

การออกแบบ และจำลองระบบทำความเย็นแบบอัดไอโดยใช้สารทำงาน R-12

DESIGN AND SIMULATION OF VAPOR COMPRESSION REFRIGERATING SYSTEM USING R-12



นางสาวรัชฎา

น่วมปฐม

นางสาวศิริวรรณ

สิทธิธรรม

นายอดิศักดิ์

ล้วนวิเศษ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

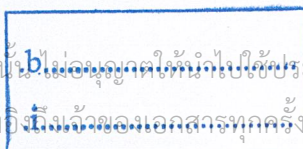
เลขหมู่.....

โดยทะเบียน.....49838

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการอ้างอิงในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ตั้งแต่ปี 2545 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉบับเดือน.....ปี.....2547



การออกแบบ และจำลองระบบทำความเย็นแบบอัดไอโดยใช้สารทำงาน R-12

DESIGN AND SIMULATION OF VAPOR COMPRESSION REFRIGERATING SYSTEM USING R-12



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบ และจำลองระบบทำความเย็นแบบอัดไอโดยใช้สารทำงาน R-12

DESIGN AND SIMULATION OF VAPOR COMPRESSION REFRIGERATING SYSTEM USING R-12



อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์เกียรติศักดิ์ รุ่งพระแสง

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

อาจารย์เอกสิทธิ์ ศรีธรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2545

ภาควิชา วิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การออกแบบ และจำลองระบบทำความเย็นแบบอัดไอโดยใช้สารทำงาน R-12

ผู้จัดทำ

- 
1. นางสาวรัชฎา น่วมปฐม
  2. นางสาวศิริวรรณ สิริธรรม
  3. นายอดิศักดิ์ ส้วนวิเศษ

..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(อาจารย์เกียรติศักดิ์ รุ่งพระแสง)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(อาจารย์เอกสิทธิ์ ศรีธรรม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบ และจำลองระบบทำความเย็นแบบอัดไอโดยใช้สารทำงาน R-12

นางสาวรัชฎา	น่วมปฐม
นางสาวศิริวรรณ	สิทธิธรรม
นายอดิศักดิ์	ล้วนวิเศษ

อาจารย์เกียรติศักดิ์ รุ่งพระแสง  
อาจารย์เอกสิทธิ์ ศรีธรรม  
ปีการศึกษา 2545

อาจารย์ที่ปรึกษา  
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการออกแบบ และสร้างชุดทดลองระบบทำความเย็นแบบอัดไอโดยใช้สารทำงาน R-12 กับห้องทำความเย็นขนาด  $1.62 \text{ m}^3$  ซึ่งถูกหุ้มด้วยฉนวนใยแก้ว และแผ่นเหล็ก ไร้สนิม ระบบทำความเย็น ประกอบด้วยชุดทำความเย็นแบบอัดไออย่างง่ายจำนวน 3 ชุด เรียงต่อกันแบบอนุกรม การทดลองแบ่งเป็น 2 แบบ คือ หมุนเวียนลมกลับมาใช้ และ ไม่หมุนเวียนลมกลับมาใช้ ในแต่ละแบบมีการปรับเปลี่ยนความเร็วรอบการทำงานพัดลมที่ 250, 500, 700 และ 862 rpm โดยแต่ละระดับความเร็วรอบใช้ชุดทำความเย็นจำนวน 1, 2 และ 3 ชุด ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า ชุดทดลองสามารถทำความเย็นที่จุดกึ่งกลางห้องเย็น ได้อุณหภูมิต่ำสุด  $-10.2^\circ\text{C}$  โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะ(COP) เป็น 2.684 ที่การทดลองความเร็วรอบพัดลม 250 rpm กับชุดทำความเย็นจำนวน 3 ชุด ในแบบไหลเวียนลมกลับ คิดเป็นพลังงานความร้อนถ่ายเทที่ไอแวนโพเรเตอร์ทั้งหมด 0.3402 kW ในส่วนของการทดลองแบบไม่หมุนเวียนลมกลับมาใช้งาน พบว่าชุดทดลองสามารถทำอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศได้สูงสุด  $0.04527 \text{ kg/s}$  ที่ความเร็วรอบ 862 rpm ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะสูงสุดที่ชุดทดลองทำได้คือ 4.04 และมีภาระการทำความเย็นสูงสุดเท่ากับ 0.349 kW

คำสำคัญ : สารทำความเย็น R-12 / การทำความเย็น / ห้องเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Design and Simulation of Vapor Compression Refrigerating System Using R-12

Miss Ratchanu Nounpathom

Miss Siriwan Sittitham

Mr. Adisak Luanwiset

Mr. Kiattisak Roonprasang

Advisor

Mr. Eakasit Sritham

Co-advisor

2002

### Abstract

This project was emphasized on the design and construction of a laboratory-scale vapor compression refrigerating system. The 1.62 m<sup>3</sup> cooling space was insulated with fiberglass and cover with stainless steel sheet. The refrigerating part consisted of 3 units of R-12 refrigerator. Air circulation was powered by a 1 hp centrifugal fan that controlled by an inverter. There were two main configurations of system in the experiments, with and without air recirculation. Fan speeds were adjusted to be 250, 500, 700 and 862 rpm. In each level of fan speeds, The experiments were carried out with different numbers of refrigerating unit ranging from 1 to 3. It was found that the minimum temperature at the center point of the cooling space was -10.2 °C with the COP value of 2.684. This result was obtained from following settings : 250 rpm fan speed, 3 refrigerating units and air circulation. With non-circulated air, the maximum COP and maximum heat load were found to be 4.04 and 0.349 kW, respectively.

**Keyword** : Refrigerant R-12 / Refrigeration / Cooling room

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จขึ้นมาได้ด้วยความอนุเคราะห์จากหลาย ๆ ท่านดังนี้  
 อาจารย์เกียรติศักดิ์ รุ่งพระแสง ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ สำหรับคำแนะนำ คำ  
 ปรึกษาทางด้านทฤษฎี และการปฏิบัติ รวมถึงความสะดวกในการจัดทำโครงการทั้งใน และนอก  
 เวลาราชการ

อ.เอกสิทธิ์ ศรีธรรม สำหรับความห่วงใยที่ถามถึงความคืบหน้าของโครงการอยู่เสมอ

อ.เจษฎา ชัยโหม ให้คำแนะนำ และช่วยเหลืองานวิจัย

คุณอำนาจ คุณตะคุ สำหรับความช่วยเหลือทางการปฏิบัติ เทคนิค และวิธีการต่าง ๆ ทาง  
 ด้านช่าง

คุณบุญนำ ผลโพธิ์ สำหรับความช่วยเหลือในการทำหนังสือขออนุญาตใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ

คุณพ่อ และคุณแม่ ของผู้จัดทำโครงการทุกท่าน สำหรับโอกาสในการศึกษาเล่าเรียน ความ  
 ห่วงใย กำลังทรัพย์ และกำลังใจในการศึกษาเล่าเรียนด้วยดีเสมอมา และตลอดไป

เพื่อน ๆ ทุกท่านที่ช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจ

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูปภาพ	ฉ
รายการสัญลักษณ์	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขต	3
บทที่ 2 ตรวจสอบเอกสาร	
2.1 สารทำความเย็น	4
2.2 อากาศ	4
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
บทที่ 3 ทฤษฎี และหลักการ	
3.1 ระบบทำความเย็นชนิดอัดไอ	7
3.2 การวิเคราะห์วัฏจักรการทำความเย็นชนิดอัดไอ	9
3.3 ความสามารถของระบบ	10
3.4 ภาระการทำความเย็นจากอากาศถ่ายเท	11
3.5 การคำนวณหาตัวประกอบของความร้อนที่ผ่านผนังเข้ามา	11
3.6 การคำนวณอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ	12
3.7 ส่วนประกอบของระบบการทำความเย็น	13
บทที่ 4 การคำนวณ และการออกแบบ	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับคณาจารย์และบุคลากรของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
4.2 การออกแบบห้องเย็น	22
4.3 การออกแบบส่วนการทำความเย็น	23
4.4 เครื่องมือวัด	24
4.5 การคำนวณความร้อนที่ผ่านผนังเข้ามา	24
4.6 ภาระการทำความเย็นสูงสุดของระบบ	27
บทที่ 5 การวางแผน และวิธีการทดลอง	
การทดลองแบบจำลองระบบการทำความเย็น	33
บทที่ 6 ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผลการทดลอง	
6.1 ผลการทดลองแบบมีการไหลเวียนลม	34
6.2 ความสามารถในการทำความเย็นของระบบ	38
บทที่ 7 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ	41
เอกสารอ้างอิง	42
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	44
ภาคผนวก ข	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 3.1 แผนผังของระบบทำความเย็นแบบอัดไออย่างง่าย	8
รูปที่ 3.2 แผนภาพ T-s ของระบบทำความเย็นแบบอัดไออย่างง่าย	8
รูปที่ 3.3 แผนภาพ P-h ของระบบทำความเย็นแบบอัดไออย่างง่าย	9
รูปที่ 4.1 ชุดจำลองระบบทำความเย็น	22
รูปที่ 4.2 แผนผังของระบบทำความเย็นแบบอัดไอ	23
รูปที่ 4.3 ชุดทดลองระบบทำความเย็น	28
รูปที่ 4.4 ชุดทำความเย็นแบบอัดไออย่างง่าย	29
รูปที่ 4.5 อีเวปโพเรเตอร์ 3 ตัวเรียงต่อกัน	30
รูปที่ 4.6 เครื่องดาตาลีอกเกอร์	31
รูปที่ 4.7 ชุดพัดลมหอยโข่ง และสวิตช์ ปัด-เปิด ชุดทำความเย็น 3 ชุด	32
รูปที่ 6.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่กึ่งกลางห้องเย็นกับเวลาจากการทดลองแบบหมุนเวียนลมกลับ โดยใช้ชุดทำความเย็น 1 ชุด ที่ความเร็วรอบพัดลม 4 ระดับ	34
รูปที่ 6.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่กึ่งกลางห้องเย็นกับเวลาจากการทดลองแบบหมุนเวียนลมกลับ โดยใช้ชุดทำความเย็น 2 ชุด ที่ความเร็วรอบพัดลม 4 ระดับ	35
รูปที่ 6.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่กึ่งกลางห้องเย็นกับเวลาจากการทดลองแบบหมุนเวียนลมกลับ โดยใช้ชุดทำความเย็น 3 ชุด ที่ความเร็วรอบพัดลม 4 ระดับ	35
รูปที่ 6.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่กึ่งกลางห้องเย็นกับเวลาจากการทดลองแบบหมุนเวียนลมกลับ และความเร็วรอบพัดลม 250 rpm เมื่อจำนวนชุดทำความเย็นต่างกัน	36
รูปที่ 6.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่กึ่งกลางห้องเย็นกับเวลาจากการทดลองแบบหมุนเวียนลมกลับ และความเร็วรอบพัดลม 500 rpm เมื่อจำนวนชุดทำความเย็นต่างกัน	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
รูปที่ 6.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่กึ่งกลางห้องเย็นกับเวลา จากการทดลองแบบหมุนเวียนลมกลับ และความเร็วรอบพัดลม 700 rpm เมื่อจำนวนชุดทำความเย็นต่างกัน	37
รูปที่ 6.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่กึ่งกลางห้องเย็นกับเวลา จากการทดลองแบบหมุนเวียนลมกลับ และความเร็วรอบพัดลม 862 rpm เมื่อจำนวนชุดทำความเย็นต่างกัน	38
รูปที่ 6.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ กับรอบการทำงาน	38
รูปที่ 6.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศเชิงมวล กับค่าภาระการทำความเย็น	39
รูปที่ 6.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ กับค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะ (COP)	40



### รายการสัญลักษณ์

A	=	พื้นที่ผิวภายนอกของผนัง ( $m^2$ )
C	=	ความร้อนจำเพาะของผลิตภัณฑ์เหนือจุดเยือกแข็ง ( $kJ/kg K$ )
COP	=	ค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะ
$C_{p,air}$	=	ค่าความจุความร้อนของอากาศ ( $kJ/kg.K$ )
$E_{in}$	=	พลังงานเข้า (kW)
$E_{out}$	=	พลังงานออก (kW)
Q	=	อัตราการถ่ายเทความร้อน (W)
$Q_{air}$	=	พลังงานความร้อนที่อากาศคายออก (kW)
$Q_{ev}$	=	ความสามารถในการทำความเย็น ( $kJ/s, kW$ )
$T_{sur}$	=	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ( $^{\circ}C$ )
T1	=	อุณหภูมิทางเข้าของชุดพัดลมหยอชิง ( $^{\circ}C$ )
T2	=	อุณหภูมิที่ไอแวนไพเรเตอร์ตัวที่ 1 ( $^{\circ}C$ )
T3	=	อุณหภูมิก่อนเข้าไอแวนไพเรเตอร์ตัวที่ 2 ( $^{\circ}C$ )
T4	=	อุณหภูมิที่ไอแวนไพเรเตอร์ตัวที่ 2 ( $^{\circ}C$ )
T5	=	อุณหภูมิก่อนเข้าไอแวนไพเรเตอร์ตัวที่ 3 ( $^{\circ}C$ )
T6	=	อุณหภูมิที่ไอแวนไพเรเตอร์ตัวที่ 3 ( $^{\circ}C$ )
T7	=	อุณหภูมิก่อนเข้าห้องทำความเย็น ( $^{\circ}C$ )
T8	=	อุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางห้องทำความเย็น ( $^{\circ}C$ )
T9	=	อุณหภูมิที่คอนเดนเซอร์ตัวที่ 1 ( $^{\circ}C$ )
T10	=	อุณหภูมิที่คอนเดนเซอร์ตัวที่ 2 ( $^{\circ}C$ )
T11	=	อุณหภูมิที่คอนเดนเซอร์ตัวที่ 3 ( $^{\circ}C$ )
T12	=	อุณหภูมิทางออกจากห้องทำความเย็น ( $^{\circ}C$ )
$\Delta T$	=	ความแตกต่างของอุณหภูมิ (K, $^{\circ}C$ )
U	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ( $W/m^2K$ )
$W_c$	=	งานที่ให้แก่อุปกรณ์ ( $kJ/kg$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$h$	=	เอนทาลปี (kJ/kg)
$h_i$	=	เอนทาลปีของอากาศภายใน (kJ/kg)
$h_o$	=	เอนทาลปีของอากาศภายนอก (kJ/kg)
$h_1$	=	เอนทาลปีของสารทำความเย็นก่อนที่จะเข้าไปในเครื่องอัด (kJ/kg)
$h_2$	=	เอนทาลปีของสารทำความเย็นที่ออกจากเครื่องอัด (kJ/kg)
$h_3$	=	เอนทาลปีของสารทำความเย็นที่ออกจากเครื่องควบแน่น (kJ/kg)
$h_4$	=	เอนทาลปีของไอสารทำความเย็นก่อนที่จะเข้าไปในอีแวปโปเรเตอร์ (kJ/kg)
$\dot{m}$	=	อัตราการไหลโดยมวล (kg/s)
$\dot{m}_{air}$	=	อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ (kg/s)
$\dot{m}_r$	=	อัตราการไหลเชิงมวลของสารทำงาน (kg/s)
$q$	=	ปริมาณความร้อน (kJ/kg)
$q_e$	=	ค่าการทำความเย็น (kJ/kg)
$2q_3$	=	ความร้อนที่ไอของสารทำความเย็นคายให้กับตัวกลางหล่อเย็นในเครื่องควบแน่น (kJ/kg)
$4q_1$	=	ความร้อนที่สารทำความเย็นดูดเอาไว้ในอีแวปโปเรเตอร์ (kJ/kg)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหา

การทำความเย็นได้เริ่มขึ้นเมื่อ 1000 ปี ก่อนคริสต์ศักราช ซึ่งเป็นการเก็บรักษาน้ำแข็งไว้ในห้อง โดยการเอาหิมะมาอัดให้แน่น และหุ้มด้วยฉนวนที่ทำจากหญ้า ดิน และมูลสัตว์ การทำเครื่องดื่มให้เย็นโดยการเอาไปแช่ไว้ในหิมะ การทำน้ำแข็งโดยการใช้น้ำใส่ภาชนะ แล้วนำไปวางไว้กลางแจ้งในที่ที่มีอากาศเย็น หลังจากนั้นอุตสาหกรรมของการทำความเย็นก็ได้เกิดขึ้น เป็นการบรรทุกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติเพื่อส่งขายจนมีการจัดตั้งอุตสาหกรรมผลิตน้ำแข็งขึ้น เครื่องทำความเย็นที่ได้จดทะเบียนและมีการประดิษฐ์ขึ้นเป็นครั้งแรก เป็นเครื่องทำความเย็นชนิดอัดไอแบบมือโยก ใช้น้ำหล่อเย็นที่เครื่องควบแน่นควบคุมการไหลของสารทำความเย็นด้วยลิ้นแบบถ่วงน้ำหนัก และใช้ไอเทอร์เป็นสารทำความเย็น จากนั้นได้มีการพัฒนาเครื่องอัดที่มีต้นกำลังเป็นเครื่องจักรไอน้ำ ขับเครื่องชนิดดีเซล และมอเตอร์ไฟฟ้า ในปัจจุบัน

การทำความเย็นและการปรับอากาศได้ขยายออกไปอย่างกว้างขวาง ในสมัยก่อนการทำ ความเย็นก็คืออุตสาหกรรมการผลิตน้ำแข็ง แต่ในปัจจุบันการทำความเย็นอาจแบ่งออกเป็น 4 ประเภทคือ

1. การผลิต การเก็บ และการจำหน่ายอาหาร
2. อุตสาหกรรมเคมี และกระบวนการ
3. การใช้งานโดยเฉพาะ
4. การปรับอากาศ

อุตสาหกรรมอาหารได้นำระบบทำความเย็นมาใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหาร และถนอมอาหารอย่างแพร่หลาย เนื่องจากความเย็นสามารถชะลอการทำลายอาหาร โดยจุลินทรีย์และชะลอการเปลี่ยนแปลงของอาหารทั้งทางเคมี ทางกายภาพ และการเปลี่ยนแปลงโดยเอนไซม์ การนำความเย็นมาถนอมและแปรรูปอาหารมี 2 ลักษณะ คือ การแช่เย็น (Cold Storage) และการแช่แข็ง (Frozen Storage) ซึ่งมีการพัฒนากระบวนการ และเครื่องทำความเย็นจนทำให้สามารถผลิตผลิตภัณฑ์อาหารแช่เย็น และอาหารแช่แข็งได้มากมายหลายชนิด และยังสามารถนำมาใช้ในการเก็บรักษาวัตถุดิบเพื่อให้มีคุณภาพดี และเก็บได้นานขึ้นเหมาะสำหรับการแปรรูปในอุตสาหกรรมอาหาร การแช่เย็น และการแช่แข็ง เป็นกระบวนการ ดึงเอาความร้อนออกจากอาหาร โดยอาศัยเครื่องทำความเย็น ซึ่งมีกลไกระบบทำความเย็นเหมือนกัน ต่างกันที่ระดับอุณหภูมิของอาหาร ซึ่งแบ่งเป็น 3 ช่วง โดยช่วงอุณหภูมิ 7°C - 15°C เป็นการทำความเย็น (cooling) ช่วงอุณหภูมิ 4°C - 7°C เป็นช่วงของการปรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น หากท่านมีข้อสงสัยประการใด กรุณาติดต่อฝ่ายบริการลูกค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อากาศ (Air condition) และช่วงอุณหภูมิตั้งที่  $-30^{\circ}\text{C}$  –  $-4^{\circ}\text{C}$  เป็นช่วงของการทำเยือกแข็ง (Freezing) ในกระบวนการแช่เย็นใช้เครื่องทำความเย็น ทำให้อาหารมีอุณหภูมิเหนือจุดเยือกแข็งเล็กน้อย คือที่อุณหภูมิ  $5-10^{\circ}\text{C}$  แต่ในกระบวนการแช่แข็งจะใช้เครื่องทำความเย็น ทำให้อุณหภูมิของอาหารลดลงมาถึง  $-18^{\circ}\text{C}$

ในประเทศไทยเริ่มมีโรงงานการแช่เยือกแข็งขนาดใหญ่ที่ประกอบกิจการในระดับส่งไปจำหน่ายต่างประเทศ ตั้งแต่ พ.ศ.2508 โดยเน้นวัตถุดิบประเภทอาหารทะเล ในราวปี พ.ศ.2516 จึงเริ่มมีโรงงานแช่เยือกแข็งเนื้อไก่ทั้งตัว และคัตเป็นชิ้นส่วนต่าง ๆ ส่งไปจำหน่ายยังต่างประเทศเช่นกัน โดยเริ่มจากปริมาณเพียง 135 เมตริกตัน มีมูลค่าเพียง 5 ล้านบาท และจัดเป็นสินค้าที่มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็วมีอัตราการเพิ่มผลผลิตขึ้น โดยตลอด และในปี พ.ศ.2532 มีการส่งออกถึง 1 แสนเมตริกตัน มูลค่า 5,200 ล้านบาท นอกจากอาหารแช่แข็งประเภทเนื้อสัตว์และอาหารทะเลแล้ว ในราวปีพ.ศ.2528 เริ่มมีการแช่เยือกแข็งผักและผลไม้ส่งจำหน่ายไปยังต่างประเทศอีกด้วย และเป็นสินค้าแช่เยือกแข็งที่มีแนวโน้มในการขยายอัตราการส่งออกเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน และเนื่องมาจากการที่ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีผลผลิตทางการเกษตรที่มีคุณภาพสูงในปริมาณที่มาก และในปัจจุบันประเทศอยู่ระหว่างการพัฒนาให้เป็นประเทศที่มีอุตสาหกรรมชั้นนำ โรงงานอุตสาหกรรมจำนวนมากในประเทศจึงเป็นโรงงานแปรรูปอาหาร ซึ่งนับเป็นจุดเด่น และจุดแข็ง ของการขยายระบบอุตสาหกรรมในประเทศไทย

ในการทำให้อุณหภูมิลดลงจากปกติให้ลงมาถึงอุณหภูมิต้องการนั้น อาจใช้ระบบทำความเย็น ได้หลายแบบเช่น ระบบทำความเย็นชนิดอัดไอ ระบบทำความเย็นแบบดูดละลาย ระบบทำความเย็นด้วยอากาศ และระบบทำความเย็นแบบพ่นไอน้ำ เป็นต้น ในปัจจุบันมีการใช้ระบบทำความเย็นแบบอัดไอน้ำอย่างแพร่หลายมาก และมีแนวโน้มว่าจะมีปริมาณมากขึ้นทุกปี ในขณะที่การศึกษาเพื่อเผยแพร่ความรู้เกี่ยวกับการทำงานของกระบวนการต่าง ๆ ยังคลุมเครืออยู่ การทำความเย็นเป็นการประยุกต์อย่างหนึ่งทางเทอร์โมไดนามิกส์ เครื่องจักรอุณหพลศาสตร์ในด้านระบบทำความเย็นมีรายละเอียดค่อนข้างมาก การนำระบบทำความเย็นไปใช้งาน จึงต้องมีความรู้พื้นฐานในหลาย ๆ ด้านของวิศวกรรม เช่น ในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับสารทำความเย็นก็จะต้องรู้ถึงสมบัติทางเคมีเพื่อรู้ปฏิกิริยาของสารทำความเย็นต่อส่วนประกอบต่าง ๆ และยังต้องรู้ถึงคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของสารทำความเย็นด้วย จึงจะสามารถวิเคราะห์วัฏจักรได้ ในเรื่องของการแลกเปลี่ยนความร้อน เช่น เครื่องควบแน่นหรืออีแวโปเรเตอร์ก็จะต้องใช้ความรู้ทางการถ่ายเทความร้อน และกลศาสตร์ของไหล การออกแบบอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น เครื่องวัดกังหัน ที่เก็บสารทำความเย็น ที่จะต้องใช้ความรู้ทางการออกแบบเครื่องกล เป็นต้น ซึ่งในการออกแบบตามทฤษฎี หรือการออกแบบทางจินตนาการไม่ได้คือการสูญเสียความดัน และเอนทาลปีที่เกิดขึ้นจากการไหลในท่อ ทำให้วัฏจักรทางจินตนาการของการทำความเย็นชนิดอัดไอแตกต่างจากทางทฤษฎีดังนี้ คือ อุณหภูมิของสารทำความเย็นในเครื่องควบแน่นถูกทำให้อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิของเหลวอิ่มตัว (Subcool Liquid) ก่อนที่จะผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญตเห็นหน้าใบเสร็จใบนี้ขอคืนค่า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้าไปในวาล์วขยายตัวเพื่อให้ค่าการทำความเย็นต่อกิโกรัมของสารทำความเย็นเพิ่มขึ้น ไอของสารทำความเย็นจะเป็นไอร้อนขดขึงก่อนที่จะเข้าไปในเครื่องอัด เป็นการทำให้ค่าการทำความเย็นต่อกิโกรัมของสารทำความเย็นเพิ่มขึ้นอีก ในทางทฤษฎีการอัดไอสารทำความเย็นเป็นแบบไอเซนโทรปิก แต่ในในทางการปฏิบัติยุ่งยากมาก และไม่สามารถทำได้ และความดันในช่วงการอัดตัวนี้จะแตกต่างจากอีแวปโปเรเตอร์ และเครื่องควบแน่น โดยความดันก่อนการอัดตัวจะลดลง เนื่องจากการเกิดความสูญเสียในขณะผ่านท่อ และไอของสารทำความเย็นที่ออกจากเครื่องอัดจะสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากความร้อนที่ไอสารทำความเย็นดูดไว้ จากผนังท่อสูบลูกสูบในจังหวะดูดทำให้อุณหภูมิและความดันสูงขึ้น [1]

## 1.2 วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์โดยทั่วไปของโครงการนี้ คือ เพื่อจำลองระบบทำความเย็นแบบอัดไอ สำหรับทำการทดสอบปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นเพื่อที่จะทำการใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบทำความเย็นอย่างเหมาะสม และมีประสิทธิภาพทางด้านวิศวกรรม และเศรษฐศาสตร์ โดยมีวัตถุประสงค์จำเพาะดังนี้

1. เพื่อสร้างและทดสอบระบบทำความเย็นแบบอัดไอที่ใช้สารทำความเย็น R-12 สำหรับห้องทำความเย็นขนาดชุดทดลอง
2. เพื่อทดสอบหาภาระการทำความเย็น และสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะ ที่สภาวะการทำงานต่าง ๆ ของชุดทดลอง

## 1.3 ขอบเขต

1. สร้างแบบจำลองระบบการทำความเย็นแบบอัดไอ โดยใช้สารทำความเย็น R-12 ขนาดชุดทดลอง (Laboratory scale)
2. การศึกษาอุณหภูมิของอีแวปโปเรเตอร์ แบ่งเป็น 3 ช่วง โดยช่วงอุณหภูมิ  $7^{\circ}\text{C} - 15^{\circ}\text{C}$  เป็นการทำความเย็น (cooling) ช่วงอุณหภูมิ  $4^{\circ}\text{C} - 7^{\circ}\text{C}$  เป็นช่วงของการปรับอากาศ (Air conditioning) และช่วงอุณหภูมิ  $-30^{\circ}\text{C} - 4^{\circ}\text{C}$  เป็นช่วงของการทำเยือกแข็ง (Freezing)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ตรวจเอกสาร

#### 2.1 สารทำความเย็น

สารทำความเย็นคือสารที่ดูดความร้อนแฝงเมื่อเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอที่อุณหภูมิต่ำและความดันต่ำและคายความร้อนแฝงเมื่อควบแน่นเปลี่ยนสถานะจากไอกลายเป็นของเหลวที่อุณหภูมิสูงและความดันสูง ในระบบการทำความเย็น สารทำความเย็นจะดูดความร้อนแฝงจากพื้นที่ที่ต้องการทำความเย็น และส่งความร้อนไประบายออกด้านนอก

นักเคมีได้คิดค้นหาสารทำความเย็นที่ระเหยได้เร็ว และมีค่าความร้อนแฝงสูง เพื่อทำความเย็นมากๆ ในเวลาที่สั้น และพบว่าสารที่ประกอบด้วย คาร์บอน ฟลูออรีน คลอรีน และ ไฮโดรเจนเป็นหลัก มีคุณสมบัติดังกล่าว จึงได้มีการสังเคราะห์สารทำความเย็นออกมา ในภาษาช่างจะ เรียกว่า น้ำยาแอร์ หรือบางคนอาจเรียกว่า ฟรีออน (Freon - เป็นชื่อเรียกทางการค้าของผู้ผลิตคือ คูเปอร์ท์) มีชื่อย่อเรียกต่าง ๆ กัน ตามองค์ประกอบ เช่น R-11, R-12, R-22, R-502 โดย R-11 และ R-12 มีใช้ในเครื่องปรับอากาศขนาดใหญ่ R-12 ใช้ในเครื่องปรับอากาศรถยนต์ ส่วน R-22 ใช้ในเครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก และ R-502 ใช้ในเครื่องเย็น

R-12 หรือ CFC-12 ชื่อทางเคมีว่า Dichlorodifluoromethane และมีสูตรเคมีเป็น  $CCl_2F_2$  มีจุดเดือดที่  $-29.8^{\circ}C$  และมีค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ  $39.97 \text{ kcal/kg}$

สารทำความเย็นสามารถแบ่งออกได้หลายประเภท ดังนี้

1. Inorganic Compound
2. Chlorofluorocarbons(CFCs)
3. Hydrochlorofluorocarbons(HCFCs)
4. Hydrofluorocarbons(HFCs)

Chlorofluorocarbons(CFCs) เป็นสารที่ไม่เป็นพิษ และไม่ติดไฟ ประกอบด้วยอะตอมของ carbon , chlorine และ fluorine อยู่ในประเภทสารประกอบ halocarbon ใช้เป็นสารทำความเย็นในระบบอัดไอ (The Vapour Compression System) บริษัท General Motorols และ Du Pont ได้มีการก่อตั้งบริษัทเพื่อผลิตสารทำความเย็น Freon ( โดยใช้เป็นชื่อทางการค้าของ Du Pont สำหรับ CFCs )

#### 2.2 อากาศ

อากาศเป็นส่วนผสมทางกลของก๊าซและไอน้ำ อากาศแห้ง (อากาศที่ไม่มีไอน้ำ) ส่วนใหญ่ประกอบด้วยไนโตรเจน (ประมาณ 78% โดยปริมาตร) และออกซิเจน (ประมาณ 21%) ส่วนที่เหลืออีก 1% ประกอบด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซอื่น ๆ เช่น ไฮโดรเจน ฮีเลียม นีออน และ อาร์กอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่าย การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ขออนุญาตจากเจ้าของเอกสารถือว่าผิดกฎหมาย

แม้ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาร์กอน ส่วนประกอบอากาศทั่ว ๆ ไปก็ขึ้นไปตามนี้ในบางกรณีจำนวนไอน้ำในอากาศ จะเปลี่ยนแปลงอย่างมากกับสถานที่และสภาวะอากาศ โดยปกติจะมีปริมาณอยู่ 1% ถึง 3% โดยมวล เพราะไอน้ำในอากาศเป็นผลขั้นแรกจากการระเหยกลายเป็นไอของน้ำ ความชื้นของบรรยากาศ (จำนวนไอน้ำในอากาศ) จะมีมากขึ้นก็ขึ้นอยู่กับการที่ถ้าใกล้แหล่งน้ำธรรมชาติในบรรยากาศก็จะมี ความชื้นมากกว่าที่อยู่ไกลจากแหล่งน้ำ [1]

### 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อดิพงษ์ นันทพันธุ์ [3] ได้ทำการศึกษาถึงระบบเก็บสะสมพลังงานในรูปน้ำแข็งที่ใช้เทคนิคการแลกเปลี่ยนความร้อนแบบสัมผัสโดยตรง โดยใช้สารทำความเย็น (R12) จากการจำลองสถานการณ์ของระบบ ซึ่งได้จากแบบจำลองของอุปกรณ์แต่ละตัวในระบบ นำมาวิเคราะห์หาสมรรถนะของระบบพบว่า สมรรถนะของระบบขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 ประการคือ ความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ และอัตราการไหลของสารทำความเย็น โดยพบว่าค่าความเร็ว รอบของคอมเพรสเซอร์ประมาณ 8-10 rps และอัตราการไหลของสารทำความเย็นประมาณ 0.04-0.06 kg/s จะให้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) สูงสุดคือประมาณ 3.4-3.6 ซึ่งสูงกว่าระบบผลิตน้ำแข็งแบบเดิม จากการทดลองนำน้ำแข็งที่ได้มาใช้ในระบบปรับอากาศพบว่า มีความเหมาะสมที่จะพัฒนาขึ้นมาใช้ในทางปฏิบัติ

ญาณวุฒิ สุทธิชูงามกุล [4] ได้ทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนระบายความร้อนด้วยอากาศ โดยหาค่าประสิทธิภาพรวม (COP) ของเครื่องปรับอากาศและกำลังไฟฟ้าที่ใช้เปรียบเทียบกับเครื่องปรับอากาศแบบธรรมดาที่ไม่มีปรับปรุง จากผลการทดสอบพบว่า เครื่องปรับอากาศที่ปรับปรุง โดยการเพิ่มพื้นที่น้ำตัดของคอนเดนเซอร์เป็น 2.12 และ 1.25 เท่า ของแบบธรรมดา มีประสิทธิภาพรวม (COP) ของเครื่องปรับอากาศ สูงกว่าเครื่องปรับอากาศแบบธรรมดาที่ไม่มีปรับปรุง 7.81% และ 6.59% ส่วนกำลังไฟฟ้าที่ใช้ต่ำกว่าเครื่องปรับอากาศแบบธรรมดาที่ไม่มีปรับปรุง 2.46% และ 2.85% ตามลำดับ เครื่องปรับอากาศที่ปรับปรุงแบบใช้วัสดุพิเศษ เพื่อลดอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าคอนเดนเซอร์มีประสิทธิภาพรวม (COP) ของเครื่องปรับอากาศสูงกว่าเครื่องปรับอากาศแบบธรรมดาที่ไม่มีปรับปรุง 10.18% ส่วนกำลังไฟฟ้าที่ใช้ต่ำกว่า เครื่องปรับอากาศแบบธรรมดาที่ไม่มีปรับปรุง 2.32% แต่เครื่องปรับอากาศที่ปรับปรุงแบบใช้พัดลมตีน้ำและให้อากาศไหลกลับทาง โดยเป่าอากาศเข้าคอนเดนเซอร์ ซึ่งแบบธรรมดาที่ไม่มีปรับปรุง จะเป็นการ ดูดอากาศผ่านคอนเดนเซอร์ จะมีประสิทธิภาพรวม (COP) ของเครื่องปรับอากาศต่ำกว่าเครื่องปรับอากาศแบบธรรมดาที่ไม่มีปรับปรุง 14.82% และ กำลังไฟฟ้าที่ใช้สูงกว่าเครื่องปรับอากาศแบบธรรมดาที่ไม่มีปรับปรุง 0.29%

ชนาคม สุนทรชัยนาคแสง และ เวทย์ กิติคุณ [5] ได้ศึกษาการทำงานของคอมเพรสเซอร์ โดยพิจารณาภาวะที่ได้จากอีแวโปเรเตอร์ และคอนเดนเซอร์ที่มีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป ผลที่ได้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สงวนไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เนื่องจากผู้เขียนขอสงวนสิทธิ์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการคำนวณนำมาพล็อตกราฟ โดยอาศัยข้อมูลพื้นฐานจากชาร์ทของสารทำความเย็น R-12 ซึ่งลักษณะกราฟที่ขึ้นนั้นจะขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของสารทำความเย็นด้วย

O. Badr, P. W. O'Callaghan and S. D. Probert [6] ได้ศึกษาระบบการทำความเย็นแบบอัดไอน้ำจากแบบจำลอง 3 ระบบ คือ ระบบอัดไอน้ำอย่างง่าย ระบบอีแวปโปเรเตอร์หลายตัว และระบบเครื่องอัดหลายตัวโดยใช้สารทำความเย็น R-22 และนำผลการทดลองที่ได้มาสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ แล้วนำมาเขียน โปรแกรม เพื่อทำนายผลสภาวะการทำงานของอุณหภูมิอีแวปโปเรเตอร์ อุณหภูมิของคอนเดนเซอร์ อุณหภูมิซูเปอร์ฮีตติง อุณหภูมิซับคูลลิ่ง ประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกของเครื่องอัด พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับสารทำความเย็นอื่นๆ ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ทฤษฎี และหลักการ

### 3.1 ระบบทำความเย็นชนิดอัดไอ

ระบบการทำความเย็นชนิดอัดไอได้รับการออกแบบ และสร้างขึ้นโดยอาศัยหลักการ พื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิกส์ดังนี้

