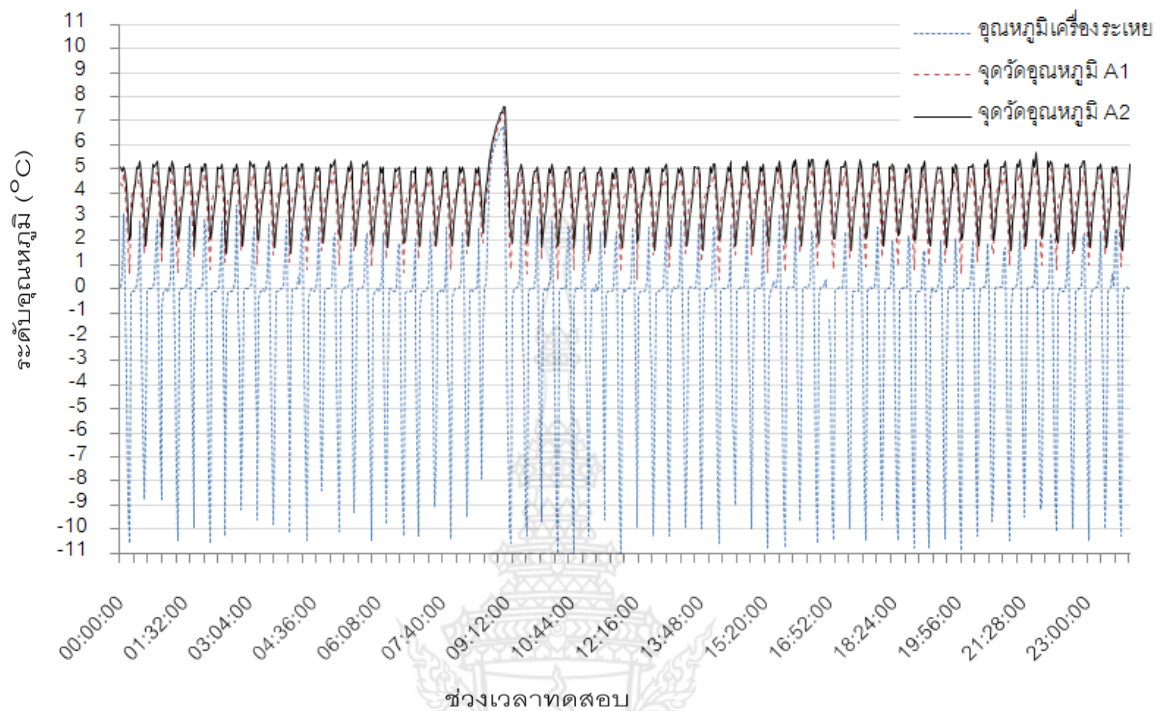


ภาพที่ 4.8 กราฟแสดงอุณหภูมิผลการเดินเครื่องก่อนการทดสอบ (running in) ตู้แช่เครื่องที่ 2

