

การศึกษาการระบายความร้อนให้กับคอมเพรสเซอร์ของปั๊มความร้อน  
เครื่องอบแห้งด้วยการฉีดสารทำความเย็นเหลว

A STUDY COOLING OF HEAT PUMP COMPRESSOR OF  
DRYER WITH INJECTED THE LIQUID REFRIGERANT

ภาคภูมิ เตือคำ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การศึกษาการระบายความร้อนให้กับคอมเพรสเซอร์ของปั๊มความร้อน  
เครื่องอบแห้งด้วยการฉีดสารทำความเย็นเหลว

ภาคภูมิ เตือคำ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาการระบายความร้อนให้กับคอมเพรสเซอร์ของปั๊มความร้อน เครื่องอบแห้งด้วยการฉีดสารทำความเย็นเหลว A Study Cooling of Heat Pump Compressor of Dryer with Injected the Liquid Refrigerant
ชื่อ – นามสกุล	นายภาคภูมิ เสือคำ
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.สถาพร ทองวิก
ปีการศึกษา	2554

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ดร.พิพัฒน์ ปราโมทย์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิโรจน์ ฤทธิทอง)

.....กรรมการ

(ดร.สโรชา เจริญวัย)

.....กรรมการ

(ดร.สถาพร ทองวิก)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้  
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมหมาย ผิวสอาด)

วันที่ 18 มีนาคม พ.ศ 2555

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาการระบายความร้อนให้กับคอมเพรสเซอร์ของปั๊มความร้อน เครื่องอบแห้งด้วยการฉีดสารทำความเย็นเหลว
ชื่อ-นามสกุล	นายภาณุภูมิ เสือคำ
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.สถาพร ทองวิค
ปีการศึกษา	2554

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาการระบายความร้อนของคอมเพรสเซอร์ในปั๊มความร้อนของเครื่องอบแห้งด้วยการฉีดสารทำความเย็นเข้าคอมเพรสเซอร์ การทดสอบทำได้โดย:

- 1)การเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตร และ 0.064 มิลลิเมตร ความยาว 300 มิลลิเมตร และ
- 2)เปลี่ยนความยาวท่อฉีดสารทำความเย็น 300 มิลลิเมตร 600 มิลลิเมตร และ 900 มิลลิเมตร ใช้ท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.064 มิลลิเมตร โดยเปรียบเทียบผลกับเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนที่ไม่ฉีดสารทำความเย็น วิเคราะห์เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิทางออกของคอมเพรสเซอร์ตามมาตรฐาน IEC85 ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) และกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่คอมเพรสเซอร์

ในการทดลองใช้เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนขนาด 12,000 บีทียูต่อชั่วโมง ห้องอบแห้งขนาด 2 เมตร x 2 เมตร x 2 เมตร ใช้สารทำความเย็น R-22 และ R-290 ควบคุมสภาวะในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 – 60 °C ความเร็วลมในการอบแห้งคงที่ 1.5 เมตร/วินาที ความเร็วพัดลมหมุนคงที่ 6 รอบต่อนาที ใช้ข้าวเปลือกความชื้นเริ่มต้น 18 %db. -25 %db. เป็นวัสดุในการทดลองครั้งละ 100 กิโลกรัม

ผลการศึกษาทั้งสารทำความเย็น R-22 และ R-290 พบว่าท่อฉีดสารทำความเย็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.064 มิลลิเมตร จะมีอุณหภูมิทางออกคอมเพรสเซอร์ต่ำกว่าท่อขนาด 9 มิลลิเมตร ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะเพิ่มขึ้นร้อยละ 14.3 กระแสไฟฟ้าที่ให้กับคอมเพรสเซอร์ลดลงร้อยละ 9.89 และผลจากการเปลี่ยนความยาวท่อฉีดสารทำความเย็น พบว่าค่าอุณหภูมิทางออกคอมเพรสเซอร์ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ และกระแสไฟฟ้าที่ให้กับคอมเพรสเซอร์มีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย ที่ความยาว 300 มิลลิเมตร สามารถระบายความร้อนได้ดีกว่า 600 มิลลิเมตร และ 900 มิลลิเมตรตามลำดับ ดังนั้นในการระบายความร้อนให้กับคอมเพรสเซอร์ของปั๊มความร้อน ควรใช้ท่อฉีดสารทำความเย็นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.064 มิลลิเมตรและความยาว 300 มิลลิเมตร จะสามารถระบายความร้อนได้ตามมาตรฐาน IEC85 ซึ่งจะสามารถช่วยยืดอายุการทำงานของคอมเพรสเซอร์ได้นานขึ้น

**คำสำคัญ:** การระบายความร้อนคอมเพรสเซอร์ ปั๊มความร้อน ท่อฉีดสารทำความเย็น



<b>Thesis Title</b>	A Study Cooling of Heat Pump Compressor of Dryer with Injected the Liquid Refrigerant
<b>Name-Surname</b>	Mr. Pakpoom Suakham
<b>Program</b>	Mechanical Engineering
<b>Thesis Advisor</b>	Mr.Sathaporn Thongwik
<b>Academic Year</b>	2011

## ABSTRACT

The objective of this research was to study on the cooling system for heat-pump compressor of dryer using the refrigerant injected into the compressor. The test conditions were: 1) with the fixed length of 300 mm, the diameter of copper tube were 9 and 0.064 mm. and 2) with the fixed diameter of 0.064 mm, the length of copper tube were 300, 600 and 900 mm. Then, the comparison of the results between the heat-pump dryer with injected refrigerant and the heat-pump dryer without injected refrigerant was performed. The comparative analysis of the outlet temperature of the compressor under IEC85 standard, Coefficient of Performance (COP) and Electricity entering to the compressor was also performed.

The following conditions were used in the experiments: a heat-pump dryer with 12,000 BTU/h, 2 m x 2 m x 2 m of room dried, R-22 and R-290 for refrigerants, controlled condition for drying were 40-60 degree Celsius (°C), 1.5 m/s of wind speed, 6 rpm for the tray rotated speed, initial moisture content was 18 % db to 25 % db of paddy rice for used in the experiment of 100 kg per batch.

The result of R-22 and R-290 for refrigerants was found that the 0.064 mm diameter of refrigerant injection tube had the lower outlet temperature of compressor than those of the 9 mm diameter and the coefficient of performance increased up to 14.3 %, the electricity entering to the compressor was reduced to 9.89 %. On the other hand, the result of changing the length of refrigerant injection tube with 300 length gave the better outlet temperature of the compressor, Coefficient of Performance and Electricity entering to the compressor compared to those length of 600 and 900 mm respectively. Thus the cooling for heat pump compressor should be used the

refrigerant injection tube with 0.064 mm in diameter and 300 mm in length in order to reduce the heat losses under IEC85 standard which can be extended the functionality of the compressor for a longer time.

**Key words:** cooling for heat pump compressor, heat pump, refrigerant injection tube



## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยความเมตตากรุณาอย่างสูงจาก ดร.สถาพร ทองวิก อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาตลอดจนให้ความช่วยเหลือแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆเพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ซึ่งผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ดร.พิพัฒน์ ปราโมทย์ ดร.ศโรชา เจริญวัย และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิโรจน์ ฤทธิทอง กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ได้ให้คำแนะนำเพิ่มเติมพร้อมทั้งข้อเสนอแนะเพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิทั้ง 4 ท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์ประเมินรับรองงานวิจัยและให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ในการทำวิจัย ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิทั้ง 4 ท่าน ที่สละเวลาอันมีค่าตอบข้อสัมภาษณ์อันเป็นผลให้งานวิจัยมีความชัดเจนครบถ้วนและสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้จริง ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีและมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ในการดำเนินการวิจัย ขอขอบคุณบุคลากรบัณฑิตวิทยาลัยทุกคนที่เป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือตลอดช่วงเวลาของการศึกษาและทำการวิจัย ขอขอบคุณคณะกรรมการแผนกวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคสุพรรณบุรีทุกท่านที่เป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือตลอดช่วงเวลาของการศึกษาและทำการวิจัย

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาบ่มเพาะความรู้จนผู้วิจัยสามารถนำเอาหลักการมาประยุกต์ใช้และอ้างอิงในงานวิจัยครั้งนี้

คุณค่าอันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบเพื่อบุชาพระคุณบิดา มารดา ครู อาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน

ภาคภูมิ เสือคำ

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฐ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 สมมุติฐานของการวิจัย.....	3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.5 กรอบแนวคิดในงานวิจัย.....	3
1.6 ขั้นตอนการวิจัย.....	5
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 ทฤษฎีการอบแห้ง.....	7
2.2 ทฤษฎีเครื่องอบแห้งแบบป้อนความร้อน.....	9
2.3 การวิเคราะห์วัฏจักรป้อนความร้อนแบบอัดไอ.....	12
2.4 การประเมินสมรรถนะเครื่องอบแห้งแบบป้อนความร้อน.....	14
2.5 พื้นฐานทั่วไปเกี่ยวกับสารทำความเย็น.....	15
2.6 การพัฒนาและการเลือกใช้สารทำความเย็น.....	17
2.7 มอเตอร์คอมเพรสเซอร์.....	21
2.8 ตัวแปรที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานมอเตอร์.....	28
2.9 การป้องกันขดลวดมอเตอร์ไม่ให้ร้อนจัด.....	29
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	32

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	36
3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยและการเก็บข้อมูล.....	37
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด.....	38
3.3 วิธีการทดลองและเก็บข้อมูล.....	44
3.4 ตัวอย่างการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปั๊มความร้อน .....	47
4 ผลการวิจัย.....	49
4.1 การศึกษาผลการเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อฉีดสารทำความเย็น .....	49
4.2 การศึกษาผลการเปลี่ยนความยาวท่อฉีดสารทำความเย็น .....	55
5 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ .....	62
5.1 สรุปผลงานวิจัย .....	62
5.3 ข้อเสนอแนะ .....	63
รายการอ้างอิง.....	65
ภาคผนวก.....	67
ภาคผนวก ก อุปกรณ์และเครื่องมือวัด .....	68
ภาคผนวก ข ตารางบันทึกผลการทดลอง.....	75
ภาคผนวก ค ตารางมาตรฐาน.....	100
ภาคผนวก ง ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่.....	117
ประวัติผู้เขียน.....	140

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 อุณหภูมิสูงสุดที่ทนได้ของฉนวนมอเตอร์ตาม IEC 85 .....	4
2.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติสารทำความเย็น .....	20
4.1 สรุปผลการทดลองเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อฉีดสารทำความเย็น(เฉลี่ย) 10 ชั่วโมง .....	49
4.2 สรุปผลการทดลองเปลี่ยนความยาวท่อฉีดสารทำความเย็น (เฉลี่ย) 10 ชั่วโมง .....	56



## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุของฉนวนและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น .....	4
1.2 องค์ประกอบของปัญหาที่เป็นแนวกรอบแนวคิดในงานวิจัย .....	5
2.1 การอบแห้งในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่และลดลง .....	8
2.2 ส่วนประกอบของวัฏจักรป้อนความร้อนแบบอัดไอ .....	11
2.3 การวิเคราะห์วัฏจักรป้อนความร้อนแบบอัดไอบนแผนภูมิความดันและเอนทัลปี.....	11
2.4 โครงสร้างของสารทำความเย็นกลุ่มมีเทนและอีเทน .....	18
2.5 ถังบรรจุสารทำความเย็น .....	19
2.6 โครงสร้างของคอมเพรสเซอร์แบบเปิด สังกัดจับด้วยสายพาน .....	22
2.7 โครงสร้างคอมเพรสเซอร์แบบกึ่งปิด.....	22
2.8 โครงสร้างของคอมเพรสเซอร์แบบหุ้มปิด .....	23
2.9 คอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบ .....	24
2.10 คอมเพรสเซอร์แบบโรตารี.....	24
2.11 การทำงานของคอมเพรสเซอร์แบบก้านหอย หรือ แบบสโครล์ .....	25
2.12 การทำงานของคอมเพรสเซอร์แบบสกรู .....	26
2.13 การทำงานของคอมเพรสเซอร์แบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง.....	27
2.14 ขดลวดสเตเตอร์ ก) ก่อนไหม้ ข) หลังไหม้ .....	28
2.15 มาตรฐานอุณหภูมิ หรือ CLASS ของฉนวน สำหรับขดลวดมอเตอร์ .....	29
2.16 โครงสร้างของมอเตอร์ที่ระบายความร้อนด้วยอากาศ.....	30
2.17 ทิศทางลมในการระบายความ .....	30
2.18 การระบายความร้อนคอมเพรสเซอร์ด้วยน้ำ.....	31
2.19 การติดตั้งท่อฉีดน้ำยาเหลวระบายความร้อนคอมเพรสเซอร์.....	32
3.1 เครื่องอบแห้งใช้ป้อนความร้อน .....	36
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยโดยรวม .....	37
3.3 การติดตั้งเครื่องมือวัดความดันและอุณหภูมิในระบบป้อนความร้อน .....	39
3.4 การติดตั้งเครื่องมือวัดความดันในระบบป้อนความร้อน .....	39

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
3.5 การติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลเพื่อใช้วัดอุณหภูมิอากาศตำแหน่งต่างๆภายในตู้อบแห้งที่ใช้ระบบป้อนความร้อน .....	40
3.6 เครื่องมือวัดอุณหภูมิเทอร์โมคัปเปิล TYPE K รุ่น UN-306A .....	41
3.7 การติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลเพื่อใช้วัดอุณหภูมิอากาศตำแหน่งต่างๆภายในตู้อบแห้งที่ใช้ระบบป้อนความร้อน .....	41
3.8 เครื่องวัดความเร็วลม แบบDIGICON รุ่น DA-40 .....	42
3.9 การติดตั้งกิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์ .....	42
3.10 เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้า CLAMP TESTER รุ่น DM-617 .....	43
3.11 เครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบอินฟาเรด รุ่น DP – 88 .....	43
3.12 แผนขั้นตอนการทดลองตามเงื่อนไขการทดลองที่ 1 .....	44
3.13 แผนขั้นตอนการทดลองตามเงื่อนไขการทดลองที่ 2 .....	46
3.14 ภาพจำลองการพล็อตค่าลงในแผนภูมิโมลเลียร์ .....	47
4.1 อุณหภูมิคอมเพรสเซอร์เมื่อเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อฉีดสารทำความเย็นโดยใช้สารทำความเย็น R-22 และ R-290 .....	50
4.2 กระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่คอมเพรสเซอร์เมื่อเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อฉีดสารทำความเย็นโดยใช้สารทำความเย็น R-22 และ R-290 .....	51
4.3 สัมประสิทธิ์สมรรถนะเครื่องอบแห้งเมื่อเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อฉีดสารทำความเย็นโดยใช้สารทำความเย็น R-22 และ R-290 .....	52
4.4 ประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งเมื่อเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อฉีดสารทำความเย็นโดยใช้สารทำความเย็น R-22 และ R-290 .....	54
4.5 อุณหภูมิภายในตู้อบแห้งเมื่อเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อฉีดสารทำความเย็นโดยใช้สารทำความเย็น R-22 และ R-290 .....	54
4.6 อุณหภูมิคอมเพรสเซอร์เมื่อเปลี่ยนความยาวท่อฉีดสารทำความเย็นโดยใช้สารทำความเย็น R-22 และ R-290 .....	56
4.7 กระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่คอมเพรสเซอร์เมื่อเปลี่ยนความยาวท่อฉีดสารทำความเย็นโดยใช้สารทำความเย็น R-22 และ R-290 .....	58



## สารบัญภาพ (ต่อ)

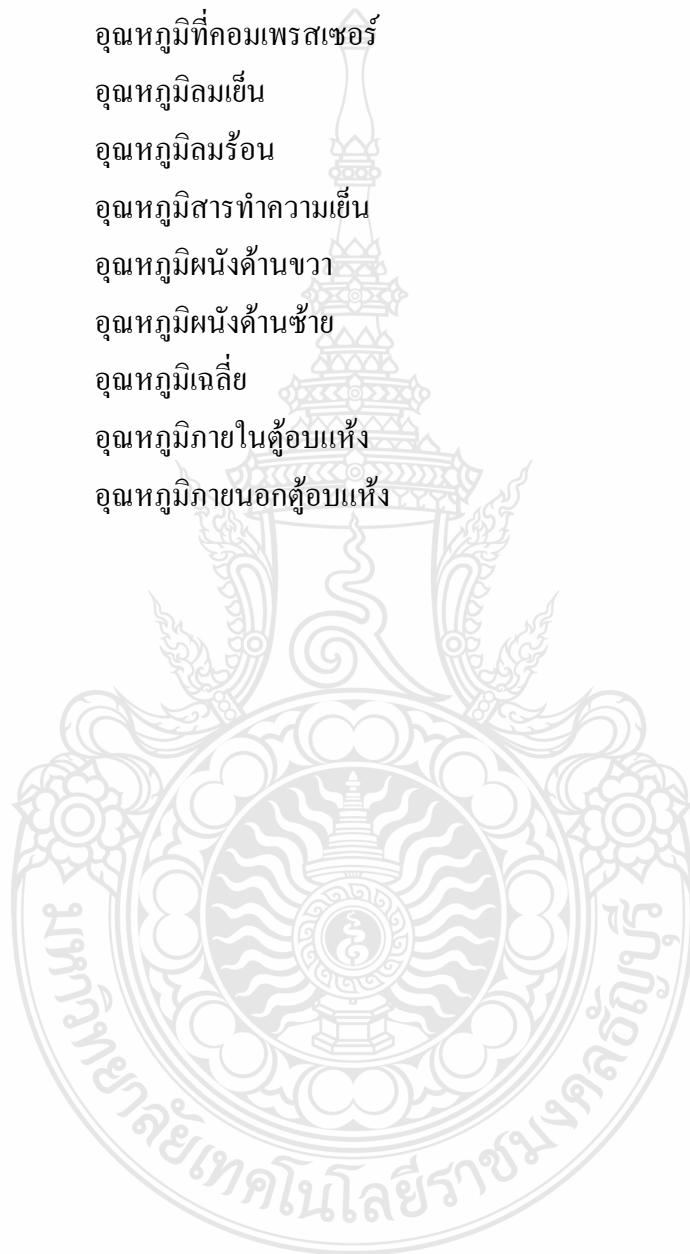
ภาพที่	หน้า
4.8 สัมประสิทธิ์สมรรถนะเครื่องอบแห้งเมื่อเปลี่ยนความยาวท่อฉีดสารทำความเย็น โดยใช้สารทำความเย็น R-22 และ R-290.....	58
4.9 ประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งเมื่อเปลี่ยนความยาวท่อฉีดสารทำความเย็นโดยใช้สาร ทำความเย็น R-22 และ R-290.....	59
4.10 อุณหภูมิภายในตู้อบแห้งเมื่อเปลี่ยนความยาวท่อฉีดสารทำความเย็นโดยใช้สาร ทำความเย็น R-22 และ R-290.....	60



## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

คำย่อ	อธิบายคำย่อ
MER	Moisture extraction rate
SEC	Specific energy consumption
SMER	Specific moisture extraction rate
COP	Coefficient of performance
EER	Energy efficiency ratio of drying system
GWP	Global Warming Potential
ODP	Ozone Depletion Potential
POE	Polyol ester
PAG	Poly alkylene glycol
CFC	Chlorofluorocarbon
HCFC	Hydrochlorofluorocarbon
HFC	Hydrofluorocarbon
สัญลักษณ์	อธิบายสัญลักษณ์
$W_c$	งานที่ให้แก่คอมเพรสเซอร์
$m_r$	อัตราการไหลเชิงมวลของสารทำงาน
$h_1$	เอนทัลปีของสารทำงานก่อนเข้าคอมเพรสเซอร์
$h_2$	เอนทัลปีของสารทำงานที่ออกจากคอมเพรสเซอร์
$h_3$	เอนทัลปีของสารทำงานที่ออกจากคอนเดนเซอร์
$h_4$	เอนทัลปีของสารทำงานก่อนเข้าอีวาพอเรเตอร์
$q_{23}$	ความร้อนที่ถ่ายเทออกจากอุปกรณ์คอนเดนเซอร์
$q_{41}$	ความร้อนที่ดูดกลืนเอาไว้ในอีวาพอเรเตอร์
$P_L$	ความดันด้านต่ำ
$P_H$	ความดันด้านสูง
$T_{in,comp}$	อุณหภูมิเข้าคอมเพรสเซอร์
$T_{out,comp}$	อุณหภูมิออกคอมเพรสเซอร์

$T_{in,cond}$	อุณหภูมิเข้าคอนเดนเซอร์
$T_{out,cond}$	อุณหภูมิออกคอนเดนเซอร์
$T_{in,evap}$	อุณหภูมิเข้าอีวาพอเรเตอร์
$A_{comp}$	กระแสดคอมเพรสเซอร์
$T_{comp}$	อุณหภูมิที่คอมเพรสเซอร์
$T_r$	อุณหภูมิลมเย็น
$T_s$	อุณหภูมิลมร้อน
$T_R$	อุณหภูมิสารทำความเย็น
$T_{wall,right}$	อุณหภูมิผนังด้านขวา
$T_{wall,left}$	อุณหภูมิผนังด้านซ้าย
$T_{ave}$	อุณหภูมิเฉลี่ย
$T_{in,oven}$	อุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง
$T_{out,oven}$	อุณหภูมิภายนอกตู้อบแห้ง



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการประกอบอาชีพทางเกษตรกรรมเป็นหลัก มีพืชผลทางการเกษตรหลายชนิดที่ทำรายได้ให้แก่ประเทศ เช่น ข้าว ข้าวโพด ถั่วเหลือง และผลไม้ต่างๆ เป็นต้น ดังนั้นจึงต้องมีวิธีการเก็บรักษา และการแปรรูปผลิตภัณฑ์ เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับผลผลิตทางการเกษตรดังกล่าว วิธีการหนึ่งที่มีความนิยมน้อย่างกว้างขวาง คือ การอบแห้ง ซึ่งปัจจุบันเทคโนโลยีการอบแห้งมีวิวัฒนาการที่ตอบสนองต่อความต้องการของภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมอยู่หลายวิธี เช่น การอบแห้งโดยใช้แสงอาทิตย์ การอบแห้งแบบฟลูอิดไคซ์เบด และการอบแห้งแบบป้อนความร้อน เป็นต้น โดยการอบแห้งแต่ละแบบมีความเหมาะสมกับการแปรรูปที่เหมาะสม กับพืชผลทางการเกษตรบางชนิดเท่านั้น การอบแห้งแบบป้อนความร้อนเป็นวิธีหนึ่งที่มีความนิยม เนื่องจากมีประสิทธิภาพค่อนข้างดี ใช้อุณหภูมิในการอบแห้งไม่สูงมากทำให้ช่วยรักษากลิ่นและสีของผลิตภัณฑ์ไว้ได้ และอากาศที่อบแห้งมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำทำให้น้ำระเหยได้ง่าย การอบแห้งด้วยป้อนความร้อนเป็นกระบวนการอบแห้งที่ใช้อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศอบแห้งต่ำทำให้ช่วยรักษากลิ่นและสีของผลิตภัณฑ์ไว้ได้ [1] เครื่องอบแห้งแบบใช้ป้อนความร้อนจัดว่าเป็นเครื่องอบแห้งที่มีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานสูงเมื่อเทียบกับเครื่องอบแห้งโดยทั่วไป เนื่องจากสามารถนำความร้อนทิ้งจากระบบการอบแห้งกลับมาใช้งานได้ทั้งหมด และยังส่งผลให้อุณหภูมิของสภาวะแวดล้อมไม่สูงขึ้นอีกด้วย [2] ซึ่งที่ผ่านมามีการศึกษาค้นคว้า วิจัย และพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบป้อนความร้อนเป็นวิธีหนึ่งที่มีผู้ศึกษาและวิจัยอย่างมาก เช่น อุดลย์ หลักชัย [3] ได้ทำการวิเคราะห์สมรรถนะกระบวนการอบแห้งผลไม้ด้วยเครื่องอบแห้งป้อนความร้อนและเปรียบเทียบผลการอบแห้งเพื่อหาจุดทำงานที่เหมาะสมระหว่างเครื่องอบแห้งชนิดป้อนความร้อนกับแบบลมร้อน พบว่าอุณหภูมิอบแห้งที่เหมาะสมมีค่าอยู่ที่ประมาณ 40 °C ฟิล์มหั่นความหนา 25 cm มีสมรรถนะในการอบแห้งโดยรวมดีที่สุด สฤทธิพร วิทย์ผดุง และ สัมพันธ์ ไชยเทพ [4] ได้ออกแบบสร้างเครื่องลดความชื้นซึ่งดัดแปลงมาจากเครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่างและศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างเครื่องปรับอากาศที่ใช้ท่อ แคลปป์ลาร์กับใช้เทอร์โมสแตติกอิเล็กทรอนิกส์แบบชั้นวาล์วขนาด 1 ตันความเย็นจากการดัดแปลงมีผลทำให้อุณหภูมิคอยล์เย็นลดลงทำให้ได้เครื่องลดความชื้นที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น อำไพศักดิ์ ทิบุญญา [5] ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะทางเทอร์โมไดนามิกส์ของป้อนความร้อนในกรณีที่ใช้สารทำ

ความเย็นต่างชนิดกันและศึกษาแนวทางการออกแบบเครื่องอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนที่เหมาะสมที่สุด สารทำความเย็นที่ใช้ศึกษาได้แก่ R-22 R-134a R-407C และ R-410A ผลการศึกษาสรุบนะ โดยรวมของของปั๊มความร้อนที่ใช้สารทำความเย็น R-407C ใกล้เคียงกับกรณีที่ใช้สารทำความเย็น R-22 ที่สุด และยังพบว่า ภายใต้อุณหภูมิเครื่องควบแน่นคงที่ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิทางออกเครื่องระเหยมี ผลทำให้สัดส่วนความดันของเครื่องอัดแก๊สและปริมาตรเคลื่อนที่เครื่องอัดแก๊สลดลง ในขณะที่ผลทำ ความเย็นและสัมประสิทธิ์สมรรถนะของปั๊มความร้อนเพิ่มขึ้น นพรัตน์ อมัตริรัตน์ [6] ได้ทำการศึกษา หาวิธีการลดความร้อนในคอมเพรสเซอร์ของระบบปั๊มความร้อน โดยการเปรียบเทียบระหว่างการใช้ คอมเพรสเซอร์จำนวน 1 ชุดและ 2 ชุดทำงานสลับกัน จากการศึกษาพบว่า ระบบที่ใช้คอมเพรสเซอร์ 2 ชุดสามารถลดความร้อนในคอมเพรสเซอร์ของระบบปั๊มความร้อนดีกว่าระบบที่ใช้คอมเพรสเซอร์ 1 ชุด ผลจากความร้อนในคอมเพรสเซอร์ลดลงทำให้ความดันสารทำความเย็นในระบบด้านต่ำและ ด้านสูงลดลงแต่การใช้คอมเพรสเซอร์ 2 ชุด ทำงานสลับกันทีละชุด ส่งผลให้ความถี่การสตาร์ทตัว ของคอมเพรสเซอร์สูงขึ้นทำให้ใช้กำลังไฟฟ้าสูงกว่าการใช้คอมเพรสเซอร์ 1 ชุด จากการศึกษางานวิจัย ที่ผ่านมาสามารถกล่าวได้ว่าอุณหภูมิลมร้อน ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม การออกแบบเครื่องอบ แห้ง การศึกษาการใช้สารทำความเย็นต่างชนิดกัน การปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ควบคุมสารทำความเย็น และวิธีการลดความร้อนนั้นจะส่งผลต่อการอบแห้งและการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้ง

เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนมีการทำงานอยู่ตลอดเวลาในช่วงที่มีการอบแห้ง เมื่อใช้ งานไปนานๆ ทำให้อุปกรณ์เกิดการเสียหายสิ้นเปลืองพลังงานค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษา โดยทั่วไปแล้วเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนที่มีคอมเพรสเซอร์ 1 ชุด จะต้องใช้ทั้งคอนเดนเซอร์ และอีวาพอเรเตอร์ซึ่งอาจไม่สัมพันธ์กันในการทำงาน จึงทำให้เกิดความร้อนสะสมที่คอมเพรสเซอร์ จึงส่งผลให้คอมเพรสเซอร์มีอายุการใช้งานที่สั้นลงแสดงดังตารางที่ 1.1 ตัวอย่างเช่นคอมเพรสเซอร์ แบบ CLASS A อุณหภูมิสูงสุดที่ฉนวนทนได้ไม่ควรเกิน 105 °C ดังนั้นถ้าสามารถควบคุมไม่ให้ อุณหภูมิสูงกว่าค่ามาตรฐานกำหนดจะส่งผลต่ออายุการใช้งานของคอมเพรสเซอร์ ความสิ้นเปลือง พลังงาน สัมประสิทธิ์สมรรถนะของปั๊มความร้อน เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง และประสิทธิภาพการใช้ พลังงานของระบบปั๊มความร้อน

จากความสำคัญของปัญหานี้ จึงมุ่งศึกษาวิธีการลดอุณหภูมิของมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ใน ระบบปั๊มความร้อนเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาพัฒนาอีตาอายุการใช้งานและหาสภาวะที่เหมาะสม ต่อการทำงานของมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ในระบบปั๊มความร้อน โดยใช้วิธีการฉีดสารทำความเย็น (Injection capillary) มาช่วยในการระบายความร้อนมอเตอร์คอมเพรสเซอร์

## 1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

- 1.2.1 เพื่อหาผลจากการเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อฉีดสารทำความเย็นเหลว
- 1.2.2 เพื่อหาผลจากการเปลี่ยนความยาวท่อฉีดสารทำความเย็นเหลว

## 1.3 สมมุติฐานของการวิจัย

- 1.3.1 ไม่มีการถ่ายเทความร้อนออกภายนอกห้องอบเนื่องจากหุ้มฉนวนอย่างดี
- 1.3.2 อุณหภูมิภายนอกตู้อบแห้งมีค่าเท่ากันตลอดระยะเวลาในการทดลอง

## 1.4 ขอบเขตของการวิจัย

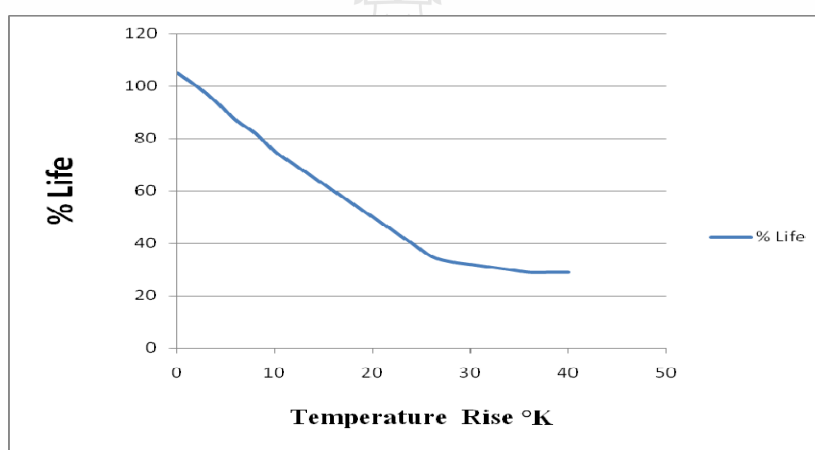
- 1.4.1 ทดสอบกับเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนขนาด 12,000 BTU/hr ห้องอบแห้งขนาด 2 m x 2 m x 2 m ใช้สารทำความเย็น R-22 และ R-290
- 1.4.2 ควบคุมสถานะในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 – 60 °C ความเร็วลมในการอบแห้งคงที่ 1.5 m/s ความเร็วพัดลมหมุนคงที่ 6 rpm
- 1.4.3 ใช้ข้าวเปลือกความชื้นเริ่มต้น 18 % - 25 % db เป็นวัสดุทดลองครั้งละ 100 kg
- 1.4.4 ศึกษาผลการเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อฉีดสารทำความเย็นใช้ท่อยาว 300 mm ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 mm และ 0.064 mm ตามลำดับ
- 1.4.5 ศึกษาผลการเปลี่ยนความยาวใช้ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.064 mm ความยาว 300 mm 600 mm และ 900 mm ตามลำดับ
- 1.4.6 วิเคราะห์และเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์สมรรถนะ ( $COP_{hp}$ ) ประสิทธิภาพของปั๊มความร้อน ( $EER_{hp}$ ) และอุณหภูมิทางออกของคอมเพรสเซอร์

## 1.5 กรอบแนวคิดในงานวิจัย

คอมเพรสเซอร์ของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนจะทำงานอยู่ตลอดเวลาโดยไม่มีการตัดการทำงาน เพื่อต้องการให้อุณหภูมิภายในตู้อบของเครื่องอบแห้งมีอุณหภูมิสูง ซึ่งจะส่งผลให้คอมเพรสเซอร์มีการสะสมความร้อนสูงไว้ที่ชุดขดลวด เป็นผลทำให้ฉนวนเกิดการเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนและทำให้เกิดการลัดวงจรขึ้นภายในชุดขดลวด ทำให้เกิดความเสียหายแก่คอมเพรสเซอร์ของระบบปั๊มความร้อน

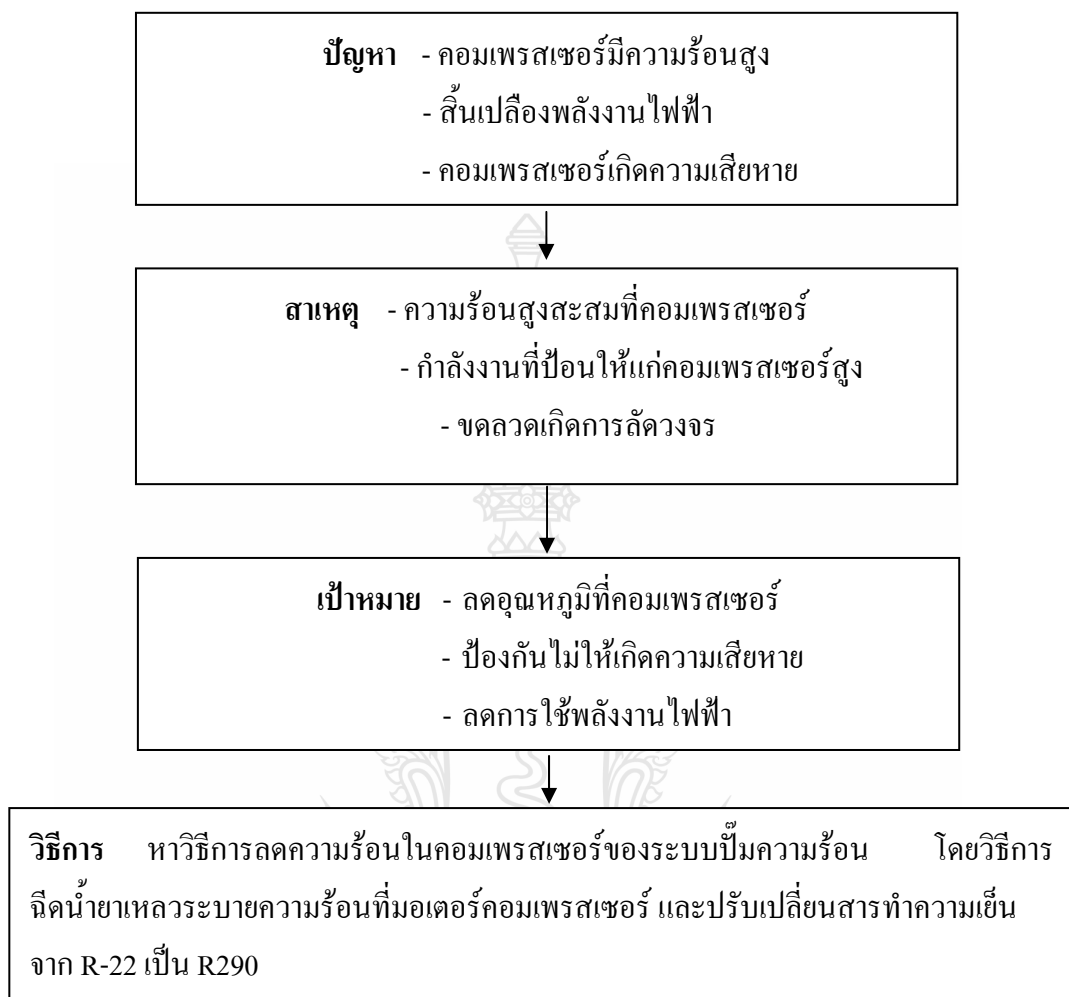
ตารางที่ 1.1 อุณหภูมิสูงสุดที่ทนได้ของฉนวนมอเตอร์ตามมาตรฐาน IEC 85 [7]

Class	อุณหภูมิสูงสุดที่ทนได้ ของฉนวน (°C)	อุณหภูมิห้องสูงสุด (°C)	อุณหภูมิเพิ่มสูงสุด ที่ยอมรับได้ (°C)	ค่าเผื่อทาง อุณหภูมิ (°C)
A	105	40	60	5
B	130	40	80	10
E	120	40	75	5
F	155	40	105	10
H	180	40	125	15



ภาพที่ 1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุของฉนวนและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

1 °C เท่ากับ 1°K มาตรฐาน ISO ได้ระบุหน่วยองศาจากการวัดเป็นเซลเซียส และความแตกต่างของอุณหภูมิเป็นเคลวิน ค่าเผื่อทางอุณหภูมิ เป็นค่าที่เผื่อไว้ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยของขดลวดและอุณหภูมิ ณ จุดร้อนที่สุด (Hottest point) โดย อุณหภูมิเพิ่มสูงสุดที่ยอมรับได้ = อุณหภูมิสูงสุด – อุณหภูมิห้องสูงสุด – ค่าเผื่ออุณหภูมิเพิ่มทุก 10 °C คัดจากอุณหภูมิห้องสูงสุด 40 °C ทำให้อายุของฉนวนลดลงประมาณครึ่งหนึ่ง โดยอายุการใช้งานของฉนวนสัมพันธ์กับอุณหภูมิเพิ่มดังภาพที่ 1.1 [7]



ภาพที่ 1.2 องค์ประกอบของปัญหาที่เป็นกรอบแนวคิดในงานวิจัย

## 1.6 ขั้นตอนการวิจัย

- 1.6.1 ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานการอบแห้งแบบปั๊มความร้อน
- 1.6.2 ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและกรณีศึกษา
- 1.6.3 ทำการทดลองเก็บข้อมูล และทำการปรับปรุงแก้ไข
- 1.6.4 นำผลการทดลองมาวิเคราะห์ เพื่อหาสมรรถนะของปั๊มความร้อน
- 1.6.5 สรุปผลการทดลอง



## 1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.7.1 ทำให้ทราบหลักการทำงานของระบบอบแห้งแบบปั๊มความร้อน
- 1.7.2 ทำให้ทราบถึงวิธีการลดความร้อนของคอมเพรสเซอร์ในระบบอบแห้งแบบปั๊มความร้อน
- 1.7.3 ทำให้ทราบประสิทธิภาพของระบบปั๊มความร้อนโดยวิธีการนิตสารทำความเย็นระบายความร้อนของมอเตอร์คอมเพรสเซอร์
- 1.7.4 ทำให้ทราบค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปั๊มความร้อนโดยวิธีการนิตสารทำความเย็นระบายความร้อนของมอเตอร์คอมเพรสเซอร์
- 1.7.5 สามารถเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบอบแห้งแบบปั๊มความร้อนได้ต่อไป



$$\text{COP} = q_{32}/W_{21} \quad (2.6)$$

หรือ

$$\text{COP} = (h_2 - h_3)/(h_2 - h_1) \quad (2.7)$$

ในบางครั้ง COP ของปั๊มความร้อน นิยมเรียกว่าอัตราส่วนของสมรรถนะ (Performance ratio) และให้นิยามว่าอัตราส่วนของความร้อนที่ระบบถ่ายเทให้กับสิ่งแวดล้อมต่องานที่ใช้ในการอัด [9]

## 2.4 การประเมินสมรรถนะเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน

สมรรถนะของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนสามารถบอกได้ทั้งในด้านความสามารถในการอบแห้งและประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

### 2.4.1 ความสามารถในการอบแห้ง (Capacity of drying)

ความสามารถในการอบแห้งของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนสามารถแสดงได้ด้วยอัตราการอบแห้งวัสดุ และอัตราการควบแน่นจากอิวาพอเรเตอร์ (Moisture extraction rate, MER) ซึ่งในทางทฤษฎีแล้วอัตราการอบแห้งและ MER จะเท่ากันในเครื่องอบแห้งระบบปิด (ถ้าไม่เท่ากันแสดงว่ามีการรั่วซึมของลมออกจากเครื่องอบแห้ง) ดังนั้นในทางปฏิบัติหากไม่สะดวกในการหาอัตราการอบแห้งได้โดยตรงก็สามารถใช้ค่า MER แทนได้ แต่ในเครื่องอบแห้งระบบเปิดหรือระบบปิดบางส่วน ค่า MER ไม่อาจใช้เป็นตัวแทนที่ดีได้สำหรับอัตราการอบแห้ง เพราะปริมาณความชื้นในอากาศไม่ใช่ความชื้นที่ระเหยออกจากผลิตภัณฑ์เพียงอย่างเดียวเหมือนเครื่องอบแห้งระบบปิด ค่าอัตราการอบแห้งและ MER กำหนดดังนี้

$$\text{อัตราการอบแห้ง} = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่ระเหยจากวัสดุ}}{\text{เวลาในการอบแห้ง}}, \text{kg water evap./hr} \quad (2.8)$$

และ

$$\text{MER} = \frac{\text{ปริมาณน้ำควบแน่นจากเครื่องระเหย}}{\text{เวลาในการอบแห้ง}}, \text{kg water cond./hr} \quad (2.9)$$

### 2.4.2 ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้ง (Energy effectiveness)

ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน สามารถแสดงได้ด้วยความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption, SEC) และอัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (Specific moisture extraction rate, SMER) ซึ่งสามารถกำหนดได้ดังต่อไปนี้

$$SEC = \frac{\text{ปริมาณพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง}}{\text{ปริมาณน้ำที่ระเหยจากวัสดุอบแห้ง}}, \text{ MJ/kg water evap.} \quad (2.10)$$

และ

$$SMER = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่ระเหยจากวัสดุอบแห้ง}}{\text{ปริมาณพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง}}, \text{ kg water evap./kWh} \quad (2.11)$$

### 2.4.3 สมรรถนะของระบบปั๊มความร้อน

ปั๊มความร้อนในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังแสดงในภาพที่ 2.2 สมรรถนะของปั๊มความร้อนแสดงได้ด้วยค่า Coefficient of performance ( $COP_{hp}$ ) ค่า Energy efficiency ratio ( $EER_s$ ) และค่า Useful heat ดังต่อไปนี้

$$COP_{hp} = \frac{\text{ความสามารถในการระบายความร้อนของเครื่องควบแน่น}}{\text{กำลังงานที่ให้กับเครื่องอัด}} \quad (2.12)$$

$$EER_s = \frac{\text{ความสามารถในการระบายความร้อนของเครื่องควบแน่น}}{\text{กำลังงานที่ให้กับระบบเครื่องอบทั้งหมด}} \quad (2.13)$$

$$USEFUL\ HEAT = \frac{\text{อัตราความร้อนที่ระบายความร้อนของเครื่องควบแน่นตัวใน}}{\text{อัตราความร้อนที่ระบายออกจากเครื่องควบแน่นทั้งหมด}} \quad (2.14)$$

กำลังงานที่ให้กับคอมเพรสเซอร์ คือ กำลังงานที่คอนเดนเซอร์ได้รับ เมื่อหักค่ากำลังงานสูญเสียเนื่องจากประสิทธิภาพของมอเตอร์และแรงเสียดทานที่คอมเพรสเซอร์ มีค่าประมาณ 80% ของกำลังงานทั้งหมดที่ให้กับคอมเพรสเซอร์ [9]

## 2.5 พื้นฐานทั่วไปเกี่ยวกับสารทำความเย็น

สารทำความเย็น เป็นส่วนประกอบสำคัญที่ทำงานร่วมกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบทำความเย็นแบบอัดไอ ทำหน้าที่รับความร้อนจากเนื้อที่ว่างหรือเทหวัตถุต่าง ๆ ในขณะที่เปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ เพื่อทำให้เกิดความเย็นที่อีวาพอเรเตอร์ โดยนำความร้อนที่ได้รับที่อีวาพอเรเตอร์และคอมเพรสเซอร์ ไประบายออกที่คอนเดนเซอร์เพื่อควบแน่นเป็นของเหลว และนำกลับมารับความร้อนเพื่อสร้างความเย็นใหม่ โดยมีพื้นฐานที่จำเป็นต้องศึกษาดังนี้

2.5.1 คุณสมบัติของสารทำความเย็น (Properties of refrigerants) สารทำความเย็นที่ดีควรมีคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

## บทที่ 2

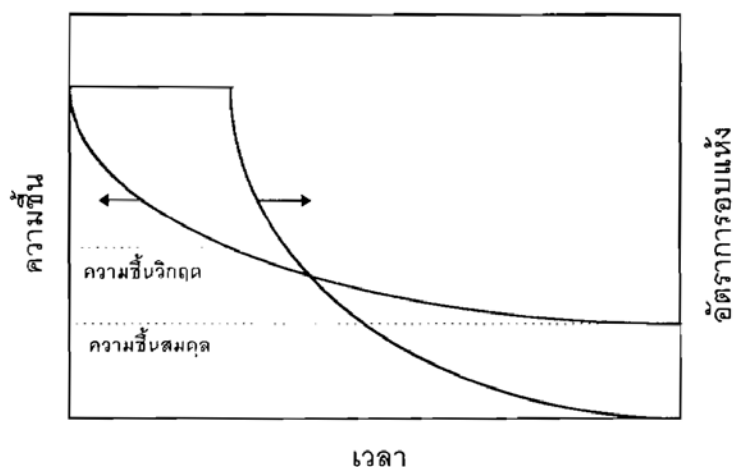
### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ทฤษฎีการอบแห้ง

การอบแห้ง คือ กระบวนการลดความชื้นซึ่งจะมีการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลสารเกิดขึ้นพร้อมๆ กัน ความร้อนที่ทำให้น้ำระเหยออกจากวัสดุส่วนมากแล้วได้รับความร้อนมาจากความร้อนสัมผัสของอากาศ และการถ่ายเทความร้อนจะมีทั้งการนำความร้อน การพาความร้อนและการแผ่รังสี แต่โดยทั่วไปแล้วมักจะเป็นการถ่ายเทความร้อน ด้วยการพาความร้อนเป็นหลัก ซึ่งในการอบแห้งโดยทั่วไปมักใช้อากาศร้อนในการอบแห้ง ความร้อนจะถ่ายเทอากาศร้อนไปยังวัสดุซึ่งความร้อนส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้ในการระเหยของน้ำ โดยของเหลวที่อยู่ภายในวัสดุจะเคลื่อนที่ออกมายังผิววัสดุโดยการไหลผ่านท่อขนาดเล็ก (Capillary flow) ซึ่งเป็นผลมาจากแรงตึงผิว (Surface force) ส่วนไอน้ำในวัสดุจะเคลื่อนที่เนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นของความชื้น (Vapor Diffusion) และความดันไอ (Partial vapor of pressure) ที่ความแตกต่างระหว่างไอน้ำในวัสดุกับความชื้น ถ้าผิวของวัสดุมีน้ำอยู่จำนวนมาก การลดลงของความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิวก็จะคงที่ ส่งผลให้การอบแห้งคงที่ด้วย และเมื่อปริมาณน้ำที่ผิวของวัสดุลดลงมาก อุณหภูมิและความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิวย่อมเปลี่ยนไป กล่าวคืออุณหภูมิของวัสดุเพิ่มขึ้นทำให้ความเข้มข้นของไอน้ำในวัสดุลดลง ส่งผลให้อัตราการอบแห้งลดลง ความชื้นที่อยู่ระหว่างอัตราการอบแห้งคงที่และอัตราการอบแห้งลดลง เรียกว่า ความชื้นวิกฤต และอัตราการอบแห้งจะลดลงตลอดระยะเวลาการอบแห้ง จนกระทั่งความดันไอของของเหลวในวัสดุมีค่าไม่แตกต่างกับความดันไอของอากาศแวดล้อมในการอบแห้ง ความชื้นที่จุดสุดท้ายเรียกว่า ความชื้นสมดุล เป็นจุดที่ไม่มีการถ่ายเทความชื้นอีกต่อไป [8]

##### 2.1.1 อัตราการอบแห้งแบ่งได้เป็น 2 ช่วง คือ

1) ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ การถ่ายเทความร้อนและมวลจะเกิดขึ้นที่ผิวนอกของวัสดุเท่านั้น น้ำจะเกาะอยู่ที่ผิววัสดุเป็นจำนวนมาก เมื่อผ่านความเร็วลมที่ไหลผ่านวัสดุ จะทำให้ฟิล์มอากาศนิ่งมีความหนาลดลง เป็นผลให้ความต้านทานต่อการไหลของความร้อนและมวลลดลงด้วย เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของอากาศอบแห้ง จะทำให้ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างที่ผิววัสดุและของกระแสอากาศที่ไหลอย่างอิสระมีมากขึ้น เป็นผลให้มีการถ่ายเทความร้อนและมวลดีขึ้น



ภาพที่ 2.1 การอบแห้งในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่และลดลง [8]

2) ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง การถ่ายเทความร้อนและมวลจะไม่เกิดอยู่ที่ผิวนอกของวัสดุเท่านั้น แต่จะเกิดขึ้นภายในผิวและภายในเนื้อวัสดุด้วย เมื่อเพิ่มอุณหภูมิอากาศอบแห้ง จะทำให้ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิมีมากขึ้น นอกจากนี้ยังมีผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

