การพัฒนาประสิทธิภาพการทำงานของตู้เย็นโดยใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะ

PERFORMANCE IMPROVEMENT OF A DOMESTIC REFRIGERATOR USING PHASE CHANG MATERIALS

กมลวรรณ บุปผา

KAMONWAN BUPPHA

พิพัฒพงษ์ เมืองพรหม

PIPATPONG MUEANGPROM

วุฒิชัย ยอดสุรางค์

WUTTICHAI YODSURANG

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์จังหวัดชุมพร

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาประสิทธิภาพการทำงานของตู้เย็นโดยใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะ

PERFORMANCE IMPROVEMENT OF A DOMESTIC REFRIGERATOR USING PHASE CHANG MATERIALS

กมลวรรณ บุปผา

KAMONWAN BUPPHA

พิพัฒพงษ์ เมืองพรหม

PIPATPONG MUEANGPROM

วุฒิชัย ยอดสุรางค์

WUTTICHAI YODSURANG

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์จังหวัดชุมพร

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PERFORMANCE IMPROVEMENT OF A DOMESTIC REFRIGERATOR USING PHASE CHANG MATERIALS

KAMONWAN BUPPHA
PIPATPONG MUEANGPROM
WUTTICHAI YODSURANG

A PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING

DEPARTMENT OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG PRINCE OF CHUMPHON

2022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2023
DEPARTMENT OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
PRINCE OF CHUMPHON CAMPUS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
ใบรับรองปริญญานิพนธ์

.....

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การพัฒนาประสิทธิภาพการทำงานของตู้เย็นโดยใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะ

PROJECT TITLE PERFORMANCE IMPROVEMENT OF DOMESTIC REFRIGERATION USING PHASE CHANGE MATERIALS.

ชื่อนักศึกษา นางสาวกมลวรรณ บุปผา รหัสประจำตัว 62201024
นายพิพัฒพงษ์ เมืองพรหม รหัสประจำตัว 62201072
นายวุฒิชัย ยอดสุรางค์ รหัสประจำตัว 62201090

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.วิสิทธิ์ เอกวานิช

ปริญญานิพนธ์

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์		**ลายมือชื่อ**
ผศ.ดร.ปราโมทย์ กุศล	กรรมการสอบ	
ผศ.ดร.นารถระพี นาคะวัจนะ	กรรมการสอบ	
ผศ.ดร.ศรีรัตน์ ช่วยบุญ	กรรมการสอบ	
รศ.ดร.ปัญญา แดงวิไลลักษณ์	กรรมการสอบ	
อ.ดร.วิสิทธิ์ เอกวานิช	อาจารย์ที่ปรึกษา	วิสิทธิ์ เอกวานิช

วัน/เดือน/ปีที่สอบ 22 พฤษภาคม 2566 เวลา 09.00 – 12.00 น.

สถานที่สอบ ณ ห้องประชุมกาสะลอง

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ รัตนเดช)
หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์
วันที่ 15 เดือน มิ.ย. พ.ศ. 66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การพัฒนาประสิทธิภาพการทำงานของตู้เย็นโดยใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะ
ชื่อนักศึกษา	นางสาวกมลวรรณ บุปผา รหัสประจำตัว 62201024
	นายพิพัฒพงษ์ เมืองพรหม รหัสประจำตัว 62201072
	นายวุฒิชัย ยอดสุรางค์ รหัสประจำตัว 62201090
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์	ดร.วิสิทธิ์ เอกวานิช

บทคัดย่อ

การศึกษาอิทธิพลของวัสดุเปลี่ยนสถานะต่อการใช้พลังงานและสัมประสิทธิ์สมรรถนะของตู้เย็น โดยประยุกต์ใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะจำนวน 1 กิโลกรัม บรรจุอยู่ในกล่องที่ทำจากอลูมิเนียม โดยวัสดุเปลี่ยนสถานะที่นำมาใช้จะประกอบไปด้วยน้ำและน้ำผสมเกลือที่อัตราส่วน 10 และ 50 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนัก โดยติดตั้งอยู่ด้านหลังของชุดอีวาโปเรเตอร์เพื่อเพิ่มสมรรถนะของระบบทำความเย็นและลดชั่วโมงการทำงานของคอมเพรสเซอร์ ผลการทดลองพบว่า ตู้เย็นที่ทำการติดตั้งชุดอุปกรณ์วัสดุเปลี่ยนสถานะสามารถเพิ่มสมรรถนะและลดการใช้พลังพลังงานของตู้เย็นเมื่อเทียบกับตู้เย็นทั่วไปที่ไม่มีการติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะ จากการทดลองที่สภาวะอากาศภายนอก 30-33 องศาเซลเซียส ค่าการใช้พลังงานเฉลี่ยที่ชั่วโมงการทำงานเท่ากับ 12 ชั่วโมง ของตู้เย็นเปล่า ตู้เย็นติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะชนิดน้ำเปล่า ชนิดน้ำเกลือความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนัก และชนิดน้ำเกลือความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนัก เท่ากับ 0.74 0.50 0.54 และ 0.51 กิโลวัตต์ชั่วโมง ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะเฉลี่ยของตู้เย็นกรณีที่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะทั้ง 3 ประเภท มีค่าเพิ่มขึ้น 16.09 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROJECT TITLE	PERFORMANCE IMPROVEMENT OF DOMESTICREFRIGERATION REFRIGERATION USING PHASE CHANGE MATERIALS.
Student's Name	KAMONWAN BUPPHA STUDENT ID 62201024
	PIPATPONG MUEANGPROM STUDENT ID 62201072
	WUTTICHAI YODSURANG STUDENT ID 62201090
Degree	BACHELOR OF ENGINEERING
Program	MECHANICAL ENGINEERING
Project Advisor	DR. VISIT EAKVANICH

Abstract

This study investigated the influence of latent heat storage materials on the power consumption and the coefficient of performance (COP) of a commercial domestic refrigerator. An aluminum pack (size 5 x 20 x 20 cm) contained 1 kg of phase change materials (PCMs), which consisted of a 0, 10, 50 wt.% salt by weight in water, were located on the back side of the evaporator, in order to improve the higher performance of refrigerator and to decrease the operating cycle time of the compressor. The experimental results indicated that the refrigerator equipped with the PCMs storage unit showed a significant enhancement of the coefficient of performance and a reduction of the energy consumption compared to a conventional system. In the range of ambient temperature between 30-33^{o}C, the average electric power consumption (12 hour) of the refrigerator without PCMs pack, the refrigerator with PCMs pack as water, solution of salt in water 10 wt.%, and 50 wt.% were 0.74, 0.50, 0.54, and 0.51 kWh, respectively. Moreover, the average COP of the refrigeration system was increased by 16.09%.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความอนุเคราะห์ในการให้คำปรึกษา ดูแล แก้ไข ปรับปรุงและความช่วยเหลือจากทุกฝ่าย ซึ่งผู้ศึกษาขอขอบคุณ ดร. วิสิทธิ์ เอกวานิช อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ซึ่งชี้แนะแนวทางในการทำศึกษาให้เป็นไปในทิศทางที่ถูกต้องและได้เสียสละเวลาในการตรวจงานการศึกษาและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ อีกทั้งยังดูแล เอาใส่ใจและให้กำลังใจในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ อันเป็นประโยชน์ต่อปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จนทำให้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ ผู้ศึกษาขอมอบคุณประโยชน์และความดีอันพึงมีคุณค่าจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้ศึกษาขอมอบให้แด่ผู้มีพระคุณทุกท่านด้วยความเคารพยิ่งที่ให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ตลอดจนครูบาอาจารย์ทุกท่าน ซึ่งเป็นผู้มอบวิชาความรู้เป็นพื้นฐานที่สำคัญยิ่งแก่ผู้ศึกษา คณะผู้จัดทำหวังว่าปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะมีประโยชน์ไม่มีก็น้อยต่อผู้ที่สนใจศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาประสิทธิภาพการทำงานของตู้เย็นโดยใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะ หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้ศึกษาขออภัยไว้ ณ ที่นี้

นางสาวกมลวรรณ บุปผา
นายพิพัฒพงษ์ เมืองพรหม
นายวุฒิชัย ยอดสุรางค์
พฤษภาคม 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย		I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		II
กิตติกรรมประกาศ		III
สารบัญ		IV
สารบัญตาราง		VI
สารบัญรูป		VII
บทที่ 1	บทนำ	
	1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
	1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	2
	1.3 สมมติฐานของโครงงาน	2
	1.4 ขอบเขตของโครงงาน	2
	1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
	1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
	1.7 แผนการดำเนินงาน	4
บทที่ 2	ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
	2.1 ตู้เย็น	5
	2.2 ระบบทำความเย็น	6
	2.3 ประเภทและหลักการทำงานของระบบทำความเย็น	7
	2.4 ประสิทธิภาพของระบบทำความเย็น	12
	2.5 วัสดุเปลี่ยนสถานะ	13
	2.6 คุณสมบัติของวัสดุเปลี่ยนสถานะ	14
	2.7 การประยุกต์ใช้งนของวัสดุเปลี่ยนสถานะ	15
	2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18
บทที่ 3	อุปกรณ์และวิธีการ	
	3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	23
	3.2 ขั้นตอนการเตรียมตู้เย็นที่ใช้ในการทดสอบ	26
	3.3 ขั้นตอนการเตรียมวัสดุเปลี่ยนสถานะ	27
	3.4 ขั้นตอนการติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะที่อีวาโปเรเตอร์	28
	3.5 ขั้นตอนการทดสอบเพื่อเก็บผลการทดลอง	30
	3.6 ขั้นตอนการทดลองเพื่อเก็บผล	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผล

4.1 ผลการทดลองตู้เย็นแบบไม่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะและไม่ควบคุอุณหภูมิห้องอยู่ที่ 30 - 32 ˚C 32

4.2 ผลการทดลองตู้เย็นแบบไม่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะและจะควบคุมอุณหภูมิห้องอยู่ที่ 25 - 27 ˚C 33

4.3 ผลการทดลองตู้เย็นแบบติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะและสารที่ใช้คือน้ำและจะไม่ควบคุมอุณหภูมิห้องอยู่ที่ 30 - 32 ˚C 33

4.4 ผลการทดลองตู้เย็นแบบติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะและสารที่ใช้คือน้ำและจะควบคุมอุณหภูมิห้องอยู่ที่ 25 - 27 ˚C 34

4.5 ผลการทดลองตู้เย็นแบบติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะและสารที่ใช้คือน้ำผสมกับโซเดียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 10 wt% และจะไม่ควบคุมอุณหภูมิห้องอยู่ที่ 30 - 32 ˚C 34

4.6 ผลการทดลองตู้เย็นแบบติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะและสารที่ใช้คือน้ำผสมกับโซเดียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 10 wt% และจะควบคุมอุณหภูมิห้องอยู่ที่ 25–27˚C 35

4.7 ผลการทดลองตู้เย็นแบบติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะและสารที่ใช้คือน้ำผสมกับโซเดียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 50 wt% และจะไม่ควบคุมอุณหภูมิห้องอยู่ที่ 30 – 32˚C 35

4.8 ผลการทดลองตู้เย็นแบบติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะและสารที่ใช้คือน้ำผสมกับโซเดียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 50 wt% และจะควบคุมอุณหภูมิห้องอยู่ที่ 25– 27˚C 36

4.9 ผลและค่าเบี่ยงเบนมารตฐานของพลังงานทางไฟฟ้า 36

4.10 ผลและค่าเบี่ยงเบนมารตฐานของค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของตู้เย็น 37

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง 39

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ 40

เอกสารอ้างอิง..... 42

ภาคผนวก.....

ภาคผนวก ก ผลการทดลองจากเครื่องบันทึกผล 45

ประวัติผู้เขียน 70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	แผนผังการดำเนินงานการพัฒนาประสิทธิภาพการทำงานของตู้เย็นโดยใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะ	4
ก.1	แสดงถึงค่าอุณหภูมิและค่ากำลังทางไฟฟ้าของตู้เย็นที่ไม่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะในสภาวะที่ไม่ควบคุมอุณหภูมิห้อง	46
ก.2	แสดงถึงค่าอุณหภูมิและค่ากำลังทางไฟฟ้าของตู้เย็นที่ไม่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะในสภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิห้อง	49
ก.3	แสดงถึงค่าอุณหภูมิและค่ากำลังทางไฟฟ้าของตู้เย็นที่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะโดยใช้น้ำในสภาวะที่ไม่ควบคุมอุณหภูมิห้อง	52
ก.4	แสดงถึงค่าอุณหภูมิและค่ากำลังทางไฟฟ้าของตู้เย็นที่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะโดยใช้น้ำในสภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิห้อง	55
ก.5	แสดงถึงค่าอุณหภูมิและค่ากำลังทางไฟฟ้าของตู้เย็นที่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะโดยใช้น้ำผสมกับโซเดียมคลอไรด์ 10 wt% ในสภาวะที่ไม่ควบคุมอุณหภูมิห้อง	58
ก.6	แสดงถึงค่าอุณหภูมิและค่ากำลังทางไฟฟ้าของตู้เย็นที่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะโดยใช้น้ำผสมกับโซเดียมคลอไรด์ 10 wt% ในสภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิห้อง	61
ก.7	แสดงถึงค่าอุณหภูมิและค่ากำลังทางไฟฟ้าของตู้เย็นที่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะโดยใช้น้ำผสมกับโซเดียมคลอไรด์ 50 wt% ในสภาวะที่ไม่ควบคุมอุณหภูมิห้อง	64
ก.8	แสดงถึงค่าอุณหภูมิและค่ากำลังทางไฟฟ้าของตู้เย็นที่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะโดยใช้น้ำผสมกับโซเดียมคลอไรด์ 50 wt% ในสภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิห้อง	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

ภาพที่		หน้า
1.1	แผนผังการดำเนินงานการพัฒนาประสิทธิภาพการทำงานของตู้เย็นโดยใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะ	3
2.1	แสดงระบบทำความเย็นโดยการทำให้ความเย็นระเหย	7
2.2	แสดงการทำงานของระบบทำความเย็นแบบอัดไอ	9
2.3	น้ำแข็งแห้ง	10
2.4	แสดงการทำงานของระบบทำความเย็นแบบใช้การระเหยตัวของน้ำ	10
2.5	แผนภาพความดัน-เอนทัลปีของวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ	12
2.6	แผนภาพความดัน-เอนทัลปีของสารทำความเย็น R-134a	13
2.7	ลักษณะและการทำงานของวัสดุเปลี่ยนสถานะ	14
2.8	วัสดุเปลี่ยนสถานะแบบแผ่น	15
2.9	การนำวัสดุเปลี่ยนสถานะมาใช้ในระบบการขนส่ง	16
2.10	การนำวัสดุเปลี่ยนสถานะมาใช้ในการเก็บรักษาอุณหภูมิของยารักษาโรค	16
2.11	การนำมาใช้ลดอุณหภูมิของแบตเตอรี่	17
2.12	การนำมาใช้ในที่พักเพื่อควบคุมอุณหภูมิในเขตอากาศร้อน	17
2.13	การนำมาใช้งานในระบบผลิตน้ำร้อนเพื่อใช้ในอาคาร	18
3.1	รายละเอียดการติดตั้ง	22
3.2	ตู้เย็น รุ่น MITSUBISHI MR-17KA	23
3.3	เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) Type k	23
3.4	เกจวัดความดัน (Pressure gauge)	24
3.5	ดิจิตอลมิเตอร์ (Digital meter)	24
3.6	น้ำ (Water)	25
3.7	เกลือ (salt)	25
3.8	เทอร์โมมิเตอร์ท (thermometer)	25
3.9	เครื่องดิจิตอล	26
3.10	การติดตั้ง Pressure gauge ในระบบทำความเย็น	26
3.11	การต่อสาย Thermocouple เข้ากับตัวอ่านค่าอุณหภูมิ (thermometer)	27
3.12	การชั่งน้ำหนักวัสดุเปลี่ยนสถานะ	27
3.13	การผสมน้ำและเกลือให้ละลายเข้ากัน	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
3.14	การออกแบบภาชนะสำหรับใส่วัสดุเปลี่ยนสถานะ	28
3.15	การตัดแผ่นอลูมิเนียมตามขนาด	29
3.16	การนำแผ่นอลูมิเนียมมาพับเป็นภาชนะสำหรับใส่วัสดุเปลี่ยนสถานะ	29
3.17	ภาชนะสำหรับใส่วัสดุเปลี่ยนสถานะ	29
3.18	การใส่สารลงภาชนะสำหรับใส่วัสดุเปลี่ยนสถานะ	30
3.19	การติดตั้งภาชนะและสายเทอร์โมคัปเปิลที่ด้านล่างของอีวาโปเรเตอร์	30
3.20	การเก็บผลการทดลอง	31
4.1	กราฟการทดลองตู้เย็นแบบไม่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะและไม่ควบคุมอุณหภูมิห้องอยู่ที่ 30 - 32 °	32
4.2	กราฟการทดลองตู้เย็นแบบไม่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะและจะควบคุมควบคุมอุณหภูมิห้องอยู่ที่ 25 - 27°C	33
4.3	กราฟการทดลองตู้เย็นแบบติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะและสารที่ใช้คือน้ำและจะไม่ควบคุมควบคุมอุณหภูมิห้องอยู่ที่ 30 - 32°	33
4.4	กราฟการทดลองตู้เย็นแบบติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะและสารที่ใช้คือน้ำและจะควบคุมควบคุมอุณหภูมิห้องอยู่ที่ 25 - 27°C	34
4.5	กราฟแสดงผลการทดลองตู้เย็นแบบติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะและสารที่ใช้คือน้ำผสมกับโซเดียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 10 wt% และจะไม่ควบคุมอุณหภูมิห้องอยู่ที่ 30 - 32°C	34
4.6	กราฟแสดงผลการทดลองตู้เย็นแบบติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะและสารที่ใช้คือน้ำผสมกับโซเดียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 10 wt% และจะควบคุมอุณหภูมิห้องอยู่ที่ 25-27 °C	35
4.7	กราฟแสดงผลการทดลองตู้เย็นแบบติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะ และสารที่ใช้คือน้ำผสมกับโซเดียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 50 wt% และจะไม่ควบคุมอุณหภูมิห้องอยู่ที่ 30 - 32 °C	35
4.8	กราฟแสดงผลการทดลองตู้เย็นแบบติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะและสารที่ใช้คือน้ำผสมกับโซเดียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 50 wt% และจะควบคุมอุณหภูมิห้องอยู่ที่ 25-27 °C	36
4.9	แสดงผลค่าเบี่ยงเบนมารตรฐานของพลังงานทางไฟฟ้าในสภาวะไม่ควบคุมอุณหภูมิห้อง	36
4.10	แสดงผลค่าเบี่ยงเบนมารตรฐานของพลังงานทางไฟฟ้าในสภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิห้อง	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.11	แสดงผลค่าเบี่ยงเบนมารตฐานของค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของตู้เย็นในสภาวะที่ไม่ควบคุมอุณหภูมิ	37
4.12	แสดงผลค่าเบี่ยงเบนมารตฐานของค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของตู้เย็นในสภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิ	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันตู้เย็น เป็นอุปกรณ์อำนวยความสะดวกที่แทบทุกบ้านจะต้องมีไว้ใช้ประโยชน์และที่สำคัญของตู้เย็นไว้ใช้เก็บอาหารเพื่อถนอมอาหารให้ได้นานขึ้น ทั้งอาหารสดประเภทเนื้อและผักสดต่างๆและอาหารสำเร็จรูปที่อาจยังกินไม่หมดก็สามารถเก็บไว้ในตู้เย็นเพื่อยืดระยะเวลาการเน่าเสียของอาหารได้และนอกจากตู้เย็นในครัวเรือนแล้วยังมีตู้เย็นที่ใช้ในการขายอาหารในห้างสรรพสินค้าที่จำเป็นต้องมีตู้เย็นหรือห้องแช่เย็นขนาดใหญ่ไว้แช่แข็งผลิตภัณฑ์จำพวก เนื้อสัตว์ ผัก ปลา อาหารทะเล เป็นต้นและประชาชนทั่วไปสามารถซื้ออาหารจากห้างสรรพสินค้ามาเก็บไว้ในตู้เย็นที่อยู่ในห้องครัวได้ ทำให้ผู้คนสามารถรับประทานอาหารที่หลากหลายในมื้อเดียวส่งผล และส่งผลให้โภชนาการของประชาชนทั่วไปดีขึ้น การขาดสารอาหารลดลง และนอกจากนี้ยังเป็นส่วนสำคัญในอุตสาหกรรมการส่งออกอาหารแช่แข็งที่สามารถสร้างรายได้มากมาย

ในสภาพอากาศโลกที่ร้อนขึ้น อาหารและเครื่องดื่มแช่เย็นจึงเป็นตัวเลือก เพื่อดับกระหายคลายร้อนทำให้ความต้องการใช้ผลิตภัณฑ์เครื่องทำความเย็นภายในประเทศเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ทุกปีตามสภาพอากาศที่ร้อนขึ้นโดยมีการใช้พลังงานของเครื่องทำความเย็นเกือบ 30 % ของการใช้พลังงานทั่วโลกและตู้เย็นเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้พลังงานมากที่สุดเพราะใช้งานอย่างต่อเนื่อง ปัญหาคือการสิ้นเปลืองพลังงานของตู้เย็นเม้ว่าการใช้พลังงานของตู้เย็นแต่ละเครื่องในปัจจุบันเหมือนว่าจะอยู่ในระดับต่ำ แต่เครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดนนี้เป็นความจำเป็นหลักจึงมีใช้กันแทบทุกครัวเรือน ดังนั้นหากมีการพัฒนาเทคโนโลยีที่ช่วยในการลดพลังงานไฟฟ้าของตู้เย็นก็จะเป็นประโยชน์อย่างมาก จึงได้มีวิจัยมากมายเกี่ยวกับการนำวัสดุเปลี่ยนสถานะมาใช้กับตู้เย็นโดยช่วยในเรื่องการถ่ายเทความร้อนและปรับปรุงค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของตู้เย็นให้เพิ่มขึ้นมีการนำวัสดุเปลี่ยนสถานะไปติดตั้งที่บริเวณคอยล์เย็นหรืออีวาโปเรเตอร์เพื่อช่วยในการประหยัดพลังงานหรือช่วยให้การทำงานและค่าสัมประสิทธิ์สรรมถนะของตู้เย็นเพิ่มขึ้นและรวมไปถึงการประดิษฐ์ตู้เย็นไร้น้ำแข็งค้างซึ่งใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะมาช่วยในการรักษาอุณหภูมิวัสดุเปลี่ยนสถานะ (Phase Change Material : PCM) หมายถึงสารที่เผยแพร่หรือดูดซับพลังงานที่เพียงพอในการเปลี่ยนสถานะเพื่อให้ดูดซับพลังงานความร้อนเก็บไว้ได้ และจะปล่อยออกมาเมื่ออุณหภูมิภายนอกลดต่ำลงกว่าอุณหภูมิของวัสดุเปลี่ยนสถานะ

จากการศึกษาค้นคว้าวิจัยต่างๆทำให้พบว่าปัจจุบันได้มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะPCM) ร่วมกับตู้แช่เย็นนั้นมีเป็นจำนวนมากโดยส่วนใหญ่มุ่งเน้นในเรื่องของการปรับปรุงไปที่อีวาโปเรเตอร์โดยนำวัสดุเปลี่ยนสถานะชนิดต่างๆมาประยุกต์ใช้งานร่วมกัน ในการจัดเก็บพลังงานความร้อนภายในตู้แช่เย็นเพื่อลดระยะเวลาการทำงานของคอมเพสเซอร์และลดการแปรปรวนของอุณหภูมิภายในตู้แช่เย็น อธิบายก็คือใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะเป็นตัวเก็บความร้อนเมื่อตู้เย็นมีการถ่ายเท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความร้อนเกิดขึ้น เพราะวัสดุเปลี่ยนสถานะมีความสามารถในการดูดซับพลังงานความร้อนและจะปล่อยออกมาเมื่ออุณหภูมิภายนอกลดต่ำลงกว่าอุณหภูมิของวัสดุเปลี่ยนสถานะ เมื่อการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงภาวะเรือนกระจกซึ่งเป็นผลกระทบมาจากการใช้พลังงานไฟฟ้าในปริมาณมากนั้นก็จะลดลงอีกด้วย