- 1) ของไหลทำความร้อนในขณะที่เปลี่ยนสถานะจากของเหลวไปเป็นไอ
- 2) ในระหว่างที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของสถานะ อุณหภูมิจะคงที่แต่อุณหภูมินี้จะ เปลี่ยนแปลงกับ ความดัน ที่ความดันคงที่จุดหนึ่ง การกลายเป็นไอจะเกิดขึ้น ณ จุดที่อุณหภูมิที่มีความสัมพันธ์กันเท่านั้น อย่างไรก็ตามอุณหภูมิของการกลายเป็นไอที่ความดันอื่นหนึ่งย่อมแตกต่างกัน สำหรับของเหลวที่ต่างกัน
- 3) ความร้อนจะไหลจากแหล่งอุณหภูมิสูง ไปยังแหล่งอุณหภูมิต่ำ
- 4) การเลือกโลหะที่ใช้ทำเครื่องควบแน่นจะต้องเป็น โลหะที่มีการนำความร้อนสูง
- 5) พลังงานความร้อนและพลังงานรูปอื่น ๆ สามารถที่จะนำกลับมาใช้ประโยชน์ โดยกฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์

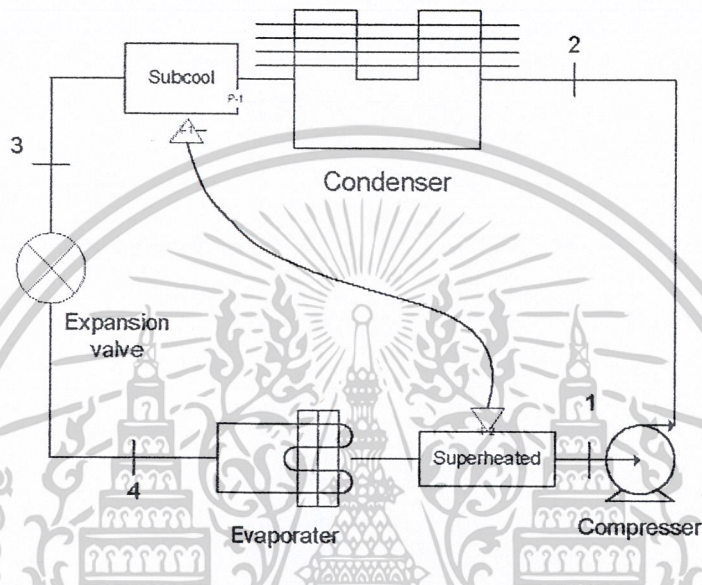
ระบบทำความเย็นชนิดอัดไอจะประกอบด้วยเครื่องอัด เครื่องควบแน่น ทรอตเท็นวาล์ว หรือวาล์วควบคุมการไหลของสารทำความเย็น และอีแวปโปเรเตอร์ เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ โดยทั่วไปจะสมมติให้การไหลของสารทำความเย็นผ่านอุปกรณ์เหล่านี้จะเป็นการไหลแบบสม่ำเสมอ การเปลี่ยนแปลงเอนทาลปีของสารทำความเย็นก็คือ ความร้อนที่ถ่ายเท และระหว่างการอัดตัวแบบอะเดียเบติก งานที่ให้แก่เครื่องอัดก็คือ การเปลี่ยนแปลงเอนทาลปีของสารทำความเย็นที่ไหลผ่านเครื่องอัด กระบวนการทรอตเท็นวาล์วเป็นการลดความดันของสารทำความเย็นและเป็นกระบวนการเอนทาลปีคงที่

แบบแผนของระบบทำความเย็นแบบอัดไออย่างง่ายแสดงตามรูปที่ 3.1 สารทำงานมีอยู่ในอีแวปโปเรเตอร์ และเครื่องควบแน่น สมมติทำงานตามวัฏจักรทางเทอร์โมไดนามิกส์ ไอของสารทำความเย็นที่ออกจากอีแวปโปเรเตอร์เป็นไออิ่มตัวก่อนที่จะเข้าไปในเครื่องอัด ดังแสดงด้วยจุด 1 รูปที่ 3.1, 3.2 และ 3.3 ที่จุดนี้ (ความดัน  $P_1$  และอุณหภูมิ  $T_1$ ) ไอของสารทำความเย็นจะถูกอัดตัวแบบไอเซนโทรปิกจนความดันเป็น  $P_2$  และอุณหภูมิ  $T_2$  โดยแทนด้วยจุด 2 ซึ่งอยู่ในสถานะไอร้อนยวดยิ่ง และเข้าไปในเครื่องควบแน่น ซึ่งมีน้ำเป็นตัวกลางหล่อเย็นจะดูดความร้อนจากไอของสารทำความเย็นจนอุณหภูมิลดลงถึงอุณหภูมิไออิ่มตัวที่ความดัน  $P_2$  และความร้อนยังคงคายให้กับน้ำหล่อเย็นจนกระทั่งไอสารทำความเย็นเป็นของเหลว แสดงด้วยจุดที่ 3 ที่จุดนี้ความดันของเหลวของสารทำ

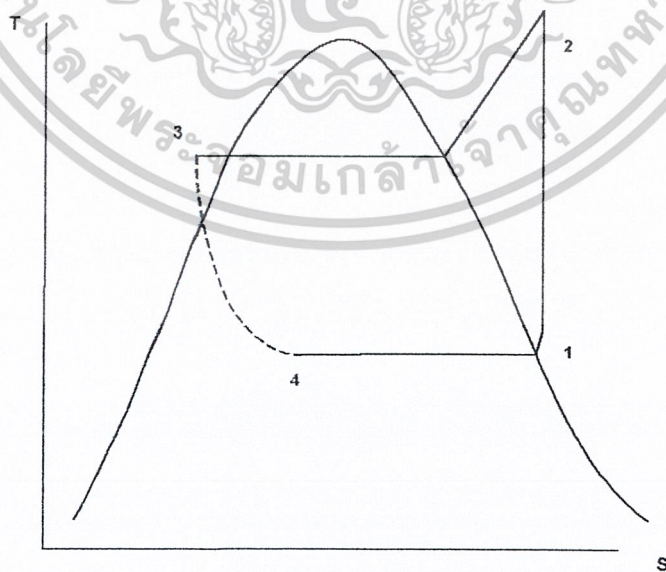
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับความเห็นชอบ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเย็นจะเท่ากับ  $P_2$  สารทำความเย็นที่เป็นของเหลวนี้จะไหลผ่านทรอทเทิลวาล์ว เกิดการขยายตัว ความดันจะลดลงเท่ากับ  $P_1$  ซึ่งแสดงด้วยจุดที่ 4 สถานะนี้ค่าเอนทาลปีจะเท่ากับสถานะที่จุด 3 สารทำความเย็น จะเปลี่ยนสถานะเป็น ไอเปือกเข้าสู่อีแวปโปเรเตอร์ ในห้องทำความเย็น เพื่อดูดเอา ความร้อนออกไปจนถึงสถานะ 1 เป็นการทำงานครบวัฏจักรของเครื่องทำความเย็นชนิดอัดไอ

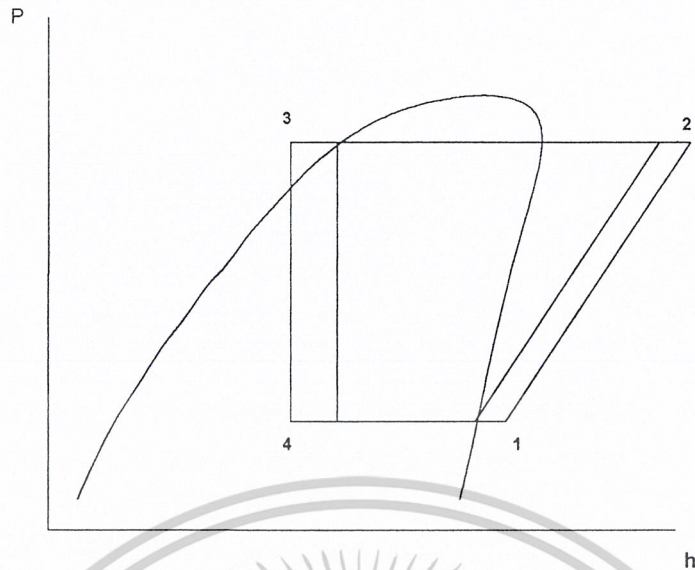


รูปที่ 3.1 แผนผังของระบบทำความเย็นแบบอัดไออย่างง่าย



รูปที่ 3.2 แผนภาพ T-s ของระบบทำความเย็นแบบอัดไออย่างง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แผนภาพ P-h ของระบบทำความเย็นแบบอัดไออย่างง่าย

### 3.2 การวิเคราะห์วัฏจักรการทำความเย็นชนิดอัดไอ

1. เครื่องอัด เป็นเครื่องดูดและอัด ไอสารทำความเย็นมีการไหลสม่ำเสมอแบบอะเดียแบติกที่ย้อนกลับได้หรือไอเซนโทรปิก ถ้าพิจารณาไอของสารทำความเย็น 1 kg งานที่ต้องใช้ในการอัดไอสารทำความเย็น 1 kg หาได้ดังนี้

$$W_c = (h_2 - h_1) \quad (3.1)$$

เมื่อ  $W_c$  = งานที่ให้แก่เครื่องอัด (kJ/kg)

$h_1$  = เอนทาลปีของสารทำความเย็นก่อนที่จะเข้าไปในเครื่องอัดมีหน่วยเป็น (kJ/kg)

$h_2$  = เอนทาลปีของสารทำความเย็นที่ออกจากเครื่องอัดมีหน่วยเป็น (kJ/kg)

2. เครื่องควบแน่น มีกระบวนการไหลแบบสม่ำเสมอ การหล่อเย็นกระทำที่ความดันคงที่ ความร้อนที่คายให้กับเครื่องควบแน่นหาได้ดังนี้

$${}_2q_3 = (h_3 - h_2) = -(h_2 - h_3) \quad (3.2)$$

เมื่อ  ${}_2q_3$  = ความร้อนที่ไอของสารทำความเย็นคายให้กับตัวกลางหล่อเย็นในเครื่องควบแน่น (kJ/kg)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$h_3$  = เอนทาลปีของสารทำความเย็นที่ออกจากเครื่องควบแน่น (kJ/kg)

ค่า  $h_2$  และ  $h_3$  หาได้โดยตรงจาก P-h ไดอะแกรม และพื้นที่แทนการเปลี่ยนแปลงของเอนทาลปี หรือเป็นความร้อนที่เครื่องควบแน่นดูดไว้

3. ทรอกเท็นวาล์ว กระบวนการขยายตัวแบบสมำเสมอที่ผ่านทรอกเท็นวาล์ว เป็นกระบวนการเอนทาลปีคงที่ไม่มีงาน หรือการถ่ายเทความร้อน กระบวนการนี้แทนบน P-h ไดอะแกรมเป็นเส้นในแนวตั้ง

4. อีแวปโปเรเตอร์ ความร้อนที่สารทำความเย็น 1 kg ดูดเอาไว้ในขณะที่ไหลผ่านอีแวปโปเรเตอร์ หาได้จาก

$$q_c = \dot{m} q_1 = (h_1 - h_4) \quad (3.3)$$

เมื่อ  $\dot{m} q_1$  = ความร้อนที่สารทำความเย็นดูดเอาไว้ในอีแวปโปเรเตอร์  
 $h_4$  = เอนทาลปีของไอสารทำความเย็นก่อนที่จะเข้าไปในอีแวปโปเรเตอร์ (kJ/kg)  
 $h_1$  = เอนทาลปีของไอสารทำความเย็นก่อนที่ออกจากอีแวปโปเรเตอร์ (kJ/kg)

ค่าของ  $h_1$  และ  $h_4$  สามารถที่จะอ่านได้จาก P-h ไดอะแกรม

ในการวิเคราะห์นี้ ไม่ได้คิดความสูญเสียความดันและเอนทาลปีที่เกิดขึ้นจากการไหลในท่อ ดังนั้นประสิทธิภาพของการทำความเย็น (COP) เท่ากับ ความร้อนที่สารทำความเย็นดูดไว้ในขณะไหลผ่านอีแวปโปเรเตอร์ต่องานที่เครื่องอัดใช้ ซึ่งแสดงไว้ในสมการ (3.4)

$$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (3.4)$$

### 3.3 ความสามารถของระบบ

ความสามารถของสารทำความเย็นใด ๆ คือ อัตราความสามารถในการดูดความร้อนจากบริเวณรอบ ๆ โดยทั่ว ๆ ไปจะกำหนดเป็นกิโลจูลต่อวินาที (kJ/s) หรือกิโลวัตต์ (kW)

จะสังเกตเห็นว่าความสามารถของการทำความเย็น คือ อัตราการถ่ายเทพลังงาน ซึ่งกำหนดในหน่วยของกำลังงาน

ความสามารถของระบบการทำความเย็นทางกลเป็นอัตราซึ่งระบบดูดความร้อนจากพื้นที่ ๆ

ต้องการทำความเย็นทั้งนี้ขึ้นกับตัวประกอบ 2 ตัวคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. จำนวนมวลของสารทำความเย็นที่ไหลวนเวียนต่อหน่วยเวลา
2. ค่าการทำความเย็นต่อมวลของสารทำความเย็นที่ไหลเวียน

$$\text{จาก} \quad \dot{Q}_e = \dot{m} \cdot q_e \quad (3.5)$$

$\dot{Q}_e$  = ความสามารถการทำความเย็น (kJ/s, kW)

$\dot{m}$  = อัตราการไหลโดยมวล (kg/s)

$q_e$  = ค่าการทำความเย็น (kJ/kg)

### 3.4 การระการทำความเย็นจากอากาศถ่ายเท

การคำนวณหาความร้อนที่เพิ่มขึ้นเนื่องมาจากการถ่ายเทอากาศในห้องทำได้ยากทั้งนี้เพราะการคำนวณอากาศถ่ายเททำได้ไม่ละเอียด

ถ้าจำนวนอากาศที่ถ่ายเทสามารถทราบได้แน่นอน ความร้อนที่เพิ่มขึ้นหาได้จากความแตกต่างของเอนทัลปีของอากาศภายนอก และภายในห้อง

$$\dot{Q} = \dot{m} (h_o - h_i) \quad (3.6)$$

เมื่อ  $\dot{Q}$  = จำนวนการระจากอากาศใหม่ (kW)

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

$h_o$  = เอนทัลปีของอากาศภายนอก (kJ/kg)

$h_i$  = เอนทัลปีของอากาศภายใน (kJ/kg)

### 3.5 การคำนวณหาตัวประกอบของความร้อนที่ผ่านผนังเข้ามา

ปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังของบริเวณทำความเย็นเข้ามาต่อหน่วยเวลา เป็นฟังก์ชันของตัวประกอบ 3 ตัว ซึ่งมีความสัมพันธ์ตามสมการดังต่อไปนี้

$$\dot{Q} = (U)(A)(\Delta T) \quad (3.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ	$Q$	=	อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ผ่านผนังห้องเข้ามา (W)
	$A$	=	พื้นที่ผิวภายนอกของผนัง ( $m^2$ )
	$U$	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนทั้งหมด ( $W/m^2K$ )
	$\Delta T$	=	ความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอกและภายใน (K)

สัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อนตัวประกอบ “U” เป็นการวัดอัตราการความร้อนผ่านพื้นที่ผิวของผนัง  $1 m^2$  จากภายนอกไปยังภายใน สำหรับความแตกต่างของอุณหภูมิ  $1 K$  ที่ผ่านผนัง ค่าของตัวประกอบ “U” ขึ้นกับความหนาของผนัง และวัสดุที่ใช้ในการทำผนัง

วัสดุที่ใช้ในการสร้างผนังห้องเย็นควรจะเป็นฉนวนที่ป้องกันความร้อนที่ดี ดังนั้นในทางปฏิบัติจะพยายามให้ค่า “U” น้อยที่สุด

ตามสมการ (3.8) ตัวประกอบ “U” หาได้จากอัตราการไหลของความร้อนผ่านผนัง โดยตรงกับพื้นที่ผิวของผนัง และกับความแตกต่างของอุณหภูมิที่ผ่านผนัง เพราะว่าค่าของ “U” กำหนดในหน่วย  $W/m^2K$  อัตราการไหลของความร้อนที่ผ่านผนังสามารถคำนวณได้โดยการคูณตัวประกอบ “U” กับพื้นที่ผิวของผนัง และกับความแตกต่างของอุณหภูมิภายใน และภายนอก

### 3.6 การคำนวณอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ

สมการสมดุลพลังงาน

$$E_{in} = E_{out} + Q_{air} \quad (3.8)$$

จากสมการ (3.8)

จะได้

$$Q_{air} = E_{in} - E_{out}$$

และ

$$Q_{air} = Q_{ev}$$

$$m_{air} \times C_{p_{air}} \times \Delta T = m_r \times q_{ev} \quad (3.9)$$

จากสมการ (3.9)

จะได้

$$m_{air} = (m_r \times q_{ev} / C_{p_{air}} \times \Delta T)$$

เมื่อ  $E_{in}$  = พลังงานเข้า (kW)

$E_{out}$  = พลังงานออก (kW)

$Q_{air}$  = พลังงานความร้อนที่อากาศคายออก (kW)

$Q_{ev}$  = พลังงานความร้อนที่สารทำงานได้รับ (kW)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มีอนุญาตนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- $m_{\text{air}}$  = อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ (kg/s)  
 $C_{p_{\text{air}}}$  = ค่าความจุความร้อนของอากาศ (kJ/kg.K)  
 $\Delta T$  = ผลต่างระหว่างอุณหภูมิก่อนเข้าและออกจากอีแวปโปเรเตอร์ ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $m_r$  = อัตราการไหลเชิงมวลของสารทำงาน (kg/s)  
 $q_{\text{cv}}$  = ความร้อนที่สารทำงานได้รับ (kJ/kg)

หมายเหตุ การคำนวณอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศจากการทดลองแบบไม่หมุนเวียนลมกลับ โดยใช้อีแวปโปเรเตอร์ 3 ตัว ซึ่งเป็นกรณีที่มีภาระในการทำความเย็นมากที่สุดและมีอุณหภูมิก่อนเข้าอีแวปโปเรเตอร์คงที่ เนื่องจากเป็นอุณหภูมิมบรรยากาศ

### 3.7 ส่วนประกอบของระบบการทำความเย็น

#### 3.7.1. สารทำความเย็น

เครื่องทำความเย็นถูกใช้งานในช่วงอุณหภูมิที่ต่างกันมาก ตั้งแต่การปรับอากาศถึงการทำความเย็น การเลือกสารทำความเย็นให้เหมาะสมกับชนิดของเครื่องอัด และคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ อาทิ อุณหภูมิระเหย และความดันระเหย อุณหภูมิควบแน่น และความดันควบแน่นจึงมีความสำคัญ

คุณสมบัติที่ต้องการจากสารทำความเย็นอาจสรุปได้ดังนี้

1. ความดันระเหยจะต้องสูงพอเหมาะ สารทำความเย็นควรระเหยที่ความดันที่สูง เพื่อไม่ให้เกิดสุญญากาศทางด้านความดันต่ำทำให้อากาศรั่วเข้าไปได้ การรั่วของอากาศเข้าไปก็ตรวจสอบยาก และเมื่อรั่วเข้าไปในระบบแล้วก็กำจัดออกไปลำบาก อนึ่งการที่ความดันระเหยสูงจะทำให้อัตราส่วนการอัดต่ำซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพทางปริมาตรของเครื่องอัดสูงด้วย

2. ความดันควบแน่นจะต้องต่ำพอเหมาะ ถ้าความดันควบแน่นต่ำ เมื่อไอสารทำความเย็นถูกทำให้เย็นลงและควบแน่น โดยน้ำหล่อเย็นหรืออากาศหล่อเย็น อัตราส่วนการอัดจะต่ำลง ซึ่งจะช่วยให้ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรของเครื่องอัดสูงขึ้น อีกประการหนึ่ง คือถ้าความดันทางด้านความดันสูงต่ำลง ความปลอดภัยก็จะมีมากขึ้น และความจำเป็นที่จะต้องสร้างเครื่องทำความเย็นให้แข็งแรงก็จะน้อยลง

3. ความร้อนแฝงของการระเหยควรมีค่าสูง ถ้าสารทำความเย็นมีค่าความร้อนแฝงของการระเหยสูง ปริมาณสารทำความเย็นที่ไหลวนในระบบเพื่อให้ได้ความเย็นที่ต้องการก็จะน้อยลง

4. ปริมาตรจำเพาะ (โดยเฉพาะของไอ) ควรมีค่าน้อย ถ้าสารทำความเย็นมีค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอสูง และมีปริมาตรจำเพาะของไอต่ำ ปริมาตรที่ถูกสูบเครื่องอัดแทนที่ก็จะน้อยลง ขนาดของเครื่องทำความเย็นในการทำความเย็นที่เท่ากันก็จะเล็กลงได้ อย่างไรก็ตาม ในกรณีของเครื่องทำน้ำเย็นชนิดใช้เครื่องอัดแบบหอยโข่งขนาดเล็ก ๆ สารทำความเย็นที่ใช้ควรมีปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำเพาะค่อนข้างสูง ทั้งนี้เพราะความจำเป็นในการเพิ่มปริมาณไอที่ผ่านเครื่องอัดให้เพียงพอที่จะป้องกัน การลดต่ำลงของประสิทธิภาพของเครื่องอัดแบบหอยโข่ง

5. สัมประสิทธิ์ในการทำงานควรมีค่าสูง ในบรรดาคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของสารทำความเย็น สัมประสิทธิ์ในการทำงานเป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดต่อค่าใช้จ่ายในการทำงาน

6. สัมประสิทธิ์ในการนำความร้อนของสารทำความเย็นควรมีค่าสูง เพื่อให้การถ่ายเทความร้อนดีขึ้น

7. ความหนืดของทั้งสารทำความเย็นเหลวและสารทำความเย็นไอควรมีค่าต่ำ การที่ความหนืดต่ำจะทำให้ความต้านทานของสารทำความเย็นภายในท่อลดน้อยลง และการสูญเสียความดันน้อยลง

8. สารทำความเย็นควรมีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกต่ำ มีค่าความต้านทานไฟฟ้าสูงและไม่กัดกร่อนวัสดุที่เป็นฉนวนไฟฟ้าคุณสมบัติดังกล่าวมีความสำคัญเป็นพิเศษสำหรับสารทำความเย็นที่จะนำไปใช้ในเครื่องอัดแบบปิด (hermetic compressor)

9. สารทำความเย็นควรมีคุณสมบัติคงที่ และเฉื่อย ไม่ทำปฏิกิริยากับโลหะ ฯลฯ ไม่กัดกร่อนโลหะในวัฏจักรการทำงาน

10. สารทำความเย็นไม่ควรเป็นพิษและฉุนจัด

11. สารทำความเย็นไม่ควรติดไฟและระเบิดง่าย

12. สารทำความเย็นควรเป็นสารที่หารอยรั่วได้ง่าย เมื่อมีการรั่วออกมา

13. สารทำความเย็นควรมีราคาถูกและหาได้ง่าย

### 3.7.2 เครื่องอัด (compressor)

การแบ่งชนิดของเครื่องอัดสามารถพิจารณาได้ในหลาย ๆ ลักษณะดังต่อไปนี้

1. การแบ่งชนิดของเครื่องอัดตามวิธีการอัด

วิธีแน่นอน

1.1 เครื่องอัดแบบลูกสูบ (reciprocating compressor)

- อัดทางเดียว (single acting)

- อัดสองทาง (double acting)

1.2 เครื่องอัดแบบลูกสูบหลายชั้น (multistage reciprocating compressor)

1.3 เครื่องอัดแบบโรตารี (rotary compressor)

1.4 เครื่องอัดแบบสกรู (screw compressor)

วิธีอัดแบบใช้แรงเหวี่ยง

- เครื่องอัดแรงเหวี่ยงชั้นเดียว หรือเครื่องอัดแบบหอยโข่งชั้นเดียว (single stage

centrifugal compressor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เครื่องอัดแรงเหวี่ยงหลายชั้น หรือเครื่องอัดแบบหอยโข่งหลายชั้น (multi stage centrifugal compressor)

## 2. การแบ่งตามรูปร่าง

- แบบยืน (vertical type)
- แบบนอน (horizontal type)
- แบบหลายกระบอกสูบ (multicylinder type) อาทิแบบตัว V แบบตัว W และแบบตัว VV

## 3. การแบ่งตามความเร็วที่หมุน

- แบบหมุนช้า (low speed type)
- แบบหมุนเร็ว (high speed type)

## 4. การแบ่งตามชนิดของสารทำความเย็น

- เครื่องอัดแอมโมเนีย (ammoniacompressor)
- เครื่องอัดฟร็อน (freon compressor)
- เครื่องอัดคาร์บอน ไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub> compressor)

## 5. การแบ่งตามการสร้าง

- แบบเปิด (open type)
- แบบปิดครึ่งเดียว (semi open type)
- แบบปิดสนิท (close type)

### 3.7.3 เครื่องควบแน่น

เครื่องควบแน่นใช้อากาศหล่อเย็น (Air-cooled condensers) การไหลเวียนของอากาศอาจจะเป็นธรรมชาติ หรือเกิดจากการไหลแบบบังคับ โดยการใช้พัดลม การไหลแบบธรรมชาติมีประสิทธิภาพต่ำกว่าแบบบังคับ จึงมักใช้กับตู้เย็นขนาดเล็กภายในบ้าน สำหรับแบบบังคับ (force air) โดย ใช้พัดลมเป่าแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ตามตำแหน่งที่ติดตั้งเครื่องควบแน่น คือ

- 1) แบบ Chassis mounted
- 2) แบบ remote

แบบ chassis mounted จะติดตั้งรวมเป็นชุดกับเครื่องอัด เรียกชุดนี้ว่า “condensing unit”

แบบ remote จะไม่ติดตั้งเครื่องควบแน่นรวมเป็นชุดเดียวกันกับเครื่องอัด จะติดตั้งแยกจากเครื่องอัด เครื่องควบแน่นที่ระบายความร้อนด้วยอากาศแบบ remote อาจติดตั้งไว้ภายใน หรือภายนอกก็ได้ เมื่อติดตั้งภายในจะต้องมีช่องทางให้อากาศจากภายนอกเข้ามาได้อย่างเพียงพอในการระบายความร้อนเครื่องควบแน่น ถ้าเครื่องควบแน่นติดไว้ในที่อากาศร้อน เช่น ใต้เพดาน หรือห้องหม้อไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำ ควรจะใช้ท่อในการให้อากาศผ่านเข้าไปยังเครื่องควบแน่น และเป่าออกไปภายนอก เนื่องจากต้องการอากาศจำนวนมากจึงไม่เหมาะที่จะคิดไว้ภายในอาคารนอกจากเครื่องขนาดเล็กเท่านั้น

เมื่อเครื่องควบแน่นที่ใช้อากาศระบายความร้อนติดตั้งภายนอกอาคาร อาจจะต้องติดตั้งบนพื้นดิน บนหลังคา หรือผนัง การติดตั้งบนหลังคานิยมมาก

ในกรณีทั้งหมดเครื่องควบแน่นที่ติดตั้งภายนอกอาคาร โดยเฉพาะบนหลังคา ควรจะหลีกเลี่ยงความต้านทานของลมที่พัดกับพัดลม ควรจะหันเครื่องควบแน่นให้ลมที่พัดมาช่วยระบายความร้อนไม่ใช่เป็นการต้านทานการทำงานของพัดลม แต่อย่างไรก็ตามสามารถแก้ปัญหาได้ โดยการติดตั้งกระบังลม (wind deflector) ไว้ที่ด้านหลังของเครื่องควบแน่น

#### ระบบเครื่องควบแน่นแบบใช้น้ำหล่อเย็น (Water Cooled Condenser Systems)

แบ่งออกเป็น 2 ระบบ

1. ระบบที่ใช้น้ำแล้วทิ้ง (waste-water system)
2. ระบบที่ใช้น้ำหมุนเวียน (Recirculated water system)

ระบบที่ใช้น้ำแล้วทิ้งในระบบนี้จะต้องคำนึงถึงราคาของน้ำเป็นสำคัญ ในการคำนวณหาปริมาณการไหลของน้ำต่อหน่วยภาระของเครื่องควบแน่นนั้น โดยทั่ว ๆ ไปแล้วราคาที่ประหยัดคิดจากความสมดุลระหว่างราคาน้ำ และพลังงาน คิดอัตราการไหลโดยประมาณ 0.025 ลิตร/วินาที ต่อ 1 kW ของความสามารถในการทำความเย็น ด้วยเหตุนี้ระบบนี้จึงใช้กับเครื่องควบแน่นขนาดเล็ก

ในระบบที่ใช้น้ำหมุนเวียนนี้ น้ำที่ออกจากเครื่องควบแน่นจะถูกส่งไปตามท่อไปยังหอทำน้ำเย็น (cooling tower) เพื่อลดอุณหภูมิของน้ำก่อนที่จะกลับมาเข้าเครื่องควบแน่นอีกครั้งหนึ่ง โดยทั่ว ๆ ไปค่าใช้จ่ายค่าพลังงานที่ใช้จะประหยัดที่สุดเมื่ออัตราการไหลของน้ำที่ใช้ในระบบอยู่ระหว่าง 0.045 และ 0.06 ลิตร/วินาที ต่อ 1 kW

เพราะว่าการถ่ายเทความร้อนเป็นฟังก์ชันของเวลา เมื่อปริมาณน้ำน้อยอุณหภูมิในเครื่องควบแน่นจะเพิ่มขึ้น เพราะเวลาที่น้ำสัมผัสกับ ไอสารทำความเย็นที่ไหลอยู่ในเครื่องควบแน่นจะนานกว่า ในทางกลับกัน เมื่อน้ำที่มีอัตราการไหลสูง ความเร็วของน้ำจะเพิ่มขึ้น เวลาที่น้ำสัมผัสกับ ไอสารทำความเย็นในเครื่องควบแน่นจะน้อยอุณหภูมิจึงจะลดต่ำลง แต่ควรจะให้ระบบที่ทำงานในช่วงเวลาที่สั้นเพื่อลดความดันที่ลดลงให้น้อยที่สุด

ในการออกแบบวงจรน้ำหล่อเย็นเครื่องควบแน่นสิ่งที่ควรสนใจเป็นพิเศษ คือ ความเร็วของน้ำ และความดันที่ลดลง ในทุกกรณีความเร็วที่น้อยที่สุดที่ยอมรับได้ต้องทำให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วน และมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูง และเนื่องจากความดันที่ลดลงเป็นสัดส่วนกับความเร็วในการไหล ดังนั้นความเร็วสูงสุดที่ยอมรับได้ต้องผลจากความดันที่ลดลงด้วย

### 3.7.4 อีแวปโปเรเตอร์

อีแวปโปเรเตอร์เป็นอุปกรณ์ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนแบบหนึ่ง ซึ่งเกิดจากการที่ของเหลวระเหยกลายเป็นไอ เพื่อจุดประสงค์ในการดึงเอาความร้อนออกไปจากผลิตภัณฑ์ หรือช่องว่างที่ต้องการทำให้เย็น และเพราะเหตุที่ว่าเครื่องทำความเย็นแบบทางกล (mechanical refrigeration) ถูกนำไปใช้งานในรูปแบบต่าง ๆ จึงทำให้อีแวปโปเรเตอร์ถูกผลิตออกมาในหลายรูปแบบ หลายขนาด และรูปร่างต่าง ๆ ซึ่งอาจจะแบ่งได้หลายทาง เช่น แบ่งตามวิธีการสร้างระบบป้อนของเหลว แบ่งตามโครงสร้าง แบ่งตามสภาพการใช้งาน หรืออาจแบ่งตามวิธีที่จะให้อากาศไหลเวียน

การแบ่งตามโครงสร้างอาจแบ่งได้เป็นแบบย่อย ๆ ได้ 3 แบบคือ

1. แบบเปลือย (bare-type)
2. แบบแผ่น (plate-surface)
3. แบบครีป (finned)

ในแบบเปลือยและแบบแผ่นบางครั้งอาจจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกันรวม เรียกว่า แบบผิวหน้าชั้นต้น (prime-surfaced evaporator) ซึ่งพื้นที่ผิวทั้งหมดจะสัมผัสกับสารทำความเย็น ส่วนแบบครีปนั้น ตัวครีปจะไม่ใช่ผิวหน้าชั้นต้น เพราะไม่ได้สัมผัสโดยตรงกับสารทำความเย็น และตัวครีปจะเป็นหน้าชั้นสอง (secondary-surface) ซึ่งครีปจะทำหน้าที่เพียงดูดความร้อนจากอากาศบริเวณรอบอีแวปโปเรเตอร์ และส่งผ่านความร้อนให้กับตัวท่ออีกทีหนึ่ง

อีแวปโปเรเตอร์แบบไหลเวียนตามธรรมชาติ (natural convection evaporators) มักจะใช้ในกรณีที่ต้องการให้การคายน้ำจากผลิตภัณฑ์น้อยที่สุด เพราะอากาศไหลเวียนจะน้อย เช่น ใช้ในตู้เย็นตามบ้าน หรือห้องเก็บอาหารขนาดใหญ่ การไหลเวียนของอากาศผ่านคอยล์เป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิระหว่างคอยล์กับห้องทำความเย็น ถ้าอุณหภูมิต่างกันมากก็จะทำให้การไหลเวียนอากาศมีมากด้วย การไหลเวียนอากาศนี้ยังมีผลจากรูปร่าง ขนาด และตำแหน่งการติดตั้งของอีแวปโปเรเตอร์ เนื่องจากอากาศเย็นมีความหนาแน่นมากกว่าก็จะตกสู่เบื้องล่าง อากาศร้อนจะลอยขึ้นบน ดังนั้นควรติดตั้งคอยล์ไว้ด้านบนของห้อง แต่ไม่ติดเพดาน ควรมีช่องให้อากาศไหลเวียนได้ แต่ถ้าห้องไม่สูงอาจจะใช้คอยล์แบบติดผนังก็ได้ ในเครื่องทำความเย็นขนาดเล็ก อาจจะใช้กระบังลม (baffles) ติดเข้าไปเพื่อช่วยให้การไหลเวียนของอากาศเป็นไปในทิศทางที่ต้องการ และมีประสิทธิภาพ

อีแวปโปเรเตอร์แบบมีอุปกรณ์ช่วยพัดพาอากาศ (forced convection evaporators) มีชื่อเรียกโดยทั่วไปว่า “unit cooled”, “fan coil unit” หรือ “blower coil” ในระบบการทำความเย็นเชิงพาณิชย์จะติดตั้งคอยล์ไว้ในโครงพร้อมพัดลม สำหรับชุดใหญ่ ๆ จะติดตั้งไว้บนพื้น

สมรรถนะในการทำความเย็นทั้งหมดของอีแวปโปเรเตอร์มีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณอากาศที่ไหลเวียนผ่านคอยล์ ซึ่งอัตราการไหลของอากาศพิจารณาจาก

1. อัตราส่วนของความร้อนสัมผัส (sensible heat)
2. อุณหภูมิที่ลดลงของอากาศเมื่อผ่านคอยล์

อีแวปโปเรเตอร์แบบใช้ของเหลวพาความร้อน (liquid chilling evaporators) มีลักษณะเหมือนกับแบบใช้อากาศพาความร้อน มีหลายแบบย่อย และออกแบบตามความมุ่งหมายของการทำงาน โดยทั่ว ๆ ไปอาจแบ่งได้เป็น 5 แบบ คือ

1. แบบท่อคู่ (double pipe cooler)
2. แบบ (baudelot cooler)
3. แบบถัง (tank-type cooler)
4. แบบเปลือกและคอยล์ (shell-and-coil-cooler)
5. แบบเปลือกและท่อ (shell-and-coil-cooler)

ในทุกแบบ ตัวแปรที่มีผลต่อการทำงานเหมือนกันกับแบบใช้อากาศพาความร้อน

### 3.7.5 เครื่องควบคุมการไหลของสารทำความเย็น

เครื่องควบคุมการไหลของสารทำความเย็นเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญอย่างหนึ่งของระบบทำความเย็นชนิดอัดไอหน้าที่ของอุปกรณ์นี้มีดังนี้ คือ

เป็นเครื่องควบคุมสารทำความเย็นของเหลวจากท่อของเหลว (liquid line) ไปยังอีแวปโปเรเตอร์ในอัตราส่วนที่สัมพันธ์กับการระเหยของสารทำความเย็นเหลวที่เกิดขึ้นในอีแวปโปเรเตอร์

ควบคุมความแตกต่างของความดันระหว่างด้านความดันสูงและความดันต่ำของระบบให้พอดีกับการระเหยของสารทำความเย็นด้านความดันต่ำในอีแวปโปเรเตอร์ และในขณะเดียวกันไอสารทำความเย็นที่ออกจากเครื่องอัดก็ควบคุมที่ความดันสูงในเครื่องควบแน่น