### 2.1.2 ความชื้นในวัสดุ

ความชื้นเป็นตัวบอกปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุเมื่อเทียบกับมวลของวัสดุชื้นหรือแห้ง ความชื้นในวัสดุสามารถแสดงได้เป็น 2 แบบ คือ

#### 1) ความชื้นมาตรฐานเปียก

$$M_w = \frac{w-d}{w} \quad (2.1)$$

เมื่อ

- $M_w$  คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก  
 $w$  คือ มวลของวัสดุ, kg  
 $d$  คือ มวลของวัสดุแห้ง (ไม่มีความชื้น), kg

ความชื้นแบบนี้นิยมใช้กันในวงการค้า โดยทั่ว ๆ ไปจะอ้างถึงในรูปของเปอร์เซ็นต์

## 2) ความชื้นมาตรฐานแห้ง

$$M_d = \frac{w-d}{w} \quad (2.2)$$

เมื่อ

$M_d$  คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง

$w$  คือ มวลของวัสดุ, kg

$d$  คือ มวลของวัสดุแห้ง (ไม่มีความชื้น), kg

ความชื้นแบบนี้นิยมใช้กันในการวิเคราะห์กระบวนการแห้งทางทฤษฎี เพราะช่วยให้การคำนวณสะดวกขึ้น ซึ่งเป็นเพราะมวลของวัสดุแห้งจะมีค่าคงที่หรือเกือบคงที่ระหว่างการอบแห้งที่ว่าเกือบคงที่นี้ เพราะผลผลิตทางการเกษตรเป็นสิ่งที่มีชีวิต มีการหายใจ ดังนั้นจึงมีการเผาผลาญสารอาหาร ทำให้มวลแห้งลดลง ส่วนใหญ่แล้วมวลแห้งจะลดลงเพียงเล็กน้อย

## 2.2 ทฤษฎีเครื่องอบแห้งแบบป้อนความร้อน

ระบบป้อนความร้อนมีหลักการทำงานเช่นเดียวกับหลักการทำงานของระบบทำความเย็นทั่วไปโดยมีส่วนประกอบที่สำคัญของระบบคือ คอมเพรสเซอร์ คอนเดนเซอร์ วาล์วลดความดันและอีวาपोเรเตอร์ซึ่งเป็นส่วนประกอบเดียวกันแต่มีวัตถุประสงค์การใช้งานต่างกันคือ ระบบทำความเย็นเป็นระบบที่ต้องการลดอุณหภูมิภายในห้องลง แล้วดึงความร้อนผ่านอีวาपोเรเตอร์ไปถ่ายเทด้านนอกห้องโดยผ่านทางคอนเดนเซอร์ ขณะที่ระบบป้อนความร้อนมีจุดประสงค์ที่ต้องการนำความร้อนที่ถ่ายเทผ่านเครื่องควบแน่นมาใช้ประโยชน์ ดังนั้นระบบนี้จึงสามารถให้ความร้อนในการอบแห้งได้โดยใช้ความร้อนที่ระบายออกจากเครื่องควบแน่น

### 2.2.1 ส่วนประกอบของระบบทำความเย็นแบบอัดไอ

ระบบทำความเย็นแบบอัดไอเป็นระบบที่มีความสำคัญในระบบการทำความเย็น เพราะระบบดังกล่าวนี้ใช้ได้ตั้งแต่เครื่องทำความเย็นขนาดเล็ก เช่น ตู้เย็น เครื่องปรับอากาศในสำนักงานและบ้านเรือน รวมไปถึงเครื่องทำความเย็นขนาดใหญ่ในงานอุตสาหกรรม หลักการทำงานของระบบทำความเย็นแบบอัดไอคือ เมื่อสารทำความเย็นกลายเป็นไอเพื่อดูดเอาความร้อนเข้าสู่สารทำความเย็นในขณะที่มีความดันและอุณหภูมิต่ำ หลังจากนั้นจะกลั่นตัวเป็นของเหลวอีกครั้ง ในขณะที่มีความดันและอุณหภูมิสูง โดยการคายความร้อนออกจากตัวสารทำความเย็นเอง

ระบบทำความเย็นแบบอัดไอ ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ ร่วมกันทำงานโดยแบ่งออกได้เป็นอุปกรณ์หลัก และอุปกรณ์ประกอบการทำงาน

อุปกรณ์หลัก (Main components) เป็นอุปกรณ์ที่เครื่องทำความเย็นทุกแบบ ทุกขนาดจะต้องมีเหมือนกันหมด คือ คอมเพรสเซอร์ คอนเดนเซอร์ ลীনลดความดัน และอีวาพอเรเตอร์ รายละเอียดของอุปกรณ์หลักทั้ง 4 มีดังนี้

1) คอมเพรสเซอร์ (Compressor) ทำหน้าที่ดูดสารทำความเย็นในสภาพที่เป็นไอจากอีวาพอเรเตอร์เพื่อทำให้ความดันในอีวาพอเรเตอร์ลดต่ำลง จนสามารถทำให้สารทำความเย็นกลายเป็นไอและสร้างทำความเย็นได้ พร้อมทั้งทำการอัดให้สารทำความเย็นมีความดันสูงขึ้น จนสามารถควบแน่นเป็นของเหลวในคอนเดนเซอร์และหมุนเวียนทำความเย็นผ่านอุปกรณ์ต่าง ๆ ในวงจร

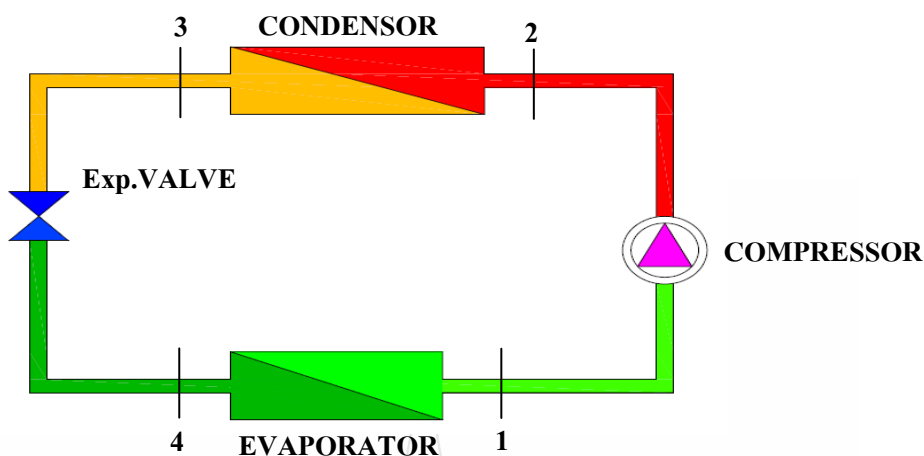
2) คอนเดนเซอร์ (Condenser) ทำหน้าที่ระบายความร้อนออกจากสารทำความเย็นเพื่อให้สารทำความเย็น ซึ่งถูกอัดออกจากคอมเพรสเซอร์ในสภาพเป็นไอที่มีอุณหภูมิและความดันสูง ควบแน่นเป็นของเหลวได้

3) อีวาพอเรเตอร์ (Evaporator) ทำหน้าที่รับสารทำความเย็นที่ถูกลดความดันจากลীনลดความดัน โดยขณะที่สารทำความเย็นผ่านอีวาพอเรเตอร์จะดูดความร้อนจากบริเวณรอบๆ เพื่อใช้ในการเปลี่ยนสถานะทำให้บริเวณใกล้เคียงเกิดความเย็นขึ้น

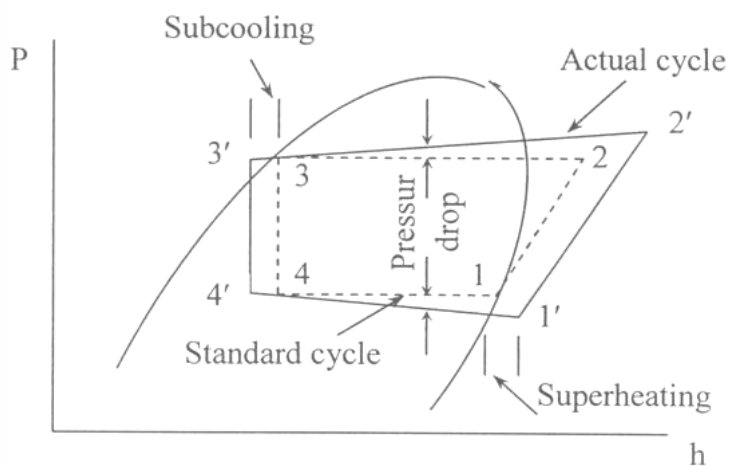
4) ลীনลดความดัน (Expansion valve) ทำหน้าที่ควบคุมปริมาณสารทำความเย็นที่จะส่งเข้าอีวาพอเรเตอร์ลักษณะการทำงานสารทำความเย็นที่ผ่านจะถูกลดความดันลง เพื่อให้สารทำความเย็นสามารถเดือดได้ในอีวาพอเรเตอร์จึงเรียกลীনลดความดันหรือในเครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก จะใช้ท่อรูเข็ม (Capillary tube) แทนลীনลดความดัน อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลชนิดท่อรูเข็ม (Capillary tube) ทำหน้าที่ลีดสารทำความเย็น เหลวเข้าไปในอีวาพอเรเตอร์โดยอาศัยท่อทองแดงเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็ก ไม่สามารถปรับปริมาณสารทำความเย็นได้จึงเหมาะที่จะใช้กับระบบขนาดเล็กที่มีภาระเปลี่ยนแปลงน้อยเช่นตู้เย็น ตู้น้ำเย็น ตู้แช่และเครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก

#### 2.2.2 หลักการทำงานของเครื่องอบแห้ง โดยใช้ปั๊มความร้อน

ปั๊มความร้อนเป็นอุปกรณ์สำหรับถ่ายเทความร้อนจากแหล่งอุณหภูมิต่ำไปสู่แหล่งอุณหภูมิสูงผ่านทางสารทำความเย็น ระบบปั๊มความร้อนโดยทั่วไปเป็นแบบอัดไอประกอบด้วยคอมเพรสเซอร์ คอนเดนเซอร์ อีวาพอเรเตอร์ และลীনลดความดัน ดังแสดงในภาพที่ 2.2 การทำงานของปั๊มความร้อนแบบอัดไอ เป็นแบบวัฏจักรดังแสดงในแผนภูมิความดันและเอนทัลปีแสดงดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.2 ส่วนประกอบของวัฏจักรปั๊มความร้อนแบบอัดไอ



ภาพที่ 2.3 การวิเคราะห์วัฏจักรปั๊มความร้อนแบบอัดไอบนแผนภูมิความดันและเอนทัลปี [9]

วัฏจักรการทำงานของปั๊มความร้อนซึ่งแสดงด้วยเส้นประเป็นวัฏจักรทางอุดมคติประกอบด้วย 4 กระบวนการคือ

1) กระบวนการ 1-2 คือกระบวนการอัดไอที่ป้อนให้กับคอมเพรสเซอร์จะทำให้อุณหภูมิเอนทัลปี และความดันสารทำความเย็นเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งในทางทฤษฎีกระบวนการอัดไอจะเป็นกระบวนการเอนโทรปีคงที่แต่ในทางปฏิบัติกระบวนการอัดไอเป็นกระบวนการโพลีโทรปิก และเป็นกระบวนการที่ย้อนกลับไม่ได้ สาเหตุหลักมาจากเกิดการสูญเสียเนื่องมาจากการเสียดทานของอุปกรณ์ในคอนเดนเซอร์ซึ่งในความเป็นจริงสถานะของสารทำความเย็นที่เข้าสู่คอนเดนเซอร์จะอยู่ในสถานะไอร้อนยวดยิ่งมากกว่าสถานะไออิ่มตัว



2) กระบวนการ 2-3 คือกระบวนการควบแน่นซึ่ง สารทำความเย็นจะคายความร้อนให้กับ อากาศอบแห้งเป็นการเพิ่มอุณหภูมิให้กับอากาศก่อนการอบแห้ง ในทางปฏิบัติความดันและอุณหภูมิ ของสารทำความเย็นจะไม่คงที่ตลอดทั้งคอนเดนเซอร์แต่จะลดลงไปตามระยะทางของท่อสารทำ ความเย็น และสารทำความเย็นที่ไหลภายในท่อจะมีลักษณะเป็นสองสถานะ สารทำความเย็นก่อนเข้า สู่วาล์ว ลดความดันอาจอยู่ในสภาวะที่สารทำความเย็นลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิของ ๆ เหลวอิมตัวที่ เรียกว่า Sub cooling หรืออาจอยู่ในสภาวะของเหลวอิมตัวก็ได้

3) กระบวนการ 3-4 คือกระบวนการที่สารทำความเย็นที่มีสถานะเป็นของเหลวจะถูกลด ความดันลงโดยผ่านวาล์วลดความดัน ทำให้สารทำความเย็นมีอุณหภูมิลดต่ำลง และอยู่ในสภาวะของ ผสมระหว่างของเหลวและไอน้ำ ซึ่งพร้อมที่จะรับความร้อนจากระบบ กระบวนการ 3-4 เป็น กระบวนการเอนทัลปีคงที่

4) กระบวนการ 4-1 คือกระบวนการที่สารทำความเย็นรับความร้อน และสารทำความเย็น จะเปลี่ยนสถานะจากสารผสมเป็นไออิมตัว หรือในทางปฏิบัติมักจะเป็นไอร้อนยวดยิ่ง ก่อนเข้าสู่ คอมเพรสเซอร์เช่นเดียวกับกระบวนการ 2-3 ความดันและอุณหภูมิของสารทำความเย็นจะลดลงไป ตามระยะทางและสารทำความเย็นอยู่ในสภาวะสองสถานะ

## 2.3 การวิเคราะห์วัฏจักรปั๊มความร้อนแบบอัดไอ

วัฏจักรที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์การทำงานของระบบปั๊มความร้อนคือ วัฏจักรย้อนกลับ ของคาร์โนต์ (Reversed carnot cycle) เนื่องจากเป็นวัฏจักรที่ให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด ประกอบด้วยกระบวนการอะเดียแบติก 2 กระบวนการ และกระบวนการอุณหภูมิคงที่ 2 กระบวนการ จากภาพที่ 2.3 สามารถวิเคราะห์กระบวนการต่าง ๆ ได้ดังนี้

2.3.1 คอมเพรสเซอร์ (Compressor) เป็นกระบวนการ อะเดียแบติกที่ย้อนกลับได้ เมื่อคิดที่ไอ ของสารทำความเย็น 1 กิโลกรัม งานที่ต้องใช้ในการอัดไอสารทำความเย็น 1 กิโลกรัม หาได้ดังนี้

$$W_{12} = m_r(h_2 - h_1) \quad (2.3)$$

โดย

$W_{12}$  คือ งานที่ให้แก่เครื่องอัด, kW

$m_r$  คือ อัตราการไหลเชิงมวลของสารทำงาน, kg/s

$h_1$  คือ เอนทัลปีของสารทำงานก่อนเข้าคอนเดนเซอร์, kJ/kg

$h_2$  คือ เอนทัลปีของสารทำงานที่ออกจากคอนเดนเซอร์, kJ/kg

2.3.2 คอนเดนเซอร์ (Condenser) เป็นกระบวนการอุณหภูมิกึ่งที่ความร้อนที่ถ่ายเทออกจากคอนเดนเซอร์หาได้ดังนี้

$$q_{23} = m_r (h_2 - h_3) \quad (2.4)$$

โดย

- $q_{23}$  คือ ความร้อนที่ถ่ายเทออกจากคอนเดนเซอร์ kW  
 $h_2$  คือ เอนทัลปีของสารทำงานที่ออกจากคอนเดนเซอร์, kJ/kg  
 $h_3$  คือ เอนทัลปีของสารทำงานที่ออกจากคอนเดนเซอร์, kJ/kg

2.3.3 วาล์วลดความดัน (Expansion valve) เป็นกระบวนการเอนทัลปีคงที่และลดความดันอย่างเฉื่อย ไม่มีงานหรือการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้น ดังนี้

$$h_3 = h_4$$

โดย

- $h_3$  คือ เอนทัลปีของสารทำงานที่ออกจากคอนเดนเซอร์, kJ/kg  
 $h_4$  คือ เอนทัลปีของสารทำงานก่อนเข้าอีวาพอเรเตอร์, kJ/kg

2.3.4 อีวาพอเรเตอร์ (Evaporator) เป็นกระบวนการอุณหภูมิกึ่งที่ ความร้อนที่สารทำงาน 1 kg สามารถดูดกลืนเอาไว้ได้ หาได้ดังนี้

$$q_{41} = m_r (h_1 - h_4) \quad (2.5)$$

โดย

- $q_{41}$  คือ ความร้อนที่ดูดกลืนเอาไว้ในอีวาพอเรเตอร์, kJ/kg  
 $h_1$  คือ เอนทัลปีของสารทำงานก่อนเข้าคอนเดนเซอร์, kJ/kg  
 $h_4$  คือ เอนทัลปีของสารทำงานก่อนเข้าอีวาพอเรเตอร์, kJ/kg

ในการวิเคราะห์นี้ไม่ได้พิจารณาสูญเสียความดันและเอนทัลปีที่เกิดจากการไหลในท่อ ดังนั้นสมรรถนะของปั๊มความร้อน (Coefficient of performance, COP) หาได้ดังนี้

$$\text{COP} = q_{32}/W_{21} \quad (2.6)$$

หรือ

$$\text{COP} = (h_2 - h_3)/(h_2 - h_1) \quad (2.7)$$

ในบางครั้ง COP ของปั๊มความร้อน นิยมเรียกว่าอัตราส่วนของสมรรถนะ (Performance ratio) และให้นิยามว่าอัตราส่วนของความร้อนที่ระบบถ่ายเทให้กับสิ่งแวดลอมต่องานที่ใช้ในการอัด [9]

## 2.4 การประเมินสมรรถนะเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน

สมรรถนะของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนสามารถบอกได้ทั้งในด้านความสามารถในการอบแห้งและประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

### 2.4.1 ความสามารถในการอบแห้ง (Capacity of drying)

ความสามารถในการอบแห้งของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนสามารถแสดงได้ด้วยอัตราการอบแห้งวัสดุ และอัตราการควบแน่นจากอิวาพอเรเตอร์ (Moisture extraction rate, MER) ซึ่งในทางทฤษฎีแล้วอัตราการอบแห้งและ MER จะเท่ากันในเครื่องอบแห้งระบบปิด (ถ้าไม่เท่ากันแสดงว่ามีการรั่วซึมของลมออกจากเครื่องอบแห้ง) ดังนั้นในทางปฏิบัติหากไม่สะดวกในการหาอัตราการอบแห้งได้โดยตรงก็สามารถใช้ค่า MER แทนได้ แต่ในเครื่องอบแห้งระบบเปิดหรือระบบปิดบางส่วน ค่า MER ไม่อาจใช้เป็นตัวแทนที่ดีได้สำหรับอัตราการอบแห้ง เพราะปริมาณความชื้นในอากาศไม่ใช่ความชื้นที่ระเหยออกจากผลิตภัณฑ์เพียงอย่างเดียวเหมือนเครื่องอบแห้งระบบปิด ค่าอัตราการอบแห้งและ MER กำหนดดังนี้

$$\text{อัตราการอบแห้ง} = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่ระเหยจากวัสดุ}}{\text{เวลาในการอบแห้ง}}, \text{kg water evap./hr} \quad (2.8)$$

และ

$$\text{MER} = \frac{\text{ปริมาณน้ำควบแน่นจากเครื่องระเหย}}{\text{เวลาในการอบแห้ง}}, \text{kg water cond./hr} \quad (2.9)$$

### 2.4.2 ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้ง (Energy effectiveness)

ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน สามารถแสดงได้ด้วยความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption, SEC) และอัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (Specific moisture extraction rate, SMER) ซึ่งสามารถกำหนดได้ดังต่อไปนี้

$$SEC = \frac{\text{ปริมาณพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง}}{\text{ปริมาณน้ำที่ระเหยจากวัสดุอบแห้ง}}, \text{ MJ/kg water evap.} \quad (2.10)$$

และ

$$SMER = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่ระเหยจากวัสดุอบแห้ง}}{\text{ปริมาณพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง}}, \text{ kg water evap./kWh} \quad (2.11)$$

### 2.4.3 สมรรถนะของระบบปั๊มความร้อน

ปั๊มความร้อนในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังแสดงในภาพที่ 2.2 สมรรถนะของปั๊มความร้อนแสดงได้ด้วยค่า Coefficient of performance ( $COP_{hp}$ ) ค่า Energy efficiency ratio ( $EER_s$ ) และค่า Useful heat ดังต่อไปนี้

$$COP_{hp} = \frac{\text{ความสามารถในการระบายความร้อนของเครื่องควบแน่น}}{\text{กำลังงานที่ให้กับเครื่องอัด}} \quad (2.12)$$

$$EER_s = \frac{\text{ความสามารถในการระบายความร้อนของเครื่องควบแน่น}}{\text{กำลังงานที่ให้กับระบบเครื่องอบทั้งหมด}} \quad (2.13)$$

$$USEFUL\ HEAT = \frac{\text{อัตราความร้อนที่ระบายความร้อนของเครื่องควบแน่นตัวใน}}{\text{อัตราความร้อนที่ระบายออกจากเครื่องควบแน่นทั้งหมด}} \quad (2.14)$$

กำลังงานที่ให้กับคอมเพรสเซอร์ คือ กำลังงานที่คอนเดนเซอร์ได้รับ เมื่อหักค่ากำลังงานสูญเสียเนื่องจากประสิทธิภาพของมอเตอร์และแรงเสียดทานที่คอมเพรสเซอร์ มีค่าประมาณ 80% ของกำลังงานทั้งหมดที่ให้กับคอมเพรสเซอร์ [9]

## 2.5 พื้นฐานทั่วไปเกี่ยวกับสารทำความเย็น

สารทำความเย็น เป็นส่วนประกอบสำคัญที่ทำงานร่วมกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบทำความเย็นแบบอัดไอ ทำหน้าที่รับความร้อนจากเนื้อที่ว่างหรือเทหวัตถุต่าง ๆ ในขณะที่เปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ เพื่อทำให้เกิดความเย็นที่อีวาพอเรเตอร์ โดยนำความร้อนที่ได้รับที่อีวาพอเรเตอร์และคอมเพรสเซอร์ ไประบายออกที่คอนเดนเซอร์เพื่อควบแน่นเป็นของเหลว และนำกลับมารับความร้อนเพื่อสร้างความเย็นใหม่ โดยมีพื้นฐานที่จำเป็นต้องศึกษาดังนี้

2.5.1 คุณสมบัติของสารทำความเย็น (Properties of refrigerants) สารทำความเย็นที่ดีควรมีคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

### 1) คุณสมบัติทางฟิสิกส์ (Physical properties) ได้แก่

- มีโครงสร้างทางเคมีมั่นคง คือ สามารถทำงานได้ภายใต้อุณหภูมิและความดันปกติในระบบโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงสภาพ
- ความหนาแน่นสูง ทำให้ลดขนาดและน้ำหนักของอุปกรณ์ในระบบได้
- จุดแข็งตัวต่ำ เพื่อไม่ให้สารทำความเย็นแข็งตัวขณะทำงาน
- รวมตัวกับน้ำมันหล่อลื่นได้ เพื่อให้สามารถพาน้ำมันหล่อลื่นกลับมาหล่อลื่นที่คอมเพรสเซอร์
- มีความต้านทานไฟฟ้าสูง เพื่อป้องกันไฟลัดวงจรผ่านสารทำความเย็นขณะทำงาน โดยเฉพาะเมื่อใช้ กับคอมเพรสเซอร์ชนิดหุ้มปิด
- ค่าความดันเพื่อการควบแน่นต่ำ ทำให้น้ำหนักและน้ำหนักของอุปกรณ์ลดลง โอกาสที่สารทำความเย็นรั่วออกจากระบบน้อยลง และลดอันตรายที่เกิดขึ้นเนื่องจากความดันสูงในระบบ

### 2) คุณสมบัติทางเคมี (Chemical properties) ได้แก่

- มีโครงสร้างทางเคมีมั่นคง คือสามารถทำงานได้ภายใต้อุณหภูมิและความดันปกติในระบบโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงสภาพ
- ไม่ติดไฟหรือไม่มีการระเบิดทั้งในสถานะที่เป็นของเหลว เป็นไอ
- ไม่ทำปฏิกิริยาหรือเกิดการกัดกร่อนในอุปกรณ์และวัสดุที่ใช้ในระบบ เช่น ยางพลาสติกน้ำมันหล่อลื่น ทองเหลือง ทองแดง อะลูมิเนียม เป็นต้น
- ไม่เป็นพิษ หรือไม่มีอันตรายต่อมนุษย์ สัตว์ หรือสิ่งแวดล้อมใด ๆ เช่น มีค่า ODP และ GWP
- เมื่อเกิดการรั่ว ไม่ทำให้รส กลิ่น สีของอาหารและน้ำดื่มเปลี่ยนแปลงหรือเป็นอันตราย

คุณสมบัติอื่น ๆ ที่ควรพิจารณา คือ ราคาถูก ค่าการบำรุงรักษาต่ำ ง่ายต่อการควบคุมด้านความปลอดภัย และไม่มีผลกระทบต่อปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม

#### 2.5.2 การเรียกชื่อสารทำความเย็น (Refrigerant nomenclature)

1) ฟรีออน (Freon) เป็นชื่อที่ใช้เรียกสารทำความเย็นที่ใช้อยู่ทั่วไป โดยบริษัทดูปองก์ (E. I. DuPont de Nemours & Co.Inc.) ซึ่งเป็นบริษัทที่มีชื่อเสียงด้านเคมีภัณฑ์ของสหรัฐอเมริกา เป็นผู้ผลิตและจำหน่ายสารทำความเย็นแพร่หลายเป็นบริษัทแรก โดยใช้ชื่อทางทะเบียนการค้าว่า FREON เช่น สารทำความเย็น Monochlorodifluoromethane (CHClF<sub>2</sub>) ใช้ชื่อ FREON-22 เป็นต้น

และชื่อ FREON นี้ได้ถูกนำไปใช้เรียกสารทำความเย็นของบริษัทอื่น ๆ ที่ถูกผลิตขึ้นในภายหลังด้วย ถึงแม้ว่าบริษัท ต่าง ๆ จะผลิตสารทำความเย็นมีชื่อทางทะเบียนการค้าเป็นของตัวเองก็ตาม

2) ชื่อสารทำความเย็นที่ถูกต้อง จะต้องเรียก Refrigerant หรือใช้แทนด้วย R เช่น Refrigerant-12 Refrigerant-22 หรือ R-12 R-22 โดยจะเป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัทใดก็ตาม หรืออาจเรียกชื่อตามกลุ่มของสารทำความเย็น เช่น CFC -12, HCFC-22 หรือ HFC-134a เป็นต้น

ข้อสังเกต เนื่องจากสารทำความเย็นที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน เป็นสารทำลายโอโซนและสร้างภาวะเรือนกระจกในบรรยากาศ ทำให้ชื่อเสียงและภาพพจน์ของสารทำความเย็นเสียหาย ถูกต่อต้านในการนำมาใช้งานชื่อของ FREON ซึ่งเคยเป็นตัวแทนของสารทำความเย็นจึงได้รับผลกระทบกระเทือนสูงสุด ปัจจุบันบริษัท DuPont ซึ่งเป็นผู้นำในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ด้านสารทำความเย็นชนิดใหม่ ๆ ออกมาทดแทนสารเดิมที่ทำลายสิ่งแวดล้อมดังกล่าว จึงทำการเปลี่ยนแปลงชื่อทางการค้าของสารทำความเย็นจาก FREON เป็น Suva แทน ดังนั้นต่อไปนี้ชื่อของ FREON จะลดความนิยมและความสำคัญลง แต่จะมีสารทำความเย็น Suva เข้ามามีบทบาทในงานด้านสารทำความเย็นแทน [10]

## 2.6 การพัฒนาและการเลือกใช้สารทำความเย็น

### 2.6.1 การพัฒนาสารทำความเย็นฟลูออโรคาร์บอน (Development of fluorocarbons)

สารทำความเย็นกลุ่มแรกที่นำมาใช้ในระบบทำความเย็นคือ แอมโมเนีย  $\text{NH}_3$  (R-717) และคาร์บอนไดออกไซด์  $\text{CO}_2$  (R-744) ซึ่งสารทำความเย็นกลุ่มอนินทรีย์สาร ต่อมาความต้องการในการใช้ระบบทำความเย็นมีการขยายตัวออกมากขึ้น จึงต้องการสารทำความเย็นที่มีคุณสมบัติต่างๆดีขึ้น เช่น มีความปลอดภัยสูงขึ้น มีความสามารถในการทำความเย็นดีขึ้น จึงได้มีการพัฒนาสารทำความเย็น กลุ่มฟลูออโรคาร์บอน เช่น ที่นิยมใช้กันแพร่หลายทั่วไปคือ R-11 R-12 R-22 R-134a เป็นต้น โดยสารทำความเย็นดังกล่าวได้จากการสังเคราะห์โมเลกุลของมีเทน ( $\text{Methane} - \text{CH}_4$ ) และอีเทน ( $\text{Ethan} - \text{C}_2\text{H}_6$ ) แสดงดังภาพที่ 2.4

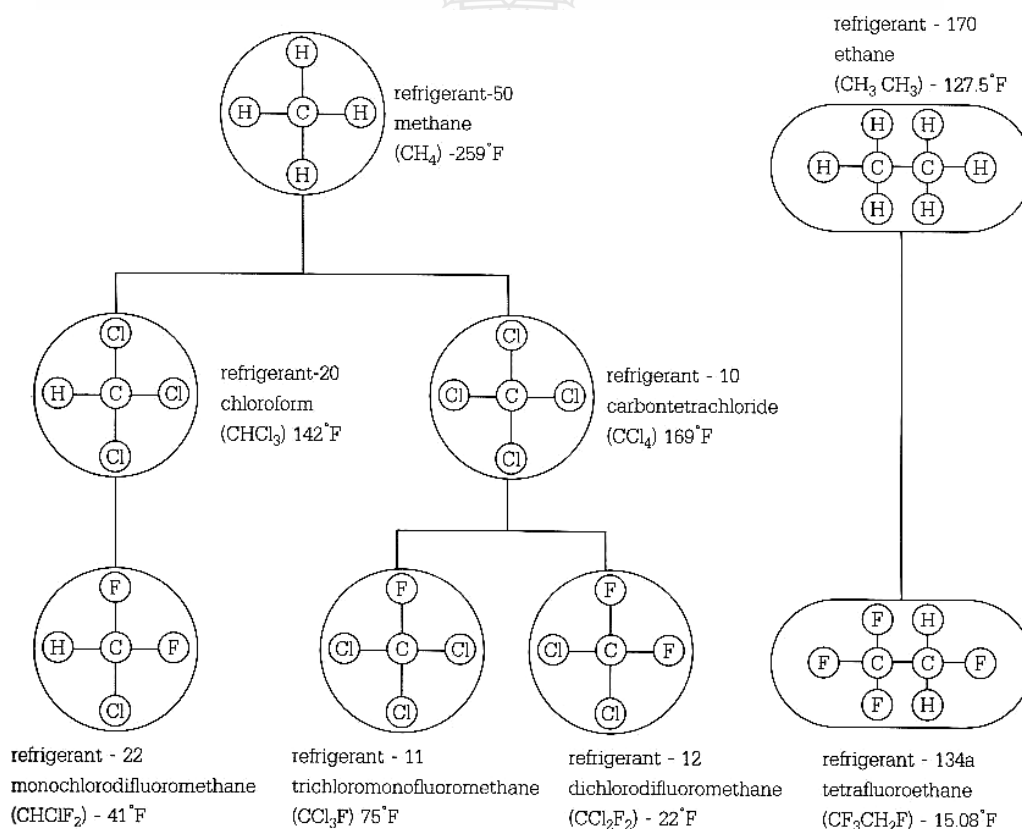
ข้อสังเกต การได้สารทำความเย็น R-22, R-11 และ R-12 ซึ่งเป็นสารทำความเย็นกลุ่มมีเทนนั้น เริ่มพิจารณาจากโมเลกุลของมีเทนซึ่งประกอบด้วยคาร์บอน (C) 1 อะตอม และไฮโดรเจน (H) 4 อะตอม

R-22 (Monochlorodifluoromethane -  $\text{CHClF}_2$ ) ได้จากการเปลี่ยนไฮโดรเจนจำนวน 3 อะตอมด้วยคลอรีน (Cl) จะได้เป็น R-20 (chloroform -  $\text{CHCl}_3$ ) เมื่ออะตอมของคลอรีนถูกเปลี่ยนเป็นอะตอมของฟลูออรีน (F) จำนวน 2 อะตอม จะได้สารทำความเย็น R-22 ซึ่งเป็นสาร HCFC นิยมใช้กับเครื่องปรับอากาศทั่วไป

R-11 (Trichloromonofluoromethane -  $\text{CCl}_3\text{F}$ ) ได้จากการเปลี่ยนไฮโดรเจนทั้ง 4 อะตอมด้วยคลอรีนซึ่งจะได้เป็น R-10 (Carbon tetrachloride -  $\text{CCl}_4$ ) เมื่ออะตอมของคลอรีนถูกเปลี่ยนเป็นอะตอมของฟลูออรีนจำนวน 1 อะตอม ผลที่ได้จะเป็น R-11 ซึ่งเป็นสาร CFC ที่นิยมใช้ในระบบปรับอากาศความดันต่ำทั่วไป

R-12 (Dichlorodifluoromethane -  $\text{CCl}_2\text{F}_2$ ) ได้จากการเปลี่ยน R-10 โดยแทนที่คลอรีนด้วยฟลูออรีนจำนวน 2 อะตอม ผลที่ได้จะเป็น R-12 ซึ่งเป็นสาร CFC ที่นิยมใช้ในตู้เย็นและเครื่องปรับอากาศชนิดทั่วไป

R-134a (Tetrafluoroethane -  $\text{CF}_2\text{CH}_2\text{F}$ ) เป็นสารทำความเย็นกลุ่มอีเทน ซึ่งโมเลกุลของอีเทนจะประกอบด้วยคาร์บอน 2 อะตอม และไฮโดรเจน 6 อะตอม เมื่อเปลี่ยนไฮโดรเจนด้วยฟลูออรีนจำนวน 4 อะตอม จะได้เป็น R-134a ซึ่งเป็นสาร HFC เป็นสารทำความเย็นที่ถูกพัฒนามาใช้แทน CFC



ภาพที่ 2.4 โครงสร้างของสารทำความเย็นกลุ่มมีเทนและอีเทน [10]



ภาพที่ 2.5 ถังบรรจุสารทำความเย็น

### 2.6.2 การเลือกใช้สารทำความเย็น

R-12 ( $\text{CCl}_2\text{F}_2$ ) เป็นสารทำความเย็นที่นิยมใช้กันมากที่สุด ผลิตขึ้นเพื่อจำหน่ายโดยบริษัท ดูปองท์ตั้งแต่ พ.ศ. 2473 (ค.ศ. 1930) เนื่องจากเป็นสารที่มีความปลอดภัย ไม่ติดไฟ มีระดับความปลอดภัย A1 แต่ห้ามสารทำความเย็น R-12 สัมผัสกับเปลวไฟ เพราะจะกลายเป็นสารพิษได้ มีจุดเดือด  $-21.6^\circ\text{F}$  ( $-29.8^\circ\text{C}$ ) ที่ความดันบรรยากาศ ใช้งานได้ในระบบที่มีอุณหภูมิสูง ปานกลาง และต่ำ R-12 รวมตัวกับน้ำมันหล่อลื่นได้ดีในทุกสถานะ ทำให้ไม่มีปัญหาในเรื่องน้ำมันหล่อลื่นค้างในระบบ สารทำความเย็นสามารถพาน้ำมันหล่อลื่นกลับคอมเพรสเซอร์ได้ดี โดยเฉพาะจะไม่มีฟิล์มน้ำมันจับเคลือบที่ผิวท่อ ทำให้ประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนดี R-12 มีอัตราการทำความเย็นต่ำจึงมีขนาดของอุปกรณ์ใหญ่กว่า แต่มีข้อดีคือทำงานได้ที่ความดันต่ำ นิยมใช้ทั่วไป เช่น ตู้เย็น ตู้แช่ เครื่องปรับอากาศรถยนต์ เป็นต้น

R-22  $\text{CHClF}_2$  เป็นสารกลุ่มฟลูออโรคาร์บอน มีค่าความปลอดภัยระดับ A1 มีจุดเดือด  $-41.4^\circ\text{F}$  ( $-40.8^\circ\text{C}$ ) ที่ความดันบรรยากาศ เมื่อเทียบกับ R-12 แล้ว R-22 จะทำงานที่ความดันสูงกว่า แต่ใช้คอมเพรสเซอร์ที่มีขนาดเล็กกว่าเพราะปริมาตรจำเพาะน้อยกว่า R-22 สามารถรวมกับน้ำมันหล่อลื่นได้แต่จะแยกตัวออกที่อุณหภูมิต่ำเมื่ออยู่ในอิวาพอเรเตอร์ใช้กับเครื่องทำความเย็น เครื่องปรับอากาศขนาดเล็กและขนาดใหญ่ทั่วไป

R-134a ( $\text{CF}_2\text{CH}_2\text{F}$ ) เป็นสารกลุ่มฟลูออโรคาร์บอน มีค่าความปลอดภัยระดับ A1 มีจุดเดือด  $-15.0^\circ\text{F}$  ( $-26.2^\circ\text{C}$ ) ที่ความดันบรรยากาศ เป็นสารทำความเย็นที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้แทน R-12



ซึ่งได้ถูกยกเลิกการผลิตตามข้อบังคับของพิธีสารมอนทรีออล R-134a มีคุณสมบัติในการรวมตัวกับน้ำได้ดี (Water solubility) จึงมีโอกาที่จะเกิดน้ำแยกตัวออกจากสารทำความเย็น ไปเป็นน้ำแข็งอุดตัน ล้นลดความดันได้และเนื่องจากไม่สามารถรวมตัวกับสารหล่อลื่นชนิด (Mineral oils) ที่มีความสามารถในการดูดความชื้นสูงจึงต้องระวังอย่าให้มีโอกาสสัมผัสกับอากาศปัจจุบัน เครื่องปรับอากาศรถยนต์และผู้เย็นที่ผลิตใหม่ถูกบังคับให้เปลี่ยนมาใช้ R-134a แทน R-12 ทั้งหมด

R-290 ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$ ) เป็นสารทำความเย็นกลุ่มไฮโดรคาร์บอน มีค่าความปลอดภัยระดับ A3 มีจุดเดือด  $-43.6\text{ }^\circ\text{F}$  ( $-42\text{ }^\circ\text{C}$ ) ที่ความดันบรรยากาศ เป็นสารทำความเย็นที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้แทน R-22 ไม่มีอันตรายต่อชั้นบรรยากาศโอโซน มีค่า GWP (Global warming potential (GWP) <3 มีอายุขัย ณ ชั้นบรรยากาศ <1 ปี มีค่าความเป็นพิษอยู่ในระดับต่ำ เมื่อเทียบกับ R-22 แล้ว จะทำงานที่ความดันต่ำกว่า ใช้ระบบเดียวกันกับ R-22 ได้ ไม่สามารถรวมตัวกับน้ำได้ (Water insoluble) มีอุณหภูมิติดไฟอัตโนมัติที่ความดัน 0 psi ที่  $450\text{ }^\circ\text{C}$  ใช้ทดแทนในระบบ R-22

Cold-134a ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$ ) เป็นสารทำความเย็นกลุ่มไฮโดรคาร์บอน มีค่าความปลอดภัยระดับ A3 มีจุดเดือด  $-22.9\text{ }^\circ\text{F}$  ( $-30.5\text{ }^\circ\text{C}$ ) ที่ความดันบรรยากาศ เป็นสารทำความเย็นที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้แทน R-134a ไม่มีอันตรายต่อชั้นบรรยากาศโอโซน มีค่า GWP (Global warming potential (GWP) <3 มีอายุขัย ณ ชั้นบรรยากาศ <1 ปี มีค่าความเป็นพิษอยู่ในระดับต่ำ เมื่อเทียบกับ R-134a แล้ว จะทำงานที่ความดันต่ำกว่า ใช้ระบบเดียวกันกับ R-134a ได้ ไม่สามารถรวมตัวกับน้ำได้ (Water insoluble) มีอุณหภูมิติดไฟอัตโนมัติที่ความดัน 0 psi ที่  $460\text{ }^\circ\text{C}$  ใช้ทดแทนในระบบ R-134a

## ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติสารทำความเย็น

ชื่อสาร	CFC -12	HCFC-22	HFC -134a	R-290
ODP	1.0	0.05	0.0	0.0
GWP	2.8	0.34	0.3	< 3

สารทำความเย็น Cold-22 เป็นสารทำความเย็นที่ผลิตขึ้นโดยการนำส่วนผสมหลักจากแก๊สธรรมชาติซึ่งไม่มีปัญหาในการทำลายชั้นบรรยากาศ (ODP) และไม่ทำให้ปัญหาพื้นโลกร้อนขึ้น (GWP) ได้มีการพัฒนาสารทำความเย็น R-290 ให้เหมาะสมกับสภาพอากาศในเขตร้อน เป็นเวลากว่า 12 ปี เพื่อให้เหมาะสมต่อสภาพอากาศทั่วไป และสามารถช่วยในการประหยัดพลังงานระหว่างคอมเพรสเซอร์ ทำงานเย็นเร็วกว่าสารทำความเย็น ประเภท CFCs HCFCs or HFCs based refrigerant gases ด้วยเหตุผลของค่าจุดเดือดของสารทำความเย็นทดแทน R-290 มีความดันต่ำกว่าสาร

ทำความเย็นที่กล่าวมาข้างต้น สามารถช่วยลดการใช้พลังงานในการหมุนเครื่องคอมเพรสเซอร์ได้ไม่น้อยกว่า 10% (10%-30% Range) ไม่ต้องเปลี่ยนแปลงหรือตัดแปลงระบบเครื่องทำความเย็นรวมทั้งสารหล่อลื่นที่สามารถใช้ได้ทั้ง น้ำมัน MO หรือ POE คุณสมบัติของสารทำความเย็น R-290 ไม่ทำการกัดกร่อนระบบ การดูความร้อนได้ดีโดยใช้พลังงาน ในการหมุนมอเตอร์คอมเพรสเซอร์น้อยกว่าจึงทำให้การสึกหรอของระบบน้อยลง ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษาไม่มีความจำเป็นจะเปลี่ยนน้ำมันคอมเพรสเซอร์ เป็นชนิดสังเคราะห์ (POE) เพราะสารทำความเย็น R-290 เป็นสารทำความเย็นตระกูลเดียวกับน้ำมันคอมเพรสเซอร์ของ R-12 และ R-22 (MO oil) เป็นสารทำความเย็นประเภท สารทดแทนระยะยาว (ODP 0.0 และ GWP <3) [10]

## 2.7 มอเตอร์คอมเพรสเซอร์

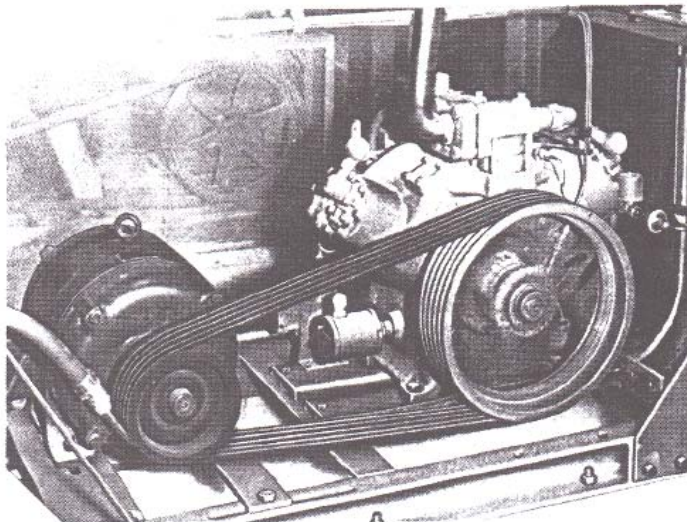
คอมเพรสเซอร์ทำหน้าที่ดูดสารทำความเย็นในสภาพที่เป็นไอจากอีวาพอเรเตอร์ เพื่อให้มีความดันในอีวาพอเรเตอร์ลดต่ำจนทำให้สารทำความเย็นกลายเป็นไอและสร้างความเย็นได้ พร้อมทั้งทำการอัดให้สารทำความเย็นมีความดันสูงขึ้นจนสามารถควบแน่นเป็นของเหลวในคอนเดนเซอร์และส่งสารทำความเย็นผ่านอุปกรณ์ต่าง ๆ ในวงจร เราสามารถจำแนกคอมเพรสเซอร์ออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ จำแนกตามลักษณะ โครงสร้าง และจำแนกตามวิธีการอัด

### 2.7.1 การจำแนกคอมเพรสเซอร์ตามลักษณะ โครงสร้าง (Types of construction)

เป็นการแบ่งประเภทโดยพิจารณาจากโครงสร้างของคอมเพรสเซอร์และอุปกรณ์ขับเคลื่อน ซึ่งแยกออกได้เป็น 3 แบบคือ

#### 1) คอมเพรสเซอร์แบบเปิด (Open type compressors)

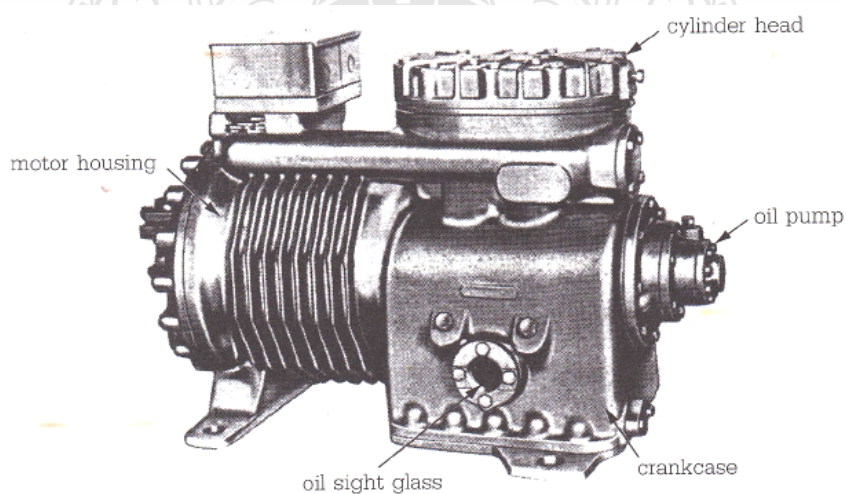
คือแบบที่ตัวขับซึ่งอาจจะเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าหรือเครื่องยนต์และตัวคอมเพรสเซอร์ถูกแยกออกเป็นอิสระต่อกัน กำลังขับจะถูกส่งผ่านสายพานหรือต่อขับเพลลาโดยตรง และเนื่องจากจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ป้องกันการรั่วที่เพลลา ซึ่งเป็นข้อเสียที่หลังจากใช้งานไปแล้วอาจเกิดการรั่วไหลของสารทำความเย็นหรือน้ำมันหล่อลื่นได้ รวมทั้งขณะทำงานทำงานจะมีเสียงดังและสิ้นเปลืองเนื้อที่มากแต่มีข้อดีคือเมื่อมีปัญหาสามารถแยกเฉพาะส่วนของตัวขับคอมเพรสเซอร์ที่เสียบออกมาซ่อมได้



ภาพที่ 2.6 โครงสร้างของคอมเพรสเซอร์แบบเปิด ส่งกำลังขับเคลื่อนด้วยสายพาน [10]

## 2) คอมเพรสเซอร์แบบกึ่งปิด (Semi-hermetic compressors)

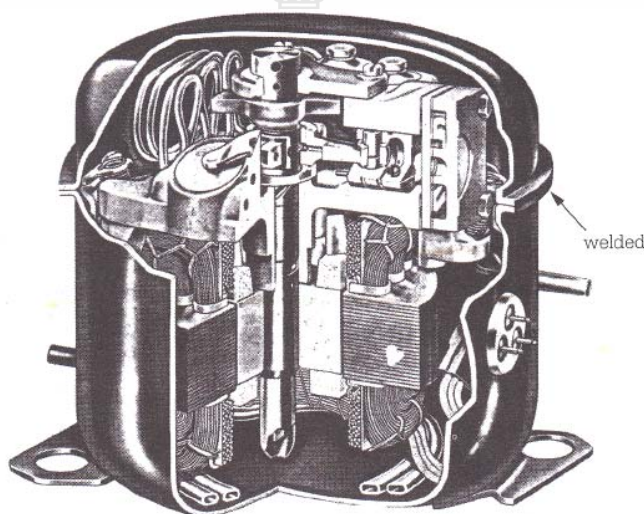
คือแบบที่ตัวคอมเพรสเซอร์และตัวขับเคลื่อนจะถูกประกอบรวมอยู่ในโครงสร้างเดียวกันโดยใช้สลักเกลียวเป็นตัวยึด ดังนั้นเมื่อเกิดการเสียหาย และเนื่องจากไม่มีการต่อแกนเพลลาออกมาภายนอกจึงไม่ต้องใช้อุปกรณ์ป้องกันการรั่วที่เพลลา



ภาพที่ 2.7 โครงสร้างคอมเพรสเซอร์แบบกึ่งปิด [10]