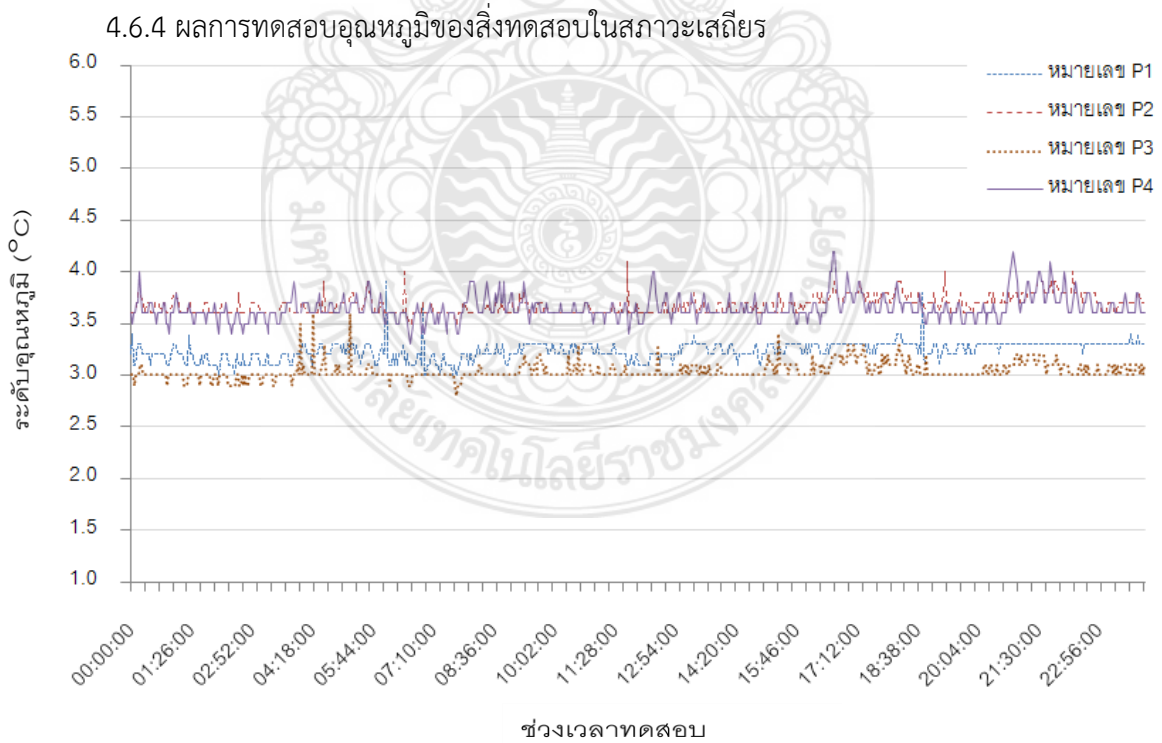
4.6.3 ผลการทดสอบอุณหภูมิในสภาวะเสถียร



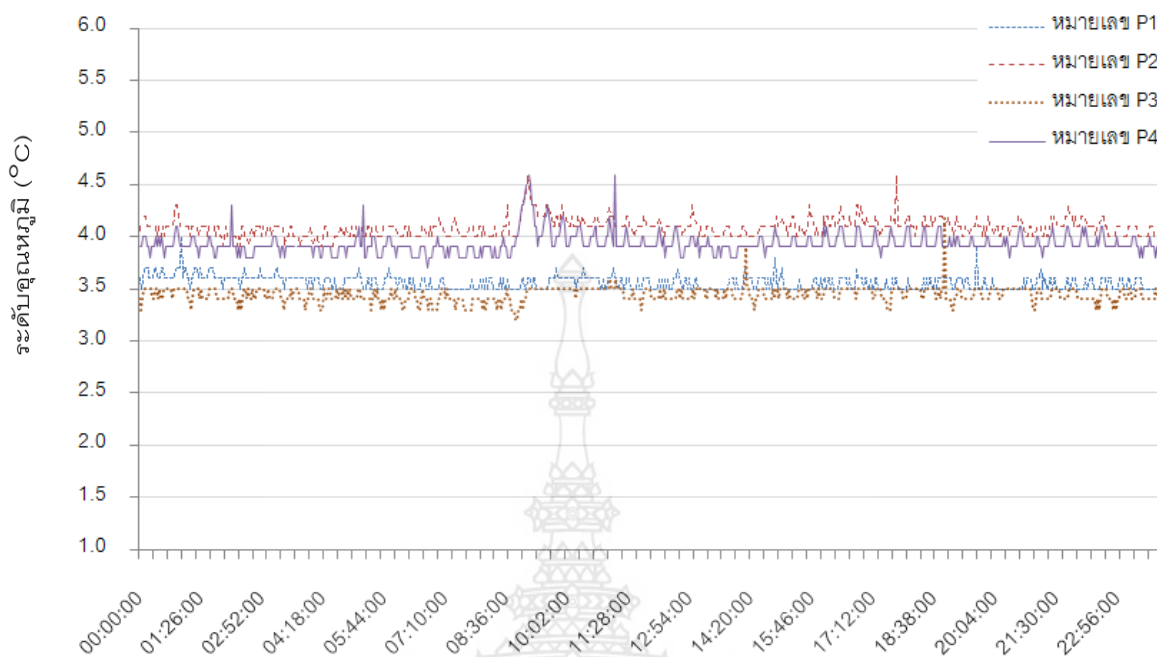
ภาพที่ 4.9 กราฟแสดงอุณหภูมิในสถานะเสถียร ตู้แช่เครื่องที่ 1



ภาพที่ 4.10 กราฟแสดงอุณหภูมิในสถานะเสถียร ตู้แช่เครื่องที่ 2



ภาพที่ 4.11 กราฟอุณหภูมิของสิ่งทดสอบในสถานะเสถียร ตู้แช่เครื่องที่ 1



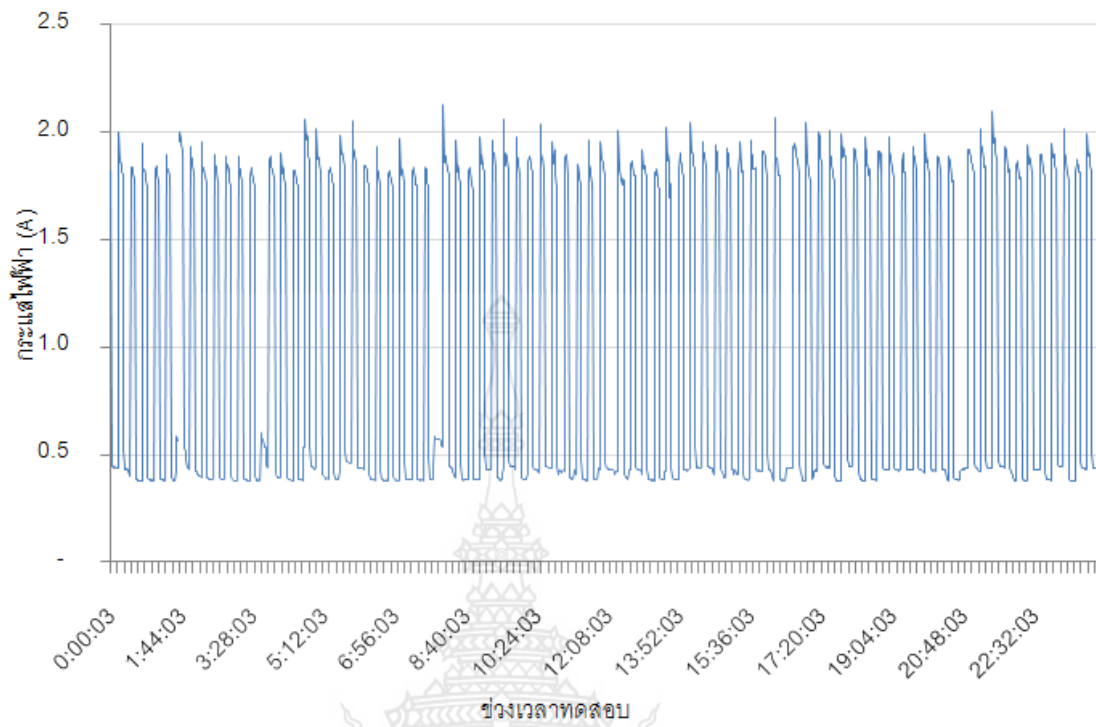
ภาพที่ 4.12 กราฟอุณหภูมิของสิ่งทดสอบในสภาวะเสถียร ตู้แช่เครื่องที่ 2