เครื่องควบคุมการไหลของสารทำความเย็นมีหลายแบบด้วยกัน คือ

1. วาล์วขยายตัวปรับด้วยมือ (hand expansion valve)
2. วาล์วขยายตัวอัตโนมัติ (automatic expansion valve)
3. วาล์วขยายตัวอัตโนมัติเทอร์โมสแตติก (thermostatic expansion valve)
4. ท่อแคพิลลารี (capillary tube)
5. วาล์วลูกลอยความดันต่ำ (low pressure float valve)
6. วาล์วลูกลอยความดันสูง (high pressure float valve)

### 3.7.6 ท่อสารทำความเย็น (Refrigerant Piping)

#### 1) วัสดุที่ใช้ทำท่อ

โดยทั่ว ๆ ไป ชนิดของวัสดุที่ทำท่อจะขึ้นอยู่กับการใช้งานลักษณะของการติดตั้ง สารทำความเย็นที่ใช้ราคาของวัสดุ และค่าแรงงานในการผลิต ลักษณะเฉพาะของความต้องการอย่างต่ำสำหรับท่อสารทำความเย็น ต้องคำนึงถึงชนิดและน้ำหนักของวัสดุทำท่อ และวิธีการต่อท่อ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานท่อสารทำความเย็นกำหนดตาม American Standard Code for Mechanical Refrigeration (ASA Standard)

วัสดุที่ใช้ทำท่อสารทำความเย็นส่วนมาก ได้แก่ เหล็กดำ เหล็กหล่อ ทองแดง และทองเหลือง วัสดุเหล่านี้เหมาะที่จะใช้กับสารทำความเย็นทั่ว ๆ ไป ยกเว้นทองแดง และทองเหลืองจะไม่ใช้กับแอมโมเนีย เพราะแอมโมเนียจะกัดกร่อนโลหะเหล่านี้

ท่อทองแดงได้เปรียบในเรื่องน้ำหนักเบา มีความต้านทานการกัดกร่อนมากกว่า และติดตั้งง่ายกว่าเหล็กหล่อ หรือเหล็กดำกับสารทำความเย็นทุกชนิด ยกเว้นแอมโมเนีย ท่อสารทำความเย็นที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกไม่เกิน 100 มม. อาจจะใช้ท่อทองแดง หรือท่อเหล็กเหนียว และท่อที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเกินกว่า 100 มม. ควรจะใช้ท่อเหล็กเหนียวในทางปฏิบัติทั่ว ๆ ไป ท่อที่มีขนาดมากกว่า 50 มม. จะใช้ท่อเหล็กเหนียว ส่วนท่อเหล็กหล่อมิราคาระหว่างท่อเหล็กเหนียว แต่ก็อาจนำมาใช้เพราะท่อเหล็กหล่อมีความต้านทานการกัดกร่อนสูงกว่าท่อเหล็กเหนียว

ท่อเหล็กเหนียวควรจะเป็นท่อแบบที่ไม่มีรอยต่อ (Seamless) หรือ ต่อแบบแถบ (lap-welded) ยกเว้นท่อที่ต่อชน (butt-welded) จะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 50 มม. ท่อเหล็กเหนียวที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 25 มม. จะเป็นท่อแบบหนักพิเศษ (extra heavy) ที่มีขนาดไม่เกิน 40 มม. จะเป็นท่อแบบหนักพิเศษ

ท่อทองแดง เป็นท่อแข็ง และท่ออ่อน ท่อแข็งจะเป็นท่อตรงยาวท่อนละ 6 เมตร ส่วนท่ออ่อนจะขดเป็นวงมีความยาว 7.5 เมตร ถึง 15 เมตร ท่อแบบชนิด K และ L เท่านั้นที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นท่อสารทำความเย็น

ท่อทองแดงแบบอ่อนใช้เป็นท่อสำหรับสารทำความเย็นที่มีขนาดไม่เกิน 20 มม. ส่วนท่อทองแดงแบบแข็งใช้ในระบบการทำความเย็นที่มีขนาดใหญ่กว่า 20 มม. และท่อขนาดเล็กที่ต้องการความคงตัว luanwiset

## 2) การออกแบบท่อ

เพราะว่ามีปัญหามากมายที่ประสบในระบบการทำความเย็นที่สามารถพบได้โดยตรงการออกแบบและการติดตั้งที่ไม่เหมาะสมของท่อสารทำความเย็นและส่วนประกอบอื่น โดยทั่ว ๆ ไปท่อสารทำความเย็นควรออกแบบโดยพิจารณา ดังนี้

1. ต้องมั่นใจว่ามีสารทำความเย็นในอีแวปโปเรเตอร์เพียงพอ
2. ต้องมั่นใจว่าการไหลกลับอย่างต่อเนื่องของน้ำมันหล่อลื่นเข้าไปยังอ่างข้อเหวี่ยง (Crankcase) ของเครื่องอัด
3. หลีกเลี่ยงการสูญเสียความดันสารทำความเย็น ซึ่งไม่มีประโยชน์ เพราะเป็นตัวเลขความสามารถ และประสิทธิภาพของระบบ
4. ป้องกันไม่ให้สารทำความเย็นเหลวเข้าไปในเครื่องอัดระหว่างการทำงาน หรือหยุดวัฏจักร หรือเริ่มให้เครื่องอัดทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. หลีกเลี่ยงการใช้น้ำมันที่มีส่วนผสมอื่นในอิวาปโพรเตอร์ หรือท่อดูด ซึ่งภายหลังอาจกลับเข้าไปในเครื่องอัดในลักษณะเป็นโคลนทำความเสียหายแก่เครื่องอัดได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การคำนวณ และการออกแบบ

ในการออกแบบชุดการทดลองแบบจำลองระบบการทำความเย็นแบบอัดไอจะต้องอาศัยข้อมูลดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น เพื่อมาใช้ประกอบในการออกแบบและเลือกขนาดอุปกรณ์ในระบบ โดยชุดการทดลองแบบจำลองระบบการทำความเย็นแบบอัดไอ โดยใช้สารทำงาน R-12 ที่ออกแบบมีส่วนประกอบดังนี้

1. โครงสร้าง
2. ส่วนห้องเย็น
3. ส่วนการทำความเย็น
4. เครื่องมือวัด

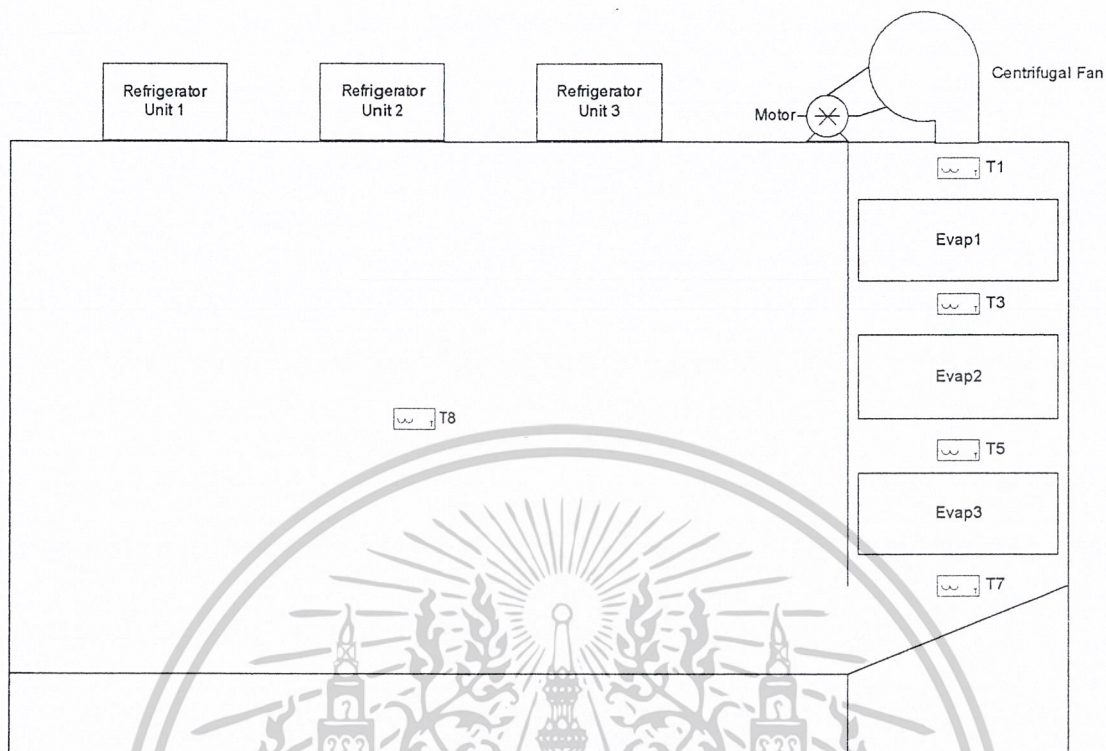
#### 4.1 โครงสร้างชุดการทดลองระบบทำความเย็นแบบอัดไอ

- แผ่นเหล็กไร้สนิม
- แผ่นสังกะสี
- ฉนวนใยแก้ว และ โฟม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 การออกแบบห้องเย็น



รูปที่ 4.1 ชุดจำลองระบบทำความเย็น

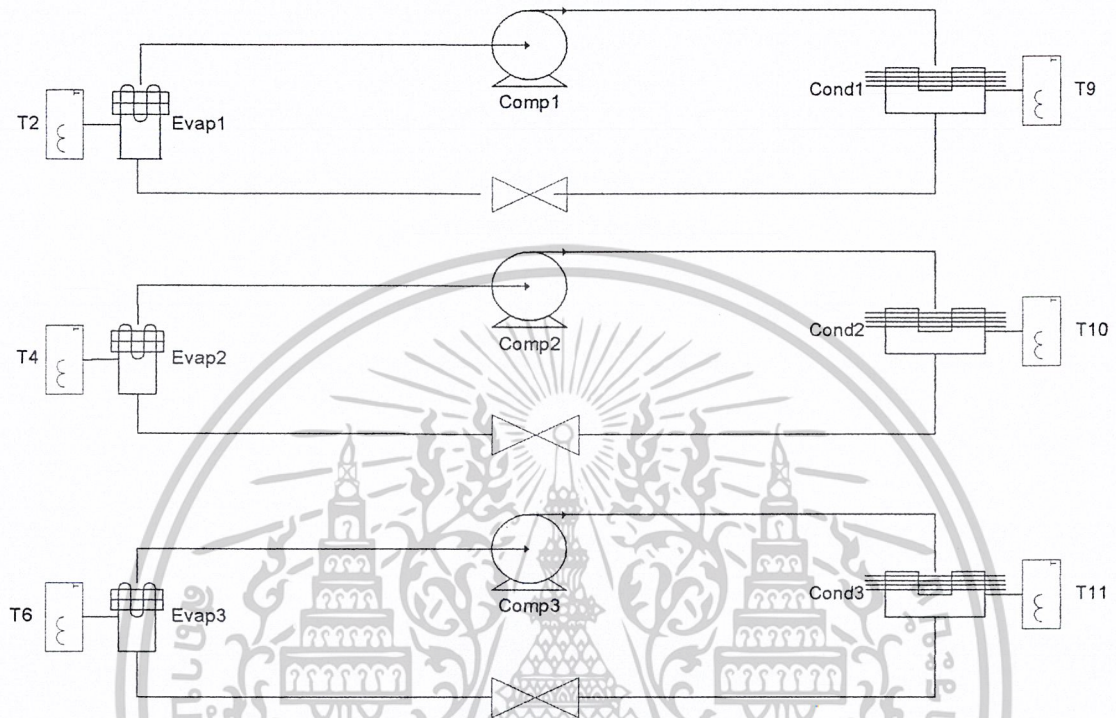
ขนาดห้องทำความเย็น กว้าง 90 ยาว 120 สูง 150 เซนติเมตร  
ปริมาตรภายในห้องทำความเย็น 1.62 ลูกบาศก์เมตร

ส่วนภาระทำเย็นประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังนี้

1. อินเวอร์เตอร์ (Inverter) จำนวน 1 ตัว
2. พัดลมแบบหอยโข่ง (Centrifugal Fan) เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.30 เมตรจำนวน 1 ตัว
3. มอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า จำนวน 1 ตัว
4. ลูกป้อน จำนวน 2 ตลับ
5. ท่ออ่อนเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 นิ้ว
6. ฉนวนใยแก้วหุ้มท่ออ่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 การออกแบบส่วนการทำความเย็น



รูปที่ 4.2 แผนผังของระบบทำความเย็นแบบอัดไอ

ส่วนการทำความเย็นประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังนี้

1. เครื่องอัด (Compressor) แบบลูกสูบ ขนาด 0.5 แรงม้า จำนวน 3 เครื่อง
2. อีวาเปอเรเตอร์ (Evaporator) แบบท่อเปลือย ขนาด จำนวน 3 ตัว
3. เครื่องควบแน่น (Condenser) จำนวน 3 เครื่อง
4. ท่อลดความดัน (Cab Tube) จำนวน 3 ตัว
5. พัดลมระบายความร้อน จำนวน 3 ตัว
6. ท่อทองแดง
7. ฉนวนหุ้มท่อทองแดง

#### 4.3.1 เครื่องอัด

ใช้เครื่องอัดที่มีขนาด 1/2 hp เครื่องอัดทุกตัวเป็นเครื่องอัดแบบลูกสูบ (Reciprocating) ซึ่งเครื่องอัดแบบนี้เป็นแบบที่นิยมใช้กันมากที่สุดในระบบการทำความเย็นในปัจจุบัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.2 การเลือกฮีเวปโพเรเตอร์

ใช้ฮีเวปโพเรเตอร์แบบท่อเปลือยขนาด กว้าง 10 ยาว 55 สูง 12 เซนติเมตร ซึ่งฮีเวปโพเรเตอร์แบบท่อเปลือยจะทำให้การไหลของลมสะดวก

#### 4.3.3 ขนาดของเครื่องควบแน่น

เครื่องควบแน่นต้องระบายความร้อนออกจากระบบทำความเย็น โดยใช้อากาศเป็นตัวระบายความร้อน ให้มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับความร้อนที่ฮีเวปโพเรเตอร์สามารถรับเอามาได้ ซึ่งในระบบจำลองนี้จะติดตั้งเครื่องควบแน่นจำนวน 3 เครื่อง สามารถใช้ระบายความร้อนจากฮีเวปโพเรเตอร์ได้ทั้ง 3 ชุด

#### 4.3.4 ท่อลดความดัน

ท่อลดความดัน (Cab Tube) จำนวน 3 ตัว

#### 4.4 เครื่องมือวัด

1. เทอร์โมมิเตอร์
2. เทอร์โมคัปเปิลแบบ K และ J
3. Data logger 24 ช่องสัญญาณ จำนวน 1 ชุด

#### 4.5 การคำนวณความร้อนที่ผ่านผนังเข้ามา

ห้องทำความเย็นมีผนังทั้งหมด 6 ด้าน

กำหนดให้ อุณหภูมิต่ำสุดโดยเฉลี่ยที่เครื่องสามารถทำได้ คือ  $-6^{\circ}\text{C}$

##### 4.5.1 ด้านหน้า (ประตูปิด-เปิด)

- ประตู

ค่า K ของ fiber glass =  $0.045 \text{ W/mK}$

ตัวประกอบ "U" ผ่านผนังประตู ซึ่งมีความหนา 100 mm

$$U = 0.383 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$Q = (U)(A)(\Delta T)$$

$$= 0.383 \times 0.5375 \times (32 - (-6))$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 7.82 \text{ Watt}$$

เนื่องจากมี 2 ประตู

$$\begin{aligned} Q &= 7.82 \times 2 \\ &= 15.64 \text{ Watt} \end{aligned}$$

-กระจก

ค่า K ของ กระจก = 1.4 W/m.K

$$c = \frac{K}{X} = \frac{1.4}{2 \times 10^{-3}} = 700 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\begin{aligned} Q &= (U)(A)(\Delta T) \\ &= 700 \times 0.04 \times (32 - (-6)) \\ &= 1064 \text{ Watt} \end{aligned}$$

เนื่องจากมีกระจก 2 ด้าน

$$\begin{aligned} Q &= 1064 \times 2 \\ &= 2128 \text{ Watt} \end{aligned}$$

- โครงตู้ด้านหน้า

ค่า K ของ fiber glass = 0.045 W/m.K

ตัวประกอบ “U” ผ่านผนังโครงตู้ด้านหน้า ซึ่งมีความหนา 80 mm

$$U = 0.4678 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\begin{aligned} Q &= (U)(A)(\Delta T) \\ &= 0.4678 \times 0.615 \times (32 - (-6)) \\ &= 10.93 \text{ Watt} \end{aligned}$$

#### 4.5.2 ด้านที่ติดกับฮีเวปโปเรเตอร์

ซึ่งมีอุณหภูมิ 27 °C

ค่า K ของ fiber glass = 0.045 W/m.K

ตัวประกอบ “U” ผ่านผนังส่วนบน ซึ่งมีความหนา 100 mm

$$U = 0.383 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\begin{aligned} Q &= (U)(A)(\Delta T) \\ &= 0.383 \times 0.9416 \times (27 - (-6)) \\ &= 11.90 \text{ Watt} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า K ของ โฟม = 0.033 W/mK

ตัวประกอบ “U” ผ่านผนังส่วนล่าง ซึ่งมีความหนา 30 mm

$$U = 0.8124 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\begin{aligned} Q &= (U)(A)(\Delta T) \\ &= 0.8124 \times 0.428 \times (27 - (-6)) \\ &= 11.47 \text{ Watt} \end{aligned}$$

#### 4.5.3 ด้านข้างซ้าย

ค่า K ของ fiber glass = 0.045 W/m K

ตัวประกอบ “U” ผ่านผนังด้านข้าง ซึ่งมีความหนา 50 mm

$$U = 0.675 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\begin{aligned} Q &= (U)(A)(\Delta T) \\ &= 0.675 \times 1.5895 \times (32 - (-6)) \\ &= 40.77 \text{ Watt} \end{aligned}$$

#### 4.5.4 ด้านหลัง

ค่า K ของ fiber glass = 0.045 W/m K

ตัวประกอบ “U” ผ่านผนังด้านหลัง ซึ่งมีความหนา 100 mm

$$U = 0.383 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\begin{aligned} Q &= (U)(A)(\Delta T) \\ &= 0.383 \times 1.77 \times (32 - (-6)) \\ &= 25.76 \text{ Watt} \end{aligned}$$

#### 4.5.5 ด้านบน

ค่า K ของ fiber glass = 0.045 W/mK

ตัวประกอบ “U” ผ่านผนังด้านบน ซึ่งมีความหนา 50 mm

$$U = 0.675 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\begin{aligned} Q &= (U)(A)(\Delta T) \\ &= 0.675 \times 1.26 \times (32 - (-6)) \\ &= 32.319 \text{ Watt} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5.6 ด้านล่าง

ค่า K ของ fiber glass = 0.045 W/mK

ตัวประกอบ “U” ผ่านผนังด้านล่าง ซึ่งมีความหนา 80 mm

$$U = 0.4678 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\begin{aligned} Q &= (U)(A)(\Delta T) \\ &= 0.4678 \times 1.26 \times (32 - (-6)) \\ &= 22.40 \text{ Watt} \end{aligned}$$

เพราะฉะนั้น อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ผ่านผนังห้องทั้งหมด

$$\begin{aligned} Q_{\text{total}} &= 15.64 + 2128 + 10.93 + 11.90 + 11.47 + 40.77 + 25.76 + 32.319 + 22.40 \\ &= 2299.189 \text{ Watt} \end{aligned}$$

#### 4.6 ภาระการทำความเย็นสูงสุดของระบบ

โดยทั่วไป ค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะจะอยู่ในช่วง 4-7

เลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะสำหรับออกแบบเป็น 4

มีคอมเพรสเซอร์ 0.5 Hp จำนวน 3 ตัว สมมติประสิทธิภาพเชิงกลโดยรวมเป็น 80%

ดังนั้น คำนวณภาระการทำความเย็นจาก

$$\begin{aligned} \text{COP} &= \frac{\text{ภาระการทำความเย็นงานของคอมเพรสเซอร์}}{\text{ภาระการทำความเย็น}} \\ \text{ภาระการทำความเย็น} &= \text{COP} \times \text{Wc} \\ &= 4 \times (3 \times 0.5 \times 746 \times 0.8) \\ &= 3580.8 \text{ Watt} \end{aligned}$$

เพราะฉะนั้น

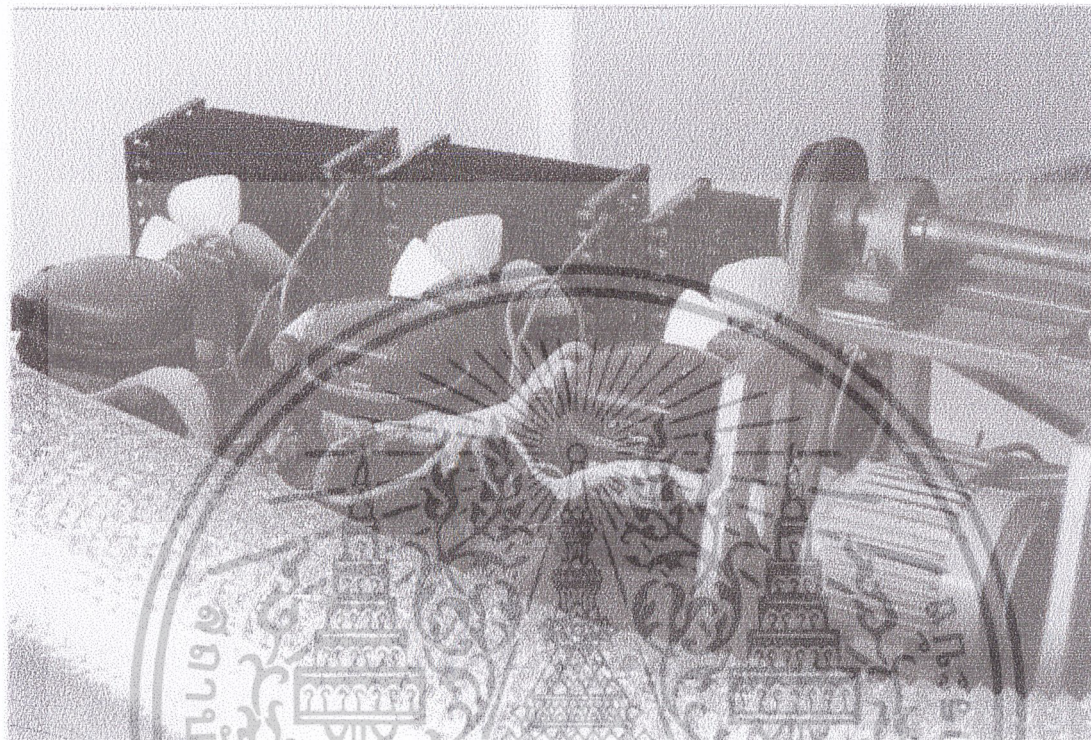
$$\begin{aligned} \text{ภาระการทำความเย็นที่ระบบสามารถรองรับได้} &= Q_{\text{max}} - Q_{\text{transfer}} \\ &= 3580.8 - 2299.189 \\ &= 1281.611 \text{ Watt} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ชุดทดลองระบบทำความเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



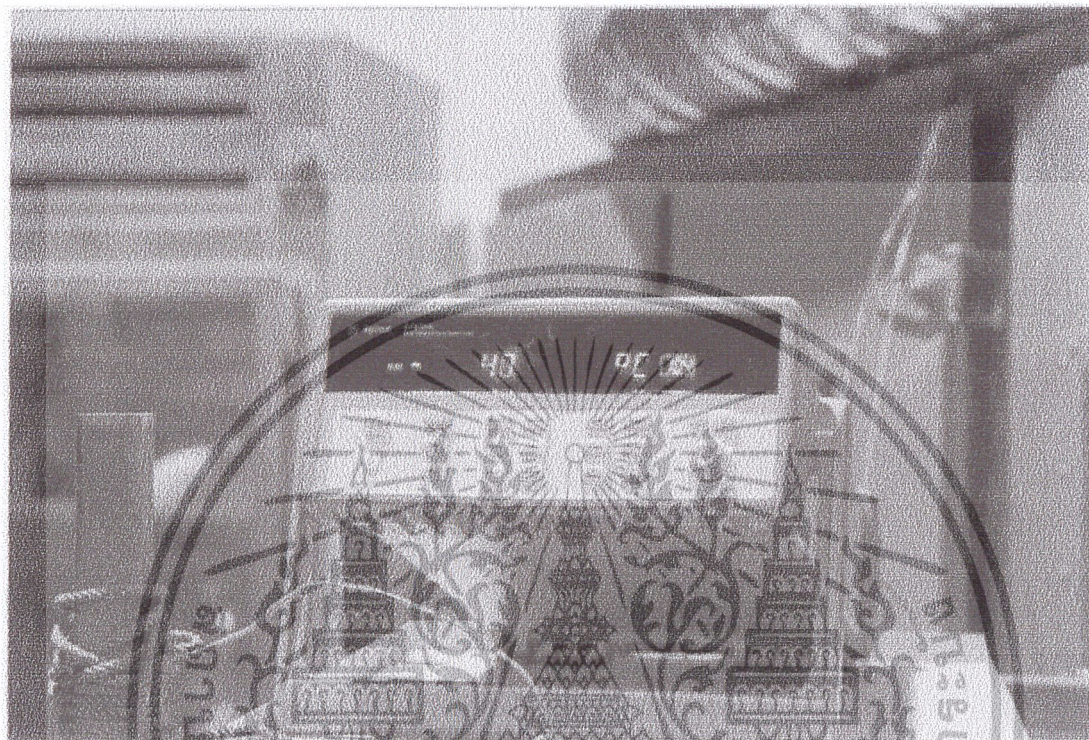
รูปที่ 4.4 ชุดทำความเย็นแบบอัดไออย่างง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



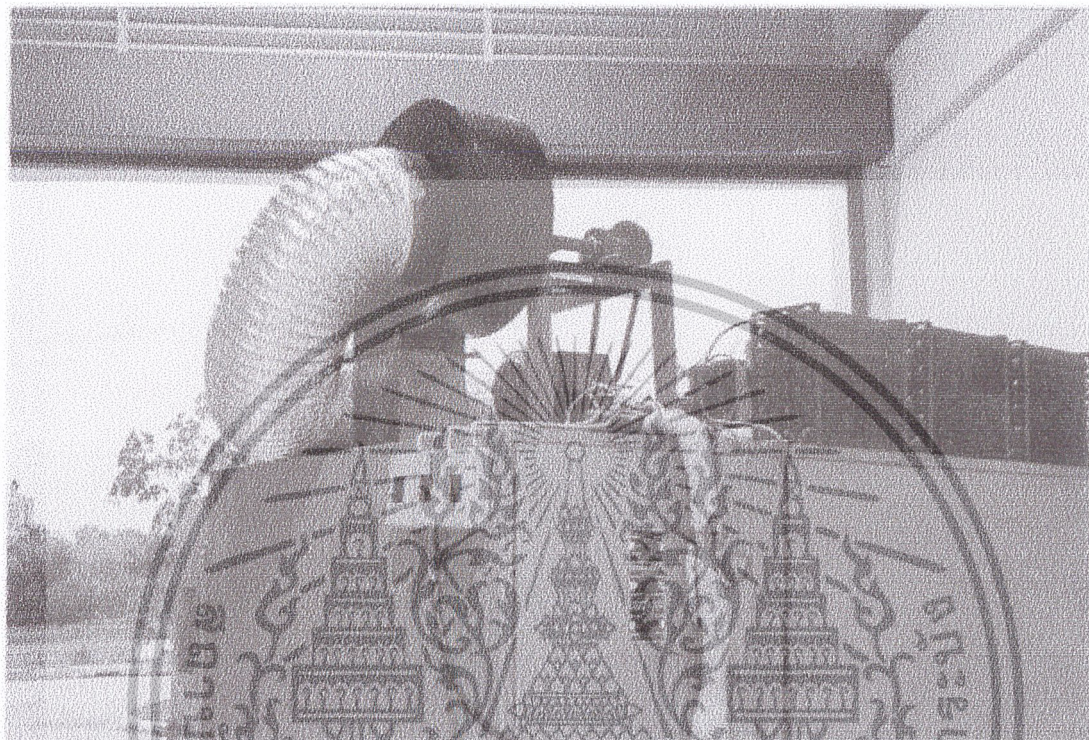
รูปที่ 4.5 อีแวนโพเรเตอร์ 3 ตัวเรียงต่อกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 เครื่องคาล็อกเกอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ชุดพัฒนหอยโข่ง และสวิตช์ ปิด-เปิด ชุดทำความเย็น 3 ชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวางแผน และวิธีการทดลอง

การทดลองแบบจำลองระบบการทำความเย็น

การทดลองระบบที่ออกแบบและสร้างขึ้นมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. เปรียบเทียบหาค่าศักยภาพการทำความเย็นที่ความเร็วรอบต่างกัน
2. เพื่อเปรียบเทียบความเร็วรอบต่าง ๆ ที่มีอุณหภูมิของอีแวปโปเรเตอร์ต่ำสุด
3. เพื่อหาสถานะของระบบที่มีประสิทธิภาพการทำความเย็นสูงสุด

การทดลองแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ

1 แบบหมุนเวียนลมกลับ

เพื่อทดสอบหาอุณหภูมิต่ำสุดที่ชุดทดลองทำได้

2 แบบไม่หมุนเวียนลมกลับ

เพื่อทดสอบหาอัตราการไหลของอากาศ และภาระสูงสุดที่ชุดทดลองทำได้

การทดลองทั้ง 2 กรณี ใช้วิธีการเดียวกัน ต่างกันเพียงแต่การควบคุมลมไหลกลับ โดยมีวิธีการทดลอง คือ

1. ติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิลตามรูปที่ 1 และรูปที่ 2 จำนวน 11 จุด ต่อสายเทอร์โมคัปเปิลเข้ากับ Data logger จำนวน 11 ช่องสัญญาณตามลำดับ
2. สังเกตอุณหภูมิ 11 จุด ที่ Data logger ให้อุณหภูมิใกล้เคียงกัน และใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิบรรยากาศรอบ ๆ บันทึกผลการทดลอง
3. ปิดประตูชุดการทดลองทั้งหมด เปิดเครื่องอินเวอร์เตอร์ ตั้งค่ารอบการทำงานของพัดลมที่ 250 rpm และเปิดสวิทช์อีแวปโปเรเตอร์ 1 ตัว
4. เริ่มบันทึกอุณหภูมิบรรยากาศรอบ ๆ และอุณหภูมิภายในชุดทดลองที่เปลี่ยนแปลงทุก 5 นาทีจนอุณหภูมิที่ จุด 8 (กึ่งกลางห้องเย็น) ไม่เปลี่ยนแปลง เป็นเวลา 30 นาที จึงหยุดบันทึก
5. หยุดการทำงานของชุดทดลอง โดยปิดสวิทช์อีแวปโปเรเตอร์ และตั้งค่าอินเวอร์เตอร์ให้ความเร็วรอบของพัดลมสูงสุด เพื่อให้ชุดการทดลองเข้าสู่อุณหภูมิสถานะเริ่มต้นก่อนทำความเย็นได้เร็วขึ้น
6. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 ถึง 3 โดยเปลี่ยนค่าความเร็วของพัดลม เป็น 500, 700 และ 862 rpm ตามลำดับ
7. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 ถึง 3 โดยเพิ่มจำนวนอีแวปโปเรเตอร์ที่ทำงานเป็น 2 ตัว และ

3 ตัว ตามลำดับ

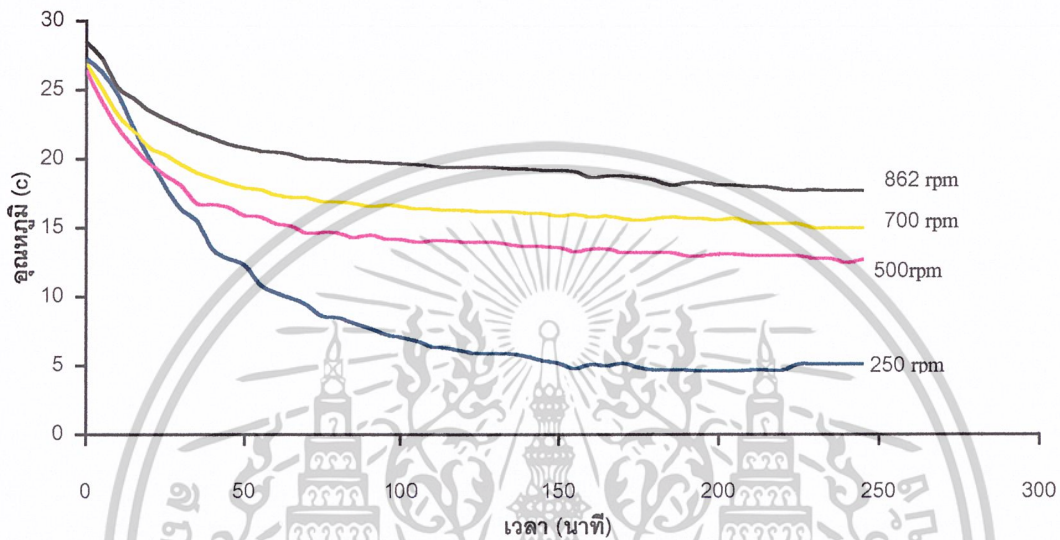
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

### ผลการทดลอง และวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 6.1 ผลการทดลองแบบมีการไหลเวียนลม



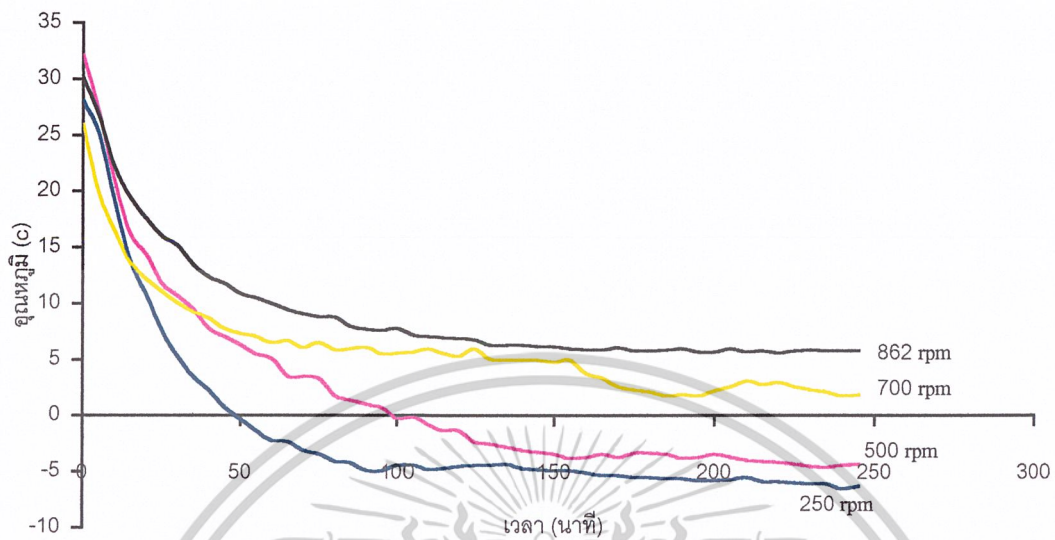
รูปที่ 6.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่กลางห้องเย็นกับเวลา จากการทดลองแบบหมุนเวียนลมกลับ โดยใช้ชุดทำความเย็น 1 ชุด ที่ความเร็วรอบพัดลม 4 ระดับ

จากรูปที่ 6.1 สังเกตได้ว่า เมื่ออุณหภูมิที่กลางห้องเย็นที่ความเร็วรอบต่าง ๆ คงที่ ณ เวลาเดียวกัน ที่ความเร็วรอบการทำงานต่ำจะมีอุณหภูมิที่กลางห้องเย็นต่ำ และความเร็วรอบการทำงานที่สูงขึ้นจะมีอุณหภูมิที่กลางห้องเย็นสูงขึ้น และทุกรอบการทำงานมีอุณหภูมิที่กลางห้องเย็นสูงกว่า  $0^{\circ}\text{C}$