### 3) คอมเพรสเซอร์แบบหุ้มปิด (Hermetic compressors)

คือแบบที่ตัวคอมเพรสเซอร์และตัวขับเคลื่อนประกอบรวมอยู่ในโครงสร้างเดียวกัน และถูกเชื่อมปิดสนิท ซึ่งมีข้อดีคือป้องกันการรั่วได้ดี มีขนาดเล็ก ทำงานได้เงียบ มีความสิ้นเปลืองน้อย จึงนิยมใช้กับเครื่องทำความเย็นที่ใช้ในบ้าน แต่มีข้อเสียคือไม่สามารถแยกตัวขับหรือคอมเพรสเซอร์ออกมาซ่อมเฉพาะส่วนที่เสียได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการถอดออกมาตรวจซ่อมยากเพราะถูกประกอบไว้ด้วยวิธีการเชื่อม



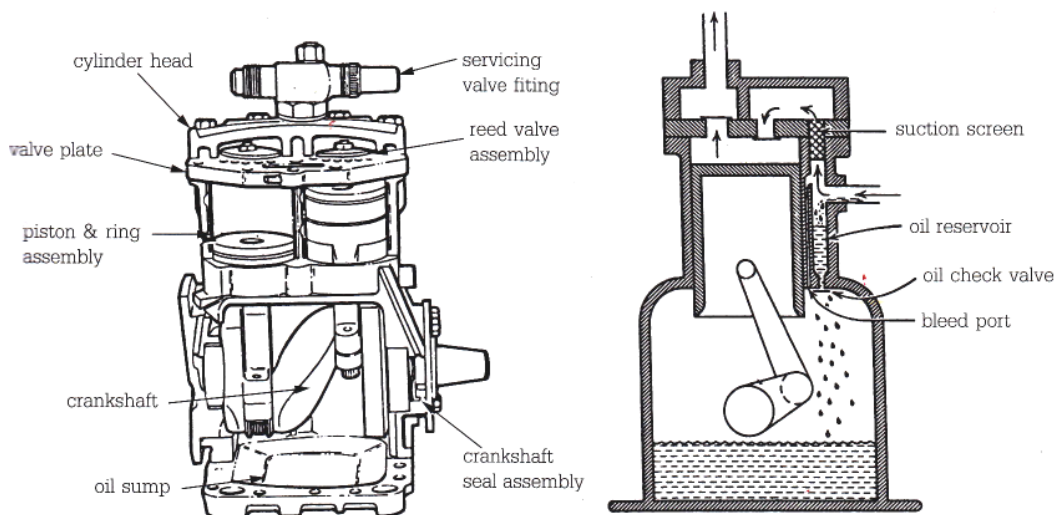
ภาพที่ 2.8 โครงสร้างของคอมเพรสเซอร์แบบหุ้มปิด [10]

#### 2.7.2 การจำแนกคอมเพรสเซอร์ตามวิธีการอัด (Compression methods)

การจำแนกคอมเพรสเซอร์ตามวิธีการอัด แบ่งเป็นการอัดเชิงปริมาตร (Volumetric compression) เช่น แบบลูกสูบ แบบโรตารี แบบก้นหอย แบบเกลียว และการอัดแบบใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal compression) เช่น แบบอัดครั้งเดียว แบบอัดหลายครั้ง

##### 1) คอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบ (Reciprocating type)

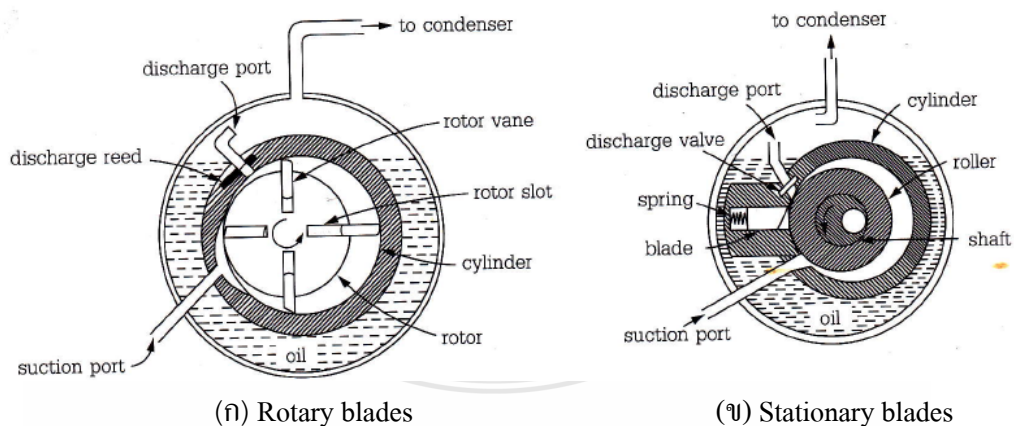
อาศัยการทำงานของเพลาค้อเหวี่ยง (Crank shaft) ขับลูกสูบให้เกิดการดูดอัด มีใช้กับเครื่องทำความเย็นตั้งแต่ขนาดเล็กต่ำกว่าแรงม้าจนถึงขนาดใหญ่มากกว่า 100 แรงม้า เป็นแบบที่นิยมใช้งานมากที่สุด



ภาพที่ 2.9 คอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบ [10]

2) คอมเพรสเซอร์แบบโรตารี (Rotary type)

อาศัยการทำงานของลูกสูบหมุน (Rotor) เป็นตัวดูดอัดสารทำความเย็นโดยอาศัยเพลลาขับ (Rotor shaft) แทนเพลลาข้อเหวี่ยง ทำให้ทำงานได้เงียบ มีความสั่นสะเทือนน้อย และมีขนาดเล็กกว่าลูกสูบ แบ่งการทำงานออกเป็น 2 แบบ คือ แบบแผ่นใบมีดหมุน และแบบแผ่นใบมีดอยู่กับที่ (Stationary blades)

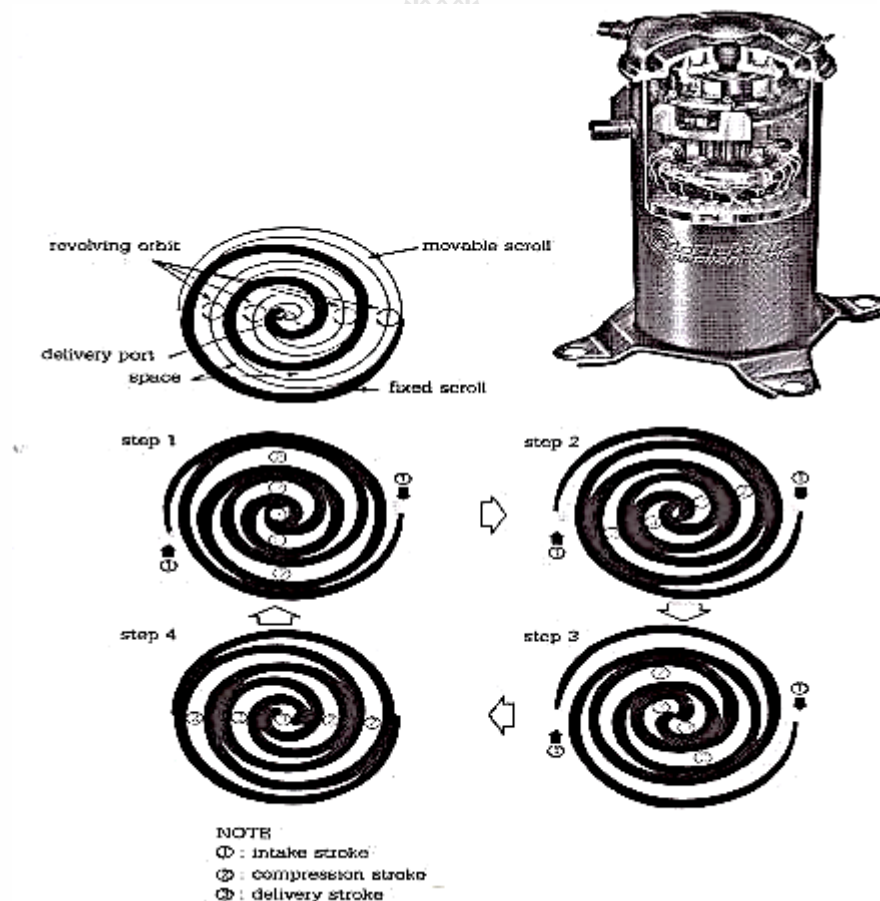


ภาพที่ 2.10 คอมเพรสเซอร์แบบโรตารี [10]



### 3) คอมเพรสเซอร์แบบก้นหอยหรือแบบสโครล์ (Scroll type)

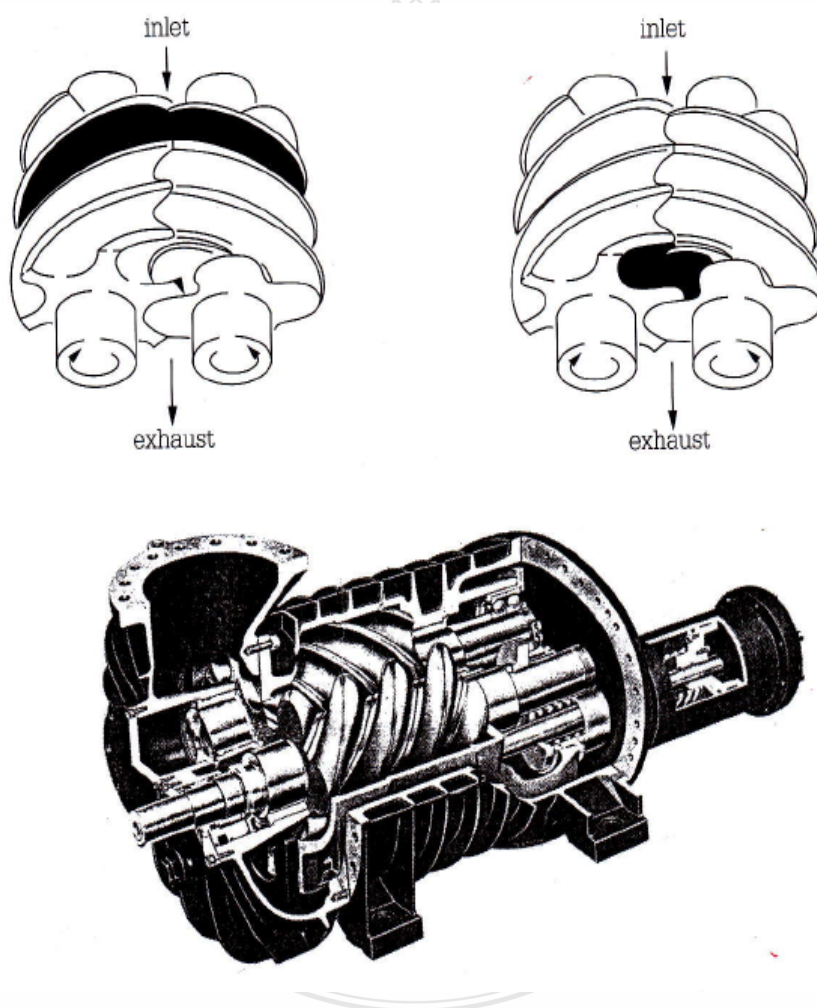
เป็นคอมเพรสเซอร์แบบใหม่ล่าสุดที่ถูกออกแบบมาใช้งานในระบบการทำความเย็นแบบอัดไอ การทำงานจะประกอบด้วยชิ้นส่วนที่สำคัญ 2 ส่วน คือ ส่วนที่มีลักษณะเป็นก้นหอยอยู่กับที่และส่วนที่เคลื่อนที่ ซึ่งจะเคลื่อนที่ในลักษณะเชิงศูนย์ โดยไม่มีการเคลื่อนที่ในลักษณะหมุนรอบแกน (Not rotate) โดยความดันจะเพิ่มจากภายนอกและถูกอัดเพิ่มมากที่สุดเมื่ออยู่ที่แกนกลาง ลักษณะเทียบได้เหมือนกับการเคลื่อนที่ของพายุทอร์นาโด (Tornado) ปัจจุบันนำมาใช้กับระบบปรับอากาศในที่พักอาศัย ในสำนักงาน รวมทั้งระบบปรับอากาศในรถยนต์ เนื่องจากการทำงานมีการเคลื่อนไหวน้อยไม่ต้องใช้เส้นทางดูด-ทางส่ง จึงทำงานได้เรียบและเงียบกว่า ให้ประสิทธิภาพสูงกว่าแบบลูกสูบประมาณ 10-15%



ภาพที่ 2.11 การทำงานของคอมเพรสเซอร์แบบก้นหอย หรือ แบบสโครล์ [10]

#### 4) คอมเพรสเซอร์แบบสกรู (Screw type)

ทำงานโดยอาศัยสกรู 2 ตัว คือสกรูตัวเมีย (Female rotor) และสกรูตัวผู้ (Male rotor) โดยสกรูตัวเมียจะอาศัยช่องเกลียวเป็นที่เก็บสารทำความเย็น ส่วนสกรูตัวผู้จะใช้สันเกลียวรีดสารทำความเย็นออกมาตามแกนของสกรูทั้งสอง และเนื่องจากต้องใช้น้ำมันหล่อลื่นทำหน้าที่ป้องกันการรั่วระหว่างช่องว่างของเกลียวทั้งสองขณะทำงานจึงมีน้ำมันหล่อลื่นออกไปกับสารทำความเย็นจำนวนมากที่ทางออกของคอมเพรสเซอร์แบบสกรู จึงต้องติดตั้งอุปกรณ์แยกน้ำมันหล่อลื่น (Oil separator) ไว้ด้วยเสมอ

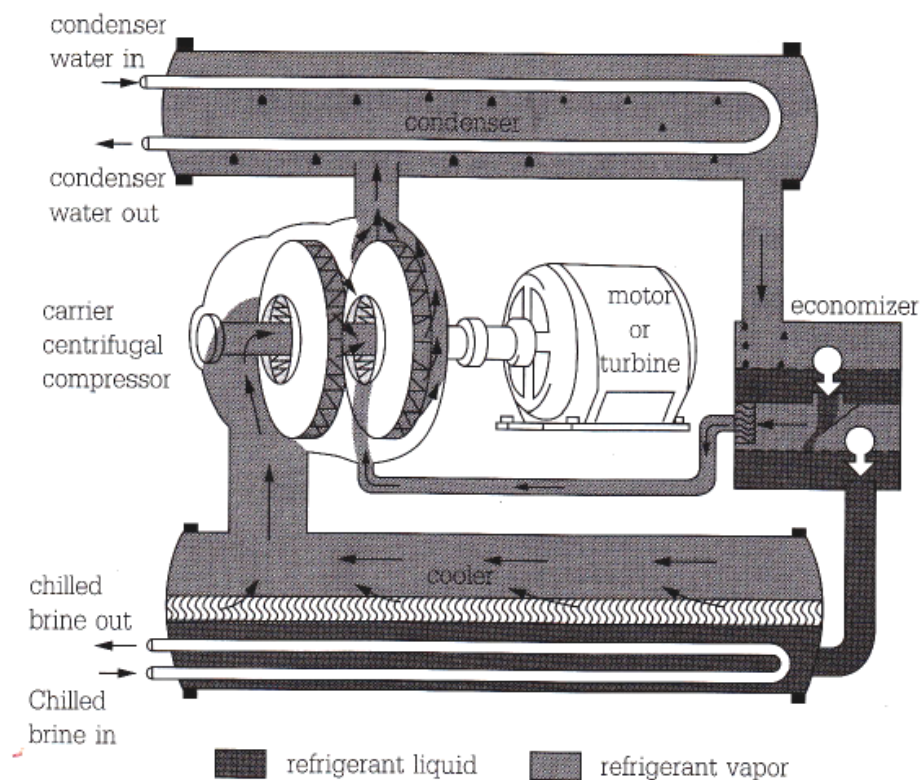


ภาพที่ 2.12 การทำงานของคอมเพรสเซอร์แบบสกรู [10]

### 5) คอมเพรสเซอร์แบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal type)

ทำงานโดยอาศัยใบพัด (Impeller) หมุนด้วยความเร็วรอบสูงประมาณ 3,000 ถึง 1,8000 รอบ/นาที ใช้กับเครื่องทำความเย็นขนาดใหญ่ 250 ถึง 1,000 ตัน เนื่องจากทำงานที่ความดันต่ำ จึงเหมาะที่จะใช้กับระบบที่ใช้สารทำความเย็นที่มีจุดเดือดสูง เช่น R-11 , R-113 หรือ R-123 ซึ่งภายใต้ความดันบรรยากาศจะมีจุดเดือดที่ 74.8° F , 117.6°F และ 82°F ตามลำดับ

ตัวอย่างการใช้งานได้แก่ระบบปรับอากาศที่ใช้ในห้างสรรพสินค้าหรืออาคารขนาดใหญ่จะใช้เป็นระบบчилเลอร์ ใช้สารทำความเย็น R-11 เป็นสารทำความเย็น คอมเพรสเซอร์เป็นแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง โดยจะทำงานที่ความดันด้านดูดประมาณ 12-18 นิ้วปรอท (ต่ำกว่าบรรยากาศ) และความดันด้านอัดประมาณ 2-12 ปอนด์/ตารางนิ้ว ซึ่งเป็นความดันในการทำงานที่ต่ำกว่ามากเมื่อเปรียบเทียบกับคอมเพรสเซอร์แบบอื่นๆ



ภาพที่ 2.13 การทำงานของคอมเพรสเซอร์แบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง [10]



## 2.8 ตัวแปรที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานมอเตอร์

- 1) อุณหภูมิของอากาศโดยรอบ
- 2) การระบายความร้อน
- 3) ค่า service factor
- 4) แรงดันไฟฟ้า

อายุการใช้งานของมอเตอร์จะยาวนานหรือสั้นลง ส่วนสำคัญส่วนหนึ่งคือ อายุการใช้งานของฉนวนที่ขดลวด ส่วนอื่นๆเช่น แบร์ริง ซึ่งเป็นอุปกรณ์ทางกลสามารถที่จะพอมองเห็นได้ด้วยตาหรือฟังด้วยเสียงได้ และการเปลี่ยนอุปกรณ์เหล่านี้ ไม่ยากและราคาไม่สูงมากนัก

มอเตอร์ส่วนใหญ่เกินกว่า 50% จะเสียหายเนื่องมาจากเกิดการลัดวงจรของขดลวด การลัดวงจรอาจจะเกิดจากปัญหาทางกลที่สามารถมองเห็นได้ง่าย แต่สาเหตุใหญ่ที่อยู่เบื้องหลัง คือฉนวนเสื่อมคุณภาพก็เพราะความเป็นฉนวนไม่สามารถทำหน้าที่เป็นฉนวนทนแรงดันไฟฟ้าสูงสุดได้ จึงทำให้เกิดแรงดันทะลุฉนวน เกิดการลัดวงจรทางไฟฟ้า หรือลัดวงจรลงดิน



ก) ก่อนไหม้

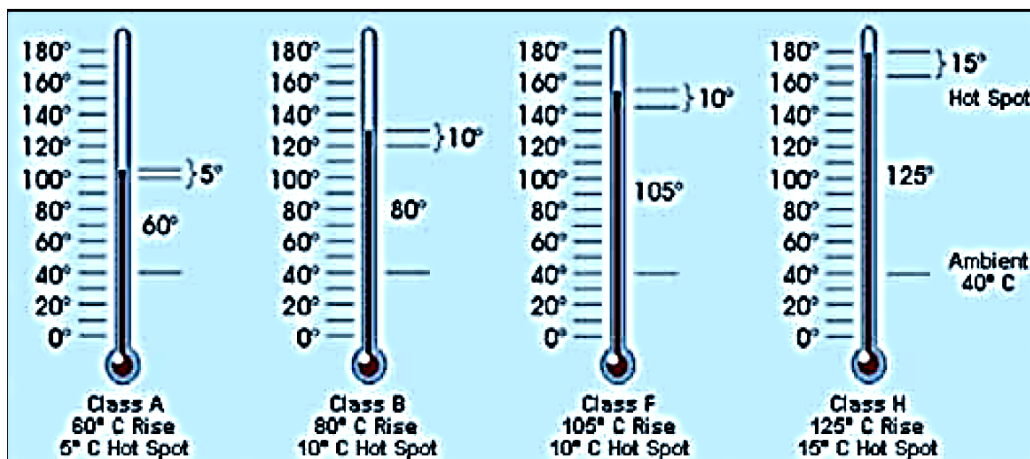


ข) หลังไหม้

ภาพที่ 2.14 ขดลวดสเตเตอร์ [11]

ฉนวนเสื่อมคุณภาพสาเหตุใหญ่เกิดจากอุณหภูมิเกินพิกัด เพราะอุณหภูมิที่สูงเกินจะทำให้คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุเปลี่ยนไป ความเป็นฉนวนของขดลวดเสื่อมคุณภาพ ทำให้เกิดการลัดวงจรลงโครง หรือ ระหว่างขดลวด

อุณหภูมิเกินพิกัดนั้นมีสาเหตุมาจากหลายปัจจัย เช่น สภาพแวดล้อมไม่ตรงกับที่ออกแบบมอเตอร์ขับโหลดเกิน ทำให้กระแสเกิน การสตาร์ทบ่อยเกินไป จะมีกระแสเป็นจำนวนมากในตอนที่มอเตอร์สตาร์ททำให้ร้อนจัด หรือการเลือกมอเตอร์ไม่เหมาะสมกับสภาพการใช้งาน เป็นต้น ดังนั้นปัจจัยที่สำคัญที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่ออายุการใช้งานของมอเตอร์ก็คือ ความร้อนเกินพิกัด (Temperature limited) นั่นเอง



ภาพที่ 2.15 มาตรฐานอุณหภูมิของฉนวน สำหรับขดลวดมอเตอร์ [12]

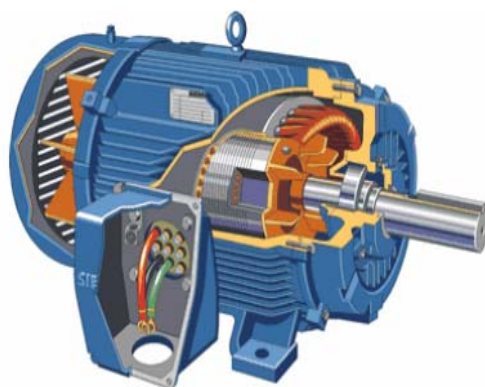
โดยปกติฉนวนสำหรับมอเตอร์ควรมีอายุการใช้งานประมาณ 20 ปี ถ้ามอเตอร์นั้นทำงานภายใต้สภาวะแวดล้อมตามที่ออกแบบเอาไว้ หากอุณหภูมิของฉนวนเพิ่มขึ้นทุก ๆ 10 องศาเซลเซียส (10 °K) อายุการใช้งานของฉนวนจะสั้นลงโดยประมาณ 50% ยกตัวอย่างเช่น ตามสถิติ ฉนวน Class F (155 °C) นำไปใช้งานที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นตาม Class F (105 °K) จะมีอายุการใช้งานประมาณ 60,000 ชั่วโมง แต่หากนำไปใช้งานที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นตาม Class B (80 °K) จะมีอายุการใช้งานประมาณ 150,000 ชั่วโมง เป็นต้น

## 2.9 การป้องกันขดลวดมอเตอร์ไม่ให้อ่อนจัด

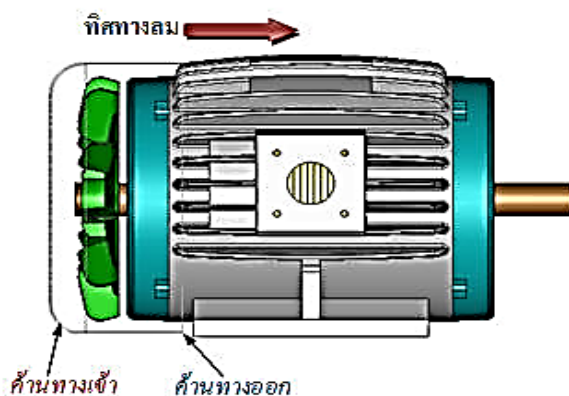
มอเตอร์ที่ร้อนจัดเป็นสาเหตุให้อายุการใช้งานสั้นลง การระบายความร้อนจึงเป็นวิธีการในทางปฏิบัติที่ช่วยลดอุณหภูมิที่มอเตอร์ได้เป็นอย่างดี การระบายความร้อนแบ่งออกเป็นหลักๆ ได้คือ

### 2.9.1 การระบายความร้อนด้วยอากาศ

การระบายความร้อนด้วยอากาศจะอาศัยพัดลมในการพัดอากาศให้ไหลเวียน ผ่านผิวด้านนอก เพื่อถ่ายเทความร้อนให้ดีขึ้น ส่วนมากจะเหมาะกับมอเตอร์คอมเพรสเซอร์แบบเปิด เพราะตัวมอเตอร์จะมีครีบบนสำหรับระบายความร้อนในตัว ถ้ามอเตอร์ที่ระบายความร้อนด้วยอากาศทำงานในบริเวณที่มีการกักความร้อน (อยู่ใกล้ทะเลหรืออากาศที่มีมลพิษ) ควรทำการเคลือบป้องกันผิวด้วยการระบายความร้อนด้วยอากาศก็จะต้องมีความเสี่ยงกับการดูดตันจากเศษวัสดุที่ลอยมาในอากาศ เช่น ฝุ่น ขนนก เป็นต้น จึงต้องทำความสะอาดเป็นระยะ เพื่อป้องกันการสะสมของสิ่งสกปรก



ภาพที่ 2.16 โครงสร้างของมอเตอร์ที่ระบายความร้อนด้วยอากาศ [12]



ภาพที่ 2.17 ทิศทางลมในการระบายความร้อน [12]

### 2.9.2 การระบายความร้อนด้วยน้ำ

การระบายความร้อนด้วยน้ำคือการนำน้ำมาเป็นตัวกลางในการระบายความร้อน โดยน้ำที่ระบายความร้อนจะไหลอยู่ในท่อและระบายความร้อนผ่านทางผิวสัมผัส การถ่ายเทความร้อนที่ดีขึ้นอยู่กับความเร็วของน้ำที่ไหลในท่อ ระบบที่มีประสิทธิภาพ น้ำที่ระบายออกจะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น มีค่าแตกต่างประมาณ  $5^{\circ}\text{C}$

สำหรับน้ำระบบขนาดเล็กมากที่ใช้ในเชิงพาณิชย์โดยมากจะใช้น้ำประปาระบายความร้อนโดยตรง แต่ถ้าระบบใหม่ๆ จะมีการออกแบบให้มีการใช้น้ำน้อยลง เนื่องจากค่าน้ำประปาสูงขึ้น สำหรับระบบขนาดใหญ่ น้ำระบายความร้อนจะถูกทำให้เย็นลง โดยใช้หอผึ่งน้ำ (Cooling tower) ผลของการระบายความร้อนให้น้ำ จะทำให้น้ำบางส่วนระเหยไปกับอากาศและถ้าหากมีการอุดตันทางเดินอากาศและน้ำ ประสิทธิภาพของการระบายความร้อนก็จะลดลง

การอุดตันเกิดขึ้นได้เสมอ โดยมีต้นเหตุจากตะกอนในน้ำหรือตะไคร่น้ำ ดังนั้น น้ำระบาย ความร้อนควรมีการบำบัด เพื่อป้องกันปัญหาข้างต้นและป้องกันการเติบโตของแบคทีเรีย

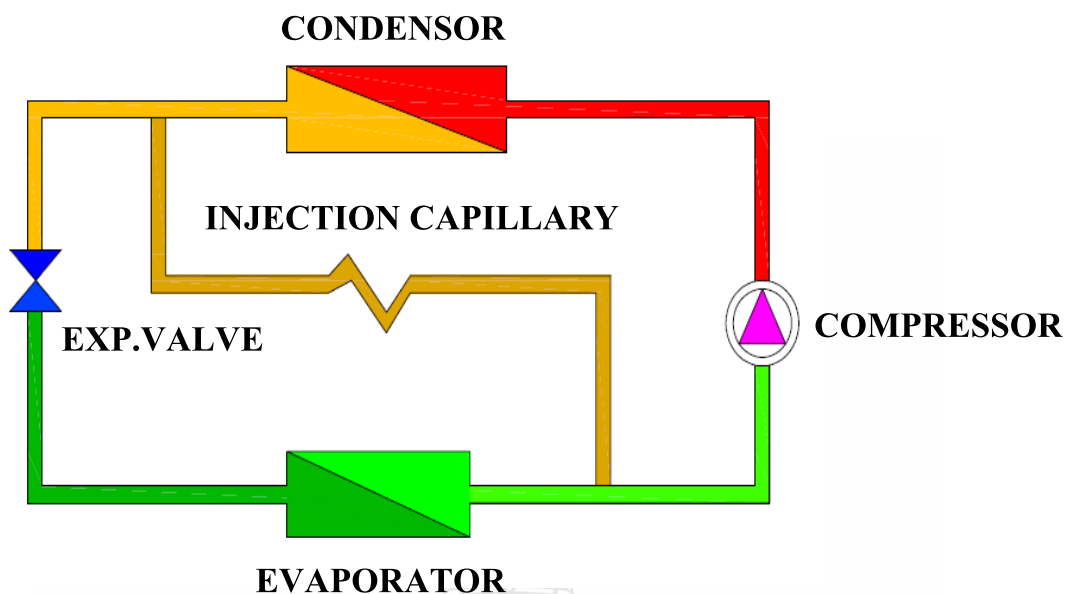


ภาพที่ 2.18 การระบายความร้อนคอมเพรสเซอร์ด้วยน้ำ

### 2.9.3 การใช้ท่อฉีดสารทำความเย็นเหลว (Injection capillary)

ท่อฉีดสารทำความเย็นเหลว จะถูกติดตั้งอยู่ระหว่างคอยล์และท่อด้านดูด ทำหน้าที่ฉีด สารทำความเย็นเหลวเข้าไปเพื่อระบายความร้อนในมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ โดยแบ่งสารทำความเย็น สถานะของเหลวส่วนหนึ่งซึ่งยังมีความดันสูงและอุณหภูมิสูงอยู่ จะไปลดความดัน โดยผ่านตัวท่อฉีด สารทำความเย็นเหลว พร้อมกับรับความร้อนจากสารทำความเย็นที่ออกมาจากอีวาपोเรเตอร์ และเปลี่ยนสถานะเป็นไอที่มีอุณหภูมิต่ำ หลังจากจากนั้นจะถูกคอมเพรสเซอร์ดูดกลับเข้าไปเพื่ออัด ใหม่ สารทำความเย็นอุณหภูมิต่ำก็จะช่วยระบายความร้อนให้กับมอเตอร์คอมเพรสเซอร์





ภาพที่ 2.19 การติดตั้งท่อฉีดสารทำความเย็นเหลวระบายความร้อนคอมเพรสเซอร์

## 2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศักดิ์รินทร์ รัสศรี [13] ศึกษาการอบแห้งมะม่วงแช่แข็งโดยใช้ปั๊มความร้อน เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้ง โดยอบแห้งแบบระบบปิด ใช้ปั๊มความร้อนขนาด 3.5 kW น้ำหนักอบแห้งเริ่มต้น 40 kg อบแห้งมะม่วงแช่แข็งที่ความชื้นเริ่มต้น 85 %db ให้เหลือความชื้นสุดท้าย 18 %db จากการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งมะม่วงแช่แข็งโดยใช้ปั๊มความร้อน คืออุณหภูมิอบแห้ง 50 °C สัดส่วนอากาศไหลข้ามเครื่อง (By pass air) ทำระเหยคงที่ 60 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้อัตราการไหลเชิงมวลอยู่ในช่วง 0.321-0.428 kg/s โดยคุณภาพของมะม่วงแช่แข็งหลังการอบแห้ง มีลักษณะผิวแห้งไม่เกาะติดกันเนื้อไม่แข็งกระด้างมีรูปร่างดีและขนาดสม่ำเสมอซึ่งได้ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม และสีมีลักษณะสีส้มปนแดงค่อนข้างอ่อนซึ่งอยู่ในเกณฑ์ดี

ประทาน รักปรารค์ [14] ได้ศึกษาการอบแห้งด้วยระบบปั๊มความร้อน โดยทดลองอบแห้งมะละกอแช่แข็งแบบกะ (Batch drying) ในระบบปิด (Closed system) น้ำหนักผลิตภัณฑ์ก่อนอบแห้งอยู่ในช่วง 100 - 132 กิโลกรัม ใช้เครื่องอัดไอขนาดมอเตอร์ 1.3 kW สามารถทำความเย็นได้ 3.52 kW (หรือ 1 ตันความเย็น) ใช้สารทำความเย็น R-22 อุณหภูมิอบแห้ง 50 °C อัตราการไหลเชิงมวลจำเพาะของอากาศ 21 กิโลกรัมอากาศแห้งต่อชั่วโมง-กิโลกรัมมะละกอแห้ง (0.45 กิโลกรัมต่อวินาที) สัดส่วนอากาศที่ไหลข้ามเครื่องทำระเหย (Evaporator by pass air ratio) 63 % โดยแบ่งการอบแห้งออกเป็น 2

ช่วง ช่วงแรกอบแห้งที่ขนาดชื้น  $6.35 \times 15 \times 2.54 \text{ cm}^3$  ความชื้นเริ่มต้น 74 % Dry basis และช่วงที่สอง นำมะละกอแช่จุ่มจากช่วงแรกมาลดขนาดลงเป็น  $0.98 \times 0.98 \times 0.98 \text{ cm}^3$  แล้วนำไปอบต่อจนเหลือความชื้นสุดท้าย 23 % Dry basis พบว่ามีความสิ้นเปลืองพลังงานเท่ากับ 9.93 เมกะจูลต่อกิโลกรัม น้ำระเหย หรือ SMER (Specific moisture extraction) 0.363 กิโลกรัม น้ำระเหยต่อกิโลวัตต์ - ชั่วโมง ที่อัตราการไหลเฉพาะของอากาศต่ำสุด 21.42 กิโลกรัมอากาศแห้งต่อชั่วโมง-กิโลกรัมมะละกอแช่จุ่มแห้ง ค่าสมรรถนะของระบบปั๊มความร้อน ( $\text{COP}_{\text{hp}}$ ) มีค่าระหว่าง 3.71 - 3.85 และค่าใช้จ่ายในการดำเนินการอบแห้งมะละกอแช่จุ่มทั้งหมด 12.8 บาทต่อกิโลกรัม น้ำระเหย แยกเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน 5.3 บาทต่อกิโลกรัม น้ำระเหย ค่าใช้จ่ายด้านการบำรุงรักษา 1.4 บาทต่อกิโลกรัม น้ำระเหย และค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องอบแห้ง 6.1 บาทต่อกิโลกรัม น้ำที่ระเหย

ชานินทร์ การภักดี [15] งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและทดสอบเครื่องอบแห้งเมล็ดพันธุ์ โดยใช้ระบบปั๊มความร้อนร่วมกับตู้อบแห้งแบบเมล็ดไหลคลุกเคล้า โดยทำการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกแบบระบบเปิด จากความชื้นเริ่มต้น 13.5-22.2 % wb ให้เหลือความชื้นสุดท้ายประมาณ 12 % wb อุณหภูมิอากาศอบแห้ง  $43 \text{ }^{\circ}\text{C}$  อัตราการไหลเฉพาะของอากาศ  $8.7 \text{ m}^3/\text{min} - \text{m}^3$  ข้าวเปลือก และปรับเปลี่ยนอัตราส่วนอากาศที่ไม่ผ่านอุปกรณ์ระเหย 3 ค่า คือ 0 %, 30 % และ 50 % เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลที่มีผลต่อ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะสมรรถนะของระบบปั๊มความร้อน ( $\text{COP}_{\text{hp}}$ ) อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (SMER) และอัตราการควบแน่นของน้ำที่อุปกรณ์ระเหย (MER) จากการทดลองพบว่า Bypass air ratio ที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งแบบระบบเปิดคือ 0% ซึ่งทำให้ความสิ้นเปลืองพลังงานมีค่าต่ำสุด  $\text{COP}_{\text{hp}}$  และ SMER มีค่าสูงสุด ส่วน MER มีค่าลดลงเมื่อปรับ Bypass air ratio เป็น 0 % และมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อปรับ bypass air ratio เป็น 30 % และ 50 % ตามลำดับ จากผลการตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดพันธุ์พบว่า เมล็ดพันธุ์มีคุณภาพดีมาก โดยมีความงอกเฉลี่ยเท่ากับ 98 % และ 97 % จากการตากแดดและการอบแห้งตามลำดับ และมีความแข็งแรงเฉลี่ยเท่ากับ 96 % และ 95 % จากการตากแดดและการอบแห้งตามลำดับ จากการประเมินค่าใช้จ่ายในการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกความชื้นเริ่มต้น 22.2 % มาตรฐานเปียก เหลือความชื้นสุดท้าย 12.5 % มาตรฐานเปียก พบว่า มีค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดเท่ากับ 2.81 บาทต่อกิโลกรัม น้ำที่ระเหย โดยแบ่งเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงานเท่ากับ 0.63 บาท ต่อกิโลกรัม น้ำที่ระเหย ค่าใช้จ่ายด้านการบำรุงรักษาเท่ากับ 0.41 บาทต่อกิโลกรัม น้ำที่ระเหย และค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องอบแห้งเท่ากับ 1.77 บาทต่อกิโลกรัม น้ำที่ระเหย

พรศิกานัฐ ใจบุญ และคณะ [16] ได้ศึกษาการอบแห้งเนื้อลำไยด้วยปั๊มความร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล เปรียบเทียบกับการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนเพียงอย่างเดียวโดยการทดลอง

อบแห้งลำไยพันธุ์ค้อ จากความชื้นเริ่มต้น  $545 \pm 5$  % db หรือประมาณ 84 % wb จนเหลือความชื้นสุดท้ายประมาณ 20 % Dry basis (18 % wb) ที่อุณหภูมิอากาศอบแห้ง  $55$  °C ความเร็วลม  $0.3$  m/s กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับรังสีอินฟราเรดอยู่ระหว่าง 250 – 450W โดยเปรียบเทียบผลจากการอบแห้งทั้งสองวิธีในด้านจลนศาสตร์ของการอบแห้ง คือ การหดตัวและการคืนตัวของลำไยหลังการอบแห้ง ผลการศึกษาพบว่า การอบแห้งลำไยด้วยปั๊มความร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรดใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่าการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนเพียงอย่างเดียว ผลจากการตรวจสอบคุณภาพของลำไยหลังจากการอบแห้ง พบว่า ลำไยที่อบแห้งโดยใช้ปั๊มความร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลจากแท่งอินฟราเรดที่ได้รับกำลังไฟฟ้าสูงจะใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่าการอบแห้งลำไยด้วยปั๊มความร้อน ลำไยแห้งที่ได้จะมีสีแดงและการหดตัวน้อยกว่าในขณะที่การคืนตัวได้มากกว่าลำไยแห้งที่ได้จากการอบด้วยปั๊มความร้อนเพียงอย่างเดียว

จุฑามาส ภควัตบริษัท [17] งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาศมรรถนะของปั๊มความร้อนที่ทำงานร่วมกับสารดูดความชื้นชนิดแข็งที่ใช้ในกระบวนการอบแห้ง โดยสารดูดความชื้นที่ใช้คือซิลิกาเจลจัดเรียงตัวเป็นแผ่นสลับ (Baffle) วางขวางทางไหลของอากาศที่เข้าสู่กระบวนการอบแห้ง เพื่อลดความชื้นของอากาศ ตัวแปรที่ทำการศึกษาได้แก่ ขนาดและจำนวนแผ่นสารดูดความชื้นที่ใช้ อุณหภูมิความเร็วลมและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่เข้าสู่กระบวนการ ในการศึกษาได้ทำการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของกระบวนการดูดซับความชื้น กระบวนการไล่ความชื้นของสารดูดซับความชื้น กระบวนการไล่ความชื้นของสารดูดความชื้น และระบบปั๊มความร้อน ในการวิจัยได้สร้างชุดทดลองโดยใช้สารดูดความชื้นทำงานร่วมกับระบบปั๊มความร้อนเพื่อใช้กระบวนการอบแห้งระบบปั๊มความร้อนที่ใช้เป็นระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอ ใช้สารทำงานคือ R-134 a ทำการควบคุมความเร็วรอบ การหมุนของคอมเพรสเซอร์อยู่ในช่วง 100-200 rpm. สภาวะอากาศที่เข้าสู่กระบวนการถูกควบคุมให้อยู่ในช่วง  $20-40$  °C ความชื้นสัมพัทธ์ 50-80 % ความเร็วลม 1-2 m/s ทำการศึกษาในระบบที่มีโครงสร้าง 2 ลักษณะ คือ แบบ A และ แบบ B ในระบบแบบ A นั้น ใอน้ำจะถูกแยกออกจากอากาศโดยการกลั่นตัวที่อีวาพอเรเตอร์ จากนั้นจะได้อากาศเย็นไปปรับอากาศร้อนที่คอนเดนเซอร์ จะได้อากาศที่เข้าห้องอบแห้งที่มีความชื้นต่ำ ในระบบแบบ B อากาศจากภายนอกจะได้รับความร้อนจากคอนเดนเซอร์และ ฮีตเตอร์เท่านั้นก่อนที่จะเข้าสู่ห้องอบแห้ง และอีวาพอเรเตอร์จะดึงความร้อนและลดความชื้นสัมพัทธ์จากอากาศร้อนที่ออกจากห้องอบแห้งพบว่า ผลจากแบบจำลองมีค่าได้ใกล้เคียงกับผลการทดลองอยู่ในช่วงไม่เกิน 10% จึงใช้แบบจำลองดังกล่าวในการทำนายผลการประหยัดพลังงาน จากการวิจัยพบว่าการใส่สารดูดความชื้นทำงานร่วมกับปั๊มความร้อนในโครงสร้างแบบ B ที่ใช้ในการวิจัย ส่งผลให้สามารถใช้พลังงานโดยรวมได้ต่ำลง โดยการสับเปลี่ยนสารดูดความชื้นต่างๆ

30 นาที จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ เมื่อใช้งานระบบที่เวลา 6,000 ชั่วโมง/ปี ที่อัตราอบแห้ง 1.5 kg/hr พบว่าสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้สูงสุด 18,000-25,000 บาท/ปี ค่าอัตราการคืนทุน (IRR) 78-114% ระยะเวลาคืนทุน 0.9-1.3 ปี

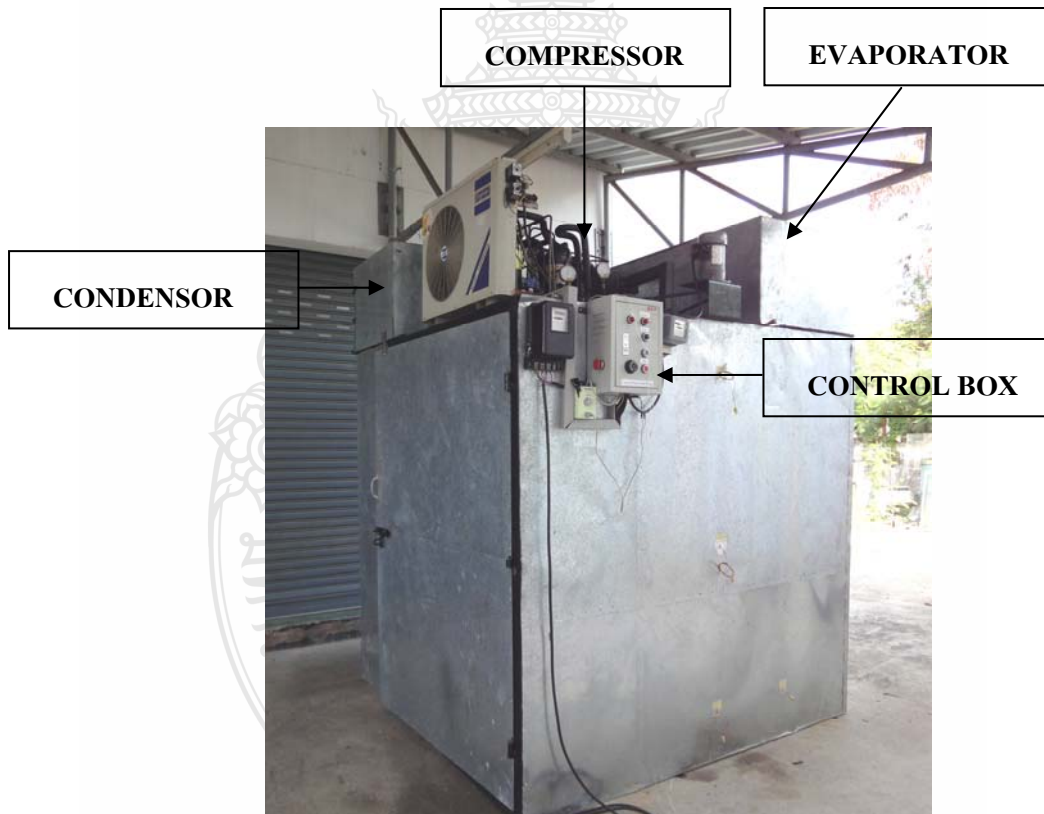
บัญชา ยาทิพย์, สมชาติ โสภณธนฤทธิและอดิศักดิ์ นาถกรณกุล [18] ศึกษาความเป็นไปได้ของการนำป้อนความร้อนมาใช้ในการอบแห้ง โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบใกล้เคียงสมดุล ศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อความสิ้นเปลืองพลังงานเพื่อหาแนวทางการอบแห้งที่เหมาะสม ตัวแปรที่ทำการศึกษา คือ อัตราการไหลจำเพาะ อุณหภูมิของอากาศอบแห้ง ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ แวดล้อม ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกและความสูงของชั้นข้าวเปลือก โดยศึกษาอยู่ในช่วงอัตราการไหลเชิงปริมาตรจำเพาะของอากาศ 10 – 20 m<sup>3</sup>/min – m<sup>3</sup> ข้าวเปลือก อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 36 - 50 °C อากาศแวดล้อม 30 °C ความชื้นสัมพัทธ์เปลี่ยนแปลงค่าที่ 70 % และ 80 % ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกอยู่ในช่วง 18 -24 % wb และความสูงของชั้นข้าวเปลือกเปลี่ยนแปลงค่าที่ 0.5 m และ 1 m ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่าอัตราอบแห้งขึ้นอยู่กับอัตราการไหลจำเพาะของอากาศและอุณหภูมิของอากาศที่อัตราการไหลจำเพาะของอากาศต่ำ อุณหภูมิสูงจะสิ้นเปลืองพลังงานต่ำและที่ความสูงของชั้นข้าวเปลือก สูงจะทำให้สิ้นเปลืองพลังงานสูง จุดที่เหมาะสมในการอบแห้งคือ ที่อัตราการไหลจำเพาะของอากาศ 12 m<sup>3</sup>/min – m<sup>3</sup> ข้าวเปลือก อุณหภูมิ 49 °C ความสูงของชั้นข้าวเปลือก 0.5 m อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อมเท่ากับ 30 °C และ 70 % ตามลำดับ ใช้งาน 2,160 ชั่วโมงต่อปี ค่าใช้จ่ายในการอบแห้งข้าวเปลือกโดยลดความชื้นจาก 24 % เหลือ 14% wb เท่ากับ 61.50 บาท/ตัน



### บทที่ 3

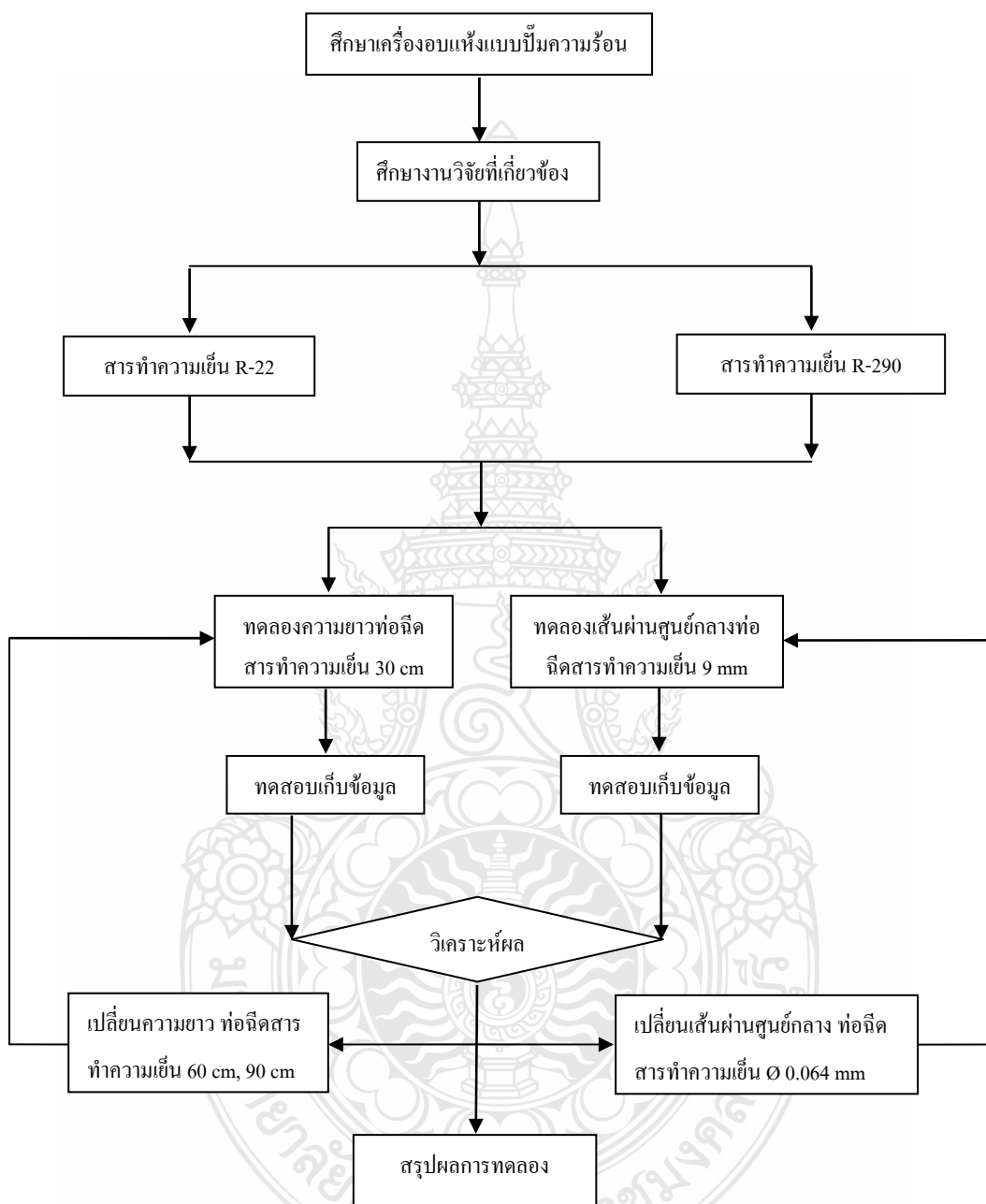
## วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิธีการระบายความร้อนมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ของปั๊มความร้อน มีตัวแปรที่ต้องทำการศึกษาคือ ชนิดของสารทำความเย็น อุณหภูมิในการอบแห้ง อุณหภูมิที่คอมเพรสเซอร์ โดยศึกษาการปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับที่สภาวะเงื่อนไขต่าง ๆ กัน เพื่อหาวิธีการลดความร้อนมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ของปั๊มความร้อน ภาพที่ 3.1 เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนที่ใช้ในการทดลอง