อีกทั้งการนำวัสดุเปลี่ยนสถานะมาติดตั้งที่อีวาโปเรเตอร์ของตู้เย็น เพื่อทดสอบและเปรียบเทียบการใช้พลังงานของตู้เย็นที่ติดตั้งและไม่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะ ซึ่งเป็นแนวทางในการพัฒนาเทคโนโลยีในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของตู้เย็นต่อ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อทดสอบการทำงานของตู้เย็นเมื่อติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะในการจัดเก็บพลังงานความร้อนร่วมกับอีวาโปเรเตอร์ภายในตู้แช่เย็น สำหรับลดการใช้พลังงาน

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานของตู้เย็นที่ติดตั้งและไม่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะ

1.3 สมมติฐานของโครงงาน

จากการศึกษาและรวบรวมงานวิจัยสามารถตั้งสมมุติฐานได้ว่าการทดสอบการทำงานของตู้เย็นที่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะ ที่จะติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะที่บริเวณอีวาโปเรเตอร์เพื่อเปรียบการใช้พลังงานของตู้เย็น จากการตั้งสมมุติฐานคาดว่าเมื่อติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะที่บริเวณอีวาโปเรเตอร์จะทำให้การใช้พลังงานไฟฟ้าของตู้เย็นลดลง ซึ่งสมมุติฐานนี้เป็นเพียงการพิจารณาจากการศึกษาและรวบรวมงานวิจัยผู้จัดทำ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการทดลองก่อน และนำผลการทดลองมาวิเคราะห์เพื่อสรุปผล

1.4 ขอบเขตของโครงงาน

1.4.1 ใช้ตู้เย็น รุ่น MITSUBISHI MR-17KA

1.4.2 ใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะคือ น้ำ และ น้ำผสมโซเดียมคลอไรด์

1.4.3 การทดสอบการทำงานของตู้เย็น 4 เงื่อนไข

1.4.3.1 ไม่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะ

1.4.3.2 มีวัสดุเปลี่ยนสถานะไปยึดติดกับตัวอีวาโปเรเตอร์ (Evaporator) หรือคอยล์เย็นโดยใช้น้ำ

1.4.3.3 มีวัสดุเปลี่ยนสถานะปยึดติดกับตัวอีวาโปเรเตอร์ (Evaporator) หรือคอยล์เย็นโดยใช้น้ำผสมกับโซเดียมคลอไรด์อัตราส่วน 50 wt%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4.3.4 มีวัสดุเปลี่ยนสถานะไปยึดติดกับตัวอีวาโปเรเตอร์ (Evaporator) หรือคอยล์เย็นโดยใช้น้ำผสมกับโซเดียมคลอไรด์อัตราส่วน 10 wt%

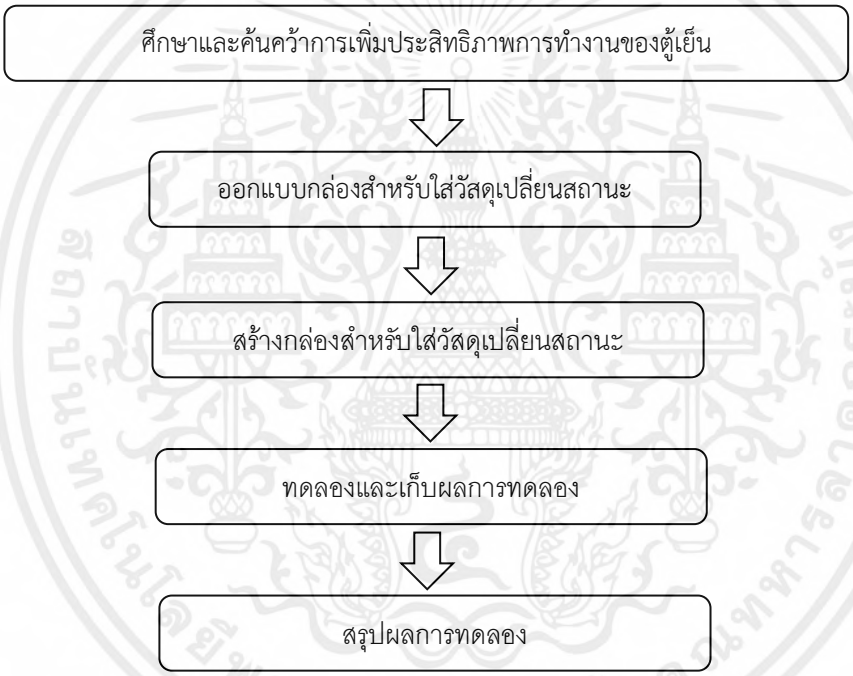
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ตู้เย็นมีการประหยัดพลังงานเพิ่มมากขึ้น

1.5.2 ได้รับความรู้จากการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพจากวัสดุเปลี่ยนสถานะ

1.5.3 ได้ศึกษาและพัฒนาการทำงานของตู้เย็นให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน



รูปที่ 1.1 แผนผังการดำเนินงานการพัฒนาประสิทธิภาพการทำงานของตู้เย็นโดยใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.7 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนผังการดำเนินงานการพัฒนาประสิทธิภาพการทำงานของตู้เย็นโดยใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะ

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลาการดำเนินงานการพัฒนาประสิทธิภาพการทำงานของตู้เย็นโดยใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะ										
	2565					2566					
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.
1.ศึกษาทฤษฎีการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของตู้เย็น	←	→									
2.การออกแบบกล่องสำหรับใส่วัสดุเปลี่ยนสถานะและติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการทดลอง			←	—	—	→					
3.ทดสอบและรวบรวมผลข้อมูล						←	—	→			
4.วิเคราะห์ผลและสรุปผลการทดลอง							←	—	→		
5.ทำเล่มปริญญานิพนธ์										←	→

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ตู้เย็น

ตู้เย็นเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ทำความเย็นประกอบด้วย2ส่วนหลักคือ ส่วนฉนวนป้องกันความร้อน (ป้องกันความร้อนไม่ให้ความร้อนไหลเข้ามา) และ ส่วนทำความเย็นปั๊มที่นำความร้อนออกไปสู่ภายนอกที่มีอุณหภูมิต่ำ)

ตู้เย็นเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่นิยมมากตามบ้านเรือน และใช่กันอย่างแพ่หลาย คนส่วนใหญ่ใช่ตู้เย็นในการเก็บอาหารเพื่อป้องกันการเน่าเสีย จากแบคทีเรียเติบโตช้ากว่าในอุณหภูมิต่ำ ตู้เย็นมีหลายประเภท ตั้งแต่แบบที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจุดเยือกแข็ง(ช่องเย็นปกติ)แบบที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งเล็กน้อย (ช่องแช่เข็ง)ก่อนที่จะมีตู้เย็นประเทศเขตหนาวใช่ก้อนน้ำเข็ง(icebox)ในการรักษาอาหาร

ช่องแช่แข็งทั่วไปของตู้เย็นจะมีอุณหภูมิประมาณ 18 องศา ตู้เย็นที่ใช้ในบ้านส่วนใหญ่จะมีช่องเย็นและช่องแช่เข็งรวมกันและใช่เครื่องทำความเย็นร่วมกัน(บางรุ่นก็แยกกัน) ตู้เย็นรุ่นใหม่มักจะมีเครื่องทำน้ำแข็งติดตั้งมาด้วย

ตู้เย็นขนาดใหญ่ในโรงงานมักใช้แก๊สแอมโมเนียซึ่งเป็นอันตรายในการทำความเย็น ทำให้ไม่ปลอดภัยในการทำมาใช้ในบ้านเรือน ต่อมาได้มีการสังเคราะห์สารเคมีราคาถูก ไม้เป็นพิษ ไม่ติดไฟ เช่น แก๊สฟรีอ่อน

2.1.1 ประวัติตู้เย็น

ในปี ค.ศ.1748 วิลเลียม คัลเลน (William Cullen) ได้ทำการสร้างรูปแบบตู้เย็นขึ้นเป็นครั้งแรกที่มหาวิทยาลัยกลาสโกว์ แต่เป้นแค่แบบจำลองไม่สามารถทำงานได้เค้าจึงไม่ได้รับการยอมรับว่าเป็นผู้ค้นพบและคิดค้นตู้เย็นแลในปี ค.ศ. 1805โอลิเวอร์ (Oliver Evans) นักประดิษฐ์ชาวอเมริกัน ได้เริ่มทำการออกแบบตู้เย็นเครื่องแรกขึ้นมาแต่ก็ไม่สามารถใช้งานได้เช่นเดียวกับ อีวานส์จึงกลายเป็นแค่ส่วนหนึ่งของการออกแบบตูเย็นในอนาคตเท่านั้น หลังจากนั้นในปี ค.ศ. 1834 จาคอบ เพอร์กินส์ เป็นคนแรกที่สามารถประดิษฐ์ตู้เย็นเป็นเครื่องแรกของโลกได้และสามารถใช้งานได้จริงและนำไปต่อยอดได้ ในเวลาหลายสิบปีต่อมาตู้เย็นได้ถูกจดสิทธิบัตรกระบวนการทำแก๊สให้เป็นของเหลวเป็นครั้งแรกโดย วิศวกรชาวเยอรมันที่ชื่อว่า คาร์ล วอน ในปี ค.ศ. 1876 ตู้เย็นในตอนนั้นใช้ก๊าซที่เป็นพิษในการทำความเย็น ทำให้เกิดอุบัติเหตุหลายครั้งในยุค 1920 เมื่อก๊าซพิษได้รั่วไหลออกจากตู้เย็นซึ่งเป็นอันตรายแก่ผู้ใช้งานทำให้บริษัทในอเมริกันได้ร่วมตัวกันทำวิจัยและพัฒนากระบวนการทำความเย็นที่เน้นให้ปลอดภัยแก่ผู้ใช้งานมากขึ้นจึงเปลี่ยนมาใช้สานฟรีออนในการทำความเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 หลักการทำงานของตู้เย็น

การทำความเย็นเป็นการถ่ายความร้อนภานในออกด้านนอก ซึ่งเกิดจากเครื่องอัดไอ (compressor) ทำหน้าที่อักแก๊สของสารทำความเย็น(Refrigerant substant) ใหเป็นของเหลวในคอยล์ร้อนหรือเครื่องควบแน่น(Conderser) จากนั้นส่งผ่านไปยังหลอดรูเล็ก (Capillary tube) และไปยังคอยล์ร้อนหรือเครื่องระเหย (evaporator) ทำให้ความดันของของเหลวลดลงจนเปลี่ยนสถานะจากแก๊สกลายเป็นไอ ซึ่งของเหลวได้รับความร้อนแฝงจากวัตถุต่าง ๆที่อยู่ใกล้เครื่องระเหย โดยวิธีการนำความร้อนหรือการแผ่รัวสี เพื่อทำให้อุณหภูมิภายในตู้เย็นเย็นลง จากนั้นแก๊สความดันต่ำของสารทำความเย็นจะถูกดูดโดยเครื่องอัดไอและอัดออกไปยังเครื่องควบแน่น เพื่อถ่ายเทความร้อนออกไปจากระบบ ทำให้สารทำความเย็นจะเข้าไปรับความร้อนที่เครื่องระเหยใหม่อีกครั้ง

2.2 ระบบทำความเย็น

2.2.1 การเกิดความเย็น

การเกิดความเย็นในเครื่องทำความเย็นโดยหลักการทำให้เกิดความเย็นเบื้องต้นมีลักษณะเหมือนกันคือ ทำให้สารซึ่งเป็นตัวกลางในการทำความเย็น(Refrigerant) เปลี่ยนสถานะด้วยการใช้ความร้อนแฝง เพื่อให้สารที่เป็นตัวกลางในการทำความเย็นเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นไอ ส่งผลให้บริเวณนั้นมีอุณหภูมิลดลงซึ่งหมายความว่าบริเวณนั้นจะทีความเย็นเกิดขึ้น

2.2.2 การนำระบบทำความเย็นมาใช้ในงานในด้านต่าง ๆ

2.2.2.1 การผลิตอาหาร (Food processing) กระบวนการทำพาสเจอร์ไรส์ (Pasteurisation) เช่นการผลิตนม หรือไอศกรีม ด้วยการให้ความร้อนแก่นมด้วยอุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียสหลังจากนั้นนำมาทำให้เย็นตัวลงอน่างรวดเร็วและเก็บไว้ที่อุณหภูมิ2-3 องศาเซลเซียส เพื่อรักษาคุณภาพของนมก่อนนำออกจำหน่าย ไปจนถึงกระบวนการหมัก (Fermentation) กระบวนการบ่ม (Mellowing) ที่ต้องทำภายใต้อุณหภูมิ 5-15 องศาเซลเซียส

2.2.2.2 การผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม (Lndustrial process) มีการใช้ระบบทำความเย็นสำหรับกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมเคมี ปิโตรเคมี โรงกลั่นน้ำมัน โรงแยกก๊าซ

2.2.2.3 การเก็บรักษาอาหาร (Food storage) การนำอาหารมาแช่เข็งเพื่อการรักษาความสดไว้ เช่น ผัก ผลไม้ เนื้อสัตว์ เพื่อยืดอายุการรักษาอาหารให้นานขึ้น โดยการแช่ในห้องเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง ซึ่งเป็นการลดการแพร่ขยายของแบคทีเรีย ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้อาหารเสียได้

2.2.2.4 การปรับอากาศ (Air condition) ระบบปรับอากาศมีใช้อย่างแพร่หลายมากในปัจจุบัน ตั้งแต่รถยนต์ อาคาร โรงงานอุคสาหกรรม โดยนอกจากการให้ความเย็นยังทำงานร่วมกับระบบควบคุมความชื้น กรองอากาศ การหมุนเวียนอากาศ การระบายอากาศ เพื่อให้ได้อากาศที่เย็นสดชื่น

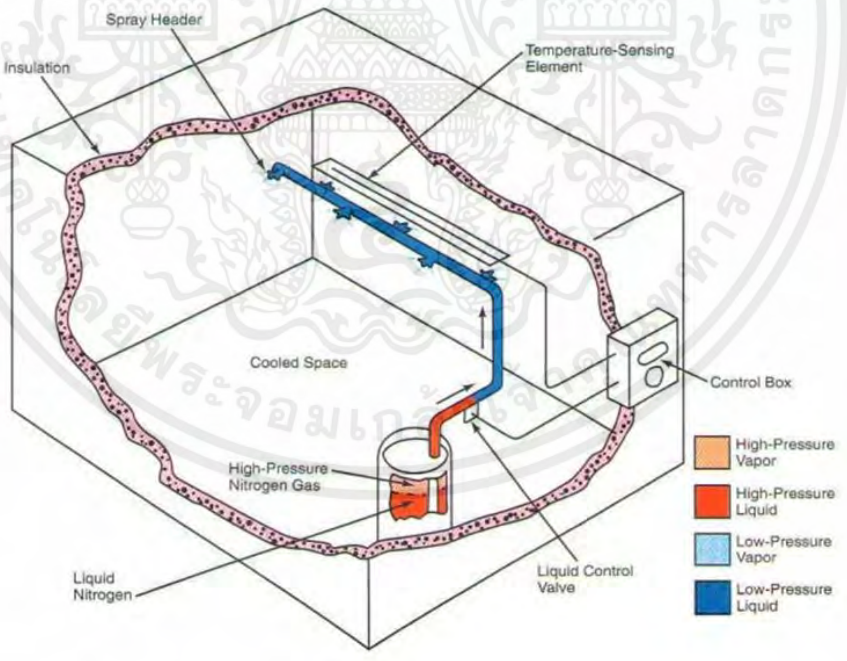
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.5 การทำความเย็นเพื่อการขนส่ง (Transportation refrigeration) ระบบห้องทำความเย็นแบบเคลื่อนที่เพื่อรักษาคุณภาพสินค้าในระหว่างขนส่งให้มีความสดใหม่ไว้ เช่น ห้องเย็นบนเรือขนส่งสินค้า หรือรถห้องเย็นที่ใช้ขนส่งสินค้าไปตามต่างจังหวัด

2.3 ประเภทและหลักการทำงานของระบบทำความเย็น

2.3.1ระบบทำความเย็นโดยการทำให้ความเย็นระเหย

เป็นแบบที่ใช้ได้ดีกับรถบรรทุกเพื่อการขนส่งอาหาร ที่ต้องการควบคุมอุณหภูมิให้ต่ำอยู่เสมอ หลักการทำงานของระบบทำความเย็นแบบนี้ง่ายมาก เพียงแต่ปล่อยให้สารทำความเย็นเหลวระเหยตัวเป็นไอภายในบริเวณ เนื้อที่ที่ห้องการทำความเย็น ซึ่งบริเวณเหล่านี้ต้องมีฉนวนกันความร้อนหุ้มโดยรอบ ขณะที่สารเปลี่ยนสถานะจะต้องการความร้อนแฝงทำให้อุณหภูมิ ในบริเวณนี้ลดต่ำลง สารทำความเย็นที่ใช้เป็นตัวกลางในการทำความเย็นในทีนี้จะใช้ไนโตรเจนเหลว (liquid nitrogen) ซึ่งเก็บในถังภายใต้ความดัน 14.6 kg/cm^2 เมื่อปล่อยให้ไหลผ่านวาล์ว ควบคุม(liquid control valve) ก็จะลดความดันของไนโตรเจนเหลวลง แล้วเข้าตามท่อไปยังหัวฉีด ซึ่งจะฉีดไนโตรเจนเหลวให้เป็นฝอย เข้าไปยังบริเวณหรือเนื้อที่ที่ต้องการทำความเย็นโดยตรง ไนโตรเจนจะระเหยตัวดูดรับปริมาณความร้อน ทำให้บริเวณนี้มีอุณหภูมิลดต่ำลง



รูปที่ 2.1 แสดงระบบทำความเย็นโดยการทำให้ความเย็นระเหย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ระบบทำความเย็นแบบอัดไอ

ระบบอัดไอเป็นระบบที่ทำให้เกิดความเย็นยขึ้นได้โดยอาศัยการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ โดยอุปกรณ์แต่ละตัวมีหน้าที่ดังนี้

2.3.2.1 คอมเพรสเซอร์ (compressor) ทำหน้าที่ดูดน้ำยาในสภาพที่เป็นไอจากเครื่องระเหย และอัดให้มีความดันสูงขึ้นจนสามารถส่งไปควบแน่นได้ที่คอนเดนเซอร์

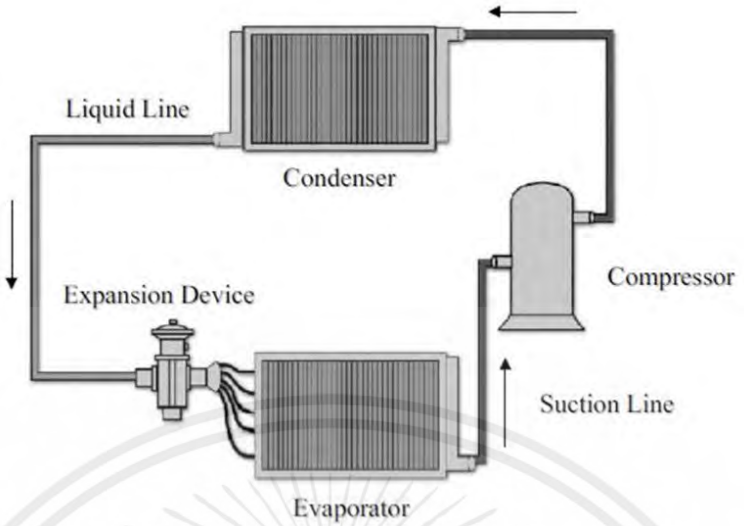
2.3.2.2 คอนเดนเซอร์ (condenser) ทำหน้าที่ระบายความร้อนออกจากน้ายาเพื่อควบแน่นเป็นของเหลวและส่งเข้ารีซีฟเวอร์

2.3.2.3 รีซีฟเวอร์ (receiver) ทำหน้าที่สะสมของเหลวที่ออกจากคอมเดนเซอร์เพื่อจ่ายให้กับเครื่องระเหยได้ตลอดเวลาในการทำงาน

2.3.2.4 ลิ้นลดความดัน (expansion valve) ทำหน้าที่ลดลดความดันของน้ำยาออกจากคอนเดนเซอร์เพื่อจ่ายให้กับเครื่องระเหย

2.3.2.5 เครื่องระเหย (evaporator) ทำหน้าที่ดูดความร้อนจากบริเวณรอบ ๆ เพื่อทำให้น้ำยาเปลี่ยนสถานะเป็นไอและทำให้บริเวณใกล้เคียงเย็นขึ้นวงจรทำความเย็นแบบอัดไอ อาศัยสารทำความเย็น (Refrigerant) ซึ่งมีหลายชนิด แต่ทุกชนิดจะต้องมีคุณสมบัติเบื้องต้นเหมือนกันคือสามารถเปลี่ยนสถานะได้ง่าย เช่น R-12, R-22 หรือR-134 a ซึ่งเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นไอได้ที่อุณหภูมิ -21.6 ^{o}F (-29.8 ^{o}C) ,-41.4 ^{o}F (-40.8 ^{o}C) และ -15.1 ^{o}F (-26.2 ^{o}C) ตามลำดับภายใต้ความดันบรรยากาศ การทำงานเริ่มที่คอมเพรสเซอร์จะดูดน้ำยาในสภาพที่เป็นไอจากเครื่องระเหยเข้าทางด้านดูดของคอมเพรสเซอร์ และอัดออกให้มีความดันสูงขึ้นและส่งออกทางด้านส่ง (discharge) ของคอมเพรสเซอร์เข้าคอนเดนเซอร์น้ำยาภายใต้อุณหภูมิและความดันสูงนี้เมื่อผ่านคอนเดนเซอร์จะถูกระบายความร้อนออกจนถึงจุดควบแน่นน้ำยาจะเปลี่ยนสถานะจากไอเป็นของเหลวตกลงด้านล้างของคอนเดนเซอร์และถูกส่งไปเข้ารีซีฟเวอร์ น้ำยาในสภาพที่เป็นของเหลวในรีซีฟเวอร์จะถูกส่งผ่านลิ้น ลดความดันทำให้น้ำยาเกิดการขยายตัวความดันจะลดลงจนน้ำยาไม่สามารถคงสภาพเดิมจึงเปลี่ยนเป็นไอ การเปลี่ยนสถานะของน้ำยาจากของเหลวเป็นไอขณะออกจากลิ้นลดความดันและตลอดช่วงที่ผ่านเครื่องระเหยนี้จะทำให้เกิดความเย็นขึ้นเนื่องจากของเหลวจะดูดความร้อนออกจาก บริเวณรอบ ๆ ไปใช้เป็นความร้อนแฝงในการเปลี่ยนสถานะ ทำให้บริเวณรอบ ๆ เครื่องระเหยเกิดความเย็นขึ้นเมือน้ำยาผ่านเครื่องระเหยจะเปลี่ยนสถานะเป็นอหมดและถูกคอมเพรสเซอร์ดูดและอัดให้มีความดันสูงขึ้นหมุนเวียนเช่นนี้ตลอดไปโดยน้ำยาจะไม่สูญหาย จึงไม่จำเป็นต้องเติมน้ำยาเพิ่มไปในระบบอีก ถ้าไม่มีจุดที่น้ายารั่วออกม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงการทำงานของระบบทำความเย็นแบบอัดไอ