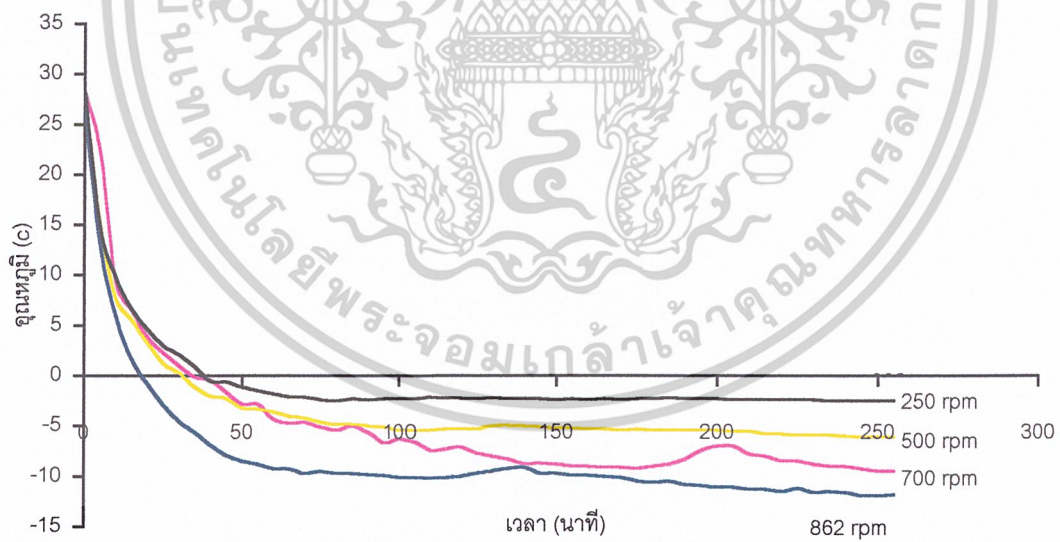
จากรูปที่ 6.2 สังเกตได้ว่า เมื่ออุณหภูมิที่กลางห้องเย็นที่ความเร็วรอบต่าง ๆ คงที่ ณ เวลาเดียวกัน ที่ความเร็วรอบ 250 rpm มีอุณหภูมิที่กลางห้องเย็นต่ำสุดที่  $-6^{\circ}\text{C}$  ที่ความเร็วรอบ 862 rpm มีอุณหภูมิที่กลางห้องเย็นสูงสุดที่  $8^{\circ}\text{C}$  และใช้เวลาน้อยสุด ในการทำให้อุณหภูมิที่กลางห้องเย็นคงที่

จากรูปที่ 6.3 สังเกตได้ว่า เมื่ออุณหภูมิที่กลางห้องเย็นที่ความเร็วรอบต่าง ๆ คงที่ ณ เวลาเดียวกัน ที่ความเร็วรอบ 250 rpm มีอุณหภูมิที่กลางห้องเย็นต่ำสุดที่  $-10.2^{\circ}\text{C}$  ที่ความเร็วรอบ 862 rpm มีอุณหภูมิที่กลางห้องเย็นมากที่สุดคือ  $-3^{\circ}\text{C}$  และใช้เวลาน้อยสุดในการทำให้อุณหภูมิที่กลางห้องเย็นคงที่ และทุกรอบการทำงานมีอุณหภูมิที่กลางห้องเย็นต่ำกว่า  $0^{\circ}\text{C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่กึ่งกลางห้องเย็นกับเวลา จากการทดลองแบบหมุนเวียนลมกลับ โดยใช้ชุดทำความเย็น 2 ชุด ที่ความเร็วรอบพัดลม 4 ระดับ

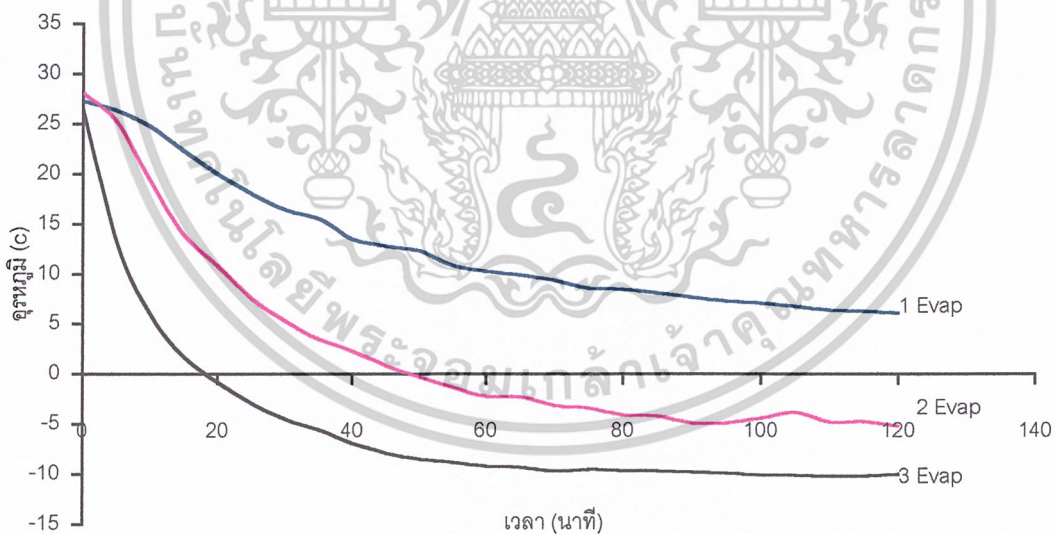


รูปที่ 6.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่กึ่งกลางห้องเย็นกับเวลา จากการทดลองแบบหมุนเวียนลมกลับ โดยใช้ชุดทำความเย็น 3 ชุด ที่ความเร็วรอบพัดลม 4 ระดับ

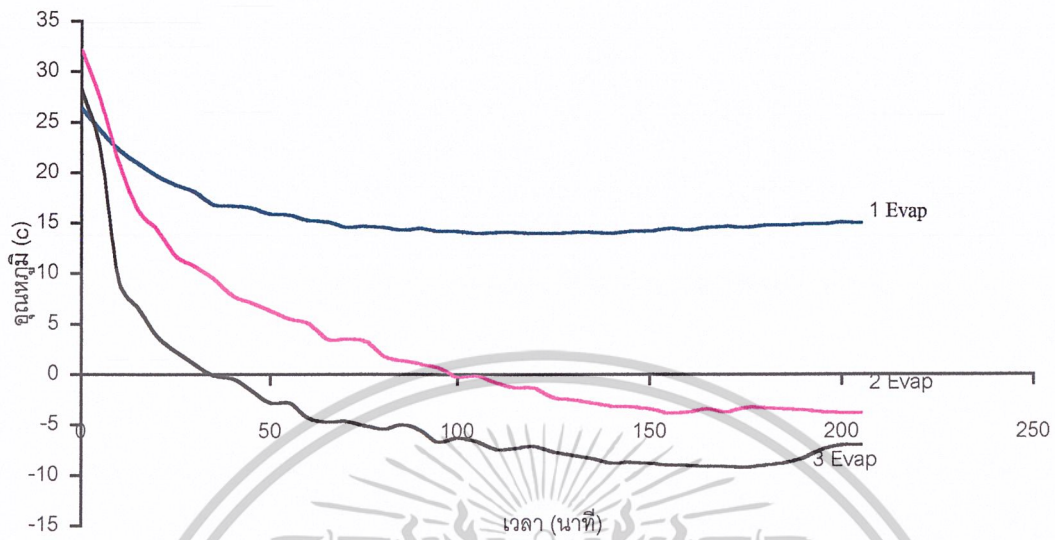
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองที่ได้ดังรูป 6.1, 6.2 และ 6.3 แสดงให้เห็นว่า มีการถ่ายเทของความร้อนจากสิ่งแวดล้อม ผ่านผนังท่ออ่อน ซึ่งใช้เวียนลมกลับในอัตราที่สูง และประเด็นสำคัญคือท่ออ่อน ถูกวางในตำแหน่งที่ใกล้กับคอนเดนเซอร์มากไป ความเร็วส่วนหนึ่งที่ถูกถ่ายเทออกจากคอนเดนเซอร์ อาจถูกถ่ายเทกลับเข้าไปในท่ออ่อนอีกครั้ง ลมที่ถูกเวียนกลับจะพาความร้อนจำนวนนี้เข้าสู่ห้องทำความเย็น โดยอัตราของความร้อนที่ถูกพาจะแปรผันกับอัตราการไหลของอากาศ กล่าวคือ เมื่อความเร็วรอบของพัดลมมากขึ้น ภาระการทำความเย็นก็ย่อมสูงขึ้นด้วย ด้วยเหตุนี้ อุณหภูมิของห้องทำความเย็น เมื่อทดลองที่ระดับความเร็วรอบพัดลม 862 rpm จึงสูงกว่าที่ระดับความเร็วรอบ 700, 500 และ 250 rpm ตามลำดับ

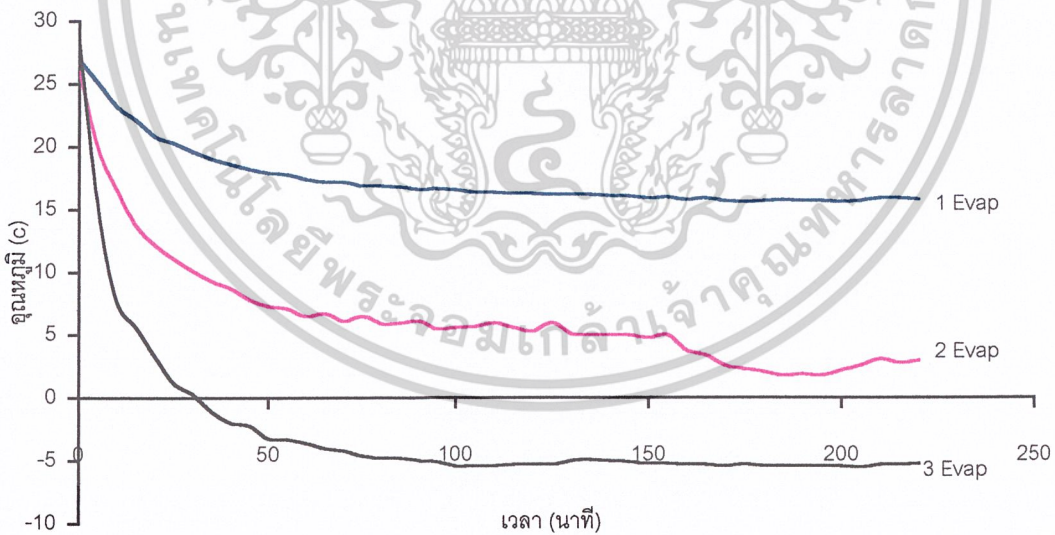
จากรูปที่ 6.4 - 6.7 มีแนวโน้มผลการทดลองเหมือนกัน สังเกตได้ว่า จำนวนอีแวปโพเรเตอร์ 1 ตัว มีอุณหภูมิที่กลางห้องเย็นสูงสุดใช้เวลาน้อยสุดในการทำให้อุณหภูมิที่กลางห้องเย็นคงที่ และจำนวนอีแวปโพเรเตอร์ 3 ตัว ใช้เวลามากสุดในการทำให้อุณหภูมิที่กลางห้องเย็นคงที่ กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิที่กลางห้องเย็นคงที่ ณ เวลาเดียวกัน จำนวนอีแวปโพเรเตอร์น้อยจะมีอุณหภูมิห้องเย็นสูงใช้เวลาน้อยในการทำให้อุณหภูมิคงที่ และจำนวนอีแวปโพเรเตอร์เพิ่มขึ้นจะมีอุณหภูมิห้องเย็นต่ำลง ใช้เวลามากในการทำให้อุณหภูมิคงที่



รูปที่ 6.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่กลางห้องเย็นกับเวลา จากการทดลองแบบหมุนเวียนลมกลับ และความเร็วรอบพัดลม 250 rpm เมื่อจำนวนชุดทำความเย็นต่างกัน

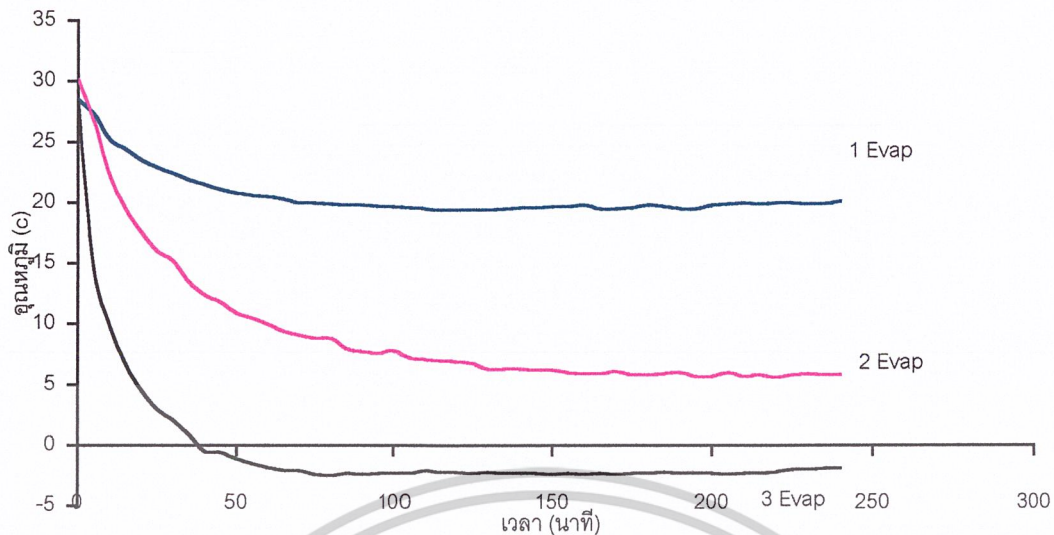


รูปที่ 6.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่กึ่งกลางห้องเย็นกับเวลา จากการทดลองแบบหมุนเวียนลมกลับ และความเร็วรอบพัดลม 500 rpm เมื่อจำนวนชุดทำความเย็นต่างกัน



รูปที่ 6.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่กึ่งกลางห้องเย็นกับเวลา จากการทดลองแบบหมุนเวียนลมกลับ และความเร็วรอบพัดลม 700 rpm เมื่อจำนวนชุดทำความเย็นต่างกัน

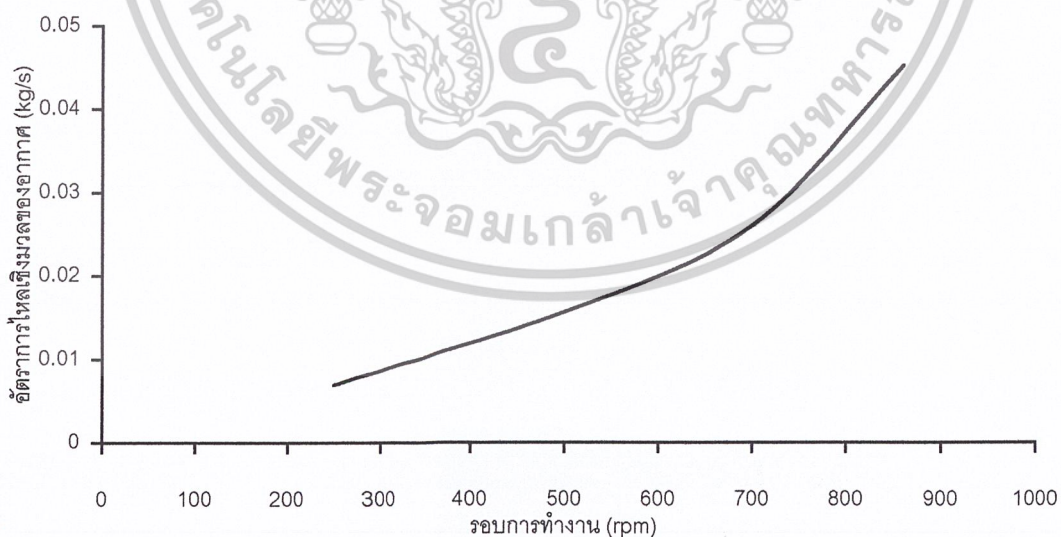
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิห้องกับเวลาจากการทดลองแบบหมุนเวียนลมกลับ และความเร็วรอบพัดลม 862 rpm เมื่อจำนวนชุดทำความเย็นต่างกัน

## 6.2 ความสามารถในการทำความเย็นของระบบ

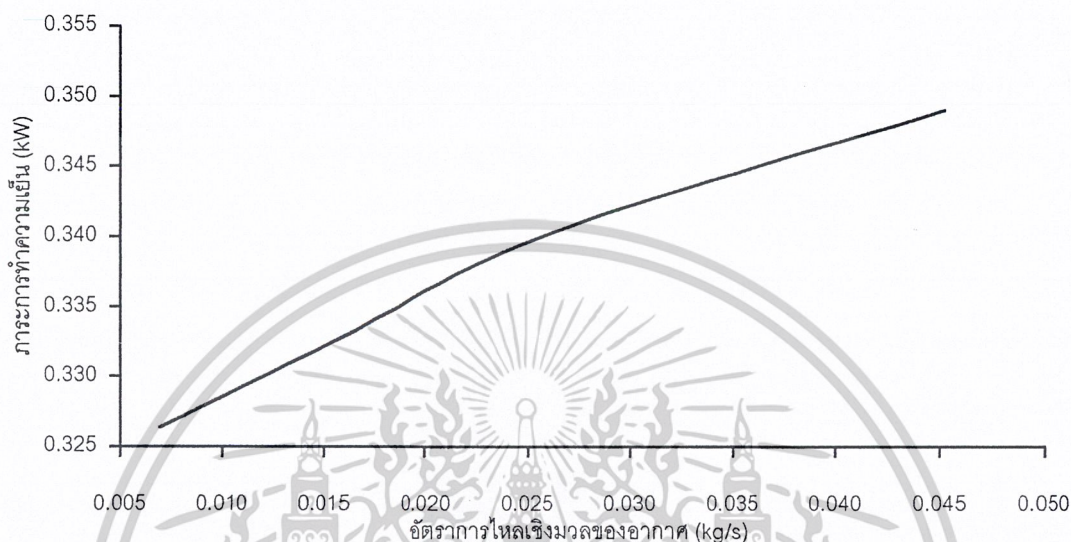
จากการทดลองแบบไม่หมุนเวียนลม โดยใช้ชุดทำความเย็น 3 ชุด โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศเชิงมวลกับค่าภาระการทำความเย็นและประสิทธิภาพการทำความเย็นดังรูปที่ 6.8-6.13



รูปที่ 6.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศกับรอบการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

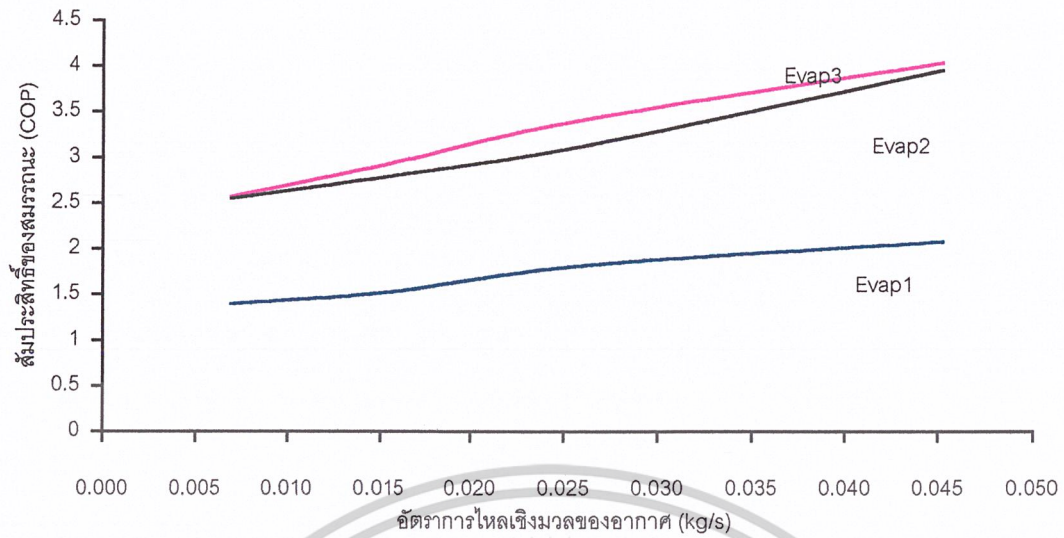
จากรูปที่ 6.8 สังเกตได้ว่า อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ แปรผันตรงกับความเร็วรอบของพัดลม กล่าวคือ เมื่อรอบการทำงานสูงขึ้น ส่งผลให้อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศมาก และที่รอบการทำงานที่ 862 rpm มีอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศมากที่สุดคือ 0.04527 kg/s



รูปที่ 6.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศเชิงมวล กับค่าภาระการทำความเย็น

จากรูปที่ 6.9 สังเกตได้ว่า ภาระการทำความเย็น แปรผันตรงกับอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ กล่าวคือ เมื่ออากาศไหลผ่านคอยล์เย็นที่อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ปริมาณพลังงานความร้อนถ่ายเทจากอากาศเข้าสู่คอยล์เย็นมากขึ้น ทำให้ผลต่างของอุณหภูมิก่อนเข้ากับอุณหภูมิหลังจากคอยล์เย็นเพิ่มขึ้น ได้ภาระการทำความเย็นมากขึ้น จากการทดลองและวิเคราะห์ผล โดยอาศัยข้อมูลพื้นฐานจากชาร์ทของสารทำงาน R-12 พบว่าชุดทดลองสามารถรับภาระการทำความเย็นได้สูงสุด 0.349 kW ที่อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศสูงสุด 0.04527 kg/s ซึ่งเป็นอัตราการไหลสูงสุดเท่าที่ชุดทดลองจะทำได้

จากรูปที่ 6.10 สังเกตได้ว่า ประสิทธิภาพการทำความเย็นแปรผันตรงกับอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ กล่าวคือ เมื่ออัตราการไหลเชิงมวลของอากาศไหลผ่านคอยล์เย็นเพิ่มขึ้น จะมีผลต่างของอุณหภูมิที่ผ่านคอยล์เย็นเพิ่มขึ้นด้วย ทำให้ได้ภาระการทำความเย็นเพิ่มขึ้น ส่งผลให้สัมประสิทธิ์ของสมรรถนะเพิ่มตามไปด้วย จากการวิเคราะห์ผลพบว่าที่อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศสูงสุด 0.04527 kg/s ซึ่งเป็นอัตราการไหลสูงสุดของชุดทดลอง มีค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะสูงสุดเท่ากับ 4.04



รูปที่ 6.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราไอน้ำที่ระเหยของอากาศกับค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะ (COP)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

จากการทดลอง การทำงานที่สภาวะต่าง ๆ ของระบบทำความเย็นอย่างง่าย ที่ออกแบบและสร้างขึ้น สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1) อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศผ่านอีแวปโปเรเตอร์มีอิทธิพลต่ออุณหภูมิต่ำสุดภายในห้องเย็นโดยตรงกล่าวคือ เมื่ออัตราการไหลเชิงมวลของอากาศมากขึ้น โดยที่ขนาดเครื่องทำความเย็นเท่าเดิม จะมีผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อนที่อีแวปโปเรเตอร์ในอัตราที่สูงขึ้น ทำให้อุณหภูมิต่ำสุดที่ทำได้มีค่าสูงขึ้น

2) อุณหภูมิต่ำสุดที่ชุดทดลองทำได้คือ  $-10.2^{\circ}\text{C}$  โดยการใช้ชุดทำความเย็น 3 ชุด กับพัดลมที่ระดับความเร็ว 250 rpm

3) ค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะสูงสุด และภาระการทำความเย็นสูงสุดมีค่าเป็น 4.04 และ 0.349 kW ตามลำดับ

4) ค่า COP ของเครื่องทำความเย็นจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อเครื่องทำความเย็นทำงานที่อุณหภูมิต่ำลง แสดงถึงอัตราความสิ้นเปลืองพลังงานที่มากขึ้น เมื่อใช้เครื่องทำความเย็นที่อุณหภูมิต่ำลง

ผลการทดลองสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมอาหารได้โดยตรง กล่าวคือ เมื่อมีการแช่แข็ง หรือทำความเย็นผลิตภัณฑ์อาหาร ควรมีเครื่องทำความเย็นที่ปรับอัตราการไหลของอากาศภายในได้ เพื่อการประหยัดพลังงาน โดยในช่วงแรกปรับอัตราการไหลให้มากเพื่อถ่ายเทความร้อนออกจากผลิตภัณฑ์ให้เร็วที่สุด หลังจากนั้นค่อย ๆ ลด อัตราการไหลของอากาศลงจะทำให้ผลิตภัณฑ์สามารถเก็บอยู่ที่อุณหภูมิต่ำสุดที่ต้องการภายในเวลารวดเร็ว และประหยัดพลังงานมากที่สุด

## เอกสารอ้างอิง

1. อัครเดช สิ้นธุภัก “การทำความเย็น” วิศวกรรมศาสตร์ (วิศวกรรมเครื่องกล) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2. ดร. ไพบุลย์ หัวสพฤกษ์ และ เสือโซ โซไค “การปรับอากาศ” สำนักพิมพ์ดวงกมล
3. อติพงษ์ นันทพันธุ์(2540) “การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบทำความเย็นที่ใช้ฮีวาปอเรเตอร์แบบสัสม์ผัสโดยตรง”วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. วิศวกรรมศาสตร์ (วิศวกรรมเครื่องกล) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. บัณฑิตวิทยาลัย
4. ญาณวุฒิ สุพิชญางกูร(2538) “การปรับปรุงเครื่องปรับอากาศ แบบแยกส่วนระบายความร้อนอากาศ” วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. วิศวกรรมศาสตร์ (วิศวกรรมเครื่องกล)จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. บัณฑิตวิทยาลัย
5. ธนาคม ศูนย์ชัชชานกแสง และ เวทย์ กิติคุณ “การทำงานของคอมเพรสเซอร์” ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
6. O. Badr, P. W. O’Callaghan & S. D. Probert Department of Applied Energy, Cranfield Institute of Technology, Bedford MK 430AL, UK
7. วิไล รังสาตทอง “เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร” คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
8. การถนอมและแปรรูปอาหาร สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมราช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

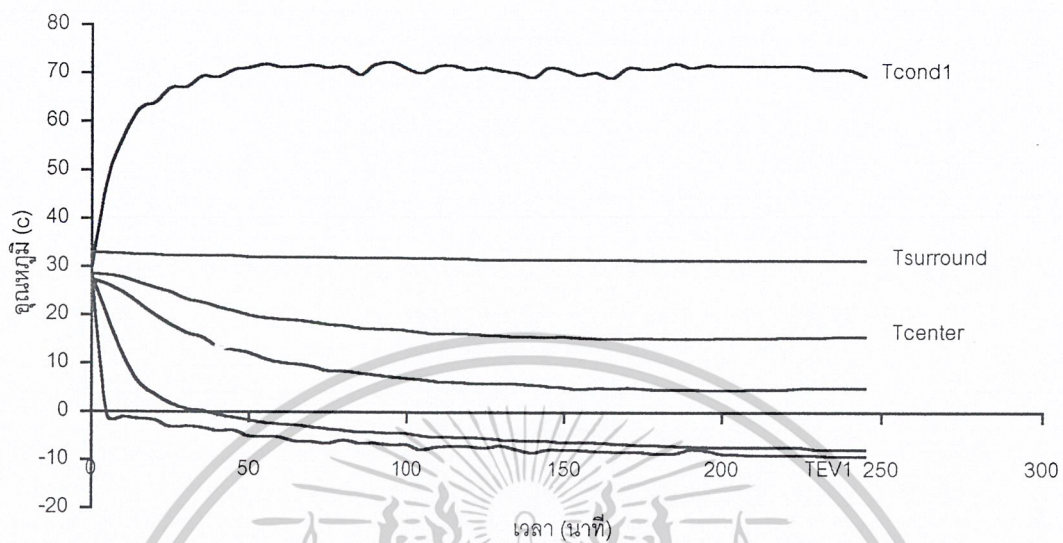


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

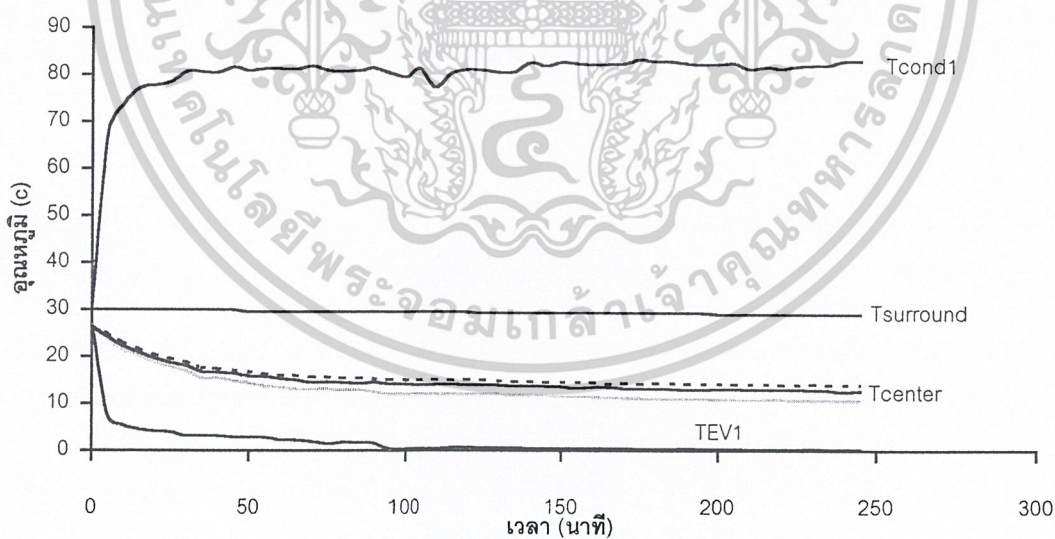


ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

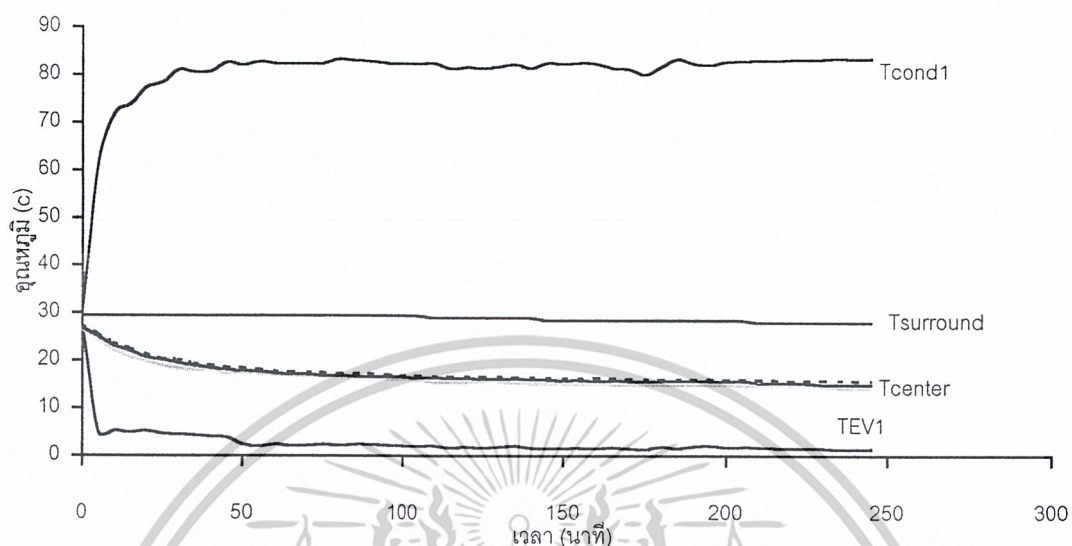


รูปที่ ก.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา จากการทดลองแบบหมุนเวียนลมกลับ โดยใช้ชุดทำความเย็น 1 ชุด ที่ความเร็วรอบพัดลม 250 rpm.

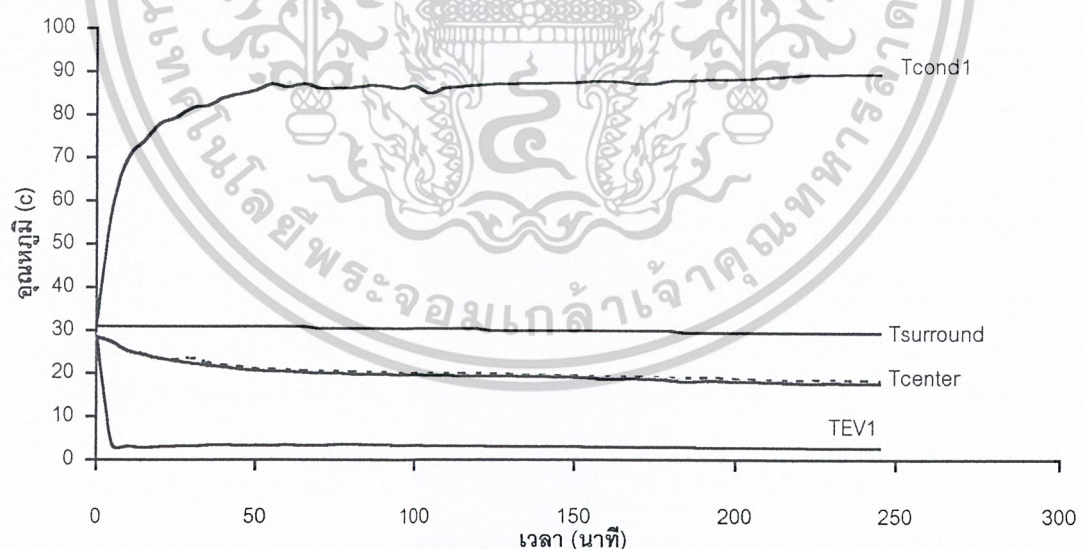


รูปที่ ก.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา จากการทดลองแบบหมุนเวียนลมกลับ โดยใช้ชุดทำความเย็น 1 ชุด ที่ความเร็วรอบพัดลม 500 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

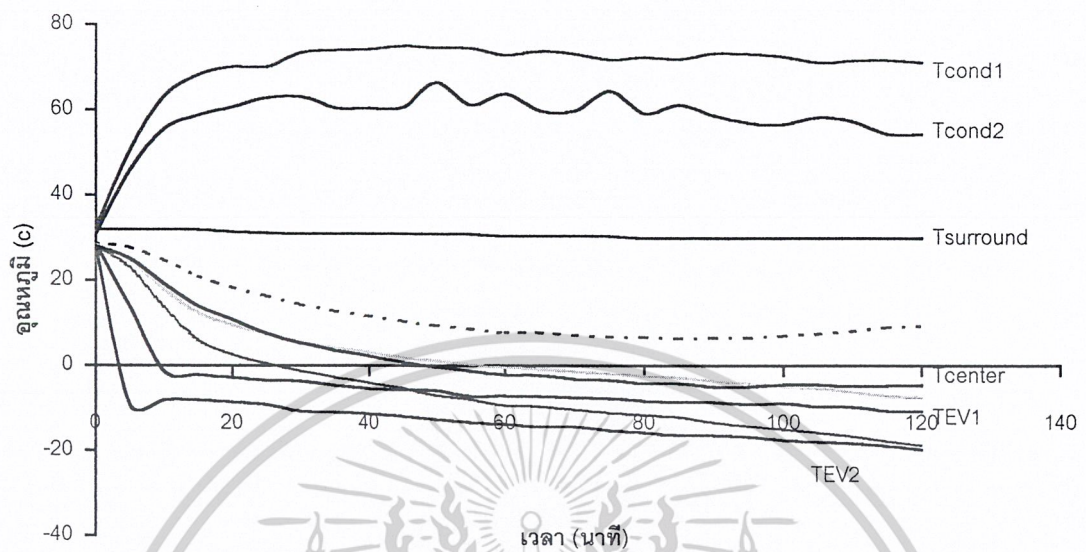


รูปที่ ก.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา จากการทดลองแบบหมุนเวียนลมกลับ โดยใช้ชุดทำความเย็น 1 ชุด ที่ความเร็วรอบพัดลม 700 rpm

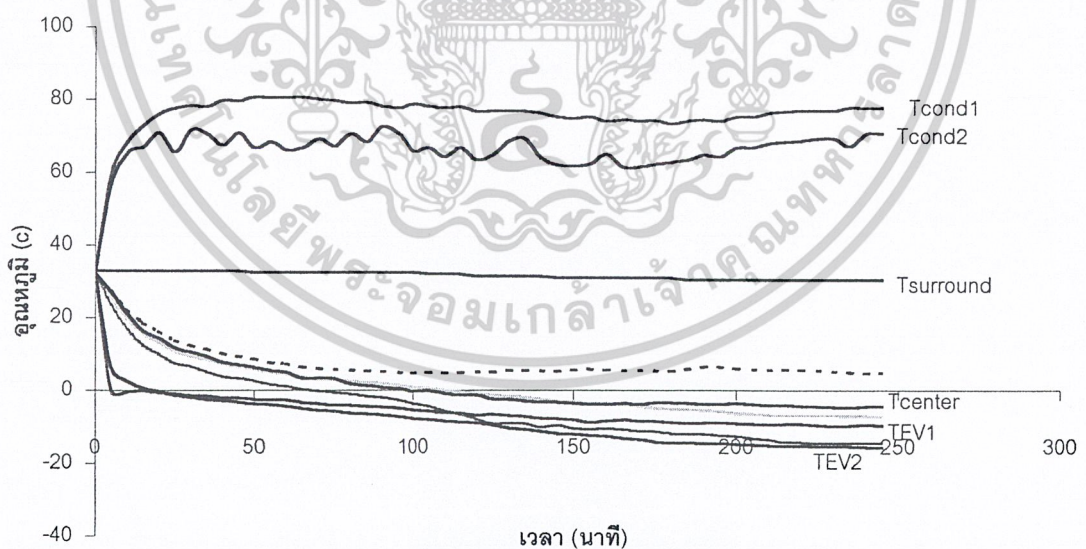


รูปที่ ก.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา จากการทดลองแบบหมุนเวียนลมกลับ โดยใช้ชุดทำความเย็น 1 ชุด ที่ความเร็วรอบพัดลม 862 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