ภาพที่ 3.1 เครื่องอบแห้งใช้ปั๊มความร้อน

### 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยและการเก็บข้อมูล



ภาพที่ 3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยโดยรวม

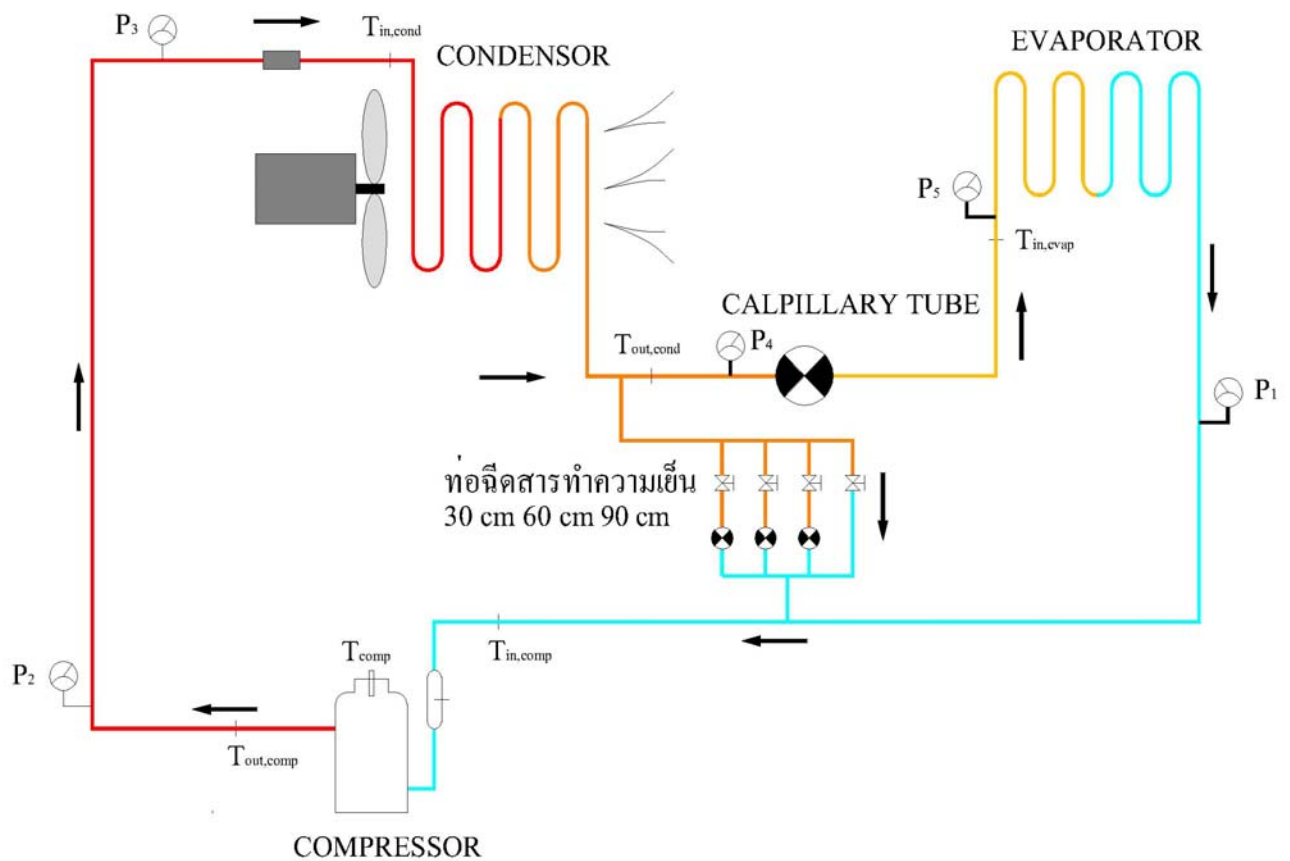
จากการศึกษาทฤษฎีในบทที่ 2 ได้กำหนดวิธีการศึกษาการระบายความร้อนคอมเพรสเซอร์ของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนออกเป็น 2 กรณี กรณีที่ 1 การศึกษาผลการเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อฉีดสารทำความเย็นในการระบายความร้อนมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ของระบบปั๊มความร้อน กรณีที่ 2 การศึกษาผลการเปลี่ยนความยาวท่อฉีดสารทำความเย็นระบายความร้อนมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ แสดงดังภาพที่ 3.2

### 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด

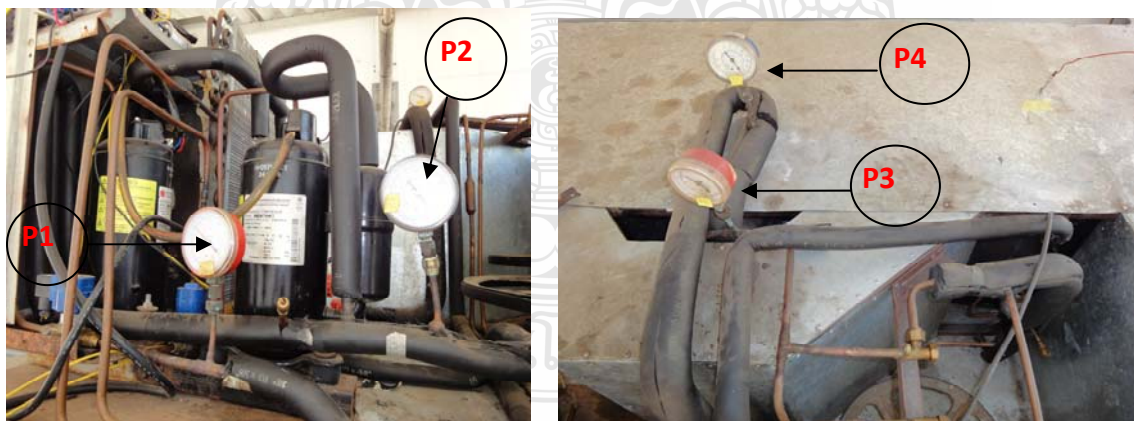
#### 3.2.1 การวัดความดัน

การวัดความดันของสารทำความเย็นที่ตำแหน่งต่าง ๆ โดยใช้บรูคองเกจในการวัดความดันที่ตำแหน่งทางเข้าและทางออกของแต่ละอุปกรณ์ ดังภาพที่ 3.4 และภาพที่ 3.5

- 1) เกจวัดความดันด้านต่ำ  $P_1$
- 2) เกจวัดความดันด้านสูง  $P_2$
- 3) เกจวัดความดันที่ทางเข้าคอนเดนเซอร์  $P_3$
- 4) เกจวัดความดันที่ทางออกคอนเดนเซอร์  $P_4$
- 5) เกจวัดความดันที่ทางเข้าอีวาโปเรเตอร์  $P_5$
- 6) จุดวัดอุณหภูมิสารทำความเย็นก่อนเข้าคอมเพรสเซอร์  $T_{in,comp}$
- 7) จุดวัดอุณหภูมิสารทำความเย็นที่ทางออกคอมเพรสเซอร์  $T_{out,comp}$
- 8) จุดวัดอุณหภูมิมอเตอร์คอมเพรสเซอร์  $T_{comp}$
- 9) จุดวัดอุณหภูมิสารทำความเย็นก่อนเข้าคอนเดนเซอร์  $T_{in,cond}$
- 10) จุดวัดอุณหภูมิสารทำความเย็นที่ทางออกคอนเดนเซอร์  $T_{out,cond}$
- 11) จุดวัดอุณหภูมิสารทำความเย็นก่อนเข้าอีวาพอเรเตอร์  $T_{in,evap}$



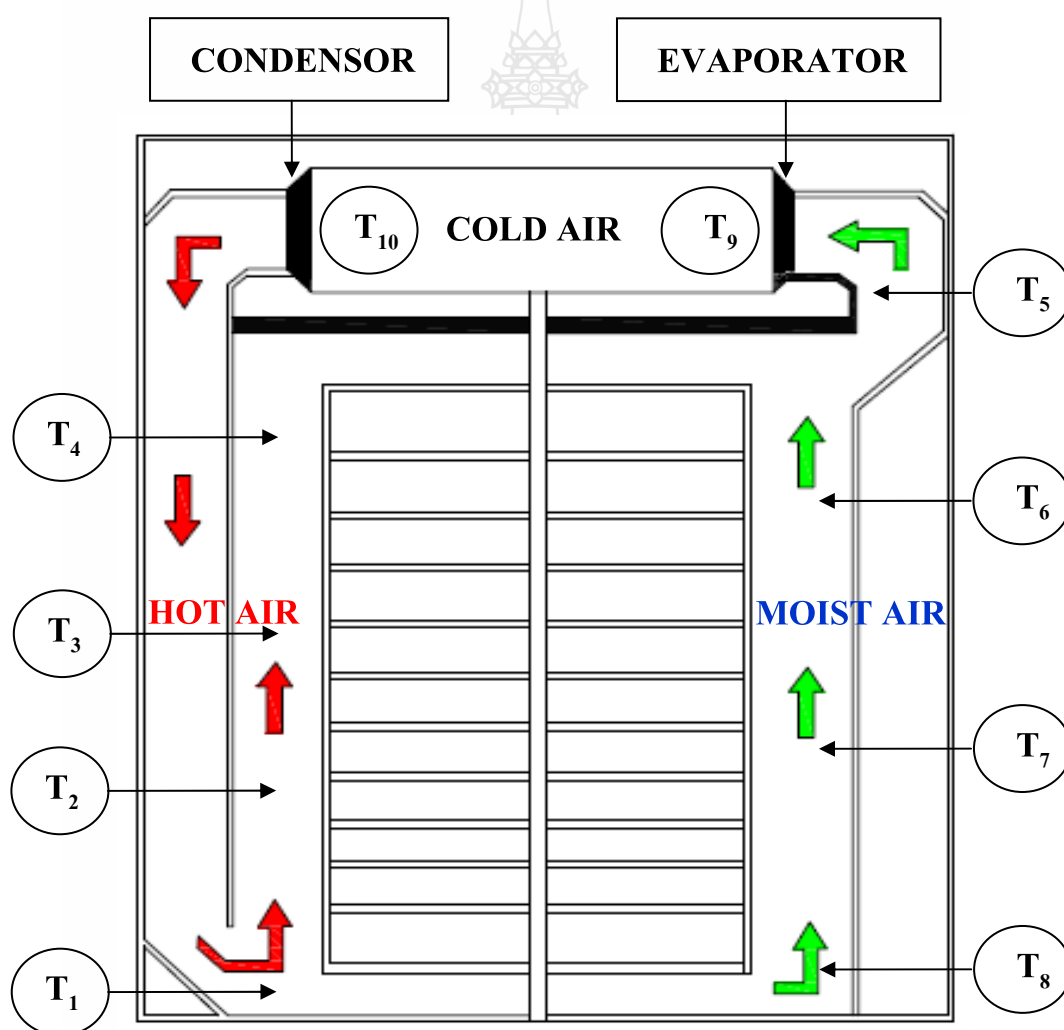
ภาพที่ 3.3 การติดตั้งเครื่องมือวัดความดันและอุณหภูมิในระบบปั๊มความร้อน



ภาพที่ 3.4 การติดตั้งเครื่องมือวัดความดันในระบบปั๊มความร้อน

### 3.2.2 การวัดอุณหภูมิภายในตู้อบ

การวัดอุณหภูมิ จะบันทึกค่าที่ตำแหน่งเข้าและออกจากแต่ละอุปกรณ์ โดยใช้อุณหภูมิกระเปาะแห้งใช้เทอร์โมคัปเปิล ชนิด K ต่อเข้ากับ Data logger ซึ่งมีความละเอียด  $\pm 0.1$  °C ใช้วิธีเจาะท่อสารทำความเย็นและสอดสายเทอร์โมคัปเปิล ชนิด K เข้าไปในท่อทองแดงปลายปิดขนาดเล็กฝังอยู่ในท่อสารทำความเย็น อุณหภูมิภายในตู้อบแห้งทำการวัดโดยใช้อุณหภูมิกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้งของห้องอบแห้ง แสดงดังภาพที่ 3.6 และภาพที่ 3.7 การติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลวัดอุณหภูมิอากาศภายในตู้อบแห้ง ภาพที่ 3.8 แสดงเครื่องวัดอุณหภูมิเทอร์โมคัปเปิล TYPE K รุ่น UN-306A



ภาพที่ 3.5 การติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลเพื่อใช้วัดอุณหภูมิอากาศตำแหน่งต่างๆภายในตู้อบแห้งที่ใช้ระบบปั๊มความร้อน



ภาพที่ 3.6 เครื่องมือวัดอุณหภูมิเทอร์โมคัปเปิล TYPE K รุ่น UN-306A



ภาพที่ 3.7 การติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลเพื่อใช้วัดอุณหภูมิอากาศตำแหน่งต่างๆภายในตู้อบแห้งที่ใช้ระบบปั๊มความร้อน

### 3.2.3 การวัดความเร็วลม

ใช้เครื่องมือวัดความเร็วลม ที่มีย่านการวัด 1.1 – 20.0 m/s แบบDIGICON รุ่นDA-40



ภาพที่ 3.8 เครื่องวัดความเร็วลม แบบDIGICON รุ่น DA-40

### 3.2.4 การวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้า

ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารวมซึ่งจ่ายให้กับคอมพิวเตอร์และพัดลม จะถูกบันทึกด้วย กิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์ การวัดกำลังงานไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าใช้ เครื่องมือ CLAMP TESTER ในการวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าแสดงดังภาพที่ 3.9 กิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์ และภาพที่ 3.10 เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้า CLAMP TESTER รุ่น DM-617



ภาพที่ 3.9 การติดตั้งกิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์





ภาพที่ 3.10 เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้า CLAMP TESTER รุ่น DM-617

### 3.2.5 การวัดอุณหภูมิคอมเพรสเซอร์

อุณหภูมิที่คอมเพรสเซอร์ใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด แสดงดังภาพที่ 3.11 เครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด รุ่น DP – 88

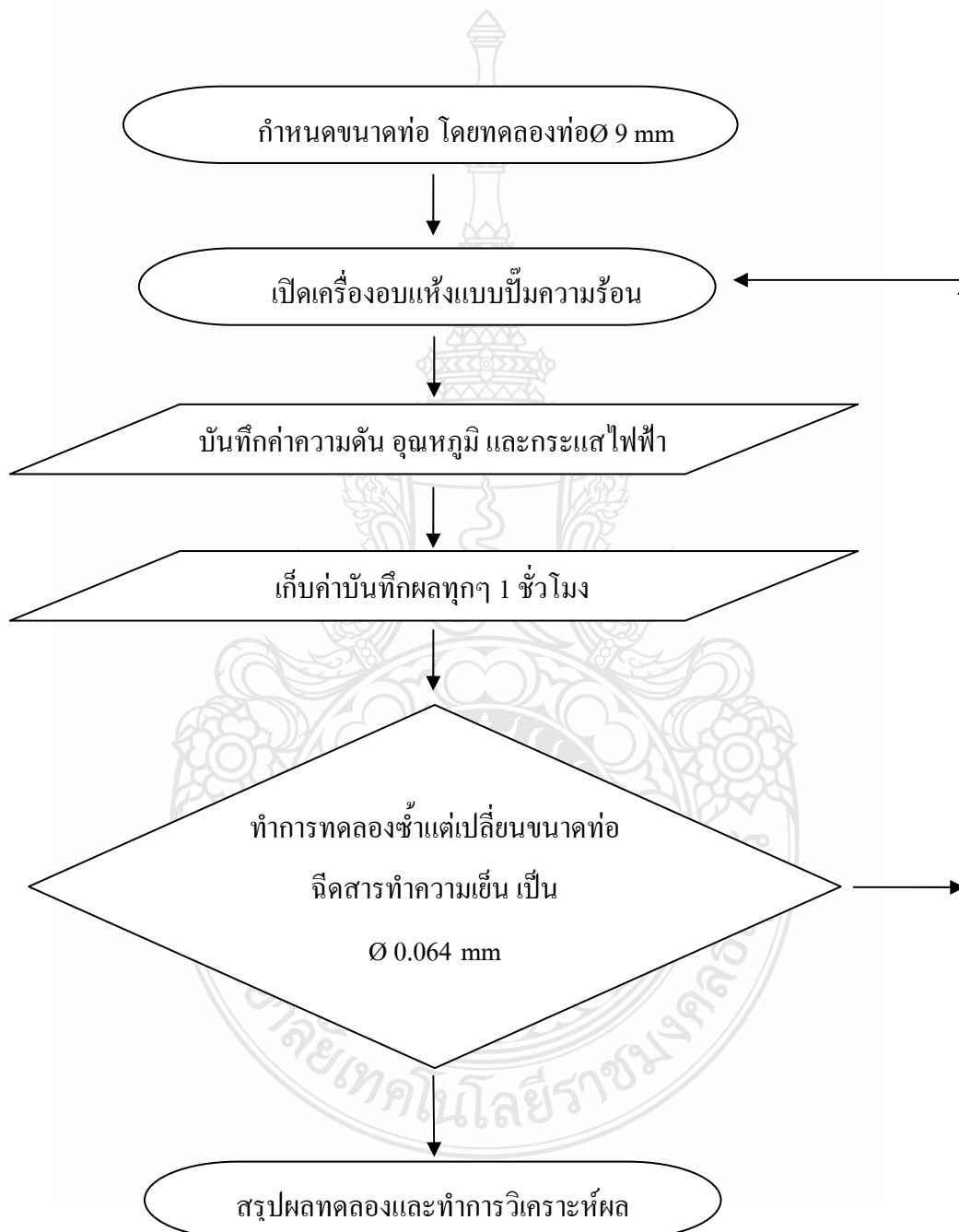


ภาพที่ 3.11 เครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด รุ่น DP – 88



### 3.3 วิธีการทดลองและเก็บข้อมูล

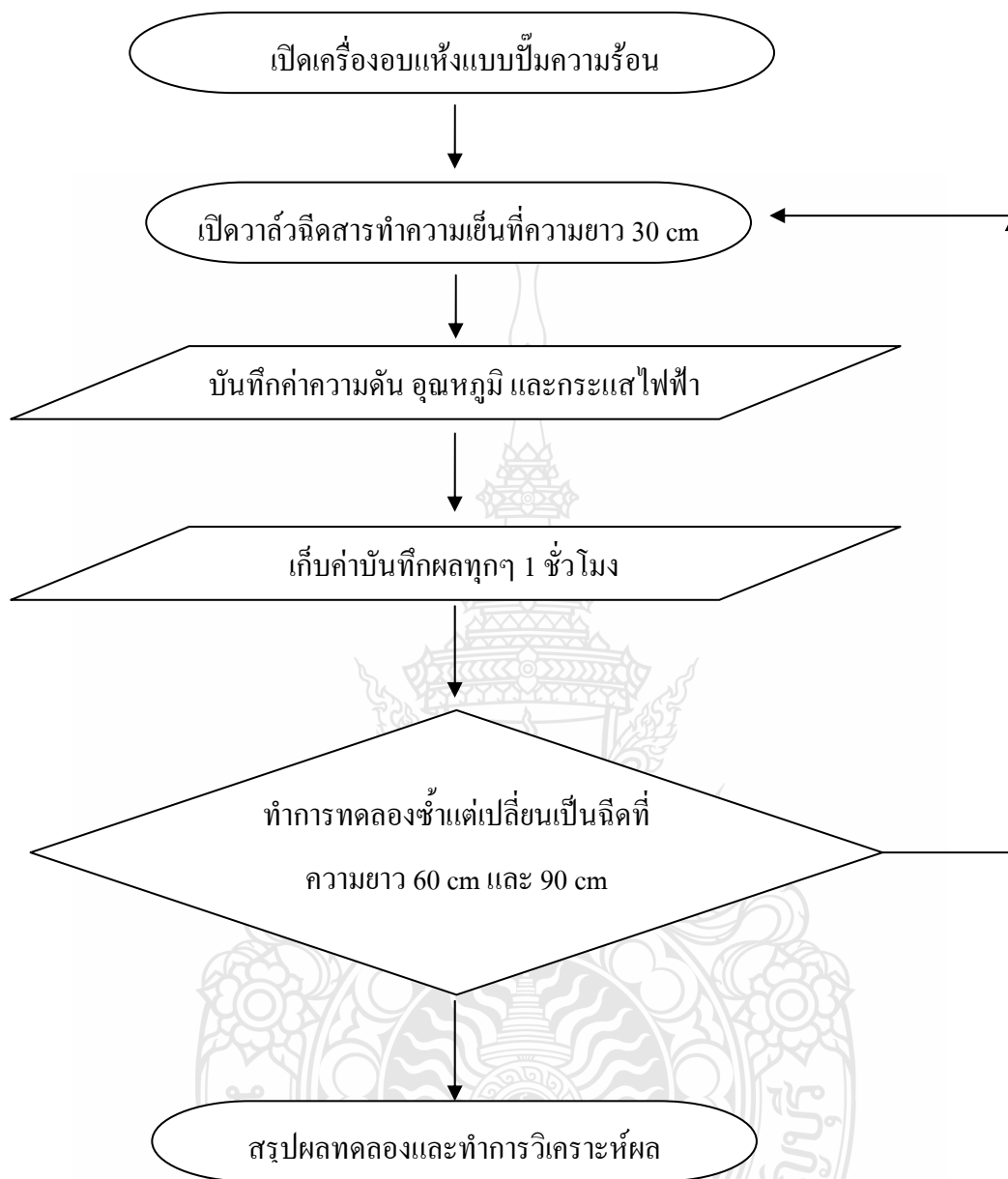
เงื่อนไขการทดลองที่ 1 ศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อจีดสารทำความเย็นในกรณีที่ไม่จีดสารทำความเย็นเปรียบเทียบกับกรณีจีดสารทำความเย็น โดยใช้สารทำความเย็น R-22 และ R-290 ในการทดลอง แสดงดังภาพที่ 3.12



ภาพที่ 3.12 แผนขั้นตอนการทดลองตามเงื่อนไขการทดลองที่ 1

### 3.3.1 ขั้นตอนการทดลอง

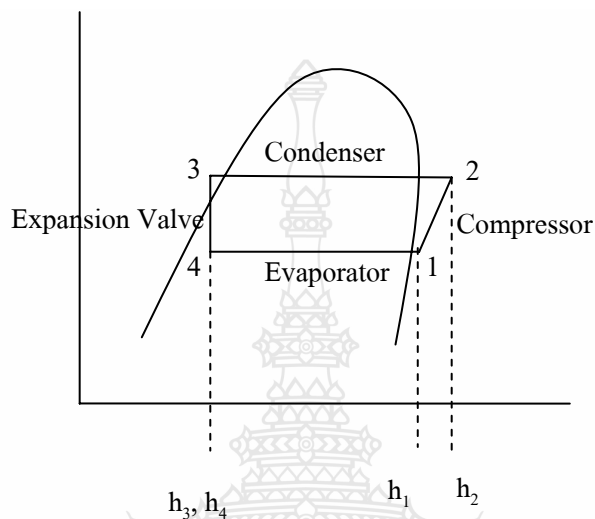
- 1) เตรียมอุปกรณ์ในการทดลองให้พร้อมที่จะทำการทดลอง
  - 2) ทำการเติมสารทำความเย็น R-22 ในเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน
  - 3) เตรียมข้าวเปลือกที่ใช้ในการทดลอง ที่มีความชื้น 18-25 %db จำนวน 100 kg
  - 4) นำข้าวเปลือกที่เตรียมไว้บรรจุลงถาด ปรับให้ความสูงของข้าวเปลือกเสมอกัน
  - 5) เปิดเครื่องอบแห้งแล้วนำข้าว เปลือกที่บรรจุลงถาดใส่ลงไปเครื่องอบ
  - 6) จับเวลาในการทดลองอบแห้งข้าวเปลือกเป็นเวลา 10 ชั่วโมง
  - 7) บันทึกค่าอุณหภูมิและความดันที่เปลี่ยนแปลงที่จุดต่างๆทุก ๆ 1 ชั่วโมงพร้อมกับบันทึกความสิ้นเปลืองพลังงานจากมาตรวัตต์โลวัตต์ฮาร์วล์มิเตอร์
  - 8) นำผลการทดลองที่ได้มาใช้ในการคำนวณประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้ง สัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปั๊มความร้อน
  - 9) เปลี่ยนวิธีการทดลองโดยการฉีดสารทำความเย็นเหลวเข้าคอมเพรสเซอร์ และเริ่มทดลองใหม่ จากข้อ 1-7
  - 10) เมื่อทดลองโดยใช้สารทำความเย็น R-22 เสร็จแล้วให้เปลี่ยนสารทำความเย็นเป็น R-290 และเริ่มทดลองใหม่จากข้อ 1-7
  - 11) สรุปผลทดลองและทำการวิเคราะห์ผล
- เงื่อนไขการทดลองที่ 2 ศึกษาการเปลี่ยนความยาวท่อฉีดสารทำความเย็นเข้าระบายความร้อนที่คอมเพรสเซอร์ โดยใช้สารทำความเย็น R-22 และ R-290 ในการทดลอง
- ในการทดลองเงื่อนไขที่ 2 ให้ทำการทดลองตามเงื่อนไขที่ 1 เสร็จแล้ว จึงทำการปรับเปลี่ยนวิธีการ โดยการลดความดันของสารทำความเย็นก่อนที่จะทำการฉีดเข้าหัวคอมเพรสเซอร์ โดยใช้อุปกรณ์ลดความดันชนิดท่อรูเข็มที่มีขนาดความยาวต่างกันและเริ่มทำการทดลองตามขั้นตอนที่ 1-7
- โดยทดลองเริ่มทดลองที่ความยาว 30 cm, 60 cm และ 90 cm ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 3.13



ภาพที่ 3.13 แผนขั้นตอนการทดลองตามเงื่อนไขการทดลองที่ 2

### 3.4 ตัวอย่างการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปั๊มความร้อน

จากตารางที่ ข.1 ชั่วโมงที่ 1 นำค่าผลการทดลองที่ได้มาเขียนลงในมอดเด็ลล์ ดังภาพที่ 3.13



ภาพที่ 3.14 ภาพจำลองการพล็อตค่าลงในแผนภูมิโมดเด็ลล์

$$h_1 = 183 \quad \text{kJ/kg}$$

$$h_2 = 201 \quad \text{kJ/kg}$$

$$h_3, h_4 = 110 \quad \text{kJ/kg}$$

จากสมการที่ 2.12 สัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปั๊มความร้อนที่ใช้กับเครื่องอบแห้ง

$$\text{COP} = \frac{\text{ความสามารถในการระบายความร้อนของเครื่องควบแน่น}}{\text{กำลังงานที่ให้กับเครื่องอัด}}$$

จากสมการที่ 2.4 ความร้อนที่ได้จากคอนเดนเซอร์

$$q_{23} = (h_2 - h_3)$$

$$= (201 - 110) \quad \text{kJ/kg}$$

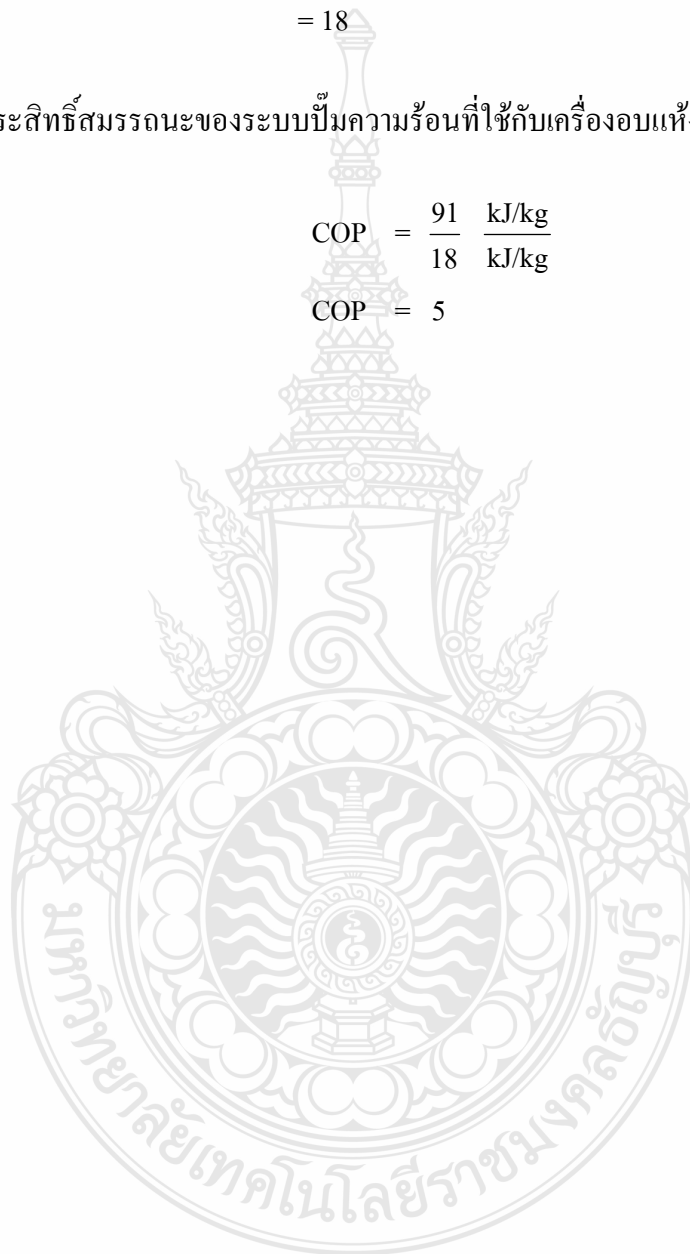
$$= 91 \quad \text{kJ/kg}$$

จากสมการที่ 2.3 พลังงานของความร้อนที่ให้ที่คอมเพรสเซอร์

$$\begin{aligned} W_{12} &= (h_2 - h_1) \\ &= (201 - 183) && \text{kJ/kg} \\ &= 18 && \text{kJ/kg} \end{aligned}$$

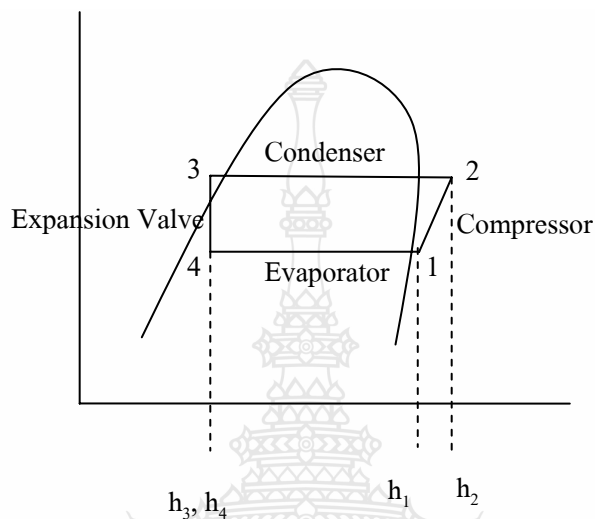
ดังนั้นได้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปั๊มความร้อนที่ใช้กับเครื่องอบแห้ง

$$\begin{aligned} \text{COP} &= \frac{91 \text{ kJ/kg}}{18 \text{ kJ/kg}} \\ \text{COP} &= 5 \end{aligned}$$



### 3.4 ตัวอย่างการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปั๊มความร้อน

จากตารางที่ ข.1 ชั่วโมงที่ 1 นำค่าผลการทดลองที่ได้มาเขียนลงในมอดเด็ลล์ ดังภาพที่ 3.13



ภาพที่ 3.14 ภาพจำลองการพล็อตค่าลงในแผนภูมิโมดเด็ลล์

$$h_1 = 183 \quad \text{kJ/kg}$$

$$h_2 = 201 \quad \text{kJ/kg}$$

$$h_3, h_4 = 110 \quad \text{kJ/kg}$$

จากสมการที่ 2.12 สัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปั๊มความร้อนที่ใช้กับเครื่องอบแห้ง

$$\text{COP} = \frac{\text{ความสามารถในการระบายความร้อนของเครื่องควบแน่น}}{\text{กำลังงานที่ให้กับเครื่องอัด}}$$

จากสมการที่ 2.4 ความร้อนที่ได้จากคอนเดนเซอร์

$$q_{23} = (h_2 - h_3)$$

$$= (201 - 110) \quad \text{kJ/kg}$$

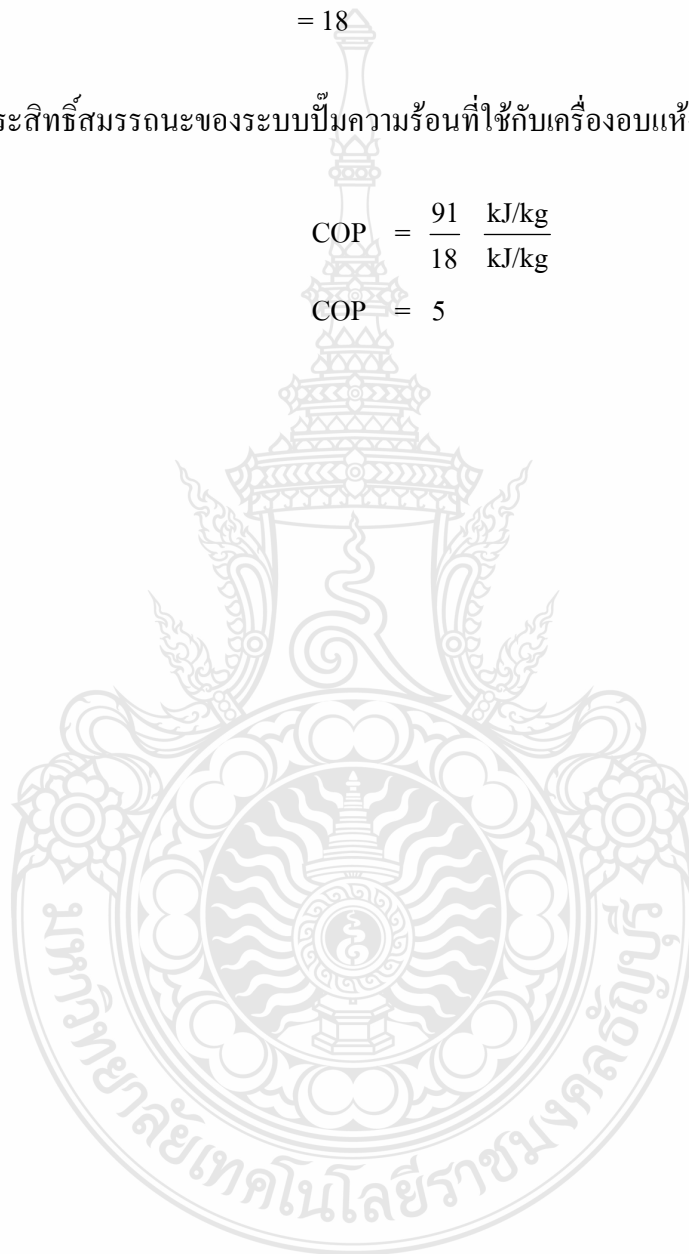
$$= 91 \quad \text{kJ/kg}$$

จากสมการที่ 2.3 พลังงานของความร้อนที่ให้ที่คอมเพรสเซอร์

$$\begin{aligned} W_{12} &= (h_2 - h_1) \\ &= (201 - 183) && \text{kJ/kg} \\ &= 18 && \text{kJ/kg} \end{aligned}$$

ดังนั้นได้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปั๊มความร้อนที่ใช้กับเครื่องอบแห้ง

$$\begin{aligned} \text{COP} &= \frac{91 \text{ kJ/kg}}{18 \text{ kJ/kg}} \\ \text{COP} &= 5 \end{aligned}$$



## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

จากผลการทดลองศึกษาหาวิธีการลดความร้อนของคอมเพรสเซอร์เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน โดยทำการเปรียบเทียบผลจากการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อฉีดสารทำความเย็น( $\phi$ ) และผลจากการเปลี่ยนความยาวท่อฉีดสารทำความเย็นซึ่งพิจารณาจากอุณหภูมิสารทำความเย็นทางออกของคอมเพรสเซอร์ ( $T_{comp}$ ) สัมประสิทธิ์สมรรถนะ(COP) ประสิทธิภาพ (EER) อุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง ( $T_{in,oven}$ ) กระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้คอมเพรสเซอร์ ( $A_{comp}$ ) ความดันสารทำความเย็นด้านต่ำ ( $P_L$ ) และความดันสารทำความเย็นด้านสูง ( $P_H$ ) โดยใช้สารทำความเย็น R-22 และ R-290 ในการทดลอง ใช้เวลา 10 ชั่วโมงในการเดินเครื่อง เก็บข้อมูลทุกๆ 1 ชั่วโมง แล้วนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

#### 4.1 การศึกษาผลการเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อฉีดสารทำความเย็น

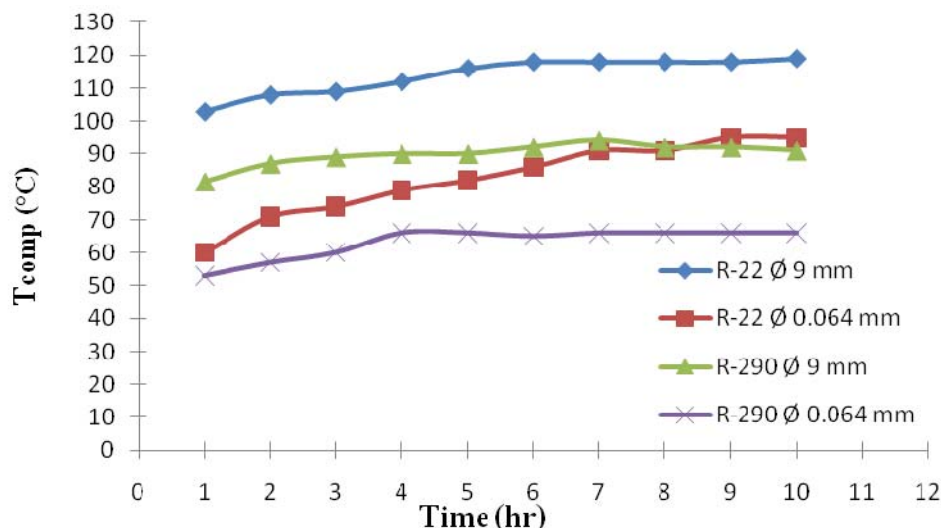
การศึกษการเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อฉีดสารทำความเย็นขนาด 0.064 mm และ 9 mm กำหนดให้ความยาวท่อคงที่ 300 mm ทำการทดสอบภายใต้เงื่อนไขและสภาวะเดียวกันโดยใช้สารทำความเย็น R-22 และ R-290 เพื่อพิจารณาเลือกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อฉีดสารทำความเย็นที่เหมาะสมผลการทดลองแสดงได้ดังนี้

ตารางที่ 4.1 สรุปผลการทดลองเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อฉีดสารทำความเย็น(เฉลี่ย) 10 ชั่วโมง

REFRIGERANT	$\phi$ (mm)	$T_{in,oven}$ ( $^{\circ}$ C)	$T_{comp}$ ( $^{\circ}$ C)	$A_{comp}$ (A)	$P_L$ (Psig)	$P_H$ (Psig)	$W_c$ (kJ/kg)	$Q_c$ (kJ/kg)	COP	EER
R-22	0.064	41.90	82.30	4.00	52.30	251.50	6.73	26.42	3.92	13.98
	9.000	42.30	114.0	3.64	40.50	255.00	7.20	32.83	4.56	15.06
R-290	0.064	43.06	65.50	4.46	74.20	251.30	6.07	21.12	3.48	12.01
	9.000	45.58	89.85	4.18	58.40	271.80	7.66	28.41	3.71	13.06



#### 4.1.1 เปรียบเทียบผลของอุณหภูมิที่คอมเพรสเซอร์

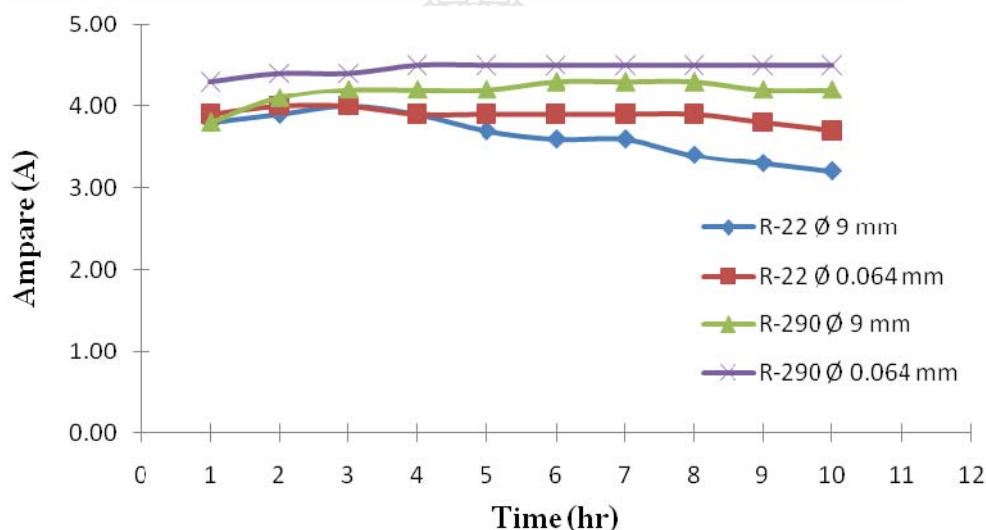


ภาพที่ 4.1 อุณหภูมิคอมเพรสเซอร์เมื่อเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อฉีดสารทำความเย็น โดยใช้สารทำความเย็น R-22 และ R-290

จากค่ามาตรฐาน IEC85 (ตารางที่ 1.1) กำหนดให้อุณหภูมิสูงสุดที่ทนได้ของฉนวนมอเตอร์ CLASS A มีอุณหภูมิไม่เกิน 105 °C ซึ่งจะไม่ทำให้มอเตอร์เกิดความเสียหาย ภาพที่ 4.1 เมื่อใช้สารทำความเย็น R-22 พบว่าอุณหภูมิคอมเพรสเซอร์กรณีที่ใช้ท่อฉีดสารทำความเย็นขนาด  $\varnothing$  0.064 mm มีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 82.3 °C ส่วนกรณีที่ใช้ท่อฉีดสารทำความเย็นขนาด  $\varnothing$  9 mm มีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 114 °C จะเห็นได้ว่ากรณีที่ใช้ท่อฉีดสารทำความเย็นขนาด  $\varnothing$  0.064 mm คอมเพรสเซอร์มีอุณหภูมิต่ำกว่าท่อฉีดสารทำความเย็นขนาด  $\varnothing$  9 mm คิดเป็น 27.80 % และเมื่อใช้สารทำความเย็น R-290 พบว่าอุณหภูมิคอมเพรสเซอร์กรณีที่ใช้ท่อฉีดสารทำความเย็นขนาด  $\varnothing$  0.064 mm มีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 62.7 °C ส่วนกรณีที่ใช้ท่อฉีดสารทำความเย็นขนาด  $\varnothing$  9 mm มีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 89.85 °C จะเห็นได้ว่ากรณีที่ใช้ท่อฉีดสารทำความเย็นขนาด  $\varnothing$  0.064 mm คอมเพรสเซอร์มีอุณหภูมิต่ำกว่าท่อฉีดสารทำความเย็นขนาด  $\varnothing$  9 mm คิดเป็น 30.21 % เมื่อพิจารณาสารทำความเย็น R-22 และ R-290 ที่ใช้ท่อฉีดสารทำความเย็นขนาดเท่ากันคือ  $\varnothing$  0.064 mm พบว่าสารทำความเย็น R-22 มีอุณหภูมิที่คอมเพรสเซอร์สูงกว่าการใช้สารทำความเย็น R-290 คิดเป็น 20.41 % และเมื่อพิจารณาที่ท่อฉีดสารทำความเย็นขนาดเท่ากันคือ  $\varnothing$  9 mm พบว่าสารทำความเย็น R-22 มีอุณหภูมิที่คอมเพรสเซอร์สูงกว่าการใช้สารทำความเย็น R-290 คิดเป็น 21.18 %

จะพบได้ว่าทั้งสารทำความเย็น R-22 และ R-290 อุณหภูมิของคอมเพรสเซอร์เมื่อใช้ท่อฉีดสารทำความเย็นขนาด  $\varnothing 0.064$  mm มีค่าต่ำกว่าการใช้ท่อฉีดสารทำความเย็นขนาด  $\varnothing 9$  mm เนื่องจากเมื่อฉีดสารทำความเย็นเข้าท่อทางดูดจะส่งผลให้อุณหภูมิสารทำความเย็นที่แอกคิวมูเลเตอร์ลดต่ำลง เมื่อคอมเพรสเซอร์ดูดสารทำความเย็นอุณหภูมิต่ำเข้าไปก็จะช่วยระบายความร้อนที่คอมเพรสเซอร์ทำให้คอมเพรสเซอร์มีอุณหภูมิลดลง ซึ่งอุณหภูมิที่คอมเพรสเซอร์ไม่สูงเกินค่ามาตรฐานกำหนดจึงทำให้คอมเพรสเซอร์สามารถทำงานได้ต่อเนื่องโดยไม่ต้องหยุดพัก

#### 4.1.2 เปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่คอมเพรสเซอร์



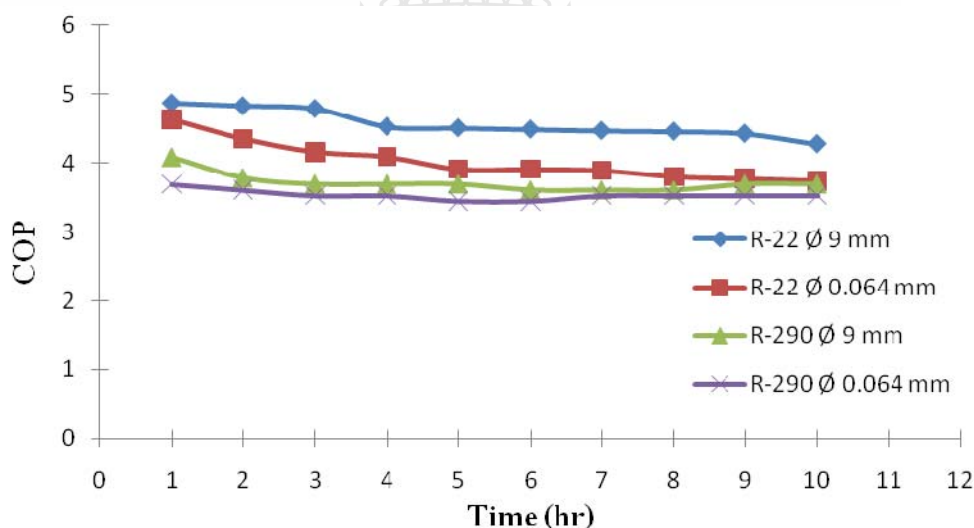
ภาพที่ 4.2 กระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่คอมเพรสเซอร์เมื่อเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อฉีดสารทำความเย็นโดยใช้สารทำความเย็น R-22 และ R-290

ผลการทดลองจากภาพที่ 4.2 เมื่อใช้สารทำความเย็น R-22 พบว่าปริมาณการใช้กระแสไฟฟ้ากรณีที่ใช้ท่อฉีดสารทำความเย็นขนาด  $\varnothing 9$  mm เฉลี่ยอยู่ที่ 3.64 A กรณีใช้ท่อฉีดสารทำความเย็นขนาด  $\varnothing 0.064$  mm เฉลี่ยอยู่ที่ 4 A จะเห็นได้ว่าท่อขนาด  $\varnothing 9$  mm ใช้ปริมาณกระแสไฟฟ้าน้อยกว่าท่อ  $\varnothing 0.064$  mm คิดเป็น 9.89 % และเมื่อใช้สารทำความเย็น R-290 พบว่าปริมาณการใช้กระแสไฟฟ้ากรณีที่ใช้ท่อฉีดสารทำความเย็นขนาด  $\varnothing 9$  mm เฉลี่ยอยู่ที่ 4.18 A กรณีใช้ท่อฉีดสารทำความเย็นขนาด  $\varnothing 0.064$  mm เฉลี่ยอยู่ที่ 4.46 A จะเห็นได้ว่าท่อขนาด  $\varnothing 9$  mm ใช้ปริมาณกระแสไฟฟ้าน้อยกว่าท่อ  $\varnothing 0.064$  mm คิดเป็น 6.69 % เมื่อพิจารณาสารทำความเย็น R-22 และ R-