2.3.3 หลักการทำงานของระบบทำความเย็นแบบใช้น้ำแข็ง

การทำคำความเย็นโดยใช้น้ำแข็งอาศัยหลักการที่ว่าขณะที่น้ำแข็งหลอมละลายกลายเป็นน้ำจะดูดความร้อนจากอากาศรอบ ๆ ทำให้อากาศเย็นลงและมีความหนาแน่นสูงขึ้น จึงไหลลงสู่ตอนล่างของตู้เย็นไปดูดรับปริมาณความร้อนจากอาหารหรือของที่แช่ภายในตู้เย็นอีกที่หนึ่ง อากาศเย้นเมือดูดรับปริมาณความร้อนจากอาหารหรือของที่แช่ภายในตู้เย็นแล้ว จะมีอุณหภูมิสูงขึ้นและเบาจึงลอยตัวสูงขึ้นแล้วไปผ่านโดยรอบของน้ำแข็งทำให้น้ำแข็งหลอมละลาย เมือน้ำแข็งหลอมละลายหมดก็จะหยุดการทำความเย็น

2.3.4 หลักการทำงานของระบบทำความเย็นแบบใช้น้ำแข็งแห้ง

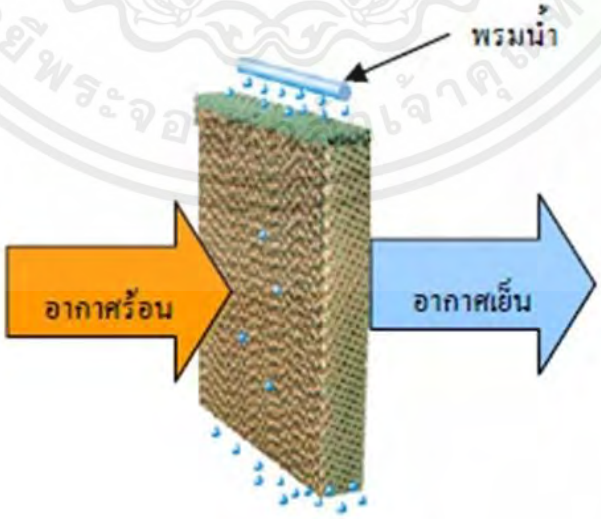
ในการทำความเย็นโดยใช้น้ำแข็งแห้ง (Dry ice Refrigeration) นั้นจะใช้น้ำแข็งแห้งซึ่งทำจากคาร์บอนไดออกไซค์ที่อยู่ในสถานะของแข็งซึ่งถูกอัดขึ้นมาให้มีรูปร่าง แตกต่างกันไป น้ำแข็งแห้งจะเปลี่ยนสถานะจากของแข็งกลายเป็นแก๊สซึ่งเรียกว่าการระเหิด ที่ความดันบรรยากาศ โดยน้ำแข็งแห้งจะมีอุณหภูมิต่ำถึง -78.33 ^{o}C และดูดความร้อนและรักษาอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ เช่น ไอครีม ให้คงคุณภาพขณะทำการขนส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.3 น้ำแข็งแห้ง

2.3.5 การทำงานของระบบทำความเย็นแบบใช้การระเหยตัวของน้ำ

ขณะที่ของเหลวระเหยเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอจะดูดรับความร้อนแฝง จากหลักการดังกล่าวจึงนำมาสู่การออกแบบการระบายความร้อนออกจากคอนเดนเซอร์ของ เครื่องปรับอากาศ ซึ่งเรียกว่าเป็นคอนเดนเซอร์แบบอิวาพอเรตีป (Evaporative condenser) คอนเดนเซอร์แบบนี้อาศัยทั้งการระเหยของน้ำและอากาศช่วยกันในการ ระบายความร้อนออกจาดคอนเดนเซอร์โดยการฉีดให้เป็นฝอยผ่านลงมาบนคอนเดนเซอร์ ในขณะเดียวกันก็ใช้พัดลมช่วยเป่าระบายความร้อละอองน้ำที่กระทบกับคอนเดนเซอร์ บางส่วนจะระเหยดูดความร้อน ช่วยให้การระบายความร้อนออกขจากคอนเดนเซอร์มีผลดีขึ้น



รูปที่ 2.4 แสดงการทำงานของระบบทำความเย็นแบบใช้การระเหยตัวของน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.6 หลักการทำงานของระบบทำความเย็นแบบใช้เทอร์โมอิเล็กทริก

การถ่ายเทพลังงานจากที่หนึ่งไปสู่อีกที่หนึ่งโดนใช้อิเล็กตรอนเป็นหลักของเทอร์โมอิเล็กตริก โดยนำเอาวัตถุกึ่งตัวนำสองชนิดมาตรึงปลายติดกัน แล้วต่อเข้ากับวงจรไฟฟ้ากระแสตรง ในที่นี้สมมุติให้เป็นPและN เนื่องจากวัตถุกึงตัวนำทั้ง 2 ชนิดมีค่าระดับพลังงานไม่เท่ากัน เมื่อถูกผ่านด้วยกระแสไฟฟ้ากระแสตรงแล้วจะทำให้ปลาย ที่ตรึงติดกันเย็นและปลายที่เหลือจะร้อน ล่งผลให้ภายในบริเวณที่ต้องการทำความเย็นมีการดูดรับตวามเย็นและคายความร้อนออกมาภายนอก

2.3.7 หลักการทำงานของระบบทำความเย็นแบบสตีมเจ็ต

การทำความเย็นในระบบสตรีมเจ็ตใช้น้ำเป็นตัวกลางในการทำความเย็น การทำงานของระบบอาศัยหลักการที่ว่าเมื่อลดความที่ผิวหน้าของน้ำ ที่อยู่ในภาชนะที่ปิดมิดชิดแล้วน้ำนั้นจะสามารถระเหยตัวเปลี่ยนสถานะเป็นไอได้ที่อุณหภูมิต่ำ ๆ บางครั้งต่ำถึง 4.44-10 ^{o}C จากการศึกษาทางทฤษฎีพบว่าภายใต้ความดันสุญญากาศ หรือที่ความดัน 0.893 kg/cm^2 จุดเดือดของน้ำจะอยู่ที่4.44^{o}C หลักการทำงานของระบบสตีมเจ็ตแสดงไว้ในรูปที่7ไอน้ำซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการทำงานของหม้อไอน้ำ แทนที่จะปล่อยทิ้งโดยเปล่าประโยชน์ จะถูกส่งเข้าทางท่อไอน้ำ เพื่อฉีดผ่านหัวฉีดไอน้ำด้วยความเร็วสูงทำให้ความดันที่ผิวหน้าของน้ำในอีวาโปเรเตอร์ลดลง และสามารถระเหยตัวกลายเป็นไอได้ที่อุณหภูมิต่ำ ดูดรับปริมาณความร้อนทำให้น้ำที่เหลือในอีวาโปเรเตอร์มีอุณหภูมิต่ำลงด้วยน้ำเย็นนี้มีอุณหภูมมิประมาณ4.44-21.1 ^{o}Cจะถูกปั้มให้หมุนเวียนเข้าไปทำความเย็นให้แก่บริเวณที่ต้องการทำความเย็น และจะถูกส่งกลับเข้ามาฉีดเป็นฝอยในอีวาโปเรเตอร์อีกครั้ง

2.3.8 หลักการทำงานของระบบทำความเย็นแบบแอบซอร์ปชั่น

เป็นระบบทำความเย็นที่อาศัยพลังงานความร้อนในการขับเครื่องทำความเย็นให้ทำงาน โดยความร้อนที่ป้อนให้Absorption chiller โดยมากจะอยู่ในรูปของไอน้ำร้อนหรือก๊าซร้อนซึ่งเป็นพลังงานคุณภาพต่ำ มีสวนประกอบที่สำคัญคือ generator, condenser, evaporator, absorber, expansion valve และสารทำงานซึ่งเป็นสารคู่ผสมระหว่าง สารทำความเย็น (กรณีนี้ใช้น้ำบริสุทธิ์เป็นสารทำความเย็น) และสารดูดกลืน (สาร LI-Br) มีหลักการทำงานเริ่มต้นจาก generator รับความร้อนจากภายนอกทำให้สารทำความเย็นเดือดกลายเป็นไอแยกออกจากสารดูดกลืน สารทำความเย็นจะมากลั่นตัวที่ condenser อุณหภูมิประมาณ 40 ^{o}C- 50 ^{o}C เพื่อกลับเป็นของเหลวแล้วไหลผ่านเอ๊กซ์แพนชันวาล์ว(expansion valve) ไปสู่ สารทำความเย็นดูดความร้อนจากสิ่งแวดล้อมเพื่อใช้เป็นความร้อนแฝงของ การกลายเป็นไอที่อุณหภูมิประมาณ 5 ^{o}C (ความดันประมาณ 6mm.Hg)จากนั้นไอของสารทำความเย็นจะถูกดูดกลืนด้วยสารดูดกลืนที่ไหลผ่าน Expansion Valve มาจาก generator ผสมเป็นของเหลวในตัวดูดกลืน absorber ซึ่งเป็น ปฏิกิริยาคายความร้อนออกสู่สิ่งแวดล้อม จากนั้นจะถูกสูบโดยปั๊มเพื่อให้ความดันสูงขึ้นเป็น 75 mm.Hg ไปยังเจนเนอเรเตอร์เพื่อรับความร้อนจาดแหล่งกำเนิดความร้อนต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ประสิทธิภาพของระบบทำความเย็น

ประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นจะแสดงในรูปของค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นหรือค่า COP (Coefficient of Performance , COP) หมายถึงอัตราส่วนระหว่างปริมาณพลังงานความร้อนที่ดูดซับโดยอีวาโปเรเตอร์ (ปริมาณความเย็นที่ทำได้) ต่อพลังงานที่ระบบใช้

การวิเคราะห์ ค่าสัมประสิทธิ์สรรถนะการทำความเย็นของระบบทำความเย็นทำโดยใช้แผนภาพความดัน-เอนทัลปีดังแสดงในรูปที่ 2.5 จากแผนภาพดังกล่าว ค่าสัมประสิทธิ์สรรมถนะการทำความเย็นของระบบทำความเย็นจะคำนวณได้จากสมการที่ 1.1

$$COP = \frac{Q}{W} \quad \text{หรือ} \quad COP = \frac{m^{\bullet}(\Delta h_{out})}{m^{\bullet}(\Delta h_{in})}$$

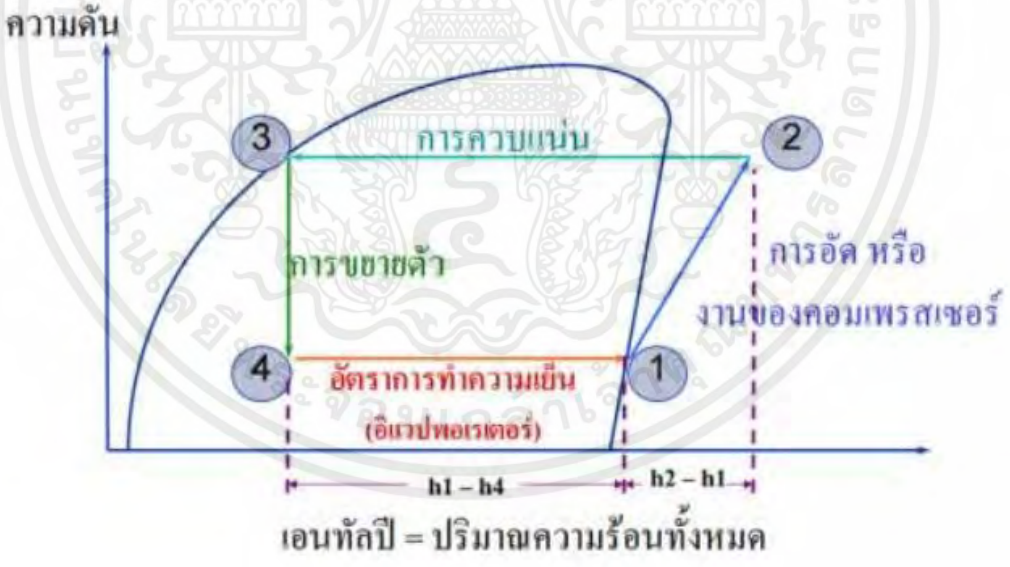
โดยที่ Q คือ ขีดความสามารถทำความเย็นรวมสุทธิของระบบปรับอากาศ (W)

W คือ พิกัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ (W)

$m^{\bullet}$ คือ อัตราการไหลของสารทำความเย็น

Δh_{out} คือ ผลต่างของเอนทาลปีด้านทำความเย็น h_1-h_4 (kJ/kg)

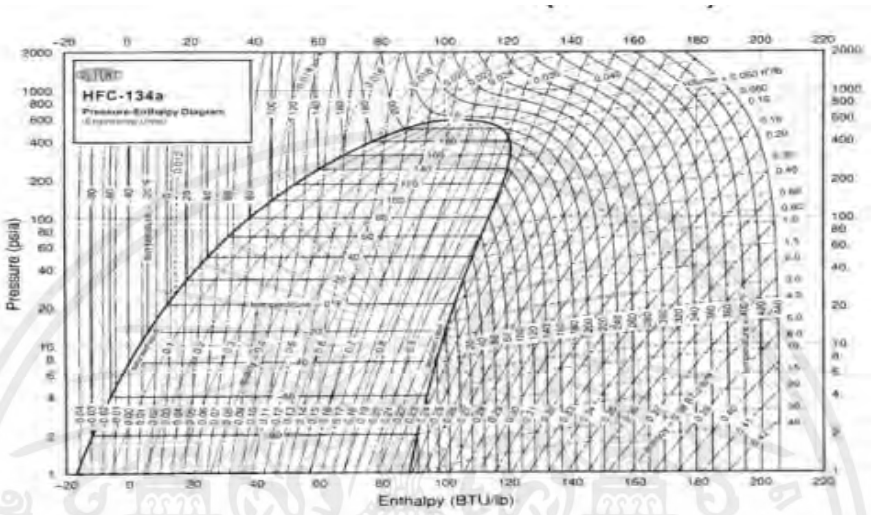
Δh_{in} คือ ผลต่างของเอนทาลปีด้าน Compressor h_2-h_1 (kJ/kg)



รูปที่ 2.5 แผนภาพความดัน-เอนทัลปีของวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น สิ่งที่ต้องทราบ ได้แก่ สภาวะ (ความดันและอุณหภูมิ)ของสารทำความเย็นที่แต่ละจุดของระบบ เพื่อนำไปหาค่าเอนทัลปีจากตารางคุณสมบัติทางอุณหพลศาสตร์ หรือจากแผนภาพความดัน-เอทัลปีของสารทำความเย็นชนิดที่ใช้ในระบบ ตัวอย่างแผนภาพความดัน-เอนทัลปีของสารทำความเย็น R-134a ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แผนภาพความดัน-เอนทัลปีของสารทำความเย็น R-134a

2.5 วัสดุเปลี่ยนสถานะ (Phase Change Material : PCM)

วัสดุเปลี่ยนสถานะ หมายถึง สารที่เผยแพร่หรือดูดซับพลังงานที่เพียงพอในการเปลี่ยนสถานะเพื่อให้ดูดซับ พลังงานความร้อนเก็บไว้ได้ และจะปล่อยออกมาเมื่ออุณหภูมิภายนอกลดต่ำลงกว่าอุณหภูมิของวัสดุเปลี่ยนสถานะ

ลักษณะและการทำงานของวัสดุเปลี่ยนสถานะ การเปลี่ยนสถานะของวัสดุระหว่างของแข็ง-ของเหลว และของเหลว-แก๊ส จะมีการเปลี่ยนแปลงพลังงาน ของระบบที่อุณหภูมิคงที่ หรือเรียกว่าความร้อนแฝง ซึ่งเป็นพลังงานที่ระบบดูดหรือคายเมื่อมีการเปลี่ยนสถานะที่ อุณหภูมิคงที่อุณหภูมิหนึ่ง ในขณะที่พลังงานความร้อนที่ทำให้วัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ คือ ความร้อน สัมผัส แสดงดังภาพที่ 1.8 พลังงานดังกล่าวแสดงในหน่วยของจูลต่อกรัม หรือกิโลจูลต่อกิโลกรัม ค่าความร้อนแฝงจะ มีค่าสูงกว่าความร้อนสัมผัส การประยุกต์ใช้วัสดุเปลี่ยนเสถานะพื่อรักษาอุณหภูมิของระบบอาศัยหลักการดูดและคาย พลังงานเมื่อวัสดุมีการเปลี่ยนแปลงสถานะดังกล่าว ซึ่งเกี่ยวข้องกับความร้อนแฝงของการเปลี่ยนสถานะ ทั้งนี้แม้ ความร้อนแฝงของการเปลี่ยนสถานะระหว่างของเหลวและไอจะสูงกว่าระหว่างของแข็งและของเหลว แต่การ ประยุกต์ใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะในระดับอุตสาหกรรมจะอาศัยการเปลี่ยนสถานะระหว่างของแข็งและของเหลว เนื่องจาก วัสดุในสภาวะก๊าซนั้นไม่สามารถนำไปใช้ได้จริงในทางปฏิบัติเนื่องจากต้องอาศัยระบบที่มีการควบคุมการขยายตัวของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาตรแก๊สหรือความดัน วัสดุเปลี่ยนสถานะในอุตสาหกรรมจึงอยู่ในสถานะระหว่างของเหลวและของแข็ง

รูปที่ 2.7 ลักษณะและการทำงานของวัสดุเปลี่ยนสถานะ

2.6 คุณสมบัติของวัสดุเปลี่ยนสถานะ

2.6.1 คุณสมบัติทางกายภาพ(Thermophysical properties)

2.6.1.1 อุณหภูมิการหลอมเหลวมีความเหมาะสมกับการใช้งาน

2.6.1.2 ความร้อนแฝงของความจุต่อหน่วยปริมาตรมีค่าสูง ความร้อนแฝงของการหลอมเหลวต่อหน่วยปริมาตรสูง

2.6.1.3 มีค่าความร้อนจำเพาะสูงที่ให้ค่าเพิ่มจากการจัดเก็บความร้อนแบบสัมผัส

2.6.1.4 มีค่าการนำความร้อนสูงในสถานะของแข็งและของเหลวซึ่งช่วยในการเก็บและปล่อยพลังงานของระบบสะสมคววามร้อน

2.6.2 คุณสมบัติทางจลน์ (Kinetic properties)

2.6.2.1 อัตราการเกิด nucleation สูง ช่วยหลีกเลี่ยงการเกิด Super Cooling ในการเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลว

2.6.2.2 อัตราการเกิดผลึกสูง ดังนั้นระบบจะตอบสนองความต้องการการนำความร้อนกลับมาใช้ใหม่จากระบบการจัดเก็บ

2.6.3 คุณสมบัติทางเคมี (Chemical properties)

2.6.3.1 การเปลี่ยนรอบการแข็งตัวและการหลอมเหลวเกิดขึ้นสมบรูรณ์

2.6.3.2 ไม่มีการเสื่อมสภาพจากรอบของแข็งและของเหลว

2.6.3.3 ไม่เป็นพิษ ไม่ติดไฟ และไม่ระเบิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

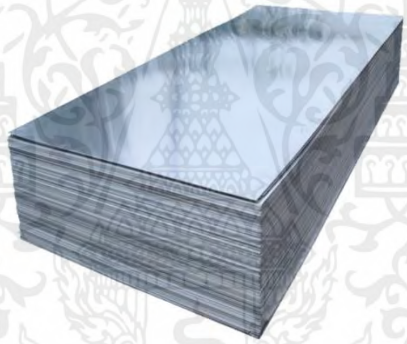
2.7 การประยุคต์ใช้งานวัสดุเปลี่ยนสถานะ

การประยุกต์ใช้งานวัสดุเปลี่ยนสถานะ สามารถนำมาใช้ได้หลายรูปแบบ ขึ้นอยู่กับรูปแบบการใช้งานและอุณหภูมิที่ต้องการ ในแถบยุโรปได้มีการนำวัสดุเปลี่ยนสถานะมาประยุกต์ใช้งานหลายด้านเนื่องจากวัสดุเปลี่ยนสถานะสามารถดูดซับความร้อนได้ดี ทำให้อุณหภูมิมีความสม่ำเสมอซึ่งมีความจำเป็นมากในอุปกรณ์ที่มีความร้อนสูงอย่างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ หรือเพื่อรักษาอุณหภูมิในการเก็บรักษาตัวยาที่ต้องการอุณหภูมิที่สมำเสมอ

2.7.1 การประยุกต์ใช้งานในระบบอาคารบ้านเรือน

การประยุคต์ใช้งานในระบบปรับอากาศในประเทศมาเลเซีย โดยจะมีการเก็บความร้อนเอาไว้ในเวลากลางวันโดยวัสดุเปลี่ยนสถานะ และคายความร้อนในเวลากลางคืน

2.7.1.1 Free cooling การประยุกต์วัสดุเปลี่ยนสถานะแบบแผ่นสามารถนำความเย็นได้มาใช้ในระบบอาคารในเวลากลางคืน ส่วนในเวลากลางวันก็สามารถนำมาผลิตน้ำร้อนได้



รูปที่ 2.8 วัสดุเปลี่ยนสถานะแบบแผ่น

2.7.2 Applications-temperature controlled packaging transport

2.7.2.1 วัสดุเปลี่ยนสถานะถูกนำมาใช้ในระบบการขนส่งอาหารที่ต้องการรักษาอุณหภูมิให้คงที่สม่ำเสมอ ทำให้เก็บรักษาได้นานมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.9 การนำวัสดุเปลี่ยนสถานะมาใช้ในระบบการขนส่ง

2.7.2.2 Shipping มีการนำวัสดุเปลี่ยนสถานะมาใช้ในเครื่องบินและเรือลำเลียงสินค้าเพื่อการนำอุณหภูมิที่เย็นมาใช้ในระบบ

2.7.2.3 Electric-ffee refrigeration , Food display cooling เป็นการนำมาใช้ในระบบถนอมอาหารเพื่อรักษาอุณหภูมิให้มีความเย็นตลอดเวลา

2.7.2.4 Packaging-pharmaceutical and medical มีการนำวัสดุเปลี่ยนสถานะมาใช้ในการแพทย์และเภสัชในการเก็บรักษาอุณหภูมิยารักษาโรค ในการเดินทางไปในที่ห่างไกล เพื่อรักษาอุณหภูมิในการเก็บรักษา

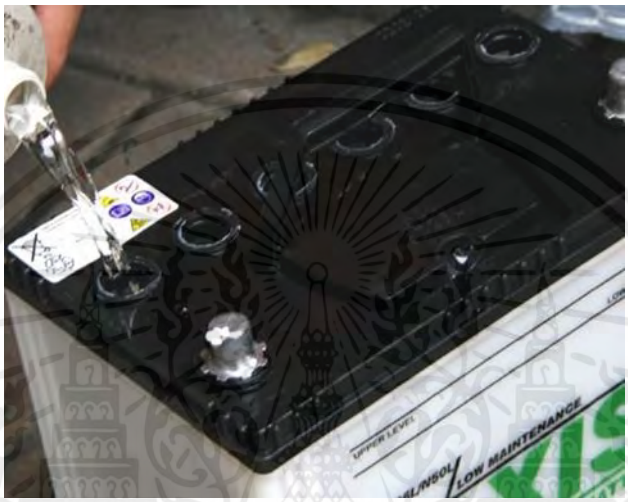
รูปที่ 2.10 การนำวัสดุเปลี่ยนสถานะมาใช้ในการเก็บรักษาอุณหภูมิของยารักษาโรค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.3 Applications-passive cooling

2.7.3.1 ในระบบสื่อสารจำเป็นต้องให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีความเย็นตัวตลอดเวลาในระบบได้มีการประยุกต์ใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะในการเก็บรักษาความเย็นในเวลากลางคืนในเขตทะเลทรายและคายความเย็นมาใช้ในเวลากลางวัน เพื่อรักษาอุณหภูมิ

