

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของสารทำความเย็น

TESTING AND COMPARING EFFICIENCY OF REFRIGERANTS



นาย จีรวุฒิ พัฒนโสภณ  
นาย ชัชพงศ์ ไกรเกรียงศรี  
นาย ปิยะพงษ์ ปวงจันทร์

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 72206  
วัน,เดือน,ปี..... 1.2 ส.ย. 2550

b. 117 6476  
i. ....

ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2549

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง

การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของสารทำความเย็น

TESTING AND COMPARING EFFICIENCY OF REFRIGERANTS

ผู้จัดทำ

นาย จิรวุฒิ พัฒนโสภณ รหัสนักศึกษา 46010118

นาย ชัชพงศ์ ไกรเกรียงศรี รหัสนักศึกษา 46010156

นาย ปิยะพงษ์ ปวงจันทร์ รหัสนักศึกษา 46010464



*(Handwritten signature)*

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ. ธวัชชัย นาคพิพัฒน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของสารทำความเย็น

นาย จิรวุฒิ พัฒนโสภณ รหัสนักศึกษา 46010118

นาย ชัชพงศ์ ไกรเกรียงศรี รหัสนักศึกษา 46010156

นาย ปิยะพงษ์ ปวงจันทร์ รหัสนักศึกษา 46010464

ผศ. ธวัชชัย นาคพิพัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษา

### บทคัดย่อ

สารทำความเย็นเป็นสารเคมีที่เป็นตัวกลางในการพาความร้อนออกจากระบบที่ต้องการควบคุมอุณหภูมิ ออกไประบายให้กับสภาวะแวดล้อมนอกห้องควบคุมอุณหภูมิ โดยผ่านอุปกรณ์ของระบบทำความเย็น ในการศึกษาและวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ ของสารทำความเย็น ที่เหมาะสมกับระบบการทำงานของเครื่องทำความเย็น โดยโครงการนี้มีเป้าหมายเพื่อจะทดสอบเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของสารทำความเย็น R-22, R134a และสารทำความเย็นประเภทไฮโดรคาร์บอน คือ Cold 22 และ Cold 134 ตามลำดับ ภายใต้ระบบทดสอบ โดยภาระของระบบที่ต้องดูจับคือ น้ำร้อนซึ่งไหลผ่านระบบทดสอบด้วยอัตราการไหลคงที่ และควบคุมอุณหภูมิการทำความเย็นให้อยู่ในช่วงอุณหภูมิที่ใช้งานจริง โดยที่ระบบคอนเดนเซอร์ที่ใช้คือหอระบายความร้อนประสิทธิภาพสูง การทดสอบนี้เพื่อวิจัยให้ได้ค่า COP หรือ EER ของแต่ละสารทำความเย็นที่สามารถทำได้ ในช่วงอัตราการไหลของสารทำความเย็น และอุณหภูมิการทำความเย็นที่เหมาะสมแตกต่างกัน

## Testing and Comparing Efficiency of Refrigerants.

Mr. JiraWut Patthanasophon  
Mr. Chatpong Kraikriengsri  
Mr. piyapong Puangchan  
Asst.Prof. Tawatchai Nakpipat

### **Abstract**

Refrigerants are used as working substance in application of heat convection from controlled space to environment by using refrigerants system. This study is focused on physical properties of the refrigerants that suitable for the operating system of the refrigeration equipment. The aim of this study is to compare the performance of the refrigerants (R-22, R134a) and hydrocarbon refrigerants (Cold 22, Cold 134) by using the equipment. Hot water was used as system load, flowing through the system at the same flow rate, and cooling temperature was controlled in actual range of temperature. Condenser system used was high efficiency counter current flow cooling tower. The tests were conducted to obtain the COP or EER of each refrigerant, in different optimum ranges of flow rate and temperature.

### กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้ด้วยความอนุเคราะห์ โดยได้รับคำแนะนำและชี้แนวทางในการศึกษาค้นคว้าเป็นอย่างดีจาก อาจารย์ ผ.ศ. ธวัชชัย นาคพิพัฒน์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาผู้ทำวิทยานิพนธ์ขอขอบพระคุณอาจารย์อย่างสูง

ขอขอบคุณอาจารย์ภาควิชากรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ ทุกท่านที่ให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะ รวมทั้งให้ความสะดวกในการยืมเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ซึ่งทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จด้วยดี

หากวิทยานิพนธ์นี้มีข้อบกพร่องประการใด คณะผู้จัดทำขอน้อมรับความบกพร่องที่เกิดขึ้นด้วยประการทั้งปวง

คณะผู้จัดทำ

นาย จิรวุฒิ พัฒนโสภณ

นาย ชัชพงศ์ ไกรเกรียงศรี

นาย ปิยะพงษ์ ปวงจันทร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VII
สารบัญตาราง	X
สารบัญกราฟ	XI
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ	2
1.5 วิธีการดำเนินงาน	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎี</b>	4
2.1 หลักการและพื้นฐานในการทำความเย็น	4
2.1.1 ความหมายของการทำความเย็นและการประยุกต์ใช้งาน	4
2.1.2 หน่วยและพื้นฐานทั่วไป	5
2.2 ระบบต่าง ๆ ในการทำความเย็น	7
2.2.1 ระบบต่าง ๆ ในการทำความเย็น	7
2.2.2 ระบบการทำความเย็นแบบอัดไอ	7
2.3 วัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไอ	9
2.3.1 วัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไอ	9
2.3.2 แผนภาพมอลเลอร์	9
2.3.3 วัฏจักรทำความเย็นทางทฤษฎี	13
2.3.4 การประยุกต์ใช้แผนภาพมอลเลอร์	15
2.3.5 ผลของอุณหภูมิด้านดูดต่อประสิทธิภาพของวัฏจักรทำความเย็น	16
2.3.6 ผลของอุณหภูมิความแน่นต่อประสิทธิภาพของวัฏจักรทำความเย็น	18
2.3.7 วัฏจักรการทำงานจริงของระบบทำความเย็น	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4 ส่วนประกอบของระบบทำความเย็นแบบอัดไอ	25
2.4.1 คอมเพรสเซอร์	25
2.4.2 คอนเดนเซอร์	31
2.4.3 เครื่องระเหย	32
2.4.4 ล้นลดความดันหรืออุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหล	33
2.5 อุปกรณ์ประกอบและอุปกรณ์ควบคุมในวงจรน้ำยา	35
2.5.1 อุปกรณ์ประกอบหรืออุปกรณ์เสริม	35
2.6 สารทำความเย็น	37
2.6.1 พื้นฐานทั่วไปเกี่ยวกับสารทำความเย็น	37
2.6.2 การพัฒนาและการเลือกใช้สารทำความเย็น	39
2.6.3 สารหล่อลื่น	41
2.6.4 การปรับเปลี่ยนสารทำความเย็น	42
2.7 ความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน	44
2.7.1 อันตรายที่เกิดจากสารทำความเย็น	44
2.7.2 อันตรายที่เกิดจากถังความดัน	45
2.7.3 อันตรายที่เกิดจากการใช้ไฟฟ้า	46
2.8 เครื่องมือบริการในระบบทำความเย็น	49
2.8.1 การใช้เกจแมนิโพลด์	49
2.8.2 การใช้วาล์วบริการในระบบทำความเย็น	54
2.9 เครื่องมือวัดทางไฟฟ้า	59
2.10 การทำสุญญากาศและการบรรจุสารทำความเย็น	61
2.10.1 การทำสุญญากาศและการตรวจหารอยรั่ว	61
2.10.2 การบรรจุสารทำความเย็นเข้าในระบบ	65
2.11 ตัวอย่างการคำนวณ COP ทางทฤษฎี และการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนระหว่าง - COPจริงและทฤษฎี	73
2.12 ตัวอย่างการคำนวณหาอัตราการไหลของสารทำความเย็นผ่านวาล์วลดความดัน	74
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดสอบ	75
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ	75
3.2 การทำความเย็นของระบบทดสอบ	83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 การทดสอบ	83
<b>บทที่ 4 ผลการทดสอบ</b>	<b>85</b>
4.1 สารทำความเย็น R-22	85
4.2 สารทำความเย็น R-134a	93
4.3 สารทำความเย็น Cold 22	100
4.4 สารทำความเย็น Cold 134	107
<b>บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดสอบ</b>	<b>114</b>
5.1 วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดสอบ	114
เอกสารอ้างอิง	121



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2-1 แสดงวงจรการทำงานจากระบบทำความเย็นแบบอัดไอ	7
2-2 แสดงเส้นของเหลวอิ่มตัวและเส้น ไออิ่มตัวแบ่งพื้นที่บนแผนภาพมอลเลอร์เป็น 3 เขต	9
2-3 แสดงเส้นคุณสมบัติต่าง ๆ ของสารทำความเย็นบนแผนภาพมอลเลอร์	10
2-4 แสดงวัฏจักรทำความเย็นทางทฤษฎีที่เขียนลงบนแผนภาพมอลเลอร์ (R-134a)	13
2-5 แสดงการเปรียบเทียบวัฏจักรทำความเย็นที่อุณหภูมิกลายเป็นไอ 0 °F และ 40 °F (R-134a)	17
2-6 แสดงการเปรียบเทียบวัฏจักรทำความเย็นที่อุณหภูมิควบแน่น 100 °F และ 120 °F (R-134a)	18
2-7 แสดงผลของอุณหภูมิควบแน่นและอุณหภูมิกลายเป็นไอกับกำลังม้าที่ใช้ต่อต้านความเย็น	19
2-8 แสดงการทำงานของวงจรทำความเย็นในสถานะไอระเหย C-C' (R-134a)	20
2-9 แสดงวัฏจักรทำความเย็นทางทฤษฎีเปรียบเทียบกับวัฏจักรที่มีไอระเหย C-C' (R-134a)	20
2-10 แสดงการทำงานของวงจรทำความเย็นในสถานะของเหลวเย็นยิ่งยวดจากจุด A-A' (R-134a)	21
2-11 แสดงวัฏจักรทำความเย็นทางทฤษฎี เปรียบเทียบกับวัฏจักรที่เป็นของเหลวเย็นยิ่งยวด (R-134a)	22
2-12 แสดงการใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในวงจรทำความเย็น	23
2-13 แสดงผลที่เกิดขึ้นจากการใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน	23
2-14 แสดงอุปกรณ์หลักในระบบทำความเย็น	24
2-15 แสดงโครงสร้างของคอมเพรสเซอร์แบบหุ้มปิด มอเตอร์อยู่ด้านล่าง และคอมเพรสเซอร์อยู่ด้านบน	26
2-16 แสดงคอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบ	27
2-17 แสดงการทำงานของคอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบ	27
2-18 แสดงตำแหน่งที่ลูกสูบอยู่ในจังหวะอัดสุด	28
2-19 แสดงการทำงานของคอมเพรสเซอร์	28
2-20 แสดงคอนเดนเซอร์ชนิดเปลือกและท่อ	31
2-21 แสดงเครื่องระเหยแบบแห้ง	32
2-22 แสดงเครื่องระเหยแบบเปียก	32
2-23 แสดงโครงสร้างของเครื่องระเหยชนิดเปลือกและท่อ	33
2-24 แสดงโครงสร้างของลิ้นลวดความดันชนิดปรับด้วยมือ	34
2-25 แสดงโครงสร้างและการติดตั้งอุปกรณ์กรองและเก็บความชื้นในวงจร	35
2-26 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในวงจร	36
2-27 แสดงการเปลี่ยนชื่อสารทำความเย็นของบริษัท DuPont จาก FREON เป็น Suva	38
2-28 โครงสร้างของสารทำความเย็นกลุ่มมีเทนและอีเทน	39
2-29 แสดงการรั่วของวงจรไฟฟ้าที่ไม่มีสายดิน	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2-30 แสดงการรั่วของวงจรไฟฟ้าที่มีสายดิน	48
2-31 แสดงการติดตั้งเกจแมนิโพลด์เพื่อใช้งานในลักษณะต่าง ๆ	49
2-32 แสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ของเกจแมนิโพลด์	50
2-33 แสดงรายละเอียดบนหน้าปัดของเกจคอมปาวด์	50
2-34 แสดงรายละเอียดบนหน้าปัดของเกจความดันสูง	52
2-35 แสดงการติดตั้งเกจแมนิโพลด์	53
2-36 แสดงการติดตั้งวาล์วบริการที่คอมเพรสเซอร์	55
2-37 แสดงการติดตั้งวาล์วบริการที่ท่อสารทำความเย็น	55
2-38 แสดงวาล์วบริการในระบบทำความเย็น	56
2-39 แสดงโครงสร้างของวาล์วบริการแบบลูกศร และปลายสายน้ำยาที่มีแกนควาล์ว	56
2-40 แสดงวาล์วบริการแบบลูกศร ในตำแหน่งปิดและเปิด	56
2-41 แสดงการติดตั้งแอมมิเตอร์ในวงจร	59
2-42 แสดงการใช้แอมมิเตอร์คล้องสายเพื่อวัดกระแสในวงจร	60
2-43 แสดงเครื่องทำสุญญากาศแบบมาตรฐาน ใช้มอเตอร์ขับเคลื่อนผ่านสายพาน	62
2-44 แสดงการต่อเกจแมนิโพลด์ เมื่อวาล์วบริการติดตั้งอยู่ที่ท่อสารทำความเย็น	62
2-45 แสดงการต่อเกจแมนิโพลด์ เมื่อวาล์วบริการติดตั้งอยู่ที่คอมเพรสเซอร์	62
2-46 แสดงการใช้ในโครเจนหรือคาร์บอนไดออกไซด์และฟองสบู่ในการตรวจหารอยรั่ว	64
2-47 แสดงเครื่องตรวจหารอยรั่ว แบบตะเกียงแก๊ส และแบบอิเล็กทรอนิกส์	64
2-48 แสดงวิธีการเพิ่มความดันให้สารทำความเย็นในถังโดยใช้ น้ำอุ่น	65
2-49 แสดงการต่ออุปกรณ์เข้ากับระบบเพื่อเตรียมการเติมสารทำความเย็น	66
2-50 แสดงวิธีเติมสารทำความเย็นเมื่อวาล์วบริการติดตั้งที่คอมเพรสเซอร์	67
2-51 แสดงการปฏิบัติเพื่อถอดสายน้ำยาออกจากระบบ	68
2-52 แสดงการต่ออุปกรณ์เข้ากับระบบเพื่อเตรียมการเติมสารทำความเย็น	68
2-53 แสดงวิธีเติมสารทำความเย็นเหลวเข้าระบบเมื่อวาล์วบริการติดตั้งที่คอมเพรสเซอร์	69
2-54 แสดงรายละเอียดบนแผ่นป้ายข้อมูลประจำเครื่องทำความเย็น	70
2-55 แสดงเครื่องชั่งน้ำหนักแบบอิเล็กทรอนิกส์และแบบกระบอกเติมน้ำยา	71
2-56 แสดงช่องกระจกดูน้ำยา	72
2-57 แสดงตัวเลขกำกับจุด ณ สภาวะต่าง ๆ ของ Ph Diagram R-22	73
2-58 แสดงสภาวะที่ 1 และ 2 ในการคำนวณ	74
3-1 แสดงชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3-2 เครื่องระเหยแบบใช้ของเหลวพาความเย็นชนิดเปลือกและท่อ	75
3-3 แสดงคอนเดนเซอร์ชนิดเปลือกและท่อ	76
3-4 แสดงคอมเพรสเซอร์ชนิดเปลือกหุ้มปิด	76
3-5 แสดงลิ้นถดความดันชนิดปรับด้วยมือ	76
3-6 แสดงกระจกมองสารทำความเย็น	77
3-7 แสดงอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน	77
3-8 แสดงฟิเตอร์ร่ายเออร์	78
3-9 แสดงเทอร์โมมิเตอร์ที่วัดอุณหภูมิแบบดิจิตอล	78
3-10 แสดงเกจวัดความดัน	78
3-11 แสดงมาตรวัดอัตราการไหลของน้ำ	79
3-12 แสดงสวิทช์หรือกระแสไฟฟ้า	79
3-13 แสดงอุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้าแบบหน้าปิด	79
3-14 แสดงอุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้าแบบคล้องสายไฟที่ต้องการวัด	80
3-15 แสดงตัวทำความร้อน	80
3-16 แสดงปั๊มน้ำ	80
3-17 แสดงท่อทางเดินสารทำความเย็น	81
3-18 แสดงถังบรรจุน้ำเพื่อพาความร้อนเข้าระบบทดสอบ	81
3-19 แสดงหอบระบายความร้อน	81
3-20 แสดงถังสารทำความเย็น	82
4-1 แสดงตัวเลขกำกับจุดที่วัดค่าความดันและอุณหภูมิในชุดทดสอบ	85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1 แสดงผลของกระแสไฟฟ้าที่ผ่านร่างกาย	46
2-2 แสดงระยะเวลาที่กระแสไฟไหลผ่านร่างกาย จนเป็นอันตรายถึงชีวิต	47
2-3 แสดงค่าอุณหภูมิระเหยของน้ำที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ	51
2-4 แสดงค่าความดันและอุณหภูมิระเหยของสารทำความเย็นชนิดต่าง ๆ	52
2-5 แสดงค่าความดันและอุณหภูมิควบแน่นของสารทำความเย็นชนิดต่าง ๆ	52
2-6 แสดงการใช้เกจแมนิโพลด์ในลักษณะต่าง ๆ	58
2-7 แสดงรายละเอียดเฉพาะของบริษัทผู้ผลิตในการกำหนดค่า LRA และ FLA ของคอมเพรสเซอร์	71
3-1 ตัวอย่างตารางการพิจารณาเลือกความดันด้านดูดของ R-22	83
4-1 ตารางการพิจารณาเลือกความดันด้านดูดของ R-22	85
4-2 ตารางข้อมูลเบื้องต้นของการทดสอบกับสารทำความเย็น R-22	87
4-3 ตารางแสดงผลการคำนวณของสารทำความเย็น R-22	88
4-4 ตารางการพิจารณาเลือกความดันด้านดูดของ R-134a	93
4-5 ตารางข้อมูลเบื้องต้นของการทดสอบกับสารทำความเย็น R-134a	94
4-6 ตารางแสดงผลการคำนวณของสารทำความเย็น R-134a	95
4-7 ตารางการพิจารณาเลือกความดันด้านดูดของ Cold-22	100
4-8 ตารางข้อมูลเบื้องต้นของการทดสอบกับสารทำความเย็น Cold-22	101
4-9 ตารางแสดงผลการคำนวณของสารทำความเย็น Cold-22	102
4-10 ตารางการพิจารณาเลือกความดันด้านดูดของ Cold-134	107
4-11 ตารางข้อมูลเบื้องต้นของการทดสอบกับสารทำความเย็น Cold-134	108
4-12 ตารางแสดงผลการคำนวณของสารทำความเย็น Cold-134	109
5-1 ตารางเปรียบเทียบสมรรถนะ และเปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าให้กับคอมเพรสเซอร์ของ ทุกสารทำความเย็นที่นำมาทดสอบ	114

## สารบัญกราฟ

กราฟที่	หน้า
3-1 ตัวอย่างกราฟพิจารณาความดันด้าน suction ของสารทำความเย็น R-22	84
4-1 กราฟพิจารณาความดันด้าน suction ของสารทำความเย็น R-22	86
4-2 COP จริง ของ R-22 ที่อุณหภูมิการทำงานเย็นต่าง ๆ ต่อรอบวาล์ว	89
4-3 COP จริง ของ R-22 ที่อุณหภูมิการทำงานเย็นต่าง ๆ ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น	89
4-4 COP ทฤษฎี ของ R-22 ที่อุณหภูมิการทำงานเย็นต่าง ๆ ต่อรอบวาล์ว	89
4-5 COP ทฤษฎี ของ R-22 ที่อุณหภูมิการทำงานเย็นต่าง ๆ ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น	89
4-6 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของสาร R-22 ต่อรอบวาล์ว	89
4-7 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของสาร R-22 ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น	89
4-8 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 25 °C ต่อรอบวาล์ว	90
4-9 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 25 °C ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น	90
4-10 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 24 °C ต่อรอบวาล์ว	90
4-11 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 24 °C ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น	90
4-12 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 23 °C ต่อรอบวาล์ว	90
4-13 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 23 °C ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น	90
4-14 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 22 °C ต่อรอบวาล์ว	91
4-15 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 22 °C ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น	91
4-16 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 21 °C ต่อรอบวาล์ว	91
4-17 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 21 °C ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น	91
4-18 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 20 °C ต่อรอบวาล์ว	91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญกราฟ (ต่อ)

กราฟที่	หน้า
4-19 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 20 °C ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น	91
4-20 กราฟพิจารณาความดันด้าน suction ของสารทำความเย็น R-134a	93
4-21 COP จริง ของ R-134a ที่อุณหภูมิการทำงานต่าง ๆ ต่อรอบวาล์ว	96
4-22 COP จริง ของ R-134a ที่อุณหภูมิการทำงานต่าง ๆ ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น	96
4-23 COP ทฤษฎี ของ R-134a ที่อุณหภูมิการทำงานต่าง ๆ ต่อรอบวาล์ว	96
4-24 COP ทฤษฎี ของ R-134a ที่อุณหภูมิการทำงานต่าง ๆ ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น	96
4-25 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของสาร R-134a ต่อรอบวาล์ว	96
4-26 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของสาร R-134a ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น	96
4-27 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 25 °C ต่อรอบวาล์ว	97
4-28 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 25 °C ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น	97
4-29 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 24 °C ต่อรอบวาล์ว	97
4-30 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 24 °C ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น	97
4-31 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 23 °C ต่อรอบวาล์ว	97
4-32 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 23 °C ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น	97
4-33 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 22 °C ต่อรอบวาล์ว	98
4-34 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 22 °C ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น	98
4-35 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 21 °C ต่อรอบวาล์ว	98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญกราฟ (ต่อ)

กราฟที่	หน้า
4-36 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 21 °C ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น	98
4-37 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 20 °C ต่อรอบวาล์ว	98
4-38 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 20 °C ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น	98
4-39 กราฟพิจารณาความดันด้าน suction ของสารทำความเย็น Cold-22	100
4-40 COP จริง ของ Cold-22 ที่อุณหภูมิการทำงานต่าง ๆ ต่อรอบวาล์ว	103
4-41 COP จริง ของ Cold-22 ที่อุณหภูมิการทำงานต่าง ๆ ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น	103
4-42 COP ทฤษฎี ของ Cold-22 ที่อุณหภูมิการทำงานต่าง ๆ ต่อรอบวาล์ว	103
4-43 COP ทฤษฎี ของ Cold-22 ที่อุณหภูมิการทำงานต่าง ๆ ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น	103
4-44 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของสาร Cold-22 ต่อรอบวาล์ว	103
4-45 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของสาร Cold-22 ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น	103
4-46 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 25 °C ต่อรอบวาล์ว	104
4-47 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 25 °C ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น	104
4-48 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 24 °C ต่อรอบวาล์ว	104
4-49 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 24 °C ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น	104
4-50 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 23 °C ต่อรอบวาล์ว	104
4-51 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 23 °C ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น	104
4-52 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 22 °C ต่อรอบวาล์ว	105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญกราฟ (ต่อ)

กราฟที่	หน้า
4-53 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 22 °C ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น	105
4-54 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 21 °C ต่อรอบวาล์ว	105
4-55 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 21 °C ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น	105
4-56 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 20 °C ต่อรอบวาล์ว	105
4-57 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 20 °C ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น	105
4-58 กราฟพิจารณาความดันด้าน suction ของสารทำความเย็น Cold-134	107
4-59 COP จริง ของ Cold-134 ที่อุณหภูมิการทำงานต่าง ๆ ต่อรอบวาล์ว	110
4-60 COP จริง ของ Cold-134 ที่อุณหภูมิการทำงานต่าง ๆ ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น	110
4-61 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของสาร Cold-134 ต่อรอบวาล์ว	110
4-62 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของสาร Cold-134 ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น	110
4-63 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 25 °C ต่อรอบวาล์ว	111
4-64 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 25 °C ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น	111
4-65 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 24 °C ต่อรอบวาล์ว	111
4-66 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 24 °C ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น	111
4-67 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 23 °C ต่อรอบวาล์ว	111
4-68 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 23 °C ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น	111

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญกราฟ (ต่อ)

กราฟที่	หน้า
4-69 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 22 °C ต่อรอบวาล์ว	112
4-70 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 22 °C ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น	112
4-71 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 21 °C ต่อรอบวาล์ว	112
4-72 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 21 °C ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น	112
4-73 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 20 °C ต่อรอบวาล์ว	112
4-74 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 20 °C ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น	112
5-1 COP จริง ของสารทำความเย็นต่าง ๆ ที่อุณหภูมิน้ำเย็น 25 °C ต่อรอบวาล์ว	116
5-2 COP จริง ของสารทำความเย็นต่าง ๆ ที่อุณหภูมิน้ำเย็น 25 °C ต่ออัตราการไหล ของสารทำความเย็น	116
5-3 COP จริง ของสารทำความเย็นต่าง ๆ ที่อุณหภูมิน้ำเย็น 24 °C ต่อรอบวาล์ว	116
5-4 COP จริง ของสารทำความเย็นต่าง ๆ ที่อุณหภูมิน้ำเย็น 24 °C ต่ออัตราการไหล ของสารทำความเย็น	116
5-5 COP จริง ของสารทำความเย็นต่าง ๆ ที่อุณหภูมิน้ำเย็น 23 °C ต่อรอบวาล์ว	116
5-6 COP จริง ของสารทำความเย็นต่าง ๆ ที่อุณหภูมิน้ำเย็น 23 °C ต่ออัตราการไหล ของสารทำความเย็น	116
5-7 COP จริง ของสารทำความเย็นต่าง ๆ ที่อุณหภูมิน้ำเย็น 22 °C ต่อรอบวาล์ว	117
5-8 COP จริง ของสารทำความเย็นต่าง ๆ ที่อุณหภูมิน้ำเย็น 22 °C ต่ออัตราการไหล ของสารทำความเย็น	117
5-9 COP จริง ของสารทำความเย็นต่าง ๆ ที่อุณหภูมิน้ำเย็น 21 °C ต่อรอบวาล์ว	117
5-10 COP จริง ของสารทำความเย็นต่าง ๆ ที่อุณหภูมิน้ำเย็น 21 °C ต่ออัตราการไหล ของสารทำความเย็น	117
5-11 COP จริง ของสารทำความเย็นต่าง ๆ ที่อุณหภูมิน้ำเย็น 20 °C ต่อรอบวาล์ว	117
5-12 COP จริง ของสารทำความเย็นต่าง ๆ ที่อุณหภูมิน้ำเย็น 20 °C ต่ออัตราการไหล ของสารทำความเย็น	117

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญคราฟ (ต่อ)

กราฟที่	หน้า
5-13 กำลังไฟฟ้าที่ให้กับคอมเพรสเซอร์ที่อุณหภูมิน้ำเย็น 25 °C ต่อรอบวาล์ว	118
5-14 กำลังไฟฟ้าที่ให้กับคอมเพรสเซอร์ที่อุณหภูมิน้ำเย็น 25 °C ต่ออัตราการไหล ของสารทำความเย็น	118
5-15 กำลังไฟฟ้าที่ให้กับคอมเพรสเซอร์ที่อุณหภูมิน้ำเย็น 24 °C ต่อรอบวาล์ว	118
5-16 กำลังไฟฟ้าที่ให้กับคอมเพรสเซอร์ที่อุณหภูมิน้ำเย็น 24 °C ต่ออัตราการไหล ของสารทำความเย็น	118
5-17 กำลังไฟฟ้าที่ให้กับคอมเพรสเซอร์ที่อุณหภูมิน้ำเย็น 23 °C ต่อรอบวาล์ว	118
5-18 กำลังไฟฟ้าที่ให้กับคอมเพรสเซอร์ที่อุณหภูมิน้ำเย็น 23 °C ต่ออัตราการไหล ของสารทำความเย็น	118
5-19 กำลังไฟฟ้าที่ให้กับคอมเพรสเซอร์ที่อุณหภูมิน้ำเย็น 22 °C ต่อรอบวาล์ว	119
5-20 กำลังไฟฟ้าที่ให้กับคอมเพรสเซอร์ที่อุณหภูมิน้ำเย็น 22 °C ต่ออัตราการไหล ของสารทำความเย็น	119
5-21 กำลังไฟฟ้าที่ให้กับคอมเพรสเซอร์ที่อุณหภูมิน้ำเย็น 21 °C ต่อรอบวาล์ว	119
5-22 กำลังไฟฟ้าที่ให้กับคอมเพรสเซอร์ที่อุณหภูมิน้ำเย็น 21 °C ต่ออัตราการไหล ของสารทำความเย็น	119
5-23 กำลังไฟฟ้าที่ให้กับคอมเพรสเซอร์ที่อุณหภูมิน้ำเย็น 20 °C ต่อรอบวาล์ว	119
5-24 กำลังไฟฟ้าที่ให้กับคอมเพรสเซอร์ที่อุณหภูมิน้ำเย็น 20 °C ต่ออัตราการไหล ของสารทำความเย็น	119

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มา

ในสภาวะการณ์ปัจจุบัน โลกกำลังประสบกับปัญหาวิกฤติเศรษฐกิจ และน้ำมันเชื้อเพลิงมีราคาสูงขึ้น ซึ่งส่งผลให้ค่าสาธารณูปโภคต่าง ๆ รวมทั้งค่าไฟฟ้า มีราคาสูงขึ้น และในขณะเดียวกัน อุณหภูมิของโลกเราก็กาลังเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากปัญหาของสภาวะเรือนกระจก (Green house effect) และปัญหาชั้นโอโซนถูกทำลาย ทำให้หลายครัวเรือนต้องหันมาพึ่งเครื่องปรับอากาศเพื่อหลีกเลี่ยงสภาวะอากาศที่ร้อนอบอ้าว จึงทำให้เครื่องปรับอากาศกลายเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีความสำคัญมากขึ้น โดยเฉพาะในประเทศที่อยู่ในภูมิภาคเขตร้อนแบบประเทศไทย

เครื่องปรับอากาศเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ทำหน้าที่ดูดซับความร้อนออกจากห้องควบคุมอุณหภูมิ เพื่อให้ภายในห้องควบคุมอุณหภูมิมีสภาวะตามต้องการ เครื่องปรับอากาศที่ใช้ในบ้านเรือนนั้น ปกติแล้วจะถูกปรับให้มีอุณหภูมิในช่วง 20-25 °C ซึ่งเป็นช่วงของอุณหภูมิที่ทำให้มนุษย์รู้สึกสบาย แต่ในขณะเดียวกัน เครื่องปรับอากาศก็เป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้พลังงานไฟฟ้าสูง เหตุปัจจัยที่ทำให้เครื่องปรับอากาศสิ้นเปลืองพลังงานนั้นมีหลายสาเหตุ เช่น อุณหภูมิภายนอก ถ้าอุณหภูมิภายนอกสูง ก็จะทำให้เครื่องปรับอากาศทำงานหนักขึ้น ทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน การปรับอุณหภูมิภายในห้องปรับอากาศก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ใช้พลังงานไฟฟ้ามากยิ่งขึ้น ซึ่งหากเราปรับให้อุณหภูมิภายในให้ต่ำลงเท่าไร ก็ยิ่งจะทำให้เครื่องปรับอากาศใช้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้นเท่านั้น อีกปัจจัยหนึ่งที่กลุ่มผู้ทำการทดสอบสนใจคือการเลือกใช้สารทำความเย็น ซึ่งสารทำความเย็นแต่ละตัวก็จะทำให้สิ้นเปลืองพลังงานแตกต่างกัน

สารทำความเย็น (Refrigerants) เป็นส่วนประกอบสำคัญ ที่ทำงานร่วมกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบเครื่องปรับอากาศ ทำหน้าที่รับความร้อนจากเนื้อที่ว่าง หรือเทวดูดต่าง ๆ เพื่อใช้ในการเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ ส่งผลให้เกิดความเย็นที่เครื่องระเหย

ปัจจุบันมีหลายบริษัทได้ทำการผลิตสารทำความเย็นชนิดใหม่ ๆ ขึ้นมา เพื่อทดแทนสารทำความเย็นชนิดเก่า ที่ด้อยประสิทธิภาพ ทำลายสิ่งแวดล้อม หรือมีความเป็นพิษสูง ซึ่งสารทำความเย็นชนิดใหม่ที่ถูกผลิตขึ้นก็ถูกพัฒนาปรับปรุงส่วนประกอบให้มีประสิทธิภาพสูงกว่าเดิม ทั้งในเรื่องที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ไม่มีความเป็นพิษ รวมทั้งทำให้เครื่องปรับอากาศใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยลงกว่าเดิม

จากปัจจัยทั้งหลายที่กล่าวมาตั้งแต่ต้น จึงทำให้กลุ่มผู้ทำการทดสอบเล็งเห็นว่า ควรทำการทดสอบสารทำความเย็นเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะ และความคุ้มค่าในการใช้สารทำความเย็นแต่ละชนิด เพื่อเป็นประโยชน์ในการตัดสินใจเลือกใช้สารทำความเย็นแต่ละชนิดสำหรับผู้ใช้งานต่อไป

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 ศึกษาหลักการการทำงานของระบบทำความเย็น อุปกรณ์ในระบบทำความเย็น รวมทั้งสารทำความเย็นกับระบบปรับอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.2 ศึกษาและวิเคราะห์หาสมรรถนะการทำความเย็นของแต่ละสารทำความเย็น เพื่อพิจารณาเลือกใช้งานได้เหมาะสม

1.2.3 วิเคราะห์และเปรียบเทียบสมรรถนะการทำความเย็นของสารทำความเย็นที่น่าสนใจนำมาทดสอบ เพื่อพิจารณาเลือกนำไปใช้งานในสภาวะที่เหมาะสมแตกต่างกัน

### 1.3 ขอบเขตของโครงการงาน

1.3.1 ศึกษาเพื่อออกแบบการทำโครงการงาน

1.3.2 ศึกษาเพื่อพิจารณาเลือกสารทำความเย็นที่น่าสนใจและเหมาะสมกับระบบทดสอบที่ได้ออกแบบไว้

1.3.3 ปรับปรุงแก้ไขชุดทดสอบเดิม พร้อมทั้งติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติมเพื่อให้เหมาะสมกับวิธีทดสอบ

1.3.4 ทดสอบหาสมรรถนะการทำความเย็น จากแต่ละสารทำความเย็นที่น่าสนใจนำมาทดสอบ

1.3.5 วิเคราะห์และเปรียบเทียบสมรรถนะการทำความเย็นของสารทำความเย็น เพื่อพิจารณาเลือกใช้งานในสภาวะที่เหมาะสมต่อไป

### 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการงาน

1.4.1 ทำให้ผู้วิจัยได้รู้ถึงวิธีการศึกษาและหาคำตอบของปัญหา เพื่อให้โครงการบรรลุวัตถุประสงค์

1.4.2 ทำให้ผู้วิจัยเข้าใจในระบบการทำงานของเครื่องทำความเย็น อุปกรณ์ในระบบทำความเย็น รวมทั้งสารทำความเย็นบางชนิดด้วย

1.4.3 ทำให้ผู้วิจัยรู้วิธีการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบ รวมทั้งการนำเสนอผลการทดสอบด้วย

1.4.4 ทำให้ทราบความแตกต่างของแต่ละสารทำความเย็น รวมทั้งข้อเด่น-ข้อด้อยของแต่ละสารทำความเย็นในสภาวะที่แตกต่างกันได้

1.4.5 โครงการนี้เป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนาต่อไปในอนาคต ตราบเท่าที่มนุษย์เราจำเป็นต้องใช้เครื่องทำความเย็น

### 1.5 วิธีการดำเนินงาน

ขั้นตอนการทำงานของโครงการสามารถแบ่งขั้นตอนได้ดังนี้

1.5.1 ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานต่าง ๆ ในเรื่องระบบการทำความเย็นทั่วไป และเน้นศึกษาเป็นพิเศษในเรื่องสารทำความเย็นที่ใช้กับระบบปรับอากาศ

1.5.2 ศึกษาเพื่อพิจารณาเลือกสารทำความเย็นที่จะนำมาทดสอบดังนี้ คือ R-22, R-134a และ สารไฮโดรคาร์บอน คือ Cold 22 และ Cold 134

1.5.3 ออกแบบวิธีการทดสอบโดย จะทำการทดสอบเพื่อหาสมรรถนะการทำความเย็นของแต่ละสารทำความเย็นภายใต้เงื่อนไข อัตราการไหลของภาระ (Load) คงที่, การระบายความร้อนที่คอนเดนเซอร์ (Condenser) สามารถระบายความร้อนได้ดีมาก แล้วทำการบันทึกผลจากสภาวะต่าง ๆ ของระบบทดสอบดังนี้ คือ อุณหภูมิ (Temperature), ความดัน (Pressure), กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับคอมเพรสเซอร์ขณะทำงาน (Current) และอัตราการไหลของภาระ (Water flow rate) โดยค่าข้อมูลเบื้องต้นบันทึกภายใต้การแปรค่าของอุณหภูมิทางออกของภาระ (Load) และจำนวนรอบของการปรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วาล์วปรับด้วยมือ (Hand expansion valve) ซึ่งตัวแปรทั้งสองปรับค่าไปเรื่อย ๆ เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลเบื้องต้นและสมรรถนะต่อไป แล้วทำการทดสอบกับสารทำความเย็นที่เลือกมาทดสอบตามหัวข้อ 1.5.2 ตามลำดับ

1.5.4 ศึกษาอุปกรณ์ทดสอบเดิมที่มีอยู่แล้ว ทำการปรับปรุงแก้ไข และติดตั้งอุปกรณ์บางส่วนเพิ่มเติม เพื่อให้ชุดทดสอบเหมาะสมและพร้อมทำการทดสอบ

1.5.5 ทำการทดสอบ วิเคราะห์ และสรุปผลการทดสอบ ซึ่งรายละเอียดทั้งหมดสามารถอ่านได้ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎี

#### 2.1 หลักการและพื้นฐานในการทำความเย็น

##### 2.1.1 ความหมายของการทำความเย็นและการประยุกต์ใช้งาน

###### การทำความเย็น (Refrigeration)

การทำความเย็น คือการลดและรักษาระดับอุณหภูมิของเนื้อที่ว่างหรือของเหลวต่าง ๆ ให้ต่ำกว่าปกติ เช่น การทำความเย็นในตู้เย็น ตู้น้ำเย็น ตู้แช่ ห้องเย็น โรงน้ำแข็ง เป็นต้น ซึ่งถ้าเทียบกับความหมายของคำว่า การปรับอากาศ (air conditioning) จะมีความหมายถึงการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิให้เหมาะสมตามที่เราต้องการ รวมถึงการปรับสภาพอากาศให้มีความสะอาด มีการถ่ายเทความร้อน และมี ความชื้นที่เหมาะสม ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความสบาย เช่นที่ใช้ในระบบของเครื่องปรับอากาศในบ้าน สำนักงาน ที่ทำการ หรือโรงมหรสพต่าง ๆ รวมทั้งระบบปรับอากาศที่ใช้ช่วยในกระบวนการผลิตใน โรงงานอุตสาหกรรม เช่น ในโรงงานทอผ้า โรงงานยาสูบ โรงงานผลิตสบู่ โรงงานผลิตยารักษาโรค

###### การเกิดความร้อน (Principle of refrigeration)

การเกิดความร้อนในเครื่องทำความเย็น รวมทั้งเครื่องปรับอากาศที่มีใช้อยู่ทั่วไป ไม่ว่าจะเป็น ตู้เย็น ตู้แช่ เครื่องปรับอากาศรถยนต์ เครื่องปรับอากาศในบ้าน หรือในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไปก็ตาม มี หลักการเบื้องต้นในการทำให้เกิดความร้อนเหมือนกันหมดคือ การทำให้สารซึ่งเป็นตัวกลางในการทำความเย็น (Refrigerant) เปลี่ยนสถานะ เพราะขณะเปลี่ยนสถานะ สารทุกชนิดต้องการความร้อนแฝงเข้ามา ช่วยเสมอ ดังนั้นถ้าเราทำให้สารนี้เปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นไอ จะเกิดการดูดซับความร้อนจาก บริเวณใกล้เคียง ซึ่งจะทำให้บริเวณนั้นมีอุณหภูมิลดลง จึงเกิดความร้อนขึ้น

###### การประยุกต์ใช้งานการทำความเย็น (Applications of refrigeration)

ในปัจจุบันเราอาศัยระบบทำความเย็นมาใช้งานในด้านต่าง ๆ มากมาย ได้แก่

1. การผลิตอาหาร (Food processing) เช่น การผลิตนม ไอศกรีม ซึ่งต้องอาศัยการทำความเย็นในการทำให้พาสเจอร์ไรส์ (Pasteurization) โดยการให้ความร้อนแก่นมที่อุณหภูมิประมาณ 70-80 °C หลังจากนั้นนำมาทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็ว และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 2-3 °C เพื่อรักษาคุณภาพของนมก่อนส่งไปจำหน่าย การผลิตไอศกรีม ก็จะต้องผ่านการพาสเจอร์ไรส์ และนำไปผ่านการแช่แข็งที่อุณหภูมิประมาณ -20 ถึง -28 °C การผลิตไวน์และเบียร์ ในกระบวนการหมัก (Fermentation) กระบวนการบ่ม (Mellowing) จำเป็นต้องทำภายใต้อุณหภูมิต่ำประมาณ 5-15 °C เป็นต้น

2. การเก็บรักษาอาหาร (Food storage) ในการเก็บรักษาหรือถนอมอาหาร เช่น ผัก ผลไม้ เนื้อสัตว์ ให้มีอายุในการเก็บรักษานานขึ้น เพื่อการบริโภคหรือเพื่อการจำหน่าย สามารถทำได้โดยการลดอุณหภูมิให้ต่ำลง ซึ่งเป็นการลดอัตราการแพร่ขยายของแบคทีเรียต่าง ๆ ซึ่งเป็นเหตุให้อาหารเน่าเสีย เช่น อาจจะใช้การแช่แข็งผัก ผลไม้ หรือเนื้อสัตว์ไว้ในสภาพอาหารสด (Fresh food) จะต้องเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำ แต่ต้องสูงกว่าจุดเยือกแข็ง (Freezing point) ซึ่งจะมีช่วงเวลาในการเก็บรักษาสั้นกว่าการเก็บในสภาพอาหารแช่แข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Frozen food) ซึ่งจะต้องนำผัก ผลไม้ หรือเนื้อสัตว์มาทำการแช่แข็งและเก็บรักษาในห้องเย็นที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง

3. การผลิตในงานอุตสาหกรรม (Industrial process) งานอุตสาหกรรมหลายประเภทที่ต้องอาศัยการทำความเย็นช่วยในกระบวนการผลิต เช่น อุตสาหกรรมเคมี ปิโตรเคมี โรงกลั่นน้ำมัน โรงแยกแก๊ส โรงงานผลิตสบู่

4. การทำความเย็นเพื่อการขนส่ง (Transportation refrigeration) เช่น ห้องเย็นที่ใช้ในเรือประมง ห้องเย็นที่ใช้ในเรือเดินทะเล ซึ่งใช้ขนส่งอาหารแช่แข็งไปจำหน่ายยังต่างประเทศ หรือรถห้องเย็นที่ใช้ขนส่งผลิตภัณฑ์อาหารแช่แข็งระหว่างโรงงานผลิตไปยังจังหวัดที่อยู่ห่างไกล ซึ่งทั้งหมดจะทำงานโดยอาศัยหลักการของระบบทำความเย็น

5. การปรับอากาศ (Air conditioning) เป็นสาขางานหนึ่งซึ่งอาศัยการทำความเย็นมาประยุกต์ใช้มากที่สุด โดยจะทำงานร่วมกับระบบควบคุมความชื้น การกรองอากาศ การทำให้อากาศหมุนเวียน การระบายอากาศ เพื่อความสบายของคน เช่นที่ใช้ในเครื่องปรับอากาศทั่วไป หรืองานปรับอากาศที่ใช้ในกระบวนการผลิตต่าง ๆ ในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานทอผ้า โรงพิมพ์ โรงงานผลิตกระดาษ โรงงานผลิตยา เป็นต้น

## 2.1.2 หน่วยและพื้นฐานทั่วไป

ขนาดของเครื่องทำความเย็น สัมประสิทธิ์สมรรถนะ และประสิทธิภาพการทำความเย็น

ขนาดของเครื่องทำความเย็น จะบอกเป็น Btu/h (หน่วยอังกฤษ), kcal/h (หน่วยเมตริก), kW (หน่วย SI) หรือบอกขนาดเป็นตัน โดย 1 ตันความเย็นมีค่า 12,000 Btu/h ซึ่งมีที่มาจากคำจำกัดความคือ 1 TR (Ton of refrigeration) = Heat required to melt 1 short ton of ice (2000 lb) at 32 °F per 24 h. ซึ่งมีความหมายคือ 1 ตันความเย็น เป็นความเย็นที่ได้จากการเสียดความร้อนไปใช้ในการหลอมละลายน้ำแข็งหนัก 1 ตัน ที่อุณหภูมิ 32 °F หมดในเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งสามารถแสดงค่าโดยการคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ค่าความร้อนแฝงของการหลอมละลายของน้ำแข็ง} &= 144 \quad \text{Btu/lb} \\ \text{ฉะนั้น การละลายน้ำแข็งหมด 1 ตัน จะต้องใช้ความร้อน} &= \frac{2000 \times 144}{24} \quad \text{Btu/h} \\ &= 12,000 \quad \text{Btu/h} \end{aligned}$$

หรือสรุปได้ว่า จะให้น้ำแข็งละลายหมดก่อน บริเวณรอบ ๆ จะต้องส่งความร้อนให้กับน้ำแข็งคิดเป็นปริมาณความร้อน = 12,000 Btu/h หรือก็คือปริมาณนั้นจะเกิดความร้อนขึ้นคิดเป็นค่า = 12,000 Btu/h และเราเรียกขนาดความเย็นที่เกิดขึ้นนี้ว่า ความเย็นขนาด 1 ตัน

สัมประสิทธิ์สมรรถนะ, COP (Coefficient of performance) คือค่าที่ใช้แสดงประสิทธิภาพของการทำความเย็น โดยเป็นค่าเปรียบเทียบระหว่างผลของความเย็นที่ได้ต้องการที่ให้กับระบบ หรือ

$$\text{COP} = \frac{\text{ความเย็นที่ได้ที่เครื่องระเหย (Refrigerating effect) (บีทียู/ชั่วโมง)}}{\text{กำลังในรูปของความร้อนที่ให้แก่คอมเพรสเซอร์ (heat of compression) (บีทียู/ชั่วโมง)}}$$

ตัวอย่างที่ 1.1 เครื่องทำความเย็นขนาด 39,000 บีทียู/ชั่วโมง ทำงานโดยใช้กำลังขับที่คอมเพรสเซอร์ 4,380 วัตต์ (1 วัตต์ = 3.413 บีทียู/ชั่วโมง)

$$\text{จาก COP} = \frac{\text{ความเย็นที่ได้}}{\text{ความร้อนที่ให้}} = \frac{39000 (\text{บีทียู/ชั่วโมง})}{4380 (\text{วัตต์}) \times 3.413 (\text{บีทียู/ชั่วโมง.วัตต์})}$$

จะได้ COP = 2.6

ประสิทธิภาพการให้ความเย็น EER (energy efficiency ratio) เป็นค่าแสดงอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องทำความเย็น ซึ่งใช้อ้างอิงเพื่อเปรียบเทียบความสิ้นเปลืองพลังงานของเครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศ ปัจจุบันในประเทศไทยโดยศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (ศท.) ซึ่งมีฐานะเป็นกองสังกัดสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) กระทรวงอุตสาหกรรม มีการทดสอบเพื่อรับรองมาตรฐานของเครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศจากค่า EER ซึ่งมีหน่วยเป็นบีทียู/ชั่วโมง • วัตต์ ในระบบอังกฤษ หรือเป็นวัตต์/วัตต์ (ไม่มีหน่วย) ในระบบ SI โดยสัดส่วนดังกล่าวยังมีค่าสูงจะยิ่งแสดงถึงการประหยัดพลังงาน โดยมีการกำหนดระดับแสดงประสิทธิภาพออกเป็น 5 ระดับ ตัวอย่างที่ใช้สำหรับกำหนดระดับประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศจะกำหนดเป็นมาตรฐานไว้ดังนี้

ระดับ (เบอร์)	ระดับประสิทธิภาพ	ค่า EER (บีทียู/ชั่วโมง • วัตต์)	ค่ากิโลวัตต์/ตัน
1	ต่ำ	≥ 6.6	≤ 1.82
2	พอใช้	≥ 7.6	≤ 1.58
3	ปานกลาง	≥ 8.6	≤ 1.40
4	ดี	≥ 9.6	≤ 1.25
5	ดีมาก	≥ 11	≤ 1.13

ค่าประสิทธิภาพขั้นต่ำของเครื่องปรับอากาศสำหรับประเทศไทย กำหนดค่า EER ตั้งแต่ 8.6 (ระดับ 3) ขึ้นไป

$$\text{การหาค่า EER} = \frac{\text{ความเย็นที่ได้ (cooling output) (บีทียู/ชั่วโมง)}}{\text{กำลังงานที่ใช้ (power input) (วัตต์)}}$$

ตัวอย่างที่ 1.2 ทดลองหาค่า EER ของเครื่องปรับอากาศขนาด 39,000 บีทียู/ชั่วโมง ซึ่งทำงานโดยใช้กำลังขับขนาด 4,380 วัตต์

$$\text{จาก EER} = \frac{\text{ความเย็นที่ได้}}{\text{กำลังงานที่ใช้}} = \frac{39000 (\text{บีทียู/ชั่วโมง})}{4380 (\text{วัตต์})}$$

จะได้ EER = 8.9 ระดับประสิทธิภาพปานกลาง (ระดับ 3)

## 2.2 ระบบต่าง ๆ ในการทำความเย็น

### 2.2.1 ระบบต่าง ๆ ในการทำความเย็น (Refrigeration system)

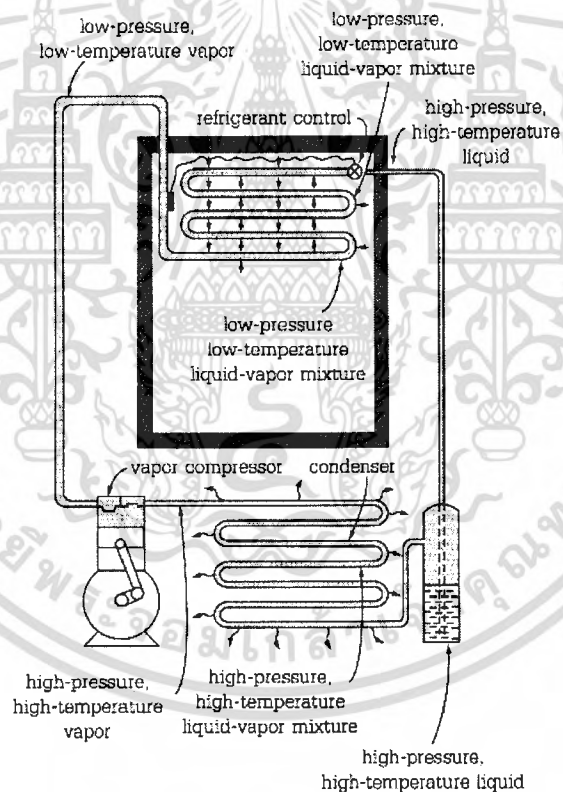
ในเครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศที่มีใช้อยู่ทั่วไปอาจจะทำงานโดยอาศัยระบบทำความเย็นระบบใดระบบหนึ่งดังนี้

1. ระบบใช้กลไก (Mechanical) เป็นระบบที่สร้างความเป็นเย็นขึ้นโดยอาศัยการทำงานของกลไกต่าง ๆ เป็นที่นิยมแพร่หลายที่สุด ซึ่งเรียกกันทั่วไปว่า การทำความเย็นแบบอัดไอ (Vapor compression)

2. ระบบไม่ใช้กลไก (Nonmechanical) เป็นระบบที่สร้างหรือทำความเย็นให้เกิดขึ้นโดยไม่ต้องอาศัยการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนหรือกลไกใด ๆ การทำความเย็นระบบนี้ที่มีใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ การทำความเย็นแบบดูดซึม (Absorbtion) แบบใช้ไอน้ำ (Steam jet) และแบบใช้การขยายตัวของอากาศ (Air expansion)

### 2.2.2 ระบบการทำความเย็นแบบอัดไอ (Vapor compression)

ระบบอัดไอเป็นระบบที่ทำให้เกิดความเย็นขึ้นได้โดยอาศัยการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ร่วมกัน ดังรูป



รูปที่ 2-1 แสดงวงจรการทำงานจากระบบทำความเย็นแบบอัดไอ

(Dossat,R,J.,หน้า 91)

### หน้าที่และการทำงานของอุปกรณ์ในระบบการทำความเย็นแบบอัดไอ

1. คอมเพรสเซอร์ (compressor) ทำหน้าที่ดูดน้ำยาในสภาพที่เป็นไอจากเครื่องระเหย และอัดให้มีความดันสูงขึ้นจนสามารถควบแน่นได้ที่คอนเดนเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. คอนเดนเซอร์ (condenser) ทำหน้าที่ระบายความร้อนออกจากน้ำยาเพื่อควบแน่นเป็นของเหลว และส่งเข้ารีซีฟเวอร์

3. รีซีฟเวอร์ (receiver) ทำหน้าที่สะสมของเหลวที่ออกจากคอนเดนเซอร์เพื่อจ่ายให้แก่เครื่อง ระบายไต้ตลอดเวลาในการทำงาน

4. ลิ้นลวดความดัน (expansion valve หรือ refrigerant control) ทำหน้าที่ลดความดันของน้ำยาที่ออก จากคอนเดนเซอร์ เพื่อจ่ายให้กับเครื่องระเหย

5. เครื่องระเหย (evaporator) ทำหน้าที่ดูดความร้อนออกจากบริเวณรอบ ๆ เพื่อทำให้น้ำยาเปลี่ยน สถานะเป็นไอและทำให้บริเวณใกล้เคียงเกิดความเย็นขึ้น

### การทำงานของวงจรทำความเย็นแบบอัดไอ

การทำงานของวงจรทำความเย็นแบบอัดไออาศัยสารทำความเย็น (refrigerant) ซึ่งมีหลาย ชนิด แต่ทุกชนิดจะต้องมีคุณสมบัติเบื้องต้นเหมือนกันคือ สามารถเปลี่ยนสถานะได้ง่าย เช่น ที่นิยมใช้กัน ทั่วไปคือ R-12, R-22 หรือ R-134a ซึ่งเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นไอได้ที่อุณหภูมิ  $-21.6^{\circ}\text{F}$  ( $-29.8^{\circ}\text{C}$ ),  $-41.4^{\circ}\text{F}$  ( $-40.8^{\circ}\text{C}$ ) และ  $-15.1^{\circ}\text{F}$  ( $-26.2^{\circ}\text{C}$ ) ตามลำดับ ภายใต้ความดันบรรยากาศ

การทำงานเริ่มที่คอมเพรสเซอร์จะดูดน้ำยาในสภาพที่เป็นไอจากเครื่องระเหยเข้าทางด้านดูด (suction) ของคอมเพรสเซอร์ และอัดออกให้มีความดันสูงขึ้นและส่งออกทางด้านส่ง (discharge) ของ คอมเพรสเซอร์เข้าคอนเดนเซอร์

น้ำยาภายใต้อุณหภูมิและความดันสูงนี้ เมื่อผ่านคอนเดนเซอร์จะถูกระบายความร้อนออกจนถึง จุดควบแน่น น้ำยาจะเปลี่ยนสถานะจากไอไปเป็นของเหลวตกลงด้านล่างของคอนเดนเซอร์และถูกส่งไป เข้ารีซีฟเวอร์

น้ำยาในสภาพที่เป็นของเหลวในรีซีฟเวอร์จะถูกส่งผ่านลิ้นลวดความดันทำให้น้ำยาเกิดการ ขยายตัว ความดันจะลดลงจนน้ำยาไม่สามารถคงสถานะเดิม (ของเหลว) จึงเปลี่ยนเป็นไอ

การเปลี่ยนสถานะของน้ำยาจากของเหลวเป็นไอขณะออกจากลิ้นลวดความดันและตลอดช่วงที่ ผ่านเครื่องระเหยนี้ จะทำให้เกิดความเย็นขึ้นเนื่องจากของเหลวจะดูดความร้อนออกจากบริเวณรอบ ๆ ไป ใช้เป็นความร้อนแฝงในการเปลี่ยนสถานะ ทำให้อุณหภูมิรอบ ๆ เครื่องระเหยเกิดความเย็นขึ้น

เมื่อน้ำยาผ่านเครื่องระเหยจะเปลี่ยนสถานะเป็นไอหมดและถูกคอมเพรสเซอร์ดูดและอัดให้มี ความดันสูงขึ้นและถูกส่งไปใช้งานในวงจร หมุนเวียนเช่นนี้ตลอดไปโดยน้ำยาจะไม่สูญหาย จึงไม่ จำเป็นต้องเติมน้ำยาเพิ่มเข้าไปในระบบอีก ถ้าไม่มีจุดที่น้ำยารั่วออกมาได้

## 2.3 วัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไอ

### 2.3.1 วัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไอ (vapor compression-refrigeration cycle)

วัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไอ มีการทำงานเบื้องต้นซึ่งประกอบด้วย 4 กระบวนการหลัก คือ กระบวนการอัด (compression process) โดยคอมเพรสเซอร์ กระบวนการควบแน่น (condensing process) โดยคอนเดนเซอร์ กระบวนการขยายตัว (expansion process) โดยลิ้นลดความดันหรืออุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหล และกระบวนการกลายเป็นไอ (vaporizing process) โดยเครื่องระเหย

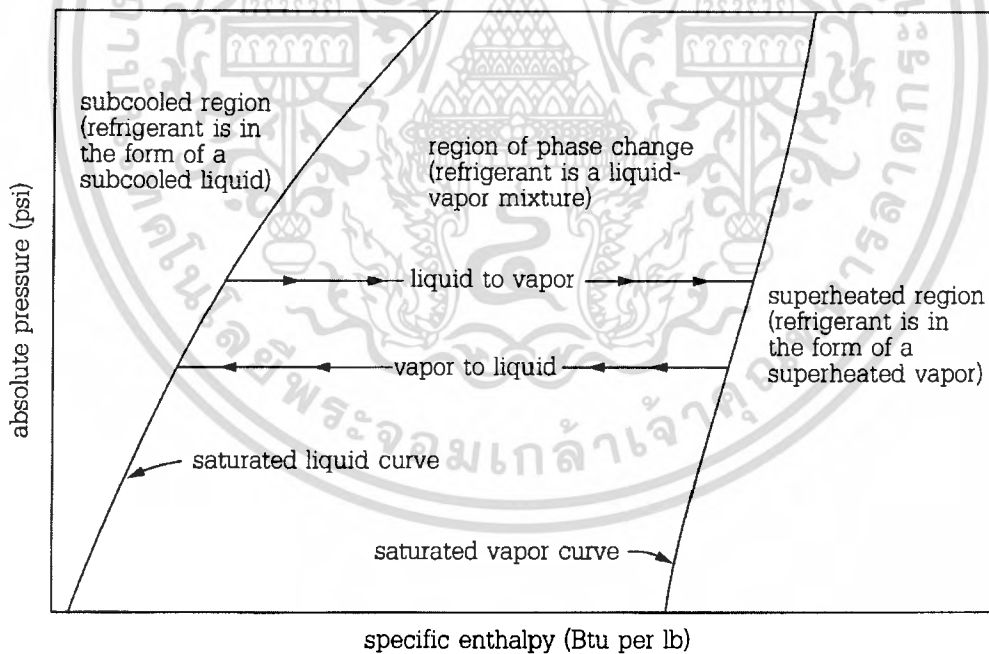
ในการศึกษาวัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไอวิธีหนึ่งคือ การแทนการทำงานของกระบวนการต่าง ๆ ลงในแผนภาพมอลเลียร์ (mollier diagram) หรือแผนภาพความดัน-เอนทัลปี (pressure-enthalpy หรือ P-h diagram)

### 2.3.2 แผนภาพมอลเลียร์ (mollier diagram)

แผนภาพมอลเลียร์ เป็นแผนภาพซึ่งสามารถแสดงสภาวะต่าง ๆ ของสารทำความเย็นในทุกสภาวะทางเทอร์โมไดนามิกส์ และทุกกระบวนการในวัฏจักรทำความเย็น

วิธีการอ่านแผนภาพมอลเลียร์ แผนภาพมอลเลียร์ประกอบด้วยเส้นบอกคุณสมบัติต่าง ๆ ของสารทำความเย็น ซึ่งสามารถแยกทำความเข้าใจรายละเอียดของเส้นต่าง ๆ ได้ดังนี้

(1) เส้นของเหลวอิ่มตัวและเส้นไออิ่มตัว (saturated liquid and saturated vapor lines) เป็นเส้นแบ่งพื้นที่ของแผนภาพมอลเลียร์ออกเป็น 3 เขต คือ



รูปที่ 2-2 แสดงเส้นของเหลวอิ่มตัวและเส้นไออิ่มตัวแบ่งพื้นที่บนแผนภาพมอลเลียร์เป็น 3 เขต

(Dossat,R,J., หน้า 104)

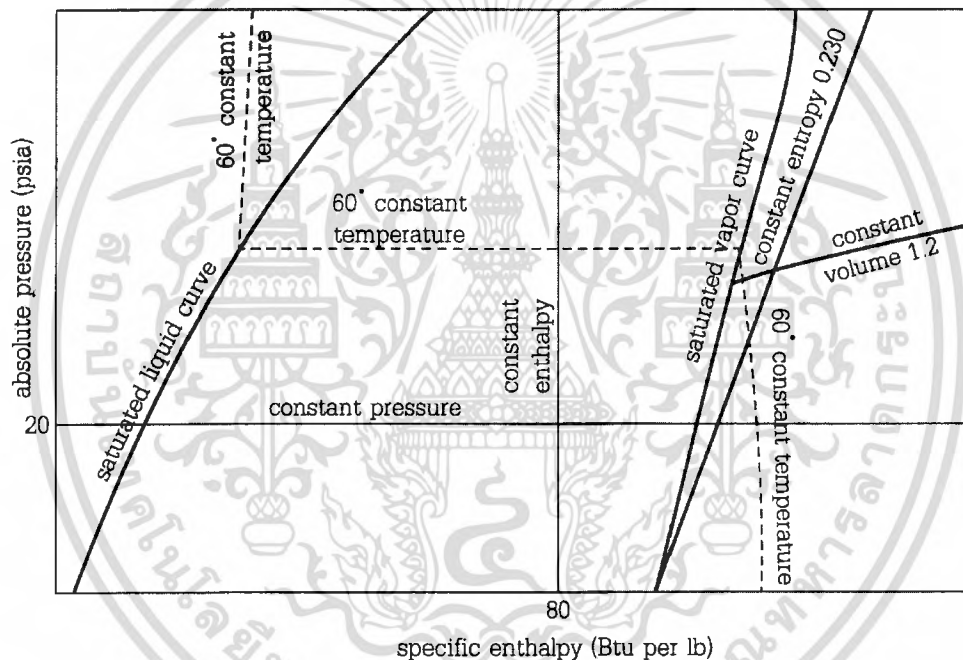
- เขตของเหลวเย็นยิ่ง (subcooled region) คือพื้นที่บริเวณด้านซ้ายของเส้นของเหลวอิ่มตัว สารทำความเย็นที่อยู่ในพื้นที่นี้จะมีสภาวะเป็นของเหลวที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดอิ่มตัว เรียกว่า ของเหลวเย็นยิ่ง (subcooled liquid)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เขตไอร้อนยวดยิ่ง (superheated region) คือพื้นที่บริเวณด้านขวาของเส้นไออิ่มตัว สารทำความเย็นในพื้นที่นี้จะมีสถานะเป็นไอที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจุดอิ่มตัว เรียกว่า ไอร้อนยวดยิ่ง หรือไอคง (superheated vapor)

- เขตเปลี่ยนสถานะ (phase change region) คือพื้นที่ระหว่างเส้นของเหลวอิ่มตัว และเส้นไออิ่มตัว สารทำความเย็นในพื้นที่นี้จะมีสถานะผสมระหว่างของเหลวและไอ (liquid-vapor mixture) หรือเป็นเขตเปลี่ยนสถานะ คือการเปลี่ยนแปลงจากด้านซ้ายไปขวาเป็นการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นไอตามกระบวนการกลายเป็นไอ (vaporization) และการเปลี่ยนแปลงจากด้านขวาไปซ้ายเป็นการเปลี่ยนสถานะจากไอเป็นของเหลวตามกระบวนการควบแน่น (condensation)

จุดที่เชื่อมต่อระหว่างเส้นของเหลวอิ่มตัวและเส้นไออิ่มตัวคือจุดวิกฤต (critical point) ซึ่งเป็นจุดที่สารทำความเย็นจะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวอิ่มตัวไปเป็นไอร้อนยวดยิ่ง หรือจากไอร้อนยวดยิ่งไปเป็นของเหลวอิ่มตัวได้ทันที โดยไม่ต้องผ่านช่วง liquid-vapor mixture



รูปที่ 2-3 แสดงเส้นคุณสมบัติต่าง ๆ ของสารทำความเย็นบนแผนภาพอุณหภูมิ

(Dossat,R,J., หน้า 104)

(2) เส้นความดันคงที่และเส้นเอนทัลปีคงที่ (constant pressure and constant enthalpy lines) เส้นความดันคงที่คือกลุ่มของเส้นตรงในแนวระดับ รายงานเป็นความดันสัมบูรณ์ (absolute pressure) มีหน่วยเป็น psia, kg/cm<sup>2</sup> abs หรือ bar ส่วนเส้นเอนทัลปีคงที่คือกลุ่มของเส้นตรงในแนวตั้ง รายงานเป็นค่าปริมาณความร้อนที่มีอยู่ในสารทำความเย็นต่อ 1 หน่วยมวล มีหน่วยเป็น Btu/lb, kcal/kg หรือ kJ/kg

(3) เส้นความแห้งคงที่ (constant dryness lines - x) คือเส้นซึ่งลากจากจุดวิกฤตลงมาด้านล่างอยู่ระหว่างเส้นของเหลวอิ่มตัวและเส้นไออิ่มตัว เป็นเส้นที่บอกเปอร์เซ็นต์ของสารทำความเย็นส่วนที่เป็นไอ (โดยน้ำหนัก) เช่น เส้น  $x = 0.1$  หมายความว่า มีสารทำความเย็นส่วนที่เป็นไอคิดเป็นน้ำหนัก 10% และส่วนที่เป็นของเหลว 90%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(4) เส้นอุณหภูมิคงที่ (constant temperature lines) คือเส้นที่อยู่ในแนวเกือบขนานกับเส้นเอนทัลปี เมื่ออยู่ในเขตของเหลวเย็นยิ่ง เป็นเส้นตรงขนานกับเส้นความดันเมื่ออยู่ในเขตเปลี่ยนสถานะและจะเปลี่ยนเป็นเส้นโค้งลงทางด้านล่างเมื่ออยู่ในเขตไอร้อนยวดยิ่ง มีหน่วยเป็น °F หรือ °C

(5) เส้นเอนโทรปีคงที่ (constant entropy lines) คือเส้นโค้งซึ่งเอียงขึ้นเป็นมุมสูง อยู่ในเขตไอร้อนยวดยิ่ง เป็นเส้นบอกอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าเอนทัลปีต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง 1 องศา มีหน่วยเป็น Btu/lb R, kcal/kg K หรือ kJ/kg K

(6) เส้นปริมาตรจำเพาะคงที่ (constant specific volume lines) คือเส้นโค้งที่เอียงขึ้นเป็นมุมใกล้เคียงกับแนวอนอยู่ในเขตไอร้อนยวดยิ่ง เป็นเส้นที่บอกค่าของปริมาตรของสารทำความเย็นต่อ 1 หน่วยของมวล มีหน่วยเป็น ft<sup>3</sup>/lb, m<sup>3</sup>/kg

(7) ในกรณีที่เราไม่สามารถอ่านค่าจากแผนภาพมอลเลอร์ได้ เช่น บริเวณเขตเปลี่ยนสถานะ ถ้าต้องการหาค่าปริมาตรจำเพาะและเอนโทรปีจะต้องหาค่าโดยการคำนวณ

$$\text{จากสมการ ปริมาตรจำเพาะ} \quad v_m = (x \times v_g) + (y \times v_f) \quad (\text{ft}^3/\text{lb}) \quad (2.1)$$

$$\text{เมื่อ} \quad v_m = \text{ปริมาตรจำเพาะในช่วงเปลี่ยนสถานะ} \quad (\text{ft}^3/\text{lb})$$

$$v_g = \text{ปริมาตรจำเพาะของไออิ่มตัว} \quad (\text{ft}^3/\text{lb})$$

$$v_f = \text{ปริมาตรจำเพาะของของเหลวอิ่มตัว} \quad (\text{ft}^3/\text{lb})$$

$$x = \text{สารทำความเย็นส่วนที่เป็นไอ}$$

$$y = \text{สารทำความเย็นส่วนที่เป็นของเหลว}$$

$$\text{จากสมการ เอนโทรปี} \quad s_m = (x \times s_g) + (y \times s_f) \quad (\text{Btu/lb } ^\circ\text{F}) \quad (2.2)$$

$$\text{เมื่อ} \quad s_m = \text{เอนโทรปีในช่วงเปลี่ยนสถานะ} \quad (\text{Btu/lb } ^\circ\text{F})$$

$$s_g = \text{เอนโทรปีของไออิ่มตัว} \quad (\text{Btu/lb } ^\circ\text{F})$$

$$s_f = \text{เอนโทรปีของของเหลวอิ่มตัว} \quad (\text{Btu/lb } ^\circ\text{F})$$

ตัวอย่างที่ 2.1 จงคำนวณหาปริมาตรจำเพาะและเอนโทรปีของสารทำความเย็น R-134a ขณะที่ออกจากถังลดความดัน โดยสารทำความเย็นเปลี่ยนสถานะเป็นไอ 15% อุณหภูมิที่จุดเดือด 20 °F

$$\text{จากสมการ (2.1) ปริมาตรจำเพาะ} \quad v_m = (x \times v_g) + (y \times v_f)$$

$$\text{จากตารางคุณสมบัติ} \quad v_g = 1.401 \quad (\text{ft}^3/\text{lb})$$

$$v_f = \frac{1}{82.208} = 0.012 \quad (\text{ft}^3/\text{lb})$$

$$x = 15\% = 0.15$$

$$y = 85\% = 0.85$$

$$v_m = (0.15 \times 1.401) + (0.85 \times 0.012)$$

$$\text{ปริมาตรจำเพาะ} = 0.220 \quad (\text{ft}^3/\text{lb})$$

$$\text{จากสมการ (2.2) เอนโทรปี} \quad s_m = (x \times s_g) + (y \times s_f)$$

$$\text{จากตารางคุณสมบัติ} \quad s_g = 0.220 \quad (\text{Btu/lb } ^\circ\text{F})$$

$$s_f = 0.039 \quad (\text{Btu/lb } ^\circ\text{F})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$s_m = (0.15 \times 0.22) + (0.85 \times 0.039)$$

$$\text{เอนโทรปี} = 0.066 \quad (\text{Btu/lb } ^\circ\text{F})$$

(8) การหาจำนวนของสารทำความเย็นที่เปลี่ยนสถานะเป็นไอ นอกจากอ่านค่าจากเส้นความแห้ง (x) ในแผนภาพพอลิเธอร์ ยังสามารถหาค่าด้วยวิธีคำนวณได้

$$\text{จากสมการ} \quad x = \frac{h_x - h_f}{h_g - h_f} \times 100 (\%) \quad (2.3)$$

$$\text{เมื่อ} \quad x = \text{จำนวนสารทำความเย็นส่วนที่เป็นไอ} (\%)$$

$$h_x = \text{เอนทัลปีขณะผ่านลิ้นลดความดัน (Btu/lb)}$$

$$h_g = \text{เอนทัลปีของไออิ่มตัว (Btu/lb)}$$

$$h_f = \text{เอนทัลปีของของเหลวอิ่มตัว (Btu/lb)}$$

ตัวอย่างที่ 2.2 จงหาเปอร์เซ็นต์ของสารทำความเย็น R-134a ที่เปลี่ยนสถานะเป็นไอ ขณะออกจากลิ้นลดความดันเข้าในเครื่องระเหย โดยจุดเดือดของสารทำความเย็นในเครื่องระเหยเท่ากับ  $20^\circ\text{F}$  เอนทัลปีขณะสารทำความเย็นผ่านลิ้นลดความดันเท่ากับ 44.23 Btu/lb

$$\text{จากสมการ (2.3)} \quad x = \frac{h_x - h_f}{h_g - h_f} \times 100$$

$$\text{จากตารางคุณสมบัติ} \quad h_f = 17.743$$

$$h_g = 104.614$$

$$h_x = 44.23$$

$$x = \frac{44.23 - 17.743}{104.614 - 17.743} \times 100 \%$$

$$\text{สารทำความเย็นกลายเป็นไอ} = 30.49 \%$$

ตัวอย่างที่ 2.3 จากตัวอย่างที่ 2.2 จงคำนวณหาค่าปริมาตรจำเพาะและเอนโทรปีขณะสารทำความเย็นผ่านลิ้นลดความดัน

$$\text{จากสมการ (2.1)} \quad v_m = (x \times v_g) + (y \times v_f)$$

$$\text{จากตารางคุณสมบัติ} \quad v_g = 1.401$$

$$v_f = \frac{1}{82.208} = 0.012$$

$$x = 30.49\% = 0.3049$$

$$y = 69.51\% = 0.6951$$

$$v_m = (0.3049 \times 1.401) + (0.6951 \times 0.012)$$

$$\text{ปริมาตรจำเพาะ} = 0.436 \quad (\text{ft}^3/\text{lb})$$

$$\text{จากสมการ (2.2)} \quad s_m = (x \times s_g) + (y \times s_f)$$

$$\text{จากตารางคุณสมบัติ} \quad s_g = 0.2205 \quad (\text{Btu/lb } ^\circ\text{F})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

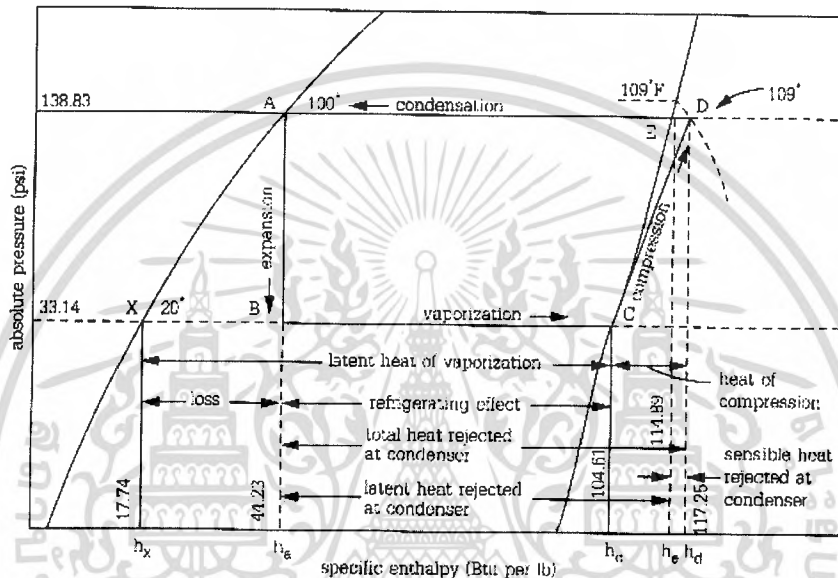
$$s_f = 0.0393 \quad (\text{Btu/lb } ^\circ\text{F})$$

$$s_m = (0.3049 \times 0.2205) + (0.6951 \times 0.0393)$$

$$\text{เอนโทรปี} = 0.0946 \quad (\text{Btu/lb } ^\circ\text{F})$$

### 2.3.3 วงจรทำความเย็นทางทฤษฎี (simple saturated refrigerating cycle)

เป็นวงจรทำความเย็นที่ใช้สำหรับศึกษาการทำงานของระบบทำความเย็น โดยกำหนดให้สารทำความเย็นที่ผ่านอุปกรณ์หลักในระบบอยู่ในสภาวะอิ่มตัว เช่น ของเหลวที่ผ่านคอนเดนเซอร์จะมีสภาวะเป็นของเหลวอิ่มตัว (saturated liquid) และไอที่ออกมาจากเครื่องระเหยจะเป็นไออิ่มตัว (saturated vapor) ซึ่งเป็นไปตามหลักการทำงานเบื้องต้นของระบบทำความเย็น



รูปที่ 2-4 แสดงวงจรทำความเย็นทางทฤษฎีที่เขียนลงบนแผนภาพมอลเดียร์ (R-134a)

(Dossat, R.J., หน้า 105)

ตัวอย่างวงจรทำความเย็นทางทฤษฎีที่เขียนลงในแผนภาพมอลเดียร์ โดยสารทำความเย็นชนิด R-134a ทำงานที่อุณหภูมิกลายเป็นไอ 20 °F และอุณหภูมิควบแน่น 100 °F ซึ่งการทำงานตลอดวงจร สารทำความเย็นจะเปลี่ยนแปลงไปตามกระบวนการต่าง ๆ ดังนี้

#### กระบวนการขยายตัว (expansion process)

กระบวนการขยายตัวเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นจากการทำงานของลิ้นลดความดัน (ช่วง A-B) โดยเริ่มจากสารทำความเย็นที่มีสภาวะเป็นของเหลวอิ่มตัวจากคอนเดนเซอร์ถูกส่งผ่านลิ้นลดความดันเพื่อลดความดันหรือขยายตัวตาม adiabatic expansion คือ ไม่มีการเพิ่มหรือลดความร้อนให้กับสารทำความเย็นหรือไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเอนทัลปี แต่จากผลของการลดความดันจะทำให้สารทำความเย็นส่วนหนึ่งเปลี่ยนสถานะเป็นไอ โดยยังไม่เกิดความเย็นขึ้น

เราสามารถอ่านค่าหรือหาคุณสมบัติต่าง ๆ ของสารทำความเย็นตามกระบวนการขยายตัวได้โดยอ่านจากแผนภาพมอลเดียร์หรือตารางคุณสมบัติของสารทำความเย็น

จากตารางคุณสมบัติของเหลวอิ่มตัวและไออิ่มตัวของ R-134a

ที่จุด A จะได้  $P_A = 138.83 \text{ psia}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	$T_A$	=	100	°F (อุณหภูมิความดัน)
	$h_A$	=	44.23	Btu/lb
	$S_A$	=	0.0898	Btu/lb °F
	$v_A$	=	0.014	ft <sup>3</sup> /lb
ที่จุด B จะได้	$P_B$	=	33.14	psia
	$T_B$	=	20	°F (อุณหภูมิความดัน)
	$h_B$	=	44.23	Btu/lb
จากสมการ (2.2)	$S_B$	=	0.0946	Btu/lb °F
จากสมการ (2.1)	$v_B$	=	0.436	ft <sup>3</sup> /lb

### กระบวนการกลายเป็นไอ (vaporizing process)

กระบวนการกลายเป็นไอเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเมื่อสารทำความเย็นผ่านเครื่องระเหย (ช่วง B-C) ซึ่งจะมีการดูดความร้อนออกจากระบบทำให้สารทำความเย็นเปลี่ยนสถานะเป็นไอ ตามกระบวนการอุณหภูมิและความดันคงที่ (Isothermal and Isobaric process) สารทำความเย็นที่ออกจากเครื่องระเหยจะเปลี่ยนสถานะเป็นไออิ่มตัว โดยมีคุณสมบัติต่าง ๆ (ที่จุด C) ดังนี้

$P_C$	=	33.14	psia
$T_C$	=	20	°F (อุณหภูมิความดัน)
$h_C$	=	104.61	Btu/lb
$v_C$	=	1.401	ft <sup>3</sup> /lb
$S_C$	=	0.2204	Btu/lb °F

กระบวนการกลายเป็นไอเป็นกระบวนการสร้างความเย็นให้กับระบบโดยการทำงานของเครื่องระเหยโดยผลของความเย็นที่เกิดขึ้น (refrigerating effect - R.E.) มีค่าดังนี้

$$R.E. = Q_{\text{evap}} = h_C - h_B = 104.61 - 44.23 = 60.38 \text{ Btu/lb}$$

ช่วง X-B เป็นช่วงที่สารทำความเย็นส่วนหนึ่งกลายเป็นไอ ซึ่งเป็นช่วงสูญเสียสารทำความเย็นเหลวไปโดยไม่ได้ทำให้เกิดความเย็นขึ้นเลย เราเรียกการทำงานช่วงนี้ว่า loss of refrigerating effect

### กระบวนการของการอัดตัว (compression process)

กระบวนการของการอัดตัวเกิดขึ้นจากการทำงานของคอมเพรสเซอร์ โดยไออิ่มตัวจากเครื่องระเหยจะถูกคอมเพรสเซอร์อัดให้มีความดันสูงขึ้น (ช่วง C - D) ตามกระบวนการไอเซนโทรปิก (constant entropy) หรือเอเดียติกแบบไม่มีความเสียด (frictionless adiabatic process) โดยมีคุณสมบัติต่าง ๆ (ที่จุด D) ดังนี้

$P_D$	=	138.83	psia
$T_D$	=	109	°F (อุณหภูมิความดัน)
$h_D$	=	117.25	Btu/lb
$S_D$	=	0.2204	Btu/lb °F
$v_D$	=	0.358	ft <sup>3</sup> /lb

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลจากการทำงานของคอมเพรสเซอร์ นอกจากจะทำให้ความดันของสารทำความเย็นในระบบเพิ่มสูงขึ้น ยังเป็นผลให้ค่าเอนทัลปีเพิ่มขึ้นเท่ากับปริมาณความร้อนที่เทียบเท่ากับพลังงานกลที่ทำการอัดไอ เราเรียกผลของความร้อนที่เกิดจากการอัดของคอมเพรสเซอร์ว่า ความร้อนจากการอัด (heat of compression)

$$\begin{aligned} Q_{\text{comp}} &= h_D - h_C \\ &= 117.25 - 104.61 \\ &= 12.64 \text{ Btu/lb} \end{aligned}$$

### กระบวนการควบแน่น (condensing process)

กระบวนการควบแน่น เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเมื่อสารทำความเย็นผ่านคอนเดนเซอร์ โดยในช่วงแรกจะระบายความร้อนออกเพื่อลดอุณหภูมิสารทำความเย็น ทำให้สารทำความเย็นจากสถานะไอร้อนยวดยิ่งเปลี่ยนเป็นไออิ่มตัวก่อน (ช่วง D-E) จากนั้นจึงควบแน่นจนเป็นของเหลวอิ่มตัวที่จุด A นั่นคือคอนเดนเซอร์ทำหน้าที่ลดความร้อนสัมผัส (sensible heat) ในช่วง D-E และลดความร้อนแฝง (latent heat) ในช่วง E-A สารทำความเย็นในสถานะของเหลวอิ่มตัวที่ได้จะถูกส่งผ่านลิ้นลดความดันหมุนเวียนไปใช้ในระบบต่อไป โดยขณะสารทำความเย็นลดอุณหภูมิเป็นไออิ่มตัวที่จุด E จะมีคุณสมบัติต่าง ๆ ดังนี้

$$\begin{aligned} P_E &= 138.83 \text{ psia} \\ T_E &= 100 \text{ }^\circ\text{F (อุณหภูมิควบแน่น)} \\ h_E &= 114.89 \text{ Btu/lb} \\ S_E &= 0.216 \text{ Btu/lb }^\circ\text{F} \\ v_E &= 0.339 \text{ ft}^3/\text{lb} \end{aligned}$$

สรุป ปริมาณความร้อนที่ระบายออกที่คอนเดนเซอร์มีค่า  $= Q_{\text{cond}}$

$$\begin{aligned} Q_{\text{cond}} &= h_D - h_A \\ &= 117.25 - 44.23 \\ &= 73.02 \text{ Btu/lb} \end{aligned}$$

$$\text{หรือ } Q_{\text{cond}} = Q_{\text{evap}} + Q_{\text{comp}}$$

### 2.3.4 การประยุกต์ใช้แผนภาพมอลเลียร์

เราสามารถอาศัยค่าที่อ่านได้จากแผนภาพมอลเลียร์ในการศึกษารายละเอียดการทำงาน การเปรียบเทียบการทำงาน ตลอดจนการหาประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นในลักษณะต่าง ๆ ได้

#### การเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานกล (mechanical energy equivalent)

เราสามารถเปลี่ยนแปลงค่าพลังงานความร้อนที่ได้จากแผนภาพมอลเลียร์ไปเป็นพลังงานกลได้ โดยผลจากการทดลอง พลังงานความร้อน (heat energy) 1 Btu มีค่าเท่ากับพลังงานกล (mechanical energy) 778 ft-lb ซึ่งสามารถเขียนแทนด้วยสมการดังนี้

$$\begin{aligned} Q &= \frac{W}{J} \\ \text{เมื่อ } Q &= \text{พลังงานความร้อน เป็น Btu} \\ W &= \text{พลังงานกล เป็น ft-lb} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$J = \text{ค่าเปรียบเทียบระหว่างพลังงานกลต่อพลังงานความร้อน} \\ = 778 \text{ ft-lb/Btu}$$

ในกรณีที่เป็นหน่วย SI ค่าพลังงานทุกชนิดจะใช้เป็นหน่วยเดียวกัน คือจูล (Joule -J) โดยพลังงาน 1 J คืองาน หรือพลังงานที่ใช้ในการทำให้มวล 1 kg เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว 1 m/s<sup>2</sup> เป็นระยะทาง 1 m หรืองาน 1 J คืองานที่ได้จากแรง 1 N กระทำให้วัตถุเคลื่อนที่เป็นระยะทาง 1 m (1 J = 1 Nm)

### อัตราการไหลของสารทำความเย็นที่ไหลเวียนในระบบ – m (flow rate of refrigerant circulated)

อัตราการไหลของสารทำความเย็นที่ไหลเวียนในระบบ หาได้จากสมการ

$$m = \frac{Q}{q_{\text{evap}}} \frac{\text{lb}}{\text{min}}$$

โดย  $Q = \text{ขนาดเครื่องทำความเย็น} \frac{\text{Btu}}{\text{min}}$

$$q_{\text{evap}} = \text{ปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านเครื่องระเหย} \frac{\text{Btu}}{\text{lb}}$$

จากตัวอย่างที่ 2.2

$$q_{\text{evap}} = 60.38 \text{ Btu/lb}$$

เครื่องทำความเย็นขนาด 1 TR = 200 Btu/min

$$\therefore \text{อัตราการไหลของสารทำความเย็น } m = \frac{200}{60.38} = 3.31 \frac{\text{lb}}{\text{min}}$$

### สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น – COP (coefficient of performance)

สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น หมายถึงอัตราส่วนระหว่างปริมาณความร้อนที่สารทำความเย็นดูดซับไว้ที่เครื่องระเหยกับพลังงานที่ใช้ในการขับที่คอมเพรสเซอร์ ซึ่งพิจารณาจากแผนภาพมอลเลอร์และเขียนเป็นสมการแทนได้ดังนี้

$$\text{COP} = \frac{\text{refrigerating effect}}{\text{heat of compression}} \\ = \frac{q_{\text{evap}}}{q_{\text{comp}}} = \frac{-h_c - h_b}{-h_d - h_c}$$

จากตัวอย่าง ค่า  $\text{COP} = \frac{60.38}{12.64} = 4.78$

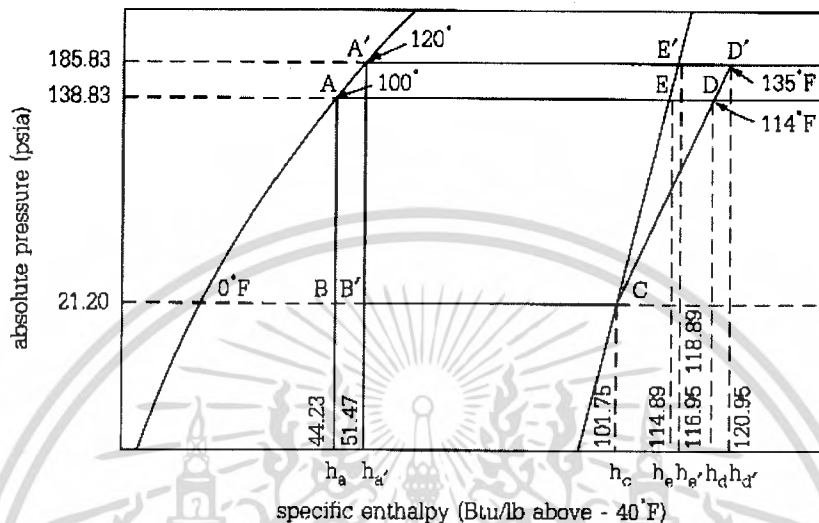
### 2.3.5 ผลของอุณหภูมิด้านดูดต่อประสิทธิภาพของวัฏจักรทำความเย็น (effect of suction temperature on cycle efficiency)

การปรับอุณหภูมิด้านดูดหรืออุณหภูมิกลายเป็นไอและอุณหภูมิควบแน่นมีผลต่อประสิทธิภาพของวัฏจักรทำความเย็น ซึ่งสามารถพิจารณาค่าเปรียบเทียบผลการทำงานที่เกิดขึ้น โดยอาศัยแผนภาพมอลเลอร์ดังรูป



**2.3.6 ผลของอุณหภูมิควบแน่นต่อประสิทธิภาพของวัฏจักรทำความเย็น (effect of condensing temperature on cycle efficiency)**

การปรับอุณหภูมิควบแน่นของสารทำความเย็นในคอนเดนเซอร์มีผลต่อประสิทธิภาพของวัฏจักรทำความเย็น ซึ่งสามารถพิจารณาค่าเปรียบเทียบกับผลการทำงานที่เกิดขึ้น โดยอาศัยแผนภาพมอลเลียร์ดังรูป



**รูปที่ 2-6 แสดงการเปรียบเทียบวัฏจักรทำความเย็นที่อุณหภูมิควบแน่น 100 °F และ 120 °F (R-134a)**

(Dossat,R.J., หน้า 112)

พิจารณาวัฏจักร A, B, C, D และ E มีอุณหภูมิกลายเป็นไอ 100 °F อุณหภูมิควบแน่น 0 °F

วัฏจักร A, B', C', D' และ E' มีอุณหภูมิกลายเป็นไอ 120 °F อุณหภูมิควบแน่น 0 °F

การเปรียบเทียบผลการทำงานที่ได้จากวัฏจักรทั้งสอง

วัฏจักรที่มีอุณหภูมิควบแน่น 100 °F

$$\begin{aligned}
 q_{\text{evap}} &= h_C - h_B = 57.52 && \text{Btu/lb} \\
 q_{\text{comp}} &= h_D - h_C = 16.64 && \text{Btu/lb} \\
 q_{\text{cond}} &= h_D - h_A = 74.16 && \text{Btu/lb} \\
 \text{COP} &= \frac{q_{\text{evap}}}{q_{\text{comp}}} = 3.46
 \end{aligned}$$

วัฏจักรที่มีอุณหภูมิควบแน่น 120 °F

$$\begin{aligned}
 q_{\text{evap}} &= h_C - h_{B'} = 101.75 - 51.47 = 50.28 && \text{Btu/lb} \\
 q_{\text{comp}} &= h_{D'} - h_C = 120.95 - 101.75 = 19.20 && \text{Btu/lb} \\
 q_{\text{cond}} &= h_{D'} - h_{A'} = 120.95 - 51.47 = 69.48 && \text{Btu/lb} \\
 \text{COP} &= \frac{q_{\text{evap}}}{q_{\text{comp}}} = \frac{50.28}{19.20} = 2.62
 \end{aligned}$$

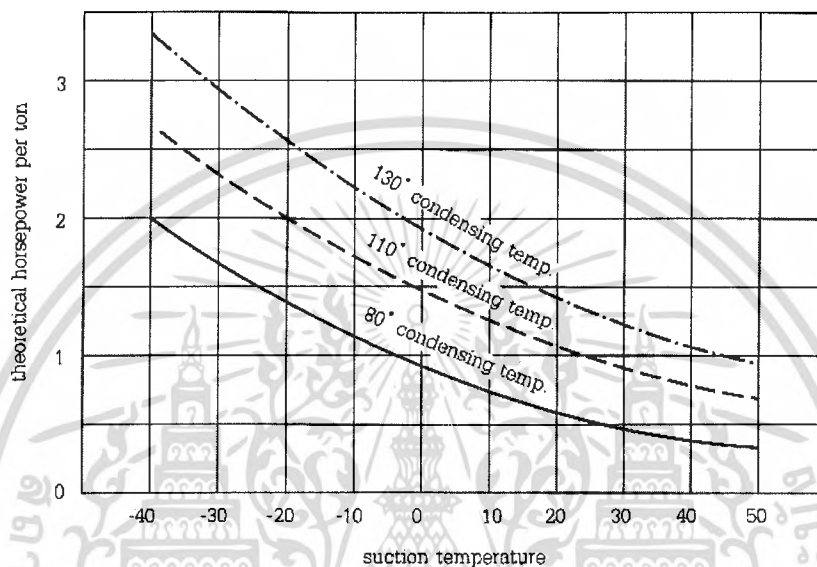
การเปรียบเทียบผลต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิควบแน่นสูงขึ้นจาก 100 °F เป็น 120 °F

$$\text{- ผลของควมเย็นที่ได้ (} q_{\text{evap}} \text{) ลดลง} = \frac{57.52 - 50.28}{57.52} \times 100 = 12.59\%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 & \text{- กำลังที่ใช้ขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์ (} q_{\text{comp}} \text{) เพิ่มขึ้น} &= \frac{19.20 - 16.64}{16.64} \times 100 = 15.4\% \\
 & \text{- ความร้อนที่ระบายออกที่คอนเดนเซอร์ (} q_{\text{cond}} \text{) ลดลง} &= \frac{74.16 - 69.48}{74.16} \times 100 = 6.3\% \\
 & \text{- ค่า COP ลดลง} &= \frac{3.46 - 2.62}{3.46} \times 100 = 24.3\%
 \end{aligned}$$

จากผลที่ได้ดังกล่าว ในการออกแบบวัฏจักรทำความเย็นให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดจะต้องอาศัยหลักการที่สำคัญทั้ง 2 กรณี ตามตัวอย่างดังกล่าว



รูปที่ 2-7 แสดงผลของอุณหภูมิควบแน่นและอุณหภูมิกลายเป็นไอกับกำลังม้าที่ใช้ต่อตันความเย็น

(Dossat, R.J., หน้า 115)

พิจารณาจากกราฟ

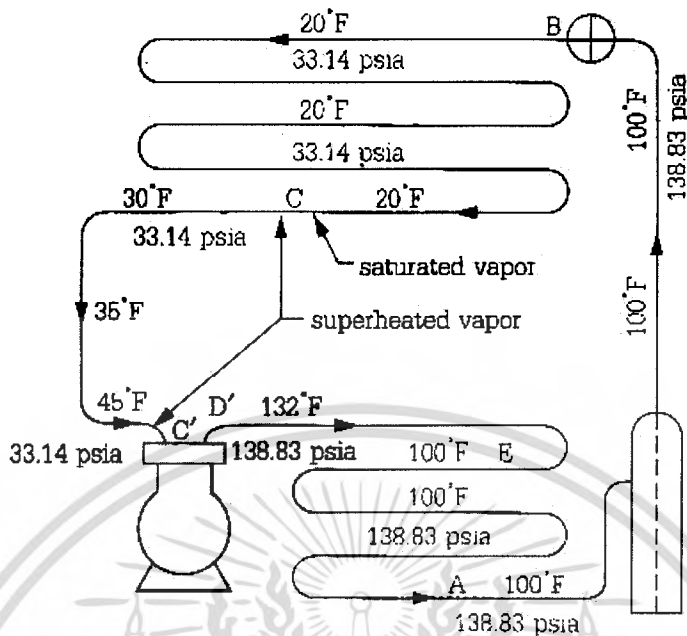
อุณหภูมิด้านดูด (suction temperature) จะต้องไม่ต่ำเกินกว่าอุณหภูมิที่ต้องการใช้งาน ซึ่งในทางปฏิบัติคือการออกแบบระบบให้มีความดันด้านดูด (suction pressure) ในเครื่องระเหยสูงที่สุด แต่ต้องให้สารทำความเย็นในเครื่องระเหยเดือด เพื่อสร้างความเย็นได้ตามระดับอุณหภูมิที่ต้องการ

อุณหภูมิควบแน่น (condensing temperature) จะต้องไม่สูงเกินค่าอุณหภูมิที่ต้องการใช้งาน ซึ่งในทางปฏิบัติคือการออกแบบระบบให้มีความดันด้านส่ง (discharge pressure) ในคอนเดนเซอร์ต่ำที่สุด แต่ต้องให้สารทำความเย็นในคอนเดนเซอร์ควบแน่นเป็นของเหลวเพื่อส่งไปใช้สร้างความเย็นต่อไปได้

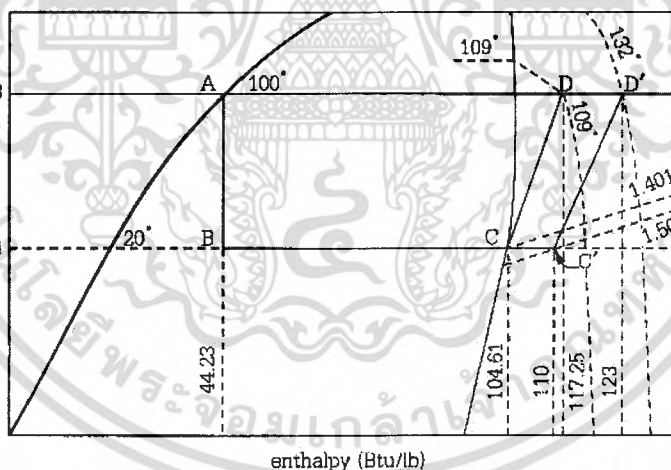
### 2.3.7 วัฏจักรการทำงานจริงของระบบทำความเย็น (actual refrigerating cycle)

วัฏจักรการทำงานจริงของระบบทำความเย็นเป็นวัฏจักรที่เกิดขึ้นในทางปฏิบัติ ซึ่งพิจารณาถึงสิ่งที่เกิดขึ้นจริงในระบบขณะทำงาน คือ พิจารณาความดันลด (pressure drop) ที่เกิดขึ้นจริงขณะสารทำความเย็นผ่านท่อและอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบ สภาวะของสารทำความเย็นที่ออกจากคอนเดนเซอร์เป็นของเหลวเย็นยิ่ง (subcooled liquid) และที่ผ่านเครื่องระเหยจะมีสภาวะเป็นไอร้อนยวดยิ่ง (superheated vapor) ซึ่งสามารถพิจารณาผลที่เกิดขึ้นเพื่อเปรียบเทียบกับวัฏจักรทำความเย็นทางทฤษฎีได้

**ผลที่เกิดขึ้นเมื่อสารทำความเย็นผ่านเครื่องระเหยในสถานะไอร้อนยวดยิ่ง**  
**(effect of superheating the suction vapor)**



**รูปที่ 2-8 แสดงการทำงานของวงจรทำความเย็นในสถานะไอร้อนยวดยิ่ง C-C' (R-134a)**  
 (Dossat,R.J., หน้า 119)



**รูปที่ 2-9 แสดงวัฏจักรทำความเย็นทางทฤษฎีเปรียบเทียบกับวัฏจักรที่มีไอร้อนยวดยิ่ง (R-134a)**  
 (Dossat,R.J., หน้า 119)

วัฏจักรที่ทำงานตามทฤษฎี (A-B-C-D)

$$\begin{aligned}
 q_{\text{evap}} &= h_C - h_B = 104.61 - 44.23 = 60.38 \text{ Btu/lb} \\
 q_{\text{comp}} &= h_D - h_C = 117.25 - 104.61 = 12.61 \text{ Btu/lb} \\
 q_{\text{cond}} &= h_D - h_A = 117.25 - 44.23 = 73.02 \text{ Btu/lb} \\
 \text{COP} &= \frac{q_{\text{evap}}}{q_{\text{comp}}} = \frac{60.38}{12.64} = 4.78
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### วัฏจักรการทำงานจริง (A-B-C'-D')

$$\begin{aligned}
 q_{\text{evap}} &= h_{C'} - h_B = 110 - 44.23 = 65.77 \text{ Btu/lb} \\
 q_{\text{comp}} &= h_{D'} - h_{C'} = 123 - 110 = 13 \text{ Btu/lb} \\
 q_{\text{cond}} &= h_{D'} - h_A = 123 - 44.23 = 78.77 \text{ Btu/lb} \\
 \text{COP} &= \frac{q_{\text{evap}}}{q_{\text{comp}}} = \frac{65.77}{13} = 5.06
 \end{aligned}$$

การเปรียบเทียบผลต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นเมื่อปรับการทำงานตามทฤษฎีเป็นการทำงานจริง

$$\text{- ผลของความเย็นที่ได้ (} q_{\text{evap}} \text{) เพิ่มขึ้น} = \frac{65.77 - 60.38}{60.38} \times 100 = 8.93\%$$

$$\text{- กำลังที่ใช้ขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์ (} q_{\text{comp}} \text{) เพิ่มขึ้น} = \frac{13 - 12.64}{12.64} \times 100 = 2.85\%$$

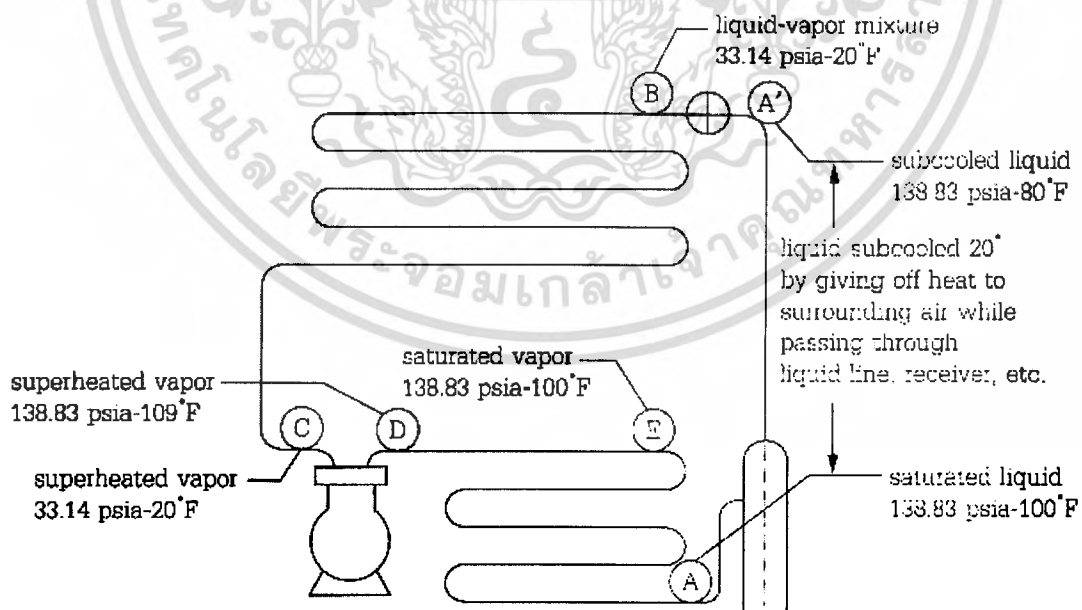
$$\text{- ความร้อนที่ระบายออกที่คอนเดนเซอร์ (} q_{\text{cond}} \text{) ลดลง} = \frac{78.77 - 73.02}{73.02} \times 100 = 7.87\%$$

$$\text{- ค่า COP ลดลง} = \frac{5.06 - 4.78}{4.78} \times 100 = 5.86\%$$

พิจารณาผลของการเกิดไอร้อนขวดขังในเครื่องระเหย ซึ่งเราอาจจะไม่ได้รับประโยชน์จากบทสรุปข้างต้นเลย ถ้าไอร้อนขวดขังเกิดขึ้นจากสารทำความเย็นรับความร้อนขณะที่ออกจากเครื่องระเหยแล้ว ในทางปฏิบัติเราจึงต้องพยายามป้องกันการส่งความร้อนให้กับสารทำความเย็นที่อยู่นอกเครื่องระเหย เช่น การใช้ฉนวนหุ้มท่อสารทำความเย็นด้านดูด การหุ้มฉนวนที่ถังพัก (accumulator) เป็นต้น

### ผลที่เกิดขึ้นเมื่อทำให้สารทำความเย็นผ่านคอนเดนเซอร์ในสถานะของเหลวเย็นยิ่ง

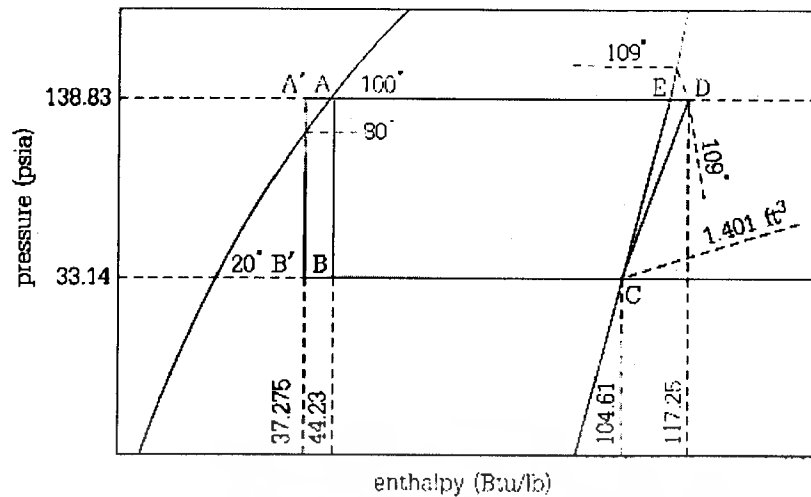
(effect of subcooling the discharge liquid)



รูปที่ 2-10 แสดงการทำงานของวงจรทำความเย็นในสถานะของเหลวเย็นยิ่งจากจุด A-A' (R-134a)

(Dossat,R.J., หน้า 125)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-11 แสดงวัฏจักรทำความเย็นทางทฤษฎี เปรียบเทียบกับวัฏจักรที่เป็นของเหลวเย็นยิ่ง (R-134a)

(Dossat, R.J., หน้า 123)

วัฏจักรที่ทำงานตามทฤษฎี (A – B – C – D)

$$\begin{aligned} q_{\text{evap}} &= 60.38 \quad \text{Btu/lb} \\ q_{\text{comp}} &= 12.64 \quad \text{Btu/lb} \\ q_{\text{cond}} &= 73.02 \quad \text{Btu/lb} \\ \text{COP} &= 4.78 \end{aligned}$$

วัฏจักรที่ทำงานตามทฤษฎี (A' – B' – C – D)

$$\begin{aligned} q_{\text{evap}} &= h_C - h_{B'} = 104.61 - 37.275 = 67.335 \quad \text{Btu/lb} \\ q_{\text{comp}} &= h_D - h_C = 117.25 - 104.61 = 12.64 \quad \text{Btu/lb} \\ q_{\text{cond}} &= h_D - h_{A'} = 117.25 - 37.275 = 79.975 \quad \text{Btu/lb} \\ \text{COP} &= \frac{q_{\text{evap}}}{q_{\text{comp}}} = \frac{67.335}{12.64} = 5.33 \end{aligned}$$

การเปรียบเทียบผลต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น เมื่อปรับการทำงานตามทฤษฎีเป็นการทำงานจริง

$$\text{- ผลของความเย็นที่ได้ (} q_{\text{evap}} \text{) เพิ่มขึ้น} = \frac{67.335 - 60.38}{60.38} \times 100 = 11.52\%$$

- กำลังที่ใช้ขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์ ( $q_{\text{comp}}$ ) เท่าเดิม

$$\text{- ความร้อนที่ระบายออกที่คอนเดนเซอร์ (} q_{\text{cond}} \text{) เพิ่มขึ้น} = \frac{79.975 - 73.02}{73.02} \times 100 = 9.5\%$$

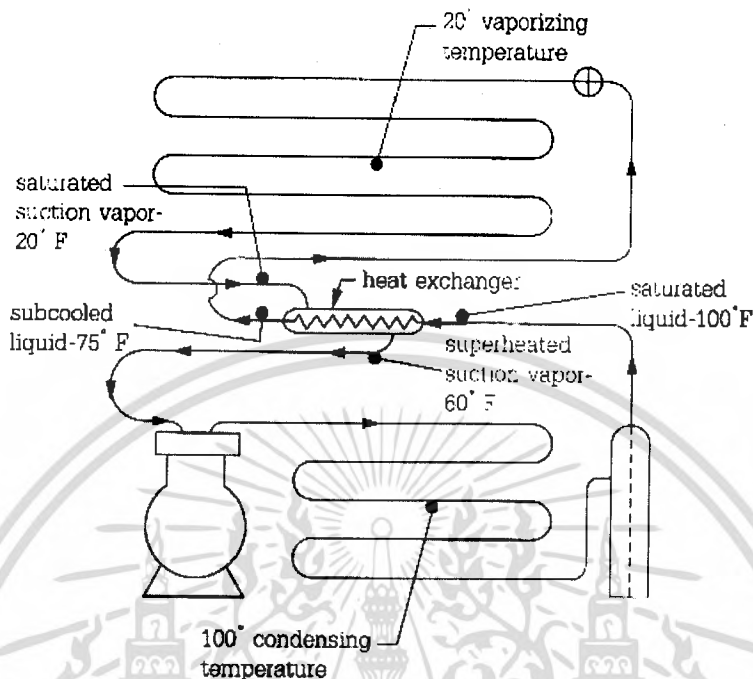
$$\text{- ค่า COP ลดลง} = \frac{5.33 - 4.78}{4.78} \times 100 = 11.5\%$$

การที่สารทำความเย็นจะอยู่ในสถานะของเหลวเย็นยิ่ง (subcooled liquid) ได้นั้นอาจเกิดขึ้นได้หลายลักษณะ เช่น อาจเกิดจากสารทำความเย็นที่ออกจากคอนเดนเซอร์แล้วระบายความร้อนให้กับบรรยากาศรอบ ๆ หรืออาจเกิดจากการลดอุณหภูมิของสารทำความเย็นโดยใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (heat exchanger) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ผลของการใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Liquid – suction heat exchangers)**

วิธีการหนึ่งในการทำให้สารทำความเย็นเหลวมีสภาวะเป็นของเหลวเย็นยิ่ง คือการให้สารทำความเย็นที่ออกจากคอนเดนเซอร์แล้วผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน รูปที่ 2-12

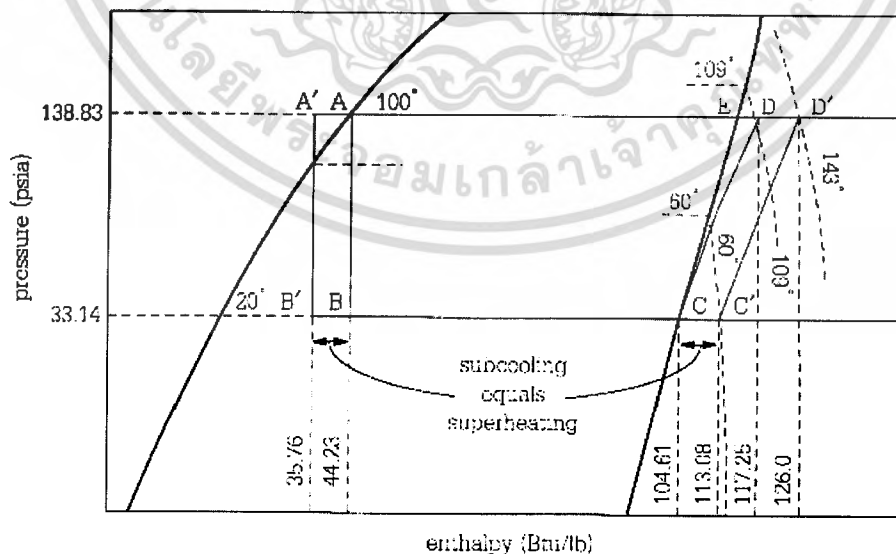


**รูปที่ 2-12 แสดงการใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในวงจรทำความเย็น**

(Dossat,R.J., หน้า 126)

การให้สารทำความเย็นเหลวที่ออกจากคอนเดนเซอร์ผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน นอกจากทำให้สารทำความเย็นมีสภาวะเป็นของเหลวเย็นยิ่ง ยังเกิดผลกับสารทำความเย็นด้านดูดด้วย คือจะทำให้เกิดไอร้อนยวดยิ่ง โดยค่าความร้อนทั้งสองด้านจะมีค่าเท่ากัน ( $B'-B = C'-C$ ) ดังแผนภาพมอลเลียร์

**รูปที่ 2-13**



**รูปที่ 2-13 แสดงผลที่เกิดขึ้นจากการใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน**

(Dossat,R.J., หน้า 126)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาผลที่เกิดขึ้นจากการใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

$$\text{- ผลของความเย็นที่ได้ (} q_{\text{evap}} \text{)} = h_c - h_b = 104.61 - 35.76 = 68.85 \text{ Btu/lb}$$

$$\text{- กำลังที่ใช้ขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์ (} q_{\text{comp}} \text{)} = h_d - h_c = 126 - 113.08 = 12.92 \text{ Btu/lb}$$

$$\text{- ค่า COP ที่ได้} = \frac{q_{\text{evap}}}{q_{\text{comp}}} = \frac{68.85}{12.92} = 5.33$$

$$\text{- ค่า COP ที่ได้จากรัฐจักรทำความเย็นทางทฤษฎี} = 4.78$$

$$\therefore \text{ ค่า COP เพิ่มขึ้น} = \frac{5.33 - 4.78}{4.78} \times 100 = 11.5\%$$

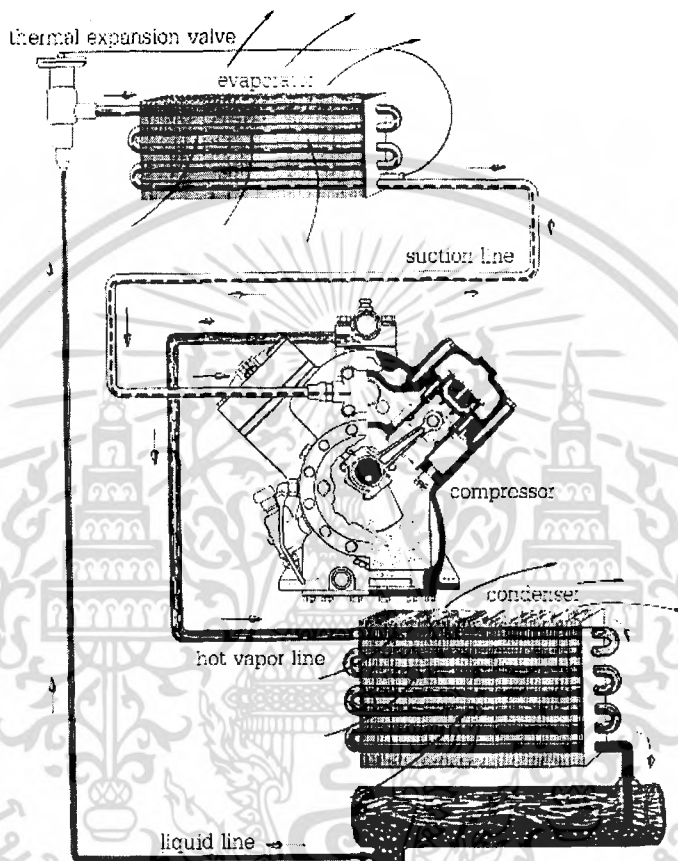


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 ส่วนประกอบของระบบทำความเย็นแบบอัดไอ

ระบบทำความเย็นแบบอัดไอ ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ ร่วมกันทำงาน โดยแบ่งออกได้เป็น อุปกรณ์หลักและอุปกรณ์ประกอบการทำงาน

อุปกรณ์หลัก (main components) เป็นอุปกรณ์ที่เครื่องทำความเย็นทุกแบบ ทุกขนาดจะต้องมีเหมือนกันหมด คือ คอมเพรสเซอร์ คอนเดนเซอร์ ถังลดความดันหรืออุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหล และ เครื่องระเหย



a serviceable commercial system with air-cooled condenser, thermostatic expansion valve and V-type compressor.  
(Carrier Air Conditioning Co.)

### รูปที่ 2-14 แสดงอุปกรณ์หลักในระบบทำความเย็น

(Althouse, A.D., หน้า 392)

#### 2.4.1 คอมเพรสเซอร์

คอมเพรสเซอร์ ทำหน้าที่ดูดน้ำยาในสภาพที่เป็นไอจากเครื่องระเหย เพื่อทำให้ความดันในเครื่องระเหยลดต่ำลงจนสามารถทำให้น้ำยากลายเป็นไอและสร้างความเป็นได้ พร้อมทั้งทำการอัดให้น้ำยาที่มีความดันสูงขึ้นจนสามารถควบแน่นเป็นของเหลวในคอนเดนเซอร์และส่งน้ำยาผ่านอุปกรณ์ต่าง ๆ ในวงจร เราสามารถจำแนกคอมเพรสเซอร์ออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ จำแนกตามลักษณะโครงสร้าง และ จำแนกตามวิธีการอัด

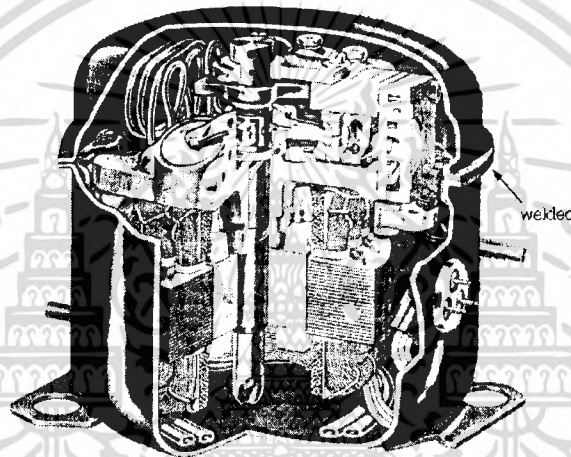
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การจำแนกคอมเพรสเซอร์ตามลักษณะโครงสร้าง (types of construction)

เป็นการแบ่งประเภทโดยพิจารณาจากโครงสร้างของคอมเพรสเซอร์และอุปกรณ์ขับเคลื่อน ซึ่งแยกออกได้เป็น 3 แบบ คือ

1. คอมเพรสเซอร์แบบเปิด (open type compressors)
2. คอมเพรสเซอร์แบบกึ่งปิด (semi-hermetic compressors)

3. คอมเพรสเซอร์แบบหุ้มปิด (hermetic compressors) คือแบบที่ตัวคอมเพรสเซอร์และตัวขับเคลื่อน ประกอบรวมอยู่ในโครงสร้างเดียวกัน และถูกเชื่อมปิดสนิท ซึ่งมีข้อดีคือป้องกันการรั่วได้ดี มีขนาดเล็ก ทำงานได้เงียบ มีความสั่นสะเทือนน้อย จึงนิยมใช้กับเครื่องทำความเย็นที่ใช้ในบ้าน แต่มีข้อเสียคือไม่สามารถแยกตัวขับเคลื่อนหรือคอมเพรสเซอร์ออกมาซ่อมเฉพาะส่วนที่เสียได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการถอดออก เพื่อตรวจซ่อมยากเพราะถูกประกอบไว้ด้วยวิธีการเชื่อม



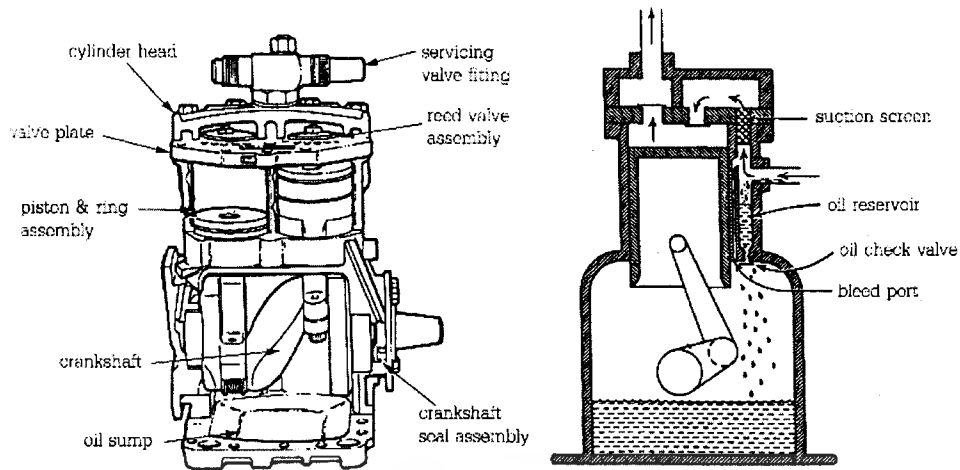
รูปที่ 2-15 แสดงโครงสร้างของคอมเพรสเซอร์แบบหุ้มปิด มอเตอร์อยู่ด้านล่าง และคอมเพรสเซอร์อยู่ด้านบน

(Althouse, A.D., หน้า 116)

### การจำแนกคอมเพรสเซอร์ตามวิธีการอัด (compression methods)

การจำแนกคอมเพรสเซอร์ตามวิธีการอัด แบ่งออกเป็นการอัดเชิงปริมาตร (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



รูปที่ 2-16 แสดงคอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบ

(Dossat,R.J., หน้า 383)

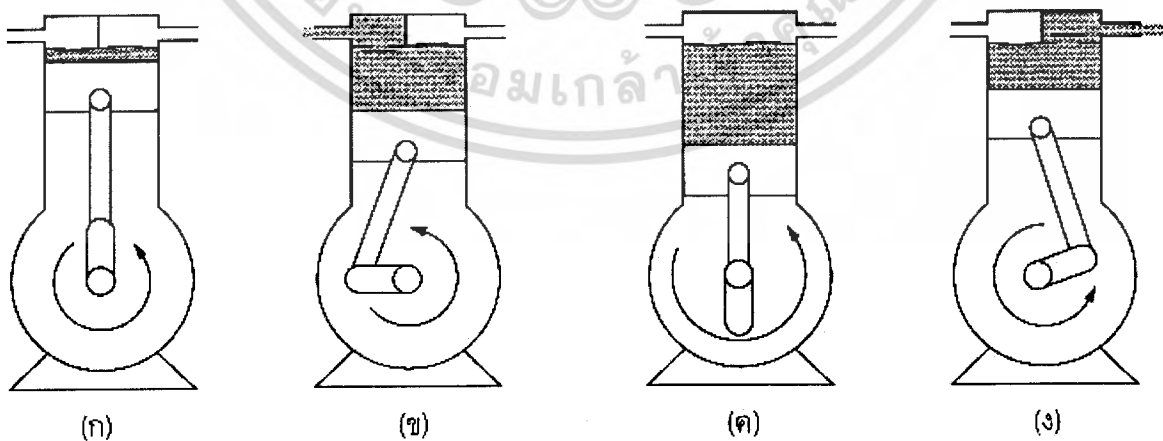
2. คอมเพรสเซอร์แบบโรตารี (rotary type)
3. คอมเพรสเซอร์แบบกันหอยหรือแบบสโครล์ (scroll type)
4. คอมเพรสเซอร์แบบสกรู (screw type)
5. คอมเพรสเซอร์แบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (centrifugal type)

#### สมรรถนะของคอมเพรสเซอร์ (performance of compressor)

สมรรถนะของคอมเพรสเซอร์ คือค่าที่ใช้บอกความสามารถในการทำงานของคอมเพรสเซอร์ ซึ่งจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับสมรรถนะของระบบทำความเย็น ในการศึกษาสมรรถนะของคอมเพรสเซอร์ชนิดต่าง ๆ สามารถใช้คอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบเป็นแนวทางในการศึกษา

ส่วนประกอบต่าง ๆ ในการทำงานที่มีผลต่อสมรรถนะของคอมเพรสเซอร์มีดังนี้

1. วัฏจักรการอัด (compression cycle) คอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบทำงานโดยอาศัยการเคลื่อนที่ของลูกสูบในลักษณะขึ้นลงหรือเคลื่อนที่สลับระหว่างศูนย์ตายบน (top dead center) และศูนย์ตายล่าง (bottom dead center) ภายในกระบอกสูบ ดังรูปที่ 2-17



รูปที่ 2-17 แสดงการทำงานของคอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบ

(Dossat,R.J., หน้า 213)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

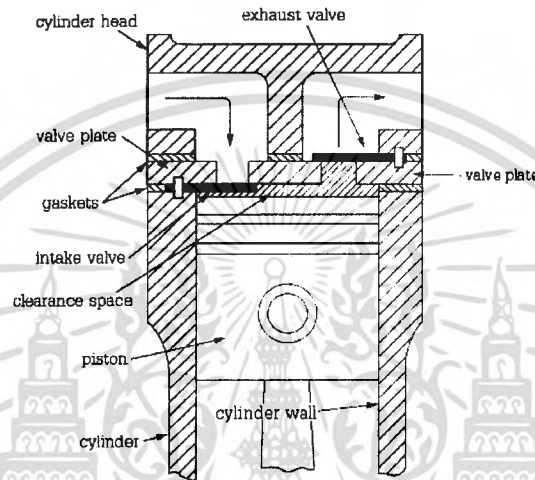
พิจารณาการทำงาน ตามรูปที่ 2-17

รูปที่ 2-17 (ก) ขณะลูกสูบอยู่ที่ตำแหน่งศูนย์ตายบน ลิ้นทั้งสองจะอยู่ในตำแหน่งปิด

รูปที่ 2-17 (ข) เมื่อลูกสูบเลื่อนลงในจังหวะดูด ความดันภายในกระบอกสูบลดต่ำลง ลิ้นด้านดูดจะเปิดให้สารทำความเย็นเข้าในกระบอกสูบ

รูปที่ 2-17 (ค) ขณะลูกสูบเลื่อนลงถึงศูนย์ตายล่าง สารทำความเย็นจะถูกบรรจุอยู่ภายในกระบอกสูบ ลิ้นทั้งสองปิด