290 ที่ใช้ท่อฉีดสารทำความเย็นขนาดเท่ากันคือ  $\varnothing 0.064$  mm พบว่าสารทำความเย็น R-290 ใช้ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่คอมเพรสเซอร์มากกว่าการใช้สารทำความเย็น R-22 คิดเป็น 10.31 % และเมื่อพิจารณาที่ท่อฉีดสารทำความเย็นขนาดเท่ากันคือ  $\varnothing 9$  mm พบว่าสารทำความเย็น R-290 ใช้ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่คอมเพรสเซอร์มากกว่าการใช้สารทำความเย็น R-22 คิดเป็น 12.91 % เนื่องจากสารทำความเย็น R-290 ความดันของสารทำความเย็นด้านต่ำและด้านสูงมีค่าความดันมากกว่าสารทำความเย็น R-22

จะพบได้ว่าทั้งสารทำความเย็น R-22 และ R-290 ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่คอมเพรสเซอร์เมื่อใช้ท่อฉีดสารทำความเย็นขนาด  $\varnothing 9$  mm มีค่าน้อยกว่าการใช้ท่อฉีดสารทำความเย็นขนาด  $0.064$  mm เนื่องจากท่อขนาด  $\varnothing 9$  mm ฉีดสารทำความเย็นเข้าคอมเพรสเซอร์ได้มากกว่าท่อขนาด  $\varnothing 0.064$  mm จึงทำให้คอมเพรสเซอร์ใช้กระแสไฟฟ้าน้อยลง

#### 4.1.3 เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์สมรรถนะเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน (COP)



ภาพที่ 4.3 สัมประสิทธิ์สมรรถนะเครื่องอบแห้งเมื่อเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อฉีดสารทำความเย็นโดยใช้สารทำความเย็น R-22 และ R-290

การวิเคราะห์เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องอบแห้งจากภาพที่ 4.3 เมื่อเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อฉีดสารทำความเย็นเมื่อใช้สารทำความเย็น R-22 พบว่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะเครื่องอบแห้งกรณีที่ใช้ท่อฉีดสารทำความเย็นขนาด  $\varnothing 9$  mm เฉลี่ยอยู่ที่ 4.56 กรณีใช้ท่อฉีดสารทำความเย็นขนาด  $\varnothing 0.064$  mm เฉลี่ยอยู่ที่ 3.92 จะเห็นได้ว่าท่อขนาด  $\varnothing 9$  mm มีสัมประสิทธิ์สมรรถนะสูงกว่าท่อ  $\varnothing 0.064$  mm คิดเป็น 14.03 % และเมื่อใช้สารทำความเย็น R-290 พบว่า

สัมประสิทธิ์สมรรถนะเครื่องอบแห้งกรณีที่ใช้ท่อฉีดสารทำความเย็นขนาด  $\varnothing 9$  mm เฉลี่ยอยู่ที่ 3.71 กรณีใช้ท่อฉีดสารทำความเย็นขนาด  $\varnothing 0.064$  mm เฉลี่ยอยู่ที่ 3.48 จะเห็นได้ว่าท่อขนาด  $\varnothing 9$  mm มีสัมประสิทธิ์สมรรถนะสูงกว่าท่อ  $\varnothing 0.064$  mm คิดเป็น 6.19 % เมื่อพิจารณาสารทำความเย็น R-22 และ R-290 ที่ใช้ท่อฉีดสารทำความเย็นขนาดเท่ากันคือ  $\varnothing 0.064$  mm พบว่าสารทำความเย็น R-22 มีสัมประสิทธิ์สมรรถนะสูงกว่าการใช้สารทำความเย็น R-290 คิดเป็น 11.22 % และเมื่อพิจารณาที่ท่อฉีดสารทำความเย็นขนาดเท่ากันคือ  $\varnothing 9$  mm พบว่าสารทำความเย็น R-22 มีสัมประสิทธิ์สมรรถนะสูงกว่าการใช้สารทำความเย็น R-290 คิดเป็น 18.64 %

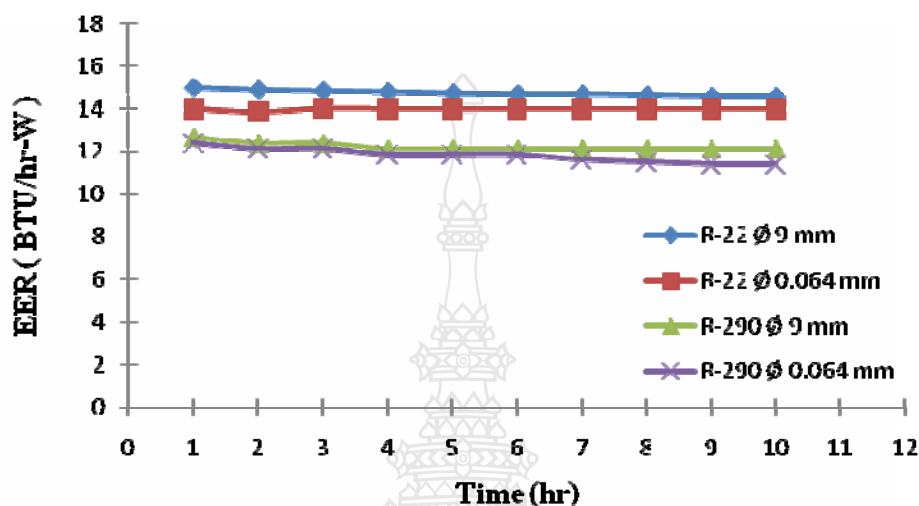
เมื่อพิจารณาทั้งสารทำความเย็น R-22 และ R-290 จะพบว่าท่อฉีดสารทำความเย็นขนาด  $\varnothing 9$  mm ใช้ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่คอมเพรสเซอร์น้อยกว่าท่อฉีดสารทำความเย็นขนาด  $\varnothing 0.064$  mm จึงทำให้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะเพิ่มขึ้น เนื่องจากสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนมีค่าแปรผันกับกำลังงานที่ป้อนให้แก่คอมเพรสเซอร์ตามสมการที่ 2.12 และสารทำความเย็น R-22 มีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะมากกว่าสารทำความเย็น R-290

#### 4.1.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน (EER)

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งเมื่อเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อฉีดสารทำความเย็นจากภาพที่ 4.4 เมื่อใช้สารทำความเย็น R-22 พบว่าประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนกรณีที่ใช้ท่อฉีดสารทำความเย็นขนาด  $\varnothing 9$  mm เฉลี่ยอยู่ที่ 15.06 BTU/hr -W กรณีใช้ท่อฉีดสารทำความเย็นขนาด  $\varnothing 0.064$  mm เฉลี่ยอยู่ที่ 13.98 BTU/hr -W จะเห็นได้ว่าท่อขนาด  $\varnothing 9$  mm มีประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งสูงกว่าท่อ  $\varnothing 0.064$  mm คิดเป็น 8.36 % และเมื่อใช้สารทำความเย็น R-290 พบว่าประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนกรณีที่ใช้ท่อฉีดสารทำความเย็นขนาด  $\varnothing 9$  mm เฉลี่ยอยู่ที่ 13.06 BTU/hr -W กรณีใช้ท่อฉีดสารทำความเย็นขนาด  $\varnothing 0.064$  mm เฉลี่ยอยู่ที่ 12.01 BTU/hr -W จะเห็นได้ว่าท่อขนาด  $\varnothing 9$  mm มีประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งสูงกว่าท่อ  $\varnothing 0.064$  mm คิดเป็น 8.03 % เมื่อพิจารณาสารทำความเย็น R-22 และ R-290 ที่ใช้ท่อฉีดสารทำความเย็นขนาดเท่ากันคือ  $\varnothing 0.064$  mm พบว่าสารทำความเย็น R-22 มีประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งสูงกว่าการใช้สารทำความเย็น R-290 คิดเป็น 14.09 % และเมื่อพิจารณาที่ท่อฉีดสารทำความเย็นขนาดเท่ากันคือ  $\varnothing 9$  mm พบว่าสารทำความเย็น R-22 มีประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งสูงกว่าการใช้สารทำความเย็น R-290 คิดเป็น 13.28 %

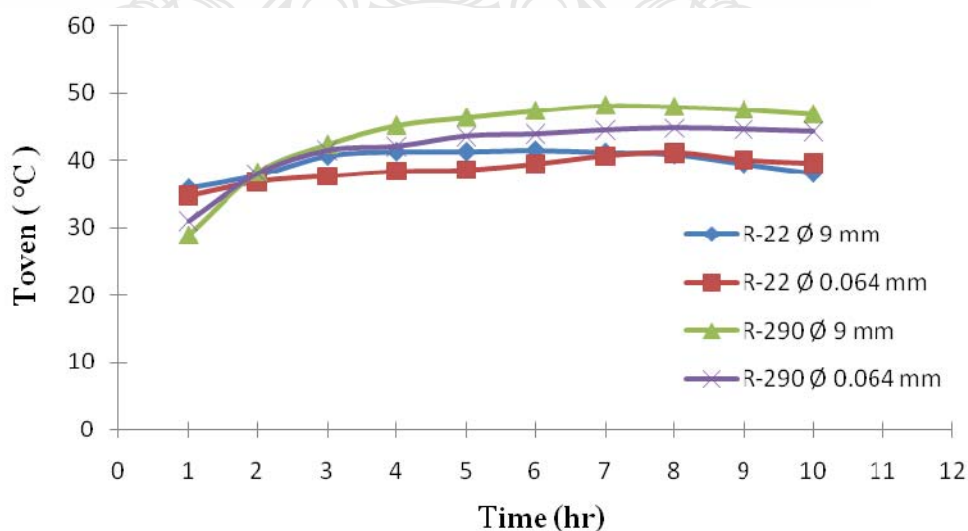
จะพบได้ว่าทั้งสารทำความเย็น R-22 และ R-290 ท่อฉีดสารทำความเย็นขนาด  $\varnothing 9$  mm มีประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งสูงกว่าการใช้ท่อฉีดสารทำความเย็นขนาด  $\varnothing 0.064$  mm เนื่องจากท่อฉีดสารทำความเย็นขนาด  $\varnothing 9$  mm ใช้ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่คอมเพรสเซอร์น้อยกว่าท่อฉีด

สารทำความเย็นขนาด  $\varnothing 0.064$  mm จึงทำให้ค่าประสิทธิภาพเพิ่มสูงขึ้น และสารทำความเย็น R-22 มีค่าประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งมากกว่าสารทำความเย็น R-290



ภาพที่ 4.4 ประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งเมื่อเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อฉีดสารทำความเย็น โดยใช้สารทำความเย็น R-22 และ R-290

#### 4.1.5 เปรียบเทียบผลของอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง



ภาพที่ 4.5 อุณหภูมิภายในตู้อบแห้งเมื่อเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อฉีดสารทำความเย็น โดยใช้สารทำความเย็น R-22 และ R-290

อุณหภูมิภายในตู้อบแห้งเมื่อพิจารณาจากภาพที่ 4.5 ในช่วงแรกของการทดลองชั่วโมงที่ 1 ถึง ชั่วโมงที่ 3 อุณหภูมิภายในตู้อบแห้งมีค่าต่ำอยู่เพราะเพิ่งเริ่มต้นในการเดินเครื่องอบแห้งและความชื้นในข้าวเปลือกมีมาก จนถึงชั่วโมงที่ 3 อุณหภูมิภายในตู้อบแห้งจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจนถึงชั่วโมงที่ 5 อุณหภูมิจะเริ่มคงที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากเพราะความชื้นของข้าวเปลือกลดลง เมื่อพิจารณาการใช้สารทำความเย็น R-22 พบว่าอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งกรณีที่ใช้ท่อฉีดสารทำความเย็นขนาด  $\varnothing 9$  mm เฉลี่ยอยู่ที่  $42.3^{\circ}\text{C}$  กรณีใช้ท่อฉีดสารทำความเย็นขนาด  $\varnothing 0.064$  mm เฉลี่ยอยู่ที่  $41.9^{\circ}\text{C}$  จะเห็นได้ว่าท่อขนาด  $\varnothing 9$  mm มีอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งสูงกว่าท่อ  $\varnothing 0.064$  mm คิดเป็น 0.94 % และเมื่อใช้สารทำความเย็น R-290 พบว่าอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งกรณีที่ใช้ท่อฉีดสารทำความเย็นขนาด  $\varnothing 9$  mm เฉลี่ยอยู่ที่  $45.58^{\circ}\text{C}$  กรณีใช้ท่อฉีดสารทำความเย็นขนาด  $\varnothing 0.064$  mm เฉลี่ยอยู่ที่  $43.06^{\circ}\text{C}$  จะเห็นได้ว่าท่อขนาด  $\varnothing 9$  mm มีอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งสูงกว่าท่อ  $\varnothing 0.064$  mm คิดเป็น 5.52 % เมื่อพิจารณาสารทำความเย็น R-22 และ R-290 ที่ใช้ท่อฉีดสารทำความเย็นขนาดเท่ากันคือ  $\varnothing 0.064$  mm พบว่าสารทำความเย็น R-290 มีอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งสูงกว่าการใช้สารทำความเย็น R-22 คิดเป็น 2.69 % และเมื่อพิจารณาที่ท่อฉีดสารทำความเย็นขนาดเท่ากันคือ  $\varnothing 9$  mm พบว่าสารทำความเย็น R-290 มีอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งสูงกว่าการใช้สารทำความเย็น R-22 คิดเป็น 7.19 %

จะพบได้ว่าทั้งสารทำความเย็น R-22 และ R-290 อุณหภูมิภายในตู้อบแห้งเมื่อใช้ท่อฉีดสารทำความเย็นขนาด  $\varnothing 9$  mm จะมีอุณหภูมิสูงกว่าการใช้ท่อฉีดสารทำความเย็นขนาด  $\varnothing 0.064$  mm เนื่องจากอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งจะขึ้นอยู่กับความดันด้านสูง เมื่อความดันด้านสูงมีค่าสูงขึ้น อุณหภูมิสารทำความเย็นก็จะสูงขึ้นตาม ทำให้อากาศที่ไหลผ่านอุปกรณ์ควบแน่นมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นอีกด้วย และเมื่อพิจารณาอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งของสารทำความเย็น R-22 และ R-290 จะพบว่ามีความใกล้เคียงกันซึ่งมีค่าอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งแตกต่างกันไม่เกิน 10 % ดังนั้นสามารถใช้สารทำความเย็น R-290 แทนสารทำความเย็น R-22 ได้

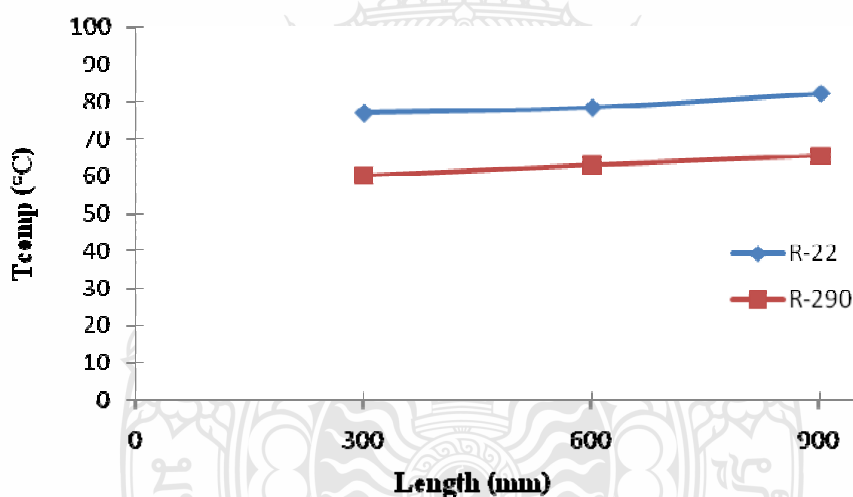
#### 4.2 การศึกษาผลการเปลี่ยนความยาวท่อฉีดสารทำความเย็น

การศึกษการเปลี่ยนความยาวท่อฉีดสารทำความเย็น กำหนดให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อคงที่ 0.064 mm และเปลี่ยนความยาวท่อฉีดสารทำความเย็นจาก 300 mm 600 mm และ 900 mm ตามลำดับ ทำการทดสอบภายใต้เงื่อนไขและสภาวะเดียวกันโดยใช้สารทำความเย็น R-22 และ R-290 เพื่อพิจารณาเลือกความยาวท่อฉีดสารทำความเย็นที่เหมาะสม ผลการทดลองแสดงได้ดังนี้

ตารางที่ 4.2 สรุปผลการทดลองเปลี่ยนความยาวท่อฉีดสารทำความเย็น (เฉลี่ย) 10 ชั่วโมง

REFRIGERANT	L (mm)	T <sub>in,oven</sub> (°C)	T <sub>comp</sub> (°C)	A <sub>comp</sub> (A)	P <sub>L</sub> (Psig)	P <sub>H</sub> (Psig)	W <sub>c</sub> (kJ/kg)	Q <sub>c</sub> (kJ/kg)	COP	EER
R-22	300	41.21	77.00	3.89	67.70	249.50	6.15	24.72	4.02	14.06
	600	42.09	78.40	3.96	59.10	256.50	6.21	21.70	3.41	13.80
	900	41.90	82.30	4.00	52.30	251.50	6.73	26.38	3.92	13.60
R-290	300	40.63	60.20	4.39	78.70	227.80	6.20	21.88	3.53	12.23
	600	44.71	63.00	4.46	82.80	257.80	6.96	23.80	3.42	12.01
	900	43.06	65.50	4.54	74.20	251.30	7.07	24.60	3.48	12.01

#### 4.2.1 เปรียบเทียบผลของอุณหภูมิที่คอมเพรสเซอร์



ภาพที่ 4.6 อุณหภูมิคอมเพรสเซอร์เมื่อเปลี่ยนความยาวท่อฉีดสารทำความเย็น โดยใช้สารทำความเย็น R-22 และ R-290

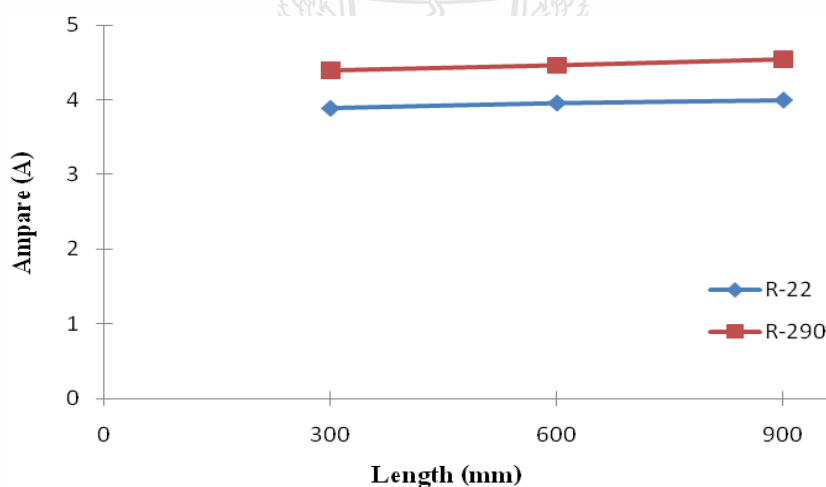
การวิเคราะห์เปรียบเทียบผลของอุณหภูมิที่คอมเพรสเซอร์เมื่อเปลี่ยนความยาวของท่อฉีดสารทำความเย็นจากภาพที่ 4.6 เมื่อใช้สารทำความเย็น R-22 พบว่าอุณหภูมิคอมเพรสเซอร์ที่ความยาวท่อฉีดสารทำความเย็น 300 mm มีค่าต่ำที่สุดคือ 77 °C (ตารางที่ 4.2) ซึ่งมีค่าต่ำกว่าที่ความยาว 600 mm และ 900 mm คิดเป็น 1.81 % และ 6.88 % ตามลำดับ และเมื่อใช้สารทำความเย็น R-290



พบว่าอุณหภูมิคอมเพรสเซอร์ที่ความยาวท่อฉีดสารทำความเย็น 300 mm มีค่าต่ำที่สุดคือ 60.2 °C ซึ่งมีค่าต่ำกว่าที่ความยาว 600 mm และ 900 mm คิดเป็น 4.65 % และ 8.80 % ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาสารทำความเย็น R-22 และ R-290 ที่ใช้ท่อฉีดสารทำความเย็นความยาวเท่ากันคือ 300 mm 600 mm และ 900 mm พบว่าสารทำความเย็น R-22 มีอุณหภูมิที่คอมเพรสเซอร์สูงกว่าการใช้สารทำความเย็น R-290 คิดเป็น 21.81 % 19.64 % และ 20.41 % ตามลำดับ

จะพบได้ว่าทั้งสารทำความเย็น R-22 และ R-290 อุณหภูมิคอมเพรสเซอร์เมื่อใช้ท่อฉีดสารทำความเย็นความยาว 300 mm จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าที่ความยาว 600 mm และ 900 mm เนื่องจากอุณหภูมิสารทำความเย็น (ตารางที่ ข.7) ที่เข้าคอมเพรสเซอร์มีอุณหภูมิต่ำ เมื่อคอมเพรสเซอร์ดูดสารทำความเย็นอุณหภูมิต่ำเข้าไป สารทำความเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำจะช่วยระบายความร้อนที่คอมเพรสเซอร์ได้มากขึ้น ส่งผลให้คอมเพรสเซอร์มีอุณหภูมิลดต่ำลง และอุณหภูมิที่คอมเพรสเซอร์เมื่อใช้สารทำความเย็น R-290 จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าการใช้สารทำความเย็น R-22

#### 4.2.2 เปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่คอมเพรสเซอร์



ภาพที่ 4.7 กระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่คอมเพรสเซอร์เมื่อเปลี่ยนความยาวท่อฉีดสารทำความเย็น โดยใช้สารทำความเย็น R-22 และ R-290

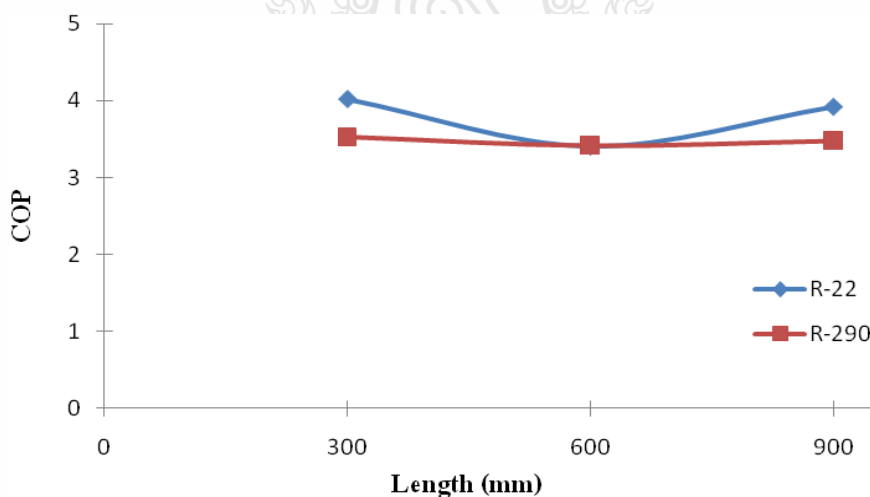
การวิเคราะห์เปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่คอมเพรสเซอร์เมื่อเปลี่ยนความยาวของท่อฉีดสารทำความเย็นจากภาพที่ 4.7 เมื่อใช้สารทำความเย็น R-22 พบว่ากระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่คอมเพรสเซอร์ที่ความยาวท่อฉีดสารทำความเย็น 300 mm มีค่าน้อยที่สุดคือ 3.89 A



(ตารางที่ 4.2) ซึ่งมีค่าน้อยกว่าที่ความยาว 600 mm และ 900 mm คิดเป็น 1.79 % และ 2.82 % ตามลำดับ และเมื่อใช้สารทำความเย็น R-290 พบว่ากระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่คอมเพรสเซอร์ที่ความยาวท่อฉีดสารทำความเย็น 300 mm มีค่าน้อยที่สุดคือ 4.39 A ซึ่งมีค่าน้อยกว่าที่ความยาว 600 mm และ 900 mm คิดเป็น 1.59 % และ 3.41 % ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาสารทำความเย็น R-22 และ R-290 ที่ใช้ท่อฉีดสารทำความเย็นความยาวเท่ากันคือ 300 mm 600 mm และ 900 mm พบว่าสารทำความเย็น R-22 ใช้ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่คอมเพรสเซอร์น้อยกว่าการใช้สารทำความเย็น R-290 คิดเป็น 11.38 % 11.21 % และ 11.89 % ตามลำดับ

จะพบได้ว่าทั้งสารทำความเย็น R-22 และ R-290 กระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่คอมเพรสเซอร์เมื่อใช้ท่อฉีดสารทำความเย็นความยาว 300 mm จะมีปริมาณการใช้กระแสไฟฟ้าน้อยกว่าที่ความยาว 600 mm และ 900 mm เนื่องจากเนื่องจากกรณีที่ใช้ท่อฉีดสารทำความเย็นความยาว 300 mm จะมีปริมาณสารทำความเย็นฉีดเข้ามาในระบบมากกว่าความยาวอื่น สารทำความเย็นที่มีในระบบมาก จึงส่งผลให้คอมเพรสเซอร์มีอุณหภูมิลดต่ำลงและใช้ปริมาณกระแสไฟฟ้าลดลงด้วย แต่ทั้ง 3 ความยาว มีค่าเฉลี่ยการใช้กระแสไฟฟ้าใกล้เคียงกันมาก

#### 4.2.3 เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์สมรรถนะเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน (COP)

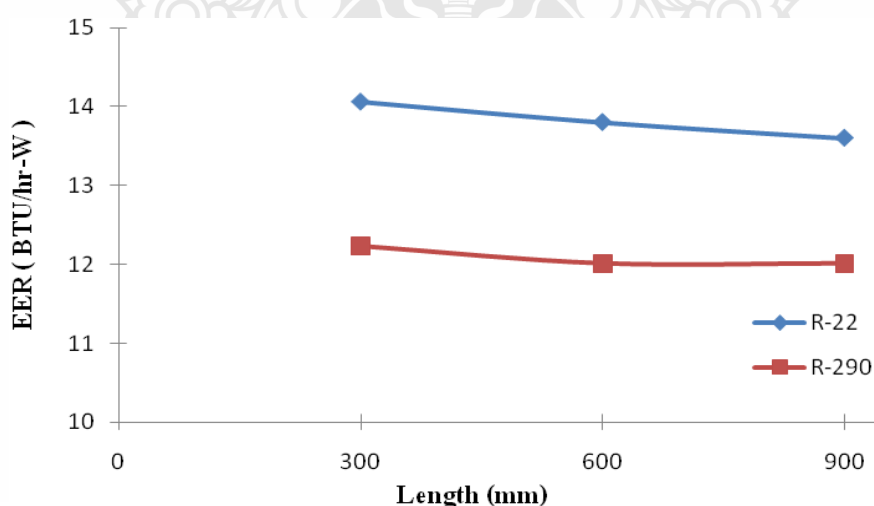


ภาพที่ 4.8 สัมประสิทธิ์สมรรถนะเครื่องอบแห้งเมื่อเปลี่ยนความยาวท่อฉีดสารทำความเย็น โดยใช้สารทำความเย็น R-22 และ R-290

การวิเคราะห์เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์สมรรถนะเครื่องอบแห้งเมื่อเปลี่ยนความยาวของท่อฉีดสารทำความเย็นจากภาพที่ 4.8 เมื่อใช้สารทำความเย็น R-22 พบว่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะเครื่องอบแห้งที่ความยาวท่อฉีดสารทำความเย็น 300 mm มีค่ามากที่สุดคือ 4.02 (ตารางที่ 4.2) ซึ่งมีความมากกว่าที่ความยาว 600 mm และ 900 mm คิดเป็น 15.17 % และ 2.48 % ตามลำดับ และเมื่อใช้สารทำความเย็น R-290 พบว่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะเครื่องอบแห้งที่ความยาวท่อฉีดสารทำความเย็น 300 mm มีค่ามากที่สุดคือ 3.53 ซึ่งมีความมากกว่าที่ความยาว 600 mm และ 900 mm คิดเป็น 3.11 % และ 1.41 % ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาสารทำความเย็น R-22 และ R-290 ที่ใช้ท่อฉีดสารทำความเย็นความยาวเท่ากันคือ 300 mm 600 mm และ 900 mm พบว่าสารทำความเย็น R-22 มีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะเครื่องอบแห้งมากกว่าการใช้สารทำความเย็น R-290 คิดเป็น 12.18 % 3.41 % และ 11.22 % ตามลำดับ

จะพบว่าทั้งสารทำความเย็น R-22 และ R-290 สัมประสิทธิ์สมรรถนะเครื่องอบแห้งเมื่อใช้ท่อฉีดสารทำความเย็นความยาว 300 mm จะมีสัมประสิทธิ์สมรรถนะเครื่องอบแห้งมากกว่าที่ความยาว 600 mm และ 900 mm เนื่องจากกรณีที่ใช้ท่อฉีดสารทำความเย็นความยาว 300 mm จะใช้ปริมาณกระแสไฟฟ้าน้อยกว่าที่ความยาว 600 mm และ 900 mm จึงส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะมีค่าเพิ่มขึ้นตามสมการที่ 2.6 และสารทำความเย็น R-22 มีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะมากกว่าสารทำความเย็น R-290

#### 4.2.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน (EER)

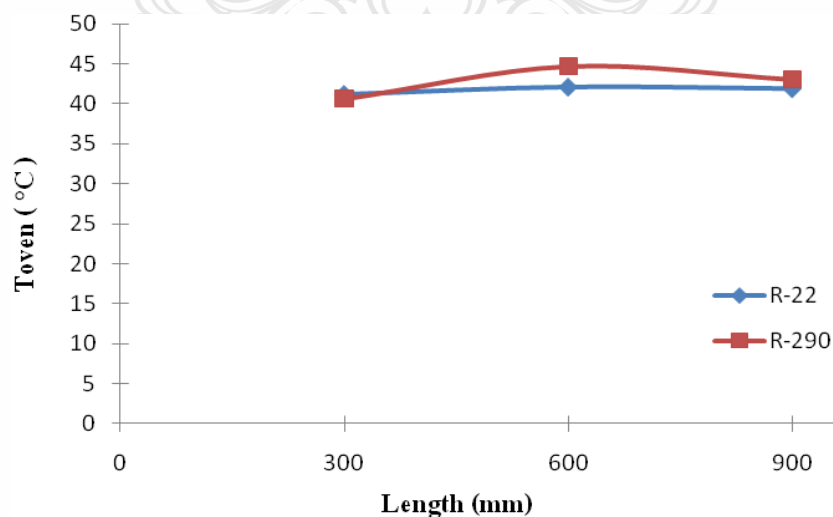


ภาพที่ 4.9 ประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งเมื่อเปลี่ยนความยาวท่อฉีดสารทำความเย็น โดยใช้สารทำความเย็น R-22 และ R-290

การวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งเมื่อเปลี่ยนความยาวของท่อฉีดสารทำความเย็นจากภาพที่ 4.9 เมื่อใช้สารทำความเย็น R-22 พบว่าประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งที่ความยาวท่อฉีดสารทำความเย็น 300 mm มีค่ามากที่สุดคือ 14.06 BTU/hr -W (ตารางที่ 4.2) ซึ่งมากกว่าที่ความยาว 600 mm และ 900 mm คิดเป็น 1.81 % และ 3.27 % ตามลำดับ และเมื่อใช้สารทำความเย็น R-290 พบว่าประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งที่ความยาวท่อฉีดสารทำความเย็น 300 mm มีค่ามากที่สุดคือ 12.23 BTU/hr -W ซึ่งมากกว่าที่ความยาว 600 mm และ 900 mm คิดเป็น 1.79 % และ 1.79 % ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาสารทำความเย็น R-22 และ R-290 ที่ใช้ท่อฉีดสารทำความเย็นความยาวเท่ากันคือ 300 mm 600 mm และ 900 mm พบว่าสารทำความเย็น R-22 มีค่าประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งมากกว่าการใช้สารทำความเย็น R-290 คิดเป็น 13.01 % 12.97 % และ 11.69 % ตามลำดับ

จะพบว่าทั้งสารทำความเย็น R-22 และ R-290 ประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งเมื่อใช้ท่อฉีดสารทำความเย็นความยาว 300 mm จะมีประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งมากกว่าที่ความยาว 600 mm และ 900 mm เนื่องจากกรณีที่ใช้ท่อฉีดสารทำความเย็นความยาว 300 mm จะใช้ปริมาณกระแสไฟฟ้าน้อยกว่าที่ความยาว 600 mm และ 900 mm จึงส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะมีค่าเพิ่มขึ้นตามสมการที่ 2.13 และสารทำความเย็น R-22 มีค่าประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งมากกว่าสารทำความเย็น R-290

#### 4.2.5 เปรียบเทียบผลของอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง



ภาพที่ 4.10 อุณหภูมิภายในตู้อบแห้งเมื่อเปลี่ยนความยาวท่อฉีดสารทำความเย็นโดยใช้สารทำความเย็น R-22 และ R-290

การวิเคราะห์เปรียบเทียบผลของอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งเมื่อเปลี่ยนความยาวของท่อฉีดสารทำความเย็นจากภาพที่ 4.10 เมื่อใช้สารทำความเย็น R-22 พบว่าอุณหภูมิคอมเพรสเซอร์ที่ความยาวท่อฉีดสารทำความเย็น 600 mm มีค่าสูงที่สุดคือ 42.09 °C (ตารางที่ 4.2) ซึ่งมีค่าสูงกว่าที่ความยาว 300 mm และ 900 mm คิดเป็น 2.09 % และ 0.45 % ตามลำดับ และเมื่อใช้สารทำความเย็น R-290 พบว่าอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งที่ความยาวท่อฉีดสารทำความเย็น 600 mm มีค่าสูงที่สุดคือ 44.71 °C ซึ่งมีค่าสูงกว่าที่ความยาว 300 mm และ 900 mm คิดเป็น 9.12 % และ 3.69 % ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาสารทำความเย็น R-22 และ R-290 ที่ใช้ท่อฉีดสารทำความเย็นความยาวเท่ากันคือ 300 mm 600 mm และ 900 mm พบว่าสารทำความเย็น R-22 มีค่าอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งน้อยกว่าการใช้สารทำความเย็น R-290 คิดเป็น 1.40 % 5.85 % และ 2.69 % ตามลำดับ

จะพบได้ว่าทั้งสารทำความเย็น R-22 และ R-290 อุณหภูมิภายในตู้อบแห้งเมื่อใช้ท่อฉีดสารทำความเย็นความยาว 600 mm จะมีอุณหภูมิสูงกว่าที่ความยาว 300 mm และ 900 mm เนื่องจากความดันด้านสูง (ตารางที่ ข.9) ที่ความยาว 600 mm มีความดันเฉลี่ยสูงกว่าที่ความยาว 300 mm และ 900 mm จึงส่งผลให้อุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งสูงขึ้นตาม แต่ที่ความยาวทั้ง 3 กรณีจะพบว่ามีอุณหภูมิเฉลี่ยใกล้เคียงกัน และเมื่อพิจารณาอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งของสารทำความเย็น R-22 และ R-290 จะพบว่ามีค่าใกล้เคียงกันซึ่งมีค่าอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งแตกต่างกันไม่เกิน 10 % ดังนั้นสามารถใช้สารทำความเย็น R-290 แทนสารทำความเย็น R-22 ได้



## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลของการฉีดสารทำความเย็นเหลวเข้าคอมเพรสเซอร์และผลของการเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวท่อฉีดสารทำความเย็นเหลว โดยแบ่งขั้นตอนการทำงานออกเป็น 2 กรณี กรณีแรกเป็นการศึกษาหาผลการฉีดสารทำความเย็นเหลวจากบริเวณทางออกของคอนเดนเซอร์เข้าบริเวณทางดูดของคอมเพรสเซอร์โดยใช้ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 mm ความยาว 300 mm กรณีที่สองศึกษาผลของการเปลี่ยนความยาวท่อฉีดสารทำความเย็นเหลวที่มีความยาว 300 mm 600 mm และ 900 mm โดยใช้ท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.064 mm โดยทั้งสองกรณีเปรียบเทียบกับเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนที่ไม่ฉีดสารทำความเย็นเหลวเพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิทางออกของคอมเพรสเซอร์ ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ กำลังงานที่ป้อนให้แก่คอมเพรสเซอร์และอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง โดยใช้สารทำความเย็น R-22 และ R-290 และใช้ข้าวเปลือกเป็นวัสดุในการทดลองสามารถสรุปงานวิจัยได้ดังนี้

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 จากการทดลองผลของการเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อฉีดสารทำความเย็นเหลวขนาด  $\varnothing$  9 mm และ  $\varnothing$  0.064 mm เมื่อใช้สารทำความเย็น R-22 พบว่าอุณหภูมิคอมเพรสเซอร์ที่ใช้ท่อฉีดสารทำความเย็นเหลวขนาด  $\varnothing$  0.064 mm มีอุณหภูมิต่ำกว่าท่อฉีดสารทำความเย็นเหลวขนาด  $\varnothing$  9 mm คิดเป็น 27.80 % และเมื่อใช้สารทำความเย็น R-290 คิดเป็น 30.21% ดังนั้นเมื่อความร้อนในคอมเพรสเซอร์มีอุณหภูมิต่ำลงค่ามาตรฐาน IEC85 ตามตาราง 1.1 จึงส่งผลให้คอมเพรสเซอร์มีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น ผลที่ได้จากการลดความร้อนในคอมเพรสเซอร์ของระบบปั๊มความร้อนทำให้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบมีค่าเพิ่มขึ้น 14.03 % เมื่อใช้สารทำความเย็น R-22 และค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะเพิ่มขึ้น 6.19 % เมื่อใช้สารทำความเย็น R-290 กระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่คอมเพรสเซอร์พบว่าท่อฉีดสารทำความเย็นเหลวขนาด  $\varnothing$  9 mm ใช้ปริมาณกระแสไฟฟ้าน้อยกว่าท่อฉีดสารทำความเย็นเหลวขนาด  $\varnothing$  0.064 mm คิดเป็น 9.89 % เมื่อใช้สารทำความเย็น R-22 และ 6.69 % เมื่อใช้สารทำความเย็น R-290 อุณหภูมิภายในตู้อบแห้งพบว่าท่อฉีดสารทำความเย็นเหลวขนาด  $\varnothing$  9 mm มีอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งสูงกว่าท่อ  $\varnothing$  0.064 mm คิดเป็น 0.94 % เมื่อใช้สารทำความเย็น R-22 และ 5.52 % เมื่อใช้สารทำความเย็น R-290

5.1.2 จากการศึกษาผลการเปลี่ยนความยาวท่อฉีดสารทำความเย็นเหลวพบว่าเมื่อใช้สารทำความเย็น R-22 อุณหภูมิคอมเพรสเซอร์ที่มีความยาว 300 mm มีค่าต่ำกว่าความยาว 600 mm และ 900 mm คิดเป็น 1.81 % และ 6.88 % และเมื่อใช้สารทำความเย็น R-290 อุณหภูมิคอมเพรสเซอร์ที่มีความยาว 300 mm มีค่าต่ำกว่าความยาว 600 mm และ 900 mm คิดเป็น 4.65 % และ 8.80 % ผลที่ได้จากการที่คอมเพรสเซอร์มีอุณหภูมิลดลงทำให้กระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่เครื่องอัดไอนี้มีค่าลดลงด้วย เมื่อใช้สารทำความเย็น R-22 พบว่าที่ความยาว 300 mm มีค่าน้อยกว่าความยาว 600 mm และ 900 mm คิดเป็น 1.79 % และ 2.82 % และเมื่อใช้สารทำความเย็น R-290 พบว่าที่ความยาว 300 mm มีค่าน้อยกว่าความยาว 600 mm และ 900 mm คิดเป็น 1.59 % และ 3.41 % สัมประสิทธิ์สมรรถนะเมื่อใช้สารทำความเย็น R-22 พบว่าที่ความยาว 300 mm มีค่ามากกว่าที่ความยาว 600 mm และ 900 mm คิดเป็น 15.17 % และ 2.48 % และเมื่อใช้สารทำความเย็น R-290 พบว่าที่ความยาว 300 mm มีค่ามากกว่าที่ความยาว 600 mm และ 900 mm คิดเป็น 3.11 % และ 1.41 % อุณหภูมิภายในตู้อบแห้งเมื่อใช้สารทำความเย็น R-22 พบว่าที่ความยาว 600 mm มีค่ามากกว่าที่ความยาว 300 mm และ 900 mm คิดเป็น 2.13 % และ 0.45 % และเมื่อใช้สารทำความเย็น R-290 พบว่าที่ความยาว 600 mm มีค่ามากกว่าที่ความยาว 300 mm และ 900 mm คิดเป็น 9.12 % และ 3.69 %

สรุปผลการศึกษาทั้งสารทำความเย็น R-22 และ R-290 พบว่าท่อฉีดสารทำความเย็นขนาด  $\varnothing 0.064$  mm จะมีอุณหภูมิทางออกคอมเพรสเซอร์ต่ำกว่าท่อขนาด  $\varnothing 9$  mm ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะเพิ่มขึ้น กระแสไฟฟ้าที่ให้กับคอมเพรสเซอร์ลดลง และผลจากการเปลี่ยนความยาวท่อฉีดสารทำความเย็น พบว่าค่าอุณหภูมิทางออกคอมเพรสเซอร์ ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะและกระแสไฟฟ้าที่ให้กับคอมเพรสเซอร์มีค่าแตกต่างกันน้อย ที่ความยาวท่อฉีดสารทำความเย็น 300 mm สามารถระบายความร้อนได้ดีกว่าท่อความยาว 600 mm และ 900 mm ตามลำดับ ดังนั้นในการระบายความร้อนให้กับคอมเพรสเซอร์ของปั๊มความร้อน ควรใช้ท่อฉีดสารทำความเย็นที่มีขนาด  $\varnothing 0.064$  mm และความยาว 300 mm จะสามารถระบายความร้อนได้ตามมาตรฐาน IEC85 ซึ่งจะช่วยให้อายุการทำงานของคอมเพรสเซอร์ได้นานขึ้น

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยนี้จะเห็นได้ว่าการทดลองลดความร้อนของมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ของระบบปั๊มความร้อนนั้นยังมีตัวแปรที่ยังไม่ได้ทำการศึกษาและยังไม่สามารถควบคุมได้ซึ่งจะต้องมีการแก้ไขเพิ่มเติมในการวิจัยครั้งนี้

5.2.1 คอมพิวเตอร์มีน้ำแข็งเกาะเมื่อติดตั้งทำความเย็นเป็นเวลานานๆอาจทำให้อายุการใช้งานของคอมพิวเตอร์สั้นลง จึงควรวางวิธีการเกิดน้ำแข็งที่คอมพิวเตอร์เพื่อยืดอายุการใช้งาน

5.2.2 หากต้องการอุณหภูมิภายในตู้อบที่สูงขึ้นควรใช้วิธีการสลับการระบายความร้อนที่คอมพิวเตอร์โดยการฉีดและไม่ฉีดสารทำความเย็นทำงานร่วมกัน

5.2.3 ควรเพิ่มความหนาแน่นกันความร้อน เพื่อป้องกันความร้อนภายในตู้อบสูญเสียออกสู่ภายนอก

5.2.4 ในการควบคุมระบบการทำงานของเครื่องอบแห้งนั้นถ้ามีการควบคุมโดยระบบ PLC หรือระบบที่มีประสิทธิภาพสูงจะทำให้สามารถประหยัดพลังงานได้ดียิ่งขึ้น



## รายการอ้างอิง

- [1] กิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์, “เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนร่วมกับอินฟราเรด”, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีอุณหภาพ, คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2545.
- [2] อานนท์ สาดช้างและคณะ, การออกแบบและสร้างต้นแบบเครื่องอบแห้งแบบใช้ปั๊มความร้อน สำหรับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2554.
- [3] อุดุ้ย หลักชัย, “การวิเคราะห์สมรรถนะกระบวนการอบแห้งไพลด้วยเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อน”, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2552.
- [4] สฤทธิพร วิทษผดุง และ สัมพันธ์ ไชยเทพ, “การออกแบบเครื่องลดความชื้นประสิทธิภาพสูงที่ตัดแปลงจากเครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่าง” การประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 43 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2548, หน้า 239 – 246
- [5] อำไพศักดิ์ ทีบุญมา, การศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนและการออกแบบที่เหมาะสมที่สุด, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีอุณหภาพ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2545.
- [6] นพรัตน์ อมัตริรัตน์, การศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนระหว่างสารทำความเย็น R-22 กับ COLD-22, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2554.
- [7] suwatchai, 2010, Available: [http://www.tgipmt.com/en/articles/motor/16/motor\\_analysis?print=true](http://www.tgipmt.com/en/articles/motor/16/motor_analysis?print=true) (10 January 2011)
- [8] ชานินทร์ การภักดี, การอบแห้งเมล็ดพันธุ์ด้วยปั๊มความร้อน, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2540.