2.7.3.2 Electronic cooling ในระบบโทรศัพท์ถูกนำมาใช้ในการลดอุณหภูมิของอุหกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และระบบแบตเตอรี่ เพื่อให้การทำงานมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 2.11 การนำมาใช้ลดอุณหภูมิของแบตเตอรี่

2.7.3.3 Shelter passive cooling การนำวัสดุเปลี่ยนสถานะมาใช้ในการดูดซับความร้อน เช่น การนำมาใช้ในที่พักเพื่อควบคุมอุณหภูมิในเขตอากาศร้อน

2.7.3.4 Electronic back-up cooling การนำมาใช้ในงาในระบบแหล่งจ่ายไฟในระบบอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อดูดซับความร้อนออกจากระบบ

รูปที่ 2.12 การนำมาใช้ในที่พักเพื่อควบคุมอุณหภูมิในเขตอากาศร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.4 Applications-solar heating , heat recovery

การนำมาใช้ในระบบผลิตน้ำร้อนรวมทั้งระบบของการดูดซับความร้อนในการติดตั้งในระบบ (Solar house)

รูปที่ 2.13 การนำมาใช้งานในระบบผลิตน้ำร้อนเพื่อใช้ในอาคาร

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Azzouz k. [1] ได้ทำการศึกษาการตรวจสอบสมรรถนะของตู้เป็นครัวเรือนโดยใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะติดตั้งอยู่ด้านหลังของอีวาโปเรเตอร์ ในการปรับปรุงประสิทธิภาพและทำให้การจัดเก็บรักษาอยู่ได้หลายชั่วโมงของการทำความเย็นเมื่อไม่มีการจ่ายไฟ ระบบถูกทดสอบโดยใช้น้ำและส่วนผสมของยูเทคติก (จุดเยือกแข็ง -3 “C) และสำหรับช่วงของเงื่อนไขการดำเนินงาน (ความหนาวัสดุเปลี่ยนสถานะ, อุณหภูมิห้อง, โหลดความร้อน) การวิเคราะห์ของผลการทดลองแสดงให้เห็นการปรับปรุงที่สำคัญของสมรรถนะเมื่อเปรียบเทียบกับระบบธรรมดา

Marques A.c . [2] ได้ทำการศึกษาการออกแบบและการทำงานของแหล่งเก็บความร้อนของเครื่องทำความเย็น ประการแรกการทำงานของคอมเพรสเซอร์ที่หลากหลายสภาพการใช้งานของเครื่องทำความเย็นจากการวิเคราะห์ ผลชี้ให้เห็นว่าคอมเพรสเซอร์ขนาดใหญ่มีประสิทธิภาพมากขึ้น 50% ขณะที่ Displacement เพิ่มขึ้น 4 ถึง 8 cm^3 ผลกระทบของประสิทธิภาพการทำงานของคอมเพรสเซอร์โดยรวมชี้ให้เห็นว่าการใช้พลังงานลดลง 19.5% สามารถหาได้โดยการเปลี่ยนขนาดคอมเพรสเซอร์จาก 4 cm^3 เป็น 8 cm^3 อย่างไรก็ตามการใช้คอมเพรสเซอร์ขนาดใหญ่โดยปกติจะมีการเปิด/ปิดรอบมากขึ้น ซึ่งเป็นการลดประสิทธิภาพโดยรวม วิธีการที่เสนอขึ้นเพื่อประสิทธิภาพการทำงานของคอมเพรสเซอร์ขนาดใหญ่ที่ดีกว่า โดยการสะสมความเย็นที่ถูกส่งออกมาในวัสดุเปลี่ยนสถานะการลดจำนวนของการเปิด / ปิดรอบ การสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลขและการตรวจสอบการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดลองถูก นำไปใช้ในเครื่องทำความเย็นต้นแบบที่แหล่งเก็บความร้อนได้ผสานวัสดุเปลี่ยนสถานะเข้าไป เพื่อ ประเมินภาระและอัตราการปลดปล่อยของวัสดุเปลี่ยนสถานะและการเปิด/ปิดรอบที่สภาวะแวดล้อมที่ แตกต่างกัน ผลการศึกษาพบว่าการผสานวัสดุเปลี่ยนสถานะของแผ่นขนาด 5 mm ในเครื่องทำความเย็นใน เวลา 3 ถึง 5 ชั่วโมง ที่การทำงานอย่างต่อเนื่องโดยไม่ต้องจ่ายไฟ การคำนวณพบว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ร่วมกับผลการทดลองที่มีข้อผิดพลาดระหว่างการจำลองและการทดสอบต่ำกว่า 5% สำหรับการทดลองส่วนใหญ่

Rahman R, [3] ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงสมรรถนะของตู้เย็นโดยใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะติดตั้งกับอีวาโปเรเตอร์ ซึ่งอัตราการปลดปล่อยความร้อนและอัตราการจัดเก็บความร้อนของตู้เย็นขึ้นอยู่กับลักษณะของสารทำความเย็น การที่ใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะจะช่วยเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อน ซึ่งจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของตู้เย็นนั้นดีขึ้น อันเนื่องมาจากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลง ของค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น ซึ่งวัสดุเปลี่ยนสถานะที่ใช้เป็นแบบเหลว ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นของตู้เย็นทั่วไปนั้นเพิ่มขึ้นเฉลี่ยที่ 18 ถึง 26% โดยจะติดตั้ง ล้อมรอบอีวาโปเรเตอร์ ซึ่งการถ่ายเทความร้อนทั้งหมดของอีว่าโปเรเตอร์ จะระเหยไปยังวัสดุเปลี่ยนสถานะโดยการนำความร้อน ดังนั้นอัตราการถ่ายเทความร้อนของสารทำความเย็นแบบระเหยจะเพิ่มขึ้น มาก ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบทำความเย็น

Sonnenrein et al. [4] ศึกษาการประเมินประสิทธิภาพของการจัดเก็บความร้อนแฝงที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของคอนเดนเซอร์ของตู้เย็น ที่ใช้ในครัวเรือนในเชิงพาณิชย์ เพื่อตรวจสอบการใช้พลังงานและการกระจายอุณหภูมิของคอนเดนเซอร์ ซึ่งลวดและท่อมาตรฐานเป็นอุปกรณ์ที่มีการจัดเก็บความร้อนที่แตกต่างกัน (มีขี้ผึ้งพาราฟินหรือพอลิเมอร์ผสม) ผลการวิจัยพบว่าการประยุกต์ใช้โดยวัสดุเปลี่ยนสถานะจะช่วยลดอุณหภูมิคอนเดนเซอร์ซึ่งนำไปสู่การประหยัดพลังงานได้

กันยรัตน์ และคณะ [5] ได้ทำการศึกษาและพัฒนาประสิทธิภาพเครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีความจุ 2.5 m^3 ให้สามารถเพิ่มระยะเวลาการกักเก็บความร้อนเพื่อใช้ในการอบในเวลาที่ไม่มีแสงแดดโดยการเลือกใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะที่เหมาะสมจำนวน 40 kg บรรจุไว้ภายในของม่านรับแสงเพื่อช่วยในการเก็บรักษาความร้อนในเครื่องอบสมุนไพรพลังงานแสงอาทิตย์ที่พัฒนาขึ้นควบคู่กับการใช้พลังงานไฟฟ้า จากการศึกษาถึงคุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุเปลี่ยนสถานะที่ทำจากขี้ผึ้งพาราฟินกันน้ำมันก๊าดในอัตราส่วน 2.1 โดยน้ำหนักมีจุดหลอมเหลว 40 °C ทำให้เครื่องอบสามารถรักษาอุณหภูมิสูงกว่า 40 °C ได้จนถึง 20.00 น. พบว่าการใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องอบโดยลดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ได้ร้อยละ 8.02

Cheng et al. [6] ได้ทำการศึกษาการศึกษาวัสดุเปลี่ยนสถานะที่มีรูปร่างเสถียรที่ถูกนำมาใช้ เป็นแหล่งเก็บความร้อนของคอนเดนเซอร์ และตู้เย็นที่ใช้ในครัวเรือนแบบใหม่พร้อมติดตั้งแหล่งเก็บ ความร้อนของคอนเดนเซอร์ ได้รับการติดตั้งอยู่บนตู้เย็นสองประตูช่องธรรมดา การตรวจสอบการ ทดลองในลักษณะของตู้เย็นแบบใหม่และตู้เย็นแบบธรรมดาได้ดำเนินการภายใต้เงื่อนไขการทดสอบมาตรฐาน ISO สำหรับตู้เย็นแบบใหม่ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของความร้อนจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนเดนเซอร์ที่ถูกเก็บไว้ใน วัสดุเปลี่ยนสถานะในช่วงเวลาที่มีการทำงานและปล่อยไปยังสภาพแวดล้อมในขณะที่คอมเพรสเซอร์ถูก ปิด ดังนั้นการกระจายความร้อนของตู้เย็นแบบใหม่จะมีความต่อเนื่องตลอดช่วงเวลาจนครบรอบ (รวมถึงระยะเวลาที่มีและปิดการทำงาน) แตกต่างจากการกระจายความร้อนต่อเนื่องของการตั้งค่าแบบธรรมดา ดังนั้นการถ่ายเทความร้อนโดยรวมของคอนเดนเซอร์ที่ขึ้นจนเห็นได้ชัด ส่งผลให้อุณหภูมิ ของคอนเดนเซอร์ที่ต่ำกว่าอุณหภูมิการระเหยที่สูงขึ้น และสารทำความเย็นในสถานะของเหลวที่สูงขึ้น มากที่ทางออกของคอนเดนเซอร์ เมื่อเทียบกับตู้เย็นธรรมดาเวลารวมของรอบและอัตราการใช้เวลา รวมของรอบของตู้เย็นแบบใหม่ที่มีน้อยกว่ามาก ซึ่งนำไปสู่การเริ่มต้นการทำงานของคอมเพรสเซอร์ บ่อยมากขึ้น แต่ลดการใช้พลังงาน การทดลองแสดงให้เห็นว่าตู้เย็นแบบใหม่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพ การใช้พลังงานโดยประมาณ 12% ด้วยค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

Yusufoglu et al. [7] ได้ศึกษาการปรับปรุงสมรรถนะของตู้เย็นโดยรวมเข้ากับวัสดุเปลี่ยนสถานะ ได้ความพยายามในการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของตู้เย็น โดยจะลดการใช้พลังงานโดยตรงภายในอาคารที่อยู่อาศัย การทำให้รวมเข้ากับวัสดุเปลี่ยนสถานะเป็นวิธีการที่ใหม่ในการปรับปรุง สมรรถนะของตู้เย็น ในการศึกษานี้พวกเขามีการทดสอบวัสดุเปลี่ยนสถานะที่แตกต่างกัน 4 ชนิด ในตู้เย็น สองรุ่นที่แตกต่างกัน เวลา เปิด/ปิด คอมเพรสเซอร์ถูกปรับให้เหมาะสมและประสิทธิภาพพลังงานที่ดี ขึ้นได้สำเร็จ การเพิ่มพื้นที่ผิวคอนเดนเซอร์ โดย 20% ปรับปรุงประสิทธิภาพวัสดุเปลี่ยนสถานะโดยการใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะเพียง 0.95 k
ส่งผลให้มีการประหยัดพลังงาน 9.4% การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ แสดงให้เห็นถึงการใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะในตู้เย็น คือเห็นได้ชัดว่าเป็นวิธีประหยัดค่าใช้จ่ายที่ช่วยประหยัด พลังงานและลดการปล่อยมลพิษที่เป็นอันตราย

Zhao D.L. [8] ได้ศึกษาระบบเทอร์โมไดนามิกส์ต้นแบบถูกบูรณาการเข้ากับหน่วยเก็บความร้อนวัสดุเปลี่ยนสถานะ สำหรับช่องระบายความร้อนที่ถูกนำมาใช้ในงานนี้ ฟังก์ชันตัวเก็บความร้อน วัสดุเปลี่ยนสถานะเป็นแหล่งระบายความร้อนและดำเนินการอย่างน้อยบางส่วนภาระการทำความเย็นใน ระหว่างการดำเนินการระบายความร้อน แบบจำลองการวิเคราะห์ที่ง่ายสำหรับเกณฑ์การวัดความ ร้อนทางไฟฟ้า ถูกนำไปตรวจสอบลักษณะสมรรถนะทางทฤษฎีของเกณฑ์การจัดการทดสอบในห้อง ลดขนาดที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน 7 C ระหว่างสภาพแวดล้อมภายในและภายนอก และมีค่าเฉลี่ยของ สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นอยู่ที่ 0.87 สำหรับระบบทำความเย็นแบบ thermoelectric โดยค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นสูงสุดอยู่ที่ 1.22 การทดสอบเปรียบเทียบอื่นๆ สำหรับ ประสิทธิภาพการใช้งานของวัสดุเปลี่ยนสถานะแสดงถึงพลังงานไฟฟ้า 35.3% ที่ประหยัดเมื่อมีการใช้ วัสดุเปลี่ยนสถานะเป็นแหล่งเก็บความร้อน ในกระบวนการชาร์จวัสดุเปลี่ยนสถานะ (ละลาย) การพาความ ร้อนแบบธรรมชาติเป็นปัจจัยสำคัญในการถ่ายเทความร้อนในวัสดุเปลี่ยนสถานะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Keppien et al. [9] ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงประสิทธิภาพของตู้เย็นของใช้ในครัวเรือน โดยการเพิ่มเวลาในการตัดคอมเพรสเซอร์เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าให้น้อยลง ซึ่งนำวัสดุเปลี่ยนสถานะมาติดตั้งที่อีวาโปเรเตอร์ ส่วนวัสดุเปลี่ยนสถานะที่ใช้เป็นแบบเหลว ซึ่งการทดลองจะมีการเปรียบเทียบปริมาณที่ใช้กับการห่อหุ้มที่แตกต่างกันเพื่อหาสมรรถนะสูงสุด

จากงานวิจัยที่ได้นำเสนอไปเห็นได้ว่า มีการศึกษาการนำวัสดุเปลี่ยนสถานะมาใช้กับตู้เย็นในครัวเรือนทั่วไป ติดตั้งที่อีวาโปเรเตอร์ของตู้เย็นเพื่อดูการประหยัดพลังงานของตู้เย็น และเพื่อศึกษาหาปริมาณวัสดุเปลี่ยนสถานะที่มีผลให้ตู้เย็นประหยัดพลังงานมากขึ้น

O. Laguerre et al. [10] ได้ทำการศึกษาขนาดและความหนาของวัสดุเปลี่ยนสถานะที่มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของตู้เย็นโดยความหนาของ วัสดุเปลี่ยนสถานะมีผลอย่างมากต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบทำความเย็น เนื่องจากมีรายงานว่าปริมาณ ของวัสดุเปลี่ยนสถานะที่เพิ่มขึ้น (ประมาณ 40%) ส่งผลให้ค่า COP เพิ่มขึ้น 6% และการเพิ่มความหนาของวัสดุเปลี่ยนสถานะส่งผลต่อการลดอัตราส่วนเวลาเปิด-ปิดการทำงานของคอมเพรสเซอร์ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการขยายเวลาปิดของคอมเพรสเซอร์และการใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะ ที่หนาขึ้นทำให้มีค่าใช้จ่ายสูงขึ้น และในตอนแรกต้องใช้คอมเพรสเซอร์ที่สูงขึ้นในการทำให้วัสดุเปลี่ยนสถานะแข็งตัวดังนั้นจึงควรพิจารณาความหนาของวัสดุเปลี่ยนสถานะตามสารที่เราเลือกใช้

G. Sonnenrein. [11] ได้ทำการศึกษาการประยุกต์ใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะที่ไปช่วยลดภาระการแผ่ความร้อนต่ออีวาโปเรเตอร์โดยเครื่องระเหยในตู้เย็นในประเทศทำงานตามการถ่ายเทความร้อนแบบบังคับหรือแบบอิสระ (ตามธรรมชาติ) อัตราการถ่ายเทความร้อนในเครื่องระเหยที่ระบายความร้อนตามธรรมชาติต่ำและส่งผลให้อุณหภูมิภายในตู้ลดลง ในขณะที่คาดว่าความเสถียรของอุณหภูมิที่ดีขึ้นในเครื่องระเหยแบบพาความร้อนแบบบังคับ อย่างไรก็ตาม การพาความร้อนแบบบังคับทำให้เกิดข้อเสียบางประการ เช่น การสูญเสียน้ำหนักของอาหารเนื่องจากการไหลเวียนของอากาศสูงและอัตราการใช้พลังงานที่สูงขึ้น

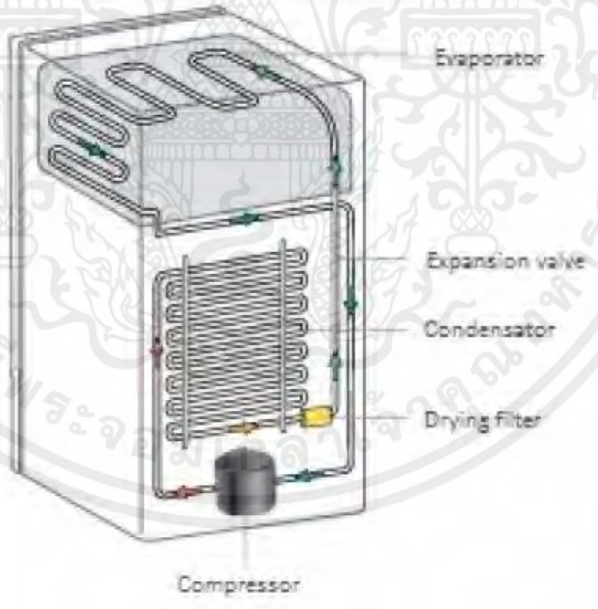
P.S. Raveendran. [12] การศึกษาการทำงานของวัสดุเปลี่ยนสถานะในระบบทำความเย็นโดยในตู้เย็นในครัวเรือน คอมเพรสเซอร์จะทำงานในโหมดเปิด/ปิด เมื่อคอมเพรสเซอร์ทำงาน สารทำความเย็นในคอยล์เย็นจะเริ่มดูดซับความร้อนที่อยู่ในตู้ อย่างไรก็ตาม ในระหว่างโหมดปิดการทำงานของคอมเพรสเซอร์ อุณหภูมิภายในตู้คอยล์เย็นจะเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นนี้เกิดจากความร้อนที่ปล่อยออกมาจากอาหารภายในตู้เย็นและสภาวะแวดล้อมด้วย คอมเพรสเซอร์จึงต้องทำงานระบายความร้อนออกทางภาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

การศึกษานี้ดำเนินการโดยใช้ตู้เย็น รุ่น MITSUBISHI MR-17KA ขนาด 6 Q ร่วมกับการติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะซึ่งเลือกใช้เป็น 1.น้ำ 2. น้ำผสมเกลือ เป็นตัวเก็บความร้อนและรักษาอุณหภูมิ ทดสอบเพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าของตู้เย็นและค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ โดยในการทดสอบจะทดสอบการทำงานของตู้เย็น 4 เงื่อนไข

1. ไม่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะ
2. มีวัสดุเปลี่ยนสถานะไปยึดติดกับตัวอีวาโปเรเตอร์ (Evaporator) หรือคอยล์เย็นโดยใช้น้ำ
3. มีวัสดุเปลี่ยนสถานะไปยึดติดกับตัวอีวาโปเรเตอร์ (Evaporator) หรือคอยล์เย็นโดยใช้น้ำผสมกับโซเดียมคลอไรด์อัตราส่วน 10 wt%
4. มีวัสดุเปลี่ยนสถานะไปยึดติดกับตัวอีวาโปเรเตอร์ (Evaporator) หรือคอยล์เย็นโดยใช้น้ำผสมกับโซเดียมคลอไรด์อัตราส่วน 50 wt%



รูปที่ 3.1 รายละเอียดการติดตั้ง

ชุดการทดลอง มีรายละอียดดังนี้

1. ตู้เย็นที่ใช้ในการทดลอง
2. กล่องสำหรับใส่วัสดุเปลี่ยนสถานะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 ตู้เย็น รุ่น MITSUBISHI MR-17KA ขนาด 6 Q

ตู้เย็น รุ่น MITSUBISHI MR-17KA **ขนาด 6 Q** แสดงดังรูปที่ 3.2 เป็นตู้เย็นที่ใช้ในการทดลอง

รูปที่ 3.2 ตู้เย็น รุ่น MITSUBISHI MR-17KA

3.1.2 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) Type k

เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) Type k แสดงดังรูปที่ 3.3 มีช่วงวัดอุณหภูมิ -50 °C ถึง 1300°C ติดตั้งเพื่อวัดอุณหภูมิที่ทางเข้าและทางออกของอีวาโปเรเตอร์ วัสดุเปลี่ยนสถานะ ช่องแช่เย็น ช่องแช่แข็ง และสิ่งแวดล้อมภายนอก

รูปที่ 3.3 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) Type k

3.1.3 เกจวัดความดัน (Pressure gauge)

เกจวัดความดัน (Pressure gauge) แสดงดังรูปที่ 3.4 เป็นเกจเพื่อไว้ใช้ในการวัดแรงดันในระบบทำวามเย็น สามารถวัดคุมความดันที่ 0 ถึง 230 Psi ในการแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.4 เกจวัดความดัน (Pressure gauge)

3.1.4 ดิจิตอลมิเตอร์ (Digital meter)

ดิจิตอลมิเตอร์ (Digital meter) แสดงดังรูปที่ 3.5 ใช้วัดค่าและแสดงผลค่ากำลังไฟฟ้าค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้า และค่าพลังงานไฟฟ้า

รูปที่ 3.5 ดิจิตอลมิเตอร์ (Digital meter)

3.1.5 น้ำ (Water) และ เกลือ (salt)

น้ำ (Water) และ เกลือ (salt) แสดงดังรูปที่ 3.6 และ 3.7 เป็นวัสดุเปลี่ยนสถานะที่มีความสามารถในการดูดซับและปล่อยความร้อนออกมาในช่วงที่มีอุณหภูมิต่ำลง หลังจากนั้นสามารถดูดซับความร้อนได้อีกเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นโดยนำน้ำและเกลือมาผสมให้เข้ากันตามอัตราส่วนที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.6 น้ำ (Water)

รูปที่ 3.7 เกลือ (salt)

3.1.6 เทอร์โมมิเตอร์ (thermometer)

เทอร์โมมิเตอร์ (thermometer) ใช้แสดงผลอุณหภูมิ ตามตำแหน่งที่ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล

รูปที่ 3.8 เทอร์โมมิเตอร์ท (thermometer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.7 เครื่องดิจิตอล

เครื่องดิจิตอล ใช้ชั่งน้ำหนักในขั้นตอนการเตรียมวัสดุเปลี่ยนสถานะ

รูปที่ 3.9 เครื่องดิจิตอล

3.2 ขั้นตอนการเตรียมตู้เย็นที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 ทดสอบการทำงานของตู้เย็นก่อนการติดตั้งอุปกรณ์

ทดสอบการทำงานของตู้เย็นก่อนการติดตั้งอุปกรณ์ ทดสอบโดยการเก็บค่าการใช้กำลังไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ การใช้พลังงานไฟฟ้าของตู้เย็นและวัดอุณหภูมิที่ 3 ตำแหน่ง ได้แก่

3.2.1.1 จุดกึ่งกลางอีวาโปเรเตอร์

3.2.1.2 ภายในช่องแช่แข็ง

3.2.1.3 ภายในช่องแช่เย็น

3.2.2. ติดตั้งอุปกรณ์วัดค่า

3.2.2.1 การเตรียมและติดตั้งเกจวัดความดัน (Pressure gauge) โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ติดตั้ง Pressure gauge ในระบบทำความเย็นที่ตำแหน่งทางออกคอมเพรสเซอร์และทางออกของอีวาโปเรเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.10