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการอุณหภูมิเฉลี่ยของสิ่งทดสอบในสภาวะเสถียร

อุณหภูมิเฉลี่ยของสิ่งทดสอบหมายเลข	ตู้แช่เครื่องที่ 1	ตู้แช่เครื่องที่ 2	หน่วย
สิ่งทดสอบหมายเลข P1	3.2	3.6	°C
สิ่งทดสอบหมายเลข P2	3.7	4.1	°C
สิ่งทดสอบหมายเลข P3	3.0	3.4	°C
สิ่งทดสอบหมายเลข P4	3.6	3.9	°C
อุณหภูมิเฉลี่ยของสิ่งทดสอบทั้งหมด	3.4	3.8	°C

4.7 ผลการทดสอบความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า

ในระหว่างการทดสอบความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า ได้มีการบันทึกความถี่ในการเดิน – หยุด คอมเพรสเซอร์ของตู้แช่ทั้ง 2 ใบ โดยใช้การบันทึกค่าการใช้กระแสไฟฟ้าจากเครื่องวัดจะแสดงให้เห็นถึงความถี่ในการเดิน – หยุด ดังแสดงในภาพที่ 4.13 และ 4.14



ภาพที่ 4.13 กราฟแสดงความถี่ในการเดิน – หยุดคอมเพรสเซอร์ของตู้แช่เครื่องที่ 1



ภาพที่ 4.14 กราฟแสดงความถี่ในการเดิน – หยุดคอมเพรสเซอร์ของตู้แช่เครื่องที่ 2

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า

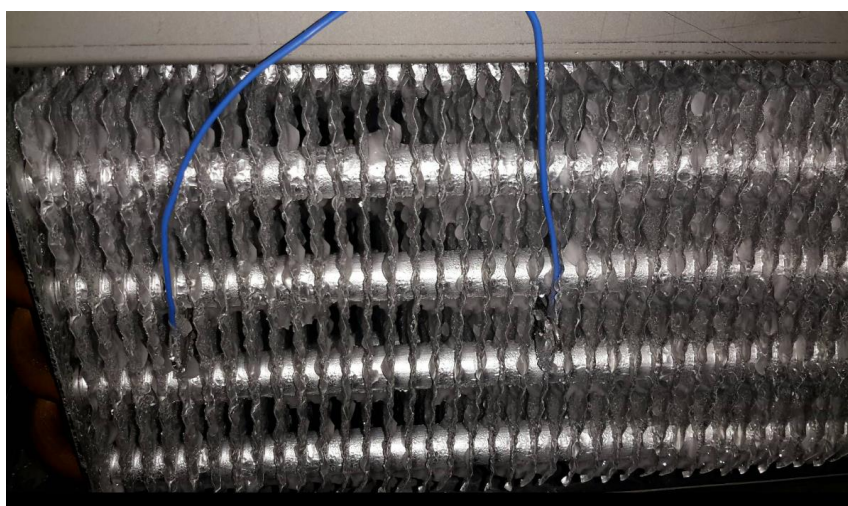
รายการทดสอบ	ค่าที่วัดได้		หน่วย
	เครื่องที่ 1	เครื่องที่ 2	
ก. ค่าการสิ้นเปลืองพลังงานทั้งหมด (Total Energy Consumption : TEC)	4.89	4.32	kWh/24h
ข. ความถี่ในการเดิน – หยุด คอมเพรสเซอร์			
- ความถี่ในการเดิน คอมเพรสเซอร์	79	62	ครั้ง/24h
- ความถี่ในการหยุด คอมเพรสเซอร์	80	63	ครั้ง/24h
ค. ระยะเวลาเดินเครื่องสัมพัทธ์			
- ช่วงเวลาเดินเครื่องสัมพัทธ์ (t_{rr})	0.435821	0.36898	
- ช่วงเวลาเดินเครื่อง (t_{run})	584	521	นาที
- ช่วงเวลาหยุดเดินเครื่อง (t_{stop})	756	891	นาที
- ช่วงเวลาละลายน้ำแข็ง (t_{defr})	100	28	นาที

4.8 การตรวจสอบการละลายน้ำแข็ง

ภายหลังจากการทดสอบได้มีการหยุดเครื่อง และถอดห้องเครื่องของตู้แช่ออกมาเพื่อตรวจสอบสภาพภายในห้องเครื่อง และลักษณะสภาพการละลายน้ำแข็งที่แผงเครื่องระเหย โดยจะใช้เวลาในการถอดห้องเครื่องภายหลังจากการหยุดเครื่องเพื่อตรวจสอบโดยเร็วที่สุด และใช้ระยะเวลาภายใน 3 นาทีเพื่อถอดห้องเครื่องออกมาตรวจสอบ ซึ่งสภาพลักษณะการจับตัวของน้ำแข็งที่แผงเครื่องระเหยของตู้แช่แต่ละตู้ ได้ผลดังที่แสดงในภาพที่ 4.13 ถึงภาพที่ 4.16