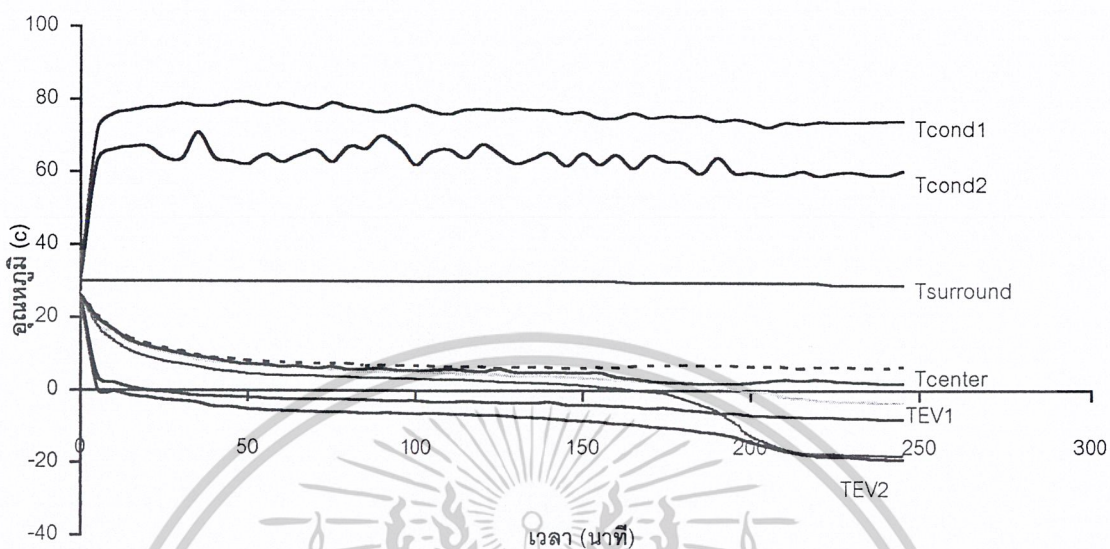


รูปที่ ก.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา จากการทดลองแบบหมุนเวียนลมกลับ โดยใช้ชุดทำความเย็น 2 ชุด ที่ความเร็วรอบพัดลม 250 rpm

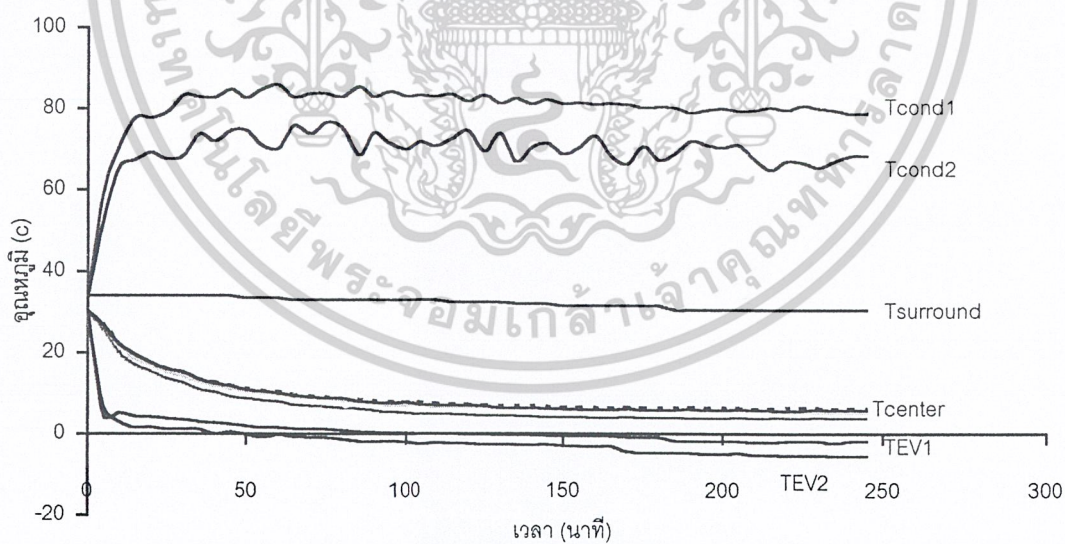


รูปที่ ก.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา จากการทดลองแบบหมุนเวียนลมกลับ โดยใช้ชุดทำความเย็น 2 ชุด ที่ความเร็วรอบพัดลม 500 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

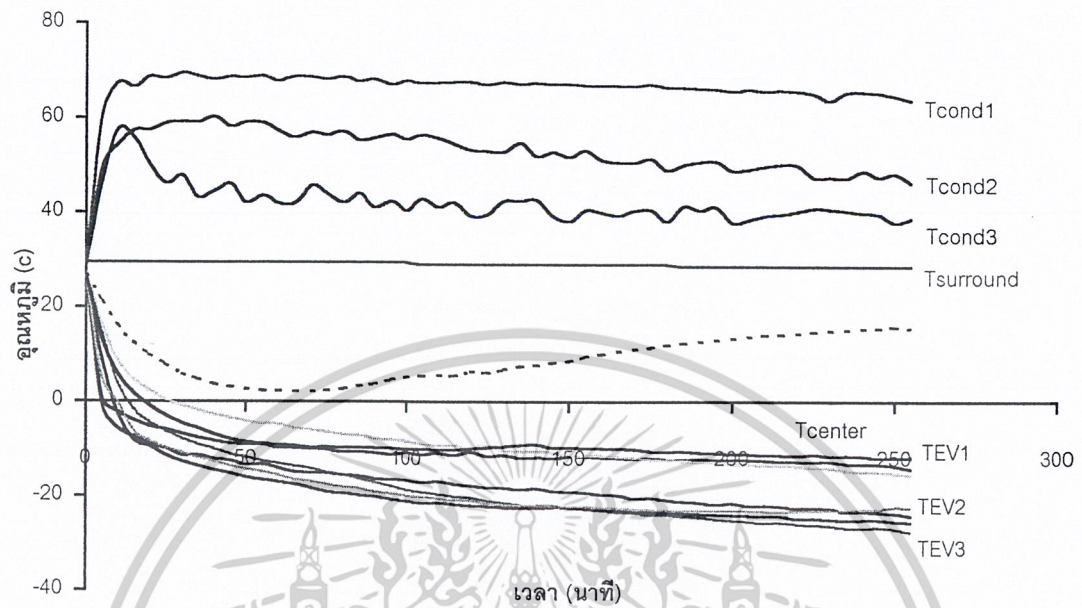


รูปที่ ก.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา จากการทดลองแบบหมุนเวียนลมกลับ โดยใช้ชุดทำความเย็น 2 ชุด ที่ความเร็วรอบพัดลม 700 rpm

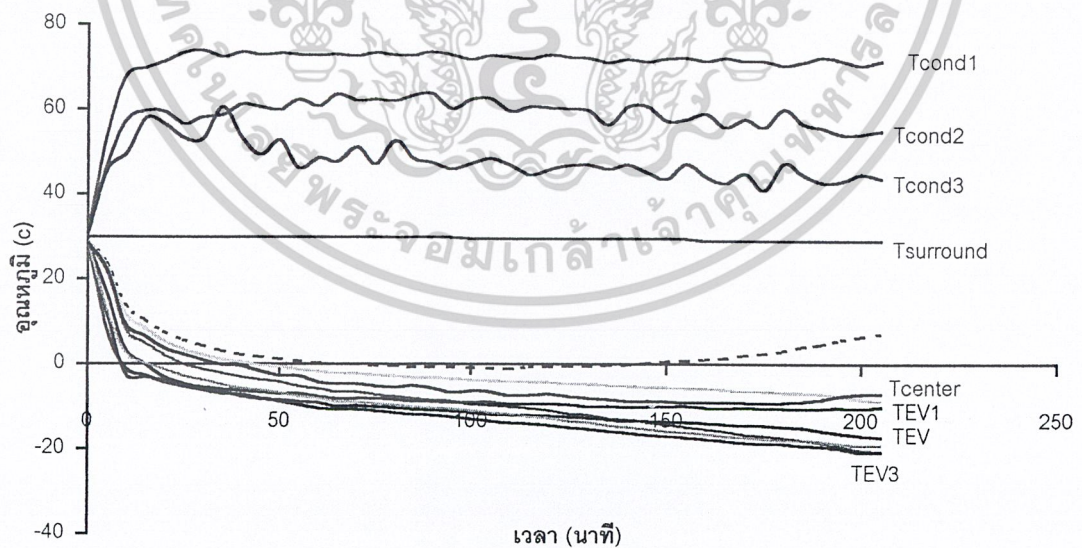


รูปที่ ก.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา จากการทดลองแบบหมุนเวียนลมกลับ โดยใช้ชุดทำความเย็น 2 ชุด ที่ความเร็วรอบพัดลม 862 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

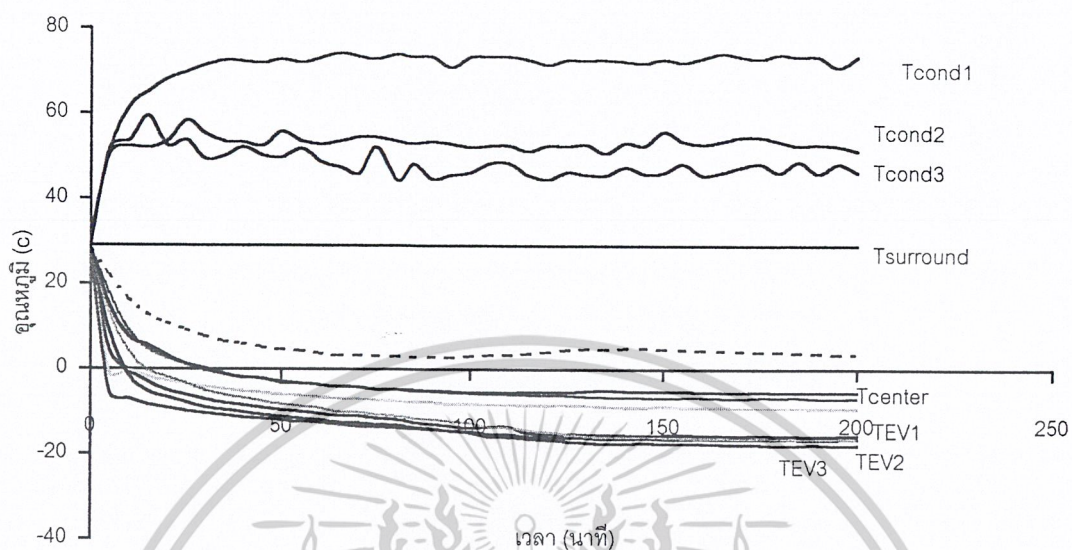


รูปที่ ก.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา จากการทดลองแบบหมุนเวียนลมกลับ โดยใช้ชุดทำความเย็น 3 ชุด ที่ความเร็วรอบพัดลม 250 rpm

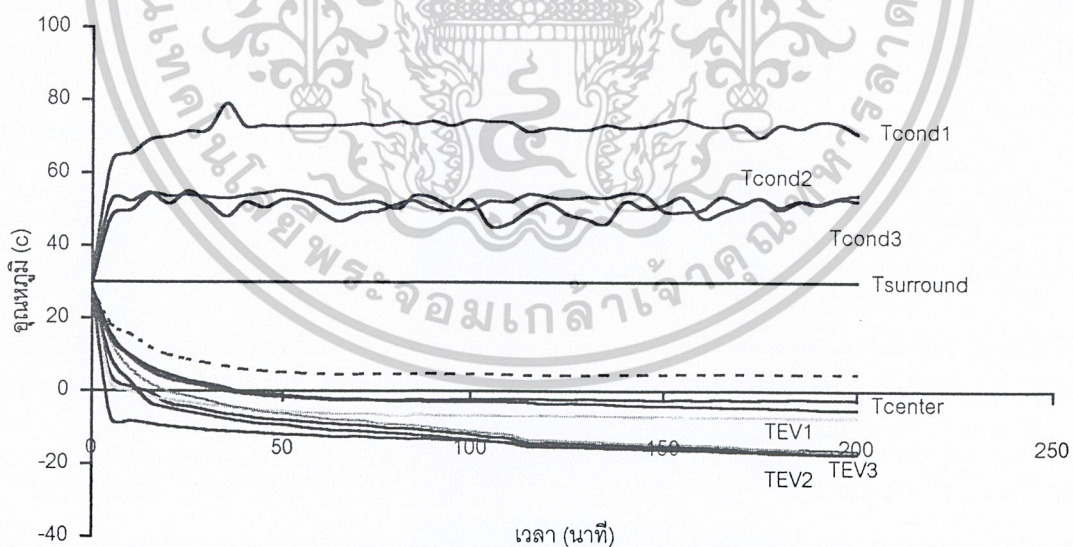


รูปที่ ก.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา จากการทดลองแบบหมุนเวียนลมกลับ โดยใช้ชุดทำความเย็น 3 ชุด ที่ความเร็วรอบพัดลม 500 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

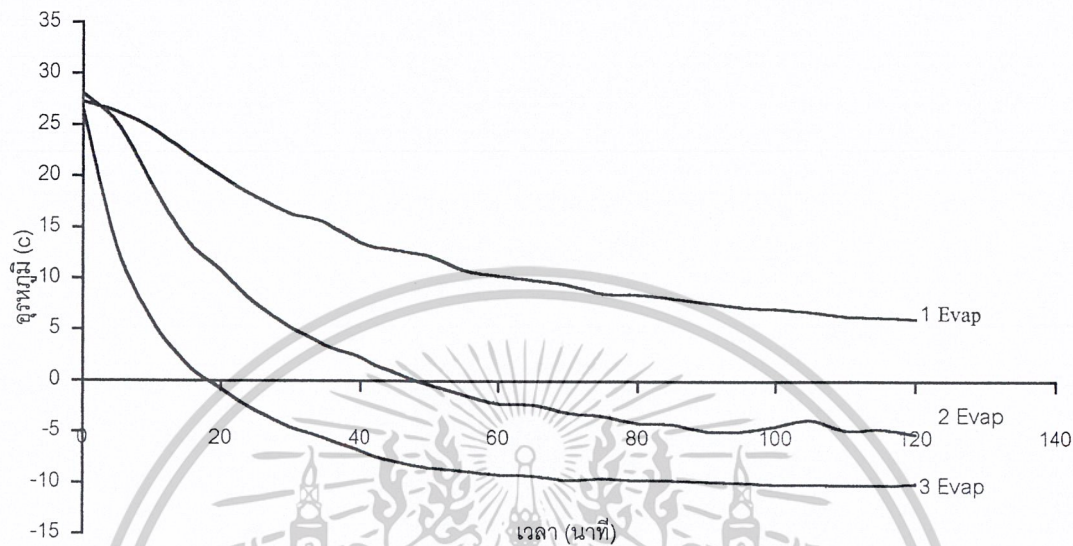


รูปที่ ก.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา จากการทดลองแบบหมุนเวียนลมกลับ โดยใช้ชุดทำความเย็น 3 ชุด ที่ความเร็วรอบพัดลม 700 rpm

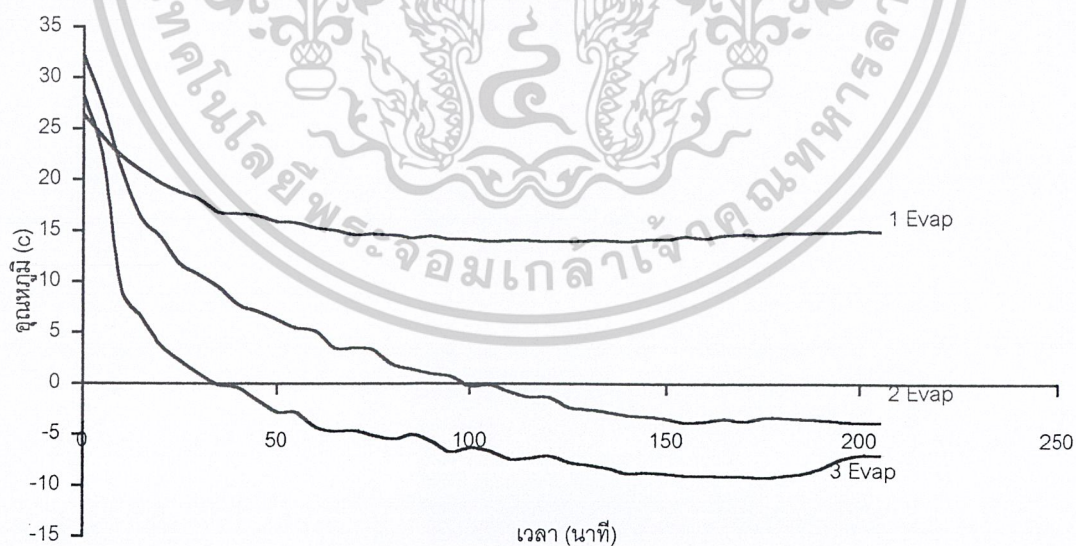


รูปที่ ก.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา จากการทดลองแบบหมุนเวียนลมกลับ โดยใช้ชุดทำความเย็น 3 ชุด ที่ความเร็วรอบพัดลม 862 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

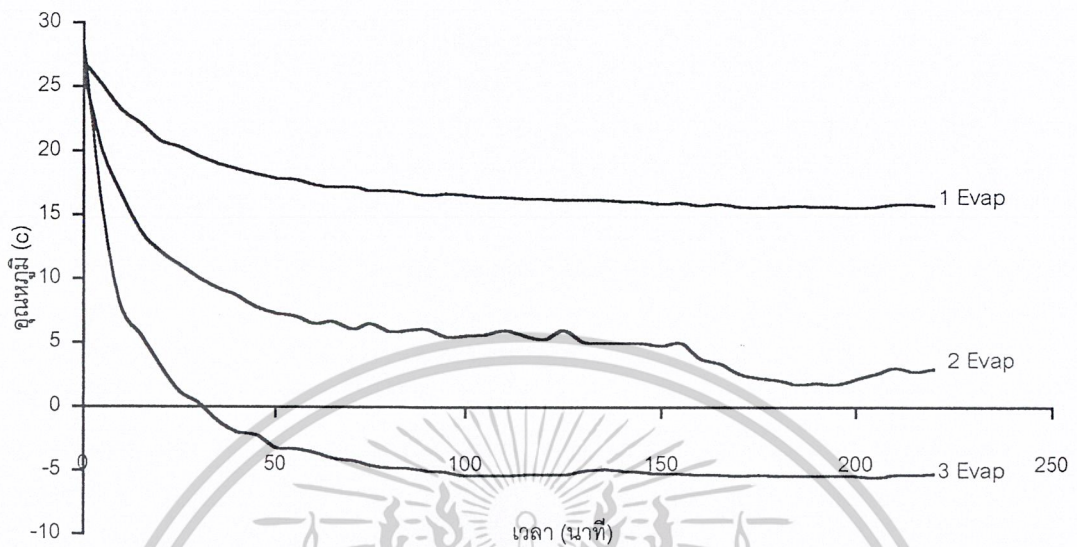


รูปที่ ก.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่กลางห้องเย็นกับเวลา จากการทดลองแบบหมุนเวียนลมกลับ และความเร็วรอบพัดลม 250 rpm เมื่อจำนวนชุดทำความเย็นต่างกัน

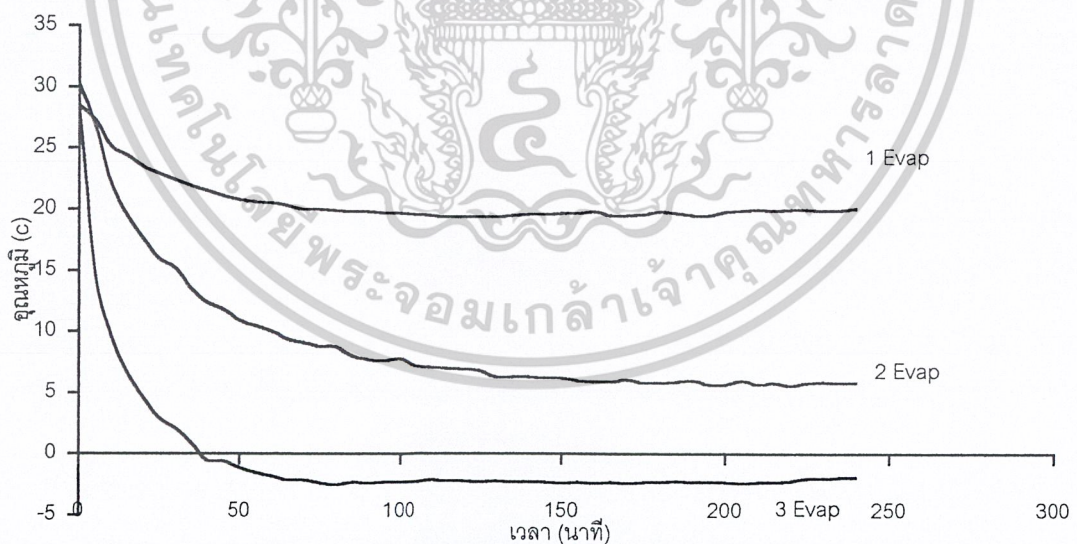


รูปที่ ก.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่กลางห้องเย็นกับเวลา จากการทดลองแบบหมุนเวียนลมกลับ และความเร็วรอบพัดลม 500 rpm เมื่อจำนวนชุดทำความเย็นต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

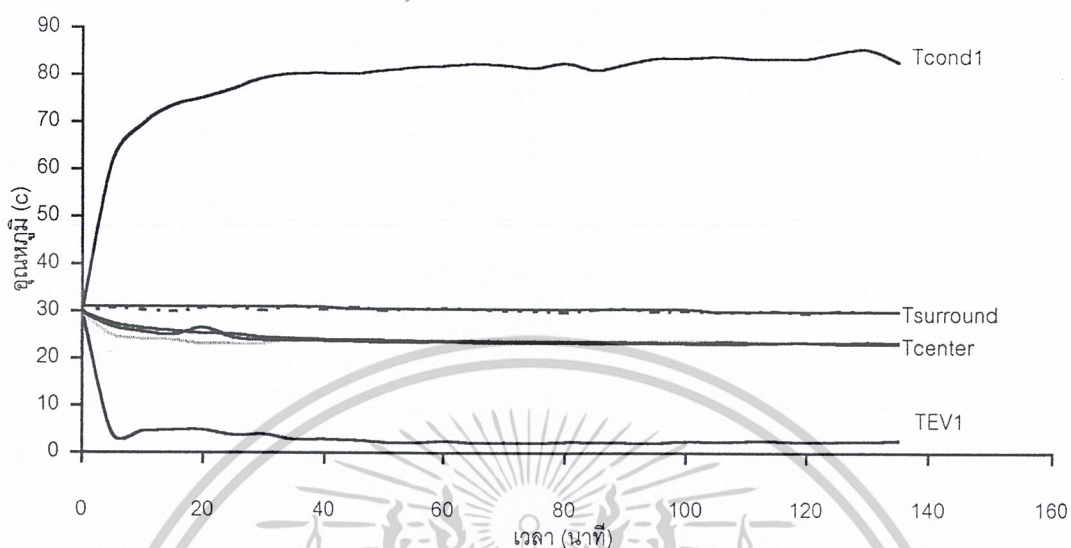


รูปที่ ก.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่กึ่งกลางห้องเย็นกับเวลา จากการทดลองแบบหมุนเวียนลมกลับ และความเร็วรอบพัดลม 700 rpm เมื่อจำนวนชุดทำความเย็นต่างกัน

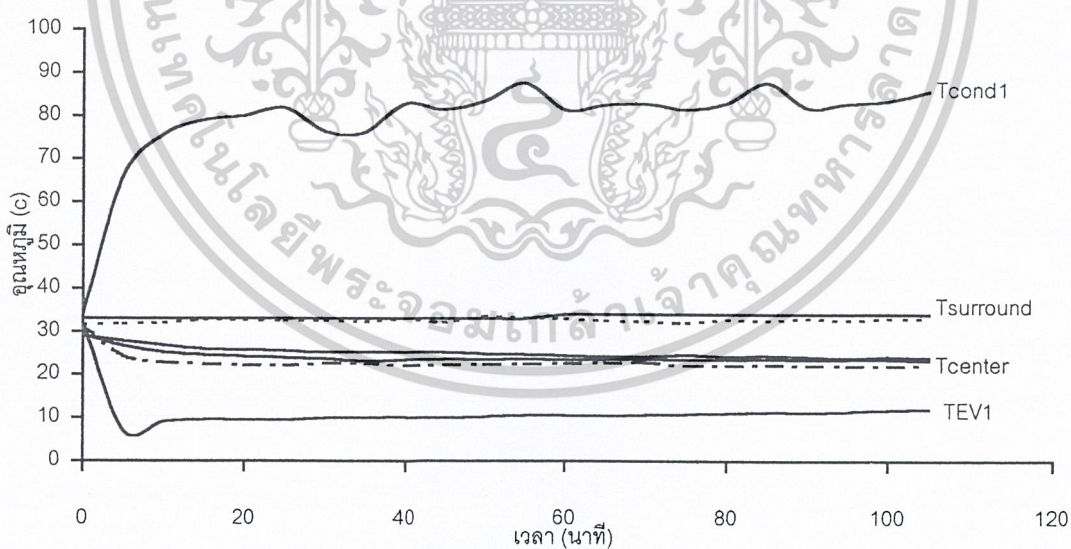


รูปที่ ก.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่กึ่งกลางห้องเย็นกับเวลา จากการทดลองแบบหมุนเวียนลมกลับ และความเร็วรอบพัดลม 862 rpm เมื่อจำนวนชุดทำความเย็นต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

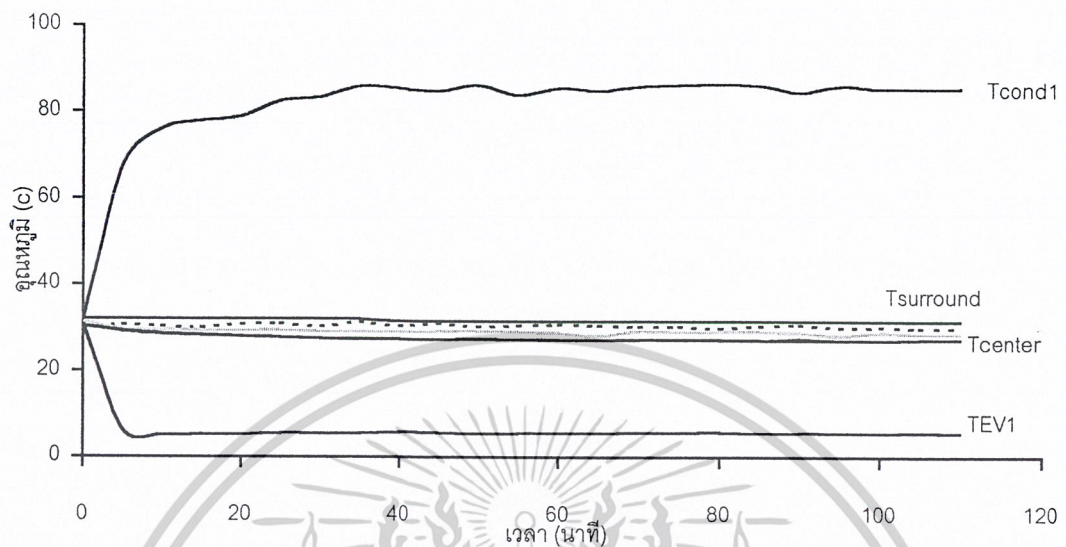


รูปที่ ก.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา จากการทดลองแบบไม่หมุนเวียนลมกลับ โดยใช้ชุดทำความเย็น 1 ชุด ที่ความเร็วรอบพัดลม 250 rpm.

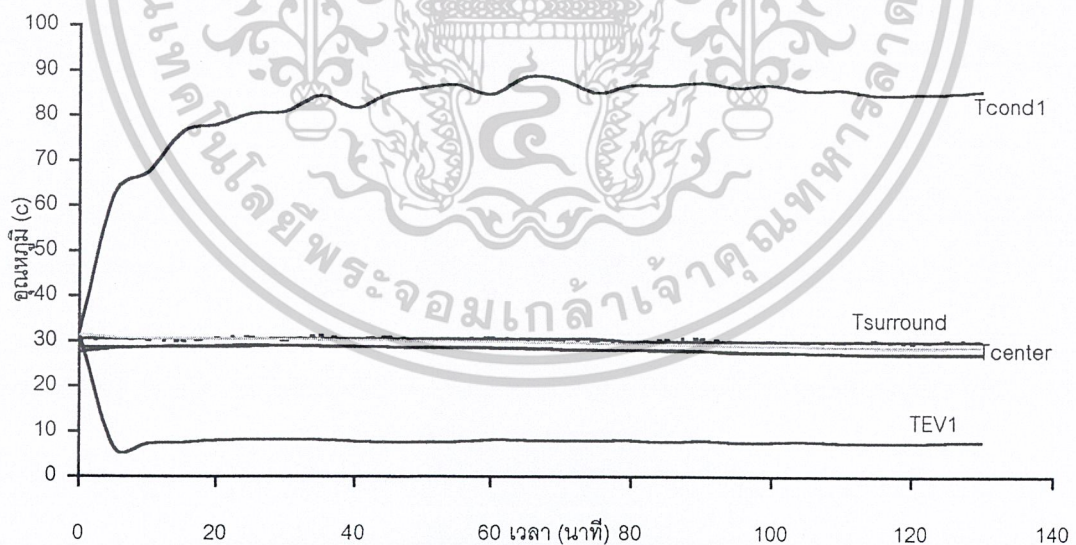


รูปที่ ก.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา จากการทดลองแบบไม่หมุนเวียนลมกลับ โดยใช้ชุดทำความเย็น 1 ชุด ที่ความเร็วรอบพัดลม 500 rpm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

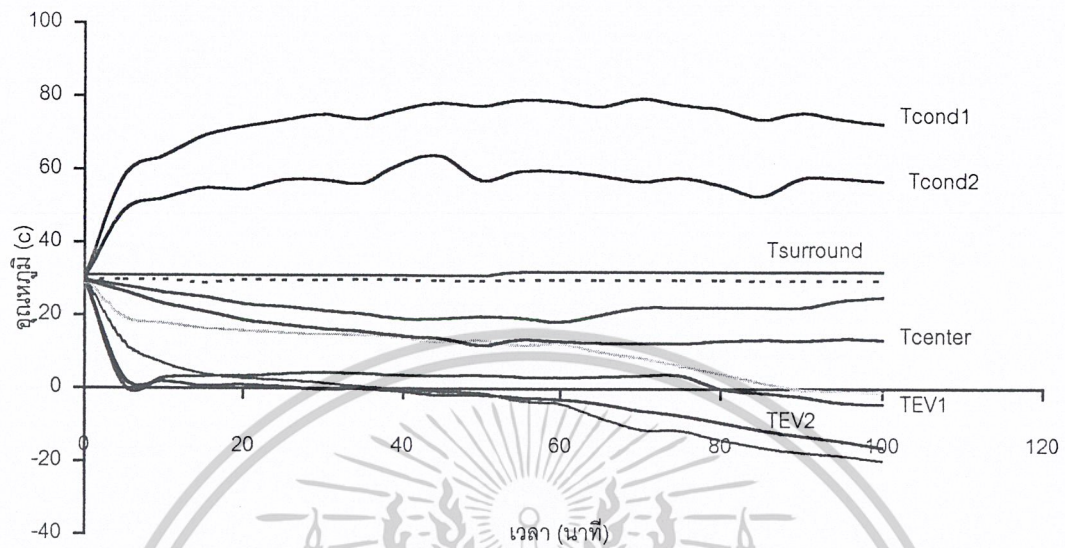


รูปที่ ก.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา จากการทดลองแบบไม่หมุนเวียนลมกลับ โดยใช้ชุดทำความเย็น 1 ชุด ที่ความเร็วรอบพัดลม 700 rpm.

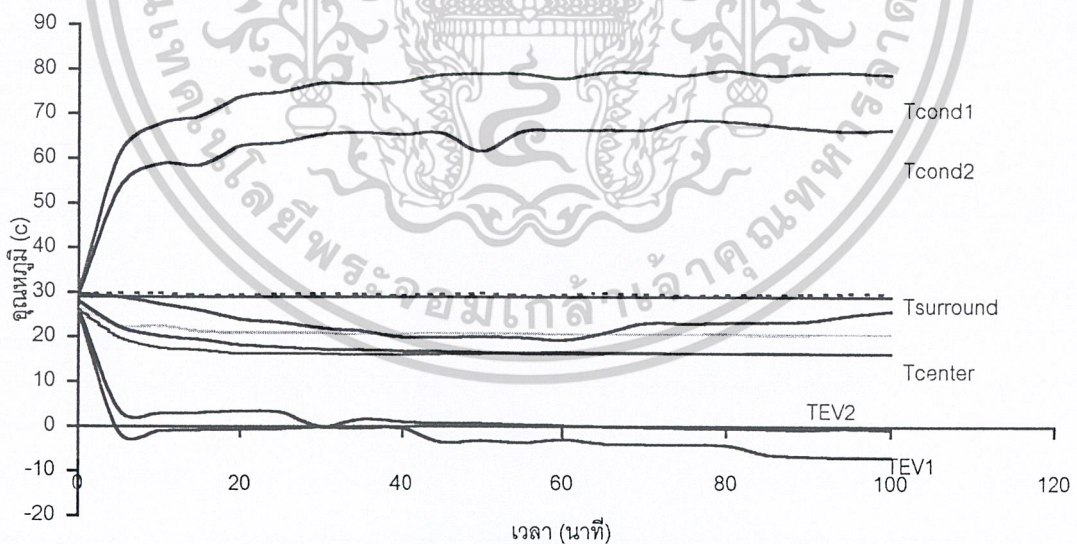


รูปที่ ก.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา จากการทดลองแบบไม่หมุนเวียนลมกลับ โดยใช้ชุดทำความเย็น 1 ชุด ที่ความเร็วรอบพัดลม 862 rpm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

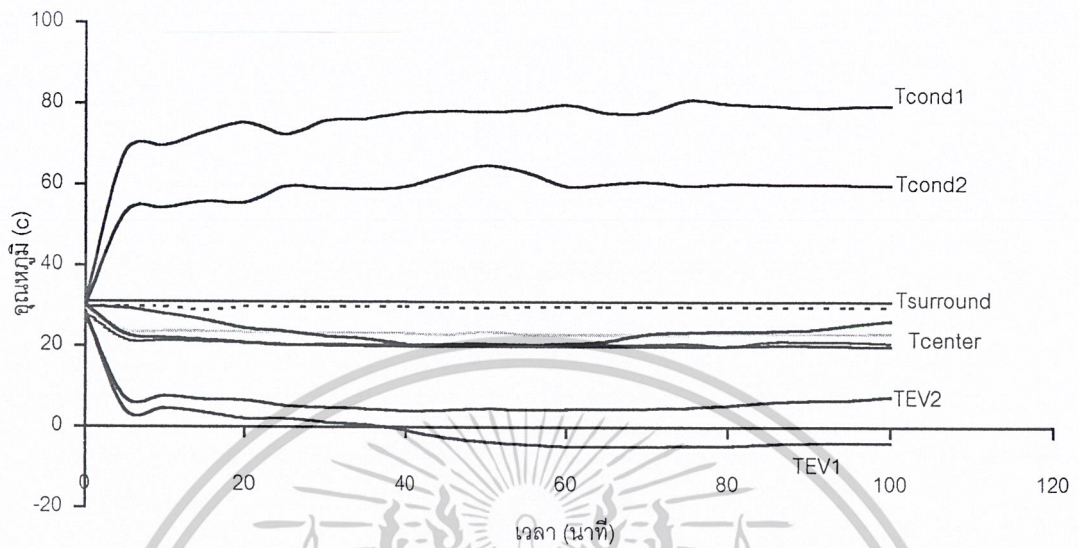


รูปที่ ก.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา จากการทดลองแบบไม่หมุนเวียนลมกลับ โดยใช้ชุดทำความเย็น 2 ชุด ที่ความเร็วรอบพัดลม 250 rpm.