(ก) **(ข)**

รูปที่ 3.10 การติดตั้ง Pressure gauge ในระบบทำความเย็น (ก) ที่ตำแหน่งทางออกของคอมเพรสเซอร์ (ข) ที่ตำแหน่งทางออกของอีวาโปเรเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2.2 การเตรียมและติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล (Themocouple) โดยมีขั้นตอนการดำเนินการต่อไป

1. ติดตั้งสาย Thermocouple ที่ตำแหน่งต่างๆ ได้แก่ จุดกึ่งกลางอีวาโปเรเตอร์ ช่องแช่แข็ง ช่องแช่เย็น ทางเข้าคอมเพรสเซอร์ ทางออกคอมเพรสเซอร์

2. ต่อสาย Thermocouple เข้ากับตัวอ่านค่าอุณหภูมิ thermometer โดย Thermocouple ที่เลือกใช้เป็นชนิด Type-k ดังแสดงในรูปที่ 3.11

รูปที่ 3.11 การต่อสาย Thermocouple เข้ากับตัวอ่านค่าอุณหภูมิ (thermometer)

3.3 ขั้นตอนการเตรียมวัสดุเปลี่ยนสถานะ (Phase change material : PCM)

3.3.1 ชั่งน้ำหนักวัสดุเปลี่ยนสถานะตามต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 3.12

(ก) **(ข)** **(ค)**

รูปที่ 3.12 การชั่งน้ำหนักวัสดุเปลี่ยนสถานะ (ก) ชั่งเกลือในน้ำหนัก1000 กรัม (ข) ชั่งเกลือในน้ำหนัก 100 กรัม (ค) ชั่งน้ำในน้ำหนัก1000 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 นำเกลือและน้ำมาผสมให้เข้ากันในอัตราส่วน น้ำ : เกลือ เท่ากับ1 : 1 และ 10 : 1 ดังแสดงในรูปที่ 3.13

รูปที่ 3.13 การผสมน้ำและเกลือให้ละลายเข้ากัน

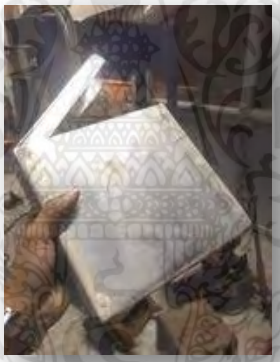
3.4 ขั้นตอนการสร้างภาชนะเพื่อใส่วัสดุเปลี่ยนสถานะและติดตั้งที่อีวาโปเรเตอร์ (Evaporator)

3.4.1 การสร้างภาชนะสำหรับใส่วัสดุเปลี่ยนสถานะโดยทำการวัดขนาดของตัวอีวาโปเรเตอร์และนำมาตัดตามขนาดที่วัดมาโดยจะใช้เป็นเหล็กอลูมิเนียมมีขนาดความกว้าง 20 ซม. ยาว 20 ซม. และมีความสูง 5 ซม. และความหนาของเหล็กอลูมิเนียมอยู่ที่ 0.5 มม. ดังแสดงในรูปที่ 3.14-3.17

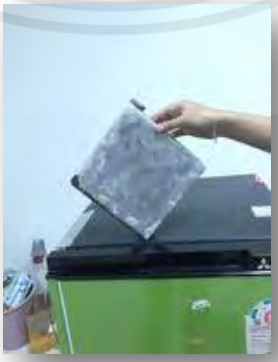
รูปที่ 3.14 การออกแบบภาชนะสำหรับใส่วัสดุเปลี่ยนสถานะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.15 การตัดแผ่นอลูมิเนียมตามขนาด



รูปที่ 3.16 การนำแผ่นอลูมิเนียมมาพับเป็นภาชนะสำหรับใส่วัสดุเปลี่ยนสถานะ

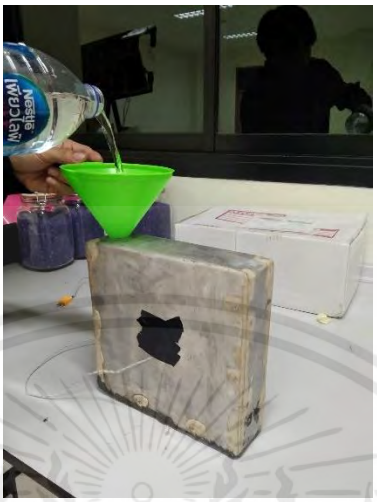


รูปที่ 3.17 ภาชนะสำหรับใส่วัสดุเปลี่ยนสถานะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 ขั้นตอนการติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะที่อีวาโปเรเตอร์ (Evaporator)

3.5.1 นำวัสดุเปลี่ยนสถานะที่เตรียมไว้ มาใส่ในภาชนะ ดังแสดงในรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.18 การใส่สารลงภาชนะสำหรับใส่วัสดุเปลี่ยนสถานะ

3.5.2 นำวัสดุเปลี่ยนสถานะติดที่บริเวณอีวาโปเรเตอร์และติดสายเทอร์โมคัปเปิลที่ภาชนะสำหรับใส่วัสดุเปลี่ยนสถานะดังแสดงในรูปที่ 3.20

รูปที่ 3.19 การติดตั้งภาชนะและสายเทอร์โมคัปเปิลที่ด้านล่างของอีวาโปเรเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 ขั้นตอนการทดลองเพื่อเก็บผล

ในการทดลองเพื่อเก็บผลการทดลองโดยใช้ตู้เย็นที่เตรียมไว้เป็นชุดทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 3.21 จะมีเงื่อนไขการทดลง 4 เงื่อนไข คือ ทดลองแบบไม่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะ, ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะโดยใช้น้ำเปล่าที่ด้านล่างของอีวาโปเรเตอร์, ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะโดยใช้น้ำผสมกับโซเดียมคลอไรด์อัตราส่วน 10 wt% ที่ด้านล่างของอีวาโปเรเตอร์, ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะโดยใช้น้ำผสมกับโซเดียมคลอไรด์อัตราส่วน 50 wt% ที่ด้านล่างของอีวาโปเรเตอร์ โดยทุกเงื่อนไขจะทดลอง 2 กรณี ได้แก่ ควบคุมอุณหภูมิห้องให้อยู่ที่ 25 °C และในสภาวะอุณหภูมิห้องปกติที่ 30°C โดยมีขั้นตอนการทดลองเหมือนกัน ดังนี้

3.6.1 หากควบคุมอุณหภูมิห้องจะควบคุมอุณหภูมิอยู่ที่ 25 °C ด้วยเครื่องปรับอากาศ

3.6.2 หากไม่ควบคุมอุณหภูมิห้องอุณหภูมิจะอยู่ที่ 30 °C โดยจะปิดเครื่องปรับอากาศ

3.6.3 ใน 1 ครั้งจะทำการทดลองเป็นเวา 8-12 ชั่วโมง

3.6.4 ทำการทดลองครั้งต่อไปหลังจากถอดปลั๊กตู้เย็นทิ้งไว้เป็นเวลา 10-12 ชั่วโมง

3.6.5 ทดลองซ้ำจนครบ 4 เงื่อนไข และ 2 กรณี

รูปที่ 3.20 การเก็บผลการทดลอง

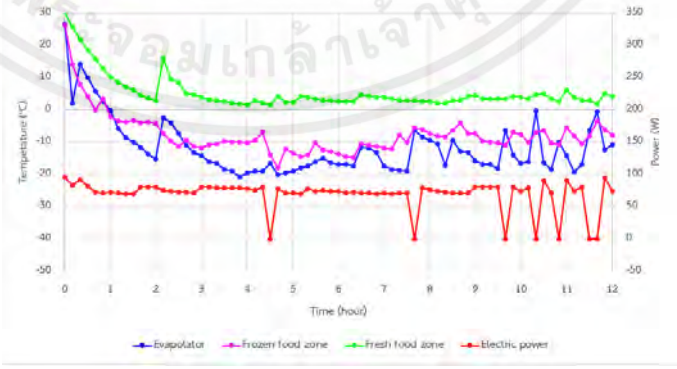
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่4
ผลและวิจารณ์ผล

การศึกษาการเพิ่มประสิทธิของตู้เย็นแบ่งการศึกษาออกเป็น 4 เงื่อนไขได้แก่ ตู้เย็นแบบไม่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะ ตู้เย็นแบบติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะโดยใช้น้ำเปล่าที่ด้านล่างของอีวาโปรเตอร์ ตู้เย็นแบบติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะโดยใช้น้ำผสมกับเกลือในอัตราส่วน 1:1 ที่ด้านล่างของอีวาโปเรเตอร์ ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะโดยใช้น้ำผสมกับเกลือในอัตราส่วน 1:0.1 ที่ด้านล่างของอีวาโปเรเตอร์ และในการทดลองแบ่งเป็น 2กรณีได้แก่ ควบคุมอุณหภูมิห้องให้อยู่ที่ 25 ˚C และในสภาวะอุณหภูมิห้องปกติที่ 30˚C โดยการศึกษาจะสังเกตการทำงานของตู้เย็นโดยการเปรียบเทียบผลของการทำงานของคอมเพรสเซอร์ การใช้พลังงานของตู้เย็น และคำนวณหาค่าสัมประสิทธ์สมรรถนะของตู้เย็น

4.1 ผลการทดลองตู้เย็นแบบไม่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะและไม่ควบคุมอุณหภูมิห้องอยู่ที่ 30 - 32 ˚C

จากการทดลองพบว่าจะมีการแปรปรวนของอุณหภูมิค่อนข้างเยอะอันเนื่องมากจากอีวาโปเรเตอร์จะมีการแพร่อุณหภูมิเข้าห้องแช่แข็งและห้องอาหารจึงทำให้คอมเพรสเซอร์ทำงานหนักเพื่อที่จะทำความเย็นไปที่อีวาโปเรเตอร์ให้อุณหภูมิถึงจุดสงสุดของการทำงานก่อนคอมเพรสเซอร์จะตัดและเมื่ออีวาโปเรเตอร์อุณหภูมิเพิ่มขึ้นคอมเพรสเซอร์จะทำงานเพื่อให้อุณหภูมิลดลงมาอีกครั้งเพื่อให้อุณหภูมิคงที่ การทำงานของตู้เย็นที่ไม่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะระยะเวลาการทำงานของคอมเพรสเซอร์จึงจะทำงานมากกว่ากว่าปกติและจะเริ่มการทำงานเร็วกว่าปกติเพื่อรักษาอุณหภูมิไว้ดังแสดงในรูปที่ 4.1

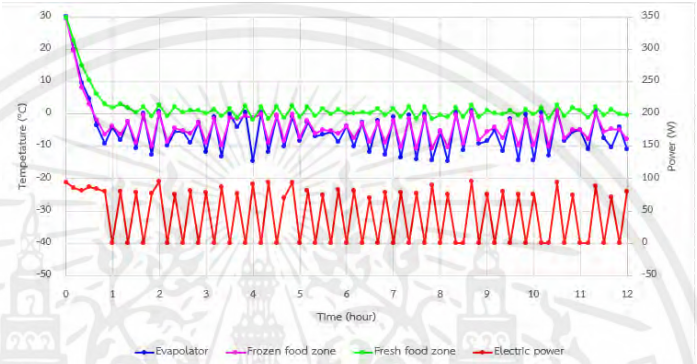


รูปที่ 4.1 กราฟการทดลองตู้เย็นแบบไม่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะและไม่ควบคุมอุณหภูมิห้องอยู่ที่ 30 - 32 ˚

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดลองตู้เย็นแบบไม่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะและจะควบคุมอุณหภูมิห้องอยู่ที่ 25 - 27 ˚C

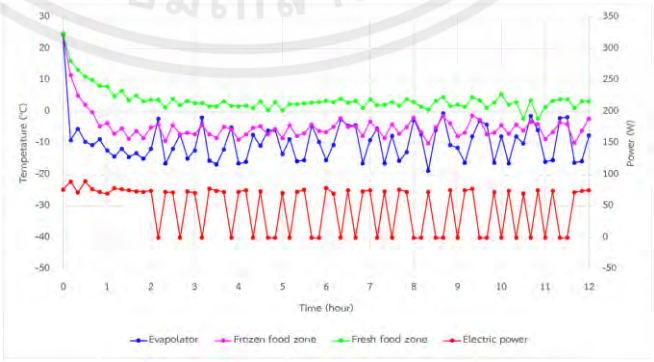
จากการทำงานของตู้เย็นแบบไม่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะและจะควบคุมอุณหภูมิห้องอยู่ที่ 25 - 27 ˚C จะเห็นได้ว่าการทำงานของตู้เย็นจะมีการทำงานของคอมเพรสเซอร์ที่ดีกว่าตู้เย็นที่ไม่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะและไม่ควบคุมอุณหภูมิห้องเนื่องจากการที่ควบคุมอุณหภูมิห้องจะมีผลต่อการทำงานของคอมเพรสเซอร์ที่ดีกว่าเพราะปัจจัยภายนอกทำให้ลดการทำงานของคอมเพรสเซอร์ลงได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 กราฟการทดลองตู้เย็นแบบไม่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะและจะควบคุมควบคุมอุณหภูมิห้องอยู่ที่ 25 - 27˚C

4.3 ผลการทดลองตู้เย็นแบบติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะและสารที่ใช้คือน้ำและจะไม่ควบคุมอุณหภูมิห้องอยู่ที่ 30 - 32 ˚C

จากการทดลองพบว่าเมื่อเราติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะที่ด้านล่างของตัวอีวาโปเรเตอร์จะลดการแปรปรวนของอุณหภูมิได้ดีกว่าไม่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะและจะลดการทำงานของคอมเพรสเซอร์ได้มากขึ้นอีกด้วยดังแสดงในรูปที่ 4.3

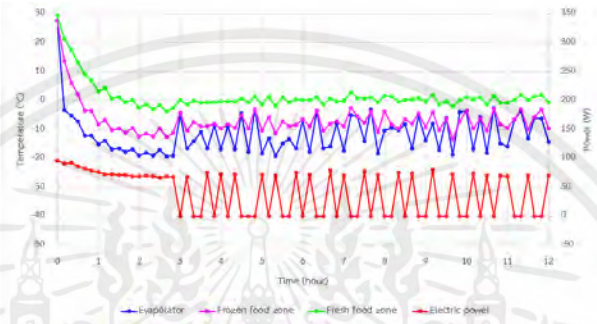


รูปที่ 4.3 กราฟการทดลองตู้เย็นแบบติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะและสารที่ใช้คือน้ำและจะไม่ควบคุมควบคุมอุณหภูมิห้องอยู่ที่ 30 - 32˚

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการทดลองตู้เย็นแบบติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะและสารที่ใช้คือน้ำและจะควบคุมอุณหภูมิห้องอยู่ที่ 25 - 27 ˚C

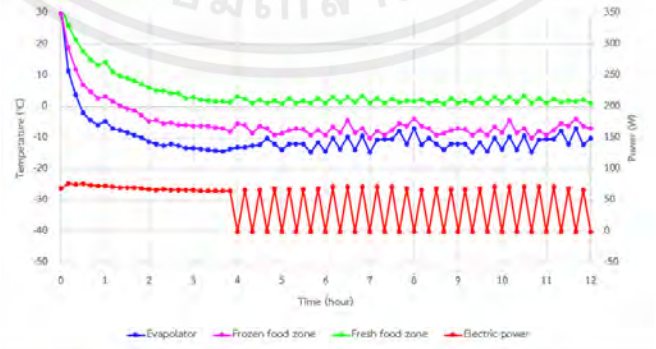
จากการทดลองโดยการติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะโดยใช้น้ำที่ควบคุมอุณหภูมิห้องพบว่าเมื่อเราในช่วงระยะเวลาแรกจะมีการทำงานของคอมเพรสเซอร์ที่นานขึ้นเนื่องมาจากเมื่อเราติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะไปและตัววัสดุจะกลายเป็นโหลดการทำความเย็นของตัวอีวาโปเรเตอร์เพิ่มมากขึ้นในช่วงแรกและเมื่อระยะเวลาผ่านไปการทำงานของคอมเพรสเซอร์ก็จะดีขึ้นโดยที่คอมเพรสเซอร์จะตัดการทำงานเร็วขึ้นและลดการทำงานของคอมเพรสเซอร์ลงเมื่อวัสดุเปลี่ยนสถานะมีอุณหภูมิที่คงที่แล้วดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 กราฟการทดลองตู้เย็นแบบติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะและสารที่ใช้คือน้ำและจะควบคุมควบคุมอุณหภูมิห้องอยู่ที่ 25 - 27˚C

4.5 ผลการทดลองตู้เย็นแบบติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะและสารที่ใช้คือน้ำผสมกับโซเดียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 10 wt% และจะไม่ควบคุมอุณหภูมิห้องอยู่ที่ 30 - 32 ˚C

จากการทดลองพบว่าเมื่อเรานำโซเดียมคลอไรด์ไปผสมกับน้ำในอัตราส่วน 10 wt% จะเห็นได้ว่าจะมีการทำงานของคอมเพรสเซอร์ในช่วงแรกจะมีการทำงานถึง 4 ชั่วโมงก่อนคอมเพรสเซอร์จะตัดการทำงานในครั้งแรกและค่าอุณหภูมิของอีวาโปเรเตอร์จะมีความแปรปรวนน้อยมากเนื่องมากจากความเข้มขนของโซเดียมต่อน้ำมีปริมาณที่น้อย ดังแสดงในรูปที่ 4.5

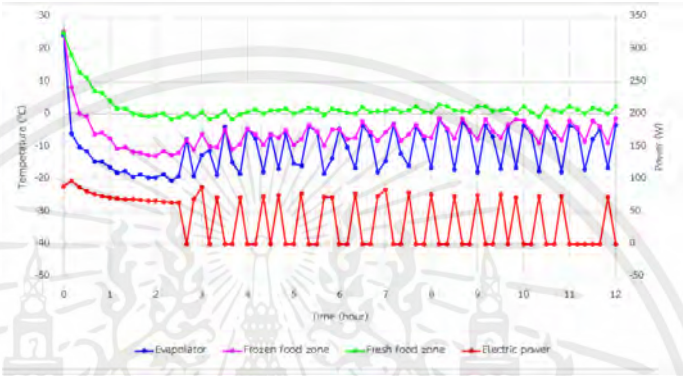


รูปที่ 4.5 กราฟแสดงผลการทดลองตู้เย็นแบบติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะและสารที่ใช้คือน้ำผสมกับโซเดียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 10 wt% และจะไม่ควบคุมอุณหภูมิห้องอยู่ที่ 30 - 32˚C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ผลการทดลองตู้เย็นแบบติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะและสารที่ใช้คือน้ำผสมกับโซเดียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 10 wt% และจะควบคุมอุณหภูมิห้องอยู่ที่ 25 – 27 °C

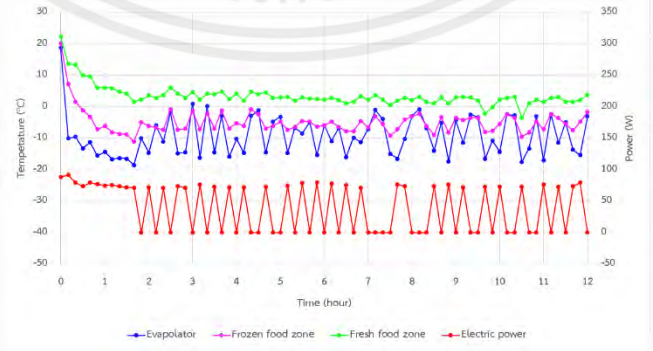
จากการทดลองพบว่าเมื่อเราทำการควบคุมอุณหภูมิการทำงานของคอมเพรสเซอร์จะเริ่มตัดการทำงานที่เร็วขึ้นกว่าไม่ควบคุมอุณหภูมิห้องและระยะเวลาในการตัดของคอมเพรสเซอร์ก็จะนานมากขึ้นกว่าด้วยและอุณหภูมิจะค่อยๆเพิ่มขึ้นเมื่อคอมเพรสเซอร์ตัดการทำงานและอุณหภูมิจะลดลงเร็วมากจนกลับมาที่อุณหภูมิปกติดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงผลการทดลองตู้เย็นแบบติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะและสารที่ใช้คือน้ำผสมกับโซเดียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 10 wt% และจะควบคุมอุณหภูมิห้องอยู่ที่ 25 - 27 °C

4.7 ผลการทดลองตู้เย็นแบบติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะและสารที่ใช้คือน้ำผสมกับโซเดียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 50 wt% และจะไม่ควบคุมอุณหภูมิห้องอยู่ที่ 30 – 32°C

จากการทดลองพบว่าเมื่อผสมน้ำกับโซเดียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 50 wt% ที่มีความเข้มข้นสูงพบว่าการทำงานของคอมเพรสเซอร์จะทำงานน้อยกว่าการติดตั้งวัสดุเปลี่ยนเฟสอื่นๆและมีการตัดการทำงานของคอมเพรสเซอร์นานกว่าอีกด้วยดังแสดงในรูปที่ 4.7

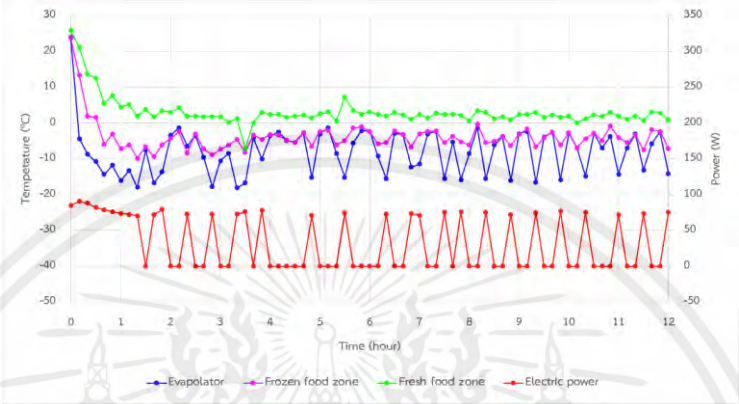


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงผลการทดลองตู้เย็นแบบติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะและสารที่ใช้คือน้ำผสมกับโซเดียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 50 wt% และจะไม่ควบคุมอุณหภูมิห้องอยู่ที่ 30 - 32 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 ผลการทดลองตู้เย็นแบบติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะและสารที่ใช้คือน้ำผสมกับโซเดียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 50 wt% และจะควบคุมอุณหภูมิห้องอยู่ที่ 25 – 27˚C

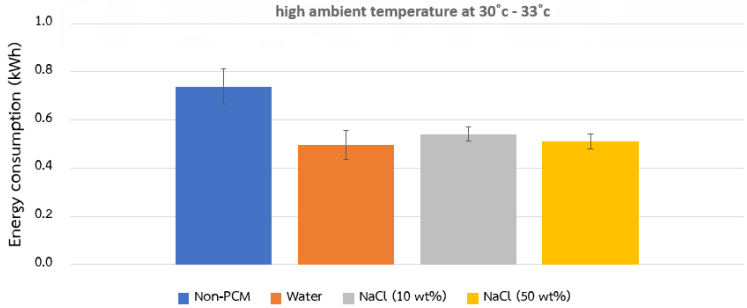
จากการทดลองพบว่าเมื่อมีการควบคุมอุณหภูมิจะทำให้การทำงานของคอมเพรสเซอร์ตัดเร็วยิ่งกว่าเดิมและยืดระยะการตัดของคอมเพรสเซอร์ได้ดีอีกด้วยดังแสดงในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงผลการทดลองตู้เย็นแบบติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะและสารที่ใช้คือน้ำผสมกับโซเดียมคลอไรด์ในอัตราส่วน 50 wt% และจะควบคุมอุณหภูมิห้องอยู่ที่ 25 - 27 °C