4.8.1 ผลการตรวจสอบการละลายน้ำแข็งของตู้แช่เครื่องที่ 1

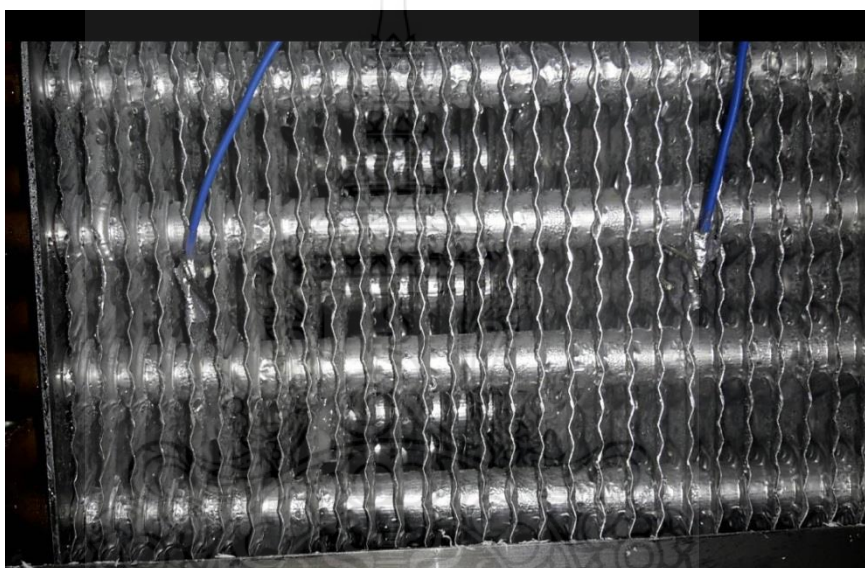
ผลตรวจสอบการละลายน้ำแข็งของตู้แช่เครื่องที่ 1 สภาพของเครื่องระเหยภายหลังจากการทดสอบ 24 ชั่วโมงพบว่า มีน้ำแข็งกระจายตัวจับบริเวณครีบบของเครื่องระเหยทางด้านฝั่งลมออกอยู่พอสมควร โดยลักษณะน้ำแข็งบางส่วนจะมีลักษณะเป็นก้อน แม้ปริมาณน้ำแข็งที่จับบริเวณครีบบของเครื่องระเหยจะยังไม่มากพอที่จะขัดขวางปริมาณลมหมุนเวียนภายในตู้แช่ แต่แสดงให้เห็นถึงการเริ่มสะสมปริมาณน้ำแข็งที่มากขึ้นเรื่อยๆ ก่อนที่จะถึงรอบในการละลายน้ำแข็ง ดังแสดงในภาพที่ 4.15



ภาพที่ 4.15 ภาพน้ำแข็งบริเวณต่างๆ ของเครื่องระเหยฝังลมออกของตู้แช่เครื่องที่ 1

4.8.2 ผลการตรวจสอบการละลายน้ำแข็งของตู้แช่เครื่องที่ 2

ผลตรวจสอบการละลายน้ำแข็งของตู้แช่เครื่องที่ 2 สภาพของเครื่องระเหยภายหลังคาบการทดสอบ 24 ชั่วโมงพบว่า มีน้ำแข็งกระจายตัวจับบริเวณครีบบนของเครื่องระเหยทางด้านฝังลมออกเล็กน้อย ส่วนบริเวณครีบบนของเครื่องระเหยจะมีลักษณะเป็นหยดน้ำหรือเป็นเหนือน้ำที่ยังไม่แข็งตัวเป็นน้ำแข็งกระจายตัวทั่วครีบบนนั้น ดังแสดงในภาพที่ 4.16



ภาพที่ 4.16 ลักษณะหยดน้ำแข็งจับตัวเป็นก้อนเล็กน้อยตามครีบบนของเครื่องระเหย

จากภาพที่ 4.16 สามารถอธิบายผลการตรวจสอบการละลายน้ำแข็งของตู้แช่เครื่องที่ 2 ได้ว่า ในแต่ละรอบการทำงานของตู้แช่ เมื่ออุณหภูมิภายในตู้แช่สูงขึ้นถึงค่า cut-in ชุดควบคุมจะตรวจสอบอุณหภูมิของเครื่องระเหยด้วยเซนเซอร์ตำแหน่งที่ 2 ว่าต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำหรือไม่ หากต่ำกว่าจะสั่งให้พัดลมทำงานเพื่อถ่ายเทอุณหภูมิของเครื่องระเหยไปยังพื้นที่แช่เย็นภายในตู้แช่ก่อนที่จะสั่งให้คอมเพรสเซอร์เริ่มฉีดสารทำความเย็นเพื่อสร้างความเย็นจนกระทั่งอุณหภูมิของเครื่องระเหยสูงกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำ ดังนั้นอุณหภูมิของเครื่องระเหยที่สูงกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำจึงมีโอกาที่จะมีความชื้นจับตัวเป็นน้ำแข็งที่ครีบบนของเครื่องระเหยน้อยกว่า