ภาคผนวก





ภาคผนวก ก

อุปกรณ์และเครื่องมือวัด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี



ภาพที่ ก.1 เครื่องอบแห้งที่ใช้ระบบปั๊มความร้อน



ภาพที่ ก.2 การจัดวางถาดข้าวเปลือกภายในเครื่องอบแห้งที่ใช้ระบบปั๊มความร้อน



ภาพที่ ก.3 ถังบรรจุสารทำความเย็น R-290



ภาพที่ ก.4 ถังบรรจุสารทำความเย็น R-22



ภาพที่ ก.5 การติดตั้งเกจวัดความดันในระบบปรับอากาศ



ภาพที่ ก.6 เครื่องมือวัดเทอร์โมมิเตอร์สำหรับวัดอุณหภูมิ (Thermo meter)





ภาพที่ ก.7 เครื่องมือวัดความเร็วลม (Flow Meter)



ภาพที่ ก.8 สายวัดอุณหภูมิ (Thermo couple)



ภาพที่ ก.9 เครื่องมือวัดกระแส ไฟฟ้า (Clip amp)



ภาพที่ ก.10 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ

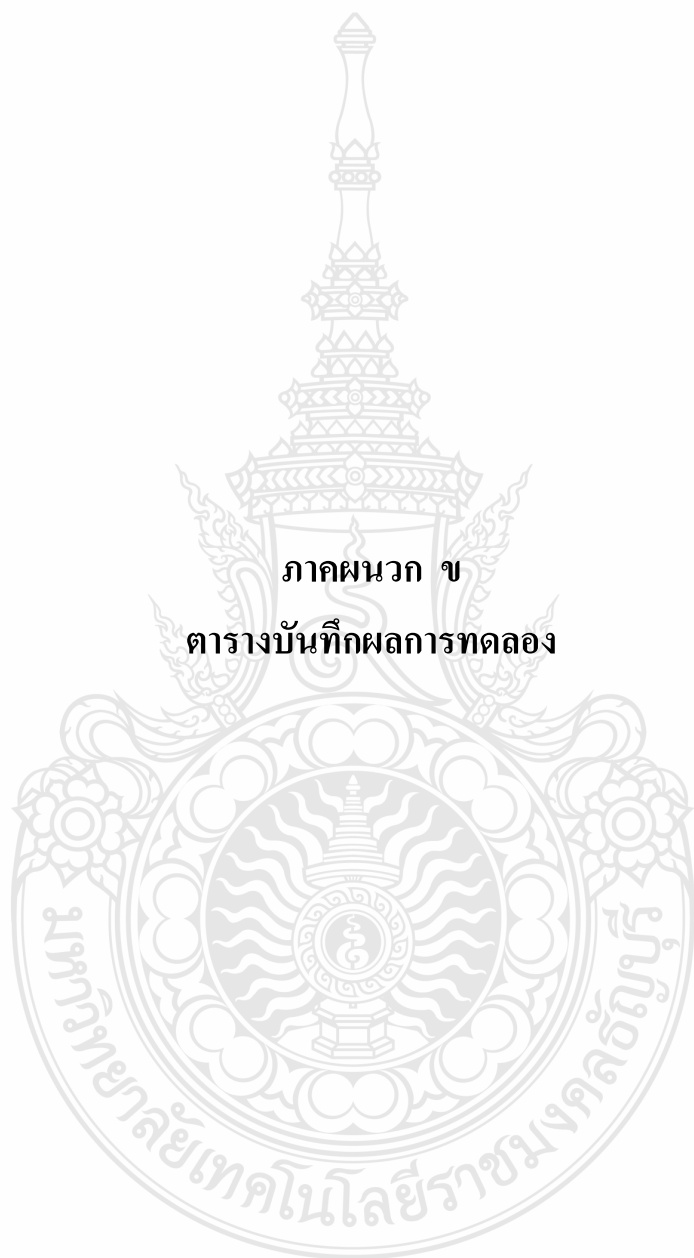




ภาพที่ ก.11 การติดตั้งอุปกรณ์ปรับลดความดันขนาดความยาวต่างของระบบปั๊มความร้อน



ภาพที่ ก.12 เครื่องมือช่างนำหน้าหัวปลีอก



ภาคผนวก ข

ตารางบันทึกผลการทดลอง

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลความดัน อุณหภูมิ กระแสไฟฟ้า สารทำความเย็น R-22 ไม่ฉีดสารทำความเย็น

No (hr)	Time (1hr)	P <sub>L</sub> (Psia)		P <sub>H</sub> (Psia)		T <sub>R</sub> (°F)					A <sub>comp</sub> (A)	T <sub>comp</sub> (°C)	
		P1	P4	P2	P3	T <sub>in,comp</sub>	T <sub>out,comp</sub>	T <sub>in,cond</sub>	T <sub>out,cond</sub>	T <sub>in,r vap</sub>	Comp	Comp	
0	10.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	11.50	64.7	64.7	269.7	259.7	80.6	219.2	213.8	114.8	113	3.80	103	
2	12.50	64.7	64.7	279.7	264.7	82.4	226.4	219.2	116.6	114.8	3.90	108	
3	13.50	64.7	64.7	289.7	274.7	89.6	231.8	219.2	118.4	116.6	4.00	109	
4	14.50	59.7	59.7	284.7	264.7	86	239	226.4	116.6	114.8	3.90	112	
5	15.50	54.7	54.7	279.7	264.7	95	248	235.4	114.8	114.8	3.70	116	
6	16.50	54.7	54.7	274.7	264.7	89.6	240.8	233.6	114.8	113	3.60	118	
7	17.50	49.7	49.7	264.7	249.7	95	239	226.4	111.2	111.2	3.60	118	
8	18.50	49.7	49.7	264.7	249.7	89.6	239	231.8	111.2	111.2	3.40	118	
9	19.50	44.7	44.7	249.7	234.7	96.8	244.4	233.6	107.6	105.8	3.30	118	
10	20.50	44.7	44.7	239.7	224.7	95	246.2	230	104	102.2	3.20	115	
Average		55.2	55.2	269.7	269.7	255.2	89.96	237.38	226.94	113	111.74	114	

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง สารทำความเย็น R-22 ไม่ฉีดสารทำความเย็น

No (hr)	Time (1hr)	T <sub>s</sub> (°C)	T <sub>r</sub> (°C)	T <sub>wall,right</sub> (°C)			T <sub>wall,left</sub> (°C)			T <sub>ave</sub> (°C)	T <sub>in,oven</sub> (°C)	T <sub>out,oven</sub> (°C)
		T1	T5	T2	T3	T4	T6	T7	T8			
0	10.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26	25
1	11.50	46	38	36	36	33	37	39	40	38	31	27
2	12.50	50	41	40	40	38	41	43	43	42	36	27
3	13.50	52	43	42	42	39	44	45	46	44	38	27
4	14.50	54	45	44	44	41	45	47	48	46	40	28
5	15.50	56	48	46	46	41	44	49	50	48	42	28
6	16.50	57	49	48	47	42	49	50	50	49	43	28
7	17.50	57	50	48	48	43	50	51	51	50	44	28
8	18.50	58	50	49	49	44	51	52	52	51	44	28
9	19.50	57	49	48	48	43	50	51	51	50	44	27
10	20.50	55	48	48	48	42	49	50	50	49	45	27
Average		54.2	46.1	44.9	44.8	4.06	46	47.7	48.1	47	43.3	30

ตารางที่ ข.3 ข้อมูลความดัน อุณหภูมิ กระแสไฟฟ้า สารทำความเย็น R-22 ถัดสารทำความเย็น

No (hr)	Time (1hr)	P <sub>L</sub> (Psia)		P <sub>H</sub> (Psia)		T <sub>R</sub> (°F)					A <sub>comp</sub> (A)	T <sub>comp</sub> (°C)	
		P1	P4	P2	P3	T <sub>in,comp</sub>	T <sub>out,comp</sub>	T <sub>in,cond</sub>	T <sub>out,cond</sub>	T <sub>in,rvap</sub>	Comp	Comp	
0	8.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24
1	9.00	60.7	59.7	227.7	214.7	69.8	143.6	143.6	104	102.2	3.8	62	
2	10.00	63.7	63.7	239.7	224.7	71.6	152.6	152.6	105.8	105.8	4.1	66	
3	11.00	64.7	64.7	254.7	239.7	75.2	158	158	111.2	107.6	4.2	67	
4	12.00	68.7	68.7	254.7	244.7	80.6	165.2	163.4	113	111.2	4.3	69	
5	13.00	70.7	70.7	264.7	259.7	82.4	168.8	165.2	118.4	116.6	4.4	72	
6	14.00	71.7	71.7	274.7	264.7	84.2	172.4	168.8	118.4	114.8	4.5	74	
7	15.00	71.7	71.7	274.7	264.7	82.4	172.4	168.8	120.2	120.2	4.5	75	
8	16.00	74.7	74.7	284.7	274.7	86	181.4	177.8	120.2	120.2	4.6	78	
9	17.00	74.7	74.7	284.7	274.7	84.2	181.4	177.8	122	122	4.6	79	
10	18.00	76.7	76.7	289.7	289.7	86	188.6	183.2	120.2	120.2	4.7	79	
Average		69.8	69.7	265	255.2	80.24	168.44	165.92	115.34	114.08	4.37	72.1	

ตารางที่ ข.4 ข้อมูลอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง สารทำความเย็น R-22 ถังสารทำความเย็น

No (hr)	Time (1hr)	T <sub>s</sub> (°C)	T <sub>r</sub> (°C)	T <sub>wall,right</sub> (°C)			T <sub>wall,left</sub> (°C)			T <sub>ave</sub> (°C)	T <sub>in,oven</sub> (°C)	T <sub>out,oven</sub> (°C)
		T1	T5	T2	T3	T4	T6	T7	T8			
0	8.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24	22
1	9.00	36	32	31	31	30	32	32	33	32	28	22
2	10.00	39	35	34	34	33	35	36	36	35	31	24
3	11.00	41	37	37	37	36	38	38	38	38	34	25
4	12.00	44	40	39	39	39	40	41	41	40	36	26
5	13.00	45	41	40	40	40	41	42	42	41	37	27
6	14.00	45	42	41	41	41	42	43	43	42	38	27
7	15.00	47	43	43	43	42	44	44	44	44	39	27
8	16.00	47	44	43	43	43	44	45	45	44	40	27
9	17.00	47	44	43	43	43	44	44	45	44	40	26
10	18.00	47	44	43	44	43	45	45	45	45	41	26
Average		43.8	40.2	39.3	39.5	39	40.5	41	41.2	41	38.8	28

ตารางที่ ข.5 ข้อมูลความดัน อุณหภูมิ กระแสไฟฟ้า สารทำความเย็น R-22 เปลี่ยนความยาวอุปกรณ์ปรับความดัน 0 cm.

No (hr)	Time (1hr)	P <sub>L</sub> (Psia)		P <sub>H</sub> (Psia)		T <sub>R</sub> (°F)					A <sub>comp</sub> (A)	T <sub>comp</sub> (°C)
		P1	P4	P2	P3	T <sub>in,comp</sub>	T <sub>out,comp</sub>	T <sub>in,cond</sub>	T <sub>out,cond</sub>	T <sub>in,r vap</sub>	Comp	Comp
0	10.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	11.00	64.7	64.7	269.7	259.7	80.6	219.2	213.8	114.8	113	3.80	103
2	12.00	64.7	64.7	279.7	264.7	82.4	226.4	219.2	116.6	114.8	3.90	108
3	13.00	64.7	64.7	289.7	274.7	89.6	231.8	219.2	118.4	116.6	4.00	109
4	14.00	59.7	59.7	284.7	264.7	86	239	226.4	116.6	114.8	3.90	112
5	15.00	54.7	54.7	279.7	264.7	95	248	235.4	114.8	114.8	3.70	116
6	16.00	54.7	54.7	274.7	264.7	89.6	240.8	233.6	114.8	113	3.60	118
7	17.00	49.7	49.7	264.7	249.7	95	239	226.4	111.2	111.2	3.60	118
8	18.00	49.7	49.7	264.7	249.7	89.6	239	231.8	111.2	111.2	3.40	118
9	19.00	44.7	44.7	249.7	234.7	96.8	244.4	233.6	107.6	105.8	3.30	118
10	20.00	44.7	44.7	239.7	224.7	95	246.2	230	104	102.2	3.20	115
Average		55.2	55.2	269.7	255.2	89.96	237.38	226.94	113	111.74	3.64	114

ตารางที่ ข.6 ข้อมูลอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง สารทำความเย็น R-22 เปลี่ยนความยาวอุปกรณ์ปรับความดัน 0 cm.

No (hr)	Time (1hr)	T <sub>s</sub> (°C)	T <sub>r</sub> (°C)	T <sub>wall,right</sub> (°C)			T <sub>wall,left</sub> (°C)			T <sub>ave</sub> (°C)	T <sub>in,oven</sub> (°C)	T <sub>out,oven</sub> (°C)
		T1	T5	T2	T3	T4	T6	T7	T8			
0	10.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26	25
1	11.00	46	40	40	40	39	41	40	41	41	35.8	31.6
2	12.00	48	42	42	42	41	43	43	44	43	37.7	31.9
3	13.00	49	44	44	44	43	44	45	45	45	40.6	32.4
4	14.00	49	44	44	44	43	45	45	46	45	41.2	32.9
5	15.00	48	44	44	44	43	45	45	45	45	41.2	33.3
6	16.00	47	44	44	44	43	44	45	45	45	41.4	32.9
7	17.00	46	43	43	43	43	44	44	44	44	41.1	32.6
8	18.00	46	43	43	43	42	43	44	44	44	40.8	31.5
9	19.00	44	42	42	42	42	42	43	42	42	39.4	26.3
10	20.00	42	40	40	40	40	40	41	40	40	38	27.3
Average		47	43	42.6	42.6	41.9	43.1	43.5	43.6	43	42.32	33.77



ตารางที่ ข.7 ข้อมูลความดัน อุณหภูมิ กระแสไฟฟ้า สารทำความเย็น R-22 เปลี่ยนความยาวอุปกรณ์ปรับความดัน 30 cm.

No (hr)	Time (1hr)	P <sub>L</sub> (Psia)		P <sub>H</sub> (Psia)		T <sub>R</sub> (°F)					A <sub>comp</sub> (A)	T <sub>comp</sub> (°C)
		P1	P4	P2	P3	T <sub>in,comp</sub>	T <sub>out,comp</sub>	T <sub>in,cond</sub>	T <sub>out,cond</sub>	T <sub>in,rvap</sub>	Comp	Comp
0	9.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	10.50	79.7	79.7	259.7	239.7	91.4	141.8	140	109.4	107.6	4.00	62
2	11.50	84.7	81.7	269.7	249.7	96.8	156.2	149	113	111.2	4.10	68
3	12.50	84.7	84.7	274.7	259.7	98.6	163.4	156.2	113	111.2	4.20	73
4	13.50	84.7	84.7	274.7	259.7	100.4	168.8	163.4	114.8	113	4.20	74
5	14.50	83.7	83.7	269.7	254.7	100.4	174.2	168.8	114.8	111.2	4.10	75
6	15.50	82.7	82.7	264.7	244.7	104	174.2	168.8	111.2	111.2	4.00	77
7	16.50	82.7	82.7	264.7	244.7	107.6	181.4	176	111.2	111.2	3.90	82
8	17.50	79.7	79.7	254.7	244.7	105.8	181.4	176	107.6	107.6	3.80	83
9	18.50	79.7	79.7	254.7	244.7	107.6	190.4	183.2	107.6	107.6	3.90	84
10	19.50	81.7	79.7	254.7	244.7	105.8	190.4	183.2	107.6	105.8	3.80	88
Average		82.4	81.9	264.2	248.7	101.84	172.22	166.46	111.02	109.76	4.00	77

ตารางที่ ข.8 ข้อมูลอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง สารทำความเย็น R-22 เปลี่ยนความยาวอุปกรณ์ปรับความดัน 30 cm.

No (hr)	Time (1hr)	T <sub>s</sub> (°C)	T <sub>r</sub> (°C)	T <sub>wall,right</sub> (°C)			T <sub>wall,left</sub> (°C)			T <sub>ave</sub> (°C)	T <sub>in,oven</sub> (°C)	T <sub>out,oven</sub> (°C)
		T1	T5	T2	T3	T4	T6	T7	T8			
0	9.40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28.4	29.2
1	10.40	44	37	37	37	36	38	38	39	38	34.2	31.2
2	11.40	46	40	39	39	39	40	41	42	41	36.9	31.9
3	12.40	47	42	41	41	40	42	43	43	42	38.7	33.3
4	13.40	48	43	42	42	42	43	44	44	44	39.7	31.9
5	14.40	47	42	42	42	41	43	44	44	43	39.7	32.9
6	15.40	47	43	43	43	42	43	44	44	44	39.6	32.1
7	16.40	47	43	42	42	41	43	44	44	43	39	33
8	17.40	46	42	42	42	41	42	43	43	43	38.7	30.8
9	18.40	46	42	42	42	41	43	43	43	43	38.7	30.7
10	19.40	46	42	41	41	41	43	43	43	43	38.5	29.3
Average		46	42	41.1	41.1	40.4	42	42.7	42.9	42	41.21	34.63

ตารางที่ ข.9 ข้อมูลความดัน อุณหภูมิ กระแสไฟฟ้า สารทำความเย็น R-22 เปลี่ยนความยาวอุปกรณ์ปรับความดัน 60 cm.

No (hr)	Time (1hr)	P <sub>L</sub> (Psia)		P <sub>H</sub> (Psia)		T <sub>R</sub> (°F)					A <sub>comp</sub> (A)	T <sub>comp</sub> (°C)
		P1	P4	P2	P3	T <sub>in,comp</sub>	T <sub>out,comp</sub>	T <sub>in,cond</sub>	T <sub>out,cond</sub>	T <sub>in,rvap</sub>	Comp	Comp
0	10.35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	11.35	74.7	74.7	264.7	269.7	95	152.6	149	114.8	113	4.20	52
2	12.35	79.7	79.7	289.7	264.7	96.8	159.8	156.2	116.6	114.8	4.10	70
3	13.35	79.7	79.7	289.7	264.7	102.2	174.2	168.8	118.4	118.4	4.10	79
4	14.35	79.7	79.7	284.7	264.7	104	177.8	174.2	118.4	116.6	4.10	80
5	15.35	76.7	75.7	279.7	264.7	105.8	183.2	177.8	116.6	116.6	4.10	83
6	16.35	76.7	74.7	279.7	264.7	105.8	186.8	181.4	114.8	114.8	4.00	83
7	17.35	71.7	69.7	264.7	244.7	104	183.2	177.8	111.2	111.2	3.90	83
8	18.35	69.7	69.7	254.7	239.7	104	183.2	176	109.4	107.6	3.80	84
9	19.35	64.7	64.7	254.7	239.7	105.8	181.4	176	105.8	104	3.70	85
10	20.35	34.7	64.7	249.7	234.7	104	185	179.6	105.8	104	3.60	85
Average		72.8	73.3	271.2	255.2	102.74	176.72	171.68	113.18	112.1	3.96	78.4

ตารางที่ ข.10 ข้อมูลอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง สารทำความเย็น R-22 เปลี่ยนความยาวอุปกรณ์ปรับความดัน 60 cm.

No (hr)	Time (1hr)	T <sub>s</sub> (°C)	T <sub>r</sub> (°C)	T <sub>wall,right</sub> (°C)			T <sub>wall,left</sub> (°C)			T <sub>ave</sub> (°C)	T <sub>in,oven</sub> (°C)	T <sub>out,oven</sub> (°C)
		T1	T5	T2	T3	T4	T6	T7	T8			
0	8.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30.1	31
1	9.00	46	40	39	39	38	40	41	42	41	35.7	32
2	10.00	48	42	42	41	40	42	43	44	43	38.5	32.6
3	11.00	49	44	44	44	43	44	45	45	45	40.4	33.3
4	12.00	49	45	45	44	44	45	46	46	46	41.1	32.9
5	13.00	49	45	45	44	43	45	46	46	45	41	32.9
6	14.00	49	45	44	44	43	45	45	46	45	41	32.9
7	15.00	47	42	43	43	42	43	43	44	43	39.8	31.2
8	16.00	45	41	41	41	40	41	42	42	42	38.7	29.9
9	17.00	43	40	40	40	39	40	41	41	41	37.5	28.9
10	18.00	40	40	40	40	39	40	41	41	40	37.1	28.2
Average		47	42	42.3	42	41.1	42.5	43.3	43.7	43	42.09	34.58

ตารางที่ ข.11 ข้อมูลความดัน อุณหภูมิ กระแสไฟฟ้า สารทำความเย็น R-22 เปลี่ยนความยาวอุปกรณ์ปรับความดัน 90 cm.

No (hr)	Time (1hr)	P <sub>L</sub> (Psia)		P <sub>H</sub> (Psia)		T <sub>R</sub> (°F)					A <sub>comp</sub> (A)	T <sub>comp</sub> (°C)
		P1	P4	P2	P3	T <sub>in,comp</sub>	T <sub>out,comp</sub>	T <sub>in,cond</sub>	T <sub>out,cond</sub>	T <sub>in,rvap</sub>	Comp	Comp
0	6.27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	7.27	64.7	64.7	264.7	239.7	93.2	149	145.4	107.6	107.6	3.90	60
2	8.27	67.7	67.7	264.7	244.7	95	158	158	109.4	109.4	4.00	71
3	9.27	64.7	64.7	259.7	244.7	98.6	167	163.4	109.4	109.4	3.80	74
4	10.27	64.7	64.7	259.7	239.7	100.4	172.4	167	109.4	109.4	3.90	79
5	11.27	64.7	64.7	259.7	239.7	102.2	177.8	176	109.4	109.4	3.80	82
6	12.27	64.7	64.7	264.7	244.7	104	186.8	181.4	111.2	111.2	3.90	86
7	13.27	69.7	69.7	269.7	249.7	107.6	190.4	188.6	113	113	3.90	91
8	14.27	69.7	69.7	274.7	259.7	109.4	190.4	190.4	114.8	114.8	3.90	91
9	15.27	69.7	69.7	269.7	254.7	111.2	201.2	195.8	114.8	113	3.80	95
10	16.27	69.7	69.7	274.7	259.7	111.2	201.2	195.8	113	113	3.90	94
Average		67	67	266.2	247.7	103.28	179.42	176.18	111.2	111.02	3.88	82.3

ตารางที่ ข.12 ข้อมูลอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง สารทำความเย็น R-22 เปลี่ยนความยาวอุปกรณ์ปรับความดัน 90 cm.

No (hr)	Time (1hr)	T <sub>s</sub> (°C)	T <sub>r</sub> (°C)	T <sub>wall,right</sub> (°C)			T <sub>wall,left</sub> (°C)			T <sub>ave</sub> (°C)	T <sub>in,oven</sub> (°C)	T <sub>out,oven</sub> (°C)
		T1	T5	T2	T3	T4	T6	T7	T8			
0	8.45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28.8	29.32
1	9.45	44	39	39	39	38	39	40	40	40	34.7	26.9
2	10.45	45	40	40	40	39	41	41	42	41	36.8	28.9
3	11.45	45	41	41	40	40	41	42	42	42	37.6	28.6
4	12.45	45	41	41	41	40	41	42	42	42	38.3	30.3
5	13.45	45	42	41	41	41	42	42	43	42	38.5	31.0
6	14.45	46	42	42	42	41	42	43	43	43	39.4	32.1
7	15.45	48	44	44	44	43	45	45	46	45	40.6	33.3
8	16.45	49	45	44	44	44	45	46	46	45	41.1	33.1
9	17.45	49	45	45	45	44	45	46	46	46	41.7	31.7
10	18.45	48	44	44	44	43	44	45	45	45	41.2	30.3
Average		46	42	42.1	42	41.3	42.3	43.2	43.5	43	41.9	33.5

ตารางที่ ข.13 ข้อมูลความดัน อุณหภูมิ กระแสไฟฟ้า สารทำความเย็น R-290ไม่ฉีดยาสารทำความเย็น

No (hr)	Time (1hr)	P <sub>L</sub> (Psia)		P <sub>H</sub> (Psia)		T <sub>R</sub> (°F)					A <sub>comp</sub> (A)	T <sub>comp</sub> (°C)	
		P1	P4	P2	P3	T <sub>in,comp</sub>	T <sub>out,comp</sub>	T <sub>in,cond</sub>	T <sub>out,cond</sub>	T <sub>in,rvap</sub>	Comp	Comp	
0	6.27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25
1	7.27	474	474	1515	1446	289	345	343	315	314	3.8	69	
2	8.27	446	446	1515	1446	294	354	343	315	314	3.8	78	
3	9.27	446	439	1549	1446	294	352	344	314	314	3.9	79.5	
4	10.27	439	439	1549	1446	292	351	348	314	314	4	79.5	
5	11.27	446	446	1549	1446	292	350	351	316	313	4.2	79	
6	12.27	446	446	1652	1549	294	352	351	318	314	4.3	79	
7	13.27	453	453	1659	1584	294	358	353	319	318	4.3	83	
8	14.27	467	467	1687	1618	295	359	355	320	318	4.3	86	
9	15.27	460	460	1666	1597	297	354	351	319	318	4.3	79	
10	16.27	460	460	1680	1618	296	357	354	318	318	4.2	82	
Average		453.6252	452.9358	1602.166	1519.438	293.7	353.2	349.3	316.8	315.5	4.11	79.4	

ตารางที่ ข.14 ข้อมูลอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง สารทำความเย็น R-290 ไม่ฉีดสารทำความเย็น

No (hr)	Time (1hr)	T <sub>s</sub> (°C)	T <sub>r</sub> (°C)	T <sub>wall,right</sub> (°C)			T <sub>wall,left</sub> (°C)			T <sub>ave</sub> (°C)	T <sub>in,oven</sub> (°C)	T <sub>out,oven</sub> (°C)
		T1	T5	T2	T3	T4	T6	T7	T8			
0	6.27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26	22
1	7.27	40	34	33	33	33	34	35	35	35	33	23
2	8.27	40	35	34	34	33	35	35	36	35	36	24
3	9.27	40	36	35	35	34	36	36	37	36	38	26
4	10.27	42	37	37	36	36	38	39	39	38	41	26
5	11.27	41	37	36	36	35	37	38	38	37	42	28
6	12.27	43	39	38	38	37	39	40	40	39	42	28
7	13.27	44	40	39	39	38	40	41	41	40	42	29
8	14.27	46	41	40	40	40	41	42	42	42	42	29
9	15.27	45	41	40	40	40	41	42	42	41	43	28
10	16.27	46	41	40	40	40	41	42	42	42	42	28
Average		42.7	38.1	37.2	37.1	36.6	38.2	39	39.2	39	42.49	29.1



ตารางที่ ข.15 ข้อมูลความดัน อุณหภูมิ กระแสไฟฟ้า สารทำความเย็น R-290 ถังสารทำความเย็น

No (hr)	Time (1hr)	P <sub>L</sub> (Psia)		P <sub>H</sub> (Psia)		T <sub>R</sub> (°F)					A <sub>comp</sub> (A)	T <sub>comp</sub> (°C)	
		P1	P4	P2	P3	T <sub>in,comp</sub>	T <sub>out,comp</sub>	T <sub>in,cond</sub>	T <sub>out,cond</sub>	T <sub>in,rvap</sub>	Comp	Comp	
0	8.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26
1	9.4	515	515	1604	1542	295	329	325	315	314	3.6	55	
2	10.4	487	487	1618	1549	300	337	334	315	314	3.6	64	
3	11.4	515	515	1687	1618	303	345	334	319	314	3.6	70	
4	12.4	536	529	1721	1666	304	344	335	322	321	3.6	70.5	
5	13.4	549	549	1790	1728	306	349	341	325	324	3.6	75	
6	14.4	570	563	1818	1756	303	347	338	326	323	3.7	78.5	
7	15.4	577	577	1832	1777	306	351	345	327	327	3.8	78	
8	16.4	584	584	1859	1804	307	352	350	325	324	3.9	78	
9	17.4	598	591	1894	1832	307	352	348	326	326	3.8	79	
10	18.4	563	563	1825	1756	308	351	347	318	317	3.8	76	
Average		549	547	1765	1703	303.9	345.7	339.7	321.8	320.4	3.7	72.4	

ตารางที่ ข.16 ข้อมูลอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง สารทำความเย็น R-290 ถังสารทำความเย็น

No (hr)	Time (1hr)	T <sub>s</sub> (°C)	T <sub>r</sub> (°C)	T <sub>wall,right</sub> (°C)			T <sub>wall,left</sub> (°C)			T <sub>ave</sub> (°C)	T <sub>in,oven</sub> (°C)	T <sub>out,oven</sub> (°C)
		T1	T5	T2	T3	T4	T6	T7	T8			
0	8.40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25	25
1	9.40	40	36	35	34	34	36	37	37	36	30	26
2	10.40	41	39	38	38	37	39	39	39	39	32	28
3	11.40	49	41	40	40	40	41	42	42	42	33	29
4	12.40	47	44	44	43	43	44	45	45	44	34	29
5	13.40	48	45	44	44	44	45	46	46	45	34	28
6	14.40	49	46	45	45	45	46	47	47	46	36	28
7	15.40	49	46	46	45	45	46	47	47	46	37	28
8	16.40	50	46	46	45	45	47	47	47	47	38	28
9	17.40	51	47	45	44	45	46	46	47	46	38	27
10	18.40	48	46	44	44	44	45	45	45	45	38	27
Average		47.2	43.6	42.7	42.2	42.2	43.5	44.1	44.2	44	37	30.36

ตารางที่ ข.17 ข้อมูลความดัน อุณหภูมิ กระแสไฟฟ้า สารทำความเย็น R-290 เปลี่ยนความยาวอุปกรณ์ปรับความดัน 0 cm.

No (hr)	$P_L$ (Psia)		$P_H$ (Psia)		$T_R$ (°F)					$A_{comp}$ (A)	$T_{comp}$ (°C)
	P1	P4	P2	P3	$T_{in,comp}$	$T_{out,comp}$	$T_{in,cond}$	$T_{out,cond}$	$T_{in,rvap}$	Comp	Comp
1	65	65	250	240	25	82	80	50	48	3.8	81.5
2	70	70	275	265	27	85	84	53	52	4.1	87
3	75	75	275	265	39	87	87	54	54	4.2	89
4	75	75	275	280	31	88	88	56	55	4.2	90
5	75	75	300	285	32	90	90	58	57	4.2	90
6	75	75	310	290	32	94	92	58	58	4.3	92
7	75	75	300	290	32	92	92	58	57	4.3	94
8	75	75	300	285	33	92	91	57	57	4.3	92
9	74	74	295	280	32	92	91	56	56	4.2	92
10	72	72	285	275	33	90	90	55	55	4.2	91
Average	73.1	73.1	286.5	275.5	31.6	89.2	88.5	55.5	54.9	4.15	89.85

ตารางที่ ข.18 ข้อมูลอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง สารทำความเย็น R-290 เปลี่ยนความยาวอุปกรณ์ปรับความดัน 0 cm

No (hr)	T <sub>s</sub> (°C)	T <sub>r</sub> (°C)	T <sub>wall,right</sub> (°C)			T <sub>wall,left</sub> (°C)			T <sub>ave</sub> (°C)	T <sub>in,oven</sub> (°C)	T <sub>out,oven</sub> (°C)
	T1	T5	T2	T3	T4	T6	T7	T8			
0	30	30	30	30	30	30	30	30	30	28.9	30.6
1	50	43	43	43	42	43	43	44	43.875	38.2	33.6
2	53	46	46	46	46	47	48	48	47.5	42.3	34.8
3	55	49	49	48	48	50	51	51	50.125	45.1	35.6
4	55	50	49	49	48	50	51	52	50.5	46.3	34.6
5	57	52	51	51	50	52	53	53	52.375	47.3	35.1
6	57	52	51	51	51	53	54	54	52.875	48.1	34.6
7	57	52	52	52	51	53	53	54	53	47.9	33.4
8	57	52	52	52	51	52	53	53	52.75	47.5	30.1
9	56	51	51	51	50	52	52	53	52	46.8	30.3
10	55	51	50	50	50	51	51	52	51.25	46.3	30
Average	55.2	49.8	49.4	49.3	48.7	50.3	50.9	51.4	50.625	45.58	33.21

ตารางที่ ข.19 ข้อมูลความดัน อุณหภูมิ กระแสไฟฟ้า สารทำความเย็น R-290เปลี่ยนความยาวอุปกรณ์ปรับความดัน 30 cm.

No (hr)	$P_L$ (Psia)		$P_H$ (Psia)		$T_R$ (°F)					$A_{comp}$ (A)	$T_{comp}$ (°C)
	P1	P4	P2	P3	$T_{in,comp}$	$T_{out,comp}$	$T_{in,cond}$	$T_{out,cond}$	$T_{in,r vap}$	Comp	Comp
1	80	75	210	200	34	48	48	42	41	4.2	49
2	90	90	225	210	36	53	52	45	44	4.3	53
3	90	90	240	225	39	59	57	47	46	4.4	58
4	95	92	245	225	41	62	62	48	48	4.4	63
5	97	95	250	230	43	65	63	49	49	4.5	64
6	100	100	255	240	42	65	65	50	50	4.5	64
7	96	95	250	230	43	64	63	50	50	4.4	62
8	96	95	250	230	41	62	62	49	49	4.4	63
9	95	92	250	225	42	62	61	49	48	4.4	63
10	95	92	250	225	41	62	62	49	49	4.4	63
Average	93.4	91.6	242.5	224	40.2	60.2	59.5	47.8	47.4	4.39	60.2

ตารางที่ ข.20 ข้อมูลอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง สารทำความเย็น R-290 เปลี่ยนความยาวอุปกรณ์ปรับความดัน 30 cm

No (hr)	T <sub>s</sub> (°C)	T <sub>r</sub> (°C)	T <sub>wall,right</sub> (°C)			T <sub>wall,left</sub> (°C)			T <sub>ave</sub> (°C)	T <sub>in,oven</sub> (°C)	T <sub>out,oven</sub> (°C)
	T1	T5	T2	T3	T4	T6	T7	T8			
0	28	28	28	28	28	28	28	28	28	27.7	28.7
1	42	37	37	37	36	37	38	39	37.875	34	29.7
2	46	41	41	41	40	42	42	43	42	37.4	30.5
3	47	43	43	43	42	44	44	45	43.875	40.1	31.7
4	49	45	45	45	44	46	47	47	46	41.8	33
5	50	46	45	45	45	47	47	48	46.625	42.2	34
6	51	47	46	46	46	47	48	48	47.375	43	33.6
7	50	47	47	47	46	47	48	48	47.5	42.4	28.7
8	49	46	46	46	45	46	47	47	46.5	42	27.9
9	49	46	46	46	45	46	47	47	46.5	41.7	27.9
10	49	46	46	46	45	46	47	47	46.5	41.7	28
Average	48.2	44.4	44.2	44.2	43.4	44.8	45.5	45.9	45.075	40.63	30.5

ตารางที่ ข.21 ข้อมูลความดัน อุณหภูมิ กระแสไฟฟ้า สารทำความเย็น R-290 เปลี่ยนความยาวอุปกรณ์ปรับความดัน 60 cm.

No (hr)	$P_L$ (Psia)		$P_H$ (Psia)		$T_R$ (°F)					$A_{comp}$ (A)	$T_{comp}$ (°C)
	P1	P4	P2	P3	$T_{in,comp}$	$T_{out,comp}$	$T_{in,cond}$	$T_{out,cond}$	$T_{in,rvap}$	Comp	Comp
1	85	85	240	225	36	55	55	47	47	4.3	54
2	85	85	250	235	39	62	62	50	49	4.4	57
3	95	95	270	250	42	65	65	52	52	4.4	60
4	100	95	275	255	43	67	67	53	53	4.5	66
5	100	100	280	265	45	68	68	54	54	4.5	66
6	105	105	285	270	45	70	70	56	56	4.5	65
7	105	105	290	275	45	71	71	56	56	4.5	64
8	100	95	280	260	44	68	68	54	54	4.5	65
9	100	95	280	260	44	68	68	54	54	4.5	66
10	100	95	275	260	44	67	67	54	54	4.5	67
Average	97.5	95.5	272.5	255.5	42.7	66.1	66.1	53	52.9	4.46	63

ตารางที่ ข.22 ข้อมูลอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง สารทำความเย็น R-290 เปลี่ยนความยาวอุปกรณ์ปรับความดัน 60 cm

No (hr)	T <sub>s</sub> (°C)	T <sub>r</sub> (°C)	T <sub>wall,right</sub> (°C)			T <sub>wall,left</sub> (°C)			T <sub>ave</sub> (°C)	T <sub>in,oven</sub> (°C)	T <sub>out,oven</sub> (°C)
	T1	T5	T2	T3	T4	T6	T7	T8			
0	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
1	46	42	41	41	40	42	43	43	42.25	38	33.5
2	50	46	45	45	44	46	46	47	46.125	41.2	33.7
3	52	48	48	47	47	48	49	49	48.5	43.7	34.3
4	54	50	49	49	48	50	51	51	50.25	45.2	35.9
5	55	51	50	50	49	51	51	52	51.125	46.2	35.1
6	56	52	52	52	51	52	53	53	52.625	47	34.9
7	56	52	51	51	50	52	53	53	52.25	47.5	34.1
8	54	51	51	51	50	51	51	52	51.375	46.8	30
9	54	50	50	50	49	50	51	51	50.625	45.8	30
10	54	50	50	50	49	50	51	51	50.625	45.7	30
Average	53.1	49.2	48.7	48.6	47.7	49.2	49.9	50.2	49.575	44.71	33.15



ตารางที่ ข.23 ข้อมูลความดัน อุณหภูมิ กระแสไฟฟ้า สารทำความเย็น R-290 เปลี่ยนความยาวอุปกรณ์ปรับความดัน 90 cm.

No (hr)	$P_L$ (Psia)		$P_H$ (Psia)		$T_R$ (°F)					$A_{comp}$ (A)	$T_{comp}$ (°C)
	P1	P4	P2	P3	$T_{in,comp}$	$T_{out,comp}$	$T_{in,cond}$	$T_{out,cond}$	$T_{in,r vap}$	Comp	Comp
1	75	75	245	240	36	56	56	47	47	4.4	54
2	80	80	250	240	37	58	58	49	48	4.5	62
3	85	80	260	240	39	60	60	52	50	4.5	65
4	92	90	270	255	41	64	62	52	50	4.6	68
5	94	91	275	255	40	65	63	54	53	4.6	66
6	92	90	270	250	40	65	63	54	53	4.6	69
7	92	90	270	250	40	64	62	54	54	4.7	70
8	92	90	270	250	39	64	62	54	54	4.5	67
9	92	90	275	255	39	65	63	54	54	4.5	66
10	95	95	275	260	40	66	64	54	54	4.5	68
Average	88.9	87.1	266	249.5	39.1	62.7	61.3	52.4	51.7	4.54	65.5

ตารางที่ ข.24 ข้อมูลอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง สารทำความเย็น R-290 เปลี่ยนความยาวอุปกรณ์ปรับความดัน 90 cm

No (hr)	T <sub>s</sub> (°C)	T <sub>r</sub> (°C)	T <sub>wall,right</sub> (°C)			T <sub>wall,left</sub> (°C)			T <sub>ave</sub> (°C)	T <sub>in,oven</sub> (°C)	T <sub>out,oven</sub> (°C)
	T1	T5	T2	T3	T4	T6	T7	T8			
0	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	29.7
1	47	43	42	41	41	43	44	44	43.125	38	31.7
2	49	46	45	45	45	46	46	47	46.125	41.4	30.1
3	51	47	47	46	46	48	48	49	47.75	42	29
4	52	48	47	47	46	48	49	50	48.375	43.5	31.7
5	53	50	49	49	49	50	50	50	50	43.8	30.5
6	53	50	49	49	49	50	50	50	50	44.4	27.7
7	53	50	49	49	49	50	50	51	50.125	44.7	27.7
8	53	50	49	49	49	50	51	51	50.25	44.5	26.9
9	53	50	49	49	49	50	51	51	50.25	44.2	26.7
10	53	50	49	49	49	50	51	51	50.25	44.1	27.1
Average	51.7	48.4	47.5	47.3	47.2	48.5	49	49.4	48.625	43.06	28.94

ภาคผนวก ค

ตารางมาตรฐาน



ตารางที่ ค.1 ตารางเลือกขนาดแคปทิว (Capillary Tube)

COMPRESSOR BTU/hr	QUANTITY CAPILLARY TUBE	CIRCUIT COIL		CAPILLARY TUBE			
		Dim.3/8"	Dim.1/2"	SHORT		LONG	
				LONG	DIMETER	LONG	DIMETER
				inch	mm.	inch	mm.
4,500	1	1		36" x	0.042	80" x	0.49
5,000	1	1		25" x	0.042	64" x	0.49
5,500	1	1		20" x	0.042	52" x	0.49
6,000	1	1		40" x	0.049	75" x	0.054
6,500	1	1		35" x	0.049	65" x	0.054
7,000	1	1		28" x	0.049	52" x	0.054
8,000	1	1	1	36" x	0.054	65" x	0.059
9,000	1	2	1	28" x	0.054	48" x	0.059
10,000	1	2	1	36" x	0.059	64" x	0.064
11,000	1	2	1	28" x	0.059	50" x	0.064
12,000	1	2	1	40" x	0.064	68" x	0.07
13,000	1	2	1	32" x	0.064	56" x	0.07
14,000	1	2	1	44" x	0.07	70" x	0.075
15,000	1	2	2	36" x	0.07	56" x	0.075
16,000	1	2	2	30" x	0.07	48" x	0.075
17,000	1	2	2	38" x	0.075	65" x	0.08
18,000	1	2	2	35" x	0.075	55" x	0.08
19,000	1	2	2	28" x	0.075	48" x	0.08
20,000	1	2	2	40" x	0.08	58" x	0.085

## ตารางที่ ค.2 หน่วยและข้อมูลที่ใช้ในการแปลงหน่วย

### Weight

1 Short Ton	=	2,000 lb	=	907 kg
1 Long Ton	=	2,240 lb	=	1,016 kg
1 Metric Ton	=	2,205 lb	=	1,000 kg

### Volume (Dry)

1 m <sup>3</sup>	=	35.314 ft <sup>3</sup>	
1 bushel, Imperial	=	1.032 bushel, US	
1 bushel, US	=	4 peck	= 1.244 ft <sup>3</sup>
1 peck	=	2 gallon	= 8.81 dm <sup>3</sup>

### Volume (Liquid)

1 m <sup>3</sup>	=	1,000 liter	=	264.18 gallon, US
1 pint	=	16 fluid oz	=	0.473 liter
1 fluid oz	=	29.57 cc (mL)		
1 quart	=	2 pint	=	0.946 liter = 32 oz
1 gallon, US	=	3.785 liter	=	4 quart

Note : liter = liter , oz = ounce

### Density

1 gm/cc	=	1,000 kg/m <sup>3</sup>	=	62.43 lb/ ft <sup>3</sup>
---------	---	-------------------------	---	---------------------------

### Pressure

1 atmosphere (atm)	=	14.696 psi	=	29.92 in.Hg
	=	33.9 ft. H <sub>2</sub> O @ 4 °C	=	760 mm.Hg
	=	10.33 m. H <sub>2</sub> O @ 4 °C	=	1.033 kg/cm <sup>3</sup>
	=	1.01325 bar	=	101.325 kPa

ตารางที่ ค. 2 หน่วยและข้อมูลที่ใช้ในการแปลงหน่วย (ต่อ)

**Heat, Energy, Work, Power**

1 kcal	=	3.968 Btu	=	4.187 kJ	
1 Btu	=	778.104 ft-lb	=	1.055 kJ	= 252 calorie
1 them	=	100,000 Btu			
1 hp	=	746 W (745.7 W)	=	2,545.6 Btu/hr	
	=	1.0139 PS** or CV*	=	33,000 ft-lb/min	
1 PS or CV	=	736 W (735.5 W)			

**Force**

1 N*	=	0.2248 lb <sub>f</sub>	=	0.102 kg <sub>f</sub>
1 kg <sub>f</sub> **	=	2.205 lb <sub>f</sub>	=	9.81 N
N**	=	kg m/s <sup>2</sup>		

**Torque and Moment**

1 lb <sub>f</sub> - ft	=	1.356 N-m	=	0.138 kg <sub>f</sub> - m
1 N-m	=	0.737 lb <sub>f</sub> - ft	=	1.102 kg <sub>f</sub> - m
1 kg <sub>f</sub> - m	=	7.23 lb <sub>f</sub> - ft	=	9.81 N-m

**Temperature**

$\frac{^{\circ}\text{C}}{5} = \frac{(^{\circ}\text{F} - 32)}{9}$	$^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} (^{\circ}\text{F} - 32)$
	$^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5} (^{\circ}\text{C}) + 32$

**Ton of Refrigeration (TR, RT)**

TR	Btu/hr	Kcal/hr	kW	lb <sub>ice</sub> /h
1	12,000	3,024	3.5168	83.3

ตารางที่ ค. 2 หน่วยและข้อมูลที่ใช้ในการแปลงหน่วย (ต่อ)

**Pressure**

bar	kg/cm <sup>2</sup>	lb/in <sup>2</sup>	oz/in <sup>2</sup>	atm	Mercury (0°C)		kPa
					mm	in	
1	1.0197	14.50	2320	0.9869	750.0	29.53	100
0.980667	1	14.223	2275.66	0.9678	735.5	28.96	98.066
0.06895	0.07031	1	16	0.06804	51.71	0.0355	6.895
0.024309	0.024394	0.0625	1	0.024252	3.232	0.1267	0.043
1.10325	1.0333	14.70	235.2	1	760	29.921	101.325
1.3333	1.3596	19.34	309.4	1.316	1000	39.37	133.33
0.03386	0.02453	0.4912	7.859	0.03342	25.4	1	3.386

Note : 1 bar = 10<sup>5</sup> N/m<sup>2</sup> 1 Pa = 1 N/m<sup>2</sup>

**Velocity**

m/s	m/min	km/hr	ft/s	ft/min	mile/hr	knot
1	60	3.6	3.28091	196.854	2.23698	1.9426
0.01667	1	0.06	0.05468	3.28091	0.03728	0.03237
0.2778	16.667	1	0.91136	54.6815	0.62138	0.59211
0.025798	0.30479	0.018287	0.01667	1	0.011364	0.0398684
0.44703	26.8215	1.60931	1.4667	88	1	0.86842
0.51478	30.8876	1.8532	1.6889	101.337	1.15152	1

ตารางที่ ค. 2 หน่วยและข้อมูลที่ใช้ในการแปลงหน่วย (ต่อ)

**Weight**

mg	g	kg	grain	oz	lb
1	0.001	0.051	0.015432	0.0435274	0.0522046
1,000	1	0.001	15.4324	0.035274	0.0222046
$10 \times 10^5$	1,000	1	15432.4	35.27394	2.20462
64.799	0.064799	0.0464799	1	0.0722857	0.0314286
28349.5	28.34954	0.028349	437.5	1	0.0625
453562	453.592	0.45359	7,000	16	1

Note : 1 Short Ton (U.S. Ton) = 2,000 lb = 907 kg  
 1 Long Ton (U.K. Ton) = 2,240 lb = 1,016 kg  
 1 Metric Ton = 2,205 lb = 1,000 kg  
 1 Stone (14 lb) = 6.350 kg

**Flow rate**

l/s (LPS)	l/min (LPM)	m <sup>3</sup> /hr	m <sup>3</sup> /min (CMM)	m <sup>3</sup> /s	british gal/min (GPM)	U.S. gal/min (GPM)	ft <sup>3</sup> /hr	ft <sup>3</sup> /min (CFM)
1	60	3.6	0.06	0.001	13.197	15.8514	127.14	2.119
0.01666	1	0.06	0.001	0.041666	0.21995	0.26419	2.119	0.035317
0.27777	16.666	1	0.01666	0.032777	3.66583	4.40316	35.3165	0.58861
13.666	1000	60	1	0.01666	219.95	264.19	2119	35.3165
1000	$60 \times 10^3$	3600	60	1	13198	15851	127150	2119
0.075775	4.5465	0.27279	0.0245465	0.0475775	1	1.20114	9.6342	0.16057
0.63086	3.7852	0.22711	0.0237852	0.063086	0.83254	1	8.0208	0.13368
0.027865	0.47188	0.028315	0.0347188	0.0578647	0.103798	0.12467	1	0.01666
0.47188	28.3153	1.6989	0.028315	0.0347188	6.22786	7.48055	60	1
28.3153	1698.9	101.935	1.6989	0.028315	373.6716	448.833	3600	60

Note : 0.041 = 0.00001 ; 0.021 = 0.001



ตารางที่ ค. 2 หน่วยและข้อมูลที่ใช้ในการแปลงหน่วย (ต่อ)

**Length**

<b>m</b>	<b>km</b>	<b>ft</b>	<b>yd</b>	<b>mile</b>
1	0.001	3.2809	1.09363	0.00062
1000	1	3280.9	1093.63	0.62138
0.30479	0.033048	1	0.33333	0.035682
0.91438	0.039144	3	1	0.035682
1609.31	1.60931	5280	1760	1

Note : 1 mm = 1,000 microns

1 in = 25,400 microns

**Area**

<b>mm<sup>2</sup></b>	<b>cm<sup>2</sup></b>	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>in<sup>2</sup></b>	<b>ft<sup>2</sup></b>	<b>yd<sup>2</sup></b>
1	0.01	0.000001	0.00155	-	-
100	1	0.0001	0.15501	0.0010764	0.031196
10x10 <sup>5</sup>	10x10 <sup>2</sup>	1	1550.1	10.7643	1.196
645.14	6.4514	0.0364514	1	0.006944	0.037716
92900	929	0.0929	144	1	0.11111
836090	8360.9	0.83609	1296	9	1

### ตารางที่ ค.3 ตารางการเปลี่ยนหน่วยอุณหภูมิ

* C	C/F	** F	C	C/F	F	C	C/F	F	C	C/F	F
-273.3	-460.0		-34.4	-30.0	-22.0	5.0	41.0	105.8	29.4	85.0	185.0
-267.8	-450.0		-28.9	-20.0	-4.0	5.6	42.0	107.6	30.0	86.0	186.8
-262.2	-440.0		-23.3	-10.0	14.0	6.1	43.0	109.4	30.6	87.0	188.6
-256.7	-430.0		-17.8	0.0	32.0	6.7	44.0	111.2	31.1	88.0	190.4
-251.1	-420.0		-17.2	1.0	33.8	7.2	45.0	113.0	31.7	89.0	192.2
-245.6	-410.0		-16.7	2.0	35.6	7.8	46.0	114.8	32.2	90.0	194.0
-240.0	-400.0		-16.1	3.0	37.4	8.3	47.0	116.6	32.8	91.0	195.8
-234.4	-390.0		-15.6	4.0	39.2	8.9	48.0	118.4	33.3	92.0	197.6
-228.9	-380.0		-15.0	5.0	41.0	9.4	49.0	120.2	33.9	93.0	199.4
-223.3	-370.0		-14.4	6.0	42.8	10.0	50.0	122.0	34.4	94.0	201.2
-217.8	-360.0		-13.9	7.0	44.6	10.6	51.0	123.8	35.0	95.0	203.0
-212.2	-350.0		-13.3	8.0	46.4	11.1	52.0	125.6	35.6	96.0	204.8
-206.7	-340.0		-12.8	9.0	48.2	11.7	53.0	127.4	36.1	97.0	206.6
-201.1	-330.0		-12.2	10.0	50.0	12.2	54.0	129.2	36.7	98.0	208.4
-195.6	-320.0		-11.7	11.0	51.8	12.8	55.0	131.0	37.2	99.0	210.2
-190.0	-310.0		-11.1	12.0	53.6	13.3	56.0	132.8	37.8	100.0	212.0
-184.4	-300.0		-10.6	13.0	55.4	13.9	57.0	134.6	38.3	101.0	213.8
-178.9	-290.0		-10.0	14.0	57.2	14.4	58.0	136.4	38.9	102.0	215.6
-173.3	-280.0		-9.4	15.0	59.0	15.0	59.0	138.2	39.4	103.0	217.4
-169.4	-273.0	-459.4	-8.9	16.0	60.8	15.6	60.0	140.0	40.0	104.0	219.2
-167.8	-270.0	-454.0	-8.3	17.0	62.6	16.1	61.0	141.8	40.6	105.0	221.0
-162.2	-260.0	-436.0	-7.8	18.0	64.4	16.7	62.0	143.6	41.1	106.0	222.8
-156.7	-250.0	-418.0	-7.2	19.0	66.2	17.2	63.0	145.4	41.7	107.0	224.6
-151.1	-240.0	-400.0	-6.7	20.0	68.0	17.8	64.0	147.2	42.2	108.0	226.4
-145.6	-230.0	-382.0	-6.1	21.0	69.8	18.3	65.0	149.0	42.8	109.0	228.2
-140.0	-220.0	-364.0	-5.6	22.0	71.6	18.9	66.0	150.8	43.3	110.0	230.0
-134.4	-210.0	-346.0	-5.0	23.0	73.4	19.4	67.0	152.6	43.9	111.0	231.8
-128.9	-200.0	-328.0	-4.4	24.0	75.2	20.0	68.0	154.4	44.4	112.0	233.6
-123.3	-190.0	-310.0	-3.9	25.0	77.0	20.6	69.0	156.2	45.0	113.0	235.4
-117.8	-180.0	-292.0	-3.3	26.0	78.8	21.1	70.0	158.0	45.6	114.0	237.2
-112.2	-170.0	-274.0	-2.8	27.0	80.6	21.7	71.0	159.8	46.1	115.0	239.0
-106.7	-160.0	-256.0	-2.2	28.0	82.4	22.2	72.0	161.6	46.7	116.0	240.8
-101.1	-150.0	-238.0	-1.7	29.0	84.2	22.8	73.0	163.4	47.2	117.0	242.6
-95.6	-140.0	-220.0	-1.1	30.0	86.0	23.3	74.0	165.2	47.8	118.0	244.4
-90.0	-130.0	-202.0	-0.6	31.0	87.8	23.9	75.0	167.0	48.3	119.0	246.2
-84.4	-120.0	-184.0	0.0	32.0	89.6	24.4	76.0	168.8	48.9	120.0	248.0
-78.9	-110.0	-166.0	0.6	33.0	91.4	25.0	77.0	170.6	49.4	121.0	249.8
-73.3	-100.0	-148.0	1.1	34.0	93.2	25.6	78.0	172.4	50.0	122.0	251.6
-67.8	-90.0	-130.0	1.7	35.0	95.0	26.1	79.0	174.2	50.6	123.0	253.4
-62.2	-80.0	-112.0	2.2	36.0	96.8	26.7	80.0	176.0	51.1	124.0	255.2
-56.7	-70.0	-94.0	2.8	37.0	98.6	27.2	81.0	177.8	51.7	125.0	257.0
-51.1	-60.0	-76.0	3.3	38.0	100.4	27.8	82.0	179.6	52.2	126.0	258.8
-45.6	-50.0	-58.0	3.9	39.0	102.2	28.3	83.0	181.4	52.8	127.0	260.6
-40.0	-40.0	-40.0	4.4	40.0	104.0	28.9	84.0	183.2	53.3	128.0	262.4