4.9 ผลและค่าเบี่ยงเบนมารตฐานของพลังงานทางไฟฟ้า

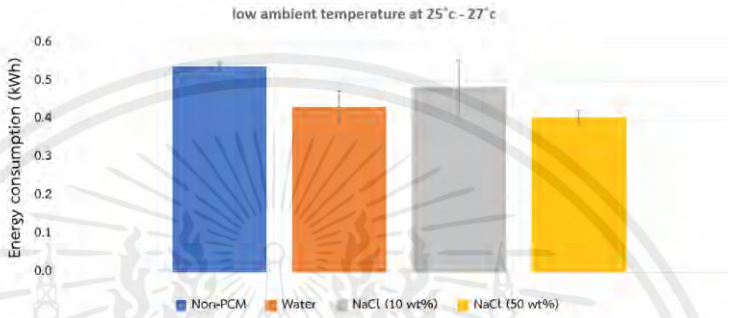
4.9.1 แสดงผลค่าเบี่ยงเบนมารตฐานของพลังงานไฟฟ้าในสภาวะที่ไม่ควบคุมอุณหภูมิห้องจากผลและค่าเบี่ยงเบนมารตฐานของพลังงานไฟฟ้าจะสังเกตุเห็นได้ว่าในกรณีที่ไม่ควบคุมอุณหภูมิห้องหรือในสภาวะอุณหภูมิห้องปกติค่าเบี่ยงเบนของตู้เย็นเปล่าจะมีค่าเบี่ยงเบนมากที่สุดและจากค่าการใช้พลังงานเฉลี่ยที่ชั่วโมงการทำงาน12ชั่วโมงของตู้เย็นเปล่า ตู้เย็นที่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะชนิดน้ำเปล่า ชนิดน้ำเกลือความเข้มข้น10 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักและชนิดน้ำเกลือความเข้มข้น50 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนัก เท่ากับ 0.74 0.50 0.54 และ 0.51 กิโลวัตต์ชั่วโมงและมีค่าความเบี่ยงเบนมารตฐานอยู่ที่ 0.072 0.060 0.030 และ 0.032 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แสดงผลค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพลังงานทางไฟฟ้าในสภาวะไม่ควบคุมอุณหภูมิห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

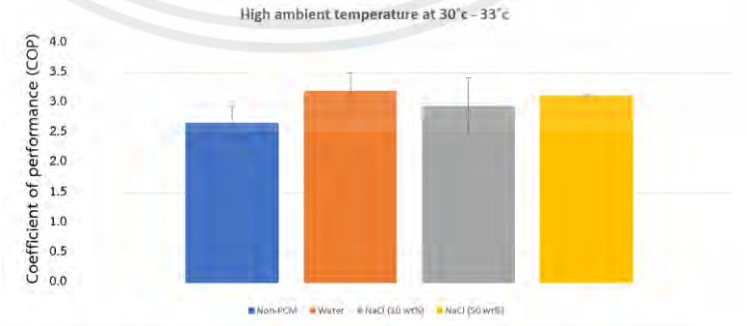
4.9.2 แสดงผลค่าเบี่ยงเบนมารตฐานของพลังงานไฟฟ้าในสภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิห้องที่ 20 - 25˚c และจากค่าการใช้พลังงานเฉลี่ยที่ชั่วโมงการทำงาน12ชั่วโมงของตู้เย็นเปล่า ตู้เย็นที่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะชนิดน้ำเปล่า ชนิดน้ำเกลือความเข้มข้น10 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักและชนิดน้ำเกลือความเข้มข้น50 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนัก เท่ากับ 0.54 0.43 0.49 และ 0.41 กิโลวัตต์ชั่วโมงและมีค่าความเบี่ยงเบนมารตฐานอยู่ที่ 0.010 0.040 0.069 และ 0.018 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 แสดงผลค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพลังงานทางไฟฟ้าในสภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิห้อง

4.10 ผลและค่าเบี่ยงเบนมารตฐานของค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของตู้เย็น

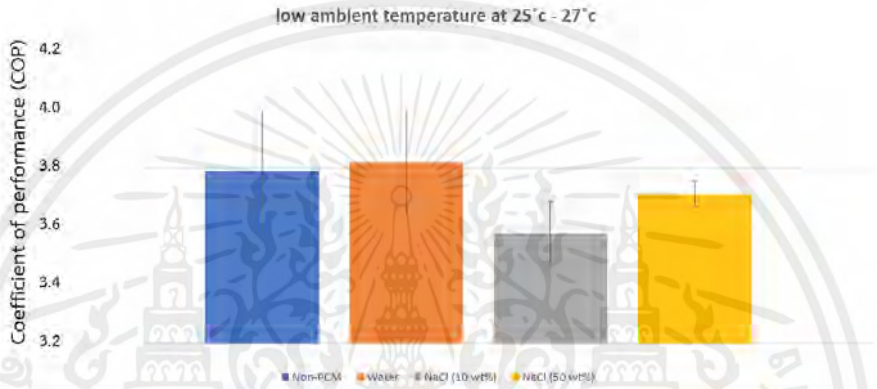
4.10.1 แสดงผลของค่าเบี่ยงเบนมารตฐานของค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของตู้เย็นในสภาวะที่ไม่ควบคุมอุณหภูมิแสดงให้ถึงถึงค่าเบี่ยงเบนของประสิทธิภาพการทำงานของตู้เย็นในแต่ละเงื่อนไขจากค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะเฉลี่ยที่ชั่วโมงการทำงาน12ชั่วโมงของตู้เย็นเปล่า ตู้เย็นที่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะชนิดน้ำเปล่า ชนิดน้ำเกลือความเข้มข้น10 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักและชนิดน้ำเกลือความเข้มข้น50 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนัก เท่ากับ 2.67 3.21 2.96 และ 3.13 กิโลวัตต์ชั่วโมงและมีค่าความเบี่ยงเบนมารตฐานอยู่ที่ 0.278 0.296 0.459 และ 0.025 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 แสดงผลค่าเบี่ยงเบนมารตฐานของค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของตู้เย็นในสภาวะที่ไม่ควบคุมอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.10.2 แสดงผลของค่าเบี่ยงเบนมารตฐานของค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของตู้เย็นในสภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิแสดงให้ถึงถึงค่าเบี่ยงเบนของประสิทธิภาพการทำงานของตู้เย็นในแต่ละเงื่อนไขจากค่าการใช้พลังงานเฉลี่ยที่ชั่วโมงการทำงาน12ชั่วโมงของตู้เย็นเปล่า ตู้เย็นที่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะชนิดน้ำเปล่า ชนิดน้ำเกลือความเข้มข้น10 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักและชนิดน้ำเกลือความเข้มข้น50 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนัก เท่ากับ 3.79 3.82 3.58 และ 3.71 กิโลวัตต์ชั่วโมงและมีค่าความเบี่ยงเบนมารตฐานอยู่ที่ 0.209 0.182 0.106 และ 0.043 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 แสดงผลค่าเบี่ยงเบนมารตฐานของค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของตู้เย็นในสภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบการทำงานของตู้เย็นที่ไม่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะและติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะที่บริเวณอีวาโปเรเตอร์โดยใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะเป็น น้ำและน้ำผสมกับโซเดียมคลอไรด์ 50wt% และน้ำผสมกับโซเดียมคลอไรด์ 10wt% เพื่อศึกษาการทำงานของตู้เย็น ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของตู้เย็นและการใช้พลังงานไฟฟ้าของตู้เย็น สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1.1 ผลของการทำงานของคอมเพรสเซอร์ของตู้เย็นที่ไม่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะในสภาวะกรณีที่ไม่ควบคุมอุณหภูมิหรืออุณหภูมิห้องปกติที่ 30°C – 32°C พบว่าคอมเพรสเซอร์มีการทำงานในระยะเวลาที่ยาวและการตัดการทำงานของคอมเพรสเซอร์ที่สั้นจึงทำให้อุณหภูมิที่อีวาโปเรเตอร์จะมีค่าความแปรปรวนของอุณหภูมิค่อนข้างเยอะและจากการที่คอมเพรสเซอร์มีการทำงานในระยะเวลานานขึ้นและการตัดของคอมเพรสเซอร์ที่เร็วขึ้นจึงทำให้ค่าพลังงานทางไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นด้วยและค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของตู้เย็นจึงมีค่าน้อยลงไป

5.1.2 ผลของการทำงานของคอมเพรสเซอร์ของตู้เย็นที่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะที่บริเวณอีวาโปเรเตอร์โดยใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะเป็นน้ำในกรณีที่ไม่ควบคุมอุณหภูมิห้องหรืออุณหภูมิห้องปกติที่ 30°C – 32°C จะเห็นได้ว่าการทำของคอมเพรสเซอร์ในช่วงแรกการทำงานของคอมเพรสเซอร์จะตัดการทำงานเร็วขึ้นเนื่องจากน้ำจะมีการก่อตัวเป็นน้ำแข็งที่เร็วและเมื่อตัววัสดุเปลี่ยนสถานะก่อตัวเป็นน้ำแข็งจึงทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนของตัวอีวาโปเรเตอร์และทำให้ลดการแปรปรวนของอุณหภูมิภายในได้ดียิ่งขึ้นและจะช่วยทำให้คอมเพรสเซอร์มีการตัดการทำงานที่เร็วขึ้นจึงทำให้คอมเพรสเซอร์มีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะที่ดีเพิ่มขึ้นและการใช้พลังงานทางไฟฟ้าน้อยลงจากตู้เย็นที่ไม่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะด้วย

5.1.3 ผลของการทำงานของคอมเพรสเซอร์ของตู้เย็นที่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะที่บริเวณอีวาโปเรเตอร์โดยใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะเป็นน้ำผสมกับโซเดียมคลอไรด์ 10 wt% ในกรณีที่ไม่ควบคุมอุณหภูมิห้องหรืออุณหภูมิห้องปกติที่ 30°C – 32°Cพบว่าคอมเพรสเซอร์จะทำงานยาวขึ้นมากกว่าตู้เย็นที่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะที่ใช้น้ำและในช่วงแรกเนื่องจากมีความเข้มข้นของเกลือในปริมาณที่น้อยและหลังจากคอมเพรสเซอร์ตัดการทำงานในครั้งแรกคอมเพรสเซอร์จะมีการทำงานและการตัดการทำงานที่สม่ำเสมอขึ้นจึงเพราะการถ่ายเทความร้อนของวัสดุเปลี่ยนสถานะโดยใช้โซเดียมคลอไรด์ที่ผสมกับน้ำจะก่อตัวเป็นน้ำแข็งได้นานกว่าน้ำเปล่าจึงทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้มากกว่าและอุณหภูมิภายในลดการแปรปรวนได้ดีกว่าตู้เย็นที่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะที่ใช้น้ำและตู้เย็นที่ไม่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะและค่าพลังงานไฟฟ้าของตู้เย็นที่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะเป็นน้ำผสมกับโซเดียมคลอไรด์ 10 wt%จะน้อยกว่าตู้เย็นที่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะโดยใช้น้ำเพียงเล็กและค่าสัมประสิทธิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมรรถนะของตู้เย็นจะมากกว่าตู้เย็นที่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะโดยใช้น้ำเนื่องจากในช่วงก่อนคอมเพรสเซอร์ตัดการทำงานในครั้งแรกการทำงานของคอมเพรสเซอร์มีระยะเวลาการทำงานที่นานกว่าตู้เย็นที่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะโดยใช้น้ำ

5.1.4 ผลของการทำงานของคอมเพรสเซอร์ของตู้เย็นที่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะที่บริเวณอีวาโปเรเตอร์โดยใช่วัสดุเปลี่ยนสถานะเป็นน้ำผสมกับโซเดียมคลอไรด์ 50 wt% ในกรณีที่ไม่ควบคุมอุณหภูมิห้องหรืออุณหภูมิห้องปกติที่ 30˚C – 32˚C พบว่าการทำงานของคอมเพรสเซอร์จะตัดการทำงานเร็วกว่าตู้เย็นที่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะที่ใช้น้ำผสมกับโซเดียมคลอไรด์ 10 wt% และตัดช้ากว่าตู้เย็นที่ไม่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะเพียงเล็กน้อยในช่วงแรกของการทำงานและหลังจากตัดการทำงานของคอมเพรสเซอร์ในครั้งแรกระยะเวลาการทำงานของคอมเพรสเซอร์จะทำงานในระยะเวลาที่น้อยขึ้นและสามารถตัดการทำงานของคอมเพรสเซอร์ได้นานมากขึ้นเนื่องจากมีความเข้มข้นของน้ำที่ผสมกับโซเดียมคลอไรด์อยู่มากจึงทำให้การละลายของน้ำแข็งภายในวัสดุเปลี่ยนสถานะช้าลงทำเกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างวัสดุเปลี่ยนสถานะกับตัวอีวาโปเรเตอร์นานมากขึ้นทำให้มีการตัดการทำงานของคอมเพรสเซอร์ที่นานขึ้นจึงทำให้ค่าพลังงานทางไฟฟ้าประหยัดมากขึ้นกว่าการทำงานของตู้เย็นทั้ง 3 เงื่อนไขและค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำงานของตู้เย็นก็ดีขึ้นอีกด้วย

5.1.5 ผลจากการทำงานของตู้เย็นทั้ง 4 เงื่อนไข ,ตู้เย็นที่ไม่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะ,ตู้เย็นที่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะโดยใช้น้ำ, ตู้เย็นที่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะโดยใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะเป็นน้ำผสมกับโซเดียมคลอไรด์ 10 wt%, ตู้เย็นที่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะโดยใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะเป็นน้ำผสมกับโซเดียมคลอไรด์ 50 wt% ในสภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิห้องที่อุณหภูมิ 25-27˚C พบว่าค่าพลังงานทางไฟฟ้าของตู้เย็นจะแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยและค่าพลังงานทางไฟฟ้าของตู้เย็นที่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะโดยใช้น้ำผสมกับโซเดียมคลอไรด์ 50 wt% จะประหยัดค่าพลังงานทางไฟฟ้ามากกว่าตู้เย็นที่ไม่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะอยู่ที่ 0.13 Kwh และค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของตู้เย็นที่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะจะไม่แตกต่างกับตู้เย็นที่ไม่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะ

จากการทดลองพบว่า วัสดุเปลี่ยนสถานะสามารถช่วยลดการทำงานของคอมเพรสเซอร์ได้ดีในการทำงานที่สภาวะอากาศทั่วไปและวัสดุเปลี่ยนสถานะที่ใช้น้ำผสมกับโซเดียมคลอไรด์ 50 wt% จะมีประสิทธิภาพสูงที่สุด

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

5.2.1 กระแสไฟฟ้าที่กระชากและตกบ่อยอาจจะทำให้เกิดการทดลองที่ล่าช้าและผลการทดลองที่ไม่มีประสิทธิภาพ

5.2.2 ควรใช้เครื่องบันทึกผล (Data logger) อาจจะทำการเก็บค่าในการทดลองมีความละเอียดเพิ่มมากขึ้น

5.2.3 ควรศึกษาผลของโหลดภายในตู้เย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.4 ควรเพิ่มระยะเวลาในการทดลองเป็น 24 ชั่วโมง เพื่อให้ผลการทดลองมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น

5.2.5 ควรศึกษาวัสดุเปลี่ยนสถานะชนิดอื่นๆเพิ่มเติมเพื่อใช้ในการทดลอง

5.2.6 ควรปรับปรุงภาชนะที่เก็บวัสดุเปลี่ยนสถานะให้มีรูปร่างพอดีกับพื้นที่ติดตั้งช่องแช่แข็งด้านล่างและใช้วัสดุที่มีค่าการนำความร้อนดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Azzouz k., Leducq D. and GobinD. 2009. **Enhancing the performance of household refrigerators with latent heat storage: an experimental investigation.** International journal of Refrigeration, pp. 164-1644

[2] Marques A.C., Davies G.F., Maidment G.G., Evans J.A. and Wood 1.D. 2013. **Novel design and performance enhancement of domestic refrigerators with thermal storage.** International Journal of applthermaleng, pp. 511-519

[3] Rahman R., Hasan A, Das S.K. and Hossain Md. A. 2013. **Performance Improvement of a Domestic Refrigerator Using Phase change Material (PCM).** IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE), pp. 08- 16.

[4] Sonnenrein G., Esner A., Baumhogger E., Morbach A., Fieback K. and J. 2015. **Reducing the power consumption of household refrigerators through the integration of latent heat storage elements in wire-and-tube condensers.** International Journal of Refrigeration, pp. 154-160.

[5] กันยรัตน์ โหละสุต, ประสงค์ วงศ์วิชา, ถาวร ศรีชมฎ, ทิพวรรณ์ ม่วงสำเภา และอาทิตย์ ไชยอำนาจ. 2555. **วัสดุเปลี่ยนเฟสเพื่อช่วยรักษาความร้อนในเครื่องอบพลังงาน แสงอาทิตย์.** แหล่งที่เข้าถึง:www.tsme.org/ME_NETT/ME_NETT22/paper /ETM/Paper9620E TM036.pdf

[6] Cheng W.L., Meia B.J., Liub Y.N, Huanga Y.H, and Yuana X.D. 2011, **A novel household refrigerator with shape-stabilized PCM (Phase Change Material) heat storage condensers: An experimental investigation,** Energy, pp. 5797-5804

[7] Yusufoglu Y., Apaydin T., Yilmaz S, and Paksoy H.O, 2015, **Improving performance of household refrigerators by incorporating phase change materials**. International Journal of Refrigeration, pp. 173-185

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[8] Zhao D.L. and Tan G. 2014. **Experimental evaluation of a prototype thermoelectric system Integrated with PCM (phase change material) for space cooling.** Energy, pp. 1-9.

[9] Kappen A, George T.J, and Vinay V.N. 2016. **Performance Improvement of a Household Refrigerator by Use of a Phase Change Material.** International Journal of Scientific & Engineering Research, pp. 58-68.

[10] O. Laguerre et al. (2007) **Numerical simulation of air flow and heat transfer in domestic refrigerators.** Food Eng. pp. 135-140

[11] G. Sonnenrein et al. (2015) **Copolymer-bound phase change materials for household refrigerating appliances: experimental investigation of power consumption, temperature distribution and demand side management potential** Int. J. Refrig. pp. 200-265

[12] P.S. Raveendran et al. (2017)**Performance studies on a domestic refrigerators retrofitted with building-integrated water-cooled condenser** Energy Build. pp. 730-735

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
ผลการทดลองจากเครื่องบันทึกผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 แสดงถึงค่าอุณหภูมิและค่ากำลังทางไฟฟ้าของตู้เย็นที่ไม่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะในสภาวะที่ไม่ควบคุมอุณหภูมิห้อง

NonPcm – High ambient temperature at 30˚c - 33˚c							
Time (min)	Evapolator (˚C)	Frozen food (˚C)	Fresh food (˚C)	Room (˚C)	Electric power (W)	Pressure (outlet) (psig)	Pressure (inlet) (psig)
0	26.7	26.4	30.1	31.0	96.48	140	0
10	2.0	14.2	25.9	30.0	82.28	150	0
20	14.2	8.0	21.8	30.0	92.22	155	0
30	10.1	4.2	18.7	30.0	81.53	160	0
40	5.9	0.1	15.9	31.0	72.48	160	0
50	2.7	3.3	13.0	31.0	70.78	160	0
60	-0.4	-2.1	10.3	31.0	71.55	160	0
70	-5.7	-3.5	8.3	31.0	71.32	159	0
80	-8.7	-3.7	7.2	32.0	70.01	160	0
90	-10.0	-3.2	6.0	32.0	70.08	160	0
100	-11.5	-4.1	4.4	32.0	79.42	150	0
110	-13.7	-3.7	3.7	32.0	79.70	160	0
120	-15.4	-4.2	2.9	32.0	79.72	159	0
130	-2.5	-7.3	16.1	32.0	74.51	160	0
140	-4.0	-9.8	9.5	32.0	73.66	160	0
150	-7.4	-11.3	8.3	31.0	72.78	160	0
160	-11.1	-9.6	4.9	31.0	71.99	160	0
170	-13.1	-11.4	4.7	31.0	70.92	160	0
180	-14.2	-11.8	4.0	32.0	79.87	160	0
190	-16.2	-10.9	3.1	32.0	79.79	160	0
200	-16.6	-10.5	2.8	32.0	79.00	155	0
210	-18.5	-9.8	2.5	32.0	79.38	160	0
220	-19.1	-10.0	2.1	32.0	78.75	160	0
230	-20.9	-10.1	1.7	33.0	79.06	160	0
240	-19.4	-10.2	1.5	33.0	77.89	160	0
250	-19.0	-9.5	3.0	33.0	74.82	160	0
260	-18.9	-7.0	2.1	33.0	79.78	160	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 แสดงถึงค่าอุณหภูมิและค่ากำลังทางไฟฟ้าของตู้เย็นที่ไม่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะในสภาวะที่ไม่ควบคุมอุณหภูมิห้อง (ต่อ)

NonPcm - High ambient temperature at 30˚c - 33˚c							
Time (min)	Evapolator (hour)	Frozen food (˚C)	Fresh food (˚C)	Room (˚C)	Electric power (W)	Pressure (outlet) (psig)	Pressure (inlet) (psig)
270	-16.6	-14.0	1.6	33.0	0.00	160	0
280	-20.0	-18.0	4.1	32.0	77.77	170	0
290	-19.4	-12.2	2.3	32.0	70.19	170	0
300	-18.9	-13.5	2.4	32.0	70.22	160	0
310	-17.9	-14.5	4.2	32.0	70.02	170	0
320	-17.5	-14.0	4.0	33.0	76.97	170	0
330	-16.0	-10.2	3.5	33.0	73.57	160	0
340	-15.0	-12.4	3.0	33.0	74.97	170	0
350	-16.3	-13.0	2.9	33.0	73.50	165	0
360	-16.9	-13.8	2.5	33.0	72.90	160	0
370	-17.0	-14.4	2.7	33.0	71.24	160	0
380	-17.5	-14.8	2.5	33.0	71.67	160	0
390	-11.7	-10.5	4.8	33.0	70.98	160	0
400	-11.9	-11.0	4.1	33.0	70.30	160	0
410	-13.3	-11.3	4.0	33.0	70.00	160	0
420	-17.5	-12.0	3.8	32.0	70.87	160	0
430	-18.5	-12.1	3.5	32.0	70.14	160	0
440	-18.8	-8.0	3.0	32.0	70.47	160	0
450	-18.9	-10.0	2.9	32.0	70.99	160	0
460	-6.4	-5.6	2.8	33.0	0.00	110	20
470	-8.5	-6.2	2.6	33.0	78.58	170	0
480	-9.6	-7.4	2.5	33.0	76.28	170	0
490	-10.5	-8.3	2.2	33.0	73.17	170	0
500	-17.2	-8.5	2.0	33.0	71.67	160	0
510	-9.5	-6.3	2.9	33.0	70.41	160	0
520	-12.8	-4.1	3.0	33.0	70.31	160	0
530	-13.1	-7.3	4.1	33.0	70.35	160	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 แสดงถึงค่าอุณหภูมิและค่ากำลังทางไฟฟ้าของตู้เย็นที่ไม่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะในสภาวะที่ไม่ควบคุมอุณหภูมิห้อง (ต่อ)

NonPcm - High ambient temperature at 30˚c - 33˚c							
Time (min)	Evapolator (hour)	Frozen food (˚C)	Fresh food (˚C)	Room (˚C)	Electric power (W)	Pressure (outlet) (psig)	Pressure (inlet) (psig)
540	-15.7	-7.5	4.5	33.0	79.60	160	0
550	-16.9	-9.8	3.5	33.0	79.82	160	0
560	-17.0	-9.9	3.4	32.0	79.55	160	0
570	-18.1	-10.4	3.3	23.0	79.65	160	0
580	-6.4	-11.1	3.5	32.0	0.00	110	20
590	-14.1	-7.0	4.2	32.0	79.74	175	0
600	-16.6	-7.7	4.0	32.0	73.47	165	0
610	-16.2	-9.9	3.3	32.0	79.20	160	0
620	-0.3	-7.2	4.6	32.0	0.00	50	25
630	-16.4	-6.4	5.1	32.0	91.14	170	0
640	-18.4	-10.2	3.4	32.0	71.16	160	0
650	-9.9	-10.7	2.5	32.0	0.00	120	10
660	-14.3	-5.5	6.1	32.0	90.22	170	0
670	-19.3	-8.1	4.0	32.0	73.67	160	0
680	-16.9	-10.5	2.9	32.0	79.87	170	0
690	-6.3	-8.1	3.0	32.0	0.00	110	0
700	-0.6	-3.5	1.9	32.0	0.00	50	25
710	-12.3	-6.2	4.9	33.0	94.28	175	0
720	-10.8	-7.8	4.3	32.0	73.38	160	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 แสดงถึงค่าอุณหภูมิและค่ากำลังทางไฟฟ้าของตู้เย็นที่ไม่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะในสภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิห้อง