บทที่ 5

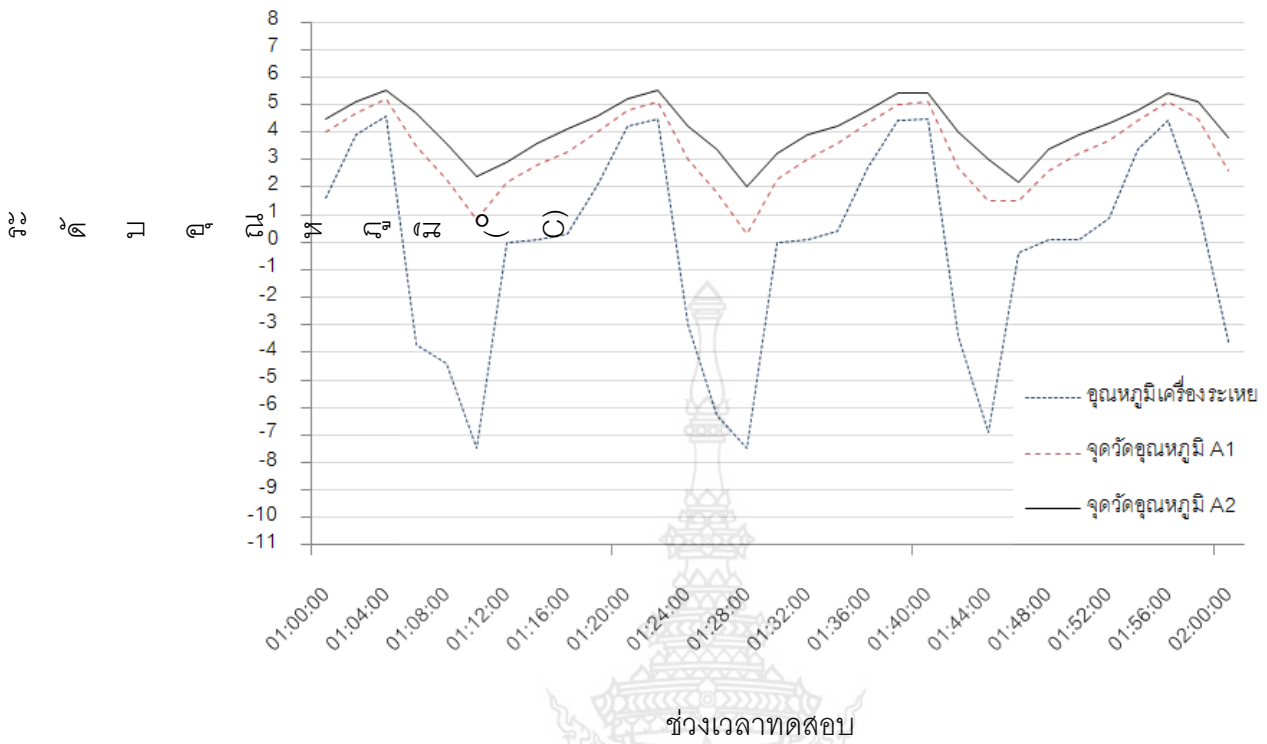
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 บทนำ

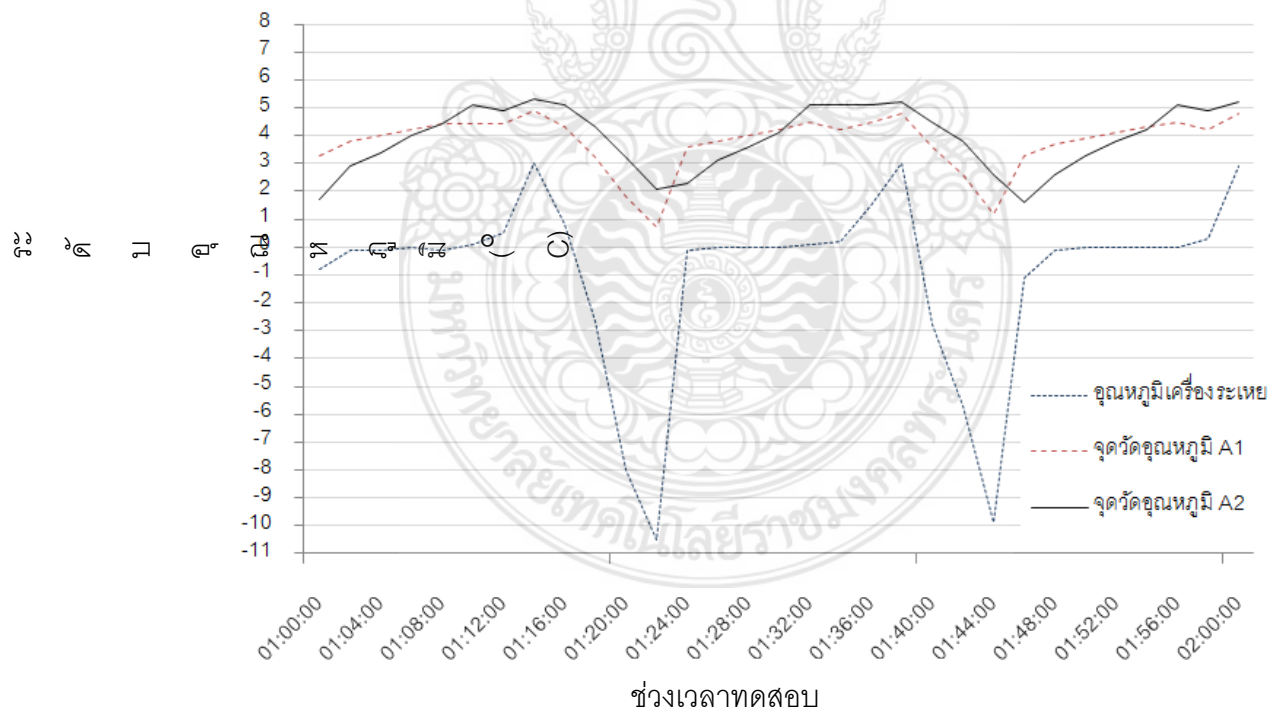
บทความวิจัยนี้นำเสนอการจัดการช่วงระยะเวลาการละลายน้ำแข็งที่แผงเครื่องระเหยของตู้แช่เย็น โดยใช้ผลต่างของอุณหภูมิที่เครื่องระเหยและพื้นที่แช่เย็น ควบคุมการทำละลายน้ำแข็งที่แผงเครื่องระเหยตามภาระและสั่งการทำงานของมอเตอร์พัดลมให้สัมพันธ์กับช่วงเวลาในการละลายน้ำแข็ง โดยเปรียบเทียบกับระบบควบคุมของตู้แช่เย็นทั่วไปที่กำหนดรอบในการละลายน้ำแข็งด้วยการตั้งเวลาคงที่ซึ่งอ้างอิงจากฤดูที่มีความชื้นสูงสุด เพื่อให้เครื่องทำงานได้โดยไม่เกิดปัญหาน้ำแข็งหนาแน่นจนไม่สามารถแลกเปลี่ยนอุณหภูมิได้ตามปกติ จึงทำให้เกิดช่วงระยะเวลาการละลายน้ำแข็งที่เกินความจำเป็นในฤดูที่มีความชื้นต่ำ และช่วงเวลาดังกล่าวนี้เป็นการใช้พลังงานที่ไม่เกิดประโยชน์ต่อระบบการทำความเย็น นี่เป็นการพัฒนาระบบควบคุมช่วงการละลายน้ำแข็ง โดยผลทดสอบพบว่าการควบคุมการละลายน้ำแข็งที่เครื่องระเหยตามภาระ ทำให้ตู้แช่เย็นใช้พลังงานโดยรวมน้อยลง และลดความเสี่ยงต่อการเกิดน้ำแข็งที่แผงเครื่องระเหยในกรณีที่มีการปรับตั้งช่วงเวลาในการละลายน้ำแข็งอย่างไม่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศ

5.2 สรุปผลการวิจัย

จากการทดสอบตู้แช่เย็นเปรียบเทียบระบบควบคุมการทำงานทั้ง 2 ตู้ ผลที่ได้พบว่าในแต่ละรอบของการทำความเย็น ตู้แช่เย็นที่ควบคุมการละลายน้ำแข็งตามภาระจะมีช่วงเวลาหยุดพักการทำงานของมอเตอร์พัดลมเครื่องระเหย ภายหลังจากที่เครื่องสามารถทำอุณหภูมิภายในตู้แช่ได้ถึงค่า cut-off ต่างจากตู้แช่เย็นที่ควบคุมด้วยระบบตั้งเวลาละลายน้ำแข็งคงที่ ที่มอเตอร์พัดลมทำงานตลอดเวลา และจากการที่พัดลมทำงานตลอดเวลา ทำให้อุณหภูมิภายในตู้แช่มีการเปลี่ยนแปลงรวดเร็ว เนื่องจากมีลมหมุนเวียนแลกเปลี่ยนอุณหภูมิระหว่างอากาศ และสินค้าภายในตู้แช่กับเครื่องระเหย และแม้กระทั่งความร้อนสะสมที่มาจากตัวพัดลมเอง ส่งผลให้จำนวนรอบการทำงานของคอมเพรสเซอร์ถี่กว่าหรือคอมเพรสเซอร์มีการสตาร์ทบ่อยกว่าระบบควบคุมการละลายน้ำแข็งตามภาระ ถึงแม้ว่าจะมีการทำงานในแต่ละรอบของคอมเพรสเซอร์ในตู้แช่เครื่องที่ 1 จะสั้นกว่าก็ตาม ดังแสดงในภาพที่ 5.1 และภาพที่ 5.2 ที่แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเครื่องระเหยและอุณหภูมิอากาศภายในตู้แช่ได้อย่างชัดเจน



ภาพที่ 5.1 กราฟแสดงอุณหภูมิเครื่องระเหยและอากาศภายในตู้แช่เครื่องที่ 1



ภาพที่ 5.2 กราฟแสดงอุณหภูมิเครื่องระเหยและอากาศภายในตู้แช่เครื่องที่ 2

เมื่อทำการขยายกราฟการทำอุณหภูมิของตู้แช่ทั้ง 2 ตู้เพื่อเปรียบเทียบการทำงาน โดยพิจารณาจากกราฟอุณหภูมิตู้แช่เครื่องที่ 1 จะเห็นได้ว่า อุณหภูมิในบริเวณพื้นที่แช่เย็นภายในตู้แช่ที่

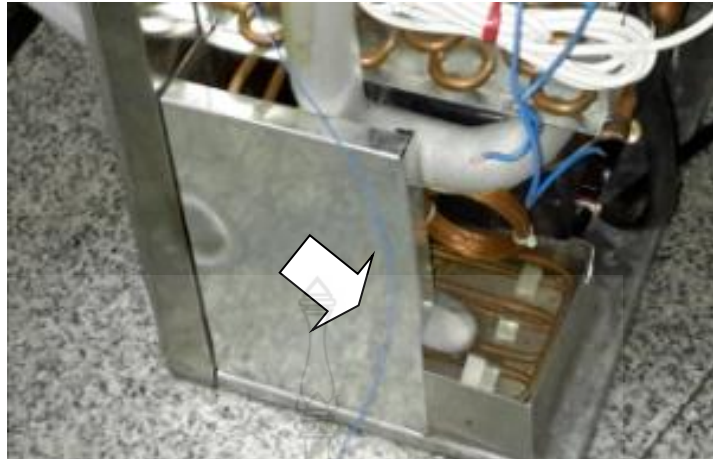
จุดวัดอุณหภูมิ A1 จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วตามที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ที่จุดวัด A2 ซึ่งเป็นจุดวัดอุณหภูมิที่อยู่ภายในห้องเครื่อง มีปริมาตรอากาศประมาณร้อยละ 10 ของพื้นที่แช่เย็นที่ใช้งานจริง มีระดับอุณหภูมิสูงกว่าพื้นที่ใช้งาน ในช่วงที่พัดลมเครื่องระเหยทำงานตลอดเวลาจึงมีการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิกันอย่างทั่วทั้งตู้แช่ ในพื้นที่ที่ไม่ได้ใช้งานภายในห้องเครื่องจึงต้องถูกลดอุณหภูมิลงมาด้วย

เปรียบเทียบกับกราฟอุณหภูมิตู้แช่เครื่องที่ 2 ที่อากาศภายในพื้นที่แช่เย็น และภายในห้องเครื่องไม่ได้ถูกถ่ายเทหมุนเวียนตลอดเวลา ระดับอุณหภูมิในพื้นที่แช่เย็นจะถูกทำให้สูงขึ้นโดยปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านจากฉนวนของตู้แช่เข้ามาเท่านั้น และจะถูกรักษาระดับอุณหภูมิส่วนหนึ่งด้วยการแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อใช้ในการละลายน้ำแข็งที่แผงเครื่องระเหยอีกทางหนึ่งจึงทำให้คอมเพรสเซอร์ทำงานช้าลง