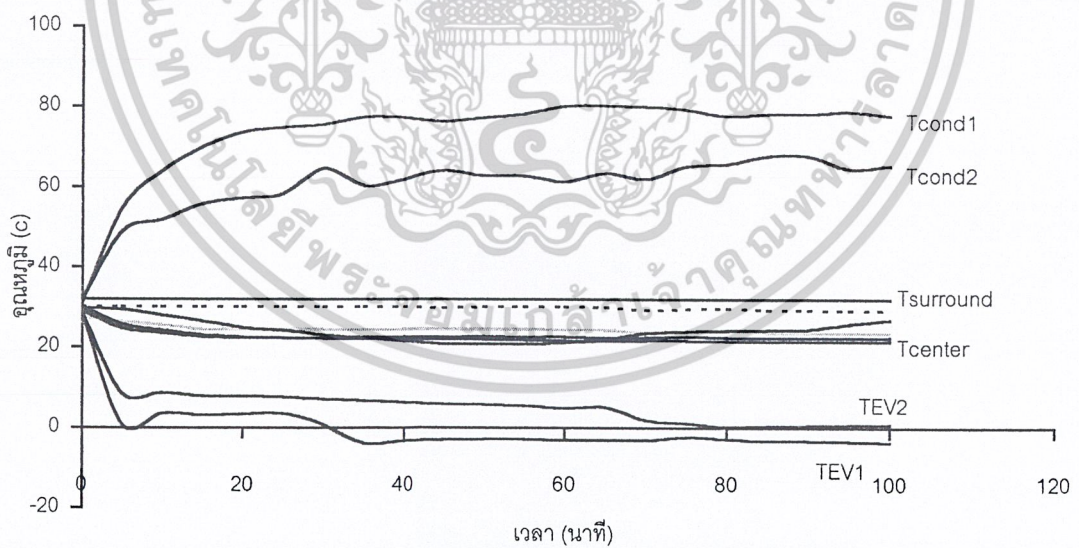


รูปที่ ก.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา จากการทดลองแบบไม่หมุนเวียนลมกลับ โดยใช้ชุดทำความเย็น 2 ชุด ที่ความเร็วรอบพัดลม 500 rpm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

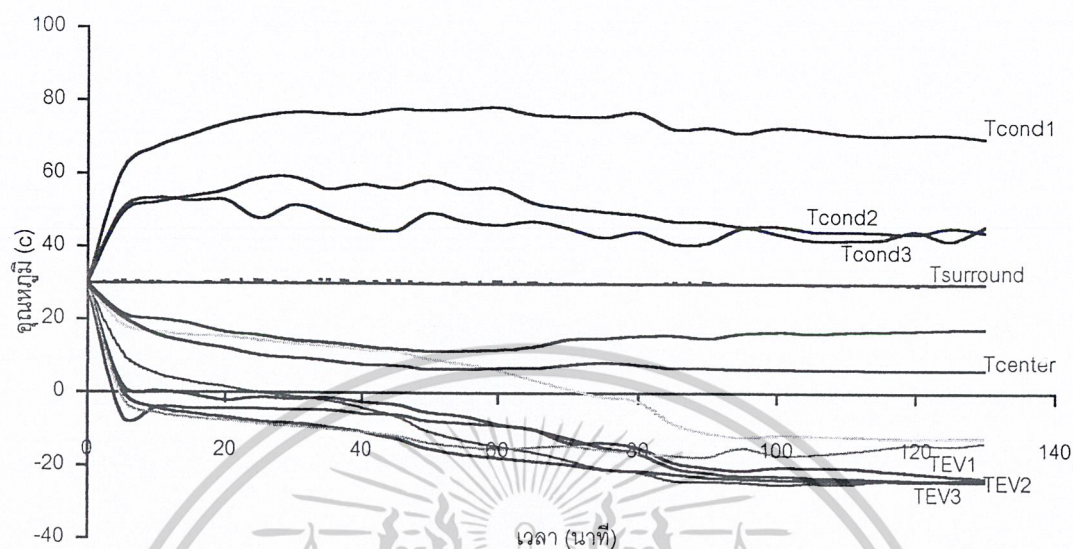


รูปที่ ก.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา จากการทดลองแบบไม่หมุนเวียนลมกลับ โดยใช้ชุดทำความเย็น 2 ชุด ที่ความเร็วรอบพัดลม 700 rpm.

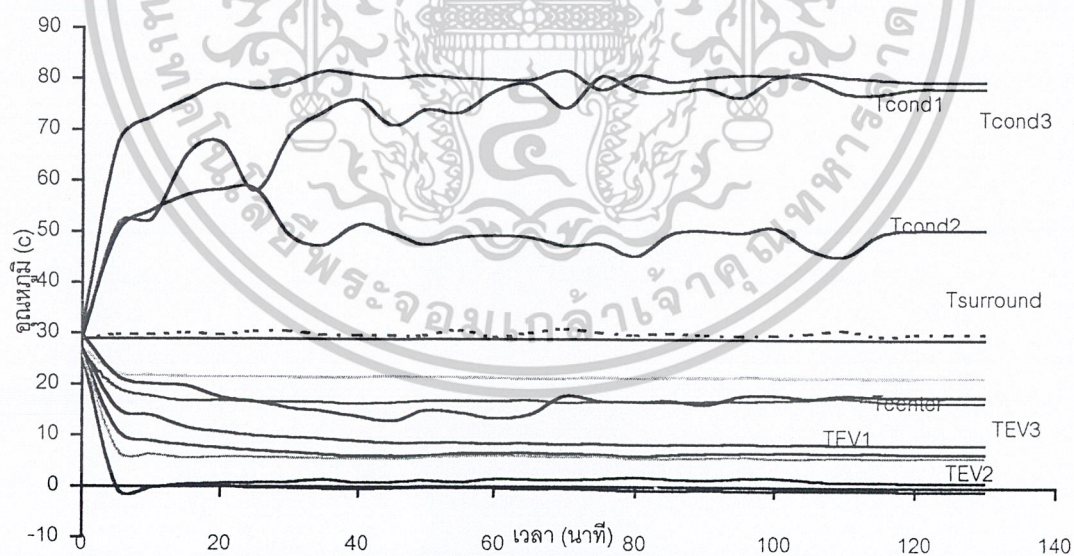


รูปที่ ก.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา จากการทดลองแบบไม่หมุนเวียนลมกลับ โดยใช้ชุดทำความเย็น 2 ชุด ที่ความเร็วรอบพัดลม 862 rpm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

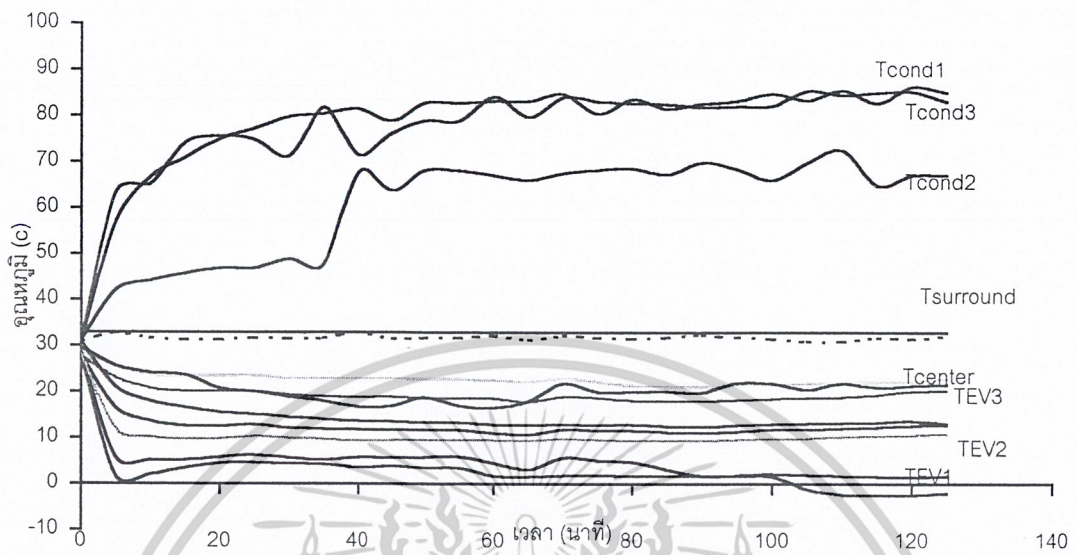


รูปที่ ก.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา จากการทดลองแบบไม่หมุนเวียนลมกลับ โดยใช้ชุดทำความเย็น 3 ชุด ที่ความเร็วรอบพัดลม 250 rpm.

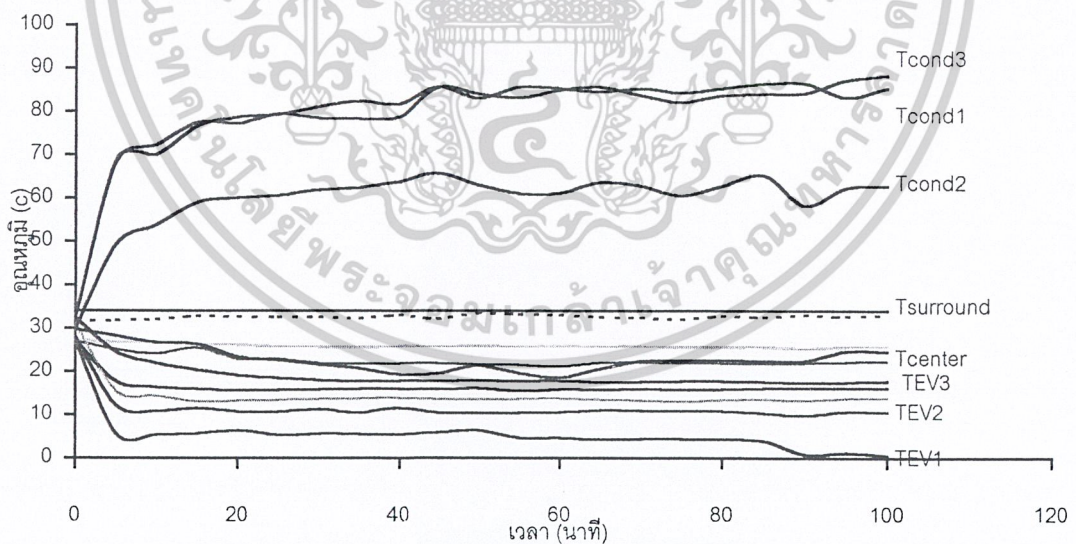


รูปที่ ก.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา จากการทดลองแบบไม่หมุนเวียนลมกลับ โดยใช้ชุดทำความเย็น 3 ชุด ที่ความเร็วรอบพัดลม 500 rpm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

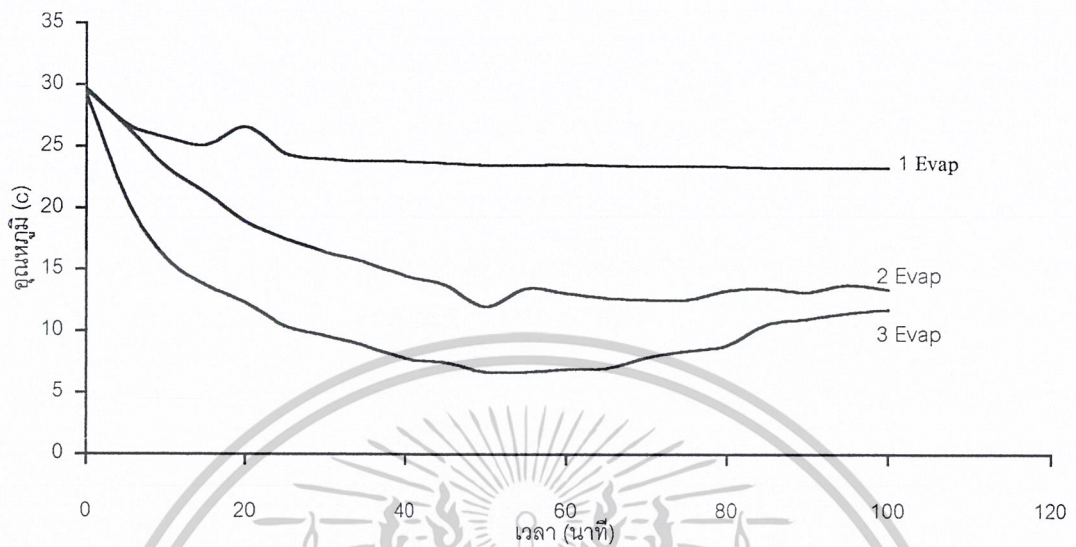


รูปที่ ก.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา จากการทดลองแบบไม่หมุนเวียนลมกลับ โดยใช้ชุดทำความเย็น 3 ชุด ที่ความเร็วรอบพัดลม 700 rpm.

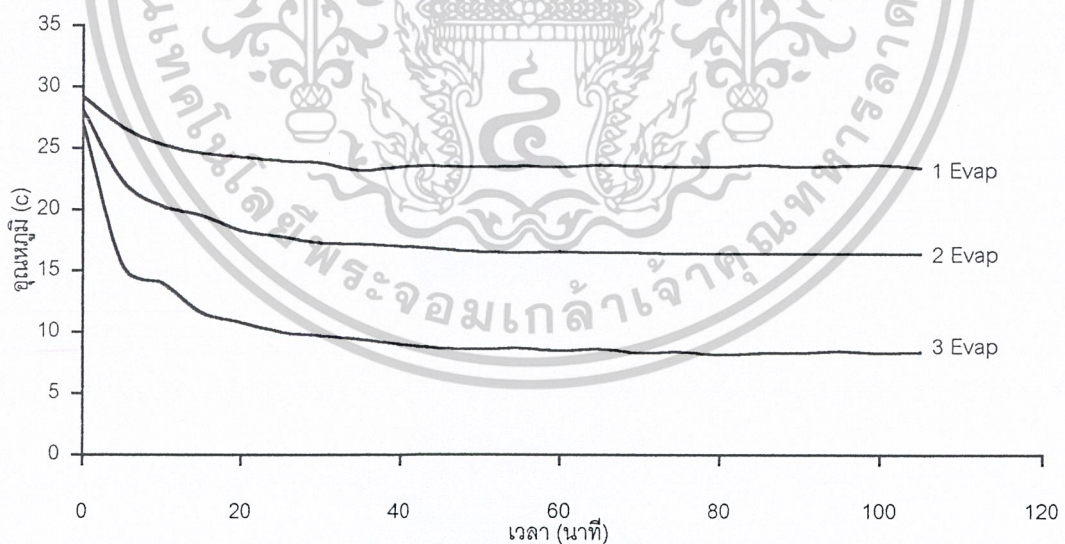


รูปที่ ก.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา จากการทดลองแบบไม่หมุนเวียนลมกลับ โดยใช้ชุดทำความเย็น 3 ชุด ที่ความเร็วรอบพัดลม 862 rpm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

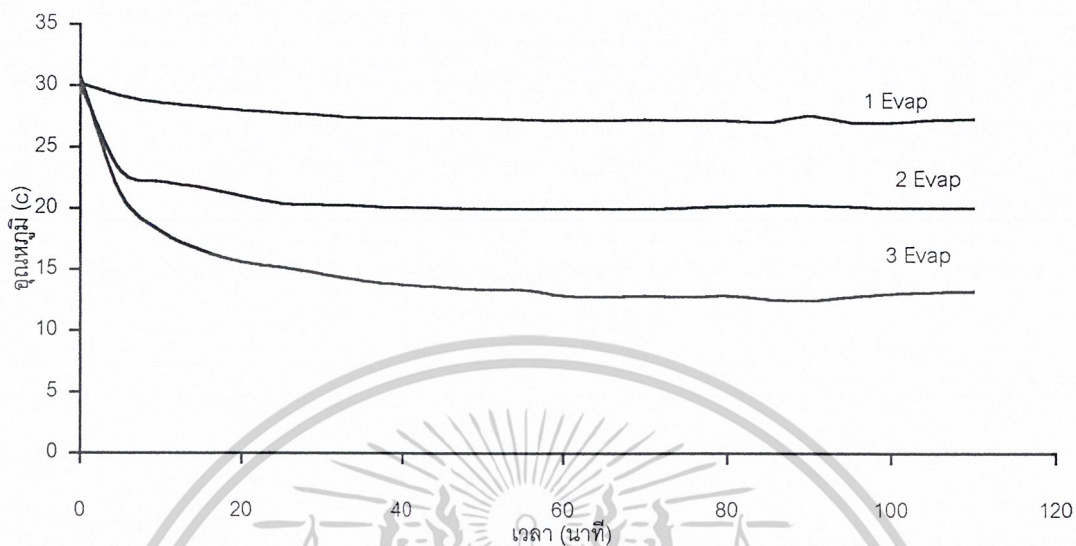


รูปที่ ก.29 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่กึ่งกลางห้องเย็นกับเวลา จากการทดลองแบบไม่หมุนเวียนลมกลับ และความเร็วรอบพัดลม 250 rpm เมื่อจำนวนชุดทำความเย็นต่างกัน

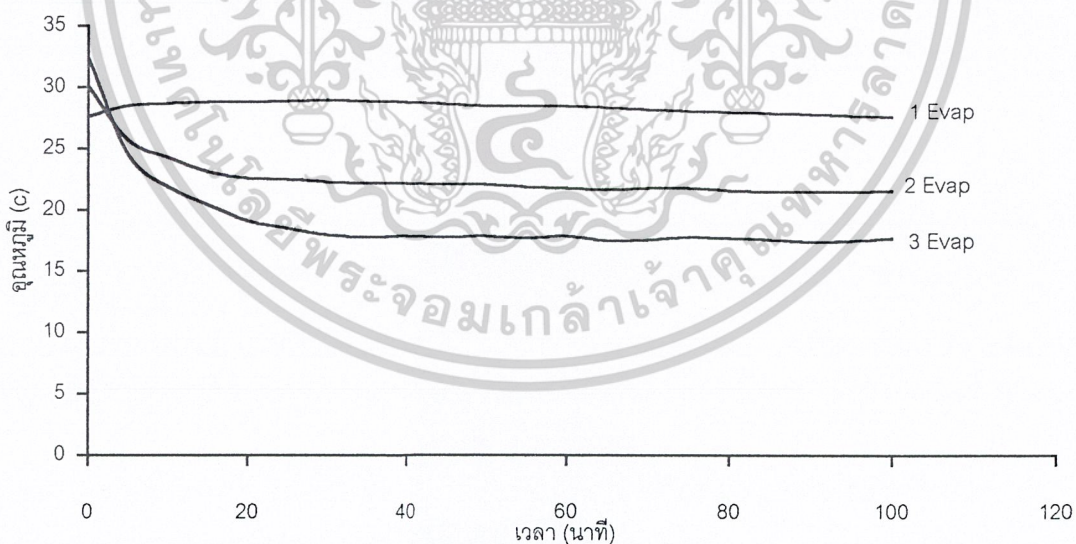


รูปที่ ก.30 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่กึ่งกลางห้องเย็นกับเวลา จากการทดลองแบบไม่หมุนเวียนลมกลับ และความเร็วรอบพัดลม 500 rpm เมื่อจำนวนชุดทำความเย็นต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

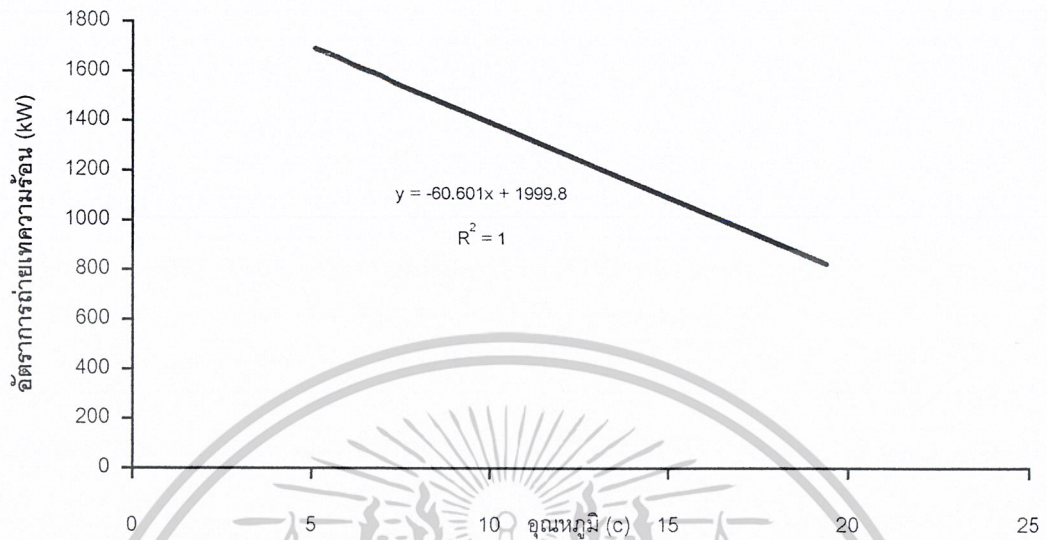


รูปที่ ก.31 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่กึ่งกลางห้องเย็นกับเวลา จากการทดลองแบบไม่หมุนเวียนลมกลับ และความเร็วรอบพัดลม 700 rpm เมื่อจำนวนชุดทำความเย็นต่างกัน

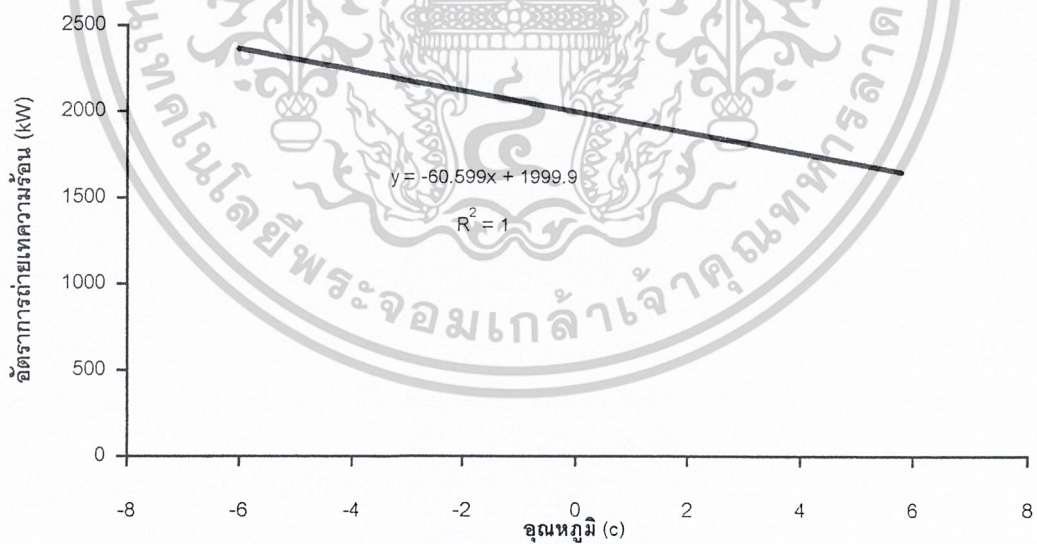


รูปที่ ก.32 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่กึ่งกลางห้องเย็นกับเวลา จากการทดลองแบบไม่หมุนเวียนลมกลับ และความเร็วรอบพัดลม 862 rpm เมื่อจำนวนชุดทำความเย็นต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

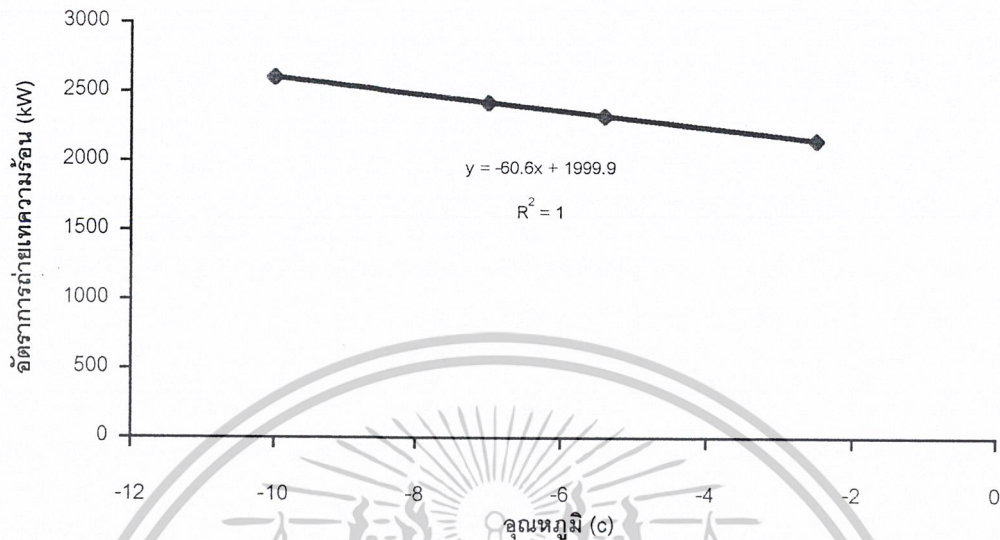


รูปที่ ก.33 กราฟแสดงแนวโน้มอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังห้องเย็นที่อุณหภูมิระดับต่าง ๆ ของห้องเย็น (ใช้ชุดทำความเย็น 1 ชุด)



รูปที่ ก.34 กราฟแสดงแนวโน้มอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังห้องเย็นที่อุณหภูมิระดับต่าง ๆ ของห้องเย็น (ใช้ชุดทำความเย็น 2 ชุด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.35 กราฟแสดงแนวโน้มอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังห้องเย็นที่อุณหภูมิระดับต่าง ๆ ของห้องเย็น (ใช้ชุดทำความเย็น 3 ชุด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ผลการทดลองวัดอุณหภูมิที่จุดต่างๆ แบบหมุนเวียนลมกลับ โดยใช้ชุดทำความเย็น 1 ชุด 250 rpm

เวลา (นาที)	T <sub>sur</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>
0	33.0	28.4	28.0	28.2	27.3	29.9
5	32.9	28.3	-0.9	19.7	26.3	48.1
10	32.8	27.8	-1.0	11.6	24.7	56.9
15	32.5	26.7	-1.5	5.9	22.3	62.7
20	32.5	25.7	-1.7	3.6	20.0	64.0
25	32.3	24.8	-3.1	1.7	18.0	67.0
30	32.3	23.4	-2.9	0.6	16.4	67.3
35	32.3	22.7	-3.3	0.3	15.5	69.5
40	32.3	21.7	-3.9	-0.6	13.5	69.3
45	32.3	20.9	-3.8	-1.1	12.8	70.8
50	32.0	20.0	-5.0	-1.7	12.3	71.2
55	32.0	19.5	-5.1	-2.3	10.9	72.0
60	32.0	19.1	-5.3	-2.6	10.3	71.4
65	32.0	19.0	-6.1	-2.7	9.9	71.5
70	32.0	18.6	-6.1	-3.1	9.4	71.8
75	32.0	18.1	-6.5	-3.5	8.6	71.2
80	31.9	17.9	-5.8	-3.8	8.5	71.5
85	31.9	17.4	-6.5	-4.1	8.1	69.8
90	31.9	17.3	-6.4	-4.1	7.7	71.9
95	31.9	17.1	-6.8	-4.4	7.3	72.3
100	31.9	16.9	-6.7	-4.4	7.1	71.1
105	31.9	16.6	-7.7	-4.8	6.8	70.2
110	31.9	16.2	-7.1	-5.1	6.4	71.7
115	31.8	16.4	-7.0	-5.1	6.3	71.8
120	31.8	16.2	-7.0	-5.3	6.1	70.9
125	31.6	16.0	-7.4	-5.4	5.9	71.3
130	31.6	15.9	-6.9	-5.7	5.9	70.7
135	31.6	15.7	-7.7	-5.8	5.9	70.2
140	31.6	15.7	-8.4	-5.9	5.7	69.4
145	31.6	15.6	-7.7	-5.9	5.4	71.3
150	31.6	15.7	-7.8	-6.3	5.2	70.8
155	31.6	15.5	-7.8	-6.1	4.8	69.8
160	31.6	15.4	-8.0	-6.2	5.1	70.3
165	31.6	15.3	-8.1	-6.5	5.0	69.3
170	31.6	15.3	-8.2	-6.6	5.2	71.4
175	31.4	15.4	-8.3	-6.8	4.9	71.0
180	31.4	15.2	-8.6	-6.8	4.7	71.2
185	31.4	15.3	-8.5	-6.9	4.7	72.2
190	31.4	15.2	-7.6	-7.0	4.7	71.4
195	31.4	15.3	-7.9	-7.1	4.6	71.9
200	31.4	15.4	-8.6	-7.2	4.6	71.7
205	31.4	15.4	-8.7	-7.3	4.6	71.7
210	31.4	15.4	-8.9	-7.3	4.7	71.7
215	31.4	15.4	-8.9	-7.3	4.7	71.7
220	31.4	15.5	-8.9	-7.3	4.7	71.7
225	31.4	15.5	-8.9	-7.3	5.1	71.7
230	31.4	15.5	-8.9	-7.7	5.1	70.9
235	31.4	15.7	-9.1	-7.7	5.1	70.9
240	31.4	15.7	-9.1	-7.7	5.1	70.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 ผลการทดลองวัดอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ แบบหมุนเวียนสมกลับ โดยใช้ชุดทำความเย็น 1 ชุด 500 rpm

เวลา (นาที)	T <sub>sur</sub>	T1	T2	T3	T8	T9
0	30.0	26.7	26.8	26.9	26.4	31.0
5	30.0	24.9	7.4	24.0	24.2	68.0
10	30.0	23.1	5.4	21.7	22.3	73.7
15	30.0	21.7	4.5	20.3	20.9	77.2
20	30.0	20.5	4.1	18.9	19.7	77.8
25	30.0	19.7	4	17.9	18.8	78.5
30	30.0	18.9	3.2	17.0	18.1	80.8
35	30.0	17.7	3.2	15.4	16.8	80.7
40	30.0	17.5	3.2	15.4	16.7	80.6
45	30.0	17.2	2.8	14.9	16.5	81.7
50	29.5	16.8	2.8	14.4	15.9	80.9
55	29.5	16.4	2.8	13.8	15.8	81.4
60	29.5	16.0	2.3	13.5	15.3	81.4
65	29.5	16.0	2.3	13.2	15.1	81.3
70	29.5	15.7	1.9	13.1	14.6	81.9
75	29.5	15.7	1.5	13.2	14.7	81.0
80	29.5	15.4	1.8	13.0	14.6	80.8
85	29.5	15.4	1.7	13.0	14.3	81.0
90	29.5	15.3	1.6	12.5	14.5	81.6
95	29.5	15.1	0.5	12.2	14.2	80.4
100	29.5	15.1	0.5	12.1	14.2	79.7
105	29.5	15.0	0.4	12.0	14.0	81.5
110	29.5	15.1	0.5	12.0	14.1	77.5
115	29.5	15.0	0.7	12.0	14.1	80.4
120	29.5	15.1	0.7	12.1	14.0	81.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 ผลการทดลองวัดอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ แบบหมุนเวียนลมกลับ โดยใช้ชุดทำความเย็น 1 ชุด 700 rpm

เวลา (นาที)	T <sub>sur</sub>	T1	T2	T3	T8	T9
0	29.5	27.3	27.7	26.5	26.9	30.6
5	29.5	25.6	4.9	24.3	25.1	62
10	29.5	23.7	5.3	22.3	23.2	71.9
15	29.5	22.6	4.9	20.8	22.1	73.9
20	29.5	21.5	5.3	19.9	20.8	77.4
25	29.5	20.5	4.7	19	20.3	78.5
30	29.5	20.2	4.5	18.5	19.6	81.1
35	29.5	19.5	4.4	18.1	19	80.7
40	29.5	19.1	4.1	18.2	18.6	80.8
45	29.5	18.7	3.9	17.4	18.2	82.7
50	29.5	18.6	2.5	17.6	17.9	82.1
55	29.5	18.2	2	17.2	17.8	82.8
60	29.5	17.9	2.5	17	17.4	82.5
65	29.5	17.7	2.1	16.9	17.2	82.3
70	29.5	17.5	2.2	16.7	17.2	82.4
75	29.5	17.5	2.5	16.6	16.9	82.5
80	29.5	17.3	2.2	16.4	16.9	83.4
85	29.5	17.3	2.5	16.4	16.8	83
90	29.5	17.3	2.4	16.4	16.6	82.9
95	29.5	17.1	2.2	16.2	16.7	82.5
100	29.5	16.9	2.1	16.1	16.6	82.3
105	29.5	16.9	2	16	16.4	82.4
110	29	16.8	2.1	15.5	16.4	82.5
115	29	16.6	1.7	15.4	16.3	81.3
120	29	16.7	1.9	15.4	16.3	81.7
125	29	16.6	1.7	15.8	16.2	81.4
130	29	16.6	1.9	15.8	16.2	81.8
135	29	16.5	2.1	15.3	16.2	82.2
140	29	16.5	1.7	15.3	16.1	81.5
145	28.5	16.4	1.6	15.2	16.1	82.6
150	28.5	16.3	1.6	15.3	15.9	82.4
155	28.5	16.3	1.7	15.1	16	82.6
160	28.5	16.4	1.6	15.2	15.8	82.4
165	28.5	16.3	1.8	15.1	15.9	81.5
170	28.5	16.2	1.6	15	15.7	81.2
175	28.5	16.1	1.4	15	15.6	80.1
180	28.5	16.1	1.9	14.8	15.7	81.8
185	28.5	16.1	1.6	14.8	15.8	83.4
190	28.5	16.1	2	14.8	15.7	82.3
195	28.5	16.2	2.1	14.8	15.7	82.1
200	28.5	16	1.8	14.8	15.6	82.8
205	28.5	16.1	1.9	14.7	15.7	82.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 ผลการทดลองวัดอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ แบบหมุนเวียนลมกลับ โดยใช้ชุดทำความเย็น 1 ชุด 862 rpm

เวลา (นาที)	T <sub>sur</sub>	T1	T2	T3	T8	T9
0	31	29	29.5	29.5	28.5	31
5	31	27.5	3.7	27.4	27.3	58.1
10	31	25.4	3.2	25.1	25.2	70.2
15	31	24.6	2.9	24.3	24.4	73.9
20	31	23.7	3.1	23.4	23.5	78
25	31	23.3	3.2	22.9	22.9	79.3
30	31	23.7	3.2	22.3	22.4	81.7
35	31	22.7	3.5	21.8	21.9	82.2
40	31	22	3.5	21.5	21.5	84
45	31	21.6	3.4	21.1	21.1	84.9
50	31	21.2	3.4	20.7	20.8	85.8
55	31	21	3.4	20.6	20.6	87.2
60	31	20.9	3.5	20.5	20.5	86.5
65	31	20.7	3.4	20.3	20.3	87.2
70	31	20.6	3.4	20.2	20	86.2
75	31	20.6	3.6	20.1	20	86.3
80	31	20.4	3.6	20.1	19.9	86.4
85	31	20.3	3.5	19.9	19.8	86.9
90	31	20.3	3.5	19.9	19.8	86.8
95	31	20.2	3.3	19.9	19.7	86.2
100	31	20.1	3.3	19.8	19.7	86.7
105	31	20.1	3.2	19.8	19.6	85.2
110	31	20	3.2	19.7	19.5	86.4
115	31	20	3.2	19.7	19.4	86.6
120	31	20	3.2	19.6	19.4	87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 ผลการทดลองวัดอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ แบบหมุนเวียนลมกลับ โดยใช้ชุดทำความเย็น 2 ชุด 250 rpm

เวลา (นาที)	T <sub>sur</sub>	T1	T2	T3	T4	T5	T8	T9	T10
0	32	28.7	28.5	28.6	27.9	28.3	28.1	32.5	31
5	32	27.8	13.8	24.9	-9.2	23	25.2	50.7	46
10	32	24.8	-1.3	18	-8	13.7	19.3	63.3	55.6
15	32	21	-2.2	12.5	-8	6.1	13.9	68.3	58.9
20	31.4	18.4	-2.8	9.5	-8.6	2.7	10.8	70.2	60.8
25	31.2	16.3	-3.5	7.5	-9.2	0.5	7.6	70.2	62.9
30	31	14.3	-3.7	5.5	-10.7	-1.3	5.3	73.4	63.1
35	31	12.8	-4.6	4.1	-11	-2.8	3.5	74.1	60.5
40	31	11.7	-5.4	3.1	-11.3	-4	2.3	74.3	60.5
45	31	10.4	-5.7	1.9	-12	-5.3	0.8	75.1	60.7
50	31	9.6	-5.8	1.3	-12.6	-6.9	-0.3	74.7	66.5
55	31	8.7	-7.2	0.3	-13.3	-7.9	-1.3	74.6	61.2
60	30.5	7.8	-7	-0.4	-13.7	-9.3	-2.2	72.9	63.9
65	30.5	7.8	-7.2	-0.8	-14.4	-9.6	-2.3	73.8	59.9
70	30.5	7.2	-7.6	-1.4	-14.3	-10.3	-3.1	73.2	59.9
75	30.5	6.8	-7.7	-1.9	-15.2	-11.1	-3.4	71.8	64.5
80	30	6.7	-8.3	-2.4	-15.7	-11.6	-4.1	72.5	59.3
85	30	6.4	-8.6	-2.8	-16.3	-12.1	-4.2	71.9	61.2
90	30	6.5	-8.5	-3.6	-16.4	-13.3	-4.9	73.3	58.8
95	30	6.6	-9	-4.1	-16.7	-14.2	-4.9	73.2	57
100	30	7	-8.8	-4.8	-17.5	-15	-4.4	72.6	56.7
105	30	7.5	-9.5	-5.3	-17.8	-15.7	-13.8	71.2	58.4
110	30	8.2	-9.7	-6.2	-18.2	-16.6	-14.8	71.7	57.3
115	30	9	-10.6	-7	-18.9	-17.7	-14.7	71.8	54.5
120	30	9.3	-10.7	-7.5	-19.7	-18.7	-15.2	71.2	54.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.6 ผลการทดลองวัดอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ แบบหมุนเวียนลมกลับ โดยใช้ชุดทำความเย็น 2 ชุด 500 rpm