NonPcm – low ambient temperature at 25˚c - 27˚c							
Time (min)	Evapolator (˚C)	Frozen food (˚C)	Fresh food (˚C)	Room (˚C)	Electric power (W)	Pressure (outlet) (psig)	Pressure (inlet) (psig)
0	30.0	29.6	29.9	25.0	93.90	140	0
10	19.9	19.6	22.7	25.0	85.45	200	0
20	9.6	8.1	14.9	25.0	80.62	190	0
30	4.8	3.0	10.3	25.0	87.61	190	0
40	-3.5	-1.9	6.2	25.0	83.67	180	0
50	-9.1	-6.5	2.9	26.0	79.36	170	0
60	-4.1	-3.7	2.0	26.0	0.00	100	20
70	-8.1	-6.5	3.1	26.0	80.38	180	0
80	-2.5	-2.3	2.0	25.0	0.00	90	20
90	-10.5	-8.8	0.5	25.0	78.97	150	0
100	0.3	-0.5	2.3	25.0	0.00	40	25
110	-12.5	-10.2	-0.8	25.0	77.55	160	0
120	0.8	0.2	2.6	25.0	95.80	140	15
130	-9.8	-8.7	-0.7	26.0	0.00	110	5
140	-5.5	-4.5	2.2	26.0	75.36	170	0
150	-5.5	-5.2	0.6	26.0	0.00	90	15
160	-9.0	-6.1	1.0	26.0	81.13	160	0
170	-2.7	-2.7	1.0	26.0	0.00	70	20
180	-11.8	-9.0	0.1	26.0	78.57	160	0
190	-1.0	-1.6	1.2	26.0	0.00	40	20
200	-13.1	-9.9	-0.7	26.0	87.30	160	0
210	-0.1	-1.3	1.6	27.0	0.00	40	20
220	-4.0	-1.6	-1.2	27.0	76.35	140	0
230	0.4	-0.7	2.4	26.0	0.00	40	20
240	-14.5	-1.3	-1.8	26.0	91.65	130	0
250	0.6	-0.2	2.1	26.0	0.00	35	25
260	-11.9	-9.0	-1.5	27.0	94.78	130	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 แสดงถึงค่าอุณหภูมิและค่ากำลังทางไฟฟ้าของตู้เย็นที่ไม่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะในสภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิห้อง (ต่อ)

NonPcm – low ambient temperature at 25˚c - 27˚c							
Time (min)	Evapolator (˚C)	Frozen food (˚C)	Fresh food (˚C)	Room (˚C)	Electric power (W)	Pressure (outlet) (psig)	Pressure (inlet) (psig)
270	-0.8	-0.3	2.2	27.0	0.00	110	0
280	-10.1	-8.3	-1.2	27.0	70.11	130	0
290	-1.0	0.0	2.4	26.0	94.42	150	0
300	-8.3	-7.3	-1.0	26.0	0.00	90	15
310	-2.8	-2.2	2.1	26.0	81.65	160	0
320	-6.9	-6.1	-0.7	25.0	0.00	90	15
330	-6.5	-4.9	1.5	25.0	74.25	160	0
340	-5.4	-5.1	-0.2	25.0	0.00	80	15
350	-8.6	-6.1	1.2	25.0	82.84	160	0
360	-3.8	-3.7	0.1	25.0	0.00	70	20
370	-10.0	-7.5	0.2	25.0	80.87	160	0
380	-2.6	-2.9	0.5	25.0	0.00	60	20
390	-11.7	-8.6	0.1	25.0	69.23	160	0
400	-2.1	-2.8	1.5	26.0	0.00	50	20
410	-12.6	-8.9	-0.4	25.0	78.96	160	0
420	-1.1	-2.1	1.6	25.0	0.00	40	20
430	-13.4	-10.4	-0.9	25.0	78.40	160	0
440	-0.4	-1.5	2.1	25.0	0.00	40	20
450	-14.0	-10.7	-1.4	25.0	77.69	150	0
460	0.0	-1.1	2.2	26.0	0.00	40	20
470	-14.4	-10.6	-1.5	25.0	90.15	140	0
480	-5.9	-5.2	-0.3	25.0	0.00	80	15
490	-14.6	-10.4	-0.9	26.0	76.27	150	0
500	0.6	-0.3	2.0	26.0	0.00	30	20
510	-11.2	-9.2	-1.1	26.0	0.00	120	0
520	1.0	0.4	2.8	26.0	95.33	150	0
530	-9.2	-8.0	-1.0	26.0	0.00	100	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 แสดงถึงค่าอุณหภูมิและค่ากำลังทางไฟฟ้าของตู้เย็นที่ไม่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะในสภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิห้อง (ต่อ)

NonPcm – low ambient temperature at 25˚c - 27˚c							
Time (min)	Evapolator (hour)	Frozen food (˚C)	Fresh food (˚C)	Room (˚C)	Electric power (W)	Pressure (outlet) (psig)	Pressure (inlet) (psig)
540	-8.5	-5.6	1.0	26.0	75.81	160	0
550	-5.0	-4.0	0.2	26.0	0.00	85	15
560	-11.5	-7.4	-0.1	26.0	79.73	155	0
570	-1.4	-2.2	1.1	27.0	0.00	70	20
580	-14.3	-9.8	-0.4	27.0	75.87	140	0
590	-0.1	-1.7	1.4	26.0	0.00	35	20
600	-14.4	-9.8	-0.2	26.0	76.20	150	0
610	0.5	-0.9	1.9	26.0	0.00	40	20
620	-13.0	-10.2	-1.4	27.0	0.00	110	0
630	1.0	1.1	2.7	27.0	93.42	150	0
640	-8.3	-7.4	-0.8	27.0	0.00	90	10
650	-5.5	-5.0	2.0	26.0	73.77	155	0
660	-5.0	-5.0	0.9	26.0	0.00	80	20
670	-10.8	-7.8	-1.2	26.0	0.00	100	5
680	0.7	0.1	2.2	25.0	88.97	155	0
690	-7.6	-5.6	-0.4	25.0	0.00	90	10
700	-10.3	-4.7	1.4	25.0	71.17	150	0
710	-4.2	-5.0	-0.2	25.0	0.00	80	20
720	-11.0	-7.7	-0.4	25.0	79.20	155	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 แสดงถึงค่าอุณหภูมิและค่ากำลังทางไฟฟ้าของตู้เย็นที่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะโดยใช้น้ำในสภาวะที่ไม่ควบคุมอุณหภูมิห้อง

Water - high ambient temperature at 30˚c - 33˚c							
Time (min)	Evapolator (˚C)	Frozen food (˚C)	Fresh food (˚C)	Room (˚C)	Electric power (W)	Pressure (outlet) (psig)	Pressure (inlet) (psig)
0	24.8	24.5	24.8	30.0	76.59	160	0
10	-9.0	11.6	16.1	30.0	89.15	200	0
20	-5.4	5.2	13.4	30.0	71.79	210	0
30	-9.5	2.2	11.1	30.0	89.85	215	0
40	-10.6	-0.2	10.1	30.0	76.86	210	0
50	-8.7	-4.6	8.2	30.0	72.59	200	0
60	-12.3	-3.6	8.0	30.0	70.09	200	0
70	-14.2	-7.0	5.0	30.0	78.45	200	0
80	-11.7	-5.3	6.7	30.0	76.95	190	0
90	-14.3	-8.5	3.7	30.0	75.19	185	0
100	-13.2	-6.1	5.2	30.0	74.00	180	0
110	-14.9	-8.3	3.3	30.0	72.98	180	0
120	-11.8	-4.9	3.8	30.0	74.67	180	0
130	-2.2	-4.1	3.8	30.0	0.00	100	20
140	-16.4	-9.2	1.4	30.0	72.67	180	0
150	-11.8	-4.2	4.1	30.0	71.99	180	0
160	-7.3	-7.1	2.1	30.0	0.00	110	15
170	-14.8	-6.7	3.4	30.0	73.30	180	0
180	-12.2	-7.1	2.8	30.0	71.28	170	0
190	-1.9	-4.3	2.7	30.0	0.00	100	20
200	-15.5	-7.1	1.8	30.0	77.84	180	0
210	-16.7	-8.3	1.8	30.0	74.73	180	0
220	-11.9	-4.7	3.3	30.0	73.13	160	0
230	-4.9	-5.6	1.9	30.0	0.00	110	20
240	-16.4	-8.8	1.8	30.0	72.91	180	0
250	-15.9	-7.2	2.0	30.0	75.71	180	0
260	-7.4	-5.1	1.3	30.0	0.00	120	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 แสดงถึงค่าอุณหภูมิและค่ากำลังทางไฟฟ้าของตู้เย็นที่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะโดยใช้น้ำในสภาวะที่ไม่ควบคุมอุณหภูมิห้อง (ต่อ)

Water - high ambient temperature at 30˚c - 33˚c							
Time (min)	Evapolator (˚C)	Frozen food (˚C)	Fresh food (˚C)	Room (˚C)	Electric power (W)	Pressure (outlet) (psig)	Pressure (inlet) (psig)
270	-10.8	-4.6	3.3	30.0	73.76	180	0
280	-6.0	-7.2	0.6	30.0	0.00	110	15
290	-5.7	-5.4	3.2	30.0	0.00	90	20
300	-13.5	-8.3	0.5	30.0	71.40	175	0
310	-8.6	-4.3	2.5	30.0	0.00	90	20
320	-15.7	-7.7	2.4	30.0	73.21	180	0
330	-15.3	-6.8	2.7	30.0	76.15	180	0
340	-4.4	-4.0	2.9	30.0	0.00	80	20
350	-9.5	-6.2	3.2	30.0	0.00	130	5
360	-15.4	-6.4	3.4	30.0	79.18	180	0
370	-10.5	-4.8	3.2	30.0	70.42	170	0
380	-2.4	-2.0	4.2	30.0	0.00	140	10
390	-4.4	-4.8	2.9	30.0	75.21	90	20
400	-4.3	-4.5	3.4	30.0	0.00	100	15
410	-16.3	-7.6	1.3	30.0	73.55	180	0
420	-9.1	-3.1	3.9	30.0	75.78	180	0
430	-5.2	-5.6	2.1	30.0	0.00	100	20
440	-16.4	-8.3	2.2	30.0	73.39	170	0
450	-7.6	-4.0	3.2	30.0	0.00	120	10
460	-15.6	-6.9	2.0	30.0	76.33	180	0
470	-12.8	-4.9	3.9	30.0	72.98	180	0
480	-2.5	-1.8	3.1	30.0	0.00	100	20
490	-7.2	-6.4	1.6	30.0	0.00	120	15
500	-18.7	-10.1	0.7	30.0	72.60	180	0
510	-5.8	-5.0	3.4	30.0	0.00	100	15
520	-0.4	-1.4	4.7	30.0	0.00	90	20
530	-10.5	-3.8	1.9	30.0	75.29	160	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 แสดงถึงค่าอุณหภูมิและค่ากำลังทางไฟฟ้าของตู้เย็นที่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะโดยใช้น้ำในสภาวะที่ไม่ควบคุมอุณหภูมิห้อง (ต่อ)

Water - high ambient temperature at 30˚c - 33˚c							
Time (min)	Evapolator (hour)	Frozen food (˚C)	Fresh food (˚C)	Room (˚C)	Electric power (W)	Pressure (outlet) (psig)	Pressure (inlet) (psig)
540	-11.5	-7.8	2.2	30.0	0.00	140	5
550	-16.2	-6.6	1.6	30.0	75.22	180	0
560	-7.8	-1.2	4.6	30.0	77.56	180	0
570	-2.8	-2.5	3.7	30.0	0.00	110	20
580	-4.1	-7.1	1.3	30.0	0.00	90	20
590	-16.2	-6.7	2.9	30.0	72.93	180	0
600	-7.8	-4.3	5.6	30.0	0.00	120	15
610	-16.3	-7.0	2.2	30.0	74.26	180	0
620	-7.8	-4.1	3.2	30.0	0.00	110	10
630	-10.1	-5.9	-2.1	30.0	70.22	180	0
640	-1.4	-3.2	3.7	30.0	0.00	90	20
650	-5.8	-3.9	-2.1	30.0	75.43	100	15
660	-15.8	-8.6	1.4	30.0	0.00	140	5
670	-15.4	-6.4	3.5	30.0	74.37	180	0
680	-2.0	-3.4	3.9	30.0	0.00	70	20
690	-1.7	-3.9	4.0	30.0	0.00	90	20
700	-16.2	-9.9	1.2	30.0	72.35	180	0
710	-15.7	-6.0	3.3	30.0	74.42	180	0
720	-7.5	-2.1	3.3	30.0	75.50	170	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 แสดงถึงค่าอุณหภูมิและค่ากำลังทางไฟฟ้าของตู้เย็นที่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะโดยใช้น้ำในสภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิห้อง

Water- low ambient temperature at 25˚c - 27˚c							
Time (min)	Evapolator (˚C)	Frozen food (˚C)	Fresh food (˚C)	Room (˚C)	Electric power (W)	Pressure (outlet) (psig)	Pressure (inlet) (psig)
0	27.6	27.6	29.4	26.0	96.70	170	0
10	-3.2	13.8	21.5	25.0	90.80	210	10
20	-5.2	6.0	17.4	25.0	92.33	200	5
30	-7.3	2.2	13.3	25.0	86.49	190	0
40	-12.2	-3.4	9.0	25.0	82.81	180	0
50	-12.0	-3.6	7.1	25.0	78.84	180	0
60	-15.2	-8.1	3.2	26.0	76.57	180	0
70	-13.8	-6.7	4.3	27.0	73.28	170	0
80	-16.8	-10.1	0.7	26.0	73.38	170	0
90	-16.5	-9.6	1.3	27.0	71.64	170	0
100	-17.9	-11.1	-0.6	26.0	71.28	170	0
110	-16.7	-9.5	0.2	25.0	69.45	160	0
120	-19.1	-12.4	-2.4	26.0	68.96	160	0
130	-18.0	-11.3	-1.4	26.0	69.83	160	0
140	-19.1	-12.3	-2.9	27.0	69.11	160	0
150	-17.0	-9.6	-1.5	25.0	67.30	155	0
160	-19.3	-12.6	-3.8	26.0	68.98	160	0
170	-19.0	-11.2	-2.6	26.0	68.44	160	0
180	-4.8	-4.2	0.1	27.0	0.00	100	20
190	-16.6	-10.5	-1.2	27.0	68.32	150	0
200	-14.0	-7.5	-0.1	26.0	0.00	175	0
210	-10.8	-8.8	-0.8	27.0	0.00	120	5
220	-16.6	-9.0	-0.5	27.0	75.23	175	0
230	-8.6	-7.9	-0.5	27.0	0.00	100	10
240	-16.9	-9.7	-0.4	27.0	72.88	170	0
250	-9.0	-8.3	-0.3	27.0	0.00	100	10
260	-16.8	-9.5	-0.4	27.0	73.22	170	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 แสดงถึงค่าอุณหภูมิและค่ากำลังทางไฟฟ้าของตู้เย็นที่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะโดยใช้น้ำในสภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิห้อง (ต่อ)

Water- low ambient temperature at 25˚c - 27˚c							
Time (min)	Evapolator (˚C)	Frozen food (˚C)	Fresh food (˚C)	Room (˚C)	Electric power (W)	Pressure (outlet) (psig)	Pressure (inlet) (psig)
270	-4.5	-5.0	0.7	27.0	0.00	90	15
280	-17.8	-9.7	-0.6	25.0	0.00	165	0
290	-2.9	-2.9	1.4	27.0	0.00	120	20
300	-18.3	-10.5	-1.3	26.0	71.26	170	0
310	-13.2	-5.6	1.4	26.0	0.00	160	10
320	-19.0	-11.4	-1.7	27.0	70.36	165	0
330	-14.9	-7.1	1.1	27.0	0.00	180	0
340	-13.3	-8.8	-0.5	25.0	0.00	100	10
350	-16.6	-8.4	0.4	26.0	75.24	170	0
360	-6.8	-6.4	0.1	25.0	0.00	90	10
370	-17.9	-9.0	0.2	25.0	71.19	160	0
380	-3.5	-3.4	1.1	25.0	0.00	110	15
390	-16.6	-10.4	-1.2	25.0	0.00	130	5
400	-15.8	-7.9	0.8	25.0	79.57	170	0
410	-8.0	-7.2	-0.4	25.0	0.00	90	15
420	-17.2	-9.0	-0.1	25.0	70.62	160	0
430	-5.0	-2.5	2.9	25.0	0.00	80	20
440	-5.4	-5.5	1.0	25.0	0.00	90	15
450	-14.2	-7.6	0.8	25.0	77.52	165	0
460	-3.0	-3.8	1.1	25.0	0.00	70	20
470	-18.2	-10.9	-0.5	25.0	71.86	160	0
480	-10.4	-3.8	1.7	25.0	0.00	15	5
490	-9.4	-8.1	1.5	25.0	0.00	120	5
500	-10.1	-9.6	-0.3	25.0	75.86	160	0
510	-8.1	-6.4	0.3	25.0	0.00	80	10
520	-16.5	-8.0	0.5	25.0	74.64	155	0
530	-5.3	-4.4	1.0	25.0	0.00	80	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 แสดงถึงค่าอุณหภูมิและค่ากำลังทางไฟฟ้าของตู้เย็นที่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะโดยใช้น้ำในสภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิห้อง (ต่อ)

Water- low ambient temperature at 25˚c - 27˚c							
Time (min)	Evapolator (hour)	Frozen food (˚C)	Fresh food (˚C)	Room (˚C)	Electric power (W)	Pressure (outlet) (psig)	Pressure (inlet) (psig)
540	-13.8	-9.1	-0.4	25.0	0.00	120	5
550	-7.9	-4.1	2.0	25.0	79.67	160	0
560	-17.0	-10.2	-1.4	25.0	0.00	130	5
570	-5.9	-6.2	-0.3	25.0	0.00	70	20
580	-18.8	-13.4	-2.0	26.0	73.21	160	0
590	-3.9	-7.1	0.2	26.0	0.00	90	10
600	-3.5	-3.6	1.2	25.0	0.00	70	20
610	-16.9	-9.7	0.5	25.0	74.19	170	0
620	-5.7	-6.1	1.2	25.0	0.00	100	15
630	-18.0	-10.5	-1.4	25.0	70.16	170	0
640	-2.6	-2.8	1.6	26.0	0.00	80	20
650	-14.9	-8.1	-0.7	26.0	70.25	170	0
660	-15.9	-9.3	-0.8	26.0	68.78	170	0
670	-6.5	-6.4	0.3	26.0	0.00	100	10
680	-3.6	-2.9	1.9	27.0	0.00	40	20
690	-13.2	-9.9	0.3	27.0	69.86	160	0
700	-5.9	-5.7	1.5	27.0	0.00	90	10
710	-6.3	-2.9	1.9	27.0	0.00	40	20
720	-14.3	-9.7	-0.6	26.0	69.94	170	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 แสดงถึงค่าอุณหภูมิและค่ากำลังทางไฟฟ้าของตู้เย็นที่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะโดยใช้น้ำผสมกับโซเดียมคลอไรด์ 10 wt% ในสภาวะที่ไม่ควบคุมอุณหภูมิห้อง

NaCl10 wt% - high ambient temperature at 30˚c - 33˚c							
Time (min)	Evapolator (˚C)	Frozen food (˚C)	Fresh food (˚C)	Room (˚C)	Electric power (W)	Pressure (outlet) (psig)	Pressure (inlet) (psig)
0	31.8	29.9	32.8	32.0	69.41	140	0
10	11.6	18.9	26.0	33.0	78.05	180	0
20	3.9	12.1	21.6	33.0	76.31	190	0
30	-1.9	7.1	18.0	33.0	77.06	190	0
40	-4.3	4.9	15.3	33.0	74.81	190	0
50	-5.9	2.9	13.3	33.0	73.11	190	0
60	-4.6	3.4	14.5	33.0	73.17	190	0
70	-6.9	1.7	11.4	33.0	72.32	190	0
80	-7.3	0.6	10.1	32.0	71.36	190	0
90	-8.2	-0.5	9.3	32.0	71.15	185	0
100	-9.1	-1.0	8.3	31.0	70.56	180	0
110	-9.8	-2.6	7.3	31.0	69.68	180	0
120	-11.1	-4.4	6.3	32.0	68.13	180	0
130	-12.0	-4.2	5.3	32.0	67.27	175	0
140	-12.3	-5.2	5.2	33.0	67.96	170	0
150	-12.0	-5.0	4.4	33.0	66.94	170	0
160	-12.5	-5.8	4.4	33.0	67.01	170	0
170	-13.2	-5.9	3.0	33.0	66.42	170	0
180	-13.2	-6.2	3.1	33.0	66.85	170	0
190	-13.5	-6.0	2.4	33.0	65.65	165	0
200	-13.8	-6.1	2.0	33.0	65.20	160	0
210	-14.0	-6.7	1.9	33.0	65.76	165	0
220	-14.2	-6.9	1.7	33.0	65.68	160	0
230	-13.5	-7.9	1.6	32.0	65.61	170	0
240	-12.8	-5.2	3.3	32.0	0.00	90	20
250	-12.8	-5.9	2.5	31.0	67.14	170	0
260	-12.4	-8.5	1.3	31.0	0.00	130	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 แสดงถึงค่าอุณหภูมิและค่ากำลังทางไฟฟ้าของตู้เย็นที่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะโดยใช้น้ำผสมกับโซเดียมคลอไรด์ 10 wt% ในสภาวะที่ไม่ควบคุมอุณหภูมิห้อง (ต่อ)

NaCl10 wt% - high ambient temperature at 30˚c - 33˚c							
Time (min)	Evapolator (˚C)	Frozen food (˚C)	Fresh food (˚C)	Room (˚C)	Electric power (W)	Pressure (outlet) (psig)	Pressure (inlet) (psig)
270	-12.1	-6.0	2.4	31.0	67.35	170	0
280	-10.0	-7.0	1.4	31.0	0.00	120	10
290	-12.0	-8.9	2.0	32.0	69.39	170	0
300	-13.8	-8.5	1.0	32.0	0.00	130	5
310	-11.8	-7.4	2.9	32.0	68.77	170	0
320	-12.0	-7.0	1.3	32.0	0.00	130	10
330	-11.9	-7.2	2.0	33.0	68.66	170	0
340	-14.6	-9.0	1.4	33.0	0.00	140	5
350	-11.3	-7.4	2.8	32.0	69.32	170	0
360	-14.2	-9.0	1.3	33.0	0.00	150	0
370	-10.1	-6.4	3.2	33.0	71.49	170	0
380	-13.5	-8.2	1.6	33.0	0.00	160	0
390	-9.4	-4.3	3.2	33.0	71.65	170	0
400	-13.7	-8.1	1.6	32.0	0.00	130	5
410	-9.2	-6.8	3.6	32.0	72.79	180	0
420	-14.4	-9.9	1.2	32.0	0.00	140	5
430	-10.5	-7.7	2.9	31.0	71.72	180	0
440	-10.2	-8.9	1.4	32.0	0.00	130	5
450	-10.3	-7.3	2.6	32.0	72.13	175	0
460	-7.6	-5.2	1.6	33.0	0.00	110	15
470	-12.0	-6.1	2.2	33.0	69.58	170	0
480	-6.9	-3.8	1.8	33.0	0.00	110	15
490	-12.1	-6.0	2.4	31.0	67.35	170	0
500	-10.0	-7.0	1.4	31.0	0.00	120	10
510	-12.0	-8.9	2.0	32.0	69.39	170	0
520	-13.8	-8.5	1.0	32.0	0.00	130	5
530	-11.8	-7.4	2.9	32.0	68.77	170	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 แสดงถึงค่าอุณหภูมิและค่ากำลังทางไฟฟ้าของตู้เย็นที่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะโดยใช้น้ำผสมกับโซเดียมคลอไรด์ 10 wt% ในสภาวะที่ไม่ควบคุมอุณหภูมิห้อง (ต่อ)