และจากรยะเวลาการทำงานที่ไม่เท่ากันของมอเตอร์พัดลมเครื่องระเหย และมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ ทำให้ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานของตู้แช่ที่นำมาทดสอบเปรียบเทียบกัน โดยพบว่าตู้แช่ที่ควบคุมการละลายน้ำแข็งตามภาระ ใช้พลังงานน้อยกว่าตู้แช่เย็นที่ควบคุมการละลายน้ำแข็งตามรอบเวลาที่อยู่ที่ประมาณร้อยละ 12 ของระบบการละลายน้ำแข็งแบบตั้งเวลาคงที่

5.3 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากตู้แช่ทรงเคาร์ทเตอร์ในแบบที่นำมาทดลองนี้ มีถาดรับรองรับน้ำทั้งมาจากถาดรองน้ำได้แผงระเหย ซึ่งทางผู้ผลิตได้มีการออกแบบให้ทำการระเหยน้ำที่ดังกล่าวอัตโนมัติโดยใช้ท่อแก๊สร้อนที่ออกจากคอมเพรสเซอร์ก่อนเข้าแผงระบายความร้อนมาทำให้น้ำในถาดระเหยหมดในรอบการทำงานแต่ละวัน แต่จากงานวิจัยที่ได้มีการทดลองใช้ชุดควบคุมการละลายน้ำแข็งตามภาระเพื่อควบคุมการทำงานของตู้แช่นี้ ทำให้รอบการทำงานของคอมเพรสเซอร์เปลี่ยนไปโดยมีรอบการทำงานน้อยลงและน้ำแข็งที่แผงเครื่องระเหยมีน้ำแข็งละลายมายังถาดรองรับน้ำมีมากขึ้น จึงทำให้น้ำที่ขังอยู่ในถาดรองรับมากขึ้นซึ่งเป็นน้ำที่ระเหยไม่ทันดังภาพที่ 5.3 หากเปิดเครื่องให้ทำงานต่อเนื่องกันหลายวันจะทำให้ น้ำในถาดรองน้ำล้น ซึ่งจะไม่สะดวกต่อผู้ใช้งานตู้แช่ในการทำความสะอาดน้ำที่ล้นออกมา ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นดังกล่าวเพิ่มเติม เพื่อไม่ให้ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้งานต่อไป



ภาพที่ 5.3 ถาดรองรับน้ำจากถาดใต้เครื่องระเหยของตู้แช่เครื่องที่ 2 มีน้ำล้นถาด



เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, “การประหยัดพลังงานในระบบทำความเย็น”, มปป.
- [2] สอนง อิมเอม, “เครื่องทำความเย็นและปรับอากาศรถยนต์”, อมรินทร์พริ้นติ้ง กรุ๊ป จำกัด, กรุงเทพฯ 2535.
- [3] ชูชัย ต.ศิริวัฒนา. “การทำทำความเย็นและการปรับอากาศ, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี” (ไทย-ญี่ปุ่น) , กรุงเทพฯ, ครั้งที่ 8, 2548.
- [4] วีรศักดิ์ บุญทน, “การทำทำความเย็น”, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, ครั้งที่ 1, 2550.
- [5] J. Cai, J. Stoustrup, “Minimizing Quality Deteriorations of Refrigerated Foodstuffs as a Side” Effect of Defrosting.” American Control Conference, 2008: 1836-1841.
- [6] Nasrollah Azam Baleghy, Seyed Kamal-e-ddin Mousavi Mashhadi, “Design and Implementation Fuzzy Controller in the Frost-free Refrigerator by Using Multivariate Regression,” Iranian Conference on Electrical Engineering, 2016, 840-844.
- [7] Dingyuan Wang and Tangfei Tao, “Non-contact Frost Thickness Measurement by Using a Micro-camera and Image Processing Technology”, IEEE, 2010, 288-293.
- [8] เอกชัย มะการ, “เรียนรู้ เข้าใจ ใช้งาน ไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล AVR ด้วย Arduino”, WWW.ETT.CO.TH.
- [9] International standard ISO 23953-1, Refrigerated display cabinets —Part 2: Classification, requirements and test conditions Vocabulary, 1st ed, 2005.
- [10] Brian Dolin, “Frost and Defrost”, RSES journal, December 2010.
- [11] Byun, J.-S., C.-D. Jeon, J.-H. Jung, and J. Lee. "The application of photo-coupler for frost detecting in an air-source heat pump." *International Journal of Refrigeration* 29, no. 2 (2006): 191-198.
- [12] C P Arora, “Refrigeration and Air Conditioning”, 3rd ed, New Delhi, Mcgraw Hill, 2009.
- [13] Dossat, Roy J. “Principles of Refrigeration”, 3rd ed. Upper Saddle River, NJ. Prentice-Hall.