เวลา (นาที)	T <sub>sur</sub>	T1	T2	T3	T4	T5	T8	T9	T10
0	33	32.1	32.5	32.7	32.6	32.7	32.2	33.1	32.8
5	33	27.3	-0.1	25.8	6.2	23.5	27.2	59.7	56.9
10	33	22.4	-0.2	19.8	2.5	16.8	21	68.6	65.5
15	33	18.5	0	15.9	0.6	12.5	16.3	73	67.2
20	33	16.4	-0.5	13.4	-0.3	10	14.4	76.1	71
25	33	13.9	-0.8	10.9	-1.2	7.6	11.8	77.7	65.6
30	33	12.4	-1.4	9.6	-1.9	6.7	10.7	78.5	71.8
35	33	11.5	-1.4	8.6	-2.4	5.2	9.5	78.2	70.6
40	33	10.2	-2	7.4	-2.7	3.9	7.8	79.9	67.6
45	33	9.4	-2	6.6	-3.2	3.4	7.1	79.7	71
50	32.5	8.7	-2.4	5.9	-3.6	2.7	6.3	80.8	66.8
55	32.5	7.7	-2.6	5.1	-3.9	1.7	5.5	80.6	68.4
60	32.5	7.4	-2.6	4.6	-4.3	1.2	5.1	80.6	66.2
65	32.5	6.5	-3.3	3.8	-4.9	0.4	3.5	80.8	66.9
70	32.5	6.1	-3.6	3.1	-5.5	-0.1	3.5	80.2	69.4
75	32.5	5.8	-4	3	-5.6	-0.5	3.3	79.9	67.3
80	32.5	5.6	-4.1	2.6	-6.2	-1	1.8	79.1	70.7
85	32.5	5.3	-4.3	2.3	-6.4	-1.6	1.4	79.3	68.5
90	32.5	5.2	-4.5	2	-6.7	-1.9	1	78.3	72.7
95	32.5	5	-4.8	1.6	-7.1	-2.6	0.7	77.8	70.7
100	32.5	4.7	-5.3	0.9	-7.7	-3.6	-0.2	78.9	66
105	32	4.9	-5.6	0.6	-8	-4.4	-0.1	78.3	66.8
110	32	4.8	-6.1	0	-8.5	-5.6	-0.8	77.8	64.4
115	32	4.9	-6.2	-0.3	-8.7	-6.5	-1.3	78.2	66.9
120	31.5	5	-6.8	-0.7	-8.9	-7.9	-1.3	76.8	63.4
125	31.5	5.1	-6.6	-1.2	-9.5	-9	-2.3	76.9	64.9
130	31.5	5.5	-6.9	-1.6	-10.4	-10.3	-2.5	77	68.8
135	31.5	5.5	-7.2	-1.9	-10.6	-10.8	-2.8	77	69.3
140	31.5	5.5	-7.5	-2.3	-11.2	-11.8	-3.1	76.3	64.1
145	31	5.4	-7.7	-2.8	-11.8	-12.4	-3.2	75.4	62.2
150	31	5.7	-8	-3	-12	-13.1	-3.4	74.9	61.8
155	31	6	-8.7	-3.4	-12.4	-13.7	-3.8	75.3	62.5
160	31	6.7	-8.3	-3.4	-12.5	-13.9	-3.7	74.1	65.1
165	31	6.7	-8	-3.8	-13.1	-14.4	-3.4	74.6	61.5
170	31	7.3	-8.5	-4.2	-13.4	-14.9	-3.7	74.2	61.6
175	31	8.6	-8.5	-4.8	-14.1	-16.1	-3.3	74.3	62.3
180	31	8.6	-8.8	-5	-14.4	-16.2	-3.3	73.5	62.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.7 ผลการทดลองวัดอุณหภูมิที่จุดต่างๆ แบบหมุนเวียนลมกลับ โดยใช้ชุดทำความเย็น 2 ชุด 700 rpm

เวลา (นาที)	T <sub>sur</sub>	T1	T2	T3	T4	T5	T8	T9	T10
0	30.0	26.2	26.2	26.6	25.9	25.8	26.0	32.5	30.9
5	30.0	20.7	3.8	17.9	0.2	17.6	19.9	71.9	63.5
10	30.0	16.9	2.2	16.1	-0.2	13.6	16.6	76.2	66.2
15	30.0	14.4	0.8	13.3	-1.4	10.8	13.7	77.0	67.0
20	30.0	12.9	0.0	11.8	-1.8	9.2	12.2	77.9	67.2
25	30.0	11.7	-0.4	10.6	-2.6	8.1	11.1	77.9	64.0
30	30.0	10.8	-1.0	9.7	-2.9	7.3	10.1	79.0	63.8
35	30.0	9.8	-1.4	8.7	-3.3	6.5	9.3	78.2	70.9
40	30.0	9.1	-1.5	8.1	-4.4	5.7	8.7	78.4	64.0
45	30.0	8.8	-1.7	7.6	-4.5	5.2	7.8	79.3	63.0
50	30.0	8.3	-1.9	7.1	-5.0	4.6	7.3	79.4	62.3
55	30.0	8.1	-2.1	6.9	-5.3	4.4	7.1	78.4	64.9
60	30.0	7.8	-2.3	6.5	-5.5	4.2	6.5	79.1	62.9
65	30.0	7.6	-2.4	6.4	-5.7	4.0	6.7	78.1	64.6
70	30.0	7.4	-2.4	6.1	-5.8	4.0	6.1	77.4	66.1
75	30.0	7.4	-2.4	5.9	-5.9	3.8	6.5	79.2	62.9
80	30.0	7.4	-2.4	5.6	-6.0	3.8	5.9	77.9	67.1
85	30.0	6.9	-2.6	5.3	-6.2	3.5	6.0	77.1	66.5
90	30.0	7.0	-2.7	5.3	-6.1	3.5	6.1	76.6	70.1
95	30.0	6.9	-2.8	5.1	-6.2	3.4	5.5	77.6	66.9
100	30.0	6.9	-2.7	5.1	-6.4	3.3	5.6	78.5	62.2
105	30.0	6.8	-3.1	5.0	-6.3	3.2	5.7	76.9	65.7
110	30.0	6.6	-3.1	4.9	-6.4	3.1	6.0	76.1	66.4
115	30.0	6.6	-3.0	4.7	-6.6	3.0	5.6	77.3	64.0
120	30.0	6.5	-3.1	4.6	-6.8	2.8	5.3	77.5	67.7
125	30.0	6.2	-3.3	4.3	-6.9	2.5	6.0	77.1	65.1
130	30.0	6.4	-3.5	4.1	-7.3	2.3	5.1	77.6	62.4
135	30.0	6.4	-3.5	4.1	-7.5	2.1	5.0	77.2	63.8
140	30.0	6.4	-3.2	4.0	-7.8	2.0	5.0	77.1	65.4
145	30.0	6.2	-3.9	3.7	-8.2	1.7	5.0	76.2	61.9
150	30.0	6.2	-4.0	3.5	-8.4	1.4	4.8	76.6	65.2
155	30.0	6.4	-4.1	3.3	-8.6	1.0	5.0	74.9	62.2
160	30.0	6.3	-4.4	3.0	-9.2	0.7	3.8	74.9	64.8
165	29.5	6.7	-4.5	2.7	-9.4	0.1	3.4	76.3	61.1
170	29.5	6.8	-4.9	2.4	-9.9	-0.2	2.6	74.9	64.6
175	29.5	6.9	-4.8	2.1	-10.3	-0.8	2.3	75.5	63.0
180	29.5	7.6	-5.3	1.9	-10.7	-2.3	2.1	75.3	62.5
185	29.5	7.8	-5.7	1.4	-11.4	-3.9	1.8	75.5	59.6
190	29.5	8.3	-6.2	0.8	-11.9	-5.7	1.9	74.1	64.0
195	29.5	9.2	-6.2	0.4	-12.8	-8.7	1.8	74.6	59.7
200	29.5	10.3	-6.8	-0.3	-14.2	-12.5	2.2	73.7	60.0
205	29.5	11.2	-7.0	-0.4	-15.4	-14.4	2.6	72.5	59.3
210	29.5	11.8	-7.2	-1.7	-16.5	-16.1	3.1	73.7	59.2
215	29.5	12.4	-7.3	-2.1	-17.4	-17.1	2.8	73.3	60.4
220	29.5	13.2	-7.4	-2.7	-18.1	-17.5	3.0	73.9	59.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.8 ผลการทดลองวัดอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ แบบหมุนเวียนลมกลับ โดยใช้ชุดทำความเย็น 2 ชุด 862 rpm

เวลา (นาที)	T <sub>sur</sub>	T1	T2	T3	T4	T5	T8	T9	T10
0	34	30.1	30.5	30.6	30	30.3	30.2	33.6	33.5
5	34	26.9	4.4	26.6	6.7	25.6	26.8	59.6	52.7
10	34	22.6	5.3	22	3	20.1	22.2	70.8	65.7
15	34	19.3	4.3	18.6	1.5	17.1	19.5	77.9	67.5
20	34	17.9	4.2	17	1.7	15.5	17.6	77.8	69.2
25	34	16.2	3.8	15.3	1.1	13.6	16	79.4	67.7
30	34	15.1	3.5	14.2	1.1	12.6	15.2	83.5	68.6
35	34	13.5	3	12.8	1.1	11	13.5	83	73.8
40	34	12.8	2.8	12	0	10.4	12.4	82.9	72.2
45	34	11.9	2.4	11.2	0.5	9.2	11.8	84.9	74.8
50	33.5	11.3	2	10.6	-0.1	8.8	10.9	82.8	74.7
55	33.5	10.7	1.6	10.1	-0.8	8.3	10.5	85	70.9
60	33.5	10.5	1.6	9.8	-0.1	8	10	86	70.4
65	33	9.8	1.3	9.1	-0.7	7.2	9.4	82.9	76
70	33	9.5	1.1	8.8	-1	6.9	9.1	83.8	74
75	33	9.2	1.1	8.7	-0.9	6.7	8.8	83.8	76.7
80	33	8.8	0.9	8.3	-1.3	6.4	8.8	83	75.5
85	33	8.5	0.5	8	-1.8	6.1	8	85.6	68.7
90	33	8.3	0.4	7.8	-2	5.7	7.7	83	74.2
95	33	8	0.3	7.1	-1.8	5.4	7.6	84.4	71.6
100	33	7.9	0.2	7.1	-2	5.3	7.8	83.2	70.2
105	33	7.8	0	7.2	-2.5	4.9	7.2	83.4	72
110	33	7.6	0	6.6	-2.3	4.9	7.1	83.2	71
115	32.5	7.4	0	6.6	-2.4	4.8	7	83.7	72.8
120	32.5	7.4	-0.1	6.5	-2.4	4.7	6.9	82	74.8
125	32.5	7.1	-0.1	6.8	-2.6	4.5	6.8	83.5	69.6
130	32.5	7	-0.3	6.6	-2.7	4.4	6.3	81.5	74.1
135	32	6.9	-0.3	6.2	-2.7	4.4	6.3	82.7	67.1
140	32	6.9	-0.3	6.4	-2.8	4.3	6.3	81.3	70.6
145	32	6.8	-0.4	6	-2.7	4.1	6.2	82.4	71.6
150	31.5	6.6	-0.5	5.8	-2.9	4.1	6.2	81.3	69
155	31.5	6.5	-0.6	5.7	-3.1	4	6	81.6	70.6
160	31.5	6.5	-0.6	5.8	-3.2	3.9	5.9	81.2	73.5
165	31.5	6.4	-0.6	5.7	-3.1	3.9	5.9	81.5	68.6
170	31.5	6.5	-0.8	6	-4.4	4	6.1	81.2	66.5
175	31.5	6.4	-0.9	5.7	-4.7	3.9	5.8	80.4	70.8
180	31.5	6.4	-0.9	5.8	-4.8	3.9	5.8	80.6	67.4
185	30.5	6.4	-1.7	5.9	-4.8	3.9	5.9	80.3	69.1
190	30.5	6.5	-1.8	5.9	-4.7	3.8	6	79.1	72.1
195	30.5	6.4	-1.9	5.9	-5	3.8	5.7	79.7	71.1
200	30.5	6.4	-1.9	5.7	-5	3.8	5.7	80.2	70.5
205	30.5	6.4	-1.9	5.9	-4.8	3.9	6	79.5	71.1
210	30.5	6.2	-2.1	5.7	-5.3	3.8	5.7	79.7	67.5
215	30.5	6.3	-2.1	5.8	-5.3	3.9	5.8	80.4	65.1
220	30.5	6.4	-1.9	5.2	-5.4	3.9	5.6	79.7	67.1
225	30.5	6.4	-1.8	5.3	-5.4	3.8	5.8	80.8	66.7
230	30.5	6.4	-1.9	5.3	-5.4	3.9	5.9	80.1	65.5
235	30.5	6.2	-2.2	5.2	-5.6	3.8	5.8	79.6	67.2
240	30.5	6.3	-1.9	5.2	-5.6	3.8	5.8	78.8	68.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.9 ผลการทดลองวัดอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ แบบหมุนเวียนลมกลับ โดยใช้ชุดทำความเย็น 3 ชุด 250 rpm

เวลา (นาที)	T <sub>sur</sub>	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
0	29.5	27	27.2	27	26.8	26.6	26.4	26.3	26.5	29.7	28.9	29.3
5	29.5	21.1	0.8	16.2	-0.8	14.3	8.8	4.9	13.1	61	49.7	46.7
10	29.5	16.1	-2.1	8.6	-5.5	3.9	-2.4	-0.1	6	67.4	54.4	57.6
15	29.5	12.6	-4	4.7	-7.5	-1.7	-8.2	-6.4	1.7	66.6	57.4	55.8
20	29.5	10	-5.2	2.5	-8.9	-4.3	-9.4	-8.2	-0.8	68.8	57.5	50.2
25	29.5	7.9	-5.9	0.4	-9.9	-6.2	-11.3	-9.9	-2.9	68.4	58.9	46.2
30	29.5	5.9	-6.8	-0.8	-11.3	-7.8	-12.7	-10.8	-4.5	69.6	59.3	47.9
35	29.5	4.9	-7.6	-1.7	-11.3	-9	-13.6	-11.8	-5.6	68.9	59.2	43.3
40	29.5	3.7	-8.3	-2.7	-12.1	-10	-14.5	-12.6	-6.9	68.2	60.3	44.6
45	29.5	3.2	-8.8	-3.4	-12.5	-11.1	-15.2	-13.6	-7.9	68.8	58.2	46.1
50	29.5	2.7	-9.1	-4.1	-13.4	-11.7	-16	-14.3	-8.5	68.5	59.1	42.2
55	29.5	2.4	-9.1	-4.6	-13.3	-12.6	-16.5	-14.9	-8.8	68.9	59	43.6
60	29.5	2.3	-9.8	-4.8	-14.1	-13	-17	-15.5	-9.2	67.9	57.3	42
65	29.5	2.1	-9.7	-5.5	-14.8	-13.6	-17.5	-16.4	-9.3	68.8	56	42
70	29.5	2.1	-10	-6	-15.1	-14.2	-18.4	-16.9	-9.7	68.7	57	45.8
75	29.5	2.4	-10.1	-6.4	-15.1	-15	-19	-17.4	-9.5	68.2	56.4	44.1
80	29.5	2.7	-10.6	-6.9	-15.5	-15.5	-19.4	-18	-9.7	68.7	57.1	42.2
85	29.5	3.4	-10.6	-7.1	-15.7	-16.3	-19.8	-18.4	-9.7	67.8	55.3	44.1
90	29.5	3.7	-10.8	-7.7	-16.3	-17	-20	-19	-9.8	68.2	55.8	41.1
95	29.5	4.6	-11.2	-8.1	-16.6	-17.9	-20.7	-19.5	-9.9	67.1	56.5	42.4
100	29.5	5.2	-10.8	-8.4	-16.7	-18.7	-21.1	-19.9	-10.1	67.9	55.5	40.5
105	29	5.4	-11.2	-8.9	-17.1	-19.2	-21.5	-20.2	-10.1	67.4	56.4	42.9
110	29	5.5	-10.9	-9.3	-16.9	-19.6	-21.4	-20.5	-10.2	67.5	55.8	41.3
115	29	5.4	-11.3	-9.3	-17.5	-20	-21.8	-20.8	-10.2	67.7	54.5	42.1
120	29	6.3	-10.6	-9.9	-17.8	-20.3	-22	-21	-10	67.6	53.3	39.3
125	29	6.1	-11.6	-9.2	-18.2	-21	-22.2	-21.5	-9.7	67.1	53	39.7
130	29	6.8	-11.3	-10.3	-18.2	-21.4	-22.4	-21.9	-9.5	67.7	52.9	42.5
135	29	7.5	-11.9	-10.5	-18.6	-21.9	-22.5	-22	-9.2	67.2	54.7	42.5
140	29	7.7	-11.8	-10.5	-18.4	-22	-22.5	-22	-9.1	67.4	51.9	42.7
145	29	8.3	-12	-10.6	-18.9	-22	-22.3	-22.1	-8.6	67.2	52.8	39.3
150	29	8.6	-11.6	-11.6	-19.2	-22.4	-22.4	-22.3	-8.4	67.2	51.8	38.2
155	29	9.5	-11.7	-11.4	-19.3	-22.8	-22.5	-22.3	-7.9	66.9	53.2	40.6
160	29	10.1	-11.8	-11.4	-19.7	-23	-22.8	-22.4	-8	66.9	51.1	40
165	29	10.6	-11.9	-11.7	-19.8	-23.5	-22.9	-22.6	-7.3	66.8	50.6	39.4
170	29	11.1	-12.1	-11.9	-20.5	-23.5	-23.4	-22.8	-7.4	66.7	50.5	40.5
175	29	11.5	-12	-12.2	-20.4	-24	-23.3	-22.9	-7.1	67.1	51.3	40.6
180	29	12	-12.4	-12.3	-20.8	-23.9	-23.6	-23	-6.5	66.5	49	38.2
185	28.5	12.4	-12.3	-12.5	-21.2	-24.4	-23.7	-23.1	-6.4	66.4	50.1	41.4
190	28.5	12.7	-12.2	-12.8	-21.4	-24.5	-23.8	-23.1	-6.2	66.2	50.6	40.5
195	28.5	13	-12.3	-12.8	-21.7	-24.9	-23.9	-23.1	-5.7	66.1	50.8	41.1
200	28.5	13.4	-12.3	-13.1	-21.5	-25.1	-24	-23.1	-5.6	65.6	48.8	37.9
205	28.5	13.7	-12.3	-13.3	-22.1	-25.4	-24.1	-23.1	-5.4	66	49.1	38.4
210	28.5	14.1	-12.5	-13.5	-22	-25.7	-24.2	-23.2	-5.1	65.6	49.8	39.3
215	28.5	14.2	-12.7	-13.5	-22.2	-25.6	-24.2	-23.3	-4.7	65.8	50.2	39.7
220	28.5	14.4	-12.7	-13.6	-22.5	-26	-24.8	-23.1	-4.4	65.6	50	40.2
225	28.5	14.7	-12.8	-14	-22.6	-26.2	-24.7	-23.1	-4.3	65	47.4	10.9
230	28.5	15	-12.7	-14.1	-22.7	-26.3	-24.9	-22.9	-4.1	63.7	47.5	40.7
235	28.5	15.2	-13.2	-14.6	-23.3	-26.7	-25.1	-23.1	-3.7	65.4	47.3	40.3
240	28.5	15.4	-13.3	-14.8	-23.2	-26.8	-25	-22.9	-3.4	65.5	48.7	39.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารของสถาบันฯ สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่สามารถเผยแพร่สู่สาธารณะได้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.10 ผลการทดลองวัดอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ แบบหมุนเวียนลมกลับ โดยใช้ชุดทำความเย็น 3 ชุด 500 rpm

เวลา (นาที)	T <sub>sur</sub>	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
0	30	28.8	28.8	28.8	28.7	28.7	28.5	28.5	28.3	30.7	31.1	30.8
5	30	23.6	11.8	23	7.9	21.5	16.6	12.6	22.2	54.3	47.1	45.8
10	30	13.8	-2.4	11.8	-1	8.1	3.4	2.7	9.3	68	57.5	49.6
15	30	10.5	-3	8.5	-2.6	5	0	0.3	6.6	69.8	59.7	58
20	30	7.7	-3.8	5.5	-4.3	2.3	-3	-1.1	3.8	71.3	59.5	56.6
25	30	5.6	-4.9	3.4	-5.3	0	-4.6	-2.8	2.3	73.4	56.6	53.3
30	30	4.4	-5.4	2.3	-6	-1.1	-5.6	-3.7	1	74	58.2	53.1
35	30	3.1	-5.9	1.1	-6.9	-2.2	-6.6	-4.8	-0.1	72.5	58.7	60.6
40	30	2.3	-6.3	0.5	-7.2	-3	-7.6	-5.6	-0.4	73.6	61.3	53.6
45	30	1.8	-6.6	-0.2	-8	-3.7	-8.2	-6.2	-1.6	72.9	60.6	49.4
50	30	1.3	-7	-0.5	-8.4	-4.2	-8.8	-6.8	-2.8	73.3	60	52.8
55	30	0.8	-6.9	-1.2	-8.8	-5.1	-9.5	-7.5	-2.8	73	62.4	46.3
60	30	0.3	-7.7	-1.7	-9.1	-5.8	-10.5	-8.1	-4.3	72.8	60.9	48.7
65	30	0	-8.2	-2.2	-9.9	-6.5	-10.7	-8.8	-4.7	73.1	63.6	47.8
70	30	0	-8.1	-2.3	-9.8	-6.6	-10.7	-8.9	-4.6	72.7	62.1	51.2
75	30	-0.4	-8.2	-2.7	-10.1	-7.2	-11.1	-9.3	-5.1	73.4	62.5	47.2
80	30	-0.4	-8.3	-2.8	-10.3	-7.6	-11.4	-9.6	-5.4	73	62.1	52.7
85	30	-0.7	-8.8	-3.1	-10.7	-8.1	-11.8	-10	-5	72.8	63.4	48.6
90	30	-0.7	-8.8	-3.3	-11	-8.5	-12.1	-10.3	-5.6	73.7	63.9	47.6
95	30	-0.7	-9.1	-3.4	-11.1	-8.7	-12.4	-10.6	-6.7	73	60.3	46
100	29.5	-0.9	-9.1	-3.8	-11.5	-9.4	-12.9	-11	-6.3	71.9	62.5	47.3
105	29.5	-1	-8.9	-3.9	-11.8	-9.7	-13.4	-11.4	-6.6	72.8	62.7	48.6
110	29.5	-1.1	-9.4	-4.1	-11.9	-10.1	-13.8	-11.8	-7.4	72.5	59.6	46.9
115	29.5	-0.6	-9.4	-4.2	-12.1	-10.5	-14.1	-12.3	-7.3	72.1	60.8	44.7
120	29.5	-0.6	-9.4	-4.3	-12.2	-10.9	-14.5	-12.7	-7.1	73	60.5	45.9
125	29.5	-0.5	-9.6	-4.6	-12.5	-11.7	-15	-13.4	-7.7	72.5	60.3	46.9
130	29.5	-0.5	-10.1	-4.7	-12.7	-11.9	-15.3	-13.7	-8	72.2	59.9	47
135	29.5	-0.2	-9.9	-5	-13.1	-12.8	-15.8	-14.5	-8.3	71.2	56.5	46.1
140	29.5	-0.1	-10.2	-5.2	-13.5	-13.1	-16.2	-14.8	-8.8	71.9	60.7	47.1
145	29.5	0.3	-10	-5.4	-13.5	-13.7	-16.7	-15.3	-8.7	71.3	60.7	45.1
150	29.5	0.6	-10.1	-5.5	-13.6	-14.4	-17	-15.8	-8.8	72.1	57.3	43.7
155	29.5	0.8	-9.9	-5.7	-13.7	-14.9	-17.3	-16.1	-9	72.2	57.7	47.2
160	29	1.1	-10.3	-5.8	-14	-15.3	-17.7	-16.5	-9	71.5	59	44.1
165	29	1.4	-10.5	-6	-14.2	-15.9	-18.1	-17	-9.1	72.2	55.9	42.7
170	29	2.1	-10.3	-6.4	-14.5	-16.6	-18.5	-17.2	-9.1	71.5	57.7	44.9
175	29	2.5	-10.4	-6.4	-14.5	-16.9	-18.8	-17.6	-9.2	71.4	55.8	41
180	29	3.1	-10.4	-6.7	-14.8	-17.3	-18.7	-17.9	-9	70.4	60.1	47.3
185	29	4.1	-10.6	-6.8	-15	-17.8	-19.2	-17.9	-8.8	71.2	56.6	44.6
190	29	4.7	-10.5	-7	-15.7	-18.5	-19.4	-18.3	-8.3	72.3	55.6	42.8
195	29	5.8	-10.3	-7.6	-16.3	-19.4	-19.9	-18.7	-7.4	71.4	54.1	43.2
200	29	6.6	-10.4	-8.3	-16.9	-20.3	-20.7	-19.1	-7	70.4	54.2	44.8
205	29	7.2	-10.1	-8.7	-17.2	-20.5	-20.8	-19.1	-7	71.5	55	43.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.11 ผลการทดลองวัดอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ แบบหมุนเวียนนมกลับ โดยใช้ชุดทำความเย็น 3 ชุด 700 rpm

เวลา (นาที)	T <sub>sur</sub>	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
0	29	28.2	27.4	28.3	27.1	28.3	27.6	27.9	28.3	31.5	31.4	29.5
5	29	21.9	4.5	-0.9	-5.5	17.7	9	13.2	15.2	51.4	50.7	52
10	29	16.5	-0.2	-0.3	-6.9	9	-1.5	4.2	7.7	61.6	52.3	53.7
15	29	12.9	-2.9	-1.7	-8.3	4.9	-5.1	-0.1	5.6	65.2	52.1	59.5
20	29	11	-4.9	-2.7	-9	2.7	-6.5	-1.8	3.3	68.2	53.6	52.6
25	29	9.3	-6	-3.4	-9.8	1.1	-7.8	-3.3	1.2	69.8	58.5	53.8
30	29	7.8	-7.1	-4.1	-10.3	-0.3	-8.9	-4.9	0.3	71.5	55.3	49.4
35	29	6.6	-7.9	-4.7	-10.8	-1.2	-9.6	6	-1.1	72.6	53.4	50.2
40	29	6.1	-8.4	-5.1	-11.3	-1.7	-10	-6.7	-2	72.3	53.3	52.2
45	29	5.2	-9	-5.5	-11.6	-2.3	-10.7	-7.5	-2.2	72	52.6	50.2
50	29	4.7	-9.6	-5.9	-11.9	-2.8	-11.1	-8.2	-3.2	72.8	55.8	49.8
55	29	4.4	-9.9	-6.2	-12.3	-3.3	-11.6	-8.7	-3.3	72.1	53.6	51.8
60	29	3.8	-10.4	-6.6	-12.5	-3.7	-11.8	-9.1	-3.6	73.1	52.8	48.8
65	29	3.3	-10.9	-6.8	-13	-4.1	-12.5	-9.9	-4	74.2	53.6	47.5
70	29	3.3	-11	-6.9	-13.4	-4.2	-12.6	-10.1	-4.2	73.4	54.6	46.1
75	29	3.1	-11.4	-7.2	-13.4	-4.6	-12.9	-10.6	-4.6	72.9	54.6	52.2
80	29	3	-11.8	-7.4	-13.7	-4.7	-13.1	-10.9	-4.8	73.9	53.6	44.3
85	29	2.9	-12.5	-7.7	-14	-5.1	-13.6	-11.5	-4.8	73.5	53.1	48.3
90	29	2.9	-12.8	-7.7	-14.1	-5.2	-13.9	-11.7	-5	73.4	53.4	44.8
95	29	2.8	-13.3	-8.2	-14.5	-5.5	-14.5	-12.2	-5.1	71	53	45.6
100	29	3.1	-13.7	-8	-14.6	-5.5	-14.8	-12.6	-5.4	73.4	52.2	46.3
105	29	3.4	-10.5	-8.3	-15.2	-5.8	-15.8	-13.6	-5.4	73.5	52.6	48.4
110	29	3.4	-10.5	-8.3	-15.2	-5.8	-15.8	-13.6	-5.4	73.5	52.6	48.4
115	29	3.8	-14.8	-8.4	-15.7	-5.9	-16.2	-14.2	-5.3	72.7	51.3	45.7
120	29	4.1	-15.2	-8.4	-15.8	-6	-16.5	-14.6	-5.3	71.6	52.6	44.6
125	29	4.6	-15.1	-8.3	-16	-6.1	-16.8	-15.1	-5.3	72.7	52.5	46.4
130	29	4.9	-15.2	-8.4	-16	-6.3	-17.1	-15.6	-5	72.6	52.8	45.8
135	29	4.8	-15.3	-8.7	-16.2	-6.4	-17.4	-15.9	-4.9	72.7	50.8	45.6
140	29	5	-15.4	-8.8	-16.2	-6.5	-17.3	-15.9	-5	72.3	53.2	47.5
145	29	5	-15.5	-8.9	-16.1	-6.5	-17.2	-15.8	-5.1	72	52.6	46.1
150	29	4.8	-15.4	-8.6	-16.2	-6.7	-17.4	-15.9	-5.2	72.8	55.8	46.3
155	29	4.6	-15.4	-8.8	-16.3	-6.6	-17.4	-16	-5.2	72.1	53.6	48.3
160	29	4.5	-15.5	-8.9	-16.2	-6.5	-17.4	-16.1	-5.3	73.1	52.8	45.6
165	29	4.4	-15.5	-8.9	-16.3	-6.7	-17.5	-16.1	-5.3	74.2	53.6	46.3
170	29	4.3	-15.6	-9	-16.4	-6.8	-17.6	-16.2	-5.4	73.4	54.6	47.5
175	29	4.2	-15.5	-9.1	-16.3	-6.6	-17.6	-16.2	-5.3	72.9	54.6	48.3
180	29	4.1	-15.6	-9	-16.4	-6.7	-17.8	-16.2	-5.4	73.9	53.6	46.3
185	29	3.9	-15.6	-9.1	-16.4	-6.6	-17.7	-16.3	-5.4	73.5	52.6	48.8
190	29	3.8	-15.7	-9.2	-16.5	-6.8	-17.6	-16.3	-5.4	73.4	52.8	46.1
195	29	3.5	-15.6	-9.2	-16.4	-6.9	-17.8	-16.4	-5.4	71	52.5	48.3
200	29	3.5	-15.6	-9.2	-16.4	-6.7	-17.7	-16.3	-5.4	73.4	51.3	46.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.12 ผลการทดลองวัดอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ แบบหมุนเวียนลมกลับ โดยใช้ชุดทำความเย็น 3 ชุด 862 rpm

เวลา (นาที)	T <sub>sur</sub>	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
0	30	27.9	28.1	28.3	27.3	27.9	27.6	27.2	28.3	31.5	29.7	31.1
5	30	18.4	2.4	15.6	-7.4	13.2	9.1	4.3	14.7	63.2	48.1	52.6
10	30	15.7	0.1	9.4	-8.1	6.1	2.6	1.3	9.8	65.3	49.8	52.3
15	30	12.3	-1.4	5.7	-8.9	2.3	-3	-0.3	6.7	69.2	54.3	54.6
20	30	10.1	-2.4	3.4	-9.6	-0.1	-4.6	-3.3	4.6	70	53.6	51.5
25	30	8.9	-3	2.2	-10	-1.3	-5.6	-4.2	3	71.6	54.1	55.1
30	30	7.8	-3.8	1.2	-10.7	-2.5	-6.5	-5.2	2.1	71.8	53.5	51.9
35	30	6.9	-4.3	0	-11	-3.9	-7.6	-6.2	0.9	79.2	53.1	48
40	30	6	-4.8	-0.6	-11.3	-4.7	-8.3	-6.8	-0.5	73	53.8	52
45	30	5.6	-5.3	-1.2	-11.6	-5.6	-9.1	-7.5	-0.6	73.2	54.5	50.5
50	30	5.2	-5.5	-1.5	-11.8	-6.1	-9.2	-7.9	-1.1	72.8	55.2	52.8
55	30	5	-5.8	-1.8	-11.9	-6.9	-9.9	-8.3	-1.5	73	54.3	52.5
60	30	4.8	-6	-2.1	-12.3	-7.4	-10.3	-8.8	-1.8	73.2	53.3	49.1
65	30	4.6	-6.2	-2.4	-12.6	-7.8	-10.8	-9.1	-2.1	73.2	51.4	46.8
70	30	4.7	-6.2	-2.3	-12.4	-8	-10.9	-9.3	-2.1	73.7	51.8	49.1
75	30	4.7	-6.3	-2.5	-12.8	-8.7	-11.4	-9.8	-2.4	73.1	52.1	49.5
80	30	4.7	-6.8	-2.7	-12.8	-9.1	-11.6	-10.2	-2.5	74.2	50.3	51.6
85	30	4.8	-6.4	-2.7	-13.1	-9.4	-11.9	-10.4	-2.3	73.6	53.9	52.5
90	30	4.9	-6.5	-2.8	-13.2	-9.9	-12.3	-10.9	-2.4	74.5	53.2	50.2
95	30	4.7	-6.7	-2.9	-13.4	-10.5	-12.9	-11.4	-2.3	73.1	50.5	49.8
100	30	4.8	-6.7	-2.8	-13.5	-10.9	-13.2	-18.8	-2.3	74.8	50.1	52.7
105	30	4.7	-6.7	-2.8	-13.7	-11.5	-13.7	-12.5	-2.3	74.3	52.4	45.6
110	30	4.6	-6.8	-2.8	-14	-11.8	-14.1	-12.8	-2.1	74.2	52.1	46.3
115	30	4.5	-6.8	-3	-14.9	-13.3	-15.1	-14.1	-2.2	71.5	54.3	49.8
120	30	4.5	-6.7	-3.4	-15.1	-13.4	-15.2	-14.2	-2.2	72.6	53.6	51.8
125	30	4.5	-6.8	-3.3	-15.2	-13.6	-15.3	-14.3	-2.3	72.3	53	48.8
130	30	4.5	-6.7	-3.4	-15.3	-13.8	-15.4	-14.5	-2.2	72	53.6	47.5
135	30	4.6	-6.9	-3.5	-15.5	-13.9	-15.5	-14.7	-2.3	73.4	53.4	46.1
140	30	4.6	-6.9	-3.7	-15.6	-14.1	-15.7	-14.7	-2.3	72.5	54.6	52.3
145	30	4.6	-7	-3.9	-15.7	-14.3	-15.8	-14.9	-2.3	73	54.1	50.3
150	30	4.6	-6.9	-4	-15.9	-14.4	-15.9	-15	-2.4	74.1	49.7	51.4
155	30	4.7	-7	-4	-16	-14.5	-16.1	-15.2	-2.3	74.9	49.5	53.5
160	30	4.7	-7.1	-4.2	-16.1	-14.7	-16.2	-15.3	-2.4	73.1	50.1	47.8
165	30	4.7	-7.1	-4.3	-16.2	-14.9	-16.4	-15.5	-2.3	72.9	53.6	49.3
170	30	4.7	-7.2	-4.5	-16.3	-15.3	-16.6	-15.5	-2.4	73.5	51.8	51.2
175	30	4.7	-7.2	-4.5	-16.5	-15.6	-16.7	-15.7	-2.3	70	53.2	53.4
180	30	4.7	-7.2	-4.6	-16.7	-15.7	-16.9	-15.9	-2.3	73.4	50.8	50.1
185	30	4.8	-7.3	-4.7	-16.8	-15.9	-17	-16	-2.2	72.4	52.4	52.3
190	30	4.8	-7.3	-4.9	-16.8	-16.3	-17.1	-16.1	-2.3	74.2	51.7	51.4
195	30	4.8	-7.3	-5	-16.9	-16.4	-17.2	-16.1	-2.3	73.9	53.3	53.1
200	30	4.8	-7.3	-5	-16.9	-16.5	-17.2	-16.3	-2.3	70.9	54.1	52.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.13 ผลการทดลองวัดอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ แบบไม่หมุนเวียนลมกลับ โดยใช้ชุดทำความเย็น 1 ชุด 250 rpm