NaCl10 wt% - high ambient temperature at 30˚c - 33˚c							
Time (min)	Evapolator (hour)	Frozen food (˚C)	Fresh food (˚C)	Room (˚C)	Electric power (W)	Pressure (outlet) (psig)	Pressure (inlet) (psig)
540	-12.0	-7.0	1.3	32.0	0.00	130	10
550	-11.9	-7.2	2.0	33.0	68.66	170	0
560	-14.6	-9.0	1.4	33.0	0.00	140	5
570	-11.3	-7.4	2.8	32.0	69.32	170	0
580	-14.2	-9.0	1.3	33.0	0.00	150	0
590	-10.1	-6.4	3.2	33.0	71.49	170	0
600	-13.5	-8.2	1.6	33.0	0.00	160	0
610	-9.4	-4.3	3.2	33.0	71.65	170	0
620	-13.7	-8.1	1.6	32.0	0.00	130	5
630	-9.2	-6.8	3.6	32.0	72.79	180	0
640	-14.4	-9.9	1.2	32.0	0.00	140	5
650	-10.5	-7.7	2.9	31.0	71.72	180	0
660	-10.2	-8.9	1.4	32.0	0.00	130	5
670	-10.3	-7.3	2.6	32.0	72.13	175	0
680	-7.6	-5.2	1.6	33.0	0.00	110	15
690	-12.0	-6.1	2.2	33.0	69.58	170	0
700	-6.9	-3.8	1.8	33.0	0.00	110	15
710	-12.1	-6.0	2.4	31.0	67.35	170	0
720	-10.0	-7.0	1.4	31.0	0.00	120	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.6 แสดงถึงค่าอุณหภูมิและค่ากำลังทางไฟฟ้าของตู้เย็นที่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะโดยใช้น้ำผสมกับโซเดียมคลอไรด์ 10 wt% ในสภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิห้อง

NaCl10 wt% - low ambient temperature at 20˚c - 25˚c							
Time (min)	Evapolator (˚C)	Frozen food (˚C)	Fresh food (˚C)	Room (˚C)	Electric power (W)	Pressure (outlet) (psig)	Pressure (inlet) (psig)
0	24.3	25.5	25.2	27.0	88.97	160	5
10	-5.9	8.3	18.2	26.0	97.85	210	0
20	-10.2	0.3	12.9	25.0	88.20	200	0
30	-11.3	-0.8	11.4	25.0	81.10	190	0
40	-14.7	-6.1	7.0	26.0	76.93	180	0
50	-14.5	-5.8	6.5	25.0	73.88	175	0
60	-16.2	-7.5	4.2	25.0	72.12	170	0
70	-18.1	-10.6	1.6	26.0	70.45	170	0
80	-17.5	-10.2	1.8	26.0	69.72	165	0
90	-19.3	-11.7	0.1	26.0	68.97	160	0
100	-18.6	-11.8	-0.2	26.0	67.84	160	0
110	-19.5	-12.5	-0.8	25.0	67.31	160	0
120	-19.6	-12.8	-0.2	26.0	66.21	160	0
130	-18.6	-11.4	0.1	25.0	65.37	160	0
140	-20.4	-12.6	-1.6	26.0	64.61	155	0
150	-19.1	-11.8	-1.0	26.0	64.73	150	0
160	-7.8	-7.9	0.3	25.0	0.00	90	15
170	-19.0	-10.8	-1.0	26.0	69.21	160	0
180	-12.5	-6.1	0.8	25.0	88.01	165	0
190	-11.1	-10.0	-1.6	25.0	0.00	100	5
200	-18.7	-10.2	-0.8	25.0	71.17	160	0
210	-4.0	-4.7	1.0	26.0	0.00	60	20
220	-14.9	-10.8	-1.6	26.0	0.00	110	5
230	-18.2	-9.2	-0.1	25.0	72.15	165	0
240	-4.6	-4.5	0.6	25.0	0.00	90	20
250	-7.5	-6.3	1.4	25.0	0.00	100	10
260	-17.9	-9.3	0.1	25.0	73.69	170	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.6 แสดงถึงค่าอุณหภูมิและค่ากำลังทางไฟฟ้าของตู้เย็นที่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะโดยใช้น้ำผสมกับโซเดียมคลอไรด์ 10 wt% ในสภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิห้อง (ต่อ)

NaCl10 wt% - low ambient temperature at 20˚c - 25˚c							
Time (min)	Evapolator (˚C)	Frozen food (˚C)	Fresh food (˚C)	Room (˚C)	Electric power (W)	Pressure (outlet) (psig)	Pressure (inlet) (psig)
270	-6.2	-6.1	1.3	25.0	0.00	90	10
280	-16.8	-7.3	1.2	26.0	75.50	170	0
290	-5.9	-5.0	1.7	25.0	0.00	90	10
300	-15.2	-9.4	0.2	25.0	0.00	110	5
310	-15.8	-7.7	1.0	25.0	77.64	170	0
320	-3.7	-3.3	2.0	25.0	0.00	55	20
330	-5.1	-5.3	1.4	25.0	0.00	90	10
340	-18.3	-9.7	-0.2	25.0	72.76	160	0
350	-13.7	-4.8	1.6	25.0	71.56	155	0
360	-4.5	-4.7	1.2	25.0	0.00	60	20
370	-10.1	-7.6	0.5	26.0	0.00	100	5
380	-16.5	-7.3	0.1	26.0	77.89	165	0
390	-3.4	-2.2	2.1	26.0	0.00	30	20
400	-6.4	-5.4	0.8	25.0	0.00	60	20
410	-17.8	-8.2	0.9	25.0	74.70	160	0
420	-14.4	-5.5	0.9	25.0	83.89	170	0
430	-3.1	-3.1	1.8	26.0	0.00	60	20
440	-12.2	-8.2	0.7	25.0	0.00	100	5
450	-15.9	-6.2	1.1	25.0	79.56	170	0
460	-3.9	-3.2	2.3	26.0	0.00	40	20
470	-7.8	-6.8	0.7	25.0	0.00	100	10
480	-16.5	-7.1	0.7	25.0	76.69	165	0
490	-1.5	-1.2	2.8	26.0	0.00	110	20
500	-5.0	-4.4	2.5	25.0	0.00	70	20
510	-17.1	-7.4	1.3	25.0	74.20	160	0
520	-2.5	-1.3	0.9	25.0	0.00	100	20
530	-5.2	-5.0	0.7	25.0	0.00	60	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.6 แสดงถึงค่าอุณหภูมิและค่ากำลังทางไฟฟ้าของตู้เย็นที่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะโดยใช้น้ำผสมกับโซเดียมคลอไรด์ 10 wt% ในสภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิห้อง (ต่อ)

NaCl10 wt% - low ambient temperature at 20˚c - 25˚c							
Time (min)	Evapolator (hour)	Frozen food (˚C)	Fresh food (˚C)	Room (˚C)	Electric power (W)	Pressure (outlet) (psig)	Pressure (inlet) (psig)
540	-17.8	-7.8	2.3	25.0	75.18	160	0
550	-3.4	-1.6	2.5	25.0	0.00	120	20
560	-6.9	-5.2	0.9	26.0	0.00	80	15
570	-16.9	-7.3	1.1	26.0	76.97	160	0
580	-4.0	-3.2	1.7	25.0	0.00	40	20
590	-16.5	-1.5	0.1	25.0	72.19	160	0
600	-3.6	-1.9	2.5	25.0	0.00	40	20
610	-5.4	-5.1	0.8	25.0	0.00	80	15
620	-17.6	-8.8	-0.9	25.0	74.32	160	0
630	-3.5	-2.2	2.2	25.0	0.00	40	20
640	-7.5	-5.5	1.2	25.0	0.00	80	15
650	-17.8	-8.0	0.6	25.0	73.95	160	0
660	-3.5	-2.1	2.4	25.0	0.00	50	20
670	-4.4	-4.3	1.4	25.0	0.00	80	20
680	-17.0	-8.5	0.1	25.0	0.00	100	5
690	-7.8	-1.9	2.0	25.0	0.00	40	20
700	-4.8	-3.7	1.4	25.0	0.00	60	20
710	-16.5	-8.9	0.3	25.0	72.83	165	0
720	-3.3	-1.4	2.3	25.0	0.00	60	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.7 แสดงถึงค่าอุณหภูมิและค่ากำลังทางไฟฟ้าของตู้เย็นที่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะโดยใช้น้ำผสมกับโซเดียมคลอไรด์ 50 wt% ในสภาวะที่ไม่ควบคุมอุณหภูมิห้อง

NaCl50 wt% - high ambient temperature at 30˚c - 33˚c							
Time (min)	Evapolator (˚C)	Frozen food (˚C)	Fresh food (˚C)	Room (˚C)	Electric power (W)	Pressure (outlet) (psig)	Pressure (inlet) (psig)
0	18.8	20.3	22.4	30.0	88.20	150	0
10	-10.0	7.2	13.7	30.0	91.20	210	0
20	-9.6	1.5	13.3	31.0	79.43	210	0
30	-13.3	-1.1	9.9	30.0	73.64	200	0
40	-11.3	-3.2	9.7	30.0	79.31	200	0
50	-15.6	-7.2	6.0	30.0	76.97	200	0
60	-14.4	-6.2	6.1	30.0	74.81	190	0
70	-16.7	-8.1	5.9	30.0	75.65	190	0
80	-16.3	-8.6	4.8	30.0	73.57	185	0
90	-16.5	-8.8	4.2	30.0	71.88	180	0
100	-18.6	-11.1	1.6	30.0	71.31	180	0
110	-10.1	-5.0	2.2	30.0	0.00	150	5
120	-14.6	-6.1	3.6	30.0	72.20	180	0
130	-6.0	-6.7	2.8	30.0	0.00	100	20
140	-11.0	-7.4	3.7	30.0	70.89	160	0
150	-1.7	-0.8	6.1	30.0	0.00	90	20
160	-14.8	-7.3	4.2	30.0	73.95	180	0
170	-14.5	-7.0	2.8	30.0	71.05	180	0
180	0.9	-1.5	4.7	30.0	0.00	80	20
190	-16.2	-7.2	2.3	30.0	76.52	185	0
200	0.2	-2.1	4.1	30.0	0.00	80	20
210	-14.5	-6.9	4.0	30.0	72.99	180	0
220	-2.8	-1.2	4.8	30.0	0.00	85	20
230	-15.9	-6.9	2.5	30.0	71.73	185	0
240	-10.3	-5.2	4.1	30.0	0.00	90	20
250	-14.6	-6.1	1.9	30.0	72.22	180	0
260	-2.9	-0.9	4.8	30.0	0.00	80	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.7 แสดงถึงค่าอุณหภูมิและค่ากำลังทางไฟฟ้าของตู้เย็นที่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะโดยใช้น้ำผสมกับโซเดียมคลอไรด์ 50 wt% ในสภาวะที่ไม่ควบคุมอุณหภูมิห้อง (ต่อ)

NaCl50 wt% - high ambient temperature at 30˚c - 33˚c							
Time (min)	Evapolator (˚C)	Frozen food (˚C)	Fresh food (˚C)	Room (˚C)	Electric power (W)	Pressure (outlet) (psig)	Pressure (inlet) (psig)
270	-1.2	-2.4	4.0	31.0	0.00	100	20
280	-14.5	-6.9	4.5	31.0	72.99	180	0
290	-4.7	-6.1	2.8	31.0	0.00	100	20
300	-3.2	-4.8	2.9	30.0	0.00	120	15
310	-14.6	-7.4	3.2	30.0	74.55	180	0
320	-6.8	-6.4	1.9	30.0	0.00	120	10
330	-8.5	-4.5	2.9	30.0	78.58	150	0
340	-4.9	-4.8	2.6	30.0	0.00	130	5
350	-15.4	-6.3	2.5	30.0	79.56	180	0
360	-5.9	-5.9	2.2	31.0	0.00	110	15
370	-10.9	-4.8	2.8	31.0	78.33	160	0
380	-6.8	-6.4	2.1	30.0	0.00	150	5
390	-16.1	-7.9	1.0	30.0	75.75	180	0
400	-9.8	-7.8	1.6	30.0	0.00	130	5
410	-11.3	-4.5	3.3	30.0	71.43	180	0
420	-7.1	-6.6	2.2	30.0	0.00	120	10
430	-1.0	-3.1	3.7	30.0	0.00	80	20
440	-3.9	-5.5	2.2	30.0	0.00	130	5
450	-15.0	-9.2	0.5	30.0	0.00	150	5
460	-16.5	-7.2	2.0	31.0	76.48	190	0
470	-10.3	-4.1	2.8	30.0	73.28	180	0
480	-3.0	-3.1	2.1	30.0	0.00	120	10
490	-0.8	-2.2	3.2	30.0	0.00	90	20
500	-6.8	-6.2	1.5	30.0	0.00	120	15
510	-13.9	-9.0	1.0	30.0	73.93	170	0
520	-5.1	-3.3	2.9	30.0	0.00	90	20
530	-17.4	-8.2	1.0	31.0	76.41	180	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.7 แสดงถึงค่าอุณหภูมิและค่ากำลังทางไฟฟ้าของตู้เย็นที่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะโดยใช้น้ำผสมกับโซเดียมคลอไรด์ 50 wt% ในสภาวะที่ไม่ควบคุมอุณหภูมิห้อง (ต่อ)

NaCl50 wt% - high ambient temperature at 30˚c - 33˚c							
Time (min)	Evapolator (hour)	Frozen food (˚C)	Fresh food (˚C)	Room (˚C)	Electric power (W)	Pressure (outlet) (psig)	Pressure (inlet) (psig)
540	-4.3	-3.5	3.0	30.0	0.00	80	20
550	-11.5	-4.3	3.2	30.0	72.23	180	0
560	-2.5	-3.5	2.9	30.0	0.00	60	20
570	-3.3	-3.5	2.0	30.0	0.00	100	20
580	-16.5	-8.0	-2.2	31.0	73.21	170	0
590	-10.8	-7.7	-0.2	31.0	0.00	110	15
600	-14.3	-5.4	2.3	31.0	72.46	180	0
610	-2.4	-2.3	2.8	30.0	0.00	80	20
620	-2.7	-3.6	3.2	30.0	0.00	100	20
630	-17.5	-9.5	-3.5	30.0	73.21	170	0
640	-13.3	-8.2	1.0	30.0	0.00	130	5
650	-3.1	-4.7	2.2	30.0	0.00	100	20
660	-17.0	-7.2	1.5	30.0	76.54	180	0
670	-2.4	-2.3	2.8	30.0	0.00	80	20
680	-11.5	-3.6	3.1	30.0	72.65	180	0
690	-5.0	-5.5	1.5	30.0	0.00	100	20
700	-13.7	-7.5	1.6	30.0	73.64	180	0
710	-15.4	-4.8	2.1	30.0	79.53	180	0
720	-3.1	-1.7	3.8	30.0	0.00	80	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.8 แสดงถึงค่าอุณหภูมิและค่ากำลังทางไฟฟ้าของตู้เย็นที่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะโดยใช้น้ำผสมกับโซเดียมคลอไรด์ 50 wt% ในสภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิห้อง

NaCl50 wt% - low ambient temperature at 20˚c - 25˚c							
Time (min)	Evapolator (˚C)	Frozen food (˚C)	Fresh food (˚C)	Room (˚C)	Electric power (W)	Pressure (outlet) (psig)	Pressure (inlet) (psig)
0	24.0	23.8	25.8	25.0	84.95	140	0
10	-4.4	13.3	21.1	25.0	90.62	190	0
20	-8.7	1.9	13.7	25.0	88.17	190	0
30	-10.8	1.6	12.6	25.0	82.17	180	0
40	-14.4	-6.0	5.5	25.0	79.20	180	0
50	-11.8	-3.1	7.7	26.0	76.00	180	0
60	-16.1	-7.2	4.5	26.0	73.98	175	0
70	-13.3	-6.1	5.1	25.0	72.11	170	0
80	-18.0	-9.8	1.9	26.0	70.59	160	0
90	-7.5	-6.6	3.8	26.0	0.00	120	5
100	-16.8	-9.4	1.7	25.0	71.82	170	0
110	-13.7	-6.1	3.4	25.0	79.24	170	0
120	-3.4	-4.3	3.0	25.0	0.00	80	20
130	-1.3	-2.4	4.3	25.0	0.00	80	20
140	-6.4	-8.4	1.9	25.0	72.52	160	0
150	-3.5	-3.1	2.0	26.0	0.00	120	10
160	-9.6	-7.2	1.8	26.0	0.00	100	10
170	-17.8	-8.9	1.8	26.0	72.80	160	0
180	-10.5	-7.4	1.8	25.0	0.00	120	5
190	-8.5	-6.2	0.2	25.0	0.00	100	5
200	-18.1	-4.5	1.3	25.0	72.44	160	0
210	-16.8	-8.2	-7.2	25.0	75.88	170	0
220	-4.1	-3.3	0.1	25.0	0.00	80	20
230	-10.0	-4.5	3.0	26.0	78.21	160	0
240	-3.6	-3.2	2.4	26.0	0.00	140	10
250	-2.5	-3.4	2.4	26.0	0.00	90	20
260	-4.9	-4.8	1.6	26.0	0.00	60	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.8 แสดงถึงค่าอุณหภูมิและค่ากำลังทางไฟฟ้าของตู้เย็นที่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะโดยใช้น้ำผสมกับโซเดียมคลอไรด์ 50 wt% ในสภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิห้อง (ต่อ)

NaCl50 wt% - low ambient temperature at 20˚c - 25˚c							
Time (min)	Evapolator (˚C)	Frozen food (˚C)	Fresh food (˚C)	Room (˚C)	Electric power (W)	Pressure (outlet) (psig)	Pressure (inlet) (psig)
270	-5.4	-5.5	2.0	26.0	0.00	100	15
280	-2.7	-2.7	2.2	26.0	0.00	50	20
290	-15.2	-6.4	1.4	26.0	70.71	170	0
300	-3.0	-2.3	2.6	26.0	0.00	60	20
310	-1.4	-2.0	3.1	27.0	0.00	60	20
320	-8.5	-6.2	0.6	27.0	0.00	110	5
330	-15.1	-4.9	7.2	26.0	74.84	170	0
340	-5.6	-1.4	3.5	26.0	0.00	120	20
350	-2.1	-1.0	2.5	26.0	0.00	100	25
360	-2.3	-2.4	3.2	27.0	0.00	90	10
370	-9.2	-5.8	2.4	27.0	0.00	130	0
380	-15.6	-5.5	2.0	27.0	72.56	170	0
390	-2.9	-2.2	2.9	26.0	0.00	40	20
400	-3.2	-3.2	2.3	26.0	0.00	90	15
410	-12.3	-6.6	1.0	26.0	73.34	160	0
420	-11.5	-3.0	2.5	25.0	71.11	160	0
430	-3.0	-2.3	1.4	25.0	0.00	120	10
440	-2.3	-2.2	2.7	25.0	0.00	70	20
450	-15.6	-5.5	2.5	25.0	75.35	160	0
460	-5.2	-3.7	2.5	25.0	0.00	100	10
470	-15.8	-5.2	2.1	25.0	76.56	160	0
480	-8.5	-6.2	0.6	25.0	0.00	110	5
490	-1.3	-0.3	3.5	25.0	0.00	40	20
500	-15.6	-5.5	2.9	26.0	75.55	160	0
510	-6.2	-5.1	1.3	25.0	0.00	90	10
520	-3.8	-3.7	1.8	25.0	0.00	80	20
530	-16.0	-6.3	0.9	25.0	72.26	160	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.8 แสดงถึงค่าอุณหภูมิและค่ากำลังทางไฟฟ้าของตู้เย็นที่ติดตั้งวัสดุเปลี่ยนสถานะโดยใช้น้ำผสมกับโซเดียมคลอไรด์ 50 wt% ในสภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิห้อง (ต่อ)

NaCl50 wt% - low ambient temperature at 20˚c - 25˚c							
Time (min)	Evapolator (hour)	Frozen food (˚C)	Fresh food (˚C)	Room (˚C)	Electric power (W)	Pressure (outlet) (psig)	Pressure (inlet) (psig)
540	-3.0	-3.2	2.4	25.0	0.00	60	20
550	-2.3	-1.7	2.4	25.0	0.00	50	20
560	-16.6	-6.7	3.0	26.0	74.84	170	0
570	-3.9	-4.0	1.6	25.0	0.00	80	15
580	-2.5	-2.6	2.3	25.0	0.00	60	20
590	-15.8	-6.2	1.6	25.0	77.05	160	0
600	-2.8	-2.7	1.9	25.0	0.00	50	20
610	-6.9	-6.9	0.1	25.0	0.00	80	15
620	-14.8	-4.4	1.2	25.0	75.34	160	0
630	-2.8	-2.8	2.2	25.0	0.00	60	20
640	-6.9	-4.9	1.9	25.0	0.00	110	5
650	-3.8	-0.9	3.0	25.0	0.00	60	20
660	-14.3	-4.0	1.9	25.0	72.02	150	0
670	-6.9	-5.5	1.1	25.0	0.00	110	10
680	-3.1	-3.3	2.0	25.0	0.00	70	20
690	-13.1	-7.5	0.8	25.0	73.41	150	0
700	-5.7	-1.9	3.2	25.0	0.00	120	5
710	-2.5	-2.3	2.8	25.0	0.00	70	20
720	-14.1	-7.1	0.9	25.0	75.55	160	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – สกุล	นายวุฒิชัย ยอดสุรางค์
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 19 ธันวาคม พ.ศ. 2543
ภูมิลำเนา	จังหวัดนครศรีธรรมราช
ที่อยู่	58/2 หมู่ 2 ตำบลควนชุม อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจาก โรงเรียนเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระศรีนครินทร์ นครศรีธรรมราช
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2565 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ผลงานและกิจกรรม

- ผ่านการฝึกงานในส่วนวิศวกรรมจาก โรงงานมักกะสัน การรถไฟแห่งประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – สกุล	นายพิพัฒพงษ์ เมืองพรหม
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 23 ธันวาคม พ.ศ. 2543
ภูมิลำเนา	จังหวัดกระบี่
ที่อยู่	167 หมู่ 3 ตำบลห้วยยูง อำเภอเหนือคลอง จังหวัดกระบี่ 81130

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจาก โรงเรียนเหนือคลองประชาบำรุง
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2565 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ผลงานและกิจกรรม

- ผ่านการฝึกงานในส่วนวิศวกรรมจาก บริษัท ปาล์มพันล้าน จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – สกุล	นางสาสกมลวรรณ บุปผา
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 31 กรกฎาคม พ.ศ. 2543
ภูมิลำเนา	จังหวัดสุราษฎ์ธานี
ที่อยู่	251 หมู่ 1 ตำบลท่าขนอม อำเภอคีรีรัฐนิคม จังหวัดสุราษฎ์ธานี

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจาก โรงเรียนสตรีระนอง
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2565 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ผลงานและกิจกรรม

- ผ่านการฝึกงานในส่วนวิศวกรรมจาก สถาบันการบินในสังกัด บริษัท เอเชีย เอวิเอชั่น แอนด์ เทคโนโลยี จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้