- [14] International standard ISO 23953-1, Refrigerated display cabinets —Part 1: Vocabulary, 1st ed, 2005.
- [15] Lawrence, J.M.W., and J.A. Evans. "Refrigerant flow instability as a means to predict the need for defrosting the evaporator in a retail display freezer cabinet." *International Journal of Refrigeration* 31, no. 1 (2008): 107-112
- [16] 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.
- [17] Master-Bilt Refrigeration Solution, "Cool it : Defrosting Basic & Beyond", Vol.11, October2010
- [18] Thybo, C., B.D. Rasmussen, and R. Izadi-Zamanabadi. "Detecting Air Circulation Faults in Refrigerated Display Cabinets." *New Technologies in Commercial Refrigeration*. Urbana, IL: International Institute of Refrigeration, 2002. 211-217.
- [19] Topper, R., R. Gilliom, J. Sanders, and J. Breland. Microprocessor Controlled Demand Defrost for a Cooled Enclosure. United States of America Patent 6,205,800. March 27, 2001.
- [20] Wang, D., T. Tao, S. Kang, and G. Xu. "Non-contact frost thickness measurement by using a micro-camera and image processing technology." *Proceedings of the 2010 IEEE, International Conference on Mechantronics and Automation*. Xi'an, China: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2010. 288-293.
- [21] William C. Whitman, William M. Johnson, "Refrigeration and Air Conditioning Technology", 3rd ed, Delmar Publishers, 1995.
- [22] Zhongliang LIU, Lingyan HUANG, Yujun GOU, "Experimental investigations of frost release by hydrophilic surfaces", *Front Energy Power Eng China*, 2010.
- [23] วิจิตร บุญยธโรกุล, "ระบบทำความเย็น ตู้เย็น-ห้องเย็น", กรุงเทพฯ : หจก.โรงพิมพ์เอเชีย, 2533.

- [24] สมศักดิ์ สุโมตยกุล, “เครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศ” , กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2533.



ภาคผนวก ก

การเขียนโปรแกรมคำสั่งชุดควบคุมการทำละลายน้ำแข็ง
ที่แผงเครื่องระเหยตามภาระ



```

float inputVariable0 = 335;
float inputVariable1 = 335;           // 0 degrees C
float inputVariable2 = 335;
float inputVariable3 = 335;
float inputVariable4 = 335;
float inputVariable5 = 335;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);                 //Begin serial communication
  //Alota sarjaliikenne tietokoneen
  kanssa

  pinMode(A0, INPUT);
  pinMode(A1, INPUT);
  pinMode(A2, INPUT);
  pinMode(A3, INPUT);
  pinMode(A4, INPUT);
  pinMode(A5, INPUT);
}

void loop()
{
  analogRead(A0);                     //tämä kolmen komennon
  paketti tarkoittaa lukemaa
  delay(10);
  inputVariable0 = analogRead(A0);
  inputVariable0 = inputVariable0 / 1.3667 - 245.116;
  analogRead(A1);                     //get more precise reading with
  delay-read again
  delay(10);
  inputVariable1 = analogRead(A1);
  inputVariable1 = inputVariable1 / 1.3667 - 245.116;

  analogRead(A2);
  delay(10);
  inputVariable2 = analogRead(A2);
  inputVariable2 = inputVariable2 / 1.3667 - 245.116;

```

```
analogRead(A3);
  delay(10);
  inputVariable3 = analogRead(A3);
  inputVariable3 = inputVariable3 / 1.3667 - 245.116;

analogRead(A4);
  delay(10);
  inputVariable4 = analogRead(A4);
  inputVariable4 = inputVariable4 / 1.3667 - 245.116;

analogRead(A5);
  delay(10);
  inputVariable5 = analogRead(A5);
  inputVariable5 = inputVariable5 / 1.3667 - 245.116;

  Serial.print("A0 = ");
  Serial.print(inputVariable0 ,0); Serial.println(" C");
  // print variable with 0 decimals...

  Serial.print("A1 = ");
  Serial.print(inputVariable1 ,0); Serial.println(" C");
  // resolution is 1 degree anyways

  Serial.print("A2 = ");
  Serial.print(inputVariable2 ,0); Serial.println(" C");

  Serial.print("A3 = ");
  Serial.print(inputVariable3 ,0); Serial.println(" C");

  Serial.print("A4 = ");
  Serial.print(inputVariable4 ,0); Serial.println(" C");

  Serial.print("A5 = ");
  Serial.print(inputVariable5 ,0); Serial.println(" C");

  Serial.println(" ");

  delay(5000); // wait 5 seconds and return to loop
```

คณะผู้วิจัย



รองศาสตราจารย์ ดร.นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
E-mail: nattachote.r@rmutp.ac.th

การศึกษา

ปร.ด. (วิศวกรรมไฟฟ้า) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
วศ.ม. (วิศวกรรมไฟฟ้า) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
วศ.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
คอ.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า) สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทเวศร์

งานวิจัยที่สนใจ

การวางแผนและปฏิบัติการในระบบไฟฟ้ากำลัง ผลกระทบของการเชื่อมต่อแหล่งผลิตไฟฟ้า
แบบกระจายในระบบจำหน่ายไฟฟ้า และเทคนิคการหาค่าเหมาะสมที่สุด

ใบอนุญาตประกอบวิชาชีพ

ใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม ระดับสามัญวิศวกร สาขาไฟฟ้า งานไฟฟ้ากำลัง
ใบอนุญาตผู้ตรวจสอบอาคาร

สมาชิกสมาคมวิชาชีพ

- สมาคมวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า (แห่งประเทศไทย)
- สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.) สามัญสมาชิก ตลอดชีพ
- Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology Association of Thailand (ECTI Thailand)
- Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE)
- The Institution of Engineering and Technology (IET)
- International Association of Computer Science and Information Technology (IACSIT)

ประวัติผู้วิจัย



- ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นายมนัส บุญเที่ยรทอง
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr.Manat Boonthienthong
- เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 4-1602-00001-01-1
- ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์
- หน่วยงาน สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง
เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800
โทรศัพท์ 02-8363000 ต่อ 4150 โทรสาร 02-8363000 ต่อ 4151
E-mail: manat.b@rmutp.ac.th โทรศัพท์ 0819112597
- ประวัติการศึกษา
ปริญญาเอก ปร.ด.(เทคโนโลยีเทคนิคศึกษา) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ปริญญาโท ค.อ.ม.(เทคโนโลยีเทคนิคศึกษา) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ปริญญาตรี วศ.บ.(วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์) มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
- สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
 - ความปลอดภัยด้านวิศวกรรมไฟฟ้า
 - เทคโนโลยีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์