การอ่านตารางการเปลี่ยนหน่วย ตัวอย่าง เปลี่ยน  $0^{\circ}\text{C}$  เป็น  $^{\circ}\text{F}$  :

ดูที่ \*1 จะได้  $0^{\circ}\text{C} = 32^{\circ}\text{F}$  และ  $0^{\circ}\text{F} = -17.8^{\circ}\text{C}$

หรือเปลี่ยน  $32^{\circ}\text{F}$  เป็น  $^{\circ}\text{C}$  :

ดูที่ \*2 จะได้  $32^{\circ}\text{F} = 0^{\circ}\text{C}$  และ  $32^{\circ}\text{C} = 89.6^{\circ}\text{F}$



ตารางที่ ค. 3 ตารางการเปลี่ยนหน่วยอุณหภูมิ (ต่อ)

* C	C/F	** F	C	C/F	F	C	C/F	F	C	C/F	F
-273.3	-460.0		-34.4	-30.0	-22.0	5.0	41.0	105.8	29.4	85.0	185.0
-267.8	-450.0		-28.9	-20.0	-4.0	5.6	42.0	107.6	30.0	86.0	186.8
-262.2	-440.0		-23.3	-10.0	14.0	6.1	43.0	109.4	30.6	87.0	188.6
-256.7	-430.0		-17.8	0.0	32.0	6.7	44.0	111.2	31.1	88.0	190.4
-251.1	-420.0		-17.2	1.0	33.8	7.2	45.0	113.0	31.7	89.0	192.2
-245.6	-410.0		-16.7	2.0	35.6	7.8	46.0	114.8	32.2	90.0	194.0
-240.0	-400.0		-16.1	3.0	37.4	8.3	47.0	116.6	32.8	91.0	195.8
-234.4	-390.0		-15.6	4.0	39.2	8.9	48.0	118.4	33.3	92.0	197.6
-228.9	-380.0		-15.0	5.0	41.0	9.4	49.0	120.2	33.9	93.0	199.4
-223.3	-370.0		-14.4	6.0	42.8	10.0	50.0	122.0	34.4	94.0	201.2
-217.8	-360.0		-13.9	7.0	44.6	10.6	51.0	123.8	35.0	95.0	203.0
-212.2	-350.0		-13.3	8.0	46.4	11.1	52.0	125.6	35.6	96.0	204.8
-206.7	-340.0		-12.8	9.0	48.2	11.7	53.0	127.4	36.1	97.0	206.6
-201.1	-330.0		-12.2	10.0	50.0	12.2	54.0	129.2	36.7	98.0	208.4
-195.6	-320.0		-11.7	11.0	51.8	12.8	55.0	131.0	37.2	99.0	210.2
-190.0	-310.0		-11.1	12.0	53.6	13.3	56.0	132.8	37.8	100.0	212.0
-184.4	-300.0		-10.6	13.0	55.4	13.9	57.0	134.6	38.3	101.0	213.8
-178.9	-290.0		-10.0	14.0	57.2	14.4	58.0	136.4	38.9	102.0	215.6
-173.3	-280.0		-9.4	15.0	59.0	15.0	59.0	138.2	39.4	103.0	217.4
-169.4	-273.0	-459.4	-8.9	16.0	60.8	15.6	60.0	140.0	40.0	104.0	219.2
-167.8	-270.0	-454.0	-8.3	17.0	62.6	16.1	61.0	141.8	40.6	105.0	221.0
-162.2	-260.0	-436.0	-7.8	18.0	64.4	16.7	62.0	143.6	41.1	106.0	222.8
-156.7	-250.0	-418.0	-7.2	19.0	66.2	17.2	63.0	145.4	41.7	107.0	224.6
-151.1	-240.0	-400.0	-6.7	20.0	68.0	17.8	64.0	147.2	42.2	108.0	226.4
-145.6	-230.0	-382.0	-6.1	21.0	69.8	18.3	65.0	149.0	42.8	109.0	228.2
-140.0	-220.0	-364.0	-5.6	22.0	71.6	18.9	66.0	150.8	43.3	110.0	230.0
-134.4	-210.0	-346.0	-5.0	23.0	73.4	19.4	67.0	152.6	43.9	111.0	231.8
-128.9	-200.0	-328.0	-4.4	24.0	75.2	20.0	68.0	154.4	44.4	112.0	233.6
-123.3	-190.0	-310.0	-3.9	25.0	77.0	20.6	69.0	156.2	45.0	113.0	235.4
-117.8	-180.0	-292.0	-3.3	26.0	78.8	21.1	70.0	158.0	45.6	114.0	237.2
-112.2	-170.0	-274.0	-2.8	27.0	80.6	21.7	71.0	159.8	46.1	115.0	239.0
-106.7	-160.0	-256.0	-2.2	28.0	82.4	22.2	72.0	161.6	46.7	116.0	240.8
-101.1	-150.0	-238.0	-1.7	29.0	84.2	22.8	73.0	163.4	47.2	117.0	242.6
-95.6	-140.0	-220.0	-1.1	30.0	86.0	23.3	74.0	165.2	47.8	118.0	244.4
-90.0	-130.0	-202.0	-0.6	31.0	87.8	23.9	75.0	167.0	48.3	119.0	246.2
-84.4	-120.0	-184.0	0.0	32.0	89.6	24.4	76.0	168.8	48.9	120.0	248.0
-78.9	-110.0	-166.0	0.6	33.0	91.4	25.0	77.0	170.6	49.4	121.0	249.8
-73.3	-100.0	-148.0	1.1	34.0	93.2	25.6	78.0	172.4	50.0	122.0	251.6
-67.8	-90.0	-130.0	1.7	35.0	95.0	26.1	79.0	174.2	50.6	123.0	253.4
-62.2	-80.0	-112.0	2.2	36.0	96.8	26.7	80.0	176.0	51.1	124.0	255.2
-56.7	-70.0	-94.0	2.8	37.0	98.6	27.2	81.0	177.8	51.7	125.0	257.0
-51.1	-60.0	-76.0	3.3	38.0	100.4	27.8	82.0	179.6	52.2	126.0	258.8
-45.6	-50.0	-58.0	3.9	39.0	102.2	28.3	83.0	181.4	52.8	127.0	260.6
-40.0	-40.0	-40.0	4.4	40.0	104.0	28.9	84.0	183.2	53.3	128.0	262.4

การอ่านตารางการเปลี่ยนหน่วย ตัวอย่าง เปลี่ยน 0°C เป็น °F :

ดูที่ \*1 จะได้ 0°C = 32°F และ 0°F = -17.8°C

หรือเปลี่ยน 32°F เป็น °C :

ดูที่ \*2 จะได้ 32°F = 0°C และ 32°C = 89.6°F



ตารางที่ ค. 4 ตารางการเปลี่ยนหน่วยความดัน

	kg./cm <sup>2</sup>		psi		kg./cm <sup>2</sup>		psi		kg./cm <sup>2</sup>		psi		kg./cm <sup>2</sup>		psi		kg./cm <sup>2</sup>		psi
	0.00	0	0.00		2.88	41	583.16		5.91	84			8.93	127			11.95	170	
	0.07	1	14.22		2.95	42	597.38		5.98	85			9.00	128			12.02	171	
*1	0.07	1.033	14.696		3.02	43	611.60		6.05	86			9.07	129			12.09	172	
	0.14	2	28.45		3.09	44	625.83		6.12	87			9.14	130			12.16	173	
	0.21	3	42.67		3.16	45	640.05		6.19	88			9.21	131			12.23	174	
	0.28	4	56.89		3.23	46	654.27		6.26	89			9.28	132			12.30	175	
	0.35	5	71.12		3.30	47	668.50		6.33	90			9.35	133			12.37	176	
	0.42	6	85.34		3.37	48	682.72		6.40	91			9.42	134			12.44	177	
	0.49	7	99.56		3.45	49	696.94		6.47	92			9.49	135			12.51	178	
	0.56	8	113.79		3.52	50	711.17		6.54	93			9.56	136			12.58	179	
	0.63	9	128.01		3.59	51	725.39		6.61	94			9.63	137			12.66	180	
	0.70	10	142.23		3.66	52	739.61		6.68	95			9.70	138			12.73	181	
	0.77	11	156.46		3.73	53	753.83		6.75	96			9.77	139			12.80	182	
	0.84	12	170.68		3.80	54	768.06		6.82	97			9.84	140			12.87	183	
	0.91	13	184.90		3.87	55	782.28		6.89	98			9.91	141			12.94	184	
	0.98	14	199.13		3.94	56	796.50		6.96	99			9.98	142			13.01	185	
*2	1.033	14.696	209.03		4.01	57	810.73		7.03	100			10.05	143			13.08	186	
	1.05	15	213.35		4.08	58	824.95		7.10	101			10.12	144			13.15	187	
	1.12	16	227.57		4.15	59	839.17		7.17	102			10.19	145			13.22	188	
	1.20	17	241.80		4.22	60	853.40		7.24	103			10.26	146			13.29	189	
	1.27	18	256.02		4.29	61	867.62		7.31	104			10.34	147			13.36	190	
	1.34	19	270.24		4.36	62	881.84		7.38	105			10.41	148			13.43	191	
	1.41	20	284.47		4.43	63	896.07		7.45	106			10.48	149			13.50	192	
	1.48	21	298.69		4.50	64	910.29		7.52	107			10.55	150			13.57	193	
	1.55	22	312.91		4.57	65	924.51		7.59	108			10.62	151			13.64	194	
	1.62	23	327.14		4.64	66	938.74		7.66	109			10.69	152			13.71	195	
	1.69	24	341.36		4.71	67	952.96		7.73	110			10.76	153			13.78	196	
	1.76	25	355.58		4.78	68	967.18		7.80	111			10.83	154			13.85	197	
	1.83	26	369.81		4.85	69	981.41		7.87	112			10.90	155			13.92	198	
	1.90	27	384.03		4.92	70	995.63		7.94	113			10.97	156			13.99	199	
	1.97	28	398.25		4.99	71			8.01	114			11.04	157			14.06	200	
	2.04	29	412.48		5.06	72			8.09	115			11.11	158			14.13	201	
	2.11	30	426.70		5.13	73			8.16	116			11.18	159			14.20	202	
	2.18	31	440.92		5.20	74			8.23	117			11.25	160			14.27	203	
	2.25	32	455.15		5.27	75			8.30	118			11.32	161			14.34	204	
	2.32	33	469.37		5.34	76			8.37	119			11.39	162			14.41	205	
	2.39	34	483.59		5.41	77			8.44	120			11.46	163			14.48	206	
	2.46	35	497.82		5.48	78			8.51	121			11.53	164			14.55	207	
	2.53	36	512.04		5.55	79			8.58	122			11.60	165			14.62	208	
	2.60	37	526.26		5.62	80			8.65	123			11.67	166			14.69	209	
	2.67	38	540.49		5.69	81			8.72	124			11.74	167			14.76	210	
	2.74	39	554.71		5.77	82			8.79	125			11.81	168			14.83	211	
	2.81	40	568.93		5.84	83			8.86	126			11.88	169			14.91	212	

การอ่านตารางการเปลี่ยนหน่วย ตัวอย่าง เปลี่ยน 1.033 kg./cm<sup>2</sup>(1atm) เป็น psi : **จุดที่ \*1** จะได้ 1.033 kg./cm<sup>2</sup>=14.696 psi

หรือ เปลี่ยน 14.696 psi (1atm) เป็น kg./cm<sup>2</sup> : **จุดที่ \*2** จะได้ 14.696 psi = 1.033 kg./cm<sup>2</sup>

ตารางที่ ค. 4 ตารางการเปลี่ยนหน่วยความดัน (ต่อ)

kg./cm <sup>2</sup>	psi	kg./cm <sup>2</sup>	psi	kg./cm <sup>2</sup>	psi	kg./cm <sup>2</sup>	psi	kg./cm <sup>2</sup>	psi
14.98	213	18.00	256	21.02	299	24.04	342	27.07	385
15.05	214	18.07	257	21.09	300	24.12	343	27.14	386
15.12	215	18.14	258	21.16	301	24.19	344	27.21	387
15.19	216	18.21	259	21.23	302	24.26	345	27.28	388
15.26	217	18.28	260	21.30	303	24.33	346	27.35	389
15.33	218	18.35	261	21.37	304	24.40	347	27.42	390
15.40	219	18.42	262	21.44	305	24.47	348	27.49	391
15.47	220	18.49	263	21.51	306	24.54	349	27.56	392
15.54	221	18.56	264	21.58	307	24.61	350	27.63	393
15.61	222	18.63	265	21.65	308	24.68	351	27.70	394
15.68	223	18.70	266	21.72	309	24.75	352	27.77	395
15.75	224	18.77	267	21.80	310	24.82	353	27.84	396
15.82	225	18.84	268	21.87	311	24.89	354	27.91	397
15.89	226	18.91	269	21.94	312	24.96	355	27.98	398
15.96	227	18.98	270	22.01	313	25.03	356	28.05	399
16.03	228	19.05	271	22.08	314	25.10	357	28.12	400
16.10	229	19.12	272	22.15	315	25.17	358	28.19	401
16.17	230	19.19	273	22.22	316	25.24	359	28.26	402
16.24	231	19.26	274	22.29	317	25.31	360	28.33	403
16.31	232	19.33	275	22.36	318	25.38	361	28.40	404
16.38	233	19.40	276	22.43	319	25.45	362	28.47	405
16.45	234	19.48	277	22.50	320	25.52	363	28.54	406
16.52	235	19.55	278	22.57	321	25.59	364	28.61	407
16.59	236	19.62	279	22.64	322	25.66	365	28.69	408
16.66	237	19.69	280	22.71	323	25.73	366	28.76	409
16.73	238	19.76	281	22.78	324	25.80	367	28.83	410
16.80	239	19.83	282	22.85	325	25.87	368	28.90	411
16.87	240	19.90	283	22.92	326	25.94	369	28.97	412
16.94	241	19.97	284	22.99	327	26.01	370	29.04	413
17.01	242	20.04	285	23.06	328	26.08	371	29.11	414
17.08	243	20.11	286	23.13	329	26.15	372	29.18	415
17.15	244	20.18	287	23.20	330	26.22	373	29.25	416
17.23	245	20.25	288	23.27	331	26.29	374	29.32	417
17.30	246	20.32	289	23.34	332	26.37	375	29.39	418
17.37	247	20.39	290	23.41	333	26.44	376	29.46	419
17.44	248	20.46	291	23.48	334	26.51	377	29.53	420
17.51	249	20.53	292	23.55	335	26.58	378	29.60	421
17.58	250	20.60	293	23.62	336	26.65	379	29.67	422
17.65	251	20.67	294	23.69	337	26.72	380	29.74	423
17.72	252	20.74	295	23.76	338	26.79	381	29.81	424
17.79	253	20.81	296	23.83	339	26.86	382	29.88	425
17.86	254	20.88	297	23.90	340	26.93	383	29.95	426
17.93	255	20.95	298	23.97	341	27.00	384	30.02	427

$$\text{kg./cm}^2 = 0.070307 \times \text{psi}$$

$$\text{psi} = 14.2233 \times \text{kg./cm}^2$$

ตารางการเปลี่ยนหน่วยความดัน : โดยสาขาเครื่องทำความเย็นและปรับอากาศ ราชมงกค นครราชสีมา (ACR-RIT KORAT)



ตารางที่ ค. 4 ตารางการเปลี่ยนหน่วยความดัน (ต่อ)

bar		psi	bar		psi	bar	psi	bar	psi	bar	psi
0.07	1	14.50	2.90	42	609.16	5.86	85	8.83	128	11.79	171
0.07	1.01325	14.696	2.96	43	623.66	5.93	86	8.89	129	11.86	172
0.1	2	29.0	3.03	44	638.17	6.00	87	8.96	130	11.93	173
0.2	3	43.5	3.10	45	652.67	6.07	88	9.03	131	12.00	174
0.3	4	58.0	3.17	46	667.17	6.14	89	9.10	132	12.07	175
0.3	5	72.5	3.24	47	681.68	6.21	90	9.17	133	12.13	176
0.4	6	87.0	3.31	48	696.18	6.27	91	9.24	134	12.20	177
0.5	7	101.5	3.38	49	710.69	6.34	92	9.31	135	12.27	178
0.6	8	116.0	3.45	50	725.19	6.41	93	9.38	136	12.34	179
0.6	9	130.5	3.52	51	739.69	6.48	94	9.45	137	12.41	180
0.7	10	145.0	3.59	52	754.20	6.55	95	9.51	138	12.48	181
0.8	11	159.5	3.65	53	768.70	6.62	96	9.58	139	12.55	182
0.8	12	174.0	3.72	54	783.21	6.69	97	9.65	140	12.62	183
0.9	13	188.5	3.79	55	797.71	6.76	98	9.72	141	12.69	184
1.0	14	203.1	3.86	56	812.21	6.83	99	9.79	142	12.76	185
1.01325	14.696	213.1	3.93	57	826.72	6.89	100	9.86	143	12.82	186
1.0	15	217.6	4.00	58	841.22	6.96	101	9.93	144	12.89	187
1.1	16	232.1	4.07	59	855.72	7.03	102	10.00	145	12.96	188
1.2	17	246.6	4.14	60	870.23	7.10	103	10.07	146	13.03	189
1.2	18	261.1	4.21	61	884.73	7.17	104	10.14	147	13.10	190
1.3	19	275.6	4.27	62	899.24	7.24	105	10.20	148	13.17	191
1.4	20	290.1	4.34	63	913.74	7.31	106	10.27	149	13.24	192
1.4	21	304.6	4.41	64	928.24	7.38	107	10.34	150	13.31	193
1.5	22	319.1	4.48	65	942.75	7.45	108	10.41	151	13.38	194
1.6	23	333.6	4.55	66	957.25	7.52	109	10.48	152	13.44	195
1.7	24	348.1	4.62	67	971.75	7.58	110	10.55	153	13.51	196
1.7	25	362.6	4.69	68	986.26	7.65	111	10.62	154	13.58	197
1.8	26	377.1	4.76	69	1000.76	7.72	112	10.69	155	13.65	198
1.9	27	391.6	4.83	70	1015.27	7.79	113	10.76	156	13.72	199
1.9	28	406.1	4.90	71	1029.77	7.86	114	10.82	157	13.79	200
2.0	29	420.6	4.96	72		7.93	115	10.89	158	13.86	201
2.1	30	435.1	5.03	73		8.00	116	10.96	159	13.93	202
2.1	31	449.6	5.10	74		8.07	117	11.03	160	14.00	203
2.2	32	464.1	5.17	75		8.14	118	11.10	161	14.07	204
2.3	33	478.6	5.24	76		8.20	119	11.17	162	14.13	205
2.3	34	493.1	5.31	77		8.27	120	11.24	163	14.20	206
2.4	35	507.6	5.38	78		8.34	121	11.31	164	14.27	207
2.5	36	522.1	5.45	79		8.41	122	11.38	165	14.34	208
2.6	37	536.6	5.52	80		8.48	123	11.45	166	14.41	209
2.6	38	551.1	5.58	81		8.55	124	11.51	167	14.48	210
2.7	39	565.6	5.65	82		8.62	125	11.58	168	14.55	211
2.8	40	580.2	5.72	83		8.69	126	11.65	169	14.62	212
2.8	41	594.7	5.79	84		8.76	127	11.72	170	14.69	213

การอ่านตารางการเปลี่ยนหน่วย ตัวอย่าง เปลี่ยน 1.01325 bar (1atm) เป็น psi : **ดูที่ \*1** จะได้ 1.01325 bar = 14.696 psi

หรือ เปลี่ยน 14.696 psi (1atm) เป็น bar : **ดูที่ \*2** จะได้ 14.696 psi = 1.01325 bar



ตารางที่ ค. 4 ตารางการเปลี่ยนหน่วยความดัน (ต่อ)

bar	psi	bar	psi	bar	psi	bar	psi	bar	psi
14.75	214	17.72	257	20.68	300	23.65	343	26.61	386
14.82	215	17.79	258	20.75	301	23.72	344	26.68	387
14.89	216	17.86	259	20.82	302	23.79	345	26.75	388
14.96	217	17.93	260	20.89	303	23.86	346	26.82	389
15.03	218	18.00	261	20.96	304	23.92	347	26.89	390
15.10	219	18.06	262	21.03	305	23.99	348	26.96	391
15.17	220	18.13	263	21.10	306	24.06	349	27.03	392
15.24	221	18.20	264	21.17	307	24.13	350	27.10	393
15.31	222	18.27	265	21.24	308	24.20	351	27.17	394
15.38	223	18.34	266	21.30	309	24.27	352	27.23	395
15.44	224	18.41	267	21.37	310	24.34	353	27.30	396
15.51	225	18.48	268	21.44	311	24.41	354	27.37	397
15.58	226	18.55	269	21.51	312	24.48	355	27.44	398
15.65	227	18.62	270	21.58	313	24.55	356	27.51	399
15.72	228	18.68	271	21.65	314	24.61	357	27.58	400
15.79	229	18.75	272	21.72	315	24.68	358	27.65	401
15.86	230	18.82	273	21.79	316	24.75	359	27.72	402
15.93	231	18.89	274	21.86	317	24.82	360	27.79	403
16.00	232	18.96	275	21.93	318	24.89	361	27.85	404
16.06	233	19.03	276	21.99	319	24.96	362	27.92	405
16.13	234	19.10	277	22.06	320	25.03	363	27.99	406
16.20	235	19.17	278	22.13	321	25.10	364	28.06	407
16.27	236	19.24	279	22.20	322	25.17	365	28.13	408
16.34	237	19.31	280	22.27	323	25.23	366	28.20	409
16.41	238	19.37	281	22.34	324	25.30	367	28.27	410
16.48	239	19.44	282	22.41	325	25.37	368	28.34	411
16.55	240	19.51	283	22.48	326	25.44	369	28.41	412
16.62	241	19.58	284	22.55	327	25.51	370	28.48	413
16.69	242	19.65	285	22.61	328	25.58	371	28.54	414
16.75	243	19.72	286	22.68	329	25.65	372	28.61	415
16.82	244	19.79	287	22.75	330	25.72	373	28.68	416
16.89	245	19.86	288	22.82	331	25.79	374	28.75	417
16.96	246	19.93	289	22.89	332	25.86	375	28.82	418
17.03	247	19.99	290	22.96	333	25.92	376	28.89	419
17.10	248	20.06	291	23.03	334	25.99	377	28.96	420
17.17	249	20.13	292	23.10	335	26.06	378	29.03	421
17.24	250	20.20	293	23.17	336	26.13	379	29.10	422
17.31	251	20.27	294	23.24	337	26.20	380	29.16	423
17.37	252	20.34	295	23.30	338	26.27	381	29.23	424
17.44	253	20.41	296	23.37	339	26.34	382	29.30	425
17.51	254	20.48	297	23.44	340	26.41	383	29.37	426
17.58	255	20.55	298	23.51	341	26.48	384	29.44	427
17.65	256	20.62	299	23.58	342	26.54	385	29.51	428

$$\text{bar} = 14.5038 \times \text{psi}$$

$$\text{psi} = 0.068947 \times \text{bar}$$

ตารางการเปลี่ยนหน่วยความดัน : โดยสาขาเครื่องทำความเย็นและปรับอากาศ ราชภัฏ นครราชสีมา (ACR-RIT KORAT)

ตารางที่ ค. 4 ตารางการเปลี่ยนหน่วยความดัน (ต่อ)

kPa		psi	kPa		psi	kPa	psi	kPa	psi	kPa	psi
0.00	0	0.00	282.70	41	5.95	5.91	84	8.93	127	11.95	170
6.90	1	0.15	2.95	42	597.38	5.98	85	9.00	128	12.02	171
7.12	1.033	0.15	3.02	43	611.60	6.05	86	9.07	129	12.09	172
13.79	2	0.29	3.09	44	625.83	6.12	87	9.14	130	12.16	173
20.69	3	0.44	3.16	45	640.05	6.19	88	9.21	131	12.23	174
27.58	4	0.58	3.23	46	654.27	6.26	89	9.28	132	12.30	175
34.48	5	0.73	3.30	47	668.50	6.33	90	9.35	133	12.37	176
41.37	6	0.87	3.37	48	682.72	6.40	91	9.42	134	12.44	177
48.27	7	1.02	3.45	49	696.94	6.47	92	9.49	135	12.51	178
55.16	8	1.16	3.52	50	711.17	6.54	93	9.56	136	12.58	179
62.06	9	1.31	3.59	51	725.39	6.61	94	9.63	137	12.66	180
68.95	10	1.45	3.66	52	739.61	6.68	95	9.70	138	12.73	181
75.85	11	1.60	3.73	53	753.83	6.75	96	9.77	139	12.80	182
82.74	12	1.74	3.80	54	768.06	6.82	97	9.84	140	12.87	183
89.64	13	1.89	3.87	55	782.28	6.89	98	9.91	141	12.94	184
96.53	14	2.03	3.94	56	796.50	6.96	99	9.98	142	13.01	185
101.33	14.696	2.13	4.01	57	810.73	7.03	100	10.05	143	13.08	186
103.43	15	2.18	4.08	58	824.95	7.10	101	10.12	144	13.15	187
110.32	16	2.32	4.15	59	839.17	7.17	102	10.19	145	13.22	188
117.22	17	2.47	4.22	60	853.40	7.24	103	10.26	146	13.29	189
124.11	18	2.61	4.29	61	867.62	7.31	104	10.34	147	13.36	190
131.01	19	2.76	4.36	62	881.84	7.38	105	10.41	148	13.43	191
137.90	20	2.90	4.43	63	896.07	7.45	106	10.48	149	13.50	192
144.80	21	3.05	4.50	64	910.29	7.52	107	10.55	150	13.57	193
151.69	22	3.19	4.57	65	924.51	7.59	108	10.62	151	13.64	194
158.59	23	3.34	4.64	66	938.74	7.66	109	10.69	152	13.71	195
165.48	24	3.48	4.71	67	952.96	7.73	110	10.76	153	13.78	196
172.38	25	3.63	4.78	68	967.18	7.80	111	10.83	154	13.85	197
179.27	26	3.77	4.85	69	981.41	7.87	112	10.90	155	13.92	198
186.17	27	3.92	4.92	70	995.63	7.94	113	10.97	156	13.99	199
193.06	28	4.06	4.99	71		8.01	114	11.04	157	14.06	200
199.96	29	4.21	5.06	72		8.09	115	11.11	158	14.13	201
206.85	30	4.35	5.13	73		8.16	116	11.18	159	14.20	202
213.75	31	4.50	5.20	74		8.23	117	11.25	160	14.27	203
220.64	32	4.64	5.27	75		8.30	118	11.32	161	14.34	204
227.54	33	4.79	5.34	76		8.37	119	11.39	162	14.41	205
234.43	34	4.93	5.41	77		8.44	120	11.46	163	14.48	206
241.33	35	5.08	5.48	78		8.51	121	11.53	164	14.55	207
248.22	36	5.22	5.55	79		8.58	122	11.60	165	14.62	208
255.12	37	5.37	5.62	80		8.65	123	11.67	166	14.69	209
262.01	38	5.51	5.69	81		8.72	124	11.74	167	14.76	210
268.91	39	5.66	5.77	82		8.79	125	11.81	168	14.83	211
275.80	40	5.80	5.84	83		8.86	126	11.88	169	14.91	212

การอ่านตารางการเปลี่ยนหน่วย ตัวอย่าง เปลี่ยน 1.033 kg<sub>r</sub>/cm<sup>2</sup>(1atm) เป็น psi : **คูณ \*1** จะได้ 1.033 kg/cm<sup>2</sup>=14.696 psi

หรือ เปลี่ยน 14.696 psi (1atm) เป็น kg<sub>r</sub>/cm<sup>2</sup> : **คูณ \*2** จะได้ 14.696 psi = 1.033 kg<sub>r</sub>/cm<sup>2</sup>



ตารางที่ ค. 4 ตารางการเปลี่ยนหน่วยความดัน (ต่อ)

kPa	psi	kPa	psi	kPa	psi	kPa	psi	kPa	psi
14.98	213	18.00	256	21.02	299	24.04	342	27.07	385
15.05	214	18.07	257	21.09	300	24.12	343	27.14	386
15.12	215	18.14	258	21.16	301	24.19	344	27.21	387
15.19	216	18.21	259	21.23	302	24.26	345	27.28	388
15.26	217	18.28	260	21.30	303	24.33	346	27.35	389
15.33	218	18.35	261	21.37	304	24.40	347	27.42	390
15.40	219	18.42	262	21.44	305	24.47	348	27.49	391
15.47	220	18.49	263	21.51	306	24.54	349	27.56	392
15.54	221	18.56	264	21.58	307	24.61	350	27.63	393
15.61	222	18.63	265	21.65	308	24.68	351	27.70	394
15.68	223	18.70	266	21.72	309	24.75	352	27.77	395
15.75	224	18.77	267	21.80	310	24.82	353	27.84	396
15.82	225	18.84	268	21.87	311	24.89	354	27.91	397
15.89	226	18.91	269	21.94	312	24.96	355	27.98	398
15.96	227	18.98	270	22.01	313	25.03	356	28.05	399
16.03	228	19.05	271	22.08	314	25.10	357	28.12	400
16.10	229	19.12	272	22.15	315	25.17	358	28.19	401
16.17	230	19.19	273	22.22	316	25.24	359	28.26	402
16.24	231	19.26	274	22.29	317	25.31	360	28.33	403
16.31	232	19.33	275	22.36	318	25.38	361	28.40	404
16.38	233	19.40	276	22.43	319	25.45	362	28.47	405
16.45	234	19.48	277	22.50	320	25.52	363	28.54	406
16.52	235	19.55	278	22.57	321	25.59	364	28.61	407
16.59	236	19.62	279	22.64	322	25.66	365	28.69	408
16.66	237	19.69	280	22.71	323	25.73	366	28.76	409
16.73	238	19.76	281	22.78	324	25.80	367	28.83	410
16.80	239	19.83	282	22.85	325	25.87	368	28.90	411
16.87	240	19.90	283	22.92	326	25.94	369	28.97	412
16.94	241	19.97	284	22.99	327	26.01	370	29.04	413
17.01	242	20.04	285	23.06	328	26.08	371	29.11	414
17.08	243	20.11	286	23.13	329	26.15	372	29.18	415
17.15	244	20.18	287	23.20	330	26.22	373	29.25	416
17.23	245	20.25	288	23.27	331	26.29	374	29.32	417
17.30	246	20.32	289	23.34	332	26.37	375	29.39	418
17.37	247	20.39	290	23.41	333	26.44	376	29.46	419
17.44	248	20.46	291	23.48	334	26.51	377	29.53	420
17.51	249	20.53	292	23.55	335	26.58	378	29.60	421
17.58	250	20.60	293	23.62	336	26.65	379	29.67	422
17.65	251	20.67	294	23.69	337	26.72	380	29.74	423
17.72	252	20.74	295	23.76	338	26.79	381	29.81	424
17.79	253	20.81	296	23.83	339	26.86	382	29.88	425
17.86	254	20.88	297	23.90	340	26.93	383	29.95	426
17.93	255	20.95	298	23.97	341	27.00	384	30.02	427

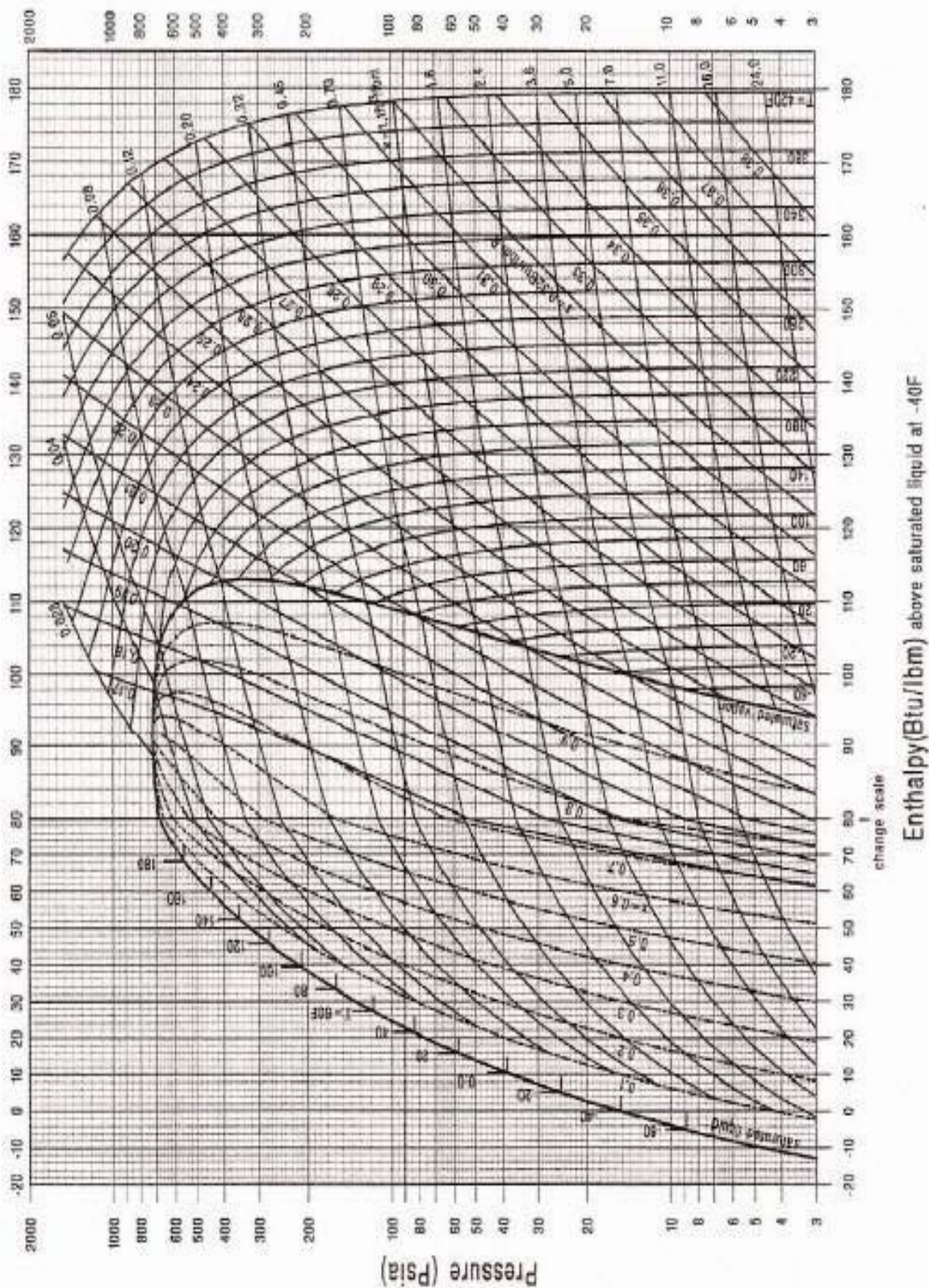
$$\text{kg}_f/\text{cm}^2 = 0.070307 \times \text{psi}$$

$$\text{psi} = 14.2233 \times \text{kg}_f/\text{cm}^2$$

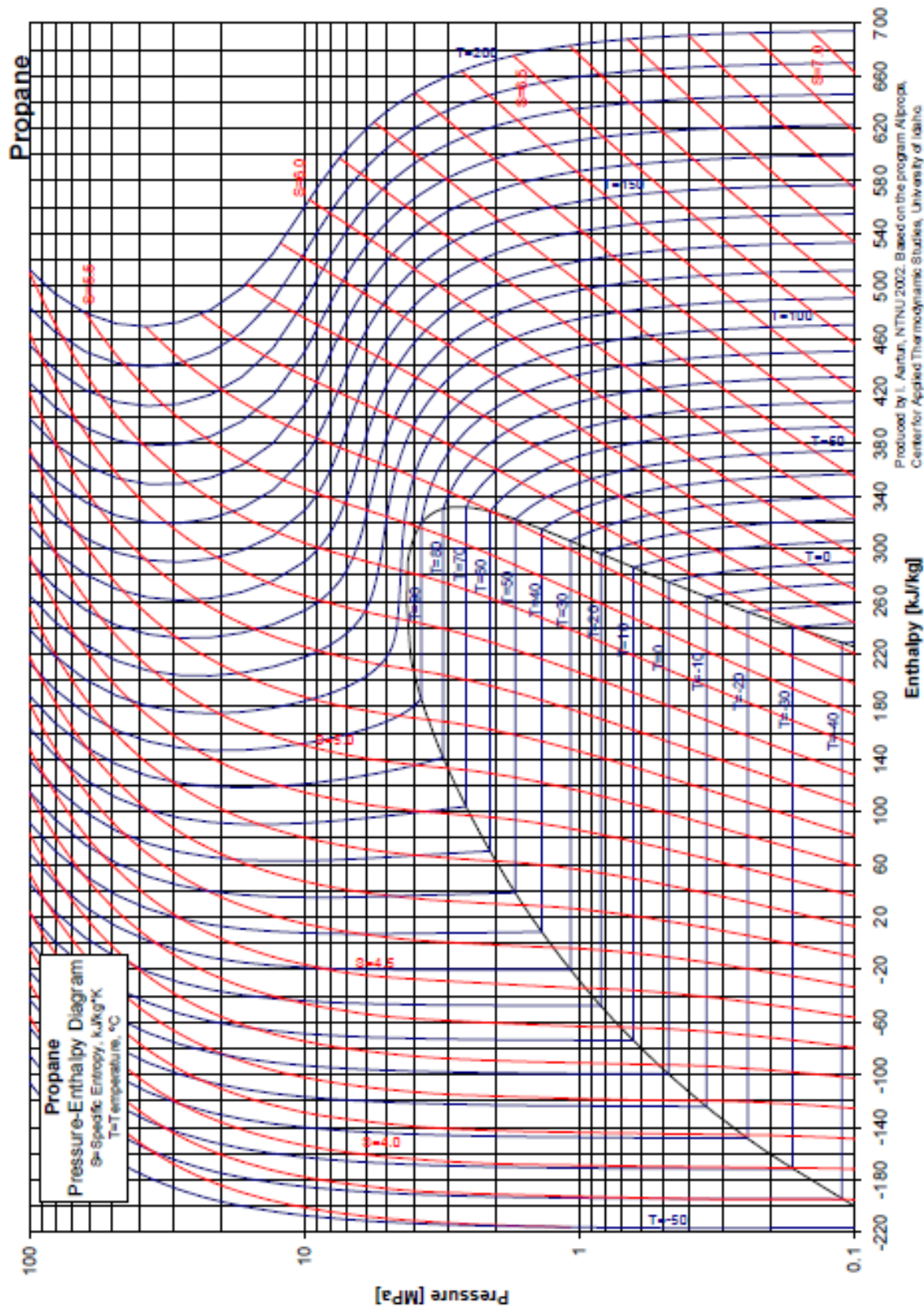
ตารางการเปลี่ยนหน่วยความดัน : โดยสาขาเครื่องทำความเย็นและปรับอากาศ ราชมนก นครราชสีมา (ACR-RIT KORAT)



Pressure-Enthalpy Diagram for R22



ภาพที่ ค.1 Pressure-Enthalpy Diagram ของสารทำความเย็น HCFC-22 (English Unites)



Produced by I. Aertur, NTNU 2002. Based on the program Alprop, Center for Applied Thermodynamic Studies, University of Idaho.

ภาพที่ ค.2 Pressure-Enthalpy Diagram ของสารทำความเย็นPROPANE (R-290) SI Unites

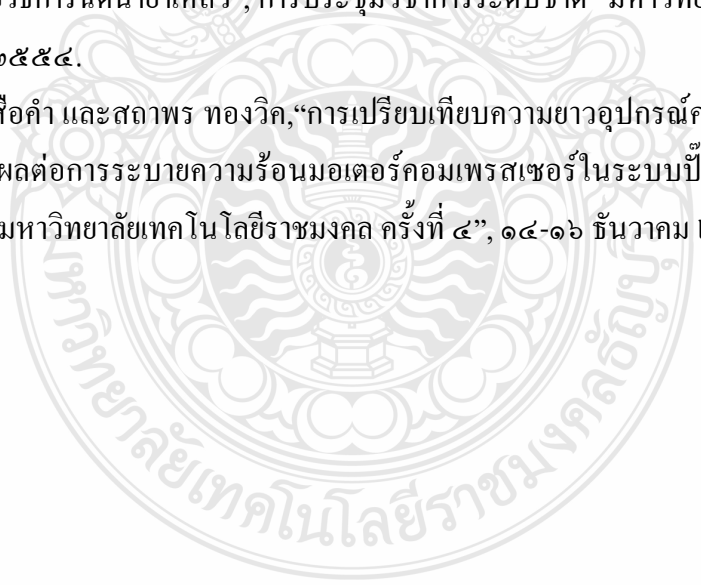


## ภาคผนวก ง

### งานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

ภาคภูมิ เสือคำ และสถาพร ทองวิก, “ผลการลดความร้อนของมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ในระบบปั๊มความร้อน โดยวิธีการฉีดน้ำยาเหลว”, การประชุมวิชาการระดับชาติ “มหาวิทยาลัยบูรพา ๒๕๕๔”, ๖-๗ กรกฎาคม ๒๕๕๔.

ภาคภูมิ เสือคำ และสถาพร ทองวิก, “การเปรียบเทียบความยาวอุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลชนิดท่อรูเข็มที่มีผลต่อการระบายความร้อนมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ในระบบปั๊มความร้อน”, การประชุมวิชาการ “มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ ๕”, ๑๔-๑๖ ธันวาคม ๒๕๕๔.







ศธ ๖๖๐๐/ ๑๙๒๗

มหาวิทยาลัยบูรพา  
ตำบลแสนสุข อำเภอเมือง  
จังหวัดชลบุรี ๒๐๑๓๑

๑๗ มิถุนายน ๒๕๕๔

**เรื่อง** แบบขอรับกรณำเสนอผลงานวิจัยและตีพิมพ์บทความวิจัย ในการประชุมวิชาการระดับชาติ  
“มหาวิทยาลัยบูรพา ๒๕๕๔”

**เรียน** นายภาคภูมิ เสือคำ

ตามที่ท่านได้ส่งบทความวิจัย เรื่อง ผลการลดความร้อนของมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ใน  
ระบบปั๊มความร้อนโดยวิธีการฉีดน้ำยาเหลว เพื่อนำเสนอผลงานวิจัยและตีพิมพ์บทความวิจัย  
ในการประชุมวิชาการระดับชาติ “มหาวิทยาลัยบูรพา ๒๕๕๔” ในวันที่ ๖-๗ กรกฎาคม พ.ศ. ๒๕๕๔  
ณ มหาวิทยาลัยบูรพา


บัดนี้คณะกรรมการดำเนินงานได้พิจารณาแล้วเห็นว่าบทความวิจัยของท่านมีคุณภาพ  
เหมาะสม ได้รับการนำเสนอในรูปแบบโปสเตอร์ และตีพิมพ์เผยแพร่ใน Proceedings การประชุมวิชาการ  
ระดับชาติ “มหาวิทยาลัยบูรพา ๒๕๕๔”

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมถวิล จิตควร)  
ผู้ช่วยอธิการบดีฝ่ายวิชาการ ปฏิบัติการแทน  
อธิการบดีมหาวิทยาลัยบูรพา

สำนักงานอธิการบดี กองบริการการศึกษา งานส่งเสริมการวิจัย  
โทรศัพท์ ๐๓๘-๑๐๒๕๖๒ โทรสาร ๐๓๘-๖๔๕๖๕๕  
<http://ejournal.buu.ac.th/>



รวมบทความย่อการประชุมวิชาการระดับชาติ  
**“มหาวิทยาลัยบูรพา ๒๕๕๔”**  
 Burapha University National Conference 2011  
 จัดโดย มหาวิทยาลัยบูรพา และ เครือข่ายอุดมศึกษา ภาคตะวันออก

วันที่ ๖-๗ กรกฎาคม พ.ศ. ๒๕๕๔  
 ณ อาคาร ๕๐ ปี มหาวิทยาลัยบูรพา  
 (ศาสตราจารย์ประยูร จินดาประดิษฐ์)  
 มหาวิทยาลัยบูรพา

## สารบัญ

หน้า

๓๓.	การพัฒนาเทคโนโลยีเครื่องตัดเหล็กมัลติฟังก์ชันโดยการจำลองไฟในคัลเลเมนต์ นายศิริชัย ต่อสกุล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.....	๑๖๖
๓๔.	การศึกษาและพัฒนากระบวนการขึ้นรูปชิ้นส่วนเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 โดยการ วิเคราะห์ไฟในคัลเลเมนต์ นายกิตติ สมัครไทย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.....	๑๖๗
๓๕.	ผลการลดความร้อนของมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ในระบบปั๊มความร้อน โดยวิธีการฉีดน้ำยาเหลว นายภาคภูมิ เสือคำ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.....	๑๖๘
๓๖.	วิเคราะห์หาสภาวะการฉ้อแห้งข้ามเปลือกด้วยฮีเตอร์อินฟราเรด นายพรศักดิ์ จิตรอำไพ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.....	๑๖๙
๓๗.	อุปกรณ์ TDR แบบมัลติเพล็กซ์ นายประวิทย์ บุญเอก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.....	๑๗๐
๓๘.	การสลับโหมดไมโครสำหรับระบบไวเมกเมื่อสายอากาศด้านส่งคงที่ นางสาวภัทราพร คำชาย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.....	๑๗๑
๓๙.	การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์เชิงโต้ตอบระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อหาพื้นที่ที่มีศักยภาพ ในการทำประปาหน้าบาคาลคัมได้ ด้วยระบบกรองน้ำแบบออสโมซิสย้อนกลับ ในเขต อำเภอเมืองนครราชสีมา นางสาวกฤษกร เข้มพิลา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา.....	๑๗๒
๔๐.	การหาค่ารัศมีที่เหมาะสมสำหรับการตรวจสอบความผิดปกติด้วยวิธี K-MEAN นายรังสิวุฒิ อุดม มหาวิทยาลัยบูรพา.....	๑๗๓
๔๑.	การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนด้วยชุดทดลองแบบ ๕ ชั้น เรื่อง การหักเหของแสงแก้วโบโรซิลิเกตที่นำกลับมาใช้ใหม่ นางสาวนิตยา หอมกลิ่น มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.....	๑๗๔
๔๒.	ผลของการใช้กิจกรรมแสนดี-ออนร่วมกับสื่อการเรียนรู้ที่ทำจากแก้วที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ ทางการเรียนเรื่อง สมบัติของแสง นางสาวอัจฉราวรรณ น้อยสงวน มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.....	๑๗๕
๔๓.	การพัฒนาหน่วยสอนเรื่องคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยใช้รูปแบบผสม นางสาวสมสกุล นึกชอบ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.....	๑๗๖



ผลการลดความร้อนของมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ในระบบปั๊มความร้อน  
โดยวิธีการฉีดน้ำยาเหลว

**REDUCING THE HEAT OF THE MOTOR COMPRESSOR IN THE HEAT  
PUMP BY INJECTION OF LIQUID SOLUTION**

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล และ สถาพร ทองวิก

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จ.ปทุมธานี

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้ทำการทดลองหาแนวทางการประหยัดพลังงานของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนที่ใช้วิธีการระบายความร้อนคอมเพรสเซอร์โดยการไม่ฉีดน้ำยาเหลวเปรียบเทียบกับวิธีการฉีดน้ำยาเหลวที่คอมเพรสเซอร์ โดยใช้สารทำความเย็น R-22 เป็นสารทำงาน ความเร็วลมและความเร็วพัดหมุนคงที่ตลอดการทดลอง จากการทดลองพบว่า  $SEC_{ave}$  อยู่ที่ 9.76 และ 8.71  $COP_{ave}$  อยู่ที่ 4.27 และ 9.66 และความชื้นลดลงเฉลี่ยอยู่ที่ 16.82 และ 16.70 วิธีการฉีดน้ำยาเหลวจะทำให้อุณหภูมิของคอมเพรสเซอร์ลดลงและส่งผลกระทบต่อความสิ้นเปลืองพลังงานเนื่องจากทำให้คอมเพรสเซอร์ใช้พลังงานไฟฟ้าลดลง ผลจากการวิจัยสามารถนำไปสร้างอุปกรณ์การฉีดน้ำยาเหลวเพื่อลดอุณหภูมิของคอมเพรสเซอร์ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานของคอมเพรสเซอร์

**คำสำคัญ:** เครื่องอบแห้ง, ระบบปั๊มความร้อน, คอมเพรสเซอร์, ประหยัดพลังงาน

**Abstract**

This research was to find ways for energy-efficient dryer that used heat pump cooling compressor with non-injection compared with injection of liquid compressor using refrigerant R-22 as working fluid. Wind speed and pan rotation speed were constant throughout the experiment. From the experimental results obtained,  $SEC_{ave}$  at 9.76 and 8.71  $COP_{ave}$  at 4.27 and 9.66. Moisture content decreased an average of 16.82 and 16.70. How to inject liquid solution will allow compressor temperature drop resulting in lower compressor power consumption due to reduced energy consumption. Results from this study can lead to injection solution equipment to reduce the temperature of the compressor, which will affect the energy efficiency of the compressor.