เวลา (นาที)	T <sub>sur</sub>	T1	T2	T3	T8	T9	T12
0	31	29.9	29.7	29.6	29.7	30.3	29.7
5	31	30.6	4	25	26.8	62	27.5
10	31	30.3	4.7	24.2	25.7	69.7	26.5
15	31	30	4.9	24	25.1	73.7	25.9
20	31	30.7	4.9	23.2	26.6	75.2	25.3
25	31	30.9	3.7	23.1	24.4	77.2	25.2
30	31	30.2	4	23.1	24	79.4	24.5
35	31	31.2	2.8	24.3	23.8	80.3	24.3
40	31	30.4	3	24.1	23.8	80.5	24.1
45	31	31	2.7	24.1	23.7	80.3	23.9
50	31	30.2	2.3	24.1	23.5	81	23.9
55	31	30.5	2.1	23.9	23.5	81.7	23.8
60	31	30.8	2.5	24.1	23.6	82	23.7
65	31	30.5	2.2	24	23.5	82.5	23.8
70	31	30.2	2.3	24.2	23.4	82.2	23.6
75	31	30.2	2.2	24.2	23.4	81.6	23.6
80	31	29.9	2.4	23.9	23.4	82.6	23.6
85	31	30.4	2.3	23	23.3	81.2	23.6
90	31	30.6	2.3	23.9	23.3	82.4	23.6
95	31	30	2.2	23.8	23.3	83.6	23.5
100	31	30.1	2.5	23.9	23.3	83.6	23.4
105	31	29.8	2.4	24	23.2	84	23.6
110	31	29.8	2.6	23.8	23.3	83.7	23.5
115	31	30.2	2.6	23.7	23.4	83.5	23.4
120	31	29.6	2.4	23.5	23.5	83.6	23.5
125	31	30.2	2.5	23.6	23.3	84.9	23.4
130	31	30.1	2.5	23.3	23.1	85.6	23.6
135	31	30	2.7	23.2	23.2	82.9	23.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.14 ผลการทดลองวัดอุณหภูมิที่จุดต่างๆ แบบไม่หมุนเวียนลมกลับ โดยใช้ชุดทำความเย็น 1 ชุด 500 rpm

เวลา (นาที)	T <sub>sur</sub>	T1	T2	T3	T8	T9	T12
0	33	31.6	31.9	31.1	29.2	34.3	29
5	33	31.8	7.1	24.4	26.7	66.3	27.9
10	33	32.1	9.1	22.9	25.3	75.8	26.9
15	33	32.8	9.6	22.5	24.6	79.1	26
20	33	32.7	9.5	22.3	24.3	80.1	25.8
25	33	32.6	9.5	22.1	24	81.9	25.6
30	33	32.5	10	22.6	23.8	76.3	25.2
35	33	32.3	10	22.6	23.2	76.3	25.2
40	33	33.1	10.2	22.2	23.5	82.9	25.3
45	33	32.2	10	22.3	23.6	81.5	25.2
50	33	33.6	10.3	22.4	23.5	83.5	24.9
55	33	33.2	10.7	22.5	23.6	87.7	24.7
60	34	33	10.6	22.6	23.5	81.5	24.5
65	34	32.6	10.5	22.8	23.7	82.7	24.3
70	34	32.4	10.8	22.9	23.6	82.9	24.3
75	34	32.1	10.9	22.1	23.5	81.5	24.6
80	34	32.8	11.2	22.1	23.5	83.1	24.3
85	34	32.5	11.4	22.3	23.7	87.7	24.5
90	34	33	11.3	22.1	23.5	81.9	24.2
95	34	32.7	11.5	22.1	23.6	82.9	23.9
100	34	33.1	11.9	22	23.7	83.5	24.2
105	34	33	12	22.3	23.4	85.8	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.15 ผลการทดลองวัดอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ แบบไม่หมุนเวียนลมหกกลับ โดยใช้ชุดทำความเย็น 1 ชุด 700 rpm

เวลา(นาที)	T <sub>sur</sub>	T1	T2	T3	T8	T9	T12
0	32	29.9	31.1	31.4	30.2	32	30.4
5	32	30.6	6.3	29.6	29.2	67.8	29.1
10	32	30.3	5	29.4	28.6	76.1	28.5
15	32	30	5.3	29.3	28.3	78.1	28.2
20	32	30.7	5.2	29.2	28	79.1	28
25	32	30.9	5.5	29.3	27.8	82.5	27.8
30	32	30.2	5.4	29	27.6	83.5	27.6
35	32	31.2	5.5	29	27.4	85.9	27.5
40	32	30.4	5.8	29	27.4	85.4	27.5
45	32	31	5.6	29.1	27.4	84.8	27.4
50	32	30.2	5.4	29.2	27.4	86.2	27.5
55	32	30.5	5.5	29.1	27.3	84	27.4
60	32	30.8	5.5	28.8	27.2	85.6	27.3
65	32	30.5	5.5	28.1	27.2	84.9	27.2
70	32	30.2	5.6	29.2	27.3	86	27.3
75	32	30.2	5.6	29	27.2	86.3	27.3
80	32	29.9	5.8	29.1	27.2	86.5	27.3
85	32	30.4	5.5	29.1	27.1	86.2	27.2
90	32	30.6	5.6	28.8	27.6	84.6	27.1
95	32	30	5.5	28.1	27.1	86.1	27.1
100	32	30.1	5.5	28.8	27.1	85.5	27.1
105	32	29.8	5.6	28.5	27.3	85.4	27.3
110	32	29.8	5.5	28.6	27.4	85.6	27.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.16 ผลการทดลองวัดอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ แบบไม่หมุนเวียนลมกลับ โดยใช้ชุดทำความเย็น 1 ชุด 862 rpm

เวลา (นาที)	T <sub>sur</sub>	T1	T2	T3	T8	T9	T12
0	30	29.9	31.5	31.5	27.6	31.9	22.7
5	30	30.6	6.5	30.8	28.5	62.6	28.6
10	30	30.3	7.3	30.6	28.7	67.5	28.8
15	30	30	7.5	30.5	28.8	76.5	28.9
20	30	30.7	8.1	30.5	28.8	78	29
25	30	30.9	8.2	30.5	28.9	80.5	29.1
30	30	30.2	8.2	30.4	29	81	29
35	30	31.2	8.2	30.4	28.9	84.5	29
40	30	30.4	7.8	30.2	28.8	81.8	28.9
45	30	31	7.6	30.2	28.7	84.9	28.8
50	30	30.2	7.6	30.1	28.5	86.2	28.6
55	30	30.5	7.7	30	28.5	87	28.6
60	30	30.8	8.2	29.9	28.5	84.9	28.6
65	30	30.5	8	29.9	28.4	88.7	28.5
70	30	30.2	7.9	29.8	28.2	88.1	28.3
75	30	30.2	7.9	29.6	28.1	85.2	28.2
80	30	29.9	8	29.5	28	86.9	28.1
85	30	30.4	7.7	29.4	27.9	86.8	28
90	30	30.6	7.9	29.2	27.8	87.4	27.9
95	30	30	7.6	29.1	27.7	86.3	27.5
100	30	30.1	7.7	29	27.6	86.9	27.6
105	30	29.8	7.8	29	27.5	85.6	27.5
110	30	29.8	7.5	28.7	27.3	85.8	27.3
115	30	30.2	7.4	28.7	27.1	84.6	27.2
120	30	29.6	7.4	28.6	27.1	84.9	27.2
125	30	30.2	7.7	28.7	27.1	85	27.2
130	30	30.1	7.7	28.8	27.1	85.6	27.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.17 ผลการทดลองวัดอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ แบบ ไม่หมุนเวียนลมกลับ โดยใช้ชุดทำความเย็น 2 ชุด 250 rpm

เวลา (นาที)	T <sub>sur</sub>	T1	T2	T3	T4	T5	T8	T9	T10	T12
0	31	30	30.2	30.2	30.1	30.1	29.6	30.1	30.1	29.7
5	31	29.9	0.8	19.6	2.8	12.7	26.6	58.2	48.8	28.1
10	31	29.9	3	18	1.9	7	23.3	63.7	52.1	26.4
15	31	28.9	3.5	16.5	0.8	4	21.2	69.2	54.9	25.1
20	31	29.8	3.5	15.9	1.1	2.9	18.9	71.7	54.5	23.2
25	31	29.7	4	15.3	0.5	2.2	17.5	73.5	57.2	22.5
30	31	29.7	4.4	14.9	-0.3	1.5	16.4	75	57.2	21.4
35	31	29.8	4.1	14.7	-0.1	0.5	15.6	73.7	56.2	20.5
40	31	29.9	3.7	14	-0.8	0	14.5	76.5	61.9	19.2
45	31	29.7	3.6	12.9	-1.7	-0.8	13.8	78.3	63.8	19.3
50	31	29.6	3.7	13.2	-1.7	-1.1	12	77.4	57.1	19.9
55	32	29.8	3.3	11.9	-2.4	-3.3	13.5	79.2	59.6	19.4
60	32	29.8	3.2	12.5	-2.8	-4	13.1	78.7	59.7	18.4
65	32	29.8	3.5	10.2	-4.1	-7.8	12.7	77.4	58.5	20.3
70	32	29.8	3.7	8.6	-5.9	-11.1	12.6	79.6	56.8	22.4
75	32	29.8	3.8	6.4	-7.3	-1.4	12.6	77.8	57.9	22.4
80	32	29.9	0	4.3	-9.2	-13.9	13.3	76.7	55.9	22.4
85	32	29.7	-1	1.8	-11.2	-15.9	13.5	73.9	52.9	22.4
90	32	29.7	-2.1	-0.1	-12.9	-17.4	13.2	75.6	57.7	22.4
95	32	29.7	-3.7	-0.5	-14.3	-18.3	13.8	73.9	57.8	24.3
100	32	29.7	-4.2	-0.9	-16.1	-19.7	13.4	72.5	56.8	25.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.18 ผลการทดลองวัดอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ แบบไม่หมุนเวียนลมกลับ โดยใช้ชุดทำความเย็น 2 ชุด 500 rpm

เวลา (นาที)	T <sub>sur</sub>	T1	T2	T3	T4	T5	T8	T9	T10	T12
0	29	29.6	25.5	26.7	26.2	26.1	28.1	30.1	29.7	29.7
5	29	29.8	-1.4	22.6	3.7	19.9	22.3	61.2	53.5	29
10	29	29.8	-1	22.6	3	17.7	20.3	67.8	58.8	27.5
15	29	29.4	-0.8	21.4	3.1	17.2	19.5	69.5	58.5	26
20	29	29.5	-0.6	21	3.4	16.3	18.3	73.8	62.9	24
25	29	29.6	-0.5	21	3.2	16.3	17.8	74.9	63.6	23.3
30	29	29.7	-0.1	21	0	16.4	17.3	77	65.5	22.1
35	29	29.6	-0.4	20.6	1.7	16.1	17.2	76.9	65.8	21.4
40	29	29.4	-0.4	20.8	1.1	16.1	17	77.3	65.5	20.1
45	29	29.6	-3.5	20.9	0.7	16.2	16.8	78.9	65.8	19.9
50	29	29.8	-3.1	20.8	0.7	16.4	16.6	79.1	61.8	20.1
55	29	29.4	-3.6	20.8	0.4	16.4	16.5	79.1	66.2	19.9
60	29	29.5	-2.9	20.7	0.2	16.2	16.6	78.1	66.5	19.3
65	29	29.8	-3.9	20.7	0	16.4	16.5	79.5	66.6	20.9
70	29	29.6	-4	20.6	-0.2	16.3	16.5	79.3	66.6	23.2
75	29	29.4	-4.1	20.7	-0.4	16.3	16.4	78.8	68.6	23.1
80	29	29.5	-4.2	20.8	-0.5	16.4	16.4	79.8	68.5	23.3
85	29	29.5	-6.3	20.5	-0.5	16.5	16.4	78.8	67.6	23.4
90	29	29.6	-6.6	20.6	-0.7	16.5	16.4	79.2	66.8	23.6
95	29	29.8	-6.8	20.7	-0.4	16.4	16.4	79.3	66.2	24.9
100	29	29.7	-6.9	20.6	-0.7	16.5	16.4	78.9	66.6	25.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.19 ผลการทดลองวัดอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ แบบไม่หมุนเวียนลมกลับ โดยใช้ชุดทำความเย็น 2 ชุด 700 rpm

เวลา (นาที)	T <sub>sur</sub>	T1	T2	T3	T4	T5	T8	T9	T10	T12
0	31	30	28.5	29.4	27.8	28.1	30.1	31.1	30.1	29.7
5	31	29.9	4.3	23.9	7.3	21.8	23.1	68.2	53.1	29.5
10	31	29.9	4.6	23.7	7.7	21.4	22.2	69.7	54.3	28
15	31	28.9	3.6	23.7	6.9	21.3	21.7	72.9	55.8	26.5
20	31	29.8	2.1	23.6	6.6	20.8	21	75.4	55.6	24.5
25	31	29.7	2.2	23.3	5.3	20.3	20.4	72.4	59.6	23.8
30	31	29.7	1.2	23.3	4.9	20.6	20.3	75.9	59.2	22.6
35	31	29.8	0.7	23.3	4.5	20.4	20.2	76.2	58.9	21.9
40	31	29.9	-0.8	23.3	4	20.4	20.1	77.8	59.5	20.6
45	31	29.7	-2.5	23	4.3	20.7	20.1	78.3	62.3	20.4
50	31	29.6	-3.6	23.8	4.7	20.8	20	78.1	64.9	20.6
55	31	29.8	-4.2	23.1	4.4	20.6	20	78.5	63.1	20.4
60	31	29.8	-4.7	23	4.5	20.4	20	79.8	59.7	20.8
65	31	29.8	-4.7	23	4.5	20.5	20	77.9	60.2	21.4
70	31	29.8	-4.8	23	4.6	20.6	20	78	60.8	23.1
75	31	29.8	-4.5	23.1	4.9	20.9	20.1	81.1	59.8	23.6
80	31	29.9	-4.6	23.2	5.5	20.1	20.2	80.1	60.3	23.8
85	31	29.7	-4.1	23.1	6.3	21.2	20.3	79.7	60.2	23.9
90	31	29.7	-3.8	23.1	6.6	21.2	20.3	79.1	60.1	24.1
95	31	29.7	-3.8	23.1	6.8	21.2	20.2	79.5	60.1	25.4
100	31	29.7	-3.8	23.4	7.6	20.9	20.1	79.6	60	26.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.20 ผลการทดลองวัดอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ แบบไม่หมุนเวียนลมกลับ โดยใช้ชุดทำความเย็น 2 ชุด 862 rpm

เวลา (นาที)	T <sub>sur</sub>	T1	T2	T3	T4	T5	T8	T9	T10	T12
0	32	30.1	28.4	27.5	28.6	29.1	30.1	31.2	32.1	29.7
5	32	30.1	0.9	26.4	8.6	24.8	25.7	54.8	48.9	29.5
10	32	30.2	3.6	25.6	8.8	23.6	24.3	63.9	51.8	28
15	32	30.2	3.1	24.6	7.9	22.7	23.1	70.1	55.8	26.5
20	32	30.1	3.4	24.6	7.8	22.5	22.6	73.6	57.3	25
25	32	30.2	3.6	24.6	7.7	22.5	22.5	74.8	58.4	24.3
30	32	30.2	0.7	24.6	7.1	22.3	22.3	75.7	64.8	23.1
35	32	30.2	-3.9	24.5	6.8	22.6	22.2	77.5	60.4	22.4
40	32	30.2	-3.2	24.6	6.3	22.7	22.2	77.4	61.9	21.6
45	32	29.9	-3	24.6	5.9	22.6	22.1	76.4	64.2	20.9
50	32	30.1	-2.9	24.6	5.8	22.9	22.1	77.4	62.9	20.9
55	32	30.1	-2.9	24.6	5.6	22.6	21.9	78.3	62.9	20.9
60	32	30.1	-3.1	24.5	4.9	22.7	21.8	80.3	61.4	21.3
65	32	30	-3.1	24.5	5.1	22.5	21.7	80.4	63.5	21.9
70	32	29.4	-3.1	23.8	1.9	22.6	21.8	80.2	62.1	23.6
75	32	29.6	-2.3	24.3	1.2	22.8	21.8	79.4	65.3	24.1
80	32	29.8	-2.8	24.1	0.2	22.6	21.6	77.8	65.8	24.3
85	32	29.4	-3.3	23.9	0.5	22.5	21.5	78.3	67.8	24.4
90	32	29.3	-3.2	23.8	0.6	22.5	21.5	78.3	67.8	24.6
95	32	29.2	-3.4	23.7	0.7	22.4	21.5	78.9	64.6	25.9
100	32	29.3	-3.7	23.7	0.9	22.6	21.6	77.8	65.4	26.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.21 ผลการทดลองวัดอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ แบบไม่หมุนเวียนลมกลับ โดยใช้ชุดทำความเย็น 3 ชุด 250 rpm

เวลา (นาที)	T <sub>sur</sub>	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
0	30	29.9	29.1	29.5	29.4	29.3	29.6	29.5	29.3	30.2	30.5	30.4	29.7
5	30	30.6	-6.5	18.7	2.1	10.9	0.6	-1.4	20.7	61	49.2	50.3	21.7
10	30	30.3	-3.9	16.6	0.5	5.2	-4.2	-5.5	15.9	67.4	52.2	53.3	20.2
15	30	30	-4.3	15.8	-0.5	3	-5.7	-6.9	13.7	70.6	53.8	52.6	18.8
20	30	30.7	-4.3	15.5	-2.1	1.7	-6.7	-7.6	12.3	73.8	55.5	52.8	16.6
25	30	30.9	-4.4	14.4	-1.2	0.1	-7.8	-8.4	10.4	75.7	58.8	47.8	15.7
30	30	30.2	-4.6	13.5	-1.7	-0.9	-8.3	-9.2	9.6	76.8	59.1	51.4	14.5
35	30	31.2	-4.6	13	-1.3	-2	-9.3	-9.8	8.8	76.5	55.9	48.8	13.8
40	30	30.4	-5.6	11.9	-2.5	-4.1	-10.6	-10.7	7.8	76.3	57.2	45.5	12.8
45	30	31	-5.9	11.3	-3.1	-6.4	-12.6	-11.7	7.5	77.9	56.1	44.5	12.1
50	30	30.2	-7.6	9.4	-5.2	-10.4	-15.2	-13.6	6.7	77.5	58.3	49.3	11.5
55	30	30.5	-8.2	8.2	-6.2	-12.8	-16.8	-14.6	6.7	77.8	56	47.1	11.7
60	30	30.8	-8.8	6.3	-8.4	-14.6	-17.7	-15.4	6.9	78.5	56.3	46.1	11.9
65	30	30.5	-9.8	3.8	-9.9	-16.1	-18.6	-14.8	7	76.3	52.1	47.2	12.8
70	30	30.2	-13.5	1.3	-12.3	-18.3	-19.4	-14.3	7.9	76	50.7	45.3	14.9
75	30	30.2	-13.5	-1	-14.7	-20.7	-20.8	-15.5	8.4	75.8	49.8	42.8	15.1
80	30	29.9	-14.9	-2.2	-16.4	-21.5	-21.2	-16.2	8.9	76.8	48.9	44.2	15.7
85	30	30.4	-18.8	-8.2	-20.4	-23.9	-22.1	-16.9	10.6	72.4	47.2	41	15.9
90	30	30.6	-20.3	-10.8	-21.6	-24.2	-23	-17.2	11	72.9	47	41.3	15.2
95	30	30	-21	-12	-22.6	-24.3	-23.2	-14.9	11.5	71.4	45.7	45.4	16.5
100	30	30.1	-20.2	-11.4	-22.6	-24.9	-23.5	-16.8	11.8	72.8	45.9	43.8	16.9
105	30	29.8	-20.3	-11.5	-23	-24.6	-23.7	-16.6	12.1	72.2	44.5	42.1	16.5
110	30	29.8	-20.4	-11.7	-23.2	-24.8	-23.8	-16	12.3	71.1	44.4	42.1	16.9
115	30	30.2	-21	-11.9	-23.4	-23.9	-23.6	-14.9	12.5	70.7	44.2	42.4	17.1
120	30	29.6	-21.8	-12.2	-23.8	-24.2	-23.8	-13.9	12.7	71	43.8	44.5	17.4
125	30	30.2	-22.6	12.1	-24	-23.7	-23.8	-14.3	13.2	71	45.5	41.9	17.6
130	30	30.1	-23.1	-12	-24.2	-23	-23.9	-13.4	13.5	69.9	44.3	45.9	17.7
135	30	30	-24.4	-12.8	-24.4	-23	-24	-10.1	13.9	69.1	44.3	45.2	17.9
140	30	30	-25.3	-13.5	-24.8	-23.1	-24.1	-10.1	14.3	68.5	44.1	44.9	18.2
145	30	30	-26.4	-14.3	-24.8	-23.4	-24.1	-9.3	14.8	67.5	43.1	43.1	18.5
150	30	30	-27.8	-15	-24.9	-23.6	-24.1	-8.2	15.1	66.1	43.5	42	18.8
155	30	29.9	-28.4	-14.3	-25.1	-23.7	-23.9	-7.1	15.3	65.4	42.9	43.4	19.5
160	30	30	-28.9	-14.7	-25.8	-24.2	-23.8	-6.2	15.7	67.1	43.1	44.3	20.2
165	30	29.9	-29.2	-14.5	-26.2	-24.1	-23.9	-4.5	16	63.6	43.7	44.7	20.9
170	30	30.1	-30.6	-16.8	-26.7	-24.2	-23.8	-3.1	16.5	61.9	43.2	43.9	21.7
175	30	29.8	-32.7	-18.2	27.1	-24.7	-23.9	-2.2	17	60.2	43	43	22.4
180	30	29.7	-36.1	-19.2	-27.6	-25.2	-23.6	-0.1	17.5	59.7	42.7	42.7	23.1
185	30	29.8	-37	-19.8	-27.8	-25.2	-23.4	0	18	58.7	42.4	45.5	23.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.22 ผลการทดลองวัดอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ แบบไม่หมุนเวียนลมกลับ โดยใช้ชุดทำความเย็น 3 ชุด 500 rpm

เวลา (นาที)	T <sub>sur</sub>	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
0	29	29	26	27	26	26	26	26	27	31	30	29	29.7
5	29	29.8	-0.2	22.3	-0.4	19.4	11.1	7.2	15.4	67.5	50	51.3	21.7
10	29	29.8	-0.1	21.9	0	17.8	9	6.4	14	72.6	54.3	52.6	20.2
15	29	30.2	0.5	21.7	0	16.8	8.1	5.6	11.6	76.1	57.3	65.3	19.8
20	29	29.8	0.7	21.6	0.2	16.9	7.6	5.8	10.8	79	58.3	67.6	17.6
25	29	30.5	0.8	21.6	-0.2	16.6	7.1	5.8	10	78.2	58.5	58	16.7
30	29	30.6	0.9	21.5	-0.3	16.6	6.8	5.7	9.7	79.2	49.4	68.9	15.5
35	29	29.8	1.4	21.4	-0.4	16.6	6.4	5.6	9.4	81.6	47.4	73.6	14.8
40	29	29.7	0.8	21.5	-0.5	16.3	6	5.5	9	80.9	51.5	76	13.8
45	29	29.7	0.9	21.7	-0.3	16.5	6.1	5.5	8.7	80.2	49.8	71	13
50	29	29.7	1.2	21.6	-0.3	16.8	6	5.7	8.6	80.9	47.5	74.1	14.9
55	29	30.8	0.9	21.5	-0.2	16.8	6.6	6	8.7	80.4	49	73.5	14.5
60	29	29.4	1.5	21.4	-0.3	16.8	6.6	6	8.5	80.1	49.4	77.8	13.5
65	29	30.2	1.4	21.2	-0.5	17	6.7	6	8.6	80	49	79.2	14.2
70	29	31.1	1.3	21.3	-0.4	16.5	6.5	5.8	8.3	81.8	47.3	74.5	17.9
75	29	30.4	1.5	21.5	-0.6	16.7	6.4	6	8.4	78.1	47.8	80.7	16.8
80	29	29.8	1.8	21.3	-0.8	16.7	6	5.5	8.2	81	45.3	77.8	16.7
85	29	30.2	1.5	21.6	-0.6	16.6	6.4	5.6	8.3	79.6	49.8	77.5	16.9
90	29	29.8	1.3	21.4	-0.6	16.8	6.6	5.7	8.3	80.5	50.4	78.3	16.2
95	29	29.7	1.7	21.7	-0.8	16.8	6.7	5.9	8.5	81	50	76.6	17.9
100	29	29.8	1.8	21.6	-0.7	17	6.8	5.6	8.3	80.9	50.9	80.6	18.1
105	29	30.2	1.3	21.4	-0.7	17.3	6.8	5.7	8.4	81.4	46.7	80.1	17.5
110	29	30.9	1	21.6	-0.7	17.6	6.7	5.9	8.3	80.6	45.5	77.4	18.1
115	29	29.7	1.1	21.4	-0.7	16.9	6.8	5.7	8.3	80.1	49.8	77.3	17.9
120	29	30.1	0.9	21.5	-0.8	16.6	6.6	5.8	8.3	79.7	50.6	78.4	17.8
125	29	30.1	0.9	21.5	-0.8	16.6	6.6	5.8	8.3	79.7	50.6	78.4	17.8
130	29	30.1	0.9	21.5	-0.8	16.6	6.6	5.8	8.3	79.7	50.6	78.4	17.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.23 ผลการทดลองวัดอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ แบบไม่หมุนเวียนลมกลับ โดยใช้ชุดทำความเย็น 3 ชุด 700 rpm

เวลา (นาที)	T <sub>sur</sub>	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
0	33	30.8	28	28.9	28.6	27.9	28	28.1	30.8	31.1	31.3	31.2	29.7
5	33	32.8	1.9	25.7	6	23.2	16.6	12.1	21.2	56.9	42.1	63.3	25.7
10	33	31.8	2.1	23.7	5.3	20.8	13.7	10.2	18.1	66.7	44.3	65.2	24.2
15	33	31.3	3.5	23.5	5.3	20.1	12.7	9.8	16.6	70.9	45.7	74.2	23.8
20	33	31.3	4.5	23.5	5.8	20.1	12.6	9.9	15.6	75	46.9	75.5	20.8
25	33	31.7	4.7	23.6	6.3	20.1	12.9	10.4	15.2	77.2	46.9	74.9	20.1
30	33	31.5	4.4	23	5.7	19.5	12.2	10	14.6	79.8	48.9	71.3	19
35	33	31.7	4.3	23	5.2	19.1	12	9.8	14.1	80.5	47.8	81.8	18.1
40	33	32.9	3.6	23	5.8	18.9	11.9	9.4	13.8	81.5	67.8	71.5	16.8
45	33	31.5	3.9	22.9	5.7	19	11.8	9.5	13.6	78.9	63.8	76.2	17
50	33	31.8	3.5	22.8	5.8	18.8	11.8	9.6	13.4	82.8	68.1	78.9	18.9
55	33	31.8	3.5	22.8	5.9	18.6	11.8	9.6	13.4	82.8	68.1	78.9	17
60	33	32.2	1.7	22.6	4.6	18.6	11.1	9.6	12.9	83.2	67	84.2	16.5
65	33	31.3	1.6	22.3	3.1	17.8	10.7	9.4	12.8	83.2	66	79.7	18
70	33	32.2	1.9	23.1	5.7	19	11.9	9.9	12.9	84.8	67.5	84	21.9
75	33	31.8	1.9	22.3	5.1	18.8	11.7	9.7	12.8	80.5	68.2	83.1	20
80	33	31.6	1.8	21.4	4.8	18.2	11.6	9.4	12.9	83.6	68.6	82.7	20
85	33	31.9	1.8	21.3	3.2	18.1	11.3	9.5	12.6	81.5	67.3	82.5	20.1
90	33	32.4	1.8	21.2	1.7	18	11.2	9.4	12.5	82.7	69.8	81.8	19.9
95	33	31.9	1.7	21.5	1.9	18.3	11.4	9.7	12.8	83.2	68.4	82.1	22
100	33	31.6	1.6	21.8	2.2	18.5	11.9	9.8	13.1	84.9	66	82.2	21.9
105	33	31	-1.2	21.9	2	18.7	11.9	9.9	13.2	83.4	69.8	85.5	20.5
110	33	31	-2.3	22	1.8	18.9	12.1	10.2	13.3	85.6	72.5	84.5	21.9
115	33	31.8	-2.4	22.3	1.6	19.3	12.3	10.4	13.4	82.8	64.8	85.1	21
120	33	31.6	-2.4	22.2	1.5	20.2	12.7	10.6	13.7	86.4	87.2	85.3	21.4
125	33	32.2	-2	22.9	1.7	20.4	12.9	10.9	13.1	85.1	67.2	83.1	21.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.24 ผลการทดลองวัดอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ แบบไม่หมุนเวียนลมกลับ โดยใช้ชุดทำความเย็น 3 ชุด 862 rpm

เวลา (นาที)	T <sub>sur</sub>	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
0	34	31.6	27	27.2	28	27	27.1	30.9	32.4	32.5	30.1	32.8	29.7
5	34	31.8	5.7	26.8	12.2	25.1	17.8	15.5	24.5	68.9	49.5	68.5	28.2
10	34	32.1	5.4	26.8	10.8	24.2	16.4	14.4	21.9	70.1	53.9	72.4	26.8
15	34	32.8	5.7	26.3	11.6	25.5	16	13.1	20.4	76.7	59.1	77.5	26.4
20	34	32.7	6.4	26.3	10.7	22.9	15.6	13.3	19.1	78.8	60.2	77.3	23.4
25	34	32.6	5.3	25.8	10.7	22.9	15.8	13.5	18.5	79.4	60.7	79.5	22.7
30	34	32.5	5.7	25.8	11.4	21.9	15.9	13.7	18	81.3	62	78.5	21.6
35	34	32.3	5.5	25.7	10.5	21.8	16	13.8	17.8	82.5	62.5	78.4	20.7
40	34	33.1	5.4	25.9	11.6	21.9	16	13.9	17.9	81.9	63.9	78.9	19.4
45	34	32.2	5.9	25.8	10.5	21.9	15.9	13.6	17.8	85.8	65.9	85.7	19.6
50	34	33.6	6.4	26	10.4	21.6	16.2	13.6	17.9	83.2	63.1	84.2	21.3
55	34	33.2	4.7	25.8	10.5	21.6	15.5	13.7	17.7	85.8	61.2	83.4	19.6
60	34	33	4.7	26	10.6	21.2	15.9	13.8	17.9	85.5	61.3	85.1	18.6
65	34	32.6	4.3	25.8	11.1	22.1	15.8	13.6	17.5	84.7	63.8	85.8	20.6
70	34	32.4	4.4	25.9	11	22.2	15.9	13.3	17.6	85.5	62.9	83.8	22.5
75	34	32.1	4.4	25.7	10.9	22	15.8	13.1	17.8	84.5	60.7	82.3	22.6
80	34	32.8	4.3	25.6	10.8	21.9	15.9	13.5	17.7	85.5	62.9	83.8	22.6
85	34	32.5	4	25.8	10.4	21.8	16.1	13.7	17.6	86.5	65.3	84.2	22.5
90	34	33	0.9	25.3	9.9	21.9	16.2	13.3	17.4	86.5	58.3	84.3	22.5
95	34	32.7	1.2	25.8	10.7	22.2	16.1	13.8	17.5	83.3	62.4	87.3	24.6
100	34	33.1	0.5	25.8	10.6	22.4	16.1	13.8	17.7	85.5	62.8	88.4	24.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.25 ตารางแสดงค่าภาระการทำความเย็น และค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะ แบบไม่หมุนเวียนลมกลับ โดยใช้ชุดทำความเย็น 1 ชุด

รอบ (RPM)	$m_{air}$	$Q_{EV}$	$Q_{COND}$	$W_C$	COP
250	0.00692	77	117	40	1.925
500	0.01567	66	95	29	2.276
700	0.02601	70	98	28	2.500
862	0.04527	70	95	25	2.800

ตารางที่ ข.26 ตารางแสดงค่าภาระการทำความเย็น และค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะ แบบไม่หมุนเวียนลมกลับ โดยใช้ชุดทำความเย็น 2 ชุด

รอบ (RPM)	$m_{air}$	$Q_{EV}$		$Q_{COND}$		$W_C$		COP	
		Evap1	Evap2	Evap1	Evap2	Evap1	Evap2	Evap1	Evap2
250	0.00692	65	90	110	120	45	30	1.444	3.000
500	0.01567	67	92	108	119	41	27	1.634	3.407
700	0.02601	70	93	105	118	35	25	2.000	3.720
862	0.04527	72	95	103	120	31	25	2.323	3.800

ตารางที่ ข.27 ตารางแสดงค่าภาระการทำความเย็น และค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะ แบบไม่หมุนเวียนลมกลับ โดยใช้ชุดทำความเย็น 3 ชุด

รอบ (RPM)	$m_{air}$	$Q_{EV}$			$Q_{COND}$			$W_C$			COP		
		Evap1	Evap2	Evap3	Evap1	Evap2	Evap3	Evap1	Evap2	Evap3	Evap1	Evap2	Evap3
250	0.00692	67	95	97	115	132	135	48	37	38	1.396	2.568	2.553
500	0.01567	69	97	98	113	130	133	45	33	35	1.533	2.939	2.800
700	0.02601	71	99	100	110	128	132	39	29	32	1.821	3.414	3.125
862	0.04527	73	101	103	108	126	129	35	25	26	2.086	4.040	3.962

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.28 แสดงค่าความร้อนที่ผ่านผนังแต่ละด้านของห้องทำความเย็น  
โดยใช้ชุดทำความเย็น 1 ชุด

รอบ (RPM)	T <sub>wall</sub>	T <sub>ห้องเย็น</sub>	ด้านหน้า			ด้านบน	ด้าน ล่าง	ด้าน ซ้าย	ด้านขวา			Qtotal
			ประตู	กระจก	ด้านหลัง				โครง	ไฟเบอร์	โคม	
250	33	5.1	11.49	1562	18.90	23.78	16.48	29.93	8.03	10.06	9.70	1690.77
500	33	14.0	7.82	1064	12.88	16.20	11.22	20.39	5.47	6.85	6.61	1151.44
700	33	15.7	7.12	968.8	11.73	14.74	10.22	18.56	4.98	6.24	6.02	1048.41
862	33	19.4	5.60	761.6	9.22	11.59	8.03	14.59	3.91	4.90	4.73	824.17

ตารางที่ ข.29 แสดงค่าความร้อนที่ผ่านผนังแต่ละด้านของห้องทำความเย็น  
โดยใช้ชุดทำความเย็น 2 ชุด

รอบ (RPM)	T <sub>wall</sub>	T <sub>ห้องเย็น</sub>	ด้านหน้า			ด้านบน	ด้าน ล่าง	ด้าน ซ้าย	ด้านขวา			Qtotal
			ประตู	กระจก	ด้านหลัง				โครง	ไฟเบอร์	โคม	
250	33	-6.0	16.06	2184	26.44	33.24	23.04	41.84	11.22	14.06	13.56	2363.46
500	33	-3.3	14.95	2033	24.61	30.94	21.44	38.95	10.44	13.10	12.62	2199.85
700	33	3.0	12.35	1680	20.34	25.57	17.72	32.19	8.63	10.82	10.43	1818.05
862	33	5.8	11.20	1523	18.44	23.18	16.10	29.18	7.83	9.81	9.46	1648.40

ตารางที่ ข.30 แสดงค่าความร้อนที่ผ่านผนังแต่ละด้านของห้องทำความเย็น  
โดยใช้ชุดทำความเย็น 3 ชุด

รอบ (RPM)	T <sub>wall</sub>	T <sub>ห้องเย็น</sub>	ด้านหน้า			ด้านบน	ด้าน ล่าง	ด้าน ซ้าย	ด้านขวา			Qtotal
			ประตู	กระจก	ด้านหลัง				โครง	ไฟเบอร์	โคม	
250	33	-10.0	17.70	2408	29.15	36.65	25.40	46.14	12.37	15.51	14.95	2605.87
500	33	-7.0	16.47	2240	27.12	34.10	23.63	42.92	11.51	14.43	13.91	2424.09
700	33	-5.4	15.81	2150	26.03	32.73	22.68	41.20	11.05	13.85	13.35	2327.10
862	33	-2.5	14.62	1988	24.07	30.26	20.97	38.10	10.21	12.80	12.34	2151.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้