**Keywords:** dryer, heat pump system, compressor, energy saving



## บทนำ

ปั๊มความร้อน (Heat Pump) คือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อนจากแหล่งอุณหภูมิต่ำไปสู่อุณหภูมิสูงผ่านทางสารทำความเย็น โดยใช้อุปกรณ์เช่นเดียวกับเครื่องปรับอากาศ แต่ใช้ความร้อนที่ออกจากเครื่องเพื่อไปทำน้ำร้อนหรือลมร้อน ส่วนความเย็นที่ได้จะนำไปใช้ร่วมในการปรับอากาศหรือนำไปผสมกับอากาศเพื่อเข้าเครื่องทำความเย็นต่อไป อาจกล่าวได้ว่าปั๊มความร้อนทำงานโดยการถ่ายเทความร้อนจากอากาศทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นแล้วส่งไปถ่ายเทความร้อนให้อากาศ ณ ที่ต้องการ อุณหภูมิของความร้อนที่ได้ไม่สูงมาก ขึ้นอยู่กับชนิดของสารทำความเย็นที่ใช้ (R22, R134a, R407c) นอกจากทำน้ำร้อนแล้ว ปั๊มความร้อนยังใช้อุ่นอากาศร้อนที่ใช้ในการอบแห้งหรือทำให้อากาศในอาคารอุ่น[1][2]

เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนมีการทำงานตลอดเวลาในช่วงที่มีการอบแห้ง เมื่อใช้งานนาน ๆ จะเกิดความร้อนสะสมทำให้อุปกรณ์เกิดการเสียหาย ทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษา โดยทั่วไปเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนจะใช้ปั๊มความร้อนที่มีคอมเพรสเซอร์ 1 ตัว ในการทำงานของปั๊มความร้อนจึงมีอายุการใช้งานได้ไม่ยาวนาน ถ้าทำให้เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนมีวิธีการใช้งานที่เหมาะสม จะส่งผลดีต่อสมรรถนะของการอบแห้ง ความสิ้นเปลืองพลังงานการอบแห้ง และประสิทธิภาพการใช้พลังงานและช่วยยืดอายุการใช้งานให้ยาวนานขึ้น

จากความสำคัญของปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาวิธีการลดอุณหภูมิความร้อนของมอเตอร์ขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์ในระบบปั๊มความร้อน โดยใช้ระบบท่อฉีดน้ำยาเหลว (Injection capillary) มาช่วยในการระบายความร้อนของมอเตอร์ขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์เพื่อเป็นการลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์ขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์ในระบบปั๊มความร้อน

## วัตถุประสงค์การวิจัย

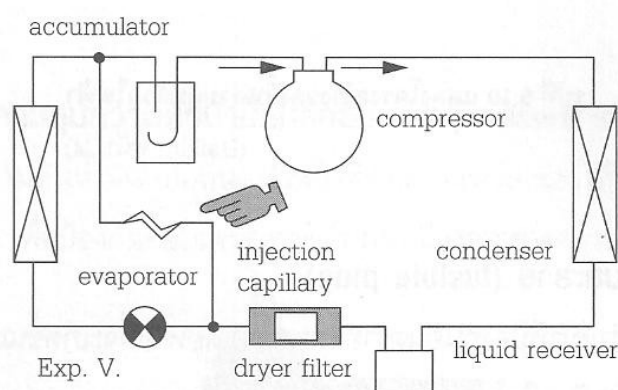
1. เพื่อศึกษาผลการระบายความร้อนของมอเตอร์ขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์โดยใช้ท่อฉีดน้ำยาเหลว
2. เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนโดยใช้ข้าวเปลือกเป็นตัวอย่างในการอบแห้ง

## อุปกรณ์การวิจัย

เครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนขนาด  $2 \times 2 \times 2 \text{ m}^3$  โดยถาดอบแห้งที่ใช้วางข้าวเปลือก มีขนาด  $1.25 \times 56 \text{ m}^2$  และสามารถบรรจุข้าวเปลือกได้ถาดละ  $5 \text{ kg}$  มีจำนวนถาดทั้งหมด 20 ถาด ชั้นวางถาดข้าวเปลือกหมุนด้วยความเร็วคงที่ ระบบปั๊มความร้อนขนาด  $12,000 \text{ Btu/hr}$  ใช้คอมเพรสเซอร์ 1 ตัว แรงดันไฟฟ้า  $220 - 240 \text{ Volt}$  ความถี่  $50 \text{ Hz}$  กำลังงาน  $1150 \text{ Watt @ } 50 \text{ Hz}$  ระบายความร้อนมอเตอร์ขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์โดยการไม่ฉีดน้ำยาเหลวเปรียบเทียบกับกรณีฉีดน้ำยาเหลว ท่อฉีดน้ำยาเหลวติดตั้งอยู่ระหว่างคอยล์และท่อด้านดูด ทำหน้าที่ฉีดน้ำยาเหลวเข้าไประบายความร้อนในมอเตอร์ขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์[3]



ภาพที่ 1 เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนระบบปิด



ภาพที่ 2 แสดงการติดตั้งท่อฉีดน้ำยาเหลวระบายความร้อนคอมเพรสเซอร์ [3]

## วิธีการวิจัย

ทำการเติมสารทำความเย็น R-22 ในเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน เตรียมข้าวเปลือกที่มีความชื้น 18-25 เปอร์เซ็นต์ (%db) จำนวน 100 กิโลกรัม นำข้าวเปลือกที่เตรียมไว้บรรจุลงถาด 5 kg เกลี่ยให้ความสูงของข้าวเปลือกสม่ำเสมอแล้วเปิดเครื่องอบแห้งแล้วนำข้าวเปลือกที่บรรจุลงถาดไต่ลงไปในเครื่องอบจับเวลาในการทดลองอบแห้งข้าวเปลือกเป็นเวลา 10 ชั่วโมงบันทึกค่าอุณหภูมิและความดันที่เปลี่ยนแปลงที่จุดต่างๆและมวลของข้าวเปลือกที่ลดลงทุกๆ 1 ชั่วโมงพร้อมกับบันทึกความสิ้นเปลืองพลังงานจากมาตรวัดกิโลวัตต์ฮาร์ลมิเตอร์



ภาพที่ 3 เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้า



ภาพที่ 4 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล



ภาพที่ 5 มาตรวัดกำลังไฟฟ้ากิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์



ภาพที่ 6 เครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้าแบบดิจิทัล

### การประเมินสมรรถนะเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน

ทำการประเมินสมรรถนะของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนในด้านประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

2. ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้ง (Energy effectiveness)

ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน แสดงได้ด้วยความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption, SEC) ดังต่อไปนี้

$$SEC = \frac{\text{ปริมาณพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง}}{\text{ปริมาณน้ำที่ระเหยจากวัสดุอบแห้ง}} \quad (1)$$

### 3. สมรรถนะของระบบปั๊มความร้อน

สมรรถนะของปั๊มความร้อนแสดงได้ด้วยค่า Coefficient of performance (COP) และ ค่า Energy efficiency ratio of drying system (EER) ดังต่อไปนี้

$$\text{COP} = \frac{\text{ความสามารถในการระบายความร้อนของเครื่องควบแน่น}}{\text{กำลังงานที่ให้กับเครื่องอัด}} \quad (2)$$

$$\text{EER} = \frac{\text{ความสามารถในการระบายความร้อนของเครื่องควบแน่น}}{\text{กำลังงานที่ให้กับระบบเครื่องอบแห้ง}} \quad (3)$$

กำลังงานที่ให้กับเครื่องอัดไอ คือ กำลังงานที่เครื่องอัดไอได้รับ เมื่อหักค่ากำลังงานสูญเสียเนื่องจากประสิทธิภาพของมอเตอร์และแรงเสียดทานที่เครื่องอัดไอ มีค่าประมาณ 80% ของกำลังงานทั้งหมดที่ให้กับเครื่องอัดไอ [4]

### ผลการวิจัย

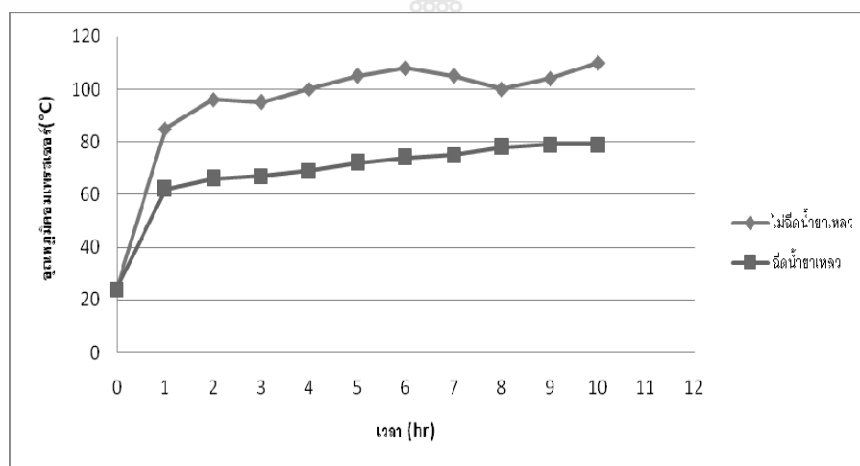
ตารางที่ 1 แสดงผลการเปรียบเทียบการทดลองวิธีการระบายความร้อนของมอเตอร์ขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์โดยการไม่ฉีดน้ำยาเหลวและการฉีดน้ำยาเหลว

รายการ	วิธีการระบายความร้อนมอเตอร์ขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์	
	ไม่ฉีดน้ำยาเหลว	ฉีดน้ำยาเหลว
ความชื้นเริ่มต้น (% db)	18	18
ความชื้นสุดท้ายเฉลี่ย (% db)	16.82	16.70
กำลังงานเฉลี่ยที่ป้อนให้แก่เครื่องอัดไอ (kW-hr)	1.20	1.10
กระแสไฟฟ้าเฉลี่ย (A)	4.89	4.37
ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะระบบปั๊มความร้อนเฉลี่ย (COP)	4.27	9.66
ค่าประสิทธิภาพของระบบปั๊มความร้อนเฉลี่ย (EER)	6.95	7.00

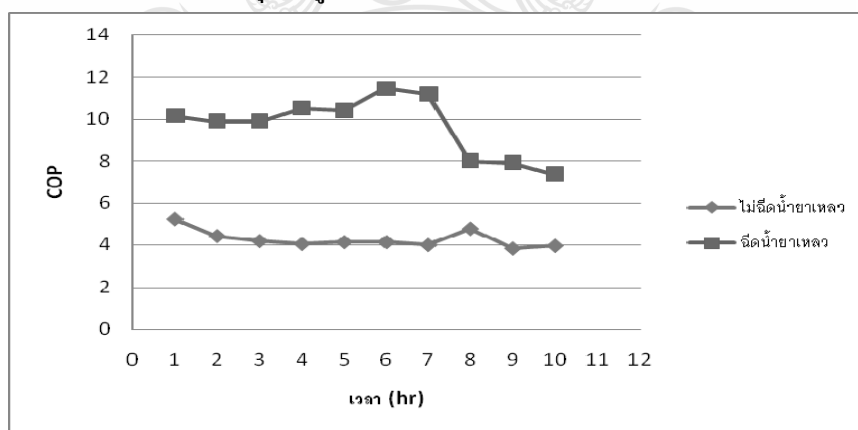
ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเฉลี่ย(SEC)	9.76	8.71
อุณหภูมิที่คอมเพรสเซอร์เฉลี่ย (°C)	101	72.1

## การประเมินสมรรถนะเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน

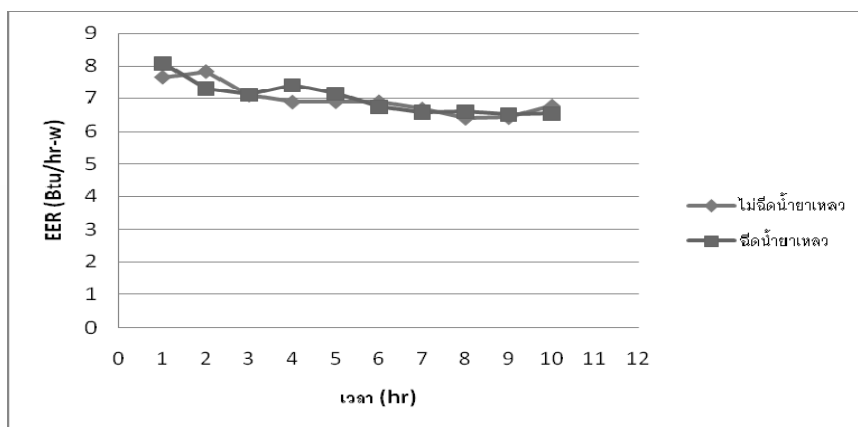
### 1. สมรรถนะของระบบปั๊มความร้อน



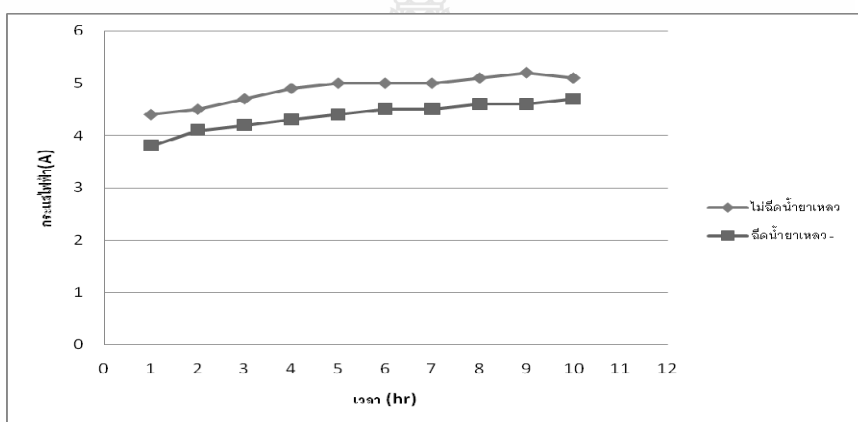
ภาพที่ 7 เปรียบเทียบอุณหภูมิคอมเพรสเซอร์กับเวลาในการอบแห้ง



ภาพที่ 8 เปรียบเทียบสมรรถนะระบบปั๊มความร้อนของเครื่องอบแห้ง

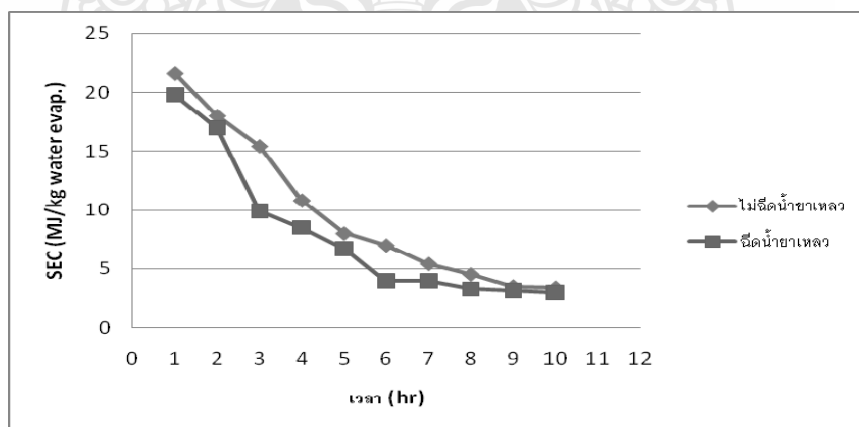


ภาพที่ 9 เปรียบเทียบประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน



ภาพที่ 10 เปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ในระบบปั๊มความร้อน

## 2. ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้ง



ภาพที่ 11 เปรียบเทียบความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งข้าวเปลือก



## อภิปรายผล

ผลการทดลองหาสมรรถนะของระบบปั๊มความร้อน พบว่าวิธีการระบายความร้อนของมอเตอร์ขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์โดยวิธีการฉีดน้ำยาเหลว ทำให้อุณหภูมิของมอเตอร์ขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์ลดลงดังแสดงในภาพที่ 7 ภาพที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบสมรรถนะระบบปั๊มความร้อนของเครื่องอบแห้งพบว่าวิธีการระบายความร้อนโดยการฉีดน้ำยาเหลวให้สมรรถนะของระบบปั๊มความร้อนดีกว่าวิธีการไม่ฉีดน้ำยาเหลว ภาพที่ 9 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนพบว่าทั้งสองแบบมีค่าใกล้เคียงกัน ภาพที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์พบว่าวิธีการระบายความร้อนโดยการฉีดน้ำยาเหลวใช้กระแสไฟฟ้าน้อยกว่าวิธีการไม่ฉีดน้ำยาเหลว

ผลการทดลองหาประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้ง เมื่อเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของข้าวเปลือกพบว่า การระบายความร้อนของมอเตอร์ขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์โดยวิธีการฉีดน้ำยาเหลว มีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งดีกว่าวิธีการไม่ฉีดน้ำยาเหลว แสดงดังในภาพที่ 11

## สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน โดยระบายความร้อนของมอเตอร์ขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์ด้วยวิธีการไม่ฉีดน้ำยาเหลวเปรียบเทียบกับการระบายความร้อนด้วยวิธีการฉีดน้ำยาเหลว พบว่าวิธีการฉีดน้ำยาเหลวอุณหภูมิของคอมเพรสเซอร์มีค่าเฉลี่ยคือ  $72.1^{\circ}\text{C}$  กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยคือ 4.37 และวิธีการไม่ฉีดน้ำยาเหลวอุณหภูมิคอมเพรสเซอร์มีค่าเฉลี่ยคือ  $101^{\circ}\text{C}$  กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยคือ 4.89 ซึ่งวิธีการฉีดน้ำยาเหลวอุณหภูมิคอมเพรสเซอร์ต่ำกว่าวิธีการไม่ฉีดน้ำยาเหลว ซึ่งจะส่งผลทำให้คอมเพรสเซอร์ใช้กระแสไฟฟ้าลดลง และประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้า

## ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาวิธีการระบายความร้อนของมอเตอร์ขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์ด้วยวิธีอื่นที่มีผลทำให้อุณหภูมิคอมเพรสเซอร์ลดต่ำลง เพื่อศึกษาปัจจัยของอุณหภูมิที่ลดลงต่อการประหยัดพลังงาน
2. ควรมีการศึกษาขนาดความยาวของท่อแคปทิวที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสถานะของสารทำความเย็น เพื่อศึกษาปัจจัยของขนาดความยาวท่อแคปทิวต่ออุณหภูมิที่ลดลงของคอมเพรสเซอร์

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัย

## บรรณานุกรม

- [1] วัฏจักรการทำงานของปั๊มความร้อน. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก [www.warrantech.co.th](http://www.warrantech.co.th)
- [2] นายธรรมรักษ์ อุปโยคิน, นายวุฒิพงษ์ ชัยชนะพูนผล, นายสันต์ สลัดขะนันท์. (2542). เครื่องอบแห้งโดยใช้ปั๊มความร้อน. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [3] ชูชัย ต.ศิริวัฒนา. (2549). การทำความเย็นและการปรับอากาศ (พิมพ์ครั้งที่ 10). สถานที่พิมพ์: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย ญี่ปุ่น. กรุงเทพฯ,
- [4] สุนีย์พร พรหมดวง. (2546). การอบแห้งตะไคร้ด้วยปั๊มความร้อน. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน, คณะพลังงานและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [5] นครินทร์ กันติเกตุ, วีระ ฟ้าเฟื่องวิทยากุล, วิบูลย์ ช่างเรือ, และพฤกษ์ สกุดช่างสังจะทัย. (2551). ระบบอบแห้งและห้องเย็นสำหรับสมุนไพรไทยด้วยเทคนิคปั๊มความร้อน. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, ปีที่ 39 ฉบับที่ 3
- [6] นพรัตน์ อมัตริรัตน์, สถาพร ทองวิค (2554). การประหยัดพลังงานของเครื่องอบแห้งโดยการควบคุมการทำงานคอมเพรสเซอร์ของระบบปั๊มความร้อน. การประชุมเครือข่ายวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 12 ประจำปี 2554, 31 มีนาคม – 1 เมษายน 2554, จ. ชลบุรี.
- [7] Daye C. Mc Quiston, Jerald D. Parker. (1994). John Wiley & Sun, Inc. (4<sup>th</sup> ed.). United States of America:

ที่ ศธ ๐๕๘๐.๓๐๓(๓)/ ๒๐๒๖



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก  
เลขที่ ๔๓ หมู่ ๖ ตำบลบางพระ  
อำเภอสัตร์ราชา จังหวัดชลบุรี ๒๐๑๓๐

๒๒ พฤศจิกายน ๒๕๕๔

เรื่อง ตอบการเข้าร่วมประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ ๔

เรียน คุณภาคภูมิ เสือคำ และ คุณสถาพร ทองวิค

สิ่งที่ส่งมาด้วย ๑. แผนที่โรงแรม

๒. แบบสำรวจห้องพัก

ตามที่ท่านได้ส่งบทความวิจัยเรื่อง *การศึกษาเปรียบเทียบความยาวอุปกรณ์ควบคุมอัตราไหลชนิดท่อรูเข็มที่มีผลต่อการระบายความร้อนมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ในระบบปรับอากาศ* เพื่อนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ แบบภาคบรรยาย ในการประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ ๔ และ การประชุมวิชาการนานาชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ ๓ ระหว่างวันที่ ๓๔ - ๓๖ ธันวาคม ๒๕๕๔ ณ โรงแรมชลจันทร์ พัทยา รีสอร์ท จังหวัดชลบุรีนั้น

ในการนี้ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ขอตอบรับการนำเสนอบทความวิจัยดังกล่าวของท่านซึ่งผ่านการพิจารณาจากคณะกรรมการเป็นที่เรียบร้อยแล้ว จึงขอให้ท่านดำเนินการดังต่อไปนี้

๑. ยืนยันการสำรองห้องพัก (ตามสิ่งที่ส่งมาด้วย ๒.)

๒. ชำระค่าลงทะเบียนและส่งหลักฐานการลงทะเบียนพร้อมรับรองสำเนาถูกต้องมาที่สถาบันวิจัยและพัฒนา

ทั้งนี้ ผู้เข้าร่วมประชุมสามารถเบิกค่าใช้จ่ายในการเดินทางมาร่วมประชุมจากหน่วยงานต้นสังกัดได้ตามระเบียบกระทรวงการคลังที่ กค ๐๔๐๔.๖/ว ๑๒๒ ลงวันที่ ๒๗ ธันวาคม ๒๕๕๕ และตามระเบียบอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง และขอให้ท่านจัดส่งเอกสารดังกล่าวมายัง สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ทาง E-mail: rmutcon2011@rmutto.ac.th, rmutic2011@rmutto.ac.th หรือ ird2rmutto@gmail.com โทรสาร ๐-๓๘๓๕-๘๑๔๒ ภายในวันที่ ๑๐ ธันวาคม ๒๕๕๔

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(ศาสตราจารย์ ดร. สัน พันธุ์พินิจ)

อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

สถาบันวิจัยและพัฒนา

โทร. ๐ ๓๘๓๕ ๘๒๐๑ ต่อ ๘๕๐๘ - ๘๕๑๐

โทรสาร ๐ ๓๘๓๕ ๘๑๔๒

<http://ird.rmutto.ac.th>



**การประชุมวิชาการ**  
**มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 4**  
**ณ โรงแรมชลจันทร์ พัทยา รีสอร์ท จ.ชลบุรี**  
**14-16 ธันวาคม 2554**

**ภาคบรรยายและโปสเตอร์**

- อาหารและเกษตร
- วิศวกรรมและอุตสาหกรรม
- ธุรกิจและการจัดการ

จัดโดย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

[www.rmutto.ac.th](http://www.rmutto.ac.th)

## สารบัญ

	หน้า
กำหนดการเสนอผลงานวิจัย .....	ก
<b>ภาคบรรยาย</b>	
<b>วันที่ 14 ธันวาคม 2554 (ห้องประชุมริมทะเล)</b>	
<b>กลุ่มวิศวกรรมและอุตสาหกรรม</b>	
ผู้เก็บกุญแจอัจฉริยะ โดยใช้ RFID ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต.....	1
โดย คุณทองทวี จิตพรมา	
รูปแบบการเรียนรู้แบบร่วมมือบนเว็บที่ส่งเสริมทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณของนักศึกษาวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน.....	7
โดย คุณสายันต์ โพธิ์เกตุ	
การรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์ไทยบนพื้นฐานการประมวลผลภาพ โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กลับ.....	18
โดย คุณปิยะฉัตร ท้วมโชติ และ คุณกิตติ ทูลธรรม	
การรู้จำและระบุขนาดไข่ไก่บนพื้นฐานการประมวลผลภาพโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กลับ.....	27
โดย คุณภูมิ คูเมือง และ คุณจาวรรณ ทูลธรรม	
การบริหารความปลอดภัยและหลักการลดการใช้พลังงานในมหาวิทยาลัย.....	36
โดย คุณจิรัฏฐ์ เหมือนวิหาร	
การอนุรักษ์น้ำประปาภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ.....	50
โดย คุณชณัญ แสงอินทร์	
การประยุกต์ใช้เทคนิคเชิงพันธุกรรมในการจัดการการผลิตของเครื่องจักรขนานเพื่อให้ค่าใช้จ่ายจากการส่งมอบงานล่าช้ามีค่าที่ต่ำที่สุด.....	62
โดย คุณปริญญา กวีกิจบัณฑิต คุณปิยะวรรณ สุนาสวน และคุณอรจิตร แจ่มแสง	
การประเมินสัมประสิทธิ์ความเสียหายของผิวฟิล์มเคลือบด้วย Ring compression test.....	69
โดย คุณคมกริช ณะวรรณวงษ์	
การศึกษากรรมวิธีการอัดผงโลหะวิทยาสำหรับอิเล็กทรอนิกส์.....	76
โดย คุณพิชัย จันทรมณี คุณกมลพงศ์ แจ่มกมล คุณคณธรรม เอฬกานนท์	
และ คุณรัตติกรณ์ เสาร์แคน	
การพัฒนาเครื่องย่อยเศษกิ่งไม้และใบไม้ขนาดเล็ก.....	83
โดย คุณพิชัย จันทรมณี และคุณกมลพงศ์ แจ่มกมล	
การศึกษาเปรียบเทียบความยาวอุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหล ชนิดท่อรูเข็มที่มีผลต่อการระบายความร้อนมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ในระบบปั๊มความร้อน.....	91
โดย คุณภาควิชา เสือคำ และ คุณสถาพร ทองวิค	



การศึกษาเปรียบเทียบความยาวอุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลชนิดท่อรูเข็มที่มีผลต่อการ  
ระบายความร้อนมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ในระบบปั๊มความร้อน  
Study Comparing the Length of Capillary Tube that Effect Motor Compressor in the  
Heat Pump

สถาพร ทองวิค<sup>1</sup> และ ภาคภูมิ เสือคำ<sup>2\*</sup>

Sathaporn Thongwitk and Pakpoom Suakham

<sup>1</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

<sup>2</sup>นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

โทรศัพท์: 0-2549-3430 โทรสาร: 0-2549-3432 E-mail: [tiger5167@hotmail.com](mailto:tiger5167@hotmail.com)

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความยาวของอุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลชนิดท่อรูเข็ม(capillary tube) ที่มีผลต่อการระบายความร้อนของมอเตอร์ขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์ในระบบปั๊มความร้อน โดยการฉีดสารทำความเย็นเหลวเข้าระบายความร้อนที่มอเตอร์คอมเพรสเซอร์ ใช้สารทำความเย็น COLDD22 เป็นสารทำงาน อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลชนิดท่อรูเข็มที่ใช้ทดลองมีขนาดความยาว 30 cm, 60 cm และ 90 cm ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่าอุณหภูมิที่คอมเพรสเซอร์เท่ากับ 60.2 °C, 65.5 °C และ 62.7 °C อุณหภูมิภายในตู้อบแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 40.63 °C, 44.71 °C และ 43.06 °C กำลังงานที่ป้อนให้แก่เครื่องอัดเฉลี่ยเท่ากับ 4.39 A, 4.54 A และ 4.46 A ดังนั้นใช้อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลชนิดท่อรูเข็มขนาดความยาว 30 cm อุณหภูมิของคอมเพรสเซอร์และกำลังที่ป้อนให้แก่เครื่องอัดมีค่าต่ำกว่าขนาดความยาว 60 cm และ 90 cm ซึ่งจะส่งผลต่อการประหยัดพลังงานของคอมเพรสเซอร์และอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น

**คำสำคัญ** ระบบปั๊มความร้อน,คอมเพรสเซอร์,ประหยัดพลังงาน

### Abstract

This research aims to study the length of the flow control device, a needle tube (capillary tube) that affects the cooling of the motor driving the compressor in the heat pump. By injecting liquid refrigerant entering the motor compressor cooling. The refrigerant COLDD22 substances to control the flow rate of tubular needle used was a length of 30 cm, 60 cm and 90 cm respectively, the study found that the temperature of the compressor is equal to 60.2 °C, 65.5 °C and 62.7 °C average temperature inside the oven dry is equal 40.63 °C, 44.71 °C and 43.06 °C power input to the compressor average 4.39 A, 4.54 A and 4.46 A, so the control flow of the needle tube. Needle size length 30 cm and the temperature of the compressor power input to the compressor is lower than 60 cm and 90 cm length, which will affect the energy efficiency of the compressor and a longer lifespan.

**Keywords:** heat pump system, compressor, energy saving

\*ผู้นิพนธ์ประสานงาน: [tiger5167@hotmail.com](mailto:tiger5167@hotmail.com) โทร. 081-8299587

## 1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการประกอบอาชีพทางเกษตรกรรมเป็นหลัก มีพืชผลทางการเกษตรหลายชนิดที่ทำรายได้ให้แก่ประเทศ เช่น ข้าว ข้าวโพด ถั่วเหลือง และผลไม้ต่างๆ เป็นต้น ดังนั้นจึงต้องมีวิธีการเก็บรักษา และการแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับผลผลิตทางการเกษตรดังกล่าว วิธีการหนึ่งที่ได้รับคามนิยมนั้นอย่างกว้างขวาง คือ การอบแห้ง ซึ่งปัจจุบันเทคโนโลยีการอบแห้งมีวิวัฒนาการที่ตอบสนองต่อความต้องการของภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมอยู่หลายวิธี เช่น การอบแห้งโดยใช้แสงอาทิตย์ การอบแห้งแบบอุโมงค์ การอบแห้งแบบฟลูอิดซ์เบด และการอบแห้งแบบปั๊มความร้อน เป็นต้น โดยการอบแห้งแต่ละแบบมีความเหมาะสมกับการแปรรูปและพืชผลทางการเกษตรบางชนิดเท่านั้น การอบแห้งแบบปั๊มความร้อนเป็นวิธีหนึ่งที่มีความนิยม เนื่องจากมีประสิทธิภาพค่อนข้างดีใช้อุณหภูมิในการอบแห้งไม่สูงมากทำให้ช่วยรักษากลิ่นและสีของผลิตภัณฑ์ไว้ได้ และอากาศที่อบแห้งมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำทำให้น้ำระเหยได้ง่าย(กิตติศักดิ์,2545)

ปัจจุบันเครื่องอบแห้งเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย และได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีเครื่องอบแห้งมาใช้กัน เช่น เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งพลังงานเชื้อเพลิง เช่น ก๊าซ น้ำมัน ไฟฟ้า หรือเศษวัสดุทางการเกษตร เป็นต้น เนื่องจากการอบแห้งเป็นกรรมวิธีการลดความชื้นของวัสดุที่ใช้พลังงานสูง ดังนั้นการใช้เครื่องอบแห้งที่มีประสิทธิภาพสูงจะช่วยลดต้นทุนด้านการใช้พลังงานได้ เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนจัดว่าเป็นเครื่องอบแห้งที่มีประสิทธิภาพ เพราะสามารถนำความร้อนที่ทิ้งจากระบบอบแห้ง

กลับมาใช้งานได้ทั้งหมด และยังไม่ส่งผลให้อุณหภูมิของสภาวะแวดล้อมสูงขึ้นอีกด้วย(อานนท์, 2552)

เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนมีการทำงานตลอดเวลาในช่วงที่มีการอบแห้ง เมื่อใช้งานนาน ๆ จะเกิดความร้อนสะสมทำให้อุปกรณ์เกิดการเสียหาย ทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษา โดยทั่วไปเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนจะใช้ปั๊มความร้อนที่มีคอมเพรสเซอร์ 1 ตัว ในการทำงานของปั๊มความร้อนจึงมีอายุการใช้งานได้ไม่ยาวนาน ถ้าทำให้เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนมีวิธีการใช้งานที่เหมาะสม จะส่งผลดีต่อสมรรถนะของการอบแห้ง ความสิ้นเปลืองพลังงานการอบแห้ง และประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และช่วยยืดอายุการใช้งานให้ยาวนานขึ้น

จากความสำคัญของปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาวิธีการลดอุณหภูมิความร้อนของมอเตอร์ขับเคลื่อนปั๊มความร้อนในระบบปั๊มความร้อน โดยใช้ระบบท่อฉีดน้ำยาเหลว (Injection capillary) และความยาวของอุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลชนิดท่อรูเข็ม (Capillary tube) มาช่วยในการระบายความร้อนของมอเตอร์ขับเคลื่อนปั๊มความร้อนเพื่อเป็นการลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์ขับเคลื่อนปั๊มความร้อน

## 2. อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

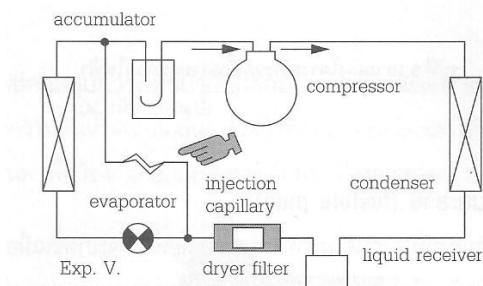
### 2.1 อุปกรณ์การวิจัย

เครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนขนาด  $2 \times 2 \times 2 \text{ m}^3$  โดยถาดอบแห้งที่ใช้วางข้าวเปลือกมีขนาด  $1.25 \times 56 \text{ m}^2$  และสามารถบรรจุข้าวเปลือกได้ถาดละ  $5 \text{ kg}$  มีจำนวนถาดทั้งหมด 20 ถาด ชั้นวางถาดข้าวเปลือกหมุนด้วยความเร็วคงที่ ระบบปั๊มความร้อนขนาด  $12,000 \text{ Btu/hr}$  ใช้คอมเพรสเซอร์ 1 ตัว แรงดันไฟฟ้า  $220 - 240 \text{ Volt}$  ความถี่  $50 \text{ Hz}$  กำลังงาน  $1150 \text{ Watt @ } 50 \text{ Hz}$

ระบายความร้อนมอเตอร์ขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์โดยการฉีดน้ำยาเหลว อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลชนิดท่อรูเข็มติดตั้งอยู่ระหว่างทรายเออร์และท่อด้านดูด ทำหน้าที่ฉีดน้ำยาเหลวเข้าไประบายความร้อนในมอเตอร์ขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์(ชูชัย,2549)



รูปที่ 1 เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนระบบปิด



รูปที่ 2 แสดงการติดตั้งท่อฉีดน้ำยาเหลวระบายความร้อนคอมเพรสเซอร์ (ชูชัย,2549)

2.2 วิธีการวิจัย

ทำการเติมสารทำความเย็น R22 ในเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน เตรียมข้าวเปลือกที่มีความชื้น 18-25 เปอร์เซ็นต์ (%db) จำนวน 100 กิโลกรัม นำข้าวเปลือกที่เตรียมไว้บรรจุลงถาดละ 5 kg เกือบให้ความสูงของข้าวเปลือกสม่ำเสมอขึ้นเปิดเครื่องอบแห้งแล้วนำข้าวเปลือกที่บรรจุลงถาดใส่ลงไป

เครื่องอบ ใช้อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลชนิดท่อรูเข็มขนาดความยาว 30 cm, 60 cm และ 90 cm เริ่มทำการทดลอง โดยจับเวลาในการทดลองอบแห้ง ข้าวเปลือกเป็นเวลา 10 ชั่วโมงโดยทำการทดลองซ้ำกัน 3 ครั้ง ในแต่ละครั้งบันทึกค่าอุณหภูมิและความดันที่เปลี่ยนแปลงที่จุดต่างๆและมวลของข้าวเปลือกที่ลดลงทุกๆ 1 ชั่วโมงพร้อมกับบันทึกความสิ้นเปลืองพลังงานจากมาตรวัดกิโลวัตต์ชั่วโมง

2.3 การประเมินสมรรถนะเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน

สมรรถนะของปั๊มความร้อนแสดงได้ด้วยค่า Coefficient of performance (COP) และ ค่า Energy efficiency ratio of drying system (EER) ดังต่อไปนี้

$$COP = \frac{\text{ความสามารถในการระบายความร้อนของเครื่องควบแน่น}}{\text{กำลังงานที่ให้กับเครื่องอัด}} \quad (1)$$

$$EER = \frac{\text{ความสามารถในการระบายความร้อนของเครื่องควบแน่น}}{\text{กำลังงานที่ให้กับระบบเครื่องอบแห้ง}} \quad (2)$$

กำลังงานที่ให้กับเครื่องอัดไอ คือ กำลังงานที่เครื่องอัดไอได้รับ เมื่อหักค่ากำลังงานสูญเสียเนื่องจากประสิทธิภาพของมอเตอร์และแรงเสียดทานที่เครื่องอัดไอ มีค่าประมาณ 80% ของกำลังงานทั้งหมดที่ให้กับเครื่องอัดไอ (สุนีย์พร พรหมดวง,2546)

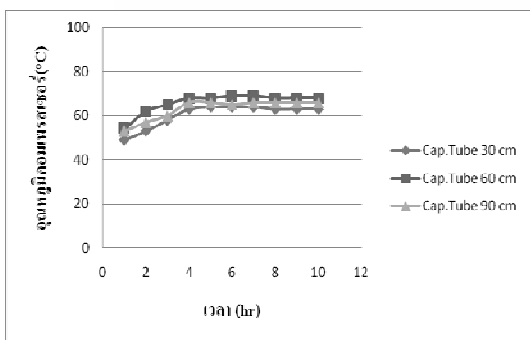
3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

การทดลองความยาวอุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลชนิดท่อรูเข็ม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลต่อการระบายความร้อนของมอเตอร์ขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์ในระบบปั๊มความร้อน ในการทดลองได้ทำการควบคุมอุณหภูมิให้มีความเร็วคงที่ ข้าวเปลือกที่นำมาทดสอบมีความชื้นเริ่มต้นที่ 18 %db และทำการปรับเปลี่ยนความยาวของอุปกรณ์ควบคุมการไหลชนิดท่อรูเข็มที่ 30 cm, 60 cm และ 90 cm ตามลำดับ และนำผลทดลองมาประเมินค่าการเปลี่ยนแปลงของ

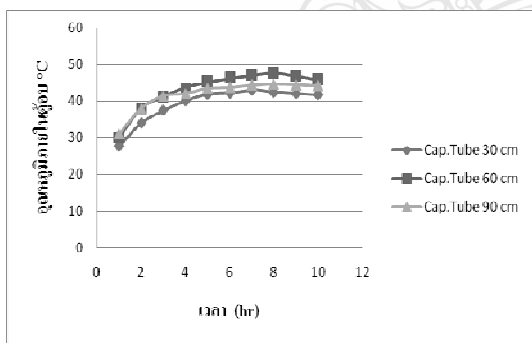


อุณหภูมิที่คอมเพรสเซอร์ อุณหภูมิภายในตู้อบ กระแสไฟฟ้าที่คอมเพรสเซอร์ สัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) และค่าประสิทธิภาพของระบบปั๊มความร้อน (EER) โดยมีผลการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

### 3.1 การเปรียบเทียบอุณหภูมิที่คอมเพรสเซอร์ และอุณหภูมิภายในตู้อบ



รูปที่ 3 แสดงอุณหภูมิคอมเพรสเซอร์กับเวลาในการอบแห้งที่ความยาวต่างกัน

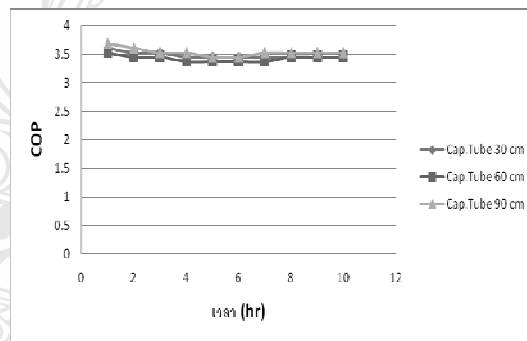


รูปที่ 4 แสดงอุณหภูมิภายในตู้อบกับเวลาในการอบแห้งที่ความยาวต่างกัน

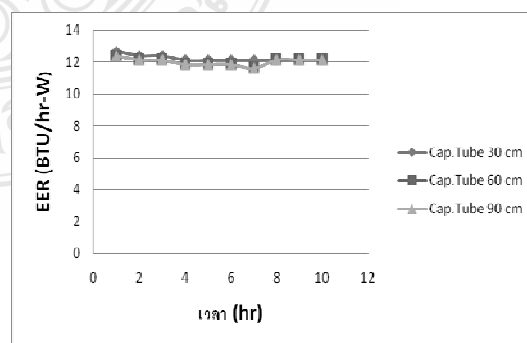
จากรูปที่ 3 แสดงผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิของคอมเพรสเซอร์กับเวลาในการอบแห้ง จะเห็นได้ว่าที่ความยาว 30 cm, 60 cm และ 90 cm อุณหภูมิเริ่มต้นในชั่วโมงแรกจะมีค่าใกล้เคียงกันคือ 45 °C, 54 °C และ 53 °C ตามลำดับ หลังจากเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมงอุณหภูมิที่คอมเพรสเซอร์จะมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงชั่วโมงที่ 7 อุณหภูมิจะมีค่าเริ่มคงที่ ทั้งนี้เนื่องจาก

ความชื้นของข้าวเปลือกที่นำมาใช้ในการทดลองมีค่าลดลง แต่ที่ความยาว 30 cm อุณหภูมิของคอมเพรสเซอร์มีค่าน้อยกว่าความยาวที่ 60 cm และ 90 cm เนื่องจากสารทำความเย็นที่ไหลผ่านอุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลชนิดท่อรูเข็มที่ความยาว 30 cm มีสถานะเป็นของเหลวมากกว่าที่ความยาว 60 cm และ 90 cm มีผลทำให้คอมเพรสเซอร์มีอุณหภูมิลดลง ซึ่งจะส่งผลให้อุณหภูมิภายในตู้อบที่ความยาว 30 cm มีค่าน้อยกว่าที่ความยาว 60 cm และ 90 cm ดังแสดงในรูปที่ 4

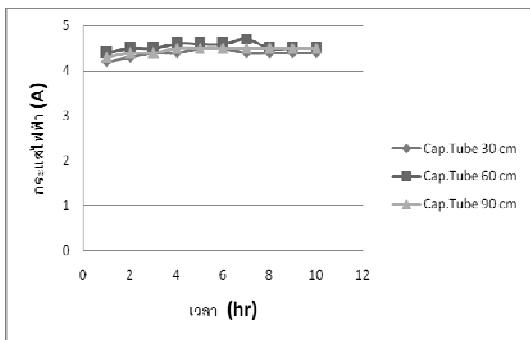
### 3.2 เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์สมรรถนะ ค่าประสิทธิภาพของระบบปั๊มความร้อน และกำลังงานที่ป้อนให้แก่เครื่องอัด



รูปที่ 5 เปรียบเทียบสมรรถนะระบบปั๊มความร้อนของเครื่องอบแห้งที่ความยาวต่างกัน



รูปที่ 6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนที่ความยาวต่างกัน



รูปที่ 7 เปรียบเทียบกำลังงานที่ป้อนให้แก่เครื่องอัดกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่ความยาวต่างกัน

ตารางที่ 1 แสดงผลการเปรียบเทียบการทดลองวิธีการระบายความร้อนของมอเตอร์ขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์โดยการฉีดน้ำยาเหลวที่ความยาวอุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลชนิดท่อรูเข็มต่างกัน

รายการ	อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลชนิดท่อรูเข็ม		
	30 cm	60 cm	90 cm
กำลังงานเฉลี่ยที่ป้อนให้แก่เครื่องอัดไอ (kW-hr)	1.17	1.27	1.25
กระแสไฟฟ้าเฉลี่ย (A)	4.39	4.54	4.46
ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะระบบปั๊มความร้อนเฉลี่ย (COP)	3.48	3.42	3.53
ค่าประสิทธิภาพของระบบปั๊มความร้อนเฉลี่ย (EER)	12.23	12.01	12.42
อุณหภูมิที่คอมเพรสเซอร์เฉลี่ย (°C)	60.2	65.5	62.7
อุณหภูมิภายในตู้อบเฉลี่ย (°C)	40.63	44.71	43.06
ความดันด้านสูงเฉลี่ย (Psig)	242.5	272.5	266
ความดันด้านต่ำเฉลี่ย (Psig)	91.6	95.6	87.1

จากรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปั๊มความร้อน (COP) ที่ความยาว 30 cm, 60 cm และ 90 cm มีค่าใกล้เคียงกันแต่แนวโน้มมีค่าลดลงเนื่องจากอุณหภูมิภายในตู้อบมีค่าเพิ่มสูงขึ้นดังรูปที่ 4 ความดันในระบบก็จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นด้วยเช่นกันแสดงดังตารางที่ 1 ซึ่งค่าสมรรถนะของระบบปั๊มความร้อนที่ลดต่ำลงมีผลทำให้ค่าประสิทธิภาพของระบบปั๊มความร้อน (EER) ลดลงด้วยเช่นกันตามสมการที่ 1 และรูปที่ 6 ยังส่งผลให้มีการใช้พลังงานเพิ่มสูงขึ้นตามอีกด้วยแสดงดังรูปที่ 7 แต่ที่อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลชนิดท่อรูเข็มที่ความยาว 30 cm มีค่าการใช้พลังงานน้อยกว่าที่ความยาว 60 cm และ 90 cm เนื่องจากสารทำความเย็นที่ไหลผ่านอุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลชนิดท่อรูเข็มที่ความยาว 30 cm มีสถานะเป็นของเหลวมากกว่าที่ความยาว 60 cm และ 90 cm จึงไประบายความร้อนได้ดีกว่ามีผลทำให้คอมเพรสเซอร์มีอุณหภูมิลดลงดังรูปที่ 3 จึงส่งผลให้ที่ความยาว 30 cm ใช้พลังงานน้อยกว่าเมื่อเทียบกับความยาว 60 cm และ 90 cm

#### 4. สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนโดยระบายความร้อนของมอเตอร์ขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์ด้วยวิธีการฉีดน้ำยาเหลวและเปลี่ยนขนาดความยาวของอุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลชนิดท่อรูเข็มพบว่าที่ความยาว 30 cm คอมเพรสเซอร์มีค่าอุณหภูมิต่ำกว่าที่ความยาว 60 cm และ 90 cm คือ 60.2°C ซึ่งส่งผลให้ใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าที่ความยาว 60 cm และ 90 cm เป็นผลทำให้ประหยัดพลังงานและคอมเพรสเซอร์มีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้นเนื่องจากคอมเพรสเซอร์มีค่าอุณหภูมิต่ำลง

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานที่เอื้อเพื่อสถานที่ในการทำงานวิจัย

## 5. เอกสารอ้างอิง

[1] กิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์. 2546. เครื่องอบแห้งแบบป้อนความร้อนร่วมกับอินฟราเรด.วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาเทคโนโลยีอุณหภาพ, คณะพลังงานและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[2] อานนท์ สาค้าง, ศิวะ อัจฉริยวิริยะและอารีย์ อัจฉริยวิริยะ. 2552. การออกแบบและสร้างต้นแบบเครื่องอบแห้งแบบใช้ป้อนความร้อนสำหรับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[3] ชูชัย ต.ศิริวัฒนา. 2549. การทำความเย็นและการปรับอากาศ.พิมพ์ครั้งที่10.กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย ญี่ปุ่น.

[4] สุนีย์พร พรหมดวง. 2546. การอบแห้งตะไคร้ด้วยป้อนความร้อน. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน, คณะพลังงานและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - นามสกุล นายภาคภูมิ เสือคำ  
 วัน เดือน ปีเกิด 29 กรกฎาคม 2520  
 ที่อยู่ 139 หมู่ 4 ต.สวนแตง อ.เมือง จ.สุพรรณบุรี 72210  
 การศึกษา สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ปี พ.ศ. 2543

### ประสบการณ์ทำงาน

มี.ย.2543-ม.ค.2544 วิศวกรฝ่ายผลิต บริษัท เอส เอ็น ซี ฟอว์เมอร์ จำกัด  
 ม.ค.2544-ก.ย.2548 วิศวกรฝ่ายผลิต บริษัท มาร์ชชั่น จำกัด  
 ต.ค.2548-ต.ค.2550 วิศวกรฝ่ายผลิต บริษัท พี เอส พี มาร์รีน จำกัด  
 ต.ค.2550-ธ.ค.2551 วิศวกรฝ่ายผลิต บริษัท พี เอส พรศักดิ์ จำกัด  
 ก.ค.2551-ปัจจุบัน วิศวกรฝ่ายวิศวกรรม บริษัท เฟิร์สเอ็นจิเนียริง จำกัด  
 ต.ค.2552-ปัจจุบัน ครูพิเศษแผนกช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคสุพรรณบุรี