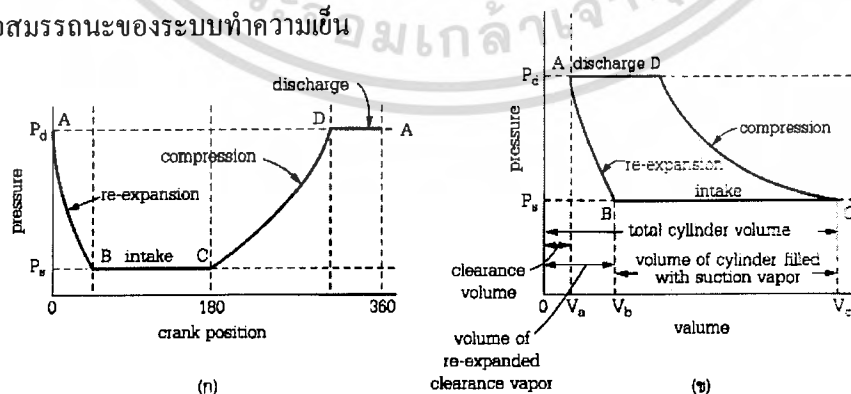
รูปที่ 2-17 (ง) เมื่อลูกสูบเลื่อนขึ้นในจังหวะอัด ความดันภายในกระบอกสูบจะสูงขึ้นและอัดให้ลิ้นด้านส่งเปิดให้สารทำความเย็นออกจากกระบอกสูบไปใช้งานระบบต่อไป



รูปที่ 2-18 แสดงตำแหน่งที่ลูกสูบอยู่ในจังหวะอัดสุด

(Althouse, A.D., หน้า 119)

เพื่อป้องกันลูกสูบกระแทกกับแผ่นลิ้นที่อยู่ด้านบนในจังหวะสุดท้ายของการอัด การออกแบบคอมเพรสเซอร์จึงจำเป็นต้องทำให้มีช่องว่างระหว่างลูกสูบและแผ่นลิ้น (clearance space) ดังรูปที่ 2-18 แต่จะต้องพยายามให้ช่องว่างนี้มีค่าน้อยที่สุด โดยทั่วไปมีค่าประมาณ 0.010 – 0.020 นิ้ว (0.254 – 0.508 มิลลิเมตร) เนื่องจากช่องว่างนี้จะทำให้ในจังหวะที่ลูกสูบอัดสุดยังคงมีสารทำความเย็นในสถานะที่เป็นไอ ความดันสูงตกค้างอยู่ส่วนหนึ่ง ปริมาตรที่ตกค้างอยู่นี้คือปริมาตรที่เกิดจากช่องว่าง (clearance volume) ซึ่งจะมีผลต่อสมรรถนะของระบบทำความเย็น



รูปที่ 2-19 แสดงการทำงานของคอมเพรสเซอร์

(Dossat, R.J., หน้า 213)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อให้สามารถเข้าใจการทำงานของคอมเพรสเซอร์ได้ดียิ่งขึ้น ให้พิจารณารูปที่ 2-19 (ก) ซึ่งเป็นแผนภาพความดัน - ตำแหน่งของเพลาค้อเหวี่ยง (pressure – crank position) และรูปที่ 2-19 (ข) เป็นแผนภาพความดัน – ปริมาตร (pressure – volume diagram) ซึ่งแสดงค่าความดันที่เกิดขึ้นจากการทำงานในตำแหน่งต่าง ๆ ของเพลาค้อเหวี่ยง

พิจารณาการทำงาน ตามรูปที่ 2-19

ช่วง A-B คือช่วงที่ลูกสูบเลื่อนลงในช่วงแรกของจังหวะดูด เป็นจังหวะที่ทำงานต่อเนื่องจากจังหวะอัดสุด ซึ่งช่วงนี้ภายในกระบอกสูบจะยังไม่สามารถสร้างความดันต่ำพอที่จะเปิดลิ้นด้านดูดได้ เนื่องจากผลการทำงานของแก๊สความดันสูงที่ตกค้างอยู่ในช่องว่าง (clearance vapor) เกิดการขยายตัวใหม่ (re-expansion) ทำให้เกิดความดันสูงกดได้แก่ลิ้นด้านดูดให้เปิด สารทำความเย็นยังไม่สามารถเข้ามาในกระบอกสูบได้

ช่วง B-C คือช่วงจังหวะดูด (intake) เป็นช่วงที่ลิ้นด้านดูดเปิดให้สารทำความเย็นเข้าในกระบอกสูบได้จนลูกสูบเลื่อนลงถึงตำแหน่งศูนย์ตายล่าง

ช่วง C-D คือช่วงจังหวะอัด (compression) ซึ่งลูกสูบจะเคลื่อนที่ขึ้นสร้างความดันในกระบอกสูบให้สูงจนสามารถทำให้ลิ้นด้านจ่ายเริ่มเปิด

ช่วง D-A คือช่วงส่งจ่ายสารทำความเย็น (discharge) เป็นช่วงที่ลูกสูบเคลื่อนที่สู่ศูนย์ตายบน ในช่วงท้าย ความดันสูงในกระบอกสูบจะถูกส่งออกผ่านลิ้นด้านจ่ายต่อเนื่องไปจนถึงสิ้นสุดเมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ถึงจุดศูนย์ตายบนครบวัฏจักร และจะเริ่มทำงานในจังหวะดูดใหม่เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่จากศูนย์ตายบนลงสู่ศูนย์ตายล่าง

2. ความจุกระบอกสูบ –  $V_p$  (piston displacement) คือ ปริมาตรที่เกิดขึ้นภายในกระบอกสูบ เนื่องจากการเคลื่อนที่จากศูนย์ตายบนถึงศูนย์ตายล่างของลูกสูบ มีค่าเป็นลูกบาศก์ฟุตต่อนาที (CFM) หรือ ลิตรต่อนาที (LPM) ซึ่งหาได้จากสมการ

$$V_p = \frac{ALNn}{1728} \quad (2.4)$$

เมื่อ	$V_p$	=	ความจุกระบอกสูบ	CFM	$\frac{\text{ft}^3}{\text{min}}$
	A	=	พื้นที่หน้าตัดของกระบอกสูบ	(in <sup>2</sup> )	
	L	=	ระยะชักของลูกสูบ	(in)	
	N	=	ความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์	(rpm)	
	n	=	จำนวนลูกสูบ		
	1,728	=	ค่าคงที่เพื่อปรับค่า in <sup>3</sup> เป็น ft <sup>3</sup> (1,728 in <sup>3</sup> = 1ft <sup>3</sup> )		

ตัวอย่างที่ 2.4 จงหาความจุกระบอกสูบของคอมเพรสเซอร์ชนิด 2 สูบ ทำงานที่ความเร็วรอบ 1,450 รอบ/นาที ลูกสูบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว ระยะชัก 2 นิ้ว

วิธีทำ จากสมการ (2.4),  $V_p = \frac{0.7854 D^2 LNn}{1728}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{0.7854 (2.5)^2 (2) (1450) (2)}{1728}$$

$$\therefore \text{ความจุระบอบสูบ} = 16.48 \frac{\text{ft}^3}{\text{min}}$$

3. ความสามารถในการทำความเย็นทางทฤษฎี (theoretical refrigerating capacity) ความสามารถในการทำความเย็นจะขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของสารทำความเย็นต่อหนึ่งหน่วยเวลาและค่าการทำความเย็นของสารทำความเย็นต่อหนึ่งหน่วยมวล โดยอัตราการไหลของสารทำความเย็นหาได้จากสมการ

$$m = V_p \rho \quad (2.5)$$

$$\text{หรือ} \quad m = \frac{V_p}{v} \quad (2.6)$$

เมื่อ  $m$  = อัตราการไหลเชิงมวลของสารทำความเย็น (lb/min)

$V_p$  = ความจุระบอบสูบ (ft<sup>3</sup>/min)

$\rho$  = ความหนาแน่นของสารทำความเย็น (lb/ft<sup>3</sup>)

$v$  = ปริมาตรจำเพาะของสารทำความเย็น (ft<sup>3</sup>/lb)

ตัวอย่างที่ 2.5 จากคอมเพรสเซอร์ในตัวอย่างที่ 2.4 ใช้สารทำความเย็น R-134a อุณหภูมิที่เครื่องระเหย 20 °F ถ้าสารทำความเย็นที่เข้าคอมเพรสเซอร์เป็น ไออิ่มตัว และสารทำความเย็นเหลวออกจากคอนเดนเซอร์มีอุณหภูมิ 100 °F

จงคำนวณหา (ก) อัตราการไหลเชิงมวลของสารทำความเย็นเป็น lb/min

(ข) ความสามารถในการทำความเย็นทาง ทฤษฎีเป็น BTU/min, TR และ kW

วิธีทำ (ก) จากตัวอย่างที่ 2.4 กระบอบสูบมีความจุ = 16.48 ft<sup>3</sup>/min

จากตารางคุณสมบัติที่อุณหภูมิ 20 °F

สารทำความเย็น R-134a มีค่าปริมาตรจำเพาะ = 1.401 ft<sup>3</sup>/lb

จากสมการ (2.6)  $m = \frac{V_p}{v}$

$$\therefore \text{อัตราการไหลเชิงมวลของสารทำความเย็น} = \frac{16.48}{1.401} = 11.76 \text{ lb/min}$$

(ข) จากตารางคุณสมบัติ ที่ 20 °F,  $h_g$  = 104.614 Btu/lb (สารทำความเย็นออกจากเครื่องระเหย)

$$\begin{aligned} \text{ความสามารถในการทำความเย็นที่เครื่องระเหย, } q_{\text{evap}} &= h_g - h_f \\ &= 104.614 - 44.23 \\ &= 60.384 \text{ Btu/lb} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \therefore \text{ความสามารถในการทำความเย็นทางทฤษฎี, } Q_{\text{evap}} &= q_{\text{evap}} \times m \\ &= 60.384 \times 11.76 \\ &= 710.12 \text{ Btu/min} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 \text{หรือ} &= \frac{710.12}{200} = 3.55 \text{ TR} \\
 &= (3.55 \text{ TR}) (3.517 \text{ kW/1 TR}) \\
 &= 12.49 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

#### 2.4.2 คอนเดนเซอร์

คอนเดนเซอร์ ทำหน้าที่ระบายความร้อนออกจากน้ำยา เพื่อให้ น้ำยาซึ่งถูกอัดออกจากคอมเพรสเซอร์ในสภาพไอที่มีอุณหภูมิและความดันสูงควบแน่นเป็นของเหลวได้ เราสามารถจำแนกประเภทของคอนเดนเซอร์ได้เป็น 2 ลักษณะ คือ จำแนกตามวิธีการระบายความร้อน และ จำแนกตามลักษณะ โครงสร้าง

##### การจำแนกคอนเดนเซอร์ตามวิธีการระบายความร้อน

การจำแนกคอนเดนเซอร์ตามวิธีการระบายความร้อนสามารถแบ่งออกได้ 3 แบบ คือ

- การระบายความร้อนด้วยอากาศ (air cooled condenser)
- การระบายความร้อนด้วยน้ำ (water cooled condenser)
- การระบายความร้อนด้วยน้ำและอากาศ (evaporative condenser)

##### การจำแนกคอนเดนเซอร์ตามลักษณะโครงสร้าง (type of construction)

1. คอนเดนเซอร์ชนิดท่อและครีป (finned-tube condenser)
2. คอนเดนเซอร์ชนิดท่อสองชั้น (double tube condenser)
3. คอนเดนเซอร์ชนิดเปลือกและท่อ (shell and tube condenser)

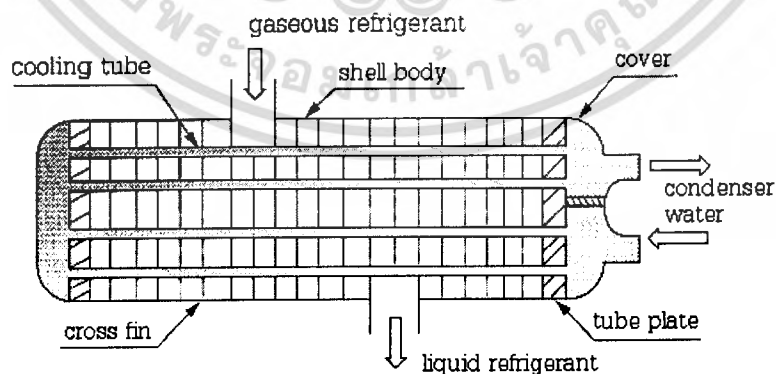
โครงสร้าง : เป็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ ประกอบด้วยเปลือกนอก (shell) และท่อเล็ก (tubes) สอดอยู่ภายใน

ข้อดี : ขนาดเล็กเหมาะที่จะติดตั้งในอาคาร เมื่อท่อสกปรกสามารถเปิดฝาออกล้างได้

ข้อเสีย : ต้องเลือกใช้น้ำที่มีคุณภาพดี

ใช้กับ : เครื่องปรับอากาศขนาดใหญ่ที่ใช้ในอาคารสำนักงาน โรงแรม

ห้างสรรพสินค้าทั่วไป ปัจจุบันนิยมใช้งานมากที่สุด



รูปที่ 2-20 แสดงคอนเดนเซอร์ชนิดเปลือกและท่อ

(Daikin, หน้า 66)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

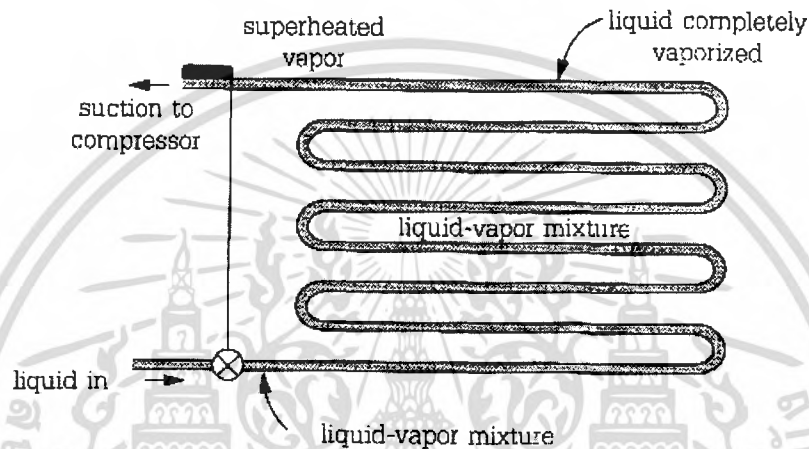
### 2.4.3 เครื่องระเหย

เครื่องระเหยทำหน้าที่รับน้ำยาที่ถูกลดความดันจากลิ้นลดความดัน โดยขณะที่น้ำยาผ่านเครื่องระเหยจะดูดความร้อนจากบริเวณรอบ ๆ เพื่อใช้ในการเปลี่ยนสถานะทำให้บริเวณใกล้เคียงเกิดความเย็นขึ้น เราสามารถจำแนกประเภทของเครื่องระเหยได้เป็น 2 ลักษณะ คือ จำแนกตามวิธีการป้อนสารทำความเย็น และจำแนกตามลักษณะ โครงสร้าง

#### การจำแนกเครื่องระเหยตามวิธีการป้อนสารทำความเย็น (methods of refrigerant feed)

การจำแนกเครื่องระเหยตามวิธีการป้อนสารทำความเย็น สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ

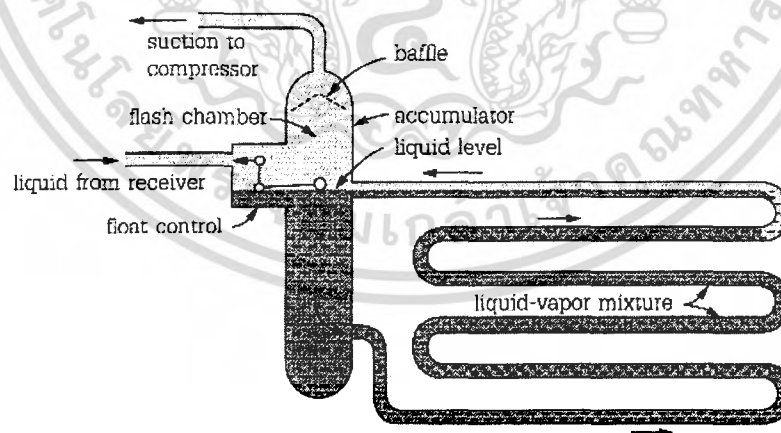
##### 1. เครื่องระเหยแบบแห้ง (dry expansion evaporator)



รูปที่ 2-21 แสดงเครื่องระเหยแบบแห้ง

(Dossat,R.J., หน้า 190)

##### 2. เครื่องระเหยแบบเปียก (flooded evaporator)



รูปที่ 2-22 แสดงเครื่องระเหยแบบเปียก

(Dossat,R.J., หน้า 190)

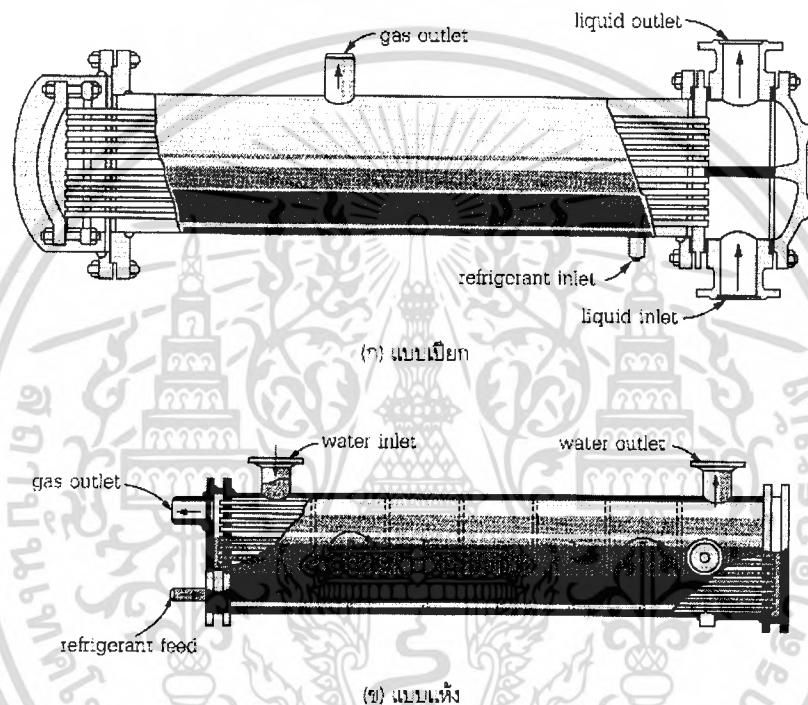
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การจำแนกเครื่องระเหยตามลักษณะโครงสร้าง (types of construction)

เครื่องระเหยที่ใช้งานทั่วไปมีโครงสร้างแตกต่างกันตามความเหมาะสมกับลักษณะงานที่จะใช้ มีตั้งแต่แบบที่ใช้งานในตู้เย็น ตู้แช่ หรือห้องเย็นเล็ก ๆ ทั่วไป มีโครงสร้างง่าย ๆ คือ ใช้เป็นแบบท่อเปลือย (bare tube) หรือแบบแผ่น (plate) ติดตั้งไว้เป็นส่วนหนึ่งของผนังตู้ ความร้อนจากของที่แช่จะส่งผ่านไปยังเครื่องระเหยโดยตรง นอกจากนี้ยังมีโครงสร้างลักษณะอื่น ๆ

1. เครื่องระเหยชนิดท่อและครีป (finned-tube evaporator)

2. เครื่องระเหยชนิดเปลือกและท่อ (shell and tube evaporator) มีโครงสร้างและหลักการทำงานเหมือนกับที่ใช้เป็นคอนเดนเซอร์ นิยมใช้กับระบบปรับอากาศแบบใช้น้ำเย็น โดยเรียกเครื่องระเหยชนิดนี้ว่าเป็นซิลเลอร์ (chillers) มีทั้งที่เป็นแบบแห้งและแบบเปียก



รูปที่ 2-23 แสดงโครงสร้างของเครื่องระเหยชนิดเปลือกและท่อ

(Dossat,R.J., หน้า 200)

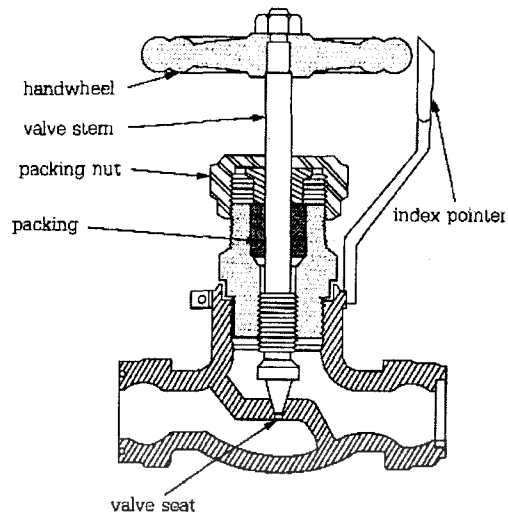
#### 2.4.4 ลินดความดันหรืออุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหล (refrigerant control)

ลินดความดันทำหน้าที่ควบคุมปริมาณน้ำยาที่จะส่งเข้าเครื่องระเหย ลักษณะการทำงานคือน้ำยาที่ผ่านจะถูกลดความดันลงเพื่อให้ น้ำยาสามารถเดือดได้ในเครื่องระเหยจึงเรียก ลินดความดัน หรือในเครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศขนาดเล็กจะ ใช้แทนด้วยท่อรูเข็ม (capillary tube) ลินดความดันมีใช้งานอยู่หลายชนิด คือ

##### ลินดความดันชนิดปรับด้วยมือ (hand expansion valve)

ลินดความดันชนิดปรับด้วยมือ ใช้กับระบบทำความเย็นขนาดใหญ่ที่มีภาระไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก เป็นชนิดที่ปรับด้วยมือ จะต้องทำการเปิดและปิดทุกครั้งที่คอมเพรสเซอร์ทำงานและหยุดทำงาน ปัจจุบันมีใช้น้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-24 แสดงโครงสร้างของฉันทดความดันชนิดปรับด้วยมือ

(Marsh,R.W., หน้า 221)

- ฉันทดความดันชนิดอัตโนมัติ (automatic expansion valve-AXV)
- ฉันทดความดันชนิดควบคุมด้วยความร้อน (thermostatic expansion valve – TXV)
- อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลชนิดท่อรูเข็ม (capillary tube)
- อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลชนิดตุกถอยด้านความดันต่ำ (low side float valve)
- อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลชนิดตุกถอยด้านความสูง (high side float valve)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

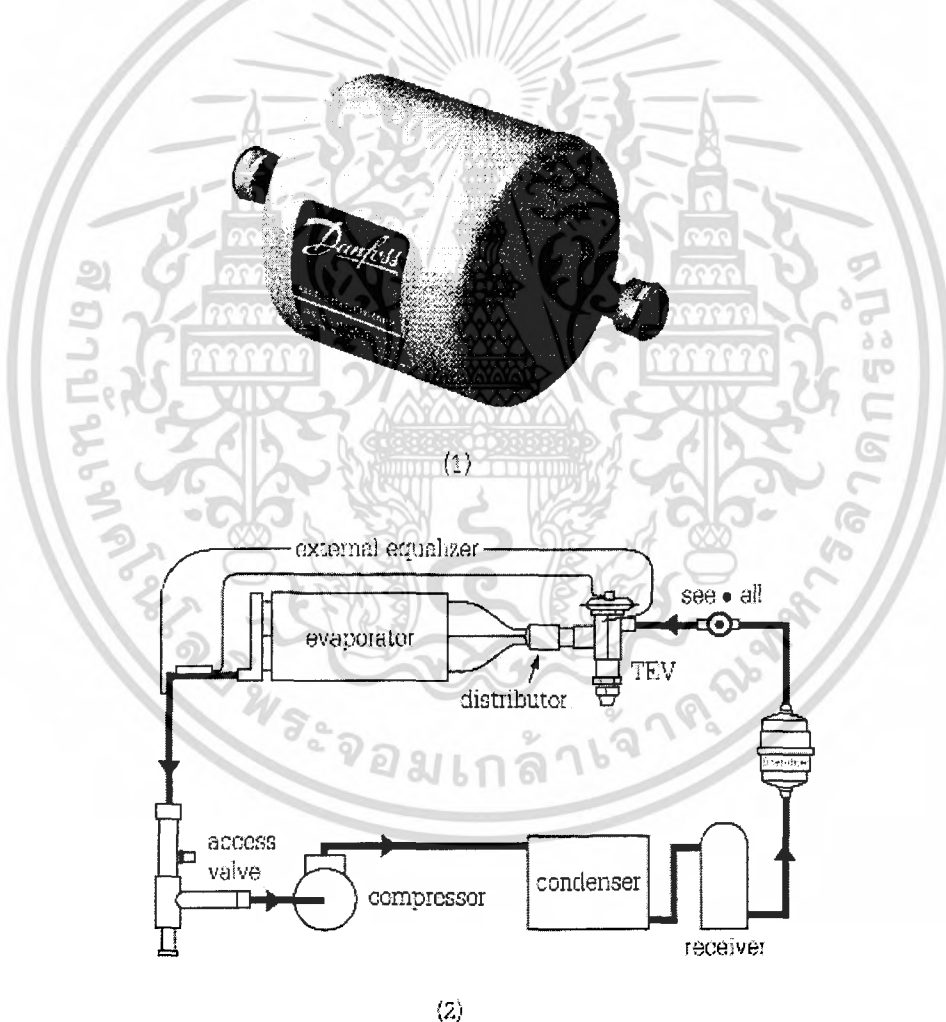
## 2.5 อุปกรณ์ประกอบและอุปกรณ์ควบคุมในวงจรน้ำยา

การทำงานของระบบทำความเย็นแบบอัดไอ นอกจากจะทำงานได้โดยอาศัยการทำงานของอุปกรณ์หลักแล้ว เพื่อให้การทำงานมีประสิทธิภาพสูงและมีความปลอดภัย จึงมีอุปกรณ์ประกอบและอุปกรณ์ควบคุมช่วยเสริมการทำงานของวงจรน้ำยา

**2.5.1 อุปกรณ์ประกอบหรืออุปกรณ์เสริม** เป็นอุปกรณ์ซึ่งติดตั้งเพิ่มเติมระหว่างอุปกรณ์หลักทั้ง 4 เพื่อช่วยเสริมให้วงจรน้ำยาทำงานได้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ดังนี้

### อุปกรณ์กรองและเก็บความชื้น (filter-drier)

อุปกรณ์กรองและเก็บความชื้น ติดตั้งช่วงก่อนน้ำยาเข้าลิ้นลดความดัน ทำหน้าที่กรองสิ่งสกปรกและเก็บความชื้นที่ปนมากับน้ำยา อาจติดตั้งรวมอยู่กับรีซีฟเวอร์เช่นที่ใช้ในเครื่องปรับอากาศรถยนต์ การเลือกใช้จะต้องคำนึงถึงชนิดของน้ำยาที่ใช้ในระบบ ขนาดของเครื่องทำความเย็น ขนาดท่อน้ำยา และค่าความดันตก (pressure drop) ใช้ในเครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศทั่วไป



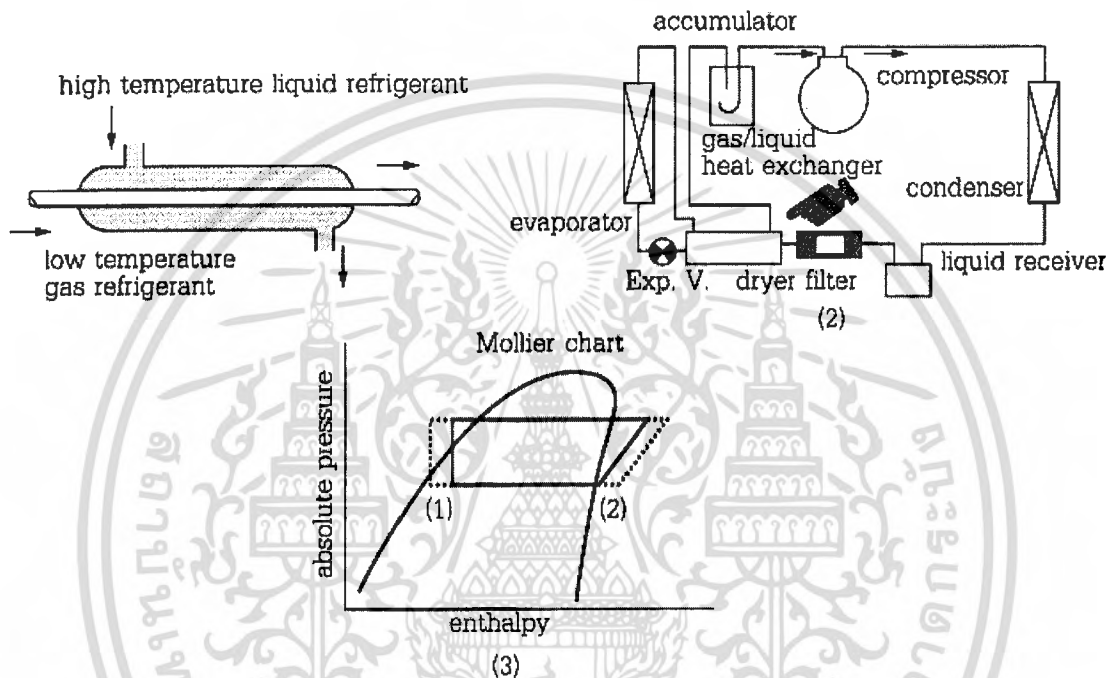
รูปที่ 2-25 แสดงโครงสร้างและการติดตั้งอุปกรณ์กรองและเก็บความชื้นในวงจร

(Dossat,R.J., หน้า 365)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (heat exchanger)

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน เป็นอุปกรณ์ที่ทำงานร่วมกันระหว่างท่อน้ำยาเหลว (liquid line) ช่วงระหว่างครายเออร์กับลิ้นลดความดัน และท่อน้ำยาด้านดูด (suction line) ช่วงระหว่างเครื่องระเหยกับคอมเพรสเซอร์ โดยนำท่อน้ำยาทั้ง 2 ส่วน มาแนบสัมผัสกันเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อน ทำให้น้ำยาเหลวก่อนเข้าลิ้นลดความดันมีสภาพเป็นของเหลวเย็นยิ่ง (subcooled liquid) และแก๊สก่อนเข้าคอมเพรสเซอร์เป็นไอร้อนยวดยิ่ง (superheated vapor) เป็นการสร้างประโยชน์ให้กับน้ำยาทั้งสองส่วนและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบ



รูปที่ 2-26 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในวงจร

(Daikin, หน้า 73)

ถังพักสารทำความเย็นเหลวหรือรีซีฟเวอร์ (liquid receiver)

อุปกรณ์แยกน้ำมันห่อถั่ว (oil separator)

อุปกรณ์แยกน้ำยาเหลว หรือแอคคิวมูเลเตอร์ (accumulator)

อุปกรณ์เก็บเสียง (muffler)

อุปกรณ์กรองด้านความดันต่ำ (suction line filter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 สารทำความเย็น

### 2.6.1 พื้นฐานทั่วไปเกี่ยวกับสารทำความเย็น

สารทำความเย็น (refrigerant) เป็นส่วนประกอบสำคัญที่ทำงานร่วมกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบทำความเย็นแบบอัดไอ ทำหน้าที่รับความร้อนจากเนื้อที่ว่างหรือเทวดุต่าง ๆ ในขณะเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ เพื่อทำให้เกิดความเย็นที่เครื่องระเหย โดยนำความร้อนที่ได้รับที่เครื่องระเหยและคอมเพรสเซอร์ ไประบายออกที่คอนเดนเซอร์เพื่อควบแน่นเป็นของเหลว และนำกลับมารับความร้อนเพื่อสร้างความเย็นใหม่ โดยมีพื้นฐานที่จำเป็นต้องศึกษาดังนี้

#### คุณสมบัติของสารทำความเย็น (properties of refrigerants)

สารทำความเย็นที่ดีควรมีคุณสมบัติต่าง ๆ ดังนี้

##### 1. คุณสมบัติทางฟิสิกส์ (physical properties) ได้แก่

- (1) ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอสูง เพื่อช่วยลดอัตราการไหลของน้ำยาในระบบ ทำให้อุปกรณ์เล็ก น้ำหนักเบา ใช้พลังงานขับเคลื่อนน้อยลง
- (2) ความหนาแน่นสูง ทำให้ลดขนาดและน้ำหนักของอุปกรณ์ในระบบได้
- (3) จุดแข็งตัวต่ำ เพื่อไม่ให้น้ำยาแข็งตัวขณะทำงาน
- (4) รวมตัวกับน้ำมันหล่อลื่นได้ เพื่อให้สามารถพาน้ำมันหล่อลื่นกลับมาหล่อลื่นที่คอมเพรสเซอร์
- (5) มีความต้านทานไฟฟ้าสูง เพื่อป้องกันไฟฟ้าลัดวงจรผ่านน้ำยาขณะทำงาน โดยเฉพาะเมื่อใช้กับคอมเพรสเซอร์ชนิดหุ้มปิด
- (6) ค่าความดันเพื่อการควบแน่นต่ำ ทำให้อุปกรณ์และน้ำหนักของอุปกรณ์ลดลง โอกาสที่น้ำยารั่วออกจากระบบน้อยลง และลดอันตรายที่เกิดขึ้นเนื่องจากความดันสูงในระบบ

##### 2. คุณสมบัติทางเคมี (chemical properties) ได้แก่

- (1) มีโครงสร้างทางเคมีมั่นคง คือสามารถทำงานได้ภายใต้อุณหภูมิและความดันปกติในระบบโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงสภาพ
- (2) ไม่ติดไฟหรือไม่มีการระเบิดทั้งในสถานะที่เป็นของเหลว เป็นไอ หรือเมื่อผสมกับน้ำมันหล่อลื่น
- (3) ไม่ทำปฏิกิริยาหรือเกิดการกัดกร่อนในอุปกรณ์และวัสดุที่ใช้ในระบบ เช่น ยาง พลาสติก เหล็ก ทองเหลือง ทองแดง อะลูมิเนียม เป็นต้น
- (4) ไม่เป็นพิษ หรือไม่มีอันตรายต่อมนุษย์ สัตว์ หรือสิ่งแวดล้อมใด ๆ เช่น มีค่า ODP และ GWP ต่ำ
- (5) เมื่อเกิดการรั่ว ไม่ทำให้รส กลิ่น สีของอาหารและน้ำดื่มเปลี่ยนแปลงหรือเป็นอันตราย

คุณสมบัติอื่น ๆ ที่ควรพิจารณา คือ ราคาถูก ค่าการบำรุงรักษาต่ำ ง่ายต่อการควบคุมด้านความปลอดภัย และไม่มีผลกระทบต่อปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม

### การเรียกชื่อสารทำความเย็น (refrigerant nomenclature)

1. ฟร็อน (freon) เป็นชื่อที่ใช้เรียกสารทำความเย็นที่ใช้อยู่ทั่วไป โดยบริษัทดูปองก์ (E.I. DuPont de Nemours & Co. Inc.) ซึ่งเป็นบริษัทที่มีชื่อเสียงด้านเคมีภัณฑ์ของสหรัฐอเมริกา เป็นผู้ผลิตและจำหน่ายสารทำความเย็นแพร่หลายเป็นบริษัทแรก โดยใช้ชื่อทางทะเบียนการค้าว่า FREON เช่น สารทำความเย็น dichlorodifluoromethane ( $\text{CCl}_2\text{F}_2$ ) จะใช้ชื่อว่า FREON-12 เป็นต้น และชื่อ FREON นี้ได้ถูกนำไปใช้เรียกสารทำความเย็นของบริษัทอื่น ๆ ที่ถูกผลิตขึ้นในภายหลังด้วย ถึงแม้ว่าบริษัทต่าง ๆ จะผลิตสารทำความเย็นและมีชื่อทางทะเบียนการค้าเป็นของตัวเองก็ตาม

2. ชื่อสารทำความเย็นที่ถูกต้อง จะต้องเรียก refrigerant หรือใช้แทนด้วย R เช่น refrigerant-12 หรือ R-12 โดยจะเป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัทใดก็ตาม หรืออาจเรียกชื่อตามกลุ่มของสารทำความเย็น เช่น CFC-12 หรือ HCFC-22 เป็นต้น

ข้อสังเกต เนื่องจากสารทำความเย็นที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน เป็นสารที่ทำลาย โอโซนและสร้างภาวะเรือนกระจกในบรรยากาศ ทำให้ชื่อเสียงและภาพพจน์ของสารทำความเย็นเสียหาย ถูกต่อต้านในการนำมาใช้งาน ชื่อของ FREON ซึ่งเคยเป็นตัวแทนของสารทำความเย็นจึงได้รับผลกระทบกระเทือนสูงสุด ปัจจุบันบริษัท DuPont ซึ่งเป็นผู้นำในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ด้านสารทำความเย็นชนิดใหม่ ๆ ออกมาทดแทนสารเดิมที่ทำลายสิ่งแวดล้อมดังกล่าว จึงทำการเปลี่ยนแปลงชื่อทางการค้าของสารทำความเย็นจาก FREON เป็น Suva แทน ดังนั้นต่อไปชื่อของ FREON จะลดความนิยมและความสำคัญลง แต่จะมีสารทำความเย็น Suva เข้ามามีบทบาทในงานด้านสารทำความเย็นแทน



DU PONT®

Suva®  
refrigerants

รูปที่ 2-27 แสดงการเปลี่ยนชื่อสารทำความเย็นของบริษัท DuPont จาก FREON เป็น Suva

(Althouse, A.D., หน้า 295)

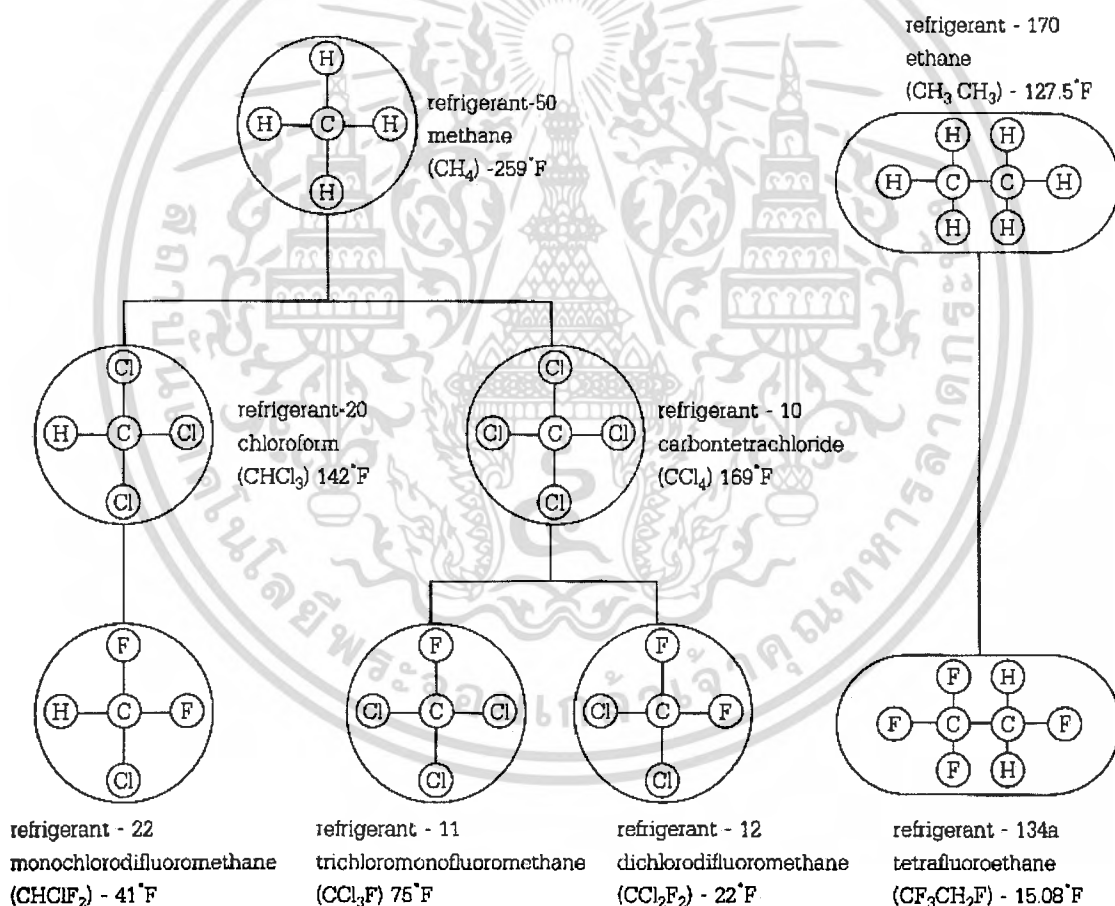
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ส่วนประกอบทางเคมีของสารทำความเย็น (chemical composition) แสดงค่าโดยตัวเลขที่ใช้เขียนบอกชนิดของสารทำความเย็น เช่น R-12, R-22, R-134a โดยตัวเลขดังกล่าวจะแสดงส่วนประกอบทางเคมีที่อยู่ในสารทำความเย็นนั้น

## 2.6.2 การพัฒนาและการเลือกใช้สารทำความเย็น

### การพัฒนาสารทำความเย็นฟลูออโรคาร์บอน (development of fluorocarbons)

สารทำความเย็นกลุ่มแรกที่นำมาใช้ในระบบทำความเย็นคือ แอมโมเนีย  $\text{NH}_3$  (R-717) และ คาร์บอนไดออกไซด์  $\text{CO}_2$  (R-744) ซึ่งเป็นสารทำความเย็นกลุ่มอนินทรีย์สาร ต่อมาความต้องการในการใช้ระบบทำความเย็นมีการขยายตัวมากขึ้น จึงต้องการสารทำความเย็นที่มีคุณสมบัติต่าง ๆ ดีขึ้น เช่น มีความปลอดภัยสูงขึ้น มีความสามารถในการทำความเย็นดีขึ้น จึงได้มีการพัฒนาสารทำความเย็นกลุ่มฟลูออโรคาร์บอน เช่น ที่นิยมใช้กันแพร่หลายทั่วไปคือ R-11, R-12, R-22, R-134a เป็นต้น โดยสารทำความเย็นดังกล่าวได้จากการสังเคราะห์โมเลกุลของมีเทน (methane -  $\text{CH}_4$ ) และอีเทน (ethane -  $\text{C}_2\text{H}_6$ ) ดังตัวอย่าง (รูปที่ 2-28)



รูปที่ 2-28 โครงสร้างของสารทำความเย็นกลุ่มมีเทนและอีเทน

(Dossat,R.J., หน้า 319)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

R-22 (monochlorodifluoromethane -  $\text{CHClF}_2$ ) ได้จากการเปลี่ยนไฮโดรเจนจำนวน 3 อะตอมด้วย คลอรีน (Cl) จะได้เป็น R-20 (chloroform -  $\text{CHCl}_3$ ) เมื่ออะตอมของคลอรีนถูกเปลี่ยนเป็นอะตอมของ ฟลูออรีน (F) จำนวน 2 อะตอม จะได้สารทำความเย็น R-22 ซึ่งเป็นสาร HCFC นิยมใช้ใน เครื่องปรับอากาศทั่วไป

R-12 (dichlorodifluoromethane -  $\text{CCl}_2\text{F}_2$ ) ได้จากการเปลี่ยน R-10 โดยแทนที่คลอรีนด้วยฟลูออรีน จำนวน 2 อะตอม ผลที่ได้จะเป็น R-12 ซึ่งเป็นสาร CFC ที่นิยมใช้ในตู้เย็นและเครื่องปรับอากาศรถยนต์ ทั่วไป

R-134a (tetrafluoroethane -  $\text{CF}_3\text{CH}_2\text{F}$ ) เป็นสารทำความเย็นกลุ่มอีเทน ซึ่งโมเลกุลของอีเทนจะ ประกอบด้วยคาร์บอน 2 อะตอม และไฮโดรเจน 6 อะตอม เมื่อเปลี่ยนไฮโดรเจนด้วยฟลูออรีนจำนวน 4 อะตอมจะได้เป็น R-134a ซึ่งเป็นสาร HFC เป็นสารทำความเย็นที่ถูกพัฒนามาใช้แทนสาร CFC

Cold-22 (propane -  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$ ) เป็นสารทำความเย็นกลุ่มไฮโดรคาร์บอน ซึ่งโมเลกุลของ โพรเพนจะประกอบด้วยคาร์บอน 3 อะตอม และไฮโดรเจน 8 อะตอม เป็นสารทำความเย็นที่ถูกพัฒนามาใช้ แทนสาร R-22 ซึ่งอยู่ในกลุ่มฟลูออโรคาร์บอน

Cold-134a (propane -  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$  + butane -  $\text{CH}(\text{CH}_3)_3$ ) เป็นสารทำความเย็นกลุ่มไฮโดรคาร์บอน ซึ่งโมเลกุลของ โพรเพนจะประกอบด้วยคาร์บอน 3 อะตอม และไฮโดรเจน 8 อะตอมกับโมเลกุลของบิวเทนจะประกอบด้วยคาร์บอน 4 อะตอม และไฮโดรเจน 10 อะตอม เป็นสารทำความเย็นที่ถูกพัฒนามาใช้ แทนสาร R-134a

### การเลือกใช้สารทำความเย็น

R-12 ( $\text{CCl}_2\text{F}_2$ ) เป็นสารทำความเย็นที่นิยมใช้กันมากที่สุด ผลิตขึ้นเพื่อจำหน่ายโดยบริษัทดูปองก์ ตั้งแต่ปี 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 ใช้งานได้ทั้งระบบที่มีอุณหภูมิสูง ปานกลาง และต่ำ R-12 รวมตัวกับ น้ำมันหล่อลื่นได้ดีในทุกสถานะ ทำให้ไม่มีปัญหาในเรื่องน้ำมันหล่อลื่นค้างในระบบ สารทำความเย็น สามารถพ่น้ำมันหล่อลื่นกลับคอมเพรสเซอร์ได้ดี โดยเฉพาะจะไม่มีฟิล์มน้ำมันจับเคลือบที่ผิวท่อ ทำให้ ประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนดี R-12 มีอัตราการทำความเย็นต่ำจึงมีขนาดของอุปกรณ์ใหญ่กว่า แต่ มีข้อดีคือทำงานได้ที่ความดันต่ำ 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 แต่ใช้ คอมเพรสเซอร์ที่มีขนาดเล็กกว่าเพราะมีปริมาตรจำเพาะน้อยกว่า R-22 สามารถรวมกับน้ำมันหล่อลื่นได้ แต่จะแยกตัวออกที่อุณหภูมิต่ำเมื่ออยู่ในเครื่องระเหย ใช้กับเครื่องทำความเย็น เครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก และขนาดใหญ่ทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R-134a ( $\text{CF}_3\text{CH}_2\text{F}$ ) เป็นสารกลุ่มฟลูออโรคาร์บอน มีค่าความปลอดภัยระดับ A1 มีจุดเดือด  $-15.0$  °F ( $-26.2$  °C) ที่ความดันบรรยากาศ เป็นสารทำความเย็นที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้แทน R-12 ซึ่งได้ถูกยกเลิกการผลิตตามข้อบังคับของพิธีสารมอนทรีออล R-134a มีคุณสมบัติในการรวมตัวกับน้ำได้ดี (water solubility) จึงมีโอกาสที่จะเกิดน้ำแยกตัวออกจากสารทำความเย็นไปเป็นน้ำแข็งอุดตันลิ้นลดความดันได้ และเนื่องจากไม่สามารถรวมตัวกับสารหล่อลื่นชนิด mineral oils ได้ จึงต้องใช้สารหล่อลื่นชนิดพิเศษคือ polyol ester (POE) และเนื่องจาก POE เป็นสารหล่อลื่นที่มีความสามารถในการดูดความชื้นสูง จึงต้องระวังอย่าให้มีโอกาสสัมผัสกับอากาศ ปัจจุบันเครื่องปรับอากาศรถยนต์ และตู้เย็นที่ผลิตใหม่ถูกบังคับให้เปลี่ยนมาใช้ R-134a แทน R-12 ทั้งหมด

Cold-22 ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$ ) เป็นสารทำความเย็นกลุ่มไฮโดรคาร์บอน มีค่าความปลอดภัยระดับ A3 มีจุดเดือด  $-43.6$  °F ( $-42$  °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  $450$  °C ใช้ทดแทนในระบบ R-22

Cold-134 ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3 + \text{CH}(\text{CH}_3)_3$ ) เป็นสารทำความเย็นกลุ่มไฮโดรคาร์บอน มีค่าความปลอดภัยระดับ A3 มีจุดเดือด  $-22.9$  °F ( $-30.5$  °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  $460$  °C ใช้ทดแทนในระบบ R-134a

### 2.6.3 สารหล่อลื่น (lubricants)

สารหล่อลื่นที่ใช้ในระบบทำความเย็นเพื่อการหล่อลื่นคอมเพรสเซอร์มีคุณสมบัติพื้นฐานที่ต้องการคือ ไม่มีส่วนผสมของไข (wax free) เพื่อป้องกันการแข็งตัวอุดตันในระบบเมื่อสัมผัสกับช่วงอุณหภูมิต่ำ ไม่เป็นสื่อไฟฟ้า และสามารถรวมตัวกับสารทำความเย็นได้ดีในทุกสภาวะ เพื่อป้องกันการแยกตัวออกจากสารทำความเย็นและตกค้างอยู่ในอุปกรณ์ต่าง ๆ แบ่งออกตามพื้นฐานที่ได้มาเป็น 2 กลุ่มคือ

1. กลุ่มที่ได้จากกรรมวิธีแยกกันจากน้ำมันดิบ (naphthenic or paraffinic based) ได้แก่ สารหล่อลื่นชนิด alkyl benzene (AB), polyol ester (POE), poly alkylene glycol (PAG) ซึ่ง AB หรือ POE นั้นอาจจะใช้งานโดยอิสระ เช่น POE ซึ่งนำไปใช้หล่อลื่นระบบสารทำความเย็น HFC เช่น R-134a, R-507, R-404A, R-407A หรืออาจนำไปผสมกับ MO เพื่อใช้กับสาร HCFC เช่น R-401A, R401B, R-402A เป็นต้น การใช้สารหล่อลื่นชนิด POE มีข้อควรระวังเนื่องจาก POE มีความสามารถในการดูดความชื้น (hygroscopic) สูงมาก จึงต้องระวังไม่ให้มีโอกาสสัมผัสกับอากาศหรือความชื้นได้

## 2.6.4 การปรับเปลี่ยนสารทำความเย็น

### การเลือกวิธีปฏิบัติเพื่อปรับเปลี่ยนสารทำความเย็น (retrofit option)

เนื่องจากสถานการณ์ด้านการควบคุมการใช้สารทำความเย็น ซึ่งทุกประเทศทั่วโลกจะได้รับผลกระทบตามข้อตกลงในพิธีสารมอนทรีออล ผู้ที่เกี่ยวข้องจึงต้องเตรียมตัวเพื่อรับมือกับการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้น ตัวอย่างในกรณีที่อุปกรณ์ทำความเย็นเดิมใช้สาร CFC เป็นสารทำความเย็นซึ่งถูกกำหนดให้เลิกผลิตตั้งแต่สิ้นปี พ.ศ.2538 ดังนั้นการใช้สารทำความเย็นกลุ่ม CFC จึงต้องมีการเตรียมการในการปรับเปลี่ยน โดยมีวิธีปฏิบัติที่เป็นแนวพื้นฐาน 5 วิธี ดังนี้

1. วิธีเลือกใช้สาร CFC ต่อไปตามเดิม เป็นวิธีปฏิบัติที่มีค่าใช้จ่ายต่ำ แต่เป็นการแก้ปัญหาคำใน ช่วงระยะเวลาสั้น ๆ โดยปัญหาสำหรับการเลือกปฏิบัติวิธีนี้ คือ ราคาสาร CFC จะมีราคาสูงขึ้น และการจัดหาสาร CFC มาใช้งานจะมีความยุ่งยากมากขึ้นเป็นลำดับ

2. วิธีปรับเปลี่ยนไปใช้สารทำความเย็นกลุ่มสารผสม HCFC (HCFC blends) ซึ่งมีข้อพิจารณา คือ

- ไม่มีปัญหาด้านเทคนิคการปฏิบัติ
- สามารถหาซื้อได้ง่าย
- ต้องเปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่นเป็นอัลคิลเบนซีน (alkylbenzene)
- เสียค่าใช้จ่ายน้อยและสามารถทำได้ง่ายกว่าการเปลี่ยนไปใช้ HCFC-22 หรือสารกลุ่ม HFC โดยเฉพาะเมื่อทำการเปลี่ยนในช่วงที่ทำการบริการระบบ

3. วิธีปรับเปลี่ยนไปใช้สารทำความเย็น HCFC-22 ซึ่งมีข้อพิจารณา คือ

- ไม่มีปัญหาด้านเทคนิคการปฏิบัติ
- สามารถหาซื้อได้ง่ายและราคาไม่สูงนัก
- จำเป็นต้องเปลี่ยนคอมเพรสเซอร์และคอนเดนเซอร์ใหม่ จึงมีค่าใช้จ่ายสูง

4. วิธีเปลี่ยนไปใช้สารทำความเย็น HFC เช่น HFC-134a ซึ่งมีข้อพิจารณา คือ

- ไม่มีปัญหาด้านเทคนิคการปฏิบัติ
- ค่าใช้จ่ายสูงกว่าการเปลี่ยนไปใช้สารผสมกลุ่ม HCFC (วิธีที่ 2) แต่ถูกกว่าการเปลี่ยนไปใช้ HCFC-22 (วิธีที่ 3)

- ต้องเปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่นเป็น โพลีเอทิลีนไกลคอล (polyolester)

5. วิธีเปลี่ยนอุปกรณ์ทั้งระบบไปใช้สารทำความเย็น HFC เช่น HFC-134a ซึ่งมีข้อพิจารณาดังนี้

- เป็นวิธีที่ดีที่สุดและประหยัดที่สุดในกรณีที่อุปกรณ์ในระบบเดิมเก่าหรือหมดสภาพในการใช้งานแล้ว

- สารทำความเย็นหาซื้อได้ง่าย

- คอมเพรสเซอร์และอุปกรณ์ประกอบต่าง ๆ หาซื้อได้ง่าย

### ผลของการปรับเปลี่ยนสารทำความเย็น (alternative refrigerants)

เนื่องจากปัจจุบันได้มีการพัฒนาสารทำความเย็นชนิดใหม่ เพื่อใช้แทนสาร CFC ซึ่งถูกบังคับให้เลิกผลิตตามพิธีสารมอนทรีออล จึงมีความจำเป็นที่จะต้องเลือกสารทำความเย็นชนิดใหม่มาแทนสารเดิมให้ถูกต้องและไม่เกิดปัญหาในการใช้งาน ซึ่งสรุปเป็นข้อแนะนำในการเลือกใช้ดังตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R-134a เป็นสารกลุ่ม HFC มีค่า ODP = 0, GWP = 0.28

- ใช้เปลี่ยน (retrofit) CFC-12 หรือในระบบที่อุณหภูมิที่เครื่องระเหย = -10 °F หรือสูงกว่า (ที่อุณหภูมิเครื่องระเหย 20 °F หรือสูงกว่า R-134a จะมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับ CFC-12) ที่อุณหภูมิเครื่องระเหยต่ำลง ความสามารถในการทำความเย็นของ R-134a จะลดลง

- เป็นสารทำความเย็นชนิดเดี่ยว คือไม่มีส่วนผสมของสารทำความเย็นชนิดอื่น
- สารหล่อลื่นใช้ POE เท่านั้น หรืออาจให้มี MO ที่ตกค้างในระบบผสมได้ไม่เกิน 5%
- จุดเดือด = -15.0 °F

เปรียบเทียบกับสาร CFC-12

- ด้านความดันสูง เพิ่มขึ้นประมาณ 30 ปอนด์/ตารางนิ้ว อุณหภูมิต่ำลงประมาณ 5 °F
- ด้านความดันต่ำ ความดันลดลงประมาณ 3 ปอนด์/ตารางนิ้ว
- ความเย็นลดลงประมาณ 10%
- ประสิทธิภาพรวมลดลงเล็กน้อย
- ค่าอุณหภูมิ superheat ลดลงประมาณ 4 °F
- กระแสผ่านคอมเพรสเซอร์สูงขึ้นเล็กน้อย
- การเติมสารทำความเย็น ได้ทั้งที่เป็นของเหลวและแก๊ส
- ปริมาณการเติม 80 - 90% ของที่เติมโดยใช้ R-12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7 ความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน

การปฏิบัติงานทำความเย็นคือการปฏิบัติที่เกี่ยวข้องกับการติดตั้ง การตรวจสอบ การบำรุงรักษา รวมถึงการวิเคราะห์ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในระบบ เป็นการปฏิบัติที่มีโอกาสที่จะเกิดอันตรายได้จากสาเหตุต่าง ๆ ทั้งจากปัญหาในระบบไฟฟ้าและระบบเครื่องกล เช่น ปัญหาจากสารทำความเย็น ปัญหาจากถังความดันสูง จากกระแสไฟฟ้า ความร้อน ความเย็น สารเคมี หรืออันตรายที่เกิดจากการทำงานของอุปกรณ์และชิ้นส่วนต่าง ๆ ในระบบ ดังนั้นผู้ที่เกี่ยวข้องจะต้องศึกษาถึงวิธีที่จะปฏิบัติอย่างถูกต้อง ปลอดภัย เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอันตรายต่อผู้ปฏิบัติหรือผู้ใช้งานในระบบทำความเย็น

### 2.7.1 อันตรายที่เกิดจากสารทำความเย็น

ข้อควรระวังในการปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับสารทำความเย็นมีดังนี้

(1) บริเวณที่ปฏิบัติงานเกี่ยวข้องกับสารทำความเย็นจะต้องมีอากาศถ่ายเทได้ดี เพราะอาจมีสารทำความเย็นรั่วออกจากระบบ และเนื่องจากคุณสมบัติที่หนักกว่าอากาศ ทำให้สารทำความเย็นกระจายไปแทนที่อากาศในห้อง ทำให้เกิดการขาดออกซิเจนเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานในบริเวณนั้น

(2) ปลดปล่อยสารทำความเย็นออกจากระบบให้หมด แล้วปล่อยใน โตรเจน หรือ คาร์บอนไดออกไซด์ผ่านก่อนใช้แก๊สเชื่อมหรือตัดอุปกรณ์ในระบบ ห้ามเชื่อมอุดรอยรั่วขณะที่ระบบยังมีสารทำความเย็นอยู่ เนื่องจากเมื่อสารทำความเย็นได้รับความร้อนจะมีอัตราการขยายตัวสูงมาก อาจจะทำให้เกิดการระเบิดอย่างรุนแรง หรือเมื่อสารทำความเย็นสัมผัสกับเปลวไฟขณะเชื่อมจะเกิดการเผาไหม้ได้ แก๊สพิษที่ไม่มีสีแต่มีกลิ่นฉุนเป็นอันตรายต่อร่างกาย

(3) สวมถุงมือและใส่แว่นตาเมื่อปฏิบัติงานเกี่ยวข้องกับสารทำความเย็น เนื่องจากสารทำความเย็นทั่วไปมีจุดเดือดต่ำมาก เช่น R-22 ภายใต้อุณหภูมิบรรยากาศและสัมผัสกับผิวหนังหรือดวงตา จะทำให้เกิดการเปลี่ยนสถานะเป็นไอเป็นอย่างรุนแรง เกิดความเย็นจัดทำให้เกิดการบาดเจ็บเนื่องจากผิวหนังหรือดวงตาถูกกดอุณหภูมิอย่างรวดเร็วเกิดน้ำแข็งจับบริเวณนั้น เป็นการบาดเจ็บเนื่องจากถูกความเย็นจัด (frostbite) ซึ่งจะเกิดอาการเจ็บปวดคล้ายถูกไอน้ำหรือน้ำร้อนลวก ซึ่งถ้าเกิดเหตุดังกล่าวให้รีบแก้ไขโดยการใช้น้ำจากก๊อกที่สะอาดปล่อยผ่านผิวหนังหรือดวงตาที่ถูกสารทำความเย็น เพื่อปรับอุณหภูมิที่เย็นจัดให้คืนสภาพปกติ

(4) สวมถุงมือเมื่อจะปฏิบัติงานกับคอมเพรสเซอร์ชนิดปิดหรือกึ่งปิดที่ได้รับความเสียหายจากมอเตอร์ใหม่ เนื่องจากสารทำความเย็นที่อยู่ในระบบจะเกิดปฏิกิริยากลายเป็นกรดซึ่งจะทำอันตรายกับผิวหนังได้

(5) ห้ามใช้ท่อหรือสายยางจุ่มในถังเพื่อดูดสารทำความเย็นจากถัง (siphoning) เพราะอาจจะทำให้สารทำความเย็นเข้าไปในปากเกิดอันตรายได้

(6) ในกรณีของเหลวค้างอยู่ในท่อหรือถูกกักเก็บอยู่ในอุปกรณ์ในช่วงที่ระบบมีอุณหภูมิต่ำ จะต้องระมัดระวังการเกิดอันตรายเนื่องจากการขยายตัวของสารทำความเย็นเหลว คือหลังจากระบบหยุดสร้างความเย็นบริเวณรอบ ๆ มีอุณหภูมิสูงขึ้น ถ้าไม่มีที่ว่างสำหรับการขยายตัวของสารทำความเย็นเหลว จะทำให้เกิดความดันภายในสูงขึ้นจนเกิดการระเบิดอย่างรุนแรงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7.2 อันตรายที่เกิดจากถังความดัน

ถังความดันที่ใช้เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติงานทำความเย็น ได้แก่ ถังบรรจุสารทำความเย็น ถังแก๊ส ออกซิเจนสำหรับใช้ในงานเชื่อม ถังแก๊สไนโตรเจนหรือคาร์บอนไดออกไซด์สำหรับงานตรวจสอบรอยรั่ว หรือทำความสะอาดระบบ หรือใช้ช่วยป้องกันการเกิดออกไซด์ขณะทำการเชื่อม เป็นต้น ถังความดันต่าง ๆ เหล่านี้จะต้องนำไปใช้งานอย่างถูกต้องเพื่อความปลอดภัย ซึ่งมีข้อแนะนำต่าง ๆ ดังนี้

(1) ห้ามบรรจุสารทำความเย็นเข้าในถังเกินกว่า 80% ของปริมาตรถัง เนื่องจากเมื่อได้รับความร้อนสารทำความเย็นจะขยายตัว จึงต้องมีที่ว่างเพื่อรองรับการขยายตัวดังกล่าว ถังบรรจุสารทำความเย็นจนเต็มถึง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น สารทำความเย็นจะขยายตัวเกิดความดันภายในสูงขึ้นสามารถทำให้ถังระเบิดเกิดอันตรายได้

(2) ถังบรรจุสารทำความเย็นแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ผลิตมาสำหรับการใช้งานเพียงครั้งเดียวไม่สามารถนำกลับมาเติมสารทำความเย็นใช้งานใหม่ ถึงประเภทนี้จะเขียนบอกไว้ที่ถังว่า nonrefillable หรือ disposable ไม่ควรนำถังประเภทนี้มาใช้ถ่ายสารทำความเย็นเพื่อใช้งานใหม่เมื่อสารทำความเย็นหมด ให้เปิดวาล์วที่ถังทิ้งไว้เพื่อระบายแก๊สที่ค้างอยู่ภายในถังทิ้งให้หมด ก่อนนำไปทำลายทิ้ง และถังประเภทที่สามารถนำกลับไปบรรจุสารทำความเย็นเพื่อใช้งานใหม่ (refillable) ซึ่งเป็นถังที่มีโครงสร้างแข็งแรง ใช้โลหะที่มีความหนาแน่นมากกว่า เมื่อใช้หมดแล้วสามารถนำกลับมาหมุนเวียนใช้งานใหม่ได้

(3) อย่าตั้งถังบรรจุสารทำความเย็นไว้กลางแจ้งหรือในสถานที่ที่มีอุณหภูมิสูงเกิน 125 °F (52 °C) เพราะอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้เกิดความดันภายในถังสูงมากขึ้นจนตัวถังระเบิดได้

(4) ขณะบรรจุสารทำความเย็นเข้าในระบบในสถานะที่เป็นแก๊ส อุณหภูมิและความดันภายในถังจะลดต่ำลง ให้แก้ไขโดยการแช่ถังในอ่างน้ำอุ่นอุณหภูมิไม่เกิน 90 °F (32 °C) ห้ามใช้เปลวไฟจากหัวเชื่อมแก๊สในการเพิ่มความดันภายในถัง

(5) ถังบรรจุสารทำความเย็นปกติจะติดตั้งลิ้นระบายความดัน (relief valve) ไว้ที่ด้านบนเพื่อระบายความดันที่เพิ่มขึ้น ปกติจะตั้งไว้ให้ทำงานที่ความดันประมาณ 400 ปอนด์/ตารางนิ้ว นอกจากนี้ยังมีปลั๊กหลอมละลาย (fusible plug) ซึ่งจะละลายเพื่อระบายสารทำความเย็นออกจากถัง กรณีที่ถังมีอุณหภูมิสูงเกินซึ่งอาจทำให้ถังระเบิด

(6) ถังบรรจุไนโตรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งใช้สำหรับการตรวจสอบรอยรั่ว หรือใช้เป่าทำความสะอาดภายในระบบ ถูกบรรจุด้วยความดันสูงมากประมาณ 2,000 ปอนด์/ตารางนิ้ว ในการติดตั้งถังเพื่อใช้งานหรือเมื่อต้องการเคลื่อนย้ายถัง จะต้องมีโซ่เหล็กยึดถังให้แน่น และมีฝาครอบวาล์ว (protective cap) เพื่อป้องกันการกระแทกตัววาล์ว เพราะถ้าถังล้มและวาล์วถูกกระแทกเสียหาย แก๊สความดันสูงจะพุ่งออกจากถังเกิดแรงผลักดันให้ถังพุ่งชนเกิดอันตรายได้ นอกจากนี้ในการปล่อยแก๊สไปใช้งาน จะต้องต่อผ่านวาล์วควบคุมความดัน (pressure regulator) เสมอ เพื่อควบคุมความดันเข้าในระบบไม่เกิน 150 ปอนด์/ตารางนิ้ว และให้รีบปิดวาล์วควบคุมที่ถังทันทีเมื่อได้ความดันตามต้องการแล้ว เพื่อป้องกันอันตรายจากวาล์วควบคุมรั่ว ทำให้ความดันสูงในถังจะเข้าไปในระบบ ท่อสารทำความเย็นหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ใน

ระบบทำความเย็น โดยเฉพาะคอมเพรสเซอร์จะไม่สามารถรับความดันสูงที่เกิดขึ้นจึงอาจเกิดการระเบิดได้

(7) กรณีที่ใช้ออกซิเจน สายหรือท่อแก๊สที่ใช้จะต้องสะอาดปราศจากน้ำมันหรือวัสดุที่เป็นไข เพื่อป้องกันการระเบิดเนื่องจากการติดไฟ เพราะออกซิเจนเป็นแก๊สที่ช่วยให้ไฟติด จะต้องระมัดระวังเป็นพิเศษ และห้ามใช้ออกซิเจนอัดแทนไนโตรเจนสำหรับทดสอบรอยรั่วโดยเด็ดขาด

### 2.7.3 อันตรายที่เกิดจากการใช้ไฟฟ้า

ข้อควรระวังเกี่ยวกับอันตรายที่เกิดจากกระแสไฟฟ้ามีดังนี้

1. ผลของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านร่างกาย ซึ่งอาจเกิดจากร่างกายสัมผัสถูกสายไฟทั้งสองเส้นหรืออาจจะสัมผัสถูกวัตถุที่มีกระแสไฟฟ้ารั่วอยู่ ในขณะที่ร่างกายส่วนอื่นสัมผัสกับพื้นดิน กระแสไฟฟ้าจะสามารถผ่านร่างกายสู่ดินครบวงจร ทำให้เกิดอันตรายได้ ความต้านทานของร่างกายจะแตกต่างกันตามสภาพของผิวหนัง เช่น ผิวแห้งจะมีค่าความต้านทานประมาณ 200,000 – 700,000 โอห์ม แต่ถ้ามีความชื้นหรือเหงื่อออกเพียงเล็กน้อย ความต้านทานจะลดเหลือเพียง 80 – 1,000 โอห์มเท่านั้น อันตรายที่เกิดจากไฟฟ้าดูดหรือกระแสไฟรั่วขึ้นอยู่กับปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่ผ่านร่างกาย ดังนี้

#### ตารางที่ 2-1 แสดงผลของกระแสไฟฟ้าที่ผ่านร่างกาย

(Edward F. Mahoney, หน้า 77)

จำนวนกระแสไฟฟ้า มิลลิแอมแปร์	อาการหรืออันตรายที่เกิดขึ้น
0 - 0.5	ไม่เกิดอาการใด ๆ
0.5 - 2	กล้ามเนื้อกระตุกเล็กน้อย ไม่ถึงขั้นอันตราย
2 - 10	กล้ามเนื้อกระตุกมากขึ้น เกิดอาการเกร็ง
10 - 50	กล้ามเนื้อกระตุกรุนแรง อาจทำให้ล้มพาดหรือตกจากที่สูง ไม่สามารถดิ้นหลุด อาจเกิดบาดแผลไหม้พองได้
50 - 100	กล้ามเนื้อกระตุกอย่างรุนแรง ระบบการหายใจชะงัก
100 - 200	หัวใจหยุดเต้น เสียชีวิต
มากกว่า 200	เกิดบาดแผลไหม้อย่างรุนแรง หยุดการหายใจ เสียชีวิต

2. ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านร่างกาย กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านร่างกายได้มากน้อยเพียงไรขึ้นอยู่กับขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่ร่างกายสัมผัส และค่าความต้านทานของร่างกาย ซึ่งจะนำไปตามกฎของโอห์ม คือ

$$I = \frac{E}{R}$$

$$\text{หรือ} \quad \text{กระแสไฟฟ้า} = \frac{\text{แรงดันไฟฟ้า}}{\text{ค่าความต้านทาน}}$$

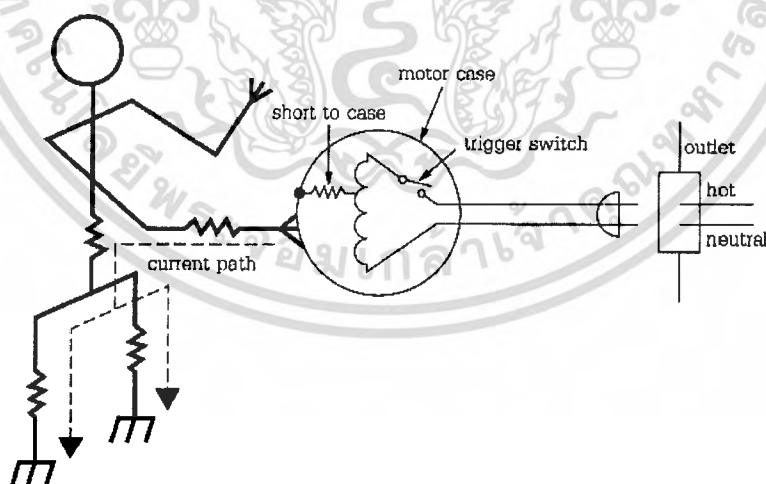
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 2-1 สรุปได้ว่าถ้ามีกระแสไฟฟ้ารั่วผ่านร่างกายถึง 733 มิลลิแอมแปร์ ภายในช่วงเวลาสั้น ๆ คือ น้อยกว่า 1 วินาที ก็จะเป็นอันตรายถึงเสียชีวิตได้ ทั้งนี้อันตรายที่ได้รับจะรุนแรงเพียงใด นอกจากขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผ่านร่างกายแล้วยังขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่กระแสผ่านร่างกาย และตำแหน่งที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน เช่น อันตรายจะรุนแรงมากขึ้น ถ้ากระแสไฟรั่วผ่านบริเวณศีรษะหรือทรวงอก เป็นต้น

**ตารางที่ 2-2 แสดงระยะเวลาที่กระแสไฟไหลผ่านร่างกาย จนเป็นอันตรายถึงชีวิต**  
(ความปลอดภัยในการใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน : การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, หน้า 3)

จำนวนกระแสไฟฟ้า มิลลิแอมแปร์	ระยะเวลา นานกว่า
15	2 นาที
20	1 นาที
30	35 วินาที
100	3 วินาที
500	1/10 วินาที
1000	1/100 วินาที

3. วิธีป้องกันอันตรายจากไฟรั่ว เนื่องจากกระแสไฟฟ้าจะไหลไปในเส้นทางที่มีความต้านทานน้อยที่สุด ดังนั้นเพื่อป้องกันอันตรายจากกระแสไฟฟ้ารั่วผ่านร่างกาย จึงต้องป้องกันโดยการต่อสายดิน (ground) เพื่อเป็นทางให้กระแสไฟฟ้าที่อาจรั่วมาที่โครงของเครื่องมือหรืออุปกรณ์ ไหลผ่านลงดินตามสายดินที่ต่อไว้แทนการไหลผ่านร่างกาย



**รูปที่ 2-29 แสดงการรั่วของวงจรไฟฟ้าที่ไม่มีสายดิน**

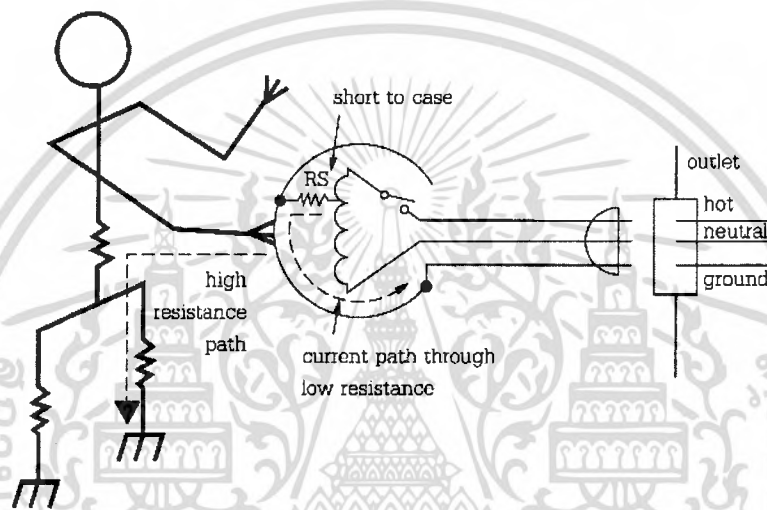
(Edward F.Mahoney, หน้า 79)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาจากรูปที่ 2-29 มอเตอร์ของส่วนไฟฟ้ารั่วลงโครงของส่วน ซึ่งจะทำให้เกิดผลได้ 2 กรณี คือ

กรณีที่ 1 เมื่อใช้ส่วนไฟฟ้าทำงานบริเวณที่แห้ง เสื้อผ้าและผิวหนังของร่างกายไม่เปียกชื้น ซึ่งทำให้เกิดผลคือ ร่างกายมีค่าความต้านทานสูง ถึงแม้ว่ามอเตอร์จะรั่วลงโครง กระแสไฟฟ้าก็ยังคงผ่านขดลวดของมอเตอร์ครบวงจร โดยไม่ผ่านร่างกาย หรือผ่านน้อยจนไม่รู้สึกรู้ว่า มีไฟรั่ว ทำให้ผู้ใช้งานเกิดความประมาทว่าส่วนใช้งานได้ปลอดภัย ซึ่งเป็นอันตรายอย่างยิ่ง เมื่อส่วนถูกนำไปใช้ในกรณีที่ 2

กรณีที่ 2 เมื่อใช้ส่วนไฟฟ้าตัวเดิม แต่ทำงานในบริเวณที่เปียกชื้น เสื้อผ้าหรือร่างกายเปียก ในสภาพการรั่วเช่นเดียวกัน กระแสไฟฟ้าจะผ่านร่างกายได้มากขึ้นจนทำให้เกิดอันตรายได้ ดังนั้นวิธีป้องกันที่ถูกต้องที่สุด คือ การต่อสายดิน เพื่อให้เกิดเส้นทางที่มีความต้านทานต่ำกว่าความต้านทานของร่างกาย



รูปที่ 2-30 แสดงการรั่วของวงจรไฟฟ้าที่มีสายดิน

(Edward F. Mahoney, หน้า 79)

ข้อสังเกต ในกรณีของระบบไฟฟ้าที่ไม่มีสายดินในระบบ เราจะต้องต่อสายดินผ่านแท่งต่อสายดิน (ground rod) ซึ่งลักษณะเป็นท่อทองแดงใช้ตอกฝังลงในดิน เพื่อให้ไฟรั่วผ่านลงดินครบวงจรได้โดยไม่ผ่านร่างกาย

4. กฎของความปลอดภัยในการใช้ไฟฟ้า มีดังนี้

(ก) ถ้าตรวจพบว่าอุปกรณ์หรือเครื่องใช้ไฟฟ้ามีการรั่วจะต้องหยุดปฏิบัติงานทันที เพื่อทำการตรวจและแก้ไขปัญหาเรื่องไฟรั่วก่อนที่จะปฏิบัติงานต่อไป

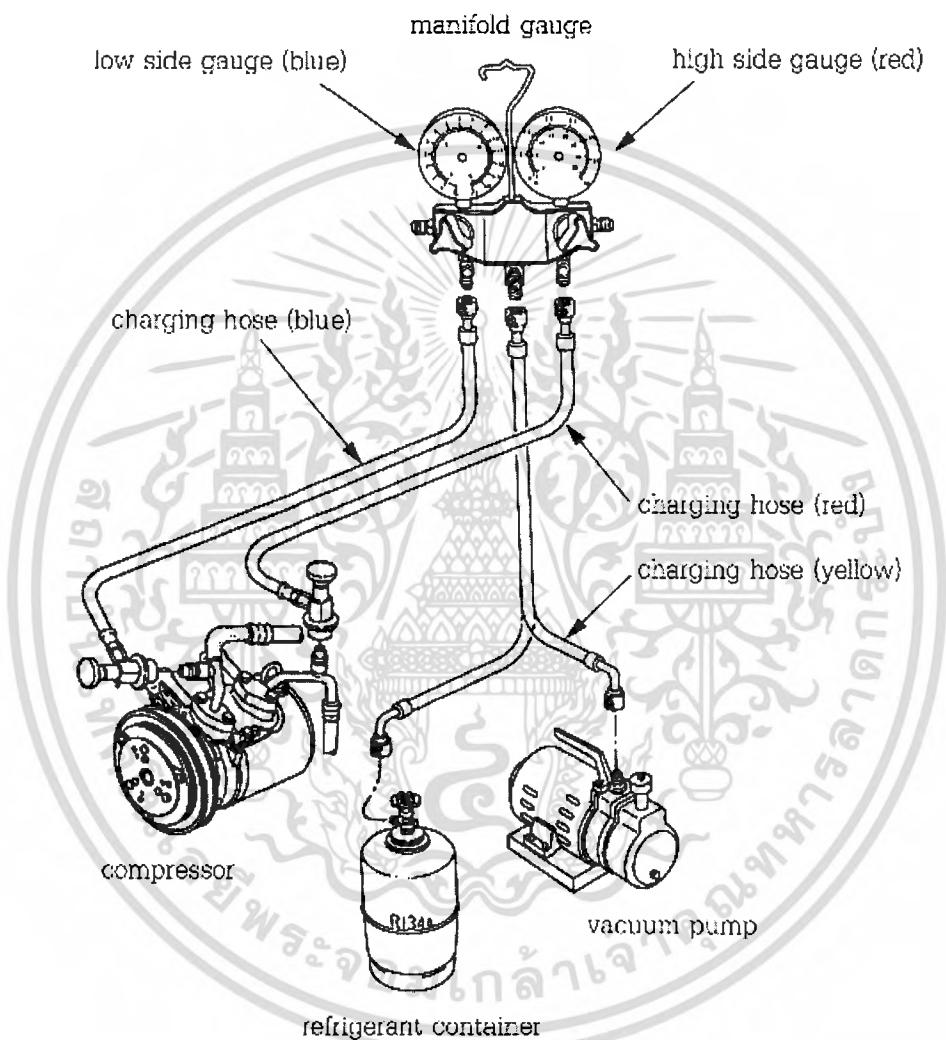
(ข) ไม่ปฏิบัติงานเกี่ยวกับเครื่องมือหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าขณะที่ร่างกาย เสื้อผ้าหรือรองเท้าที่สวมใส่เปียกอยู่ หรือถ้าจำเป็นจะต้องปฏิบัติงานด้วยความระมัดระวังเพิ่มขึ้นเป็นพิเศษ

(ค) ต่อสายดินที่เครื่องมือหรือเครื่องใช้ไฟฟ้าทุกชนิดเพื่อป้องกันอันตรายจากไฟรั่ว

## 2.8 เครื่องมือบริการในระบบทำความเย็น

### 2.8.1 การใช้เกจแมนิโฟลด์

เกจแมนิโฟลด์ (manifold gauge) คือเครื่องมือเฉพาะสำหรับช่างเครื่องทำความเย็น ใช้สำหรับการบริการและการตรวจวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบ เช่น การทำสุญญากาศ การเติมสารทำความเย็น การเติมสารหล่อลื่น การตรวจวัดความดัน การหาอุณหภูมิระเหยและอุณหภูมิควบแน่นของสารทำความเย็นในระบบ



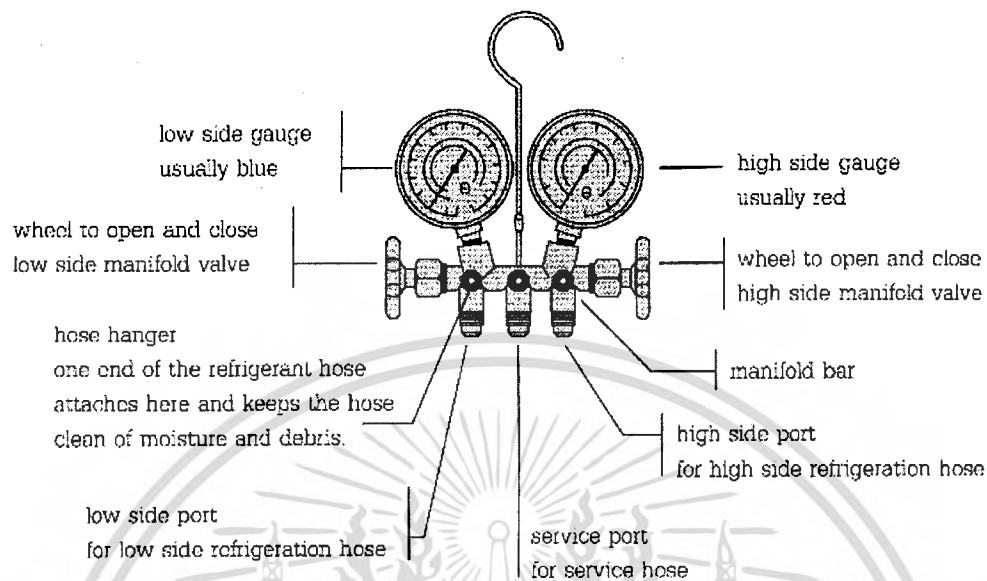
รูปที่ 2-31 แสดงการติดตั้งเกจแมนิโฟลด์เพื่อใช้งานในลักษณะต่างๆ

(Birch.Tom, หน้า 196)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ส่วนประกอบของเกจแมนิโฟลด์ (manifold gauge set)

ชุดเกจแมนิโฟลด์ ประกอบด้วยเกจความดันต่ำ (low side gauge หรือ compound gauge) เกจความดันสูง (high side gauge) ท่อร่วม (manifold bar) วาล์วควบคุม (manifold valve) สายน้ำยา (charging hose)



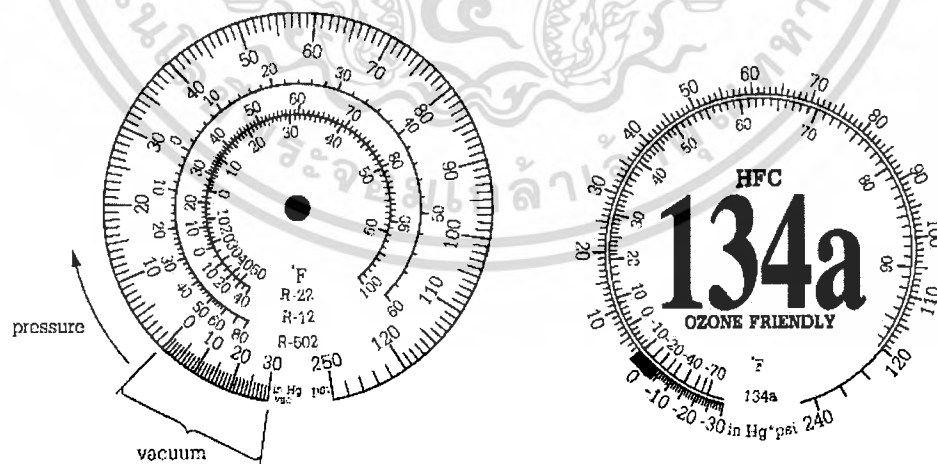
รูปที่ 2-32 แสดงส่วนประกอบต่างๆ ของเกจแมนิโฟลด์

(OSU-Manual Lab.)

### การอ่านค่าบนหน้าปัดของเกจแมนิโฟลด์

การอ่านค่าของเกจแมนิโฟลด์สามารถอ่านได้จากเกจคอมปาวด์และเกจความดันสูง ซึ่งมีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

1. เกจคอมปาวด์ ติดตั้งอยู่ทางด้านซ้ายของเกจแมนิโฟลด์ ปกติจะเป็นเกจสีน้ำเงิน ใช้ติดตั้งกับระบบทางด้านความดันต่ำ สามารถอ่านได้ทั้งค่าความดันต่ำและค่าสุญญากาศ



รูปที่ 2-33 แสดงรายละเอียดบนหน้าปัดของเกจคอมปาวด์

(Birch, Tom, หน้า 197)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1) ค่าความดันต่ำกว่าบรรยากาศ (vacuum) อ่านค่าได้ตั้งแต่ 0-30 นิ้วปรอท (in.Hg) ใช้สำหรับอ่านค่าความดันในระบบขณะทำสุญญากาศ ซึ่งเป็นค่าความดันที่เราพยายามทำให้มีค่าต่ำที่สุด เพื่อให้ให้น้ำหรือความชื้นที่ปนอยู่ในระบบมีอากาศเดือดกลายเป็นไอและถูกดูดออกจากระบบได้หมด ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันต่ำกว่าบรรยากาศและอุณหภูมิระเหยของน้ำ เช่น ที่ความดันบรรยากาศ (0 in.Hg หรือ 0 psig หรือ 14.696 psia) น้ำจะมีอุณหภูมิระเหยที่ 212 °F แต่ถ้าลดความดันเป็น 29 นิ้วปรอทอุณหภูมิระเหยของน้ำจะมีค่า 76 °F เป็นต้น

### ตารางที่ 2-3 แสดงค่าอุณหภูมิระเหยของน้ำที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ

(Birch, Tom, หน้า 19)

Temperature In °F	Inches of Vacuum	Microns*	Pounds Sq. in. (Pressure)
212°	0.00	759,968	14.696
205°	4.92	535,000	12.279
194°	9.23	525,526	10.162
176°	15.94	355,092	6.866
158°	20.72	233,680	4.519
140°	24.04	149,352	2.888
122°	26.28	92,456	1.788
104°	27.75	55,118	1.066
86°	28.67	31,750	.614
80°	28.92	25,400	.491
76°	29.02	22,860	.442
72°	29.12	20,320	.393
69°	29.22	17,780	.344
64°	29.32	15,240	.295
59°	29.42	12,700	.246
53°	29.52	10,160	.196
45°	29.62	7,620	.147
32°	29.74	4,572	.088
21°	29.82	2,540	.049
6°	29.87	1,270	.0245
-24°	29.91	254	.0049
-35°	29.915	127	.00245
-60°	29.919	25.4	.00049
-70°	29.9195	12.7	.00024
-90°	29.9199	2.54	.000049

\* Remaining pressure in system in microns

1.000 inch = 25,400 microns = 2.540 cm = 25.40 mm

.100 inch = 2,540 microns = .254 cm = 2.54 mm

.039 inch = 1,000 microns = .100 cm = 1.00 mm

(2) ค่าความดันต่ำ (low pressure) อ่านค่าได้ตั้งแต่ 0-250 ปอนด์/ตารางนิ้ว ใช้สำหรับอ่านค่าความดันด้านต่ำของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) ค่าอุณหภูมิระเหยของสารทำความเย็น (evaporating หรือ boiling temperature) อ่านค่าได้จากตัวเลขตามชนิดของสารทำความเย็นที่ระบุบนหน้าปัด มีหน่วยเป็น °F ซึ่งค่าอุณหภูมิระเหยของสารทำความเย็นนี้จะเปลี่ยนแปลงสัมพันธ์กับค่าความดันที่อ่านได้ในขณะนั้น

#### ตารางที่ 2-4 แสดงค่าความดันและอุณหภูมิระเหยของสารทำความเย็นชนิดต่าง ๆ

ความดัน psig	อุณหภูมิระเหย (°F)			
	R-12	R-22	R-502	R-134a
0 (1 atm)	-22	-42	-50	-15
10	2	-20	-30	7
70	70	41	33	69

2. เกจความดันสูง ติดตั้งอยู่ทางด้านขวาของเกจแมนิโฟลด์ ปกติจะเป็นเกจสีแดง ใช้ติดตั้งกับระบบทางด้านความดันสูง สามารถอ่านค่าต่าง ๆ ได้ดังนี้

(1) ค่าความดันสูงในระบบ (high pressure) อ่านค่าได้ตั้งแต่ 0-500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ใช้สำหรับอ่านค่าความดันด้านสูงของระบบ

(2) ค่าอุณหภูมิควบแน่น (condensing temperature) ของสารทำความเย็น อ่านค่าได้จากตัวเลขตามชนิดของสารทำความเย็นที่ระบุบนหน้าปัด มีหน่วยเป็น °F ซึ่งค่าอุณหภูมิควบแน่นจะเปลี่ยนแปลงสัมพันธ์กับค่าความดันที่อ่านได้ในขณะนั้น



รูปที่ 2-34 แสดงรายละเอียดของหน้าปัดของเกจความดันสูง

(Althouse, A.D., หน้า 495)

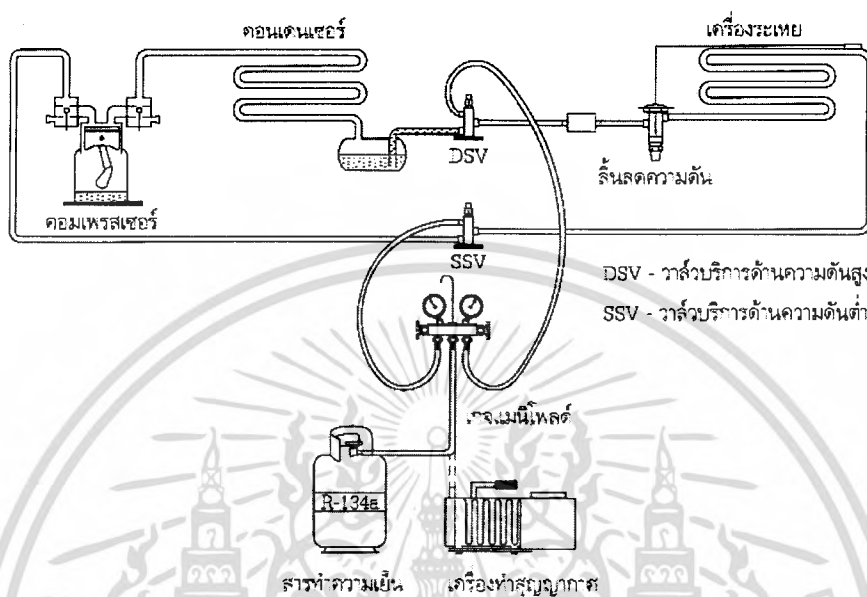
#### ตารางที่ 2-5 แสดงค่าความดันและอุณหภูมิควบแน่นของสารทำความเย็นชนิดต่าง ๆ

ความดัน psig	อุณหภูมิควบแน่น (°F)			
	R-12	R-22	R-502	R-134a
0 (1 atm)	-22	-42	-50	-15
150	117	82	73	111
200	138	101	95	130

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การติดตั้งเกจแมนิโฟลด์และการใช้งานในลักษณะต่าง ๆ

1. การติดตั้งเกจแมนิโฟลด์เพื่อการบริการหรือการวิเคราะห์ปัญหาในระบบ ทำได้โดยการต่อสายน้ำยาด้านความดันต่ำ (สายสีน้ำเงิน) เข้ากับระบบด้านความดันต่ำ สายน้ำยาด้านความดันสูง (สายสีแดง) เข้ากับระบบด้านความดันสูง และสายเส้นกลาง (สายสีเหลือง) ต่อเข้ากับเครื่องทำสุญญากาศหรือถังน้ำยา เมื่อต้องการทำสุญญากาศ หรือเติมสารทำความเย็นเข้าในระบบ



รูปที่ 2-35 แสดงการติดตั้งเกจแมนิโฟลด์

### ลำดับขั้นตอนการปฏิบัติเพื่อใช้เกจแมนิโฟลด์

1. การตรวจสอบความพร้อมของเกจแมนิโฟลด์ ก่อนใช้เกจแมนิโฟลด์ทุกครั้งจะต้องตรวจสอบความเที่ยงตรงของเกจวัดความดันก่อน โดยการปล่อยปลายสายน้ำยาให้เปิดสู่บรรยากาศ เกจที่พร้อมใช้งานเข็มชี้ความดันบนหน้าปัดของเกจคอมปาวด์และเกจความดันสูง (indicator needle) จะต้องชี้ที่ตำแหน่งศูนย์เสมอ ถ้าไม่ตรงจะต้องทำการปรับ โดยใช้ไขควงปรับที่สกรูสำหรับปรับตั้ง (zero adjustment screw) ให้เข็มชี้ตรงตำแหน่งศูนย์ เพราะขณะนี้เกจวัดความดันเปิดสู่บรรยากาศซึ่งมีค่าความดัน = 0 psig

2. การอ่านค่าจากเกจแมนิโฟลด์ เราสามารถอ่านค่าความดันและอุณหภูมิอิ่มตัวของสารทำความเย็นจากเกจแมนิโฟลด์ได้ตามลำดับขั้นตอนดังนี้

(1) การอ่านค่าจากเกจคอมปาวด์ โดยการต่อสายน้ำยาด้านความดันต่ำเข้ากับถังไนโตรเจนโดยผ่านวาล์วควบคุม ทดลองปรับความดันตามค่าที่กำหนดให้ พร้อมทั้งอ่านค่าอุณหภูมิระเหยของสารทำความเย็นตามที่กำหนดและบันทึกค่าลงในตาราง

ความดัน psig	อุณหภูมิระเหย ( $^{\circ}F$ )		
	R-12	R-22	R-502
0			
15			
20			
30			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) การอ่านค่าจากเกจด้านความดันสูง โดยการต่อสายน้ำยาด้านความดันสูงเข้ากับถังไนโตรเจน ทดลองปฏิบัติตามข้อ (1) และบันทึกค่าลงในตาราง

ความดัน psig	อุณหภูมิความแน่น (°F)		
	R-12	R-22	R-502
100			
250			
300			

(3) เปรียบเทียบอุณหภูมิระเหยและอุณหภูมิความแน่นของสารทำความเย็นที่อ่านได้ โดยอ่านจากเกจตามข้อ (1) และ (2) กับค่าที่ได้จากตารางความดัน-อุณหภูมิอิ่มตัวของสารทำความเย็น

(4) การอ่านค่าสุญญากาศ โดยการต่อสายน้ำยาเส้นกลางเข้ากับเครื่องทำสุญญากาศ ปลายสายน้ำยาความดันต่ำและความดันสูงขันปิดเข้ากับท่อร่วม ให้เครื่องทำสุญญากาศทำงาน เปิดวาล์วด้านความดันต่ำให้เข็มชี้ค่าสุญญากาศทำงาน ทดลองให้เข็มชี้ค่าสุญญากาศในระดับต่าง ๆ อ่านค่าอุณหภูมิระเหยของน้ำจากตารางในข้อ (1) และบันทึกค่าลงในตาราง

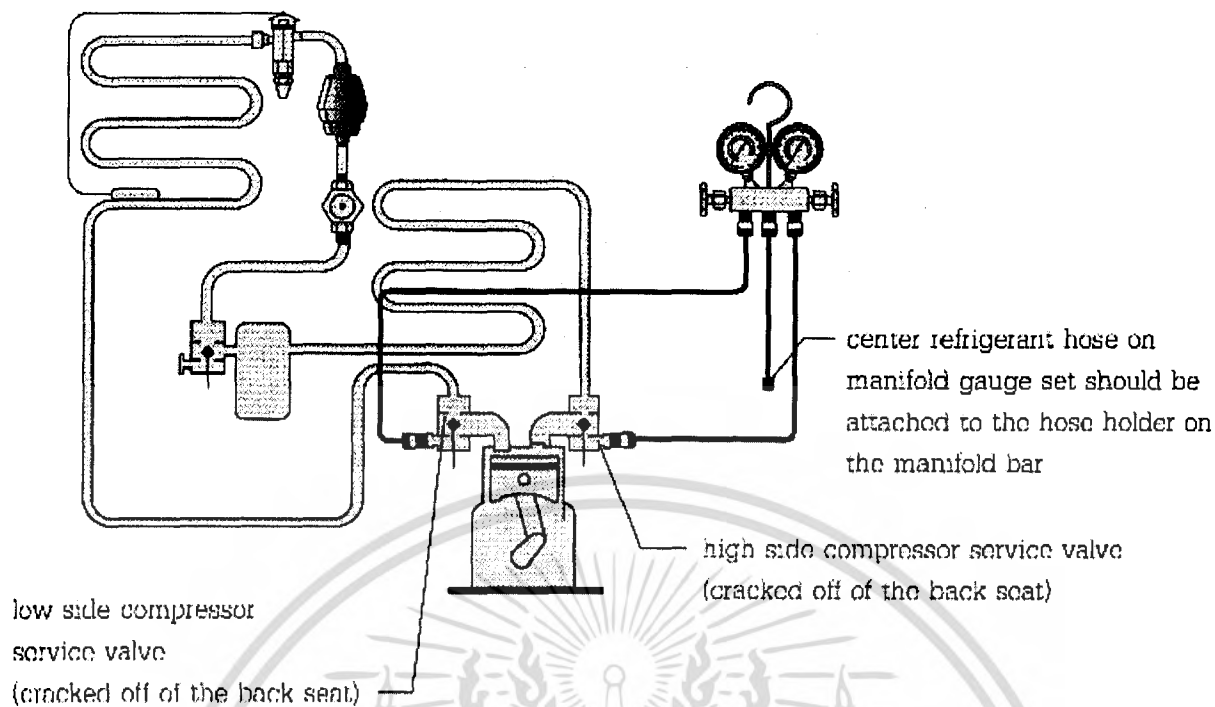
ค่าสุญญากาศ - in.Hg. (อ่านจากเกจคอมปาวด์)	ความดันสัมบูรณ์		อุณหภูมิระเหยของน้ำ °F
	psia	micron	
0			
24			
29			
29.92			

(5) ทดลองต่อเกจแมนิโฟลด์เข้ากับระบบ โดยไล่อากาศออกจากสายน้ำยาทั้งสอง หลังจากเครื่องทำความเย็นทำงานประมาณ 5 นาที บันทึกค่าความดัน อุณหภูมิระเหย และอุณหภูมิความแน่นที่อ่านได้จากเกจแมนิโฟลด์

## 2.8.2 การใช้งานวาล์วบริการในระบบทำความเย็น

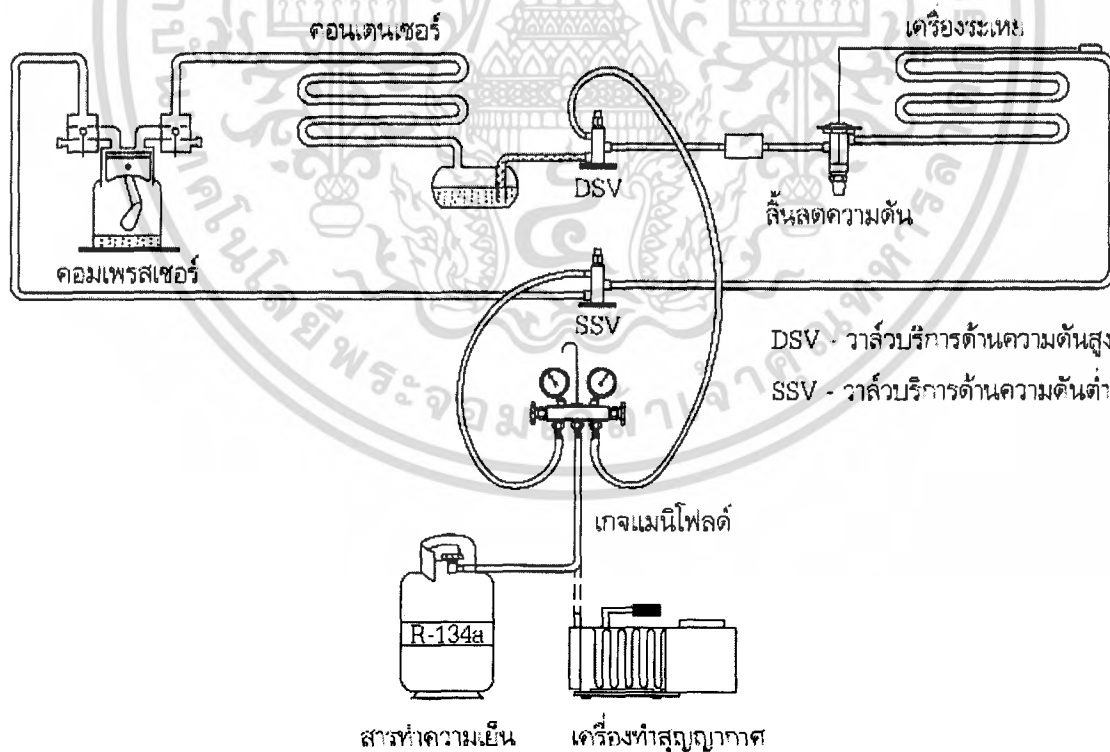
วาล์วบริการ (service valve) คืออุปกรณ์ที่ติดตั้งในระบบทำความเย็น ประกอบด้วยวาล์วบริการด้านความดันต่ำ (low side หรือ suction service valve) ติดตั้งอยู่ด้านความดันต่ำของระบบ เช่น ติดตั้งที่ทางเข้าคอมเพรสเซอร์ หรือติดตั้งอยู่กับท่อสารทำความเย็นด้านดูดที่ออกจากเครื่องระเหย และวาล์วบริการด้านความดันสูง (high side หรือ discharge service valve) ซึ่งจะติดตั้งอยู่ด้านความดันสูงของระบบ เช่น ติดตั้งที่ทางออกของคอมเพรสเซอร์ หรือติดตั้งอยู่กับท่อสารทำความเย็นเหลวที่ออกจากคอนเดนเซอร์ ในการปฏิบัติงานเพื่อการบริการและตรวจวิเคราะห์ปัญหาในระบบทำความเย็น จะใช้เกจแมนิโฟลด์ต่อเข้ากับวาล์วบริการของระบบทำความเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-36 แสดงการติดตั้งวาล์วบริการที่คอมเพรสเซอร์

(OSU-Manual Lab.)

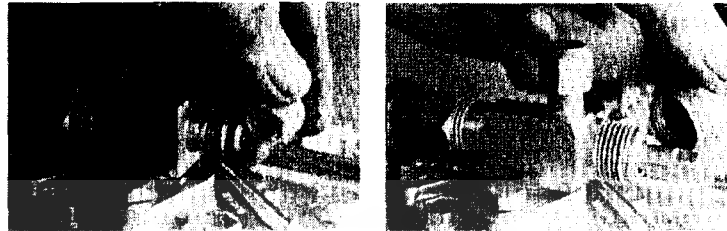


รูป 2-37 แสดงการติดตั้งวาล์วบริการที่ท่อสารทำความเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ชนิดของวาล์วบริการ**

วาล์วบริการแบ่งออกได้เป็นชนิดต่าง ๆ ตามลักษณะการทำงาน เช่น วาล์วบริการชนิดควบคุมด้วยวาล์วลูกศร วาล์วบริการชนิดปรับด้วยมือ ซึ่งเป็นแบบที่นิยมใช้กันทั่วไป นอกจากนี้ยังมีวาล์วชนิดผสม และวาล์วบริการชนิดพิเศษที่ใช้ติดตั้งเฉพาะที่รีซีฟเวอร์ เป็นต้น



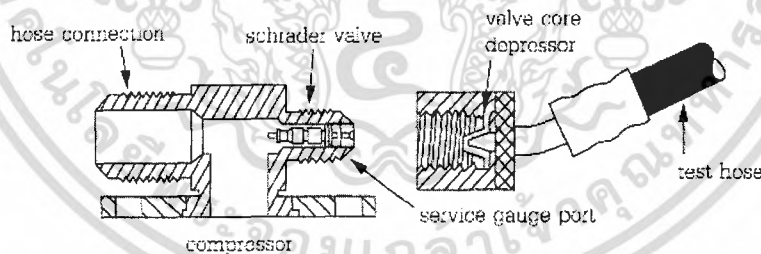
(ก) ชนิดวาล์วลูกศร

(ข) ชนิดปรับด้วยมือ

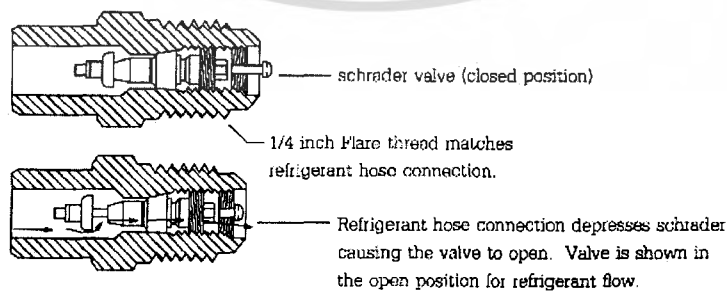
**รูปที่ 2-38 แสดงวาล์วบริการในระบบทำความเย็น**

(Dwiggins, B.H., หน้า 65)

1. วาล์วบริการชนิดควบคุมด้วยวาล์วลูกศร (Schrader or automatic valve) มีโครงสร้างและการทำงานเช่นเดียวกับวาล์วสำหรับเติมลมยางรถยนต์ ในการใช้งานจะใช้ปลายสายน้ำยาด้านที่มีแกนกดเปิดวาล์วขันต่อเข้ากับวาล์วบริการชนิดลูกศร เมื่อวาล์วลูกศรถูกกดจะทำให้ภายในระบบถูกเปิดต่อถึงเกจแมนิโฟลด์ และเมื่อเสร็จสิ้นการบริการระบบ เพียงคลายสายน้ำยาออกจากวาล์วบริการ วาล์วลูกศรก็จะปิดช่องบริการด้วยสปริง ลักษณะการทำงานของวาล์วบริการดังกล่าวสามารถปิด-เปิดได้สะดวกและไม่ต้องใช้เครื่องมือใด ๆ ช่วย จึงมีความสะดวกในการใช้งาน แต่มีข้อเสียคือขณะขันหรือคลายสายน้ำยาจากวาล์วบริการจะมีน้ำยารั่วออกตามเกลียว ทำให้สูญเสียน้ำยาและอาจเกิดอันตรายกับผู้ปฏิบัติงานได้ จึงควรปฏิบัติให้ถูกต้องโดยใช้มือกดให้ปลายสายแนบกับวาล์วลูกศรขณะคลายเกลียวที่ปลายสายน้ำยา เมื่อคลายเกลียวสุดแล้วจึงดึงให้ปลายสายหลุดจากวาล์วบริการในทันที



**รูปที่ 2-39 แสดงโครงสร้างของวาล์วบริการแบบลูกศร และปลายสายน้ำยาที่มีแกนกดวาล์ว**



**รูปที่ 2-40 แสดงวาล์วบริการแบบลูกศร ในตำแหน่งปิดและเปิด**

(OSU-Manual Lab.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วาล์วบริการชนิดปรับด้วยมือ (hand shutoff or manual valve)
3. วาล์วบริการชนิดผสม
4. วาล์วบริการชนิดพิเศษ (king valve)

### ข้อควรระวังในการใช้วาล์วบริการ

1. การใช้วาล์วบริการแบบลูกศร หลังจากขันปลายสายน้ำยาเข้ากับวาล์วบริการแล้ว วาล์วลูกศร จะถูกกดให้เปิด ทำให้สารทำความเย็นผ่านมายังเกจแมนิโฟลด์ จึงห้ามถอดปลายสายน้ำยาออกจากเกจแมนิโฟลด์ เพื่อป้องกันการสูญเสีสารทำความเย็นและป้องกันอันตรายที่เกิดจากสารทำความเย็น
2. การทำงานของวาล์วบริการแบบลูกศร ขณะอยู่ในตำแหน่งเปิดจะมีช่องทางแคบ ๆ ให้น้ำยาอากาศ หรือความชื้นผ่าน ดังนั้นขณะทำสุญญากาศจึงจำเป็นต้องใช้เวลามากกว่าวาล์วบริการชนิดปรับด้วยมือ เพื่อให้อากาศและความชื้นมีโอกาสออกจากระบบได้หมด
3. ห้ามใช้ประแจปากตายหรือคีมล็อกในการขันแกนวาล์วบริการ เพราะจะทำให้แกนวาล์วซึ่งเป็นแกนสี่เหลี่ยมเสียรูปได้ ให้ใช้ประแจสำหรับเปิดวาล์วบริการโดยเฉพาะเท่านั้น
4. ก่อนที่จะปรับแกนวาล์วเพื่อเลื่อนตำแหน่ง ให้คลายปลอกอัดปะเก็น (gland packing retainer) เล็กน้อย เพื่อให้สามารถปรับแกนวาล์วได้สะดวกขึ้น สำหรับปลอกอัดปะเก็นมีหน้าที่อัดปะเก็นให้รับแน่นกับแกนวาล์ว เพื่อป้องกันสารทำความเย็นรั่วออกตามแกนวาล์ว ดังนั้นหลังจากการปรับแกนวาล์วเรียบร้อยแล้วให้ขันปลอกอัดปะเก็นให้แน่น
5. ในกรณีที่ว่าวาล์วบริการด้านความดันสูงติดตั้งอยู่ที่ทางออกของคอมเพรสเซอร์ ขณะคอมเพรสเซอร์ทำงาน ห้ามปรับวาล์วบริการไปอยู่ในตำแหน่งกักเก็บสารทำความเย็นโดยเด็ดขาด เพราะในตำแหน่งนี้สารทำความเย็นที่ออกจากคอมเพรสเซอร์จะไม่สามารถส่งต่อไปเข้าคอมเพรสเซอร์ได้ จะทำให้ความดันด้านสูงมีค่าสูงมากจนคอมเพรสเซอร์เสียหายได้

### ลำดับขั้นการปฏิบัติของการใช้วาล์วบริการในระบบทำความเย็น

1. ในกรณีที่เป็นวาล์วบริการชนิดควบคุมด้วยวาล์วลูกศร มีขั้นตอนการปฏิบัติดังนี้
  - (1) ศึกษาโครงสร้างและการทำงานของวาล์วลูกศร
  - (2) เปิดฝาคอรอบช่องบริการ ในกรณีที่มีสารทำความเย็นอยู่ในระบบให้สังเกตการรั่วของวาล์วลูกศร
  - (3) ต่อสายน้ำยาของเกจแมนิโฟลด์เข้ากับช่องบริการของวาล์วทั้งด้านความดันต่ำและด้านความดันสูง ขณะนี้สารทำความเย็นถูกเปิดให้เข้าไปยังเกจแมนิโฟลด์
  - (4) ไล่อากาศออกจากสายน้ำยาทั้งสองเส้น
  - (5) ทดลองให้คอมเพรสเซอร์ทำงาน หลังจากนั้นประมาณ 5 นาที อ่านความดันทั้งสองด้านในระบบ และบันทึกค่าความดันที่อ่านได้
  - (6) ในการถอดสายน้ำยาออกจากวาล์วบริการ ให้ถอดสายน้ำยาออกจากวาล์วบริการด้านความดันต่ำ ในขณะที่คอมเพรสเซอร์กำลังทำงานอยู่ หลังจากนั้นจึงให้ระบบหยุดทำงานจนความดันด้านสูงลดลงก่อนจึงทำการถอดสายน้ำยาด้านความดันสูง
  - (7) ทดลองใช้วาล์วบริการให้ทำหน้าที่อื่น ๆ ตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้เกจแมนิโฟลด์เพื่อใช้งานในลักษณะต่าง ๆ

ตารางที่ 2-6 แสดงการใช้เกจแมนิโฟลด์ในลักษณะต่าง ๆ

(Athouse, A.D., หน้า 352)

ตำแหน่งวาล์ว	ลักษณะการใช้งาน	การต่อสายน้ำยา เห็นกลาง	การทำงานของ ระบบ
 <p>A CLOSED B-CLOSED</p>	วัดความดันขณะระบบทำงาน (checking operating pressure)	ปิดปลายสาย	ระบบทำงาน
	วัดความดันขณะระบบหยุดทำงาน (balance of pressure)	ปิดปลายสาย	ระบบหยุดทำงาน
 <p>A-OPEN B-OPEN</p>	ระบายความดันด้านสูงผ่านไปยังด้าน ความดันต่ำ (by-passing)	ปิดปลายสาย	ระบบหยุดทำงาน
 <p>A-OPEN B-OPEN</p>	เติมน้ำยาความเย็นก่อนให้ระบบทำงาน (vapor precharging)	ต่อสายเข้ากับถังน้ำยา	ระบบหยุดทำงาน
	ทำสุญญากาศ (evacuating)	ต่อสายเข้ากับ เครื่องทำสุญญากาศ	ระบบหยุดทำงาน
 <p>A-OPEN B-CLOSED</p>	เติมน้ำยาความเย็นในสภาพที่เป็นไอ (vapor refrigerant charging)	ต่อสายเข้ากับถังน้ำยา	ระบบทำงาน
	ดูดเก็บสารทำความเย็นในสภาพที่เป็นไอ (vapor recovery)	ต่อสายเข้ากับเครื่อง ดูดเก็บสารทำความเย็น	ระบบหยุดทำงาน
	เติมน้ำยาหล่อลื่นสำหรับระบบที่ใช้ อุปกรณ์อัดไอแบบปิดสนิท (hermetic compressor)	จุ่มปลายสายในน้ำมัน หล่อลื่น	ระบบหยุดทำงาน และทำสุญญากาศ ในระบบ
 <p>A-CLOSED B-OPEN</p>	เติมน้ำยาความเย็นในสภาพเป็นของเหลว (liquid refrigerant charging)	ต่อสายเข้ากับถังน้ำยา	ระบบทำงาน
	ดูดเก็บสารทำความเย็นในสภาพเป็น ของเหลว (liquid recovery)	ต่อสายเข้ากับเครื่อง ดูดเก็บสารทำความเย็น	ระบบหยุดทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.9 เครื่องมือวัดทางไฟฟ้า

ระบบไฟฟ้าในเครื่องทำความเย็นทั่วไปแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของวงจรกำลัง (power circuit) และวงจรควบคุม (control circuit) ปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้ามีโอกาสเกิดขึ้นได้ทั้ง 2 ส่วนในวงจร การแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นจำเป็นต้องอาศัยเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าช่วยในการตรวจสอบและวิเคราะห์ผลเพื่อทำการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นต่อไป

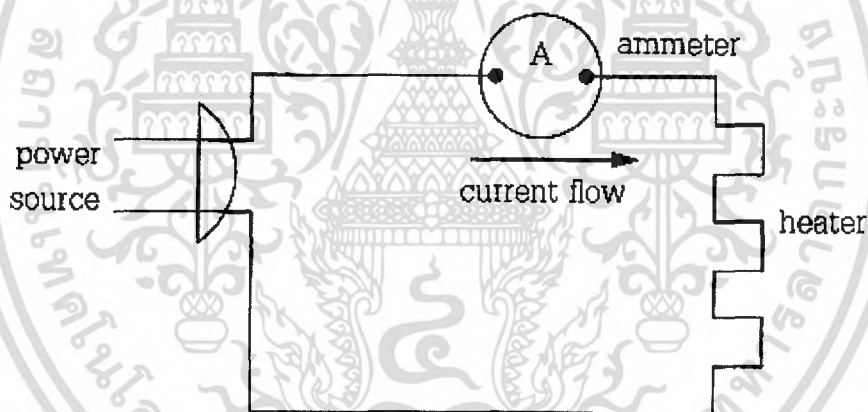
### 2.9.1 เครื่องมือวัดทางไฟฟ้า (electrical measuring instruments)

เครื่องมือวัดทางไฟฟ้า ใช้สำหรับตรวจสอบอุปกรณ์และวงจรไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องทำความเย็น ประกอบด้วยเครื่องมือต่าง ๆ ดังนี้

#### แอมมิเตอร์ (ammeter)

แอมมิเตอร์ คือเครื่องมือที่ใช้วัดกระแสไฟฟ้าในวงจร แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. ชนิดที่ติดตั้งไว้เป็นส่วนหนึ่งในวงจร หรือจะต้องปลดสายออกจากวงจรต่อผ่านเครื่องมือวัด มีทั้งแบบที่ใช้วัดกระแสตรง (DC ammeter) ซึ่งในการวัดจะต้องคำนึงถึงขั้วบวก ขั้วลบของมิเตอร์ด้วย และแบบที่ใช้วัดกระแสสลับ (AC ammeter) ซึ่งในการวัดค่าไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงขั้วบวกขั้วลบ แต่ทั้ง 2 แบบจะต้องต่อแอมมิเตอร์อนุกรมกับอุปกรณ์หรือวงจรที่จะทำการวัดเสมอ เช่นที่วัดโดยใช้มัลติมิเตอร์หรือใช้แอมมิเตอร์ชนิดติดตั้งไว้ถาวรในวงจร (in-line ammeter)

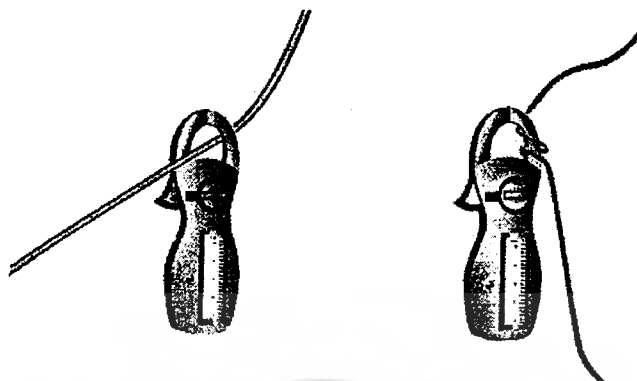


รูปที่ 2-41 แสดงการติดตั้งแอมมิเตอร์ในวงจร

(Edward, F.M., หน้า 51)

2. ชนิดที่ใช้วัดโดยใช้แอมมิเตอร์คล้องสายไฟที่ต้องการวัด (clamp-on ammeter หรือ clip ammeter) เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับวัดค่ากระแสในวงจรไฟฟ้าสลับชนิดที่นิยมใช้มากที่สุด เนื่องจากสะดวกในการทำงาน คือไม่ต้องปลดสายออกจากวงจรมาทำการวัด อุปกรณ์และวงจรสามารถทำงานได้ตามปกติเพียงใช้แคลมป์แอมมิเตอร์คล้องกับสายไฟที่ต้องการวัดเพียงเส้นใดเส้นหนึ่งก็สามารถอ่านค่ากระแสที่ผ่านวงจรได้ ในกรณีที่กระแสผ่านวงจรมีค่าน้อย เพื่อความละเอียดในการอ่านค่าให้ใช้วิธีพันสายไฟที่ต้องการจะวัด คล้องรอบแกนเหล็กของมิเตอร์หลาย ๆ รอบ ค่าที่อ่านได้จากมิเตอร์หารด้วยจำนวนรอบของสายไฟที่พันรอบแกนเหล็กคือค่ากระแสที่ผ่านวงจร

ปัจจุบันแอมมิเตอร์ชนิดนี้ถูกออกแบบมาเพื่อให้สามารถใช้งานได้กว้างขวางขึ้น โดยสามารถวัดแรงดันไฟฟ้าและความต้านทานได้ด้วยเพื่อความสะดวกในการนำไปใช้งาน



รูปที่ 2-42 แสดงการใช้แอมมิเตอร์คล้องสายเพื่อวัดกระแสในวงจร

(ARI Guideline, หน้า 359)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.10 การทำสุญญากาศและการบรรจุสารทำความเย็น

### 2.10.1 การทำสุญญากาศและการตรวจหารอยรั่ว

การทำสุญญากาศในระบบ (evacuating the system) คือการใช้เครื่องทำสุญญากาศดูดอากาศและความชื้นออกจากระบบ เพื่อให้ภายในระบบเกิดเนื้อที่ว่างที่จะใช้บรรจุสารทำความเย็นและเพื่อไม่ให้มีอากาศหรือความชื้นปนอยู่ในระบบ ดังนั้นหลังจากเครื่องทำความเย็นหรือเครื่องปรับอากาศถูกประกอบขึ้นใหม่ มีการตรวจซ่อมหรือติดตั้งใหม่ ซึ่งการปฏิบัติดังกล่าวมีโอกาสที่จะทำให้อากาศและความชื้นเข้าไปในระบบได้ จึงต้องมีการทำสุญญากาศทุกครั้งก่อนเติมสารทำความเย็นเข้าไปในระบบ

#### เหตุผลและความจำเป็นที่ต้องทำสุญญากาศ

เนื่องจากในระบบทำความเย็นที่ผ่านการตรวจซ่อม ประกอบ หรือทำการติดตั้งใหม่ จะมีอากาศและความชื้นอยู่ภายในระบบ ซึ่งทั้งอากาศและความชื้นที่อยู่ในระบบมีผลต่อการทำงานดังนี้

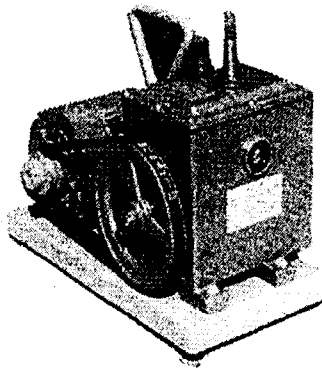
1. ผลของอากาศที่ปนอยู่ในระบบ จะทำให้เนื้อที่ว่างที่จะบรรจุสารทำความเย็นเสียไป จึงไม่สามารถเติมสารทำความเย็นเข้าระบบได้เต็มตามกำหนด และเนื่องจากอากาศซึ่งประกอบด้วยไนโตรเจน ( $N_2$ ) และออกซิเจน ( $O_2$ ) ซึ่งเป็นแก๊สที่ไม่สามารถกลั่นตัวเป็นของเหลวได้ (noncondensable gas) ในสภาพความดันและอุณหภูมิทำงานปกติของระบบทำความเย็น ดังนั้นอากาศที่ปนอยู่ในระบบจะทำให้เกิดความดันสูงผิดปกติได้ในขณะทำงาน

2. ผลของความชื้น ซึ่งอาจจะปนอยู่ในระบบในลักษณะที่เป็นไอน้ำปนอยู่ในอากาศ หรืออยู่ในสถานะของน้ำปนอยู่ในระบบ ซึ่งจะมีผลต่อการทำงานของระบบทำความเย็น คือ ความชื้นอาจกลายเป็นน้ำแข็งอุดตันที่ลิ้นลวดความดันหรือท่อรูเข็มได้ นอกจากนี้ไฮโดรเจน ( $H_2$ ) จากน้ำจะทำปฏิกิริยากับคลอรีน (Cl) จากสารทำความเย็นเกิดเป็นกรดเกลือ (hydrochloric acid-HCl) กัดท่อทางเดินของสารทำความเย็นและอุปกรณ์ภายในระบบ โดยเฉพาะจะทำให้ฉนวนที่เคลือบขดลวดของมอเตอร์สำหรับขับเคลื่อนเพรสเซอร์ใหม่ได้

#### เครื่องทำสุญญากาศ (vacuum pump)

เครื่องทำสุญญากาศ คือเครื่องมือที่ใช้สำหรับดูดอากาศและความชื้นออกจากระบบผ่านเกจแมนนิโฟลด์และวาล์วบริการที่ติดตั้งในระบบ ที่ใช้ทั่วไปมี 2 แบบ คือ

1. เครื่องทำสุญญากาศแบบมาตรฐานหรือชนิดแควชั้นเดียว (standard vacuum pump-single stage) ใช้สำหรับเครื่องทำความเย็นขนาดเล็กทั่วไป ทำสุญญากาศได้ไม่ลึกนัก จึงควรทำสุญญากาศโดยใช้วิธีทำซ้ำหลายครั้งคือ ทำสุญญากาศจนความดันลดลงต่ำสุดเท่าที่จะสามารถทำได้ เติมน้ำสารทำความเย็นเข้าไปในระบบให้ได้ความดันประมาณ 0 psig หลังจากนั้นให้ทำสุญญากาศใหม่สลับจนครบ 3 ครั้งจึงจะได้สุญญากาศที่สมบูรณ์ เราเรียกการสุญญากาศวิธีนี้ว่า triple evacuating method



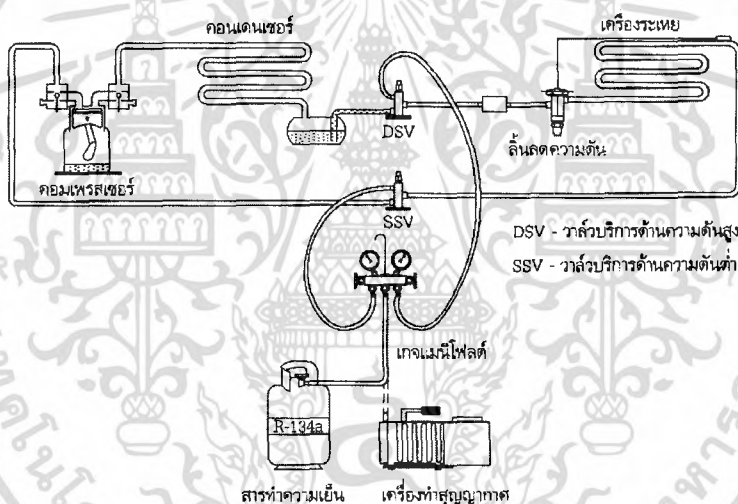
รูปที่ 2-43 แสดงเครื่องทำสุญญากาศแบบมาตรฐานใช้มอเตอร์ขับเคลื่อน

2. เครื่องทำสุญญากาศกำลังสูงหรือชนิดเวคสองชั้น (high vacuum pump-two stage)

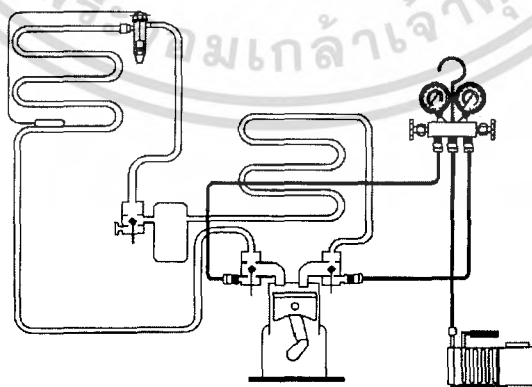
### ลำดับขั้นการทำสุญญากาศในระบบ

การทำสุญญากาศในระบบให้ปฏิบัติตามลำดับขั้นดังนี้

1. ต่อสายด้านความดันต่ำของเกจแมนิโพลด์เข้ากับระบบด้านความดันต่ำ สายด้านความดันสูงเข้ากับระบบด้านความดันสูง และต่อสายเส้นกลางของเกจแมนิโพลด์เข้ากับเครื่องทำสุญญากาศ ดังรูปที่ 2-44 และรูปที่ 2-45



รูปที่ 2-44 แสดงการต่อเกจแมนิโพลด์ เมื่อวาล์วบริการติดตั้งอยู่ที่ท่อสารทำความเย็น



รูปที่ 2-45 แสดงการต่อเกจแมนิโพลด์ เมื่อวาล์วบริการติดตั้งอยู่ที่คอมเพรสเซอร์

(OSU-Manual Lab.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เปิดวาล์วบริการด้านความดันต่ำและด้านความดันสูงที่เครื่องทำความเย็น โดยใช้ประแจเปิดวาล์วบริการในกรณีที่เป็นวาล์วบริการชนิดปรับด้วยมือ ขณะที่วาล์วควบคุมที่เกจแมนิโพลด์ทั้งสองด้านยังปิดอยู่

3. อ่านค่าความดันจากเกจแมนิโพลด์ทั้งสองด้าน จะต้องมิต่ำกว่าความดันบรรยากาศ

4. ให้เครื่องทำสุญญากาศเริ่มทำงาน เริ่มเปิดวาล์วควบคุมที่เกจแมนิโพลด์ทั้งสองด้าน สังเกตดูเข็มที่เกจวัดสุญญากาศจะค่อย ๆ ชี้ต่ำลงทางด้านที่เป็นสุญญากาศจนกระทั่งในระบบเป็นสุญญากาศ เข็มจะชี้ที่ -30 นิ้วปรอท

5. ตรวจสอบการรั่วของระบบโดยการปิดวาล์วควบคุมที่เกจแมนิโพลด์ทั้งสองด้านก่อนให้เครื่องทำสุญญากาศหยุดทำงาน โดยใช้เวลาดึงไว้ไม่น้อยกว่า 20 นาที สังเกตดูเข็มที่เกจสุญญากาศ

6. ถ้าความดันเพิ่มขึ้นแสดงว่ามีการรั่วในระบบ ต้องตรวจหารอยรั่วก่อน (ดูรายละเอียดในการตรวจหารอยรั่ว) หลังจากนั้นทำการแก้ไขให้เรียบร้อยก่อนทำสุญญากาศใหม่อีกครั้งหนึ่ง

7. ตามขั้นตอนที่ 5 ถ้าความดันไม่เพิ่มขึ้นแสดงว่าไม่มีการรั่วในระบบแล้ว ให้เครื่องทำสุญญากาศทำงานต่อไปโดยใช้เวลาไม่น้อยกว่า 30 นาที จึงจะถือว่าเสร็จสิ้นขั้นตอนของการทำสุญญากาศ

8. ปิดวาล์วควบคุมที่เกจแมนิโพลด์ทั้งสองด้าน หยุดเครื่องทำสุญญากาศ ถอดสายเส้นกลางออกจากเครื่องทำสุญญากาศ เพื่อเตรียมการเติมสารทำความเย็นต่อไป

#### ข้อสังเกต

1. ขณะเดินเครื่องทำสุญญากาศ ถ้าเข็มชี้ที่เกจสุญญากาศลดค่าจาก 0 นิ้วปรอท ถึง -30 นิ้วปรอท ในทันที แสดงว่ามีการอุดตันที่สายน้ำยาหรือวาล์วบริการ ในระบบยังปิดอยู่ หรือในกรณีที่เป็นวาล์วบริการในระบบเป็นชนิดวาล์วลูกศร อาจเกิดจากการต่อสายน้ำยาสลับด้าน ให้ทำการตรวจสอบก่อน ตรงกันข้ามถ้าเดินเครื่องทำสุญญากาศเป็นเวลานาน แต่ไม่สามารถดึงความดันในระบบให้เป็นสุญญากาศได้ แสดงว่าอาจมีการรั่วที่ส่วนหนึ่งส่วนใด ให้ทำการตรวจตรวจหารอยรั่วก่อน

2. ในกรณีที่ระบบมีความชื้นสูง ขณะทำสุญญากาศควรทำการอบหรือให้ความร้อนกับระบบโดยใช้หลอดไฟหรือขวดความชื้นช่วยเพิ่มอุณหภูมิเพื่อไล่ความชื้นในระบบ ซึ่งจะทำให้เราใช้เวลาในการทำสุญญากาศน้อยลง แต่ห้ามใช้เปลวไฟจากหัวเชื่อมเป็นตัวช่วยเพิ่มอุณหภูมิ

#### การตรวจตรวจหารอยรั่ว (leak detecting)

การตรวจตรวจเพื่อหารอยรั่วในระบบสามารถทำได้ 2 วิธี คือ

1. วิธีลดความดันในระบบให้ต่ำกว่าบรรยากาศ (vacuum method) เป็นวิธีการปฏิบัติเพื่อตรวจสอบระบบว่ามีการรั่วหรือไม่เท่านั้น แต่ไม่สามารถหาตำแหน่งที่เกิดการรั่วได้ เป็นการใช้ปฏิบัติในช่วงการทำสุญญากาศซึ่งมีขั้นตอนการปฏิบัติดังนี้

(1) ใช้เครื่องทำสุญญากาศดูดอากาศออกจากระบบจนเกจสุญญากาศชี้ที่ -30 นิ้วปรอท

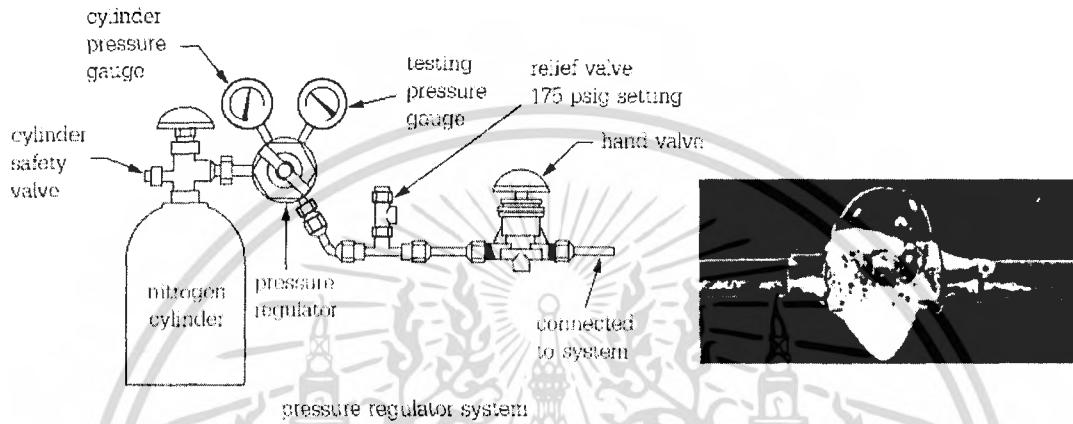
(2) ปิดวาล์วควบคุมที่เกจแมนิโพลด์ทั้งสองด้าน หยุดเครื่องทำสุญญากาศ สังเกตดูเข็มชี้ที่สุญญากาศ ถ้าความดันสูงขึ้นแสดงว่ามีการรั่วในระบบ

(3) หากจุดที่รั่วโดยใช้วิธีเพิ่มความดันในระบบให้สูงกว่าบรรยากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วิธีเพิ่มความดันในระบบให้สูงกว่าบรรยากาศ (pressure method) ซึ่งสามารถทำได้ 3 วิธี คือ

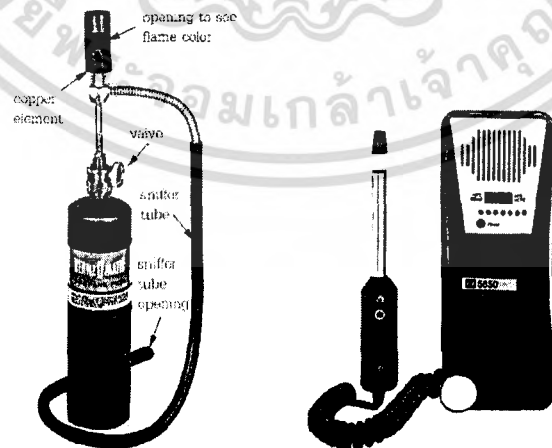
(1) ใช้แก๊สเฉื่อย (inert gas) เช่น ไนโตรเจนหรือคาร์บอนไดออกไซด์อัดเข้าในระบบ โดยปรับผ่านวาล์วควบคุม (pressure regulator) ให้ได้ความดันประมาณ 150 psig โดยจะต้องติดตั้งวาล์วระบาย (relief valve) เมื่อความดันสูงเกิน โดยตั้งให้ระบายแก๊สเฉื่อยออกที่ความดันประมาณ 175 psig เพื่อป้องกันอันตรายเนื่องจากความดันในระบบสูงเกิน เนื่องจากแก๊สทั้งสองถูกอัดมาด้วยความดันสูงมาก เช่น ไนโตรเจนจะมีความดันในถังถึง 2000 psig หลังจากนั้นใช้น้ำสบู่ (soap solutions) ตรวจสอบตามข้อต่อหรือรอยเชื่อมต่าง ๆ ถ้าระบบรั่วจะทำให้สบู่เกิดฟอง ดังรูป



รูปที่ 2-46 แสดงการใช้ไนโตรเจนหรือคาร์บอนไดออกไซด์และฟองสบู่ในการตรวจหารอยรั่ว

(Althouse, A.D., หน้า 362)

(2) ใช้สารทำความเย็น (refrigerant) เช่น R-12 หรือ R-22 อัดเข้าในระบบแทนไนโตรเจน แต่เนื่องจากสารทำความเย็นมีราคาแพงมาก จึงควรอัดเข้าไปในระบบให้มีความดันประมาณ 40 psig และใช้น้ำสบู่หรือเครื่องตรวจหารอยรั่วแบบตะเกียงแก๊ส (halide torch-leak detector) หรือเครื่องตรวจหารอยรั่วแบบอิเล็กทรอนิกส์ (electronic-leak detector) ตรวจสอบตำแหน่งที่เกิดรอยรั่ว คือถ้ามีการรั่วจะทำให้เปลวไฟของตะเกียงแก๊สเปลี่ยนสี หรือทำให้ความถี่ของเสียงในเครื่องตรวจหารอยรั่วแบบอิเล็กทรอนิกส์เปลี่ยนไป



รูปที่ 2-47 แสดงเครื่องตรวจหารอยรั่ว แบบตะเกียงแก๊ส และแบบอิเล็กทรอนิกส์

(Althouse, A.D., หน้า 362)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) ใช้แก๊สเฉื่อยผสมกับสารทำความเย็น โดยการใช้ไนโตรเจนหรือคาร์บอนไดออกไซด์อัดเข้าไปในระบบ ผสมสารทำความเย็นประมาณ 10% เพื่อความประหยัด เมื่อได้ความดันในระบบประมาณ 150 psig จึงใช้น้ำสบู่ เครื่องตรวจหารอยรั่วแบบตะเกียงแก๊สหรือแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถตรวจหารอยรั่วได้ เนื่องจากมีสารทำความเย็นผสมอยู่ ถ้ามีการรั่วจะทำให้เปลวไฟเปลี่ยนสีหรือทำให้เกิดเสียงเตือนในเครื่องตรวจหารอยรั่วได้เช่นเดียวกัน

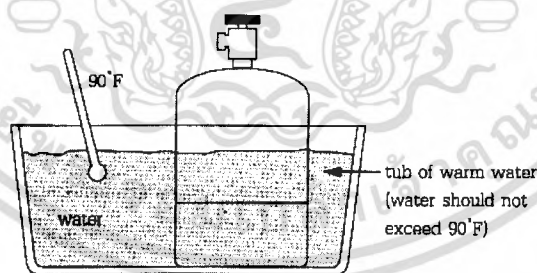
### 2.10.2 การบรรจุสารทำความเย็นเข้าในระบบ

การเติมสารทำความเย็นเข้าในระบบ (charging the system) คือการปฏิบัติเพื่อนำสารทำความเย็นเข้าไปใช้งานเพื่อสร้างความเย็นในระบบ เนื่องจากในระบบทำความเย็นจะอาศัยสารทำความเย็นเป็นตัวกลางในการรับความร้อนจากภายในไปถ่ายเทออกภายนอก สารทำความเย็นในระบบจะต้องมีปริมาณถูกต้อง เพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายหรือไม่ได้ความเย็นตามต้องการ จึงต้องศึกษาวิธีปฏิบัติในการเติมสารทำความเย็นให้ถูกต้องต่อไป

#### วิธีปฏิบัติเพื่อเติมสารทำความเย็นเข้าในระบบ

วิธีเติมสารทำความเย็นเข้าในระบบ สามารถทำได้ 2 วิธีคือ

1. การเติมสารทำความเย็นในสถานะที่เป็นแก๊ส (vapor refrigerant charging) คือวิธีการเติมสารทำความเย็นจากถังบรรจุสารทำความเย็นเข้าในระบบ โดยสารทำความเย็นมีสถานะเป็นแก๊ส ซึ่งสามารถเติมเข้าได้ทั้งทางด้านความดันต่ำและด้านความดันสูงเมื่อระบบหยุดทำงาน หรือเติมเข้าในระบบได้เฉพาะด้านความดันต่ำเมื่อระบบกำลังทำงาน เนื่องจากการเติมวิธีนี้สารทำความเย็นจะถูกปล่อยออกจากถังในสภาพที่เป็นแก๊สตลอดเวลา ความดันภายในถังจะลดลง สารทำความเย็นเหลวในถังจึงเดือดกลายเป็นไอ ทำให้อุณหภูมิและความดันภายในถังลดลงจนไม่สามารถเติมเข้าในระบบต่อไปได้ จึงควรแก้ไขเพื่อเพิ่มความดันภายในถังโดยการแช่ถังน้ำยาไว้ในน้ำอุ่นอุณหภูมิประมาณ 90 °F ตลอดเวลาที่ทำการเติมสารทำความเย็น ห้ามใช้เปลวไฟจากหัวเชื่อมในการเพิ่มความดันให้สารทำความเย็นในถัง



รูปที่ 2-48 แสดงวิธีการเพิ่มความดันให้สารทำความเย็นในถังโดยใช้น้ำอุ่น

(Whitman, W.C, หน้า 156)

2. การเติมสารทำความเย็นในสถานะที่เป็นของเหลว (liquid refrigerant charging) คือวิธีการเติมสารทำความเย็นจากถังบรรจุสารทำความเย็นเข้าในระบบโดยสารทำความเย็นมีสถานะเป็นของเหลว ซึ่งสามารถเติมเข้าในระบบได้โดยผ่านท่อสารทำความเย็นเหลว (liquid line) ทั้งในขณะที่ระบบหยุดทำงานและระบบกำลังทำงาน การเติมสารทำความเย็นวิธีนี้สามารถทำได้รวดเร็วกว่าการเติมแก๊สมาก จึงเหมาะที่จะใช้กับระบบทำความเย็นขนาดใหญ่ และมีข้อสังเกตคือการเติมสารทำความเย็นวิธีเข้าระบบจะไม่ทำให้

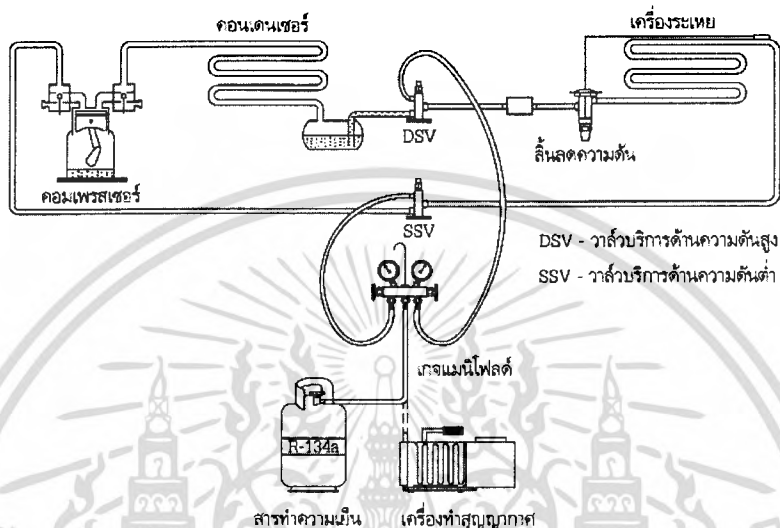
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดการเดือดของสารทำความเย็นเหลวที่อยู่ในถังเหมือนการเติมสารทำความเย็นในสถานะที่เป็นแก๊ส จึงไม่ต้องทำการเพิ่มอุณหภูมิให้กับถังน้ำยา

### ขั้นตอนการปฏิบัติสำหรับการเติมสารทำความเย็นในสถานะที่เป็นแก๊ส

การเติมสารทำความเย็นในสถานะที่เป็นแก๊ส มีวิธีปฏิบัติตามลำดับดังนี้

1. หลังจากการทำสุญญากาศในระบบ ถอดสายน้ำยาเส้นกลางที่ต่ออยู่กับเครื่องทำสุญญากาศ ออกและต่อเข้ากับถังน้ำยา ดังรูปที่ 2-49



### รูปที่ 2-49 แสดงการต่ออุปกรณ์เข้ากับระบบเพื่อเตรียมการเติมสารทำความเย็น

2. เปิดวาล์วที่ถังน้ำยาโดยวางถังให้อยู่ในแนวตั้ง ในกรณีที่ถังมีวาล์วทั้งที่เป็นแก๊ส (vapor valve) และของเหลว (liquid valve) ให้เปิดวาล์วแก๊สเพื่อให้อากาศทำความเย็นออกจากถังไปใช้งานในสถานะที่เป็นแก๊สเท่านั้น ห้ามเติมสารทำความเย็นเหลวเข้าสู่ระบบทางด้านความดันต่ำ

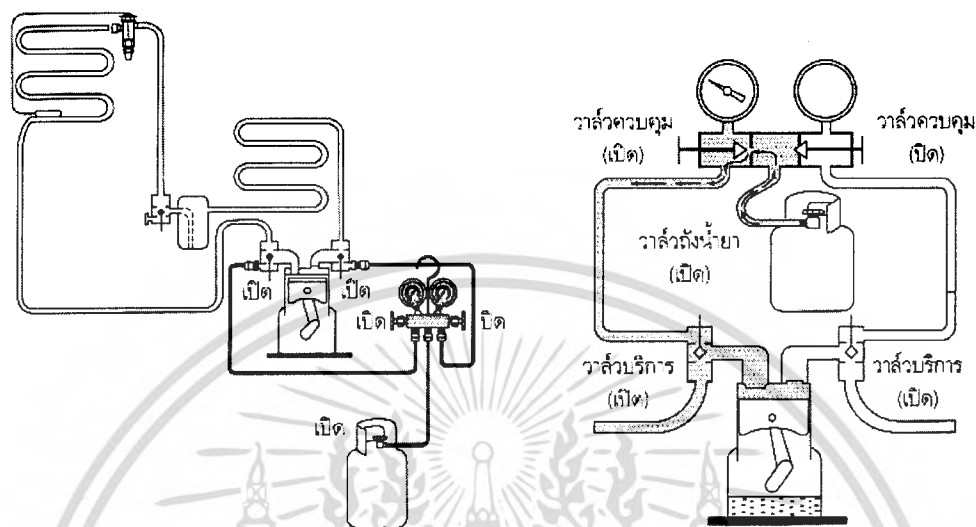
3. คลายข้อต่อที่ต่อระหว่างสายเส้นกลางกับเกจแมนนิโฟลด์ประมาณ 2-3 วินาที เพื่อให้สารทำความเย็นไล่อากาศที่ค้างในสายเส้นกลางออก (air purging) หลังจากนั้นขันข้อต่อสายให้แน่น

4. ขณะนี้วาล์วบริการทั้งสองยังคงอยู่ในตำแหน่งเปิด ให้ปรับวาล์วควบคุมที่เกจแมนนิโฟลด์ทั้งสองด้านเพื่อเปิดให้สารทำความเย็นในสถานะที่เป็นแก๊สถูกเติมเข้าไปในระบบส่วนหนึ่งก่อน (precharge) โดยในช่วงนี้ยังไม่ต้องให้ระบบทำงาน จนสารทำความเย็นเข้าไปในระบบได้ใกล้เคียงกับปริมาณที่ต้องการ จึงปิดวาล์วทั้งสองที่เกจแมนนิโฟลด์เพื่อหยุดการเติมสารทำความเย็นเข้าไปในระบบ

5. เริ่มให้ระบบทำงานโดยใช้แอมมิเตอร์วัดกระแสในขณะนี้ด้วย ถ้าในวงจรติดตั้งสวิทช์ควบคุมความดันด้านต่ำ (low pressure control – LPC) ให้ต่อลัดวงจรเพื่อยกเลิกการใช้ LPC ในช่วงการเติมสารทำความเย็น ขณะนี้สังเกตเข็มของเกจความดันต่ำจะชี้ค่าความดันลดต่ำลง ถ้าความดันลดต่ำกว่าค่าที่ต้องการหรือปริมาณสารทำความเย็นยังไม่เต็มตามกำหนดให้เติมสารทำความเย็น โดยเปิดวาล์วควบคุมเฉพาะด้านความดันต่ำที่เกจแมนนิโฟลด์สลับกับการปิดวาล์วควบคุมเพื่อตรวจปริมาณสารทำความเย็นทุกระยะ จนกระทั่งสารทำความเย็นเต็มระบบ ปิดวาล์วควบคุมที่เกจแมนนิโฟลด์ ถอดสายน้ำยาออกโดยปฏิบัติตามขั้นตอนให้ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. กรณีที่วาล์วบริการติดตั้งอยู่ที่ทางเข้าและทางออกของคอมเพรสเซอร์ การปฏิบัติเพื่อการเดิมสารทำความเย็นในสถานะที่เป็นแก๊ส มีลำดับขั้นการปฏิบัติเช่นเดียวกับเครื่องทำความเย็นที่มีวาล์วบริการติดตั้งอยู่ที่ท่อสารทำความเย็นดังที่ได้กล่าวมาแล้ว จะแตกต่างกันเฉพาะตำแหน่งการติดตั้งเกจแมนิโฟลด์เข้ากับระบบดังรูปที่ 2-50



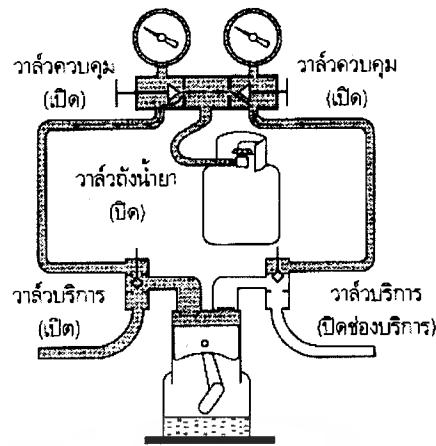
### รูปที่ 2-50 แสดงวิธีเดิมสารทำความเย็นเมื่อวาล์วบริการติดตั้งที่คอมเพรสเซอร์

(OSU-Manual Lab.)

7. วิธีปฏิบัติเพื่อถอดสายน้ำยาออกจากวาล์วบริการ เนื่องจากสายภายในน้ำยาด้านความดันสูง นอกจากจะอยู่ภายใต้ความดันสูงแล้วยังมีสารทำความเย็นเหลวบรรจุอยู่ จึงห้ามถอดสายน้ำยาออกขณะระบบกำลังทำงาน เพื่อป้องกันอันตรายที่เกิดจากสารทำความเย็นเหลวในสายน้ำยา โดยมีวิธีปฏิบัติที่ถูกต้องดังนี้

(1) กรณีที่วาล์วบริการเป็นชนิดวาล์วลูกศร ให้ถอดสายน้ำยาด้านความดันต่ำก่อนในขณะที่ระบบกำลังทำงาน หลังจากนั้นให้ระบบหยุดทำงาน ปล่อยให้ด้านความดันสูงลดลงจนต่ำสุดก่อนจึงถอดสายน้ำยาด้านความดันสูง

(2) กรณีที่วาล์วบริการเป็นชนิดปรับด้วยมือ ก่อนถอดสายน้ำยาทั้งสองด้านออกให้ปฏิบัติตามลำดับ คือ ขั้นแรกให้ปรับวาล์วบริการด้านความดันสูงโดยคลายวาล์วออกด้านนอกสุด (back seated) เพื่อปิดช่องบริการ จากนั้นให้เปิดวาล์วควบคุมทั้งสองที่เกจแมนิโฟลด์เพื่อให้คอมเพรสเซอร์ดูดสารทำความเย็นเหลวที่ค้างในสายน้ำยาเข้าระบบ จนความดันในสายน้ำยาทั้งสองด้านลดลงเท่ากับด้านความดันต่ำของระบบ ปิดวาล์วบริการด้านความดันต่ำเพื่อปิดช่องบริการ หลังจากนั้นให้ระบบหยุดทำงานและถอดสายน้ำยาทั้งสองด้านออกจากระบบ



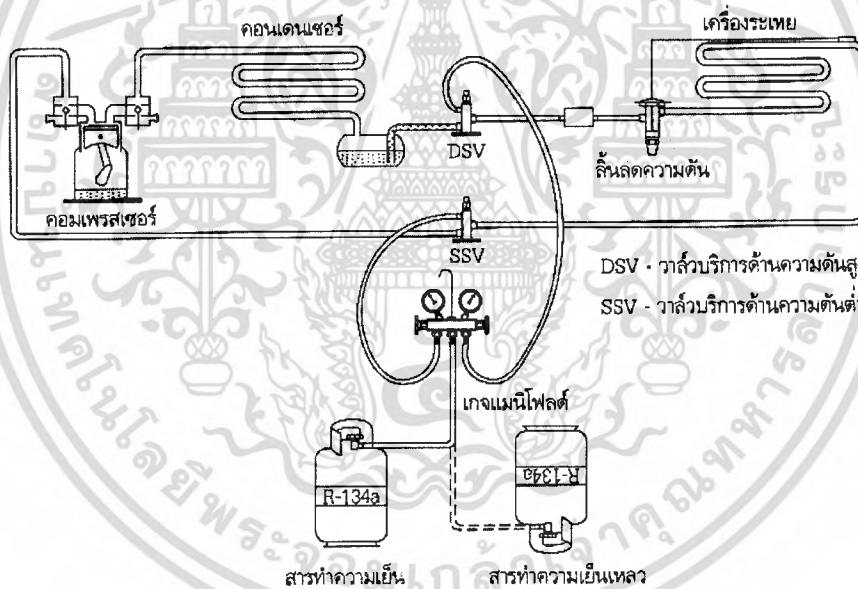
รูปที่ 2-51 แสดงการปฏิบัติเพื่อถอดสายน้ำยาออกจากระบบ

(OSU-Manual Lab.)

### ขั้นตอนการปฏิบัติสำหรับการเติมสารทำความเย็นในสถานะที่เป็นของเหลว

การเติมสารทำความเย็นในสถานะที่เป็นของเหลว มีวิธีปฏิบัติตามลำดับดังนี้

1. หลังจากการทำสุญญากาศในระบบ ถอดสายน้ำยาเส้นกลางที่ต่ออยู่กับเครื่องทำสุญญากาศ ออกและต่อเข้ากับถังน้ำยา ดังรูปที่ 2-52



รูปที่ 2-52 แสดงการต่ออุปกรณ์เข้ากับระบบเพื่อเตรียมการเติมสารทำความเย็น

2. เปิดวาล์วที่ถังน้ำยา โดยครั้งแรกวางตั้งในแนวตั้งเพื่อให้สารทำความเย็นในสถานะที่เป็นแก๊ส ถูกปล่อยออกมาไล่อากาศในสายเส้นกลางก่อน จากนั้นจึงคว่ำถังน้ำยาเพื่อให้สารทำความเย็นในสถานะที่เป็นของเหลวถูกปล่อยออกมาใช้งาน ในกรณีที่ถังมีวาล์วทั้งที่เป็นแก๊สและของเหลว ให้เลือกเปิดวาล์วแก๊สเพื่อใช้ไล่อากาศก่อน หลังจากนั้นจึงเปิดวาล์วของเหลวเพื่อใช้เติมสารทำความเย็นเข้าในระบบ
3. เปิดวาล์วควบคุมที่เกจแมนิโฟลด์เฉพาะด้านความดันสูงเพื่อให้สารทำความเย็นเหลวเข้าไปในระบบส่วนหนึ่งก่อน (precharge) โดยในช่วงนี้ยังไม่ควรให้ระบบทำงาน สารทำความเย็นเหลวจะเข้าไปในระบบเฉพาะด้านความดันสูง ปล่อยสารทำความเย็นเข้าไปในระบบจนสารทำความเย็นไม่สามารถเข้าไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

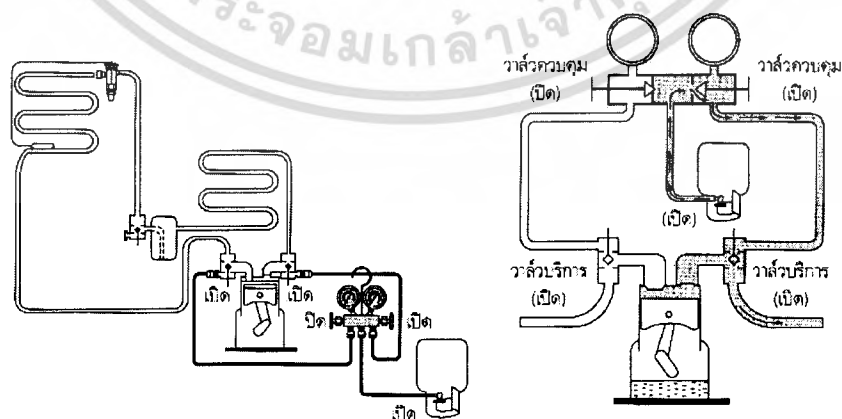
ระบบได้ หรือสารทำความเย็นเข้าในระบบจนได้ปริมาณใกล้เคียงกับจำนวนที่ต้องการ ระวังอย่าให้สารทำความเย็นเข้าในระบบจนปริมาณมากเกินไป หลังจากนั้นก็ปิดวาล์วควบคุมที่เกจแมนิโพลด์

4. ขณะนี้วาล์วบริการทั้งสองที่เครื่องทำความเย็นยังคงอยู่ในตำแหน่งเปิดและวาล์วควบคุมทั้งสองที่เกจแมนิโพลด์อยู่ในตำแหน่งปิด เตรียมความพร้อมให้ก่อนระบบทำงาน โดยตรวจสอบข้อมูลจากแผ่นป้ายประจำเครื่อง (name plate) เริ่มให้ระบบทำงานโดยใช้แอมมิเตอร์ตรวจวัดกระแสที่ผ่านมอเตอร์

5. ปรับวาล์วบริการด้านความดันสูงเข้าด้านในสุด (front seated) ซึ่งเป็นตำแหน่งสำหรับกักเก็บสารทำความเย็น ทำให้สารทำความเย็นที่อยู่ในถังเก็บสารทำความเย็นเหลว (receiver) ไม่สามารถผ่านไปใช้งานในระบบได้ ท่อที่ออกจากวาล์วบริการด้านความดันสูงจึงมีความดันลดต่ำลง ให้เริ่มเปิดวาล์วด้านความดันสูงที่เกจแมนิโพลด์ ปล่อยให้สารทำความเย็นเหลวเข้าในระบบผ่านอุปกรณ์กรองความชื้นและลิ้นลดความดันเข้าเครื่องระเหย เมื่อสารทำความเย็นถูกลดความดันจึงเปลี่ยนสถานะเป็นไอและถูกดูดอัดผ่านคอมเพรสเซอร์ผ่านคอนเดนเซอร์ และควบแน่นเป็นของเหลวเข้าเก็บในถังเก็บสารทำความเย็นเหลว โดยไม่ได้ผ่านออกไปใช้งาน ปล่อยให้สารทำความเย็นเหลวเติมเข้าในระบบต่อเนื่องไปตลอดโดยไม่ต้องทำการปิดเปิดวาล์วควบคุมที่เกจแมนิโพลด์เหมือนวิธีการเติมด้วยแก๊ส เมื่อปริมาณสารทำความเย็นใกล้เคียงกับที่ต้องการจึงปิดวาล์วควบคุมที่เกจแมนิโพลด์ และเตรียมเติมสารทำความเย็นโดยวิธีการเติมแก๊สต่อไป

6. ปรับวาล์วบริการด้านความดันสูงให้อยู่ในตำแหน่งกึ่งกลาง (midposition) หรือตำแหน่งเปิดให้สารทำความเย็นเหลวจากถังผ่านไปใช้งาน ขณะนี้เครื่องทำความเย็นจะอยู่ในสภาพของการทำงานปกติ ตรวจสอบปริมาณสารทำความเย็นและเติมสารทำความเย็นต่อจนเต็มระบบโดยใช้วิธีเติมในสถานะที่เป็นแก๊ส ถอดสายน้ำยาออกโดยปฏิบัติตามขั้นตอนให้ถูกต้อง

7. กรณีที่วาล์วบริการติดตั้งอยู่ที่ทางเข้าและทางออกของคอมเพรสเซอร์ การปฏิบัติเพื่อการเติมสารทำความเย็นในสถานะที่เป็นของเหลวมีลำดับขั้นการปฏิบัติแตกต่างจากกรณีที่วาล์วบริการติดตั้งที่ท่อสารทำความเย็นดังที่ปฏิบัติมาแล้ว โดยในขั้นตอนแรกคือการใช้แก๊สไล่อากาศในสายน้ำยาออก หลังจากนั้นจึงคว่ำถังเพื่อเตรียมเติมสารทำความเย็นเข้าระบบในสถานะที่เป็นของเหลวต่อไป (ดังรูปที่ 2-53) โดยมีขั้นตอนการปฏิบัติดังนี้



รูปที่ 2-53 แสดงวิธีเติมสารทำความเย็นเหลวเข้าระบบเมื่อวาล์วบริการติดตั้งที่คอมเพรสเซอร์

(OSU-Manual Lab.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1) เปิดวาล์วควบคุมที่गेजแมนิโพลด์เฉพาะด้านความดันสูง เพื่อให้สารทำความเย็นไหลผ่านวาล์วบริการด้านความดันสูงเข้าไปในระบบ จนสารทำความเย็นไม่สามารถเข้าในระบบได้หรือสารทำความเย็นเข้าในระบบจนได้ปริมาณใกล้เคียงกับจำนวนที่ต้องการ ระวังอย่าให้สารทำความเย็นเข้าในระบบจนปริมาณมากเกินไปเกินกำหนด หลังจากนั้นปิดวาล์วควบคุมที่गेजแมนิโพลด์

(2) ขณะนี้วาล์วบริการทั้งสองที่เครื่องทำความเย็นยังคงอยู่ในตำแหน่งเปิดและวาล์วควบคุมทั้งสองที่गेजแมนิโพลด์อยู่ในตำแหน่งปิด ตั้งถังน้ำยาขึ้นเพื่อเตรียมการเติมสารทำความเย็นในสถานะที่เป็นแก๊ส

(3) เริ่มให้ระบบทำงานและเติมสารทำความเย็นในสถานะที่เป็นแก๊สดังกล่าวมาแล้วจนสารทำความเย็นเต็มระบบ จึงถอดสายน้ำยาออกจากวาล์วบริการตามขั้นตอนให้ถูกต้อง เป็นอันเสร็จขั้นตอนของการเติมสารทำความเย็น

### ข้อมูลประกอบการพิจารณาเติมสารทำความเย็น

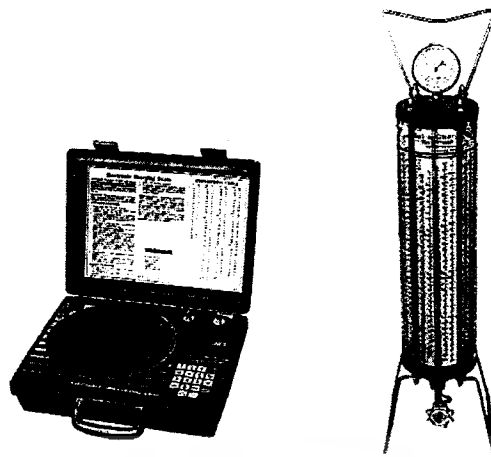
การเติมสารทำความเย็นให้เต็มตามกำหนดสามารถปฏิบัติได้โดยอาศัยข้อมูลจากด้านต่าง ๆ ประกอบการพิจารณาดังนี้

1. น้ำหนัก เป็นข้อมูลที่ใช้ในการเติมสารทำความเย็นให้เต็มระบบได้ถูกต้องแน่นอนที่สุด ซึ่งต้องอาศัยข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต โดยหาได้จากคู่มือการติดตั้ง (installation manual) หรือดูจากแผ่นป้ายข้อมูลประจำเครื่อง (name plate) ดังตัวอย่างในรูปที่ 2-54

SR - 130I	
SANYO REFRIGERATOR	
VOLUME	53 C.A.
REFRIGERANT	R-12
CHARGE	0.12 kg
MOTOR	1/10 Hp
	220V 60 Hz
	0.5A
NET WEIGHT	47 kg
SER. NO. 635215	
SANYO ELECTRIC CO., LTD	
JAPAN	

### รูปที่ 2-54 แสดงรายละเอียดบนแผ่นป้ายข้อมูลประจำเครื่องทำความเย็น

เนื่องจากข้อมูลที่จะใช้ตรวจสอบปริมาณสารทำความเย็นกำหนดเป็นน้ำหนัก ในการเติมสารทำความเย็นวิธีนี้ จึงต้องอาศัยเครื่องมือช่วยบอกน้ำหนักสารทำความเย็นที่เติมในระบบ ซึ่งอาจใช้ตาชั่งสำหรับชั่งน้ำหนักทั่วไป ตาชั่งแบบอิเล็กทรอนิกส์ หรืออาศัยกระบอกเติมน้ำยา ซึ่งจะมีระดับบอกน้ำหนักของสารทำความเย็นที่ด้านข้างกระบอกน้ำยา ดังรูปที่ 2-55



รูปที่ 2-55 แสดงเครื่องชั่งน้ำหนักแบบอิเล็กทรอนิกส์และแบบกระบอกเติมน้ำยา

(ARI Guideline, หน้า 92)

2. ค่ากระแสที่จ่ายผ่านมอเตอร์ เป็นข้อมูลที่ใช้ประกอบการพิจารณาขณะเดินสารทำความเย็น ซึ่งปกติบริษัทผู้ผลิตจะแจ้งค่ากระแสที่มอเตอร์ขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์ใช้ดังนี้

(1) ค่ากระแสในการเริ่มต้นสตาร์ทมอเตอร์หรือค่า LRA (locked rotor amperage) เป็นค่ากระแสที่จ่ายให้กับมอเตอร์ขณะเกิดภาวะสูงสุดคือขณะเริ่มสตาร์ท ซึ่งค่ากระแส LRA จะเกิดขึ้นในช่วงเริ่มต้นทำงานใน 2-3 วินาทีแรกเท่านั้น หลังจากนั้นมอเตอร์จะต้องการกระแสน้อยลงเป็นกระแสขณะทำงานปกติ

(2) ค่ากระแสในขณะมอเตอร์ทำงานปกติหรือค่า FLA (full load amperage) หรือค่า RLA (rated load amperage หรือ run load amperage) ซึ่งมีความหมายเช่นเดียวกัน คือเป็นค่ากระแสสูงสุดที่มอเตอร์ใช้ในขณะทำงานปกติ ในการเดินสารทำความเย็นใช้ค่า FLA เป็นส่วนประกอบการพิจารณา โดยเมื่อเดินสารทำความเย็นเต็มระบบ กระแสที่ใช้จะต้องไม่เกินค่า FLA ถ้ากระแสสูงกว่าค่า FLA ถึงแม้ว่าเดินสารทำความเย็นยังไม่เต็มระบบก็ห้ามเดินสารทำความเย็นต่อไป จะต้องหยุดเพื่อหาสาเหตุและแก้ไขปัญหาก่อน เพราะถ้าเดินสารทำความเย็นเต็มระบบแต่กระแสเกินค่า FLA มอเตอร์จะต้องทำงานเกินกำลัง อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน (overload protector) จะตัดวงจรหรืออาจทำให้มอเตอร์ไหม้เสียหายได้

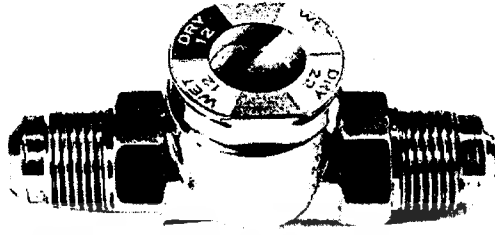
ตารางที่ 2-7 แสดงรายละเอียดเฉพาะของบริษัทผู้ผลิตในการกำหนดค่า LRA และ FLA ของคอมเพรสเซอร์

Model	HP	APPL.	REF.	VOLTAGE	LRA	FLA
AH Model for COMMERCIAL						
AH2435A	3/4	LBP	12	1-240/220	43.0	6.0
AH2445A	1	LBP	12	1-240/220	48.0	8.0
AH2466A	1 -1/2	LBP	12	1-240/220	75.0	9.5
AH4518A	1 -1/2	HBP	12	1-240/220	41.0	10.0
AH7480A	1	IIBP	12	1-240/220	34.0	6.3
AH2511K	2	LBP	502	3-380	27.0	3.8
AH4525A	2	HBP	12	3-380	24.0	4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในนามเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ช่องกระจกดูน้ำยา (sight glass) ติดตั้งอยู่ที่ท่อสารทำความเย็นเหลว เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยบอกสภาพของสารทำความเย็น ซึ่งปกติถ้าเติมสารทำความเย็นได้เต็มและระบบทำงานปกติ ช่องกระจกดูน้ำยาจะมีสารทำความเย็นเหลวไหลผ่านเต็ม ช่องกระจกจะใสไม่มีฟอง



**รูปที่ 2-56 แสดงช่องกระจกดูน้ำยา**

(Althouse, A.D., หน้า 458)

4. ความดันระบบ (low-high pressure) จะอาศัยเกจแมนิโพลด์รายงานความดันของสารทำความเย็นในระบบ ซึ่งค่าความดันในระบบนอกจากจะขึ้นอยู่กับประเภทของเครื่องทำความเย็นแล้วยังขึ้นอยู่กับส่วนประกอบอื่น ๆ เช่น อุณหภูมิของอากาศในบรรยากาศ (ambient temperature) ชนิดของสารทำความเย็น ภาระที่เกิดขึ้นในระบบ ดังนั้นการเติมสารทำความเย็น โดยดูจากค่าความดันในระบบ นอกจากต้องอาศัยค่าที่กำหนดเป็นพื้นฐานทั่วไปแล้ว ยังต้องอาศัยประสบการณ์ประกอบการทำงานด้วย

5. สังเกตความเย็นที่เกิดขึ้น ซึ่งอาจดูได้จากความเย็นที่เกิดขึ้นที่ท่อสารทำความเย็นด้านดูดช่วงก่อนเข้าคอมเพรสเซอร์ หรือวัดอุณหภูมิหรือสังเกตความเย็นที่เกิดขึ้นที่เครื่องระเหยน้ำยา

ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ประกอบการเติมสารทำความเย็นสำหรับเครื่องปรับอากาศ

1. ปกติใช้สารทำความเย็นชนิด R-22 ให้ใช้น้ำหนักตามที่บริษัทผู้ผลิตกำหนดเป็นหลักในการเติมสารทำความเย็น

2. ค่ากระแสผ่านมอเตอร์ของคอมเพรสเซอร์จะต้องไม่สูงกว่าค่า FLA

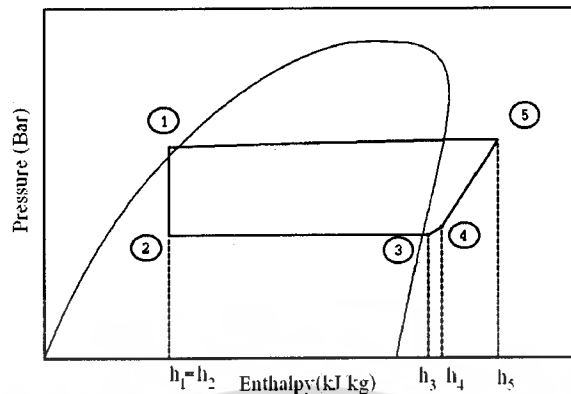
3. ค่าความดันในระบบด้านความดันต่ำประมาณ 65-75 psig และด้านความดันสูงประมาณ 220-270 psig

4. สังเกตสารทำความเย็นที่ผ่านช่องกระจกดูน้ำยาจะต้องใส ไม่มีฟอง

5. สังเกตขณะทำงานจะมีหยดน้ำควบแน่นจับที่ท่อสารทำความเย็นด้านดูดจนถึงทางเข้าคอมเพรสเซอร์

6. อุณหภูมิแตกต่างระหว่างอากาศที่ทางเข้าและทางออกจากเครื่องระเหย (return air-supply air) จะต้องแตกต่างกันไม่น้อยกว่า 20 °F หรือประมาณ 10 °C เมื่อสารทำความเย็นเต็มระบบ

## 2.11 ตัวอย่างการคำนวณ COP ทางทฤษฎี และการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนระหว่าง COPจริงและทฤษฎี



รูปที่ 2-57 แสดงตัวเลขกำกับจุด ณ สถานะต่าง ๆ ของ Ph Diagram R-22

### ตัวอย่างการคำนวณ COP ทางทฤษฎี

การคำนวณของระบบปกติที่ปรับแล้วด้วยมือ ซึ่งจะนำค่าข้อมูลเบื้องต้นที่ได้จากการทดสอบ มาเขียนลงใน P-h Diagram เพื่อหาค่าเอนทาลปี ที่อุณหภูมิการทำงานเย็น 25 °C, จำนวนรอบวาล์ว 3 รอบ ของสารทำความเย็น R-22 ดังนี้

จาก P-h diagram ;

$$h_1 = h_2 = 241.15 \quad \text{kJ/kg}$$

$$h_3 = 414.62 \quad \text{kJ/kg}$$

$$h_4 = 421.51 \quad \text{kJ/kg}$$

$$h_5 = 450.69 \quad \text{kJ/kg}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น COP ทางทฤษฎี (COP}_{th}) &= \frac{h_3 - h_2}{h_5 - h_4} \\ &= \frac{414.62 - 241.15}{450.69 - 421.51} = 5.945 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{และอัตราการประหยัดพลังงาน (EER)} &= 3.4126 \times \text{COP}_{th} \\ &= 20.288 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{อัตราการไหลเชิงมวลของภาระ (m}_w) &= \rho_w V_w \\ &= 0.025 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{อัตราปริมาณความร้อนของภาระ (Q)} &= m_w C_p (T_6 - T_7) \\ &= 0.025 \times 4.17818 \times (33.5 - 25) \\ &= 0.888 \text{ kW} \end{aligned}$$

### การคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนระหว่าง COPจริงและทฤษฎี (ERROR)

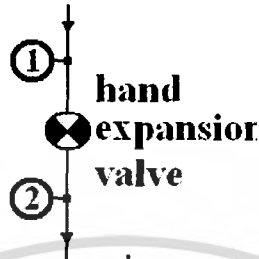
$$\text{ERROR} = \frac{\text{COP}_{th} - \text{COP}_{Real}}{\text{COP}_{th}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.12 ตัวอย่างการคำนวณหาอัตราการไหลของสารทำความเย็นผ่านวาล์วลดความดัน

เราสามารถคำนวณหาอัตราการไหลของสารทำความเย็นผ่านวาล์วลดความดันในระบบได้จากสูตร

$$\text{จากสูตร} \quad p_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1 = p_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2 \quad ; \text{เมื่อสภาวะ 1 และ 2 มาจากรูป}$$



รูปที่ 2-58 แสดงสภาวะที่ 1 และ 2 ในการคำนวณ

$$\text{ดังนั้น} \quad p_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1 = p_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2$$

$$v_2 = \left[ \frac{2(p_1 - p_2)}{\rho} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\text{สำหรับ R-22 ; } \rho = 1195 \text{ kg/m}^3 @ 20^\circ\text{C}$$

$$v = 12.94(p_1 - p_2)^{\frac{1}{2}} \quad \text{m/s}$$

$$\text{จาก} \quad m = R_f = Av$$

$$m = R_f = 12.94A(p_1 - p_2)^{\frac{1}{2}} \quad \text{mg/s}$$

$$\text{สำหรับ R-134a ; } \rho = 1210 \text{ kg/m}^3 @ 20^\circ\text{C}$$

$$m = R_f = 12.86A(p_1 - p_2)^{\frac{1}{2}} \quad \text{mg/s}$$

$$\text{สำหรับ Cold 22 ; } \rho = 500 \text{ kg/m}^3 @ 20^\circ\text{C}$$

$$m = R_f = 20A(p_1 - p_2)^{\frac{1}{2}} \quad \text{mg/s}$$

$$\text{และสำหรับ Cold 134 ; } \rho = 530 \text{ kg/m}^3 @ 20^\circ\text{C}$$

$$m = R_f = 12.94A(p_1 - p_2)^{\frac{1}{2}} \quad \text{mg/s}$$

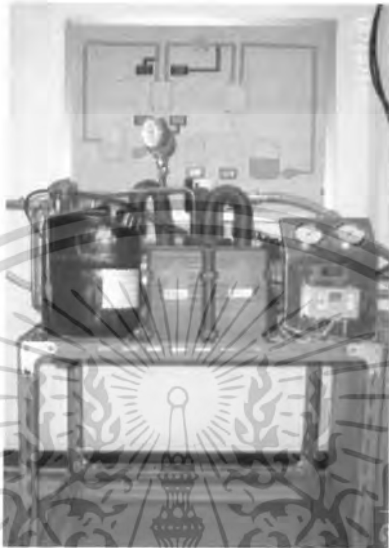
เราจะได้ค่าอัตราการไหลของสารทำความเย็นชนิดต่าง ๆ ผ่านวาล์วลดความดันโดยการแทนค่า A ในสูตรด้วยค่าพื้นที่หน้าตัดของวาล์ว ( $\text{mm}^2$ ) เมื่อวาล์วเปิด ณ ตำแหน่งต่าง ๆ โดยที่ค่าพื้นที่หน้าตัดของวาล์วได้มาจากการคำนวณที่ตำแหน่งวาล์วเปิด 0.125, 0.25, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 และ 3 รอบ โดยมีค่าเป็น 0.038, 0.077, 0.154, 0.308, 0.463, 0.62, 0.777 และ 0.935  $\text{mm}^2$  ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### อุปกรณ์และวิธีการทดสอบ

#### 3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 3-1 แสดงชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

อุปกรณ์สำคัญที่ติดตั้งในชุดทดสอบเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของสารทำความเย็นได้แก่

1. เครื่องระเหยแบบใช้ของเหลวทำความเย็น (Liquid Chilling Evaporator) ชนิดเปลือกและท่อ (Shell and tube cooler) เป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางที่สุด เนื่องจากมีประสิทธิภาพค่อนข้างสูง บำรุงรักษาง่าย ใช้พื้นที่ในการติดตั้งค่อนข้างน้อย และสามารถดัดแปลงใช้กับแบบอื่นได้เกือบทั้งหมด



รูปที่ 3-2 เครื่องระเหยแบบใช้ของเหลวทำความเย็นชนิดเปลือกและท่อ

2. คอนเดนเซอร์แบบใช้น้ำหล่อเย็น (Water Cooler Condenser) ชนิดเปลือกและท่อ (Shell and Tube Condenser) มีลักษณะเป็นเปลือกเหล็กทรงกระบอก ซึ่งจัดเรียงเป็นท่อตรงขนานกันหลายท่อ แล้วเชื่อมต่อปลายทั้งหมดติดกัน น้ำหล่อเย็นจะไหลในท่อขนานเหล่านี้ ส่วนสารทำความเย็นจะไหลในเปลือกระหว่างท่อและเปลือก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-3 แสดงคอนเดนเซอร์ชนิดเปลือกและท่อ

3. คอมเพรสเซอร์แบบเปลือกหุ้มปิด (hermetic compressor) คือแบบที่ตัวคอมเพรสเซอร์และตัวขับเคลื่อนประกอบเข้ารวมอยู่ใน โครงสร้างเดียวกัน และถูกเชื่อมปิดสนิท ซึ่งมีข้อดีคือป้องกันการรั่วได้ดี มีขนาดเล็ก ทำงานได้เงียบ มีการสั่นสะเทือนน้อย จึงนิยมใช้กับเครื่องทำความเย็นชนิดใช้ในบ้าน แต่มีข้อเสียคือไม่สามารถแยกตัวขับเคลื่อนมาซ่อมเฉพาะส่วนที่เสียได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการถอดเพื่อตรวจซ่อมยาก เพราะถูกประกอบกันไว้ด้วยวิธีการเชื่อม



รูปที่ 3-4 แสดงคอมเพรสเซอร์ชนิดเปลือกหุ้มปิด

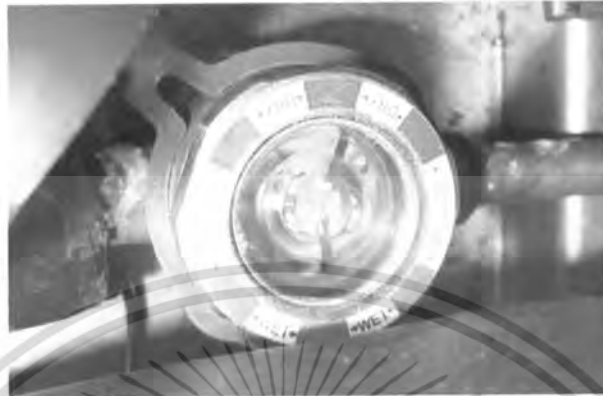
4. ลิ้นลดความดันชนิดปรับด้วยมือ (hand expansion valve)



รูปที่ 3-5 แสดงลิ้นลดความดันชนิดปรับด้วยมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. กระจกมองน้ำยา (Sight Glass) ติดตั้งเพื่อตรวจสอบสารทำความเย็นในระบบทำความเย็นว่าเพียงพอหรือไม่ ถ้าภายในระบบมีสารทำความเย็นน้อย ซึ่งอาจเกิดจากการรั่วของสารทำความเย็น หรืออัดสารทำความเย็นเข้าไปในระบบน้อยเกินไป จะเห็นฟองของสารทำความเย็นวิ่งผ่านกระจก แต่ถ้าสารทำความเย็นเต็มจะมีแต่ของเหลวที่วิ่งผ่าน



รูปที่ 3-6 แสดงกระจกมองสารทำความเย็น

6. อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนของสารทำความเย็นก่อนเข้าและหลังออกจากคอมเพรสเซอร์ มีข้อดีคือช่วยให้สารทำความเย็นที่ถูกคอมเพรสเซอร์อัดมีความร้อนลดลง ก่อนส่งไประบายความร้อนที่คอนเดนเซอร์ ถือเป็นารช่วยคอนเดนเซอร์ระบายความร้อน แต่มีข้อเสียคือทำให้ความหนาแน่นของสารทำความเย็นก่อนเข้าคอมเพรสเซอร์ลดลง เนื่องจากมีความร้อนเพิ่มขึ้น จึงทำให้ COP ของทั้งระบบลดลงด้วย



รูปที่ 3-7 แสดงอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. **ฟิลเตอร์ทรายเออร์ (Filter Drier)** จะติดตั้งที่ท่อน้ำยาเหลวใกล้กับทางเข้าของชุดปรับอัตราการไหลของสารทำความเย็น เพื่อทำหน้าที่ดูดความชื้นให้ระบบที่หลงเหลืออยู่ และตำแหน่งที่ติดตั้ง จะต้องอยู่ในบริเวณที่เย็นเพราะสารดูดซับความชื้นจะดูดซับความชื้นได้มากที่สุดที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งสารดูดความชื้นที่ใช้ทั่วไปได้แก่ ซิลิกาเจล (Silica Gel), แคลเซียมซัลเฟต (Calcium Sulfate), อลูมินาเจล (Alumina Gel)



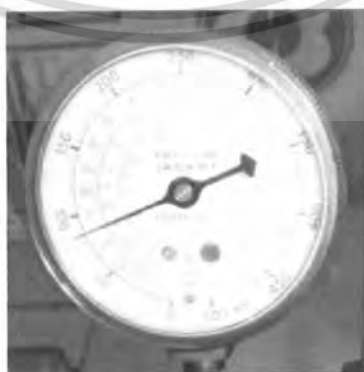
รูปที่ 3-8 แสดงฟิลเตอร์ทรายเออร์

8. **เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิแบบดิจิตอล (Digital Thermometer)**



รูปที่ 3-9 แสดงเทอร์โมมิเตอร์ที่วัดอุณหภูมิแบบดิจิตอล

9. **เกจวัดความดัน (Pressure Gauge)**



รูปที่ 3-10 แสดงเกจวัดความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 10. มาตรวัดอัตราการไหลของน้ำ (Water Meter)



รูปที่ 3-11 แสดงมาตรวัดอัตราการไหลของน้ำ

### 11. สวิตช์หรือกระแสไฟฟ้า (Dimmer Light)



รูปที่ 3-12 แสดงสวิตช์หรือกระแสไฟฟ้า

### 12. อุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้าแบบหน้าปิด (Ammeter)



รูปที่ 3-13 แสดงอุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้าแบบหน้าปิด

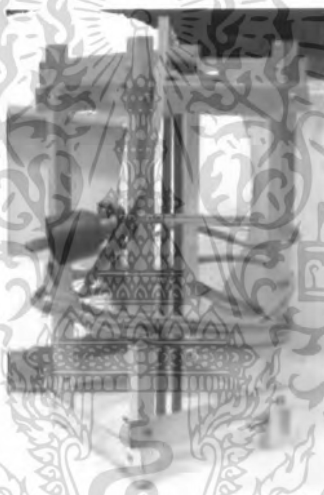
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. อุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้าแบบคล้องสายไฟที่ต้องการวัด (Clip ammeter) เป็นเครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้าในระบบกระแสไฟฟ้าแบบสลับ เป็นชนิดที่นิยมใช้กันมากที่สุดเนื่องจากสะดวกในการใช้งาน คือไม่ต้องปลดสายไฟออกจากวงจรมาทำการวัด เพียงแค่ใช้แคลมป์ออนมิเตอร์คล้องกับสายไฟฟ้าที่ต้องการวัดเส้นใดเส้นหนึ่ง ก็สามารถอ่านค่ากระแสไฟฟ้าที่ผ่านในวงจรได้



รูปที่ 3-14 แสดงอุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้าแบบคล้องสายไฟที่ต้องการวัด

14. ตัวทำความร้อน (Heater) ขนาด 3,000 วัตต์



รูปที่ 3-15 แสดงตัวทำความร้อน

15. ปั้มน้ำ (Water pump) ใช้ปั้มน้ำขนาด 0.37 กิโลวัตต์ จำนวน 2 ตัว



รูปที่ 3-16 แสดงปั้มน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 16. ท่อทางเดินสารทำความเย็น



รูปที่ 3-17 แสดงท่อทางเดินสารทำความเย็น

### 17. ถังบรรจุน้ำเพื่อพาความร้อนเข้าระบบทดสอบ



รูปที่ 3-18 แสดงถังบรรจุน้ำเพื่อพาความร้อนเข้าระบบทดสอบ

18. หอระบายความร้อน (Cooling Tower) เป็นอุปกรณ์ในส่วนของ การระบายความร้อนให้ระบบทำความเย็น ซึ่งเป็นวิธีระบายความร้อนด้วยน้ำและอากาศ



รูปที่ 3-19 แสดงหอระบายความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 19. สารทำความเย็น (Refrigerants)



รูปที่ 3-20 แสดงถังสารทำความเย็น

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 แต่ใช้คอมเพรสเซอร์ที่มีขนาดเล็กกว่าเพราะมีปริมาตรจำเพาะน้อยกว่า R-22 สามารถรวมกับน้ำมันหล่อลื่นได้ แต่จะแยกตัวออกที่อุณหภูมิต่ำเมื่ออยู่ในเครื่องระเหย ใช้กับเครื่องทำความเย็น เครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก และขนาดใหญ่ทั่วไป

R-134a ( $\text{CF}_3\text{CH}_2\text{F}$ ) เป็นสารกลุ่มฟลูออโรคาร์บอน มีค่าความปลอดภัยระดับ A1 มีจุดเดือด  $-15.0^\circ\text{F}$  ( $-26.2^\circ\text{C}$ ) ที่ความดันบรรยากาศ เป็นสารทำความเย็นที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้แทน R-12 ซึ่งได้ถูกยกเลิกการผลิตตามข้อบังคับของพิธีสารมอนทรีออล R-134a มีคุณสมบัติในการรวมตัวกับน้ำได้ดี (water solubility) จึงมีโอกาสที่จะเกิดน้ำแยกตัวออกจากสารทำความเย็น ไปเป็นน้ำแข็งอุดตันลิ้นลดความดันได้ และเนื่องจากไม่สามารถรวมตัวกับสารหล่อลื่นชนิด mineral oils ได้ จึงต้องใช้สารหล่อลื่นชนิดพิเศษคือ polyol ester (POE) และเนื่องจาก POE เป็นสารหล่อลื่นที่มีความสามารถในการดูดความชื้นสูง จึงต้องระวังอย่าให้มีโอกาสสัมผัสกับอากาศ ปัจจุบันเครื่องปรับอากาศรถยนต์ และตู้เย็นที่ผลิตใหม่ถูกบังคับให้เปลี่ยนมาใช้ R-134a แทน R-12 ทั้งหมด

Cold-22 ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$ ) เป็นสารทำความเย็นกลุ่มไฮโดรคาร์บอน มีค่าความปลอดภัยระดับ A3 มีจุดเดือด  $-43.6^\circ\text{F}$  ( $-42^\circ\text{C}$ ) 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  $450^\circ\text{C}$  ใช้ทดแทนในระบบ R-22

Cold-134 ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3 + \text{CH}(\text{CH}_3)_3$ ) เป็นสารทำความเย็นกลุ่มไฮโดรคาร์บอน มีค่าความปลอดภัยระดับ A3 มีจุดเดือด  $-22.9^\circ\text{F}$  ( $-30.5^\circ\text{C}$ ) 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  $460^\circ\text{C}$  ใช้ทดแทนในระบบ R-134a

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 การทำความเย็นของระบบทดสอบ

เริ่มต้นที่อุปกรณ์ ทำการระ water chiller แบบ shell and tube โดย water chiller จะทำการระบายความร้อนของน้ำผ่านให้กับสารทำความเย็นเหลวทำให้น้ำมีอุณหภูมิลดลง ส่วนสารทำความเย็นเหลวมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนเปลี่ยนสถานะกลายเป็นแก๊ส แก๊สในสภาวะนี้ยังมีอุณหภูมิและความดันต่ำจะผ่านเข้าไปยังอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) เพื่อระบายความร้อนจนสารทำความเย็นระเหยเป็นก๊าซอุณหภูมิสูงแต่ความดันต่ำ จากนั้นสารทำความเย็นจะถูกส่งผ่านไปยังคอมเพรสเซอร์เพื่อเพิ่มความดัน จากนั้นสารทำความเย็นที่มีสถานะเป็นก๊าซที่มีความดันสูง อุณหภูมิสูง จะถูกส่งไประบายความร้อนออกที่ condenser แบบ shell and tube สารทำความเย็น ณ จุดนี้จะมีสถานะเป็นของเหลวอุณหภูมิต่ำ ความดันสูง จากนั้นสารทำความเย็นเหลวจะถูกส่งไปยังวาล์วลดความดัน (Expansion Valve) ก่อนส่งไปยัง Evaporator อีกครั้งเป็นการครบวงจรการทำงาน

### 3.3 การทดสอบ

เราได้แบ่งการทดสอบออกเป็น 6 หัวข้อใหญ่ ๆ ในแต่ละสารทำความเย็น

3.3.1 เติมสารทำความเย็นที่ Service Valve ทางด้าน suction ของระบบทำความเย็นให้ได้ความดันค่าหนึ่งพร้อมตรวจสอบกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้คอมเพรสเซอร์ขณะทำงานไม่เกินข้อกำหนด (ในที่นี้คือ 6 A)

3.3.2 ปรับ Hand Expansion Valve ไปที่  $\frac{1}{2}$  รอบ จากปิดสนิท รอให้ระบบเข้า Steady State แล้วบันทึกค่าข้อมูลเบื้องต้นเพื่อคำนวณหาค่า COP จริง

3.3.3 ทำการเติมสารทำความเย็นเข้าระบบให้ได้ความดันด้าน suction line อีกสภาวะความดันถัดไป ทำอย่างนี้ไปเรื่อย ๆ พร้อมทั้งตรวจสอบค่า COP จริงไปด้วยทุกครั้ง แล้วเราจะได้ค่าความดันทำงานที่ดีที่สุดของแต่ละสารทำความเย็น

ตัวอย่างการพิจารณาเลือกความดันด้านดูด ( $P_4$ )

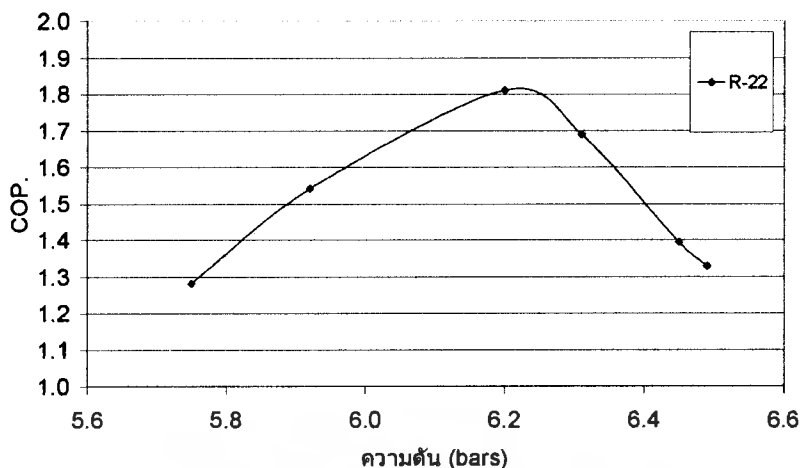
ก่อนทำการทดสอบ ผู้ทดสอบได้ทดสอบ เพื่อพิจารณาเลือกความดันด้านดูด ( $P_4$ ) พิจารณาสารทำความเย็น R-22, ที่จำนวนรอบวาล์ว  $\frac{1}{2}$  รอบ, อุณหภูมิการทำงาน 25 °C จะได้ข้อมูลเบื้องต้น จากการทำงานของระบบที่สภาวะความดันด้านดูดต่าง ๆ ดังนี้

ตารางที่ 3-1 ตัวอย่างตารางการพิจารณาเลือกความดันด้านดูดของ R-22

I(comp)	V water	$P_4$ (bars)	$T_6$ (°C)	$T_7$ (°C)	Q	Power	COP
5.7	0.025	5.75	39.8	25	1.546	1.254	1.283
5.7	0.025	5.92	42.9	25	1.870	1.254	1.541
5.85	0.025	6.2	46.7	25	2.267	1.287	1.811
5.85	0.025	6.31	45.2	25	2.110	1.287	1.689
5.9	0.025	6.45	41.7	25	1.744	1.298	1.394
5.9	0.025	6.49	40.9	25	1.661	1.298	1.330

นำค่าที่ได้จากข้อมูลเบื้องต้น ไปตรวจสอบเพื่อพิจารณาเลือกความดันด้านดูด ( $P_4$ ) โดยพิจารณาเปรียบเทียบจากกราฟสมรรถนะ (COP) ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 3-1 ตัวอย่างกราฟที่พิจารณาความดันด้านดูดของสารทำความเย็น R-22

จากกราฟผลการตรวจสอบ พิจารณาเลือกความดันด้านดูดของสารทำความเย็นที่ 6.2 bars กับสารทำความเย็น R-22, ที่จำนวนรอบวาล์ว  $\frac{1}{2}$  รอบ, อุณหภูมิการทำงาน 25 °C

3.3.4 ปรับ Hand Expansion Valve ไปที่ 3 รอบ แล้วเดินเครื่องให้ระบบทำงาน โดยกำหนดให้อุณหภูมิของภาระทางออกเริ่มต้น ( $T_o = 25$  °C) โดยการปรับภาระทางเข้า (Load) จนกว่าสามารถอ่านอุณหภูมิภาระทางออกได้ตามกำหนด

ในการทดลองนี้เรากำหนดให้  $T_o$  แปรค่าดังนี้ คือ 25, 24, 23, 22, 21, 20 °C แล้วทำการบันทึกค่าข้อมูลเบื้องต้นทุกสภาวะตามกำหนด

3.3.5 ปรับ Hand Expansion Valve แปรค่าดังนี้ คือ 3, 2.5, 2, 1.5, 1, 0.5, 0.25, 0.125 รอบตามลำดับ โดยแต่ละรอบของการปรับ Hand Expansion Valve จะมีการแปรค่าภาระทางออกตามที่กำหนดในข้อ 3.3.4 ด้วยทุกครั้ง

3.3.6 นำค่าข้อมูลเบื้องต้นไปทำการวิเคราะห์และสรุปผลต่อไป

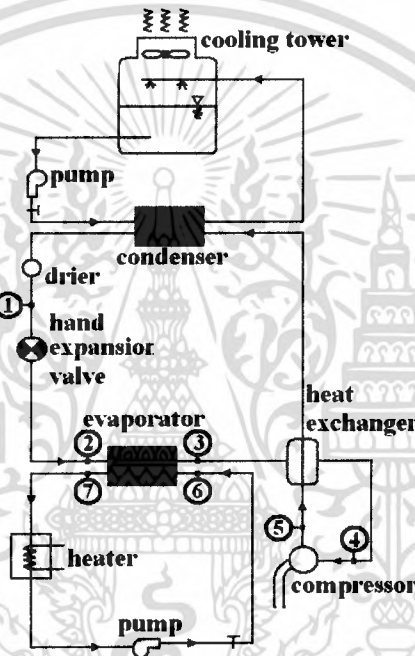
## บทที่ 4

### ผลการทดสอบ

งานวิจัยนี้ได้แบ่งผลการทดสอบออกเป็นส่วน ๆ ตามชนิดของสารทำความเย็น คือ R-22, R-134a, Cold 22 และ Cold 134 ตามลำดับ

#### 4.1 สารทำความเย็น R-22

ก่อนทำการทดสอบ ผู้ทดสอบได้ทดสอบ เพื่อพิจารณาเลือกความดันด้านดูด ( $P_4$ ) พิจารณาสารทำความเย็น R-22, ที่จำนวนรอบวาล์ว  $\frac{1}{2}$  รอบ, อุณหภูมิการทำงาน 25 °C จะได้ข้อมูลเบื้องต้นจากการทำงานของระบบที่สภาวะความดันด้านดูดต่าง ๆ ดังนี้



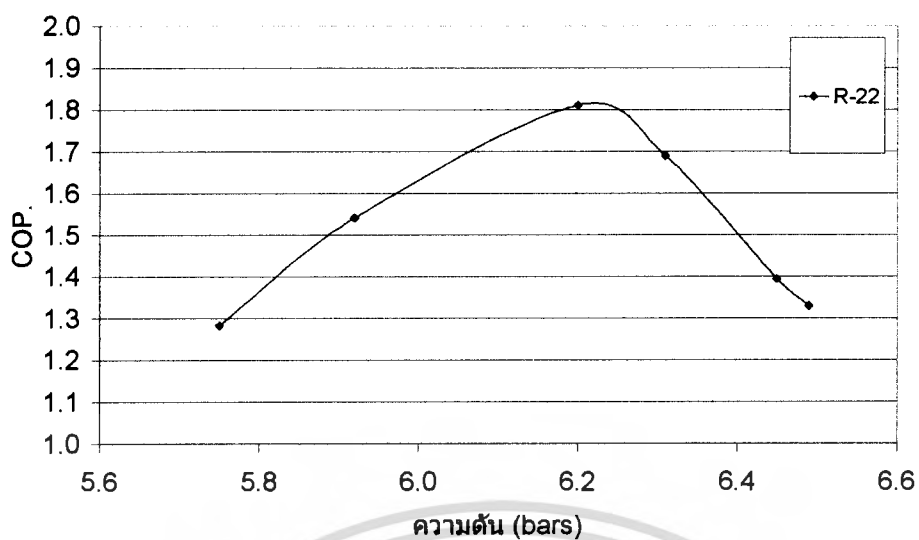
รูปที่ 4-1 แสดงตัวเลขกำกับจุดที่วัดค่าความดันและอุณหภูมิในชุดทดสอบ

ตารางที่ 4-1 ตารางการพิจารณาเลือกความดันด้านดูดของ R-22

I(comp)	V water	$P_4$ (bars)	$T_6$ (°C)	$T_7$ (°C)	Q	Power	COP
5.7	0.025	5.75	39.8	25	1.546	1.254	1.283
5.7	0.025	5.92	42.9	25	1.870	1.254	1.541
5.85	0.025	6.2	46.7	25	2.267	1.287	1.811
5.85	0.025	6.31	45.2	25	2.110	1.287	1.689
5.9	0.025	6.45	41.7	25	1.744	1.298	1.394
5.9	0.025	6.49	40.9	25	1.661	1.298	1.330

นำค่าที่ได้จากข้อมูลเบื้องต้น ไปตรวจสอบเพื่อพิจารณาเลือกความดันด้านดูด ( $P_4$ ) โดยพิจารณาเปรียบเทียบจากกราฟสมรรถนะ (COP) ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 4-1 กราฟพิจารณาความดันด้านดูด ของสารทำความเย็น R-22

จากกราฟผลการตรวจสอบ พิจารณาเลือกความดันด้านดูดของสารทำความเย็นที่ 6.2 bars กับสารทำความเย็น R-22, ที่จำนวนรอบวาล์ว 1/2 รอบ, อุณหภูมิการทำความเย็น 25 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4-2 ตารางข้อมูลเบื้องต้นของการทดสอบกับสารทำความเย็น R-22

No.	I(comp)	V(water)	T <sub>1</sub> (°C)	T <sub>3</sub> (°C)	T <sub>4</sub> (°C)	T <sub>5</sub> (°C)	T <sub>6</sub> (°C)	T <sub>7</sub> (°C)	P <sub>1</sub> (bars)	P <sub>2</sub> (bars)	P <sub>3</sub> (bars)	P <sub>4</sub> (bars)	P <sub>5</sub> (bars)
0.125	4.60	0.025	38.5	13.3	17.3	72.0	47.2	25.0	16.75	4.23	5.00	5.13	16.80
0.250	5.30	0.025	38.5	13.2	17.3	70.5	45.7	25.0	16.45	6.60	5.60	6.15	16.50
0.500	5.70	0.025	38.4	13.4	18.5	68.5	41.5	25.0	16.45	6.65	5.63	6.25	16.50
1.000	5.70	0.025	38.4	14.9	18.2	67.8	40.1	25.0	15.95	6.91	5.83	6.33	16.00
1.500	5.70	0.025	38.4	15.3	19.5	67.5	39.5	25.0	15.75	7.10	6.00	6.42	15.80
2.000	5.70	0.025	38.3	15.2	19.5	67.2	39.4	25.0	15.75	7.15	6.00	6.55	15.80
2.500	5.80	0.025	38.1	15.4	19.5	67.0	35.0	25.0	15.35	7.13	5.98	6.50	15.40
3.000	5.80	0.025	37.5	14.6	25.4	67.0	33.5	25.0	14.45	6.98	5.78	6.50	14.50
0.125	4.60	0.025	38.5	12.5	16.3	72.0	45.5	24.0	16.25	4.22	4.98	5.12	16.30
0.250	5.30	0.025	38.5	12.4	16.4	70.5	43.7	24.0	16.15	6.48	5.48	6.10	16.20
0.500	5.58	0.025	38.4	12.5	18.4	69.0	36.8	24.0	15.75	6.50	5.50	6.18	15.80
1.000	5.60	0.025	38.3	13.4	18.2	67.9	36.6	24.0	15.55	6.75	5.68	6.20	15.60
1.500	5.60	0.025	38.3	14.3	18.5	67.8	34.5	24.0	15.35	6.97	5.82	6.32	15.40
2.000	5.60	0.025	38.2	14.5	18.5	67.8	34.8	24.0	15.15	6.82	5.78	6.25	15.20
2.500	5.70	0.025	38.1	14.5	19.5	67.5	33.5	24.0	14.95	6.98	5.80	6.40	15.00
3.000	5.70	0.025	37.3	14.4	24.6	67.5	32.4	24.0	14.20	6.85	5.65	6.20	14.25
0.125	4.60	0.025	38.5	12.4	16.3	72.1	43.8	23.0	16.15	4.22	4.95	5.05	16.20
0.250	5.25	0.025	38.5	12.4	16.2	71.0	42.7	23.0	16.15	6.40	5.42	5.80	16.20
0.500	5.52	0.025	38.4	12.6	17.9	69.5	34.7	23.0	16.00	6.45	5.45	6.00	16.05
1.000	5.52	0.025	38.3	12.7	17.5	68.3	33.5	23.0	15.65	6.60	5.53	6.00	15.70
1.500	5.53	0.025	38.2	14.5	18.4	68.2	32.6	23.0	15.35	6.79	5.65	6.20	15.40
2.000	5.53	0.025	37.8	14.3	17.9	68.0	31.7	23.0	15.05	6.78	5.61	6.13	15.10
2.500	5.60	0.025	37.6	14.4	19.4	67.7	31.1	23.0	14.75	6.81	5.65	6.30	14.80
3.000	5.65	0.025	36.9	13.8	24.4	67.6	31.3	23.0	13.95	6.80	5.60	6.20	14.00
0.125	4.50	0.025	37.8	11.5	14.6	72.2	42.0	22.0	15.70	4.23	4.92	4.98	15.75
0.250	5.25	0.025	37.8	11.4	14.6	70.5	40.2	22.0	15.70	6.00	5.10	5.71	15.75
0.500	5.47	0.025	37.7	11.5	17.3	69.5	32.6	22.0	15.55	6.20	5.20	5.75	15.60
1.000	5.50	0.025	37.5	12.4	17.4	68.9	31.4	22.0	15.55	6.45	5.40	5.90	15.60
1.500	5.50	0.025	37.3	13.5	17.3	68.1	30.5	22.0	15.35	6.65	5.48	5.95	15.40
2.000	5.50	0.025	37.3	13.2	17.5	68.0	31.7	22.0	15.15	6.60	5.50	6.10	15.20
2.500	5.55	0.025	37.0	13.3	18.5	68.0	29.8	22.0	14.75	6.65	5.60	6.10	14.80
3.000	5.60	0.025	36.3	13.4	23.5	68.0	30.4	22.0	14.15	6.78	5.60	6.18	14.20
0.125	4.55	0.025	35.1	11.4	14.6	72.2	39.0	21.0	15.70	4.23	4.86	4.90	15.75
0.250	5.20	0.025	37.5	11.4	14.6	70.5	37.2	21.0	15.70	6.00	5.10	5.55	15.75
0.500	5.40	0.025	37.5	11.2	16.7	69.5	31.3	21.0	15.45	6.05	5.22	5.65	15.50
1.000	5.45	0.025	37.4	11.7	16.6	69.0	30.6	21.0	15.35	6.39	5.30	5.80	15.40
1.500	5.45	0.025	37.4	12.4	17.4	68.3	29.6	21.0	15.25	6.60	5.35	5.95	15.30
2.000	5.45	0.025	37.2	12.4	17.3	68.1	29.7	21.0	14.85	6.50	5.40	5.90	14.90
2.500	5.55	0.025	36.5	12.8	18.2	68.2	28.8	21.0	14.70	6.60	5.42	5.90	14.75
3.000	5.60	0.025	35.6	12.2	22.2	68.0	28.3	21.0	14.10	6.70	5.50	6.10	14.15
0.125	4.55	0.025	37.1	10.5	14.3	72.1	36.3	20.0	15.50	4.21	4.76	4.85	15.55
0.250	5.20	0.025	37.1	10.5	14.3	70.5	34.5	20.0	15.45	5.82	4.90	5.50	15.50
0.500	5.37	0.025	37.0	10.6	16.4	69.8	28.4	20.0	15.20	5.93	5.10	5.60	15.25
1.000	5.38	0.025	36.9	11.3	16.5	69.0	27.2	20.0	15.05	6.20	5.20	5.63	15.10
1.500	5.40	0.025	36.8	12.3	16.4	68.4	27.5	20.0	14.90	6.42	5.30	5.83	14.95
2.000	5.40	0.025	36.5	12.2	16.2	68.1	28.3	20.0	14.85	6.40	5.36	5.80	14.90
2.500	5.50	0.025	36.4	12.4	16.8	68.2	26.5	20.0	14.70	6.42	5.38	5.90	14.75
3.000	5.55	0.025	35.8	12.4	22.2	68.2	26.4	20.0	13.95	6.63	5.48	6.00	14.00

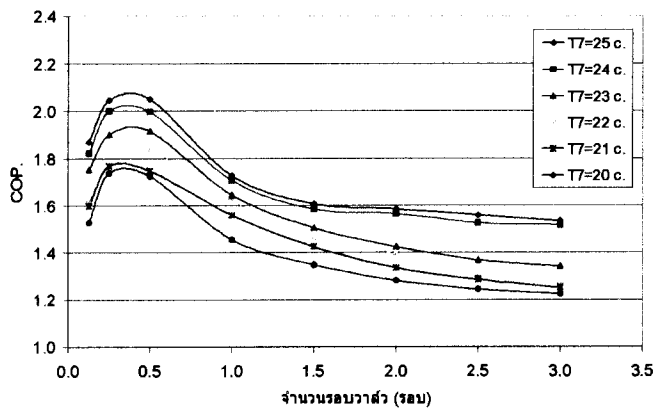
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

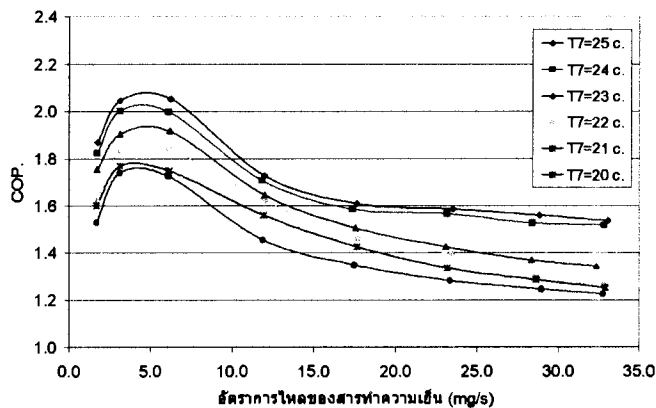
ตารางที่ 4-3 ตารางแสดงผลการคำนวณของสารทำความเย็น R-22

No.	M(water)	$h_1=h_2$	$h_3$	$h_4$	$h_5$	$Q=mc\Delta T$	$R_f$	$W=IV$	COP ทฤษฎี	COP จริง	Error
0.125	0.025	239.97	420.36	418.55	449.25	2.319	1.74	0.810	5.776	1.869	0.676
0.250	0.025	250.19	411.69	415.56	443.20	2.162	3.13	0.933	6.485	2.046	0.685
0.500	0.025	247.57	411.07	416.44	441.86	1.723	6.24	1.003	6.432	2.052	0.681
1.000	0.025	247.17	411.64	415.97	441.24	1.577	11.98	1.003	6.109	1.727	0.717
1.500	0.025	247.59	414.49	416.78	441.38	1.515	17.62	1.003	6.085	1.608	0.736
2.000	0.025	247.19	414.31	416.44	441.62	1.504	23.53	1.003	6.037	1.585	0.737
2.500	0.025	247.88	414.56	416.46	440.80	1.045	28.83	1.021	5.984	1.559	0.739
3.000	0.025	243.88	413.62	422.51	449.69	0.888	33.07	1.021	5.945	1.536	0.742
0.125	0.025	239.97	419.69	433.03	462.59	2.246	1.71	0.810	5.682	1.823	0.679
0.250	0.025	250.35	411.33	415.10	443.20	2.058	3.10	0.933	6.248	2.002	0.680
0.500	0.025	247.57	411.59	417.01	442.84	1.337	6.06	0.982	6.250	1.998	0.680
1.000	0.025	247.17	411.59	416.44	442.64	1.316	11.82	0.986	6.015	1.707	0.716
1.500	0.025	247.59	414.49	416.78	441.38	1.097	17.34	0.986	5.905	1.585	0.732
2.000	0.025	247.19	414.31	416.44	441.62	1.128	23.16	0.986	5.896	1.565	0.735
2.500	0.025	247.38	414.26	416.06	441.43	0.992	28.38	1.003	5.788	1.526	0.736
3.000	0.025	243.65	413.74	422.28	449.98	0.877	32.80	1.003	5.722	1.517	0.735
0.125	0.025	239.62	419.07	433.60	466.15	2.173	1.70	0.810	5.613	1.752	0.688
0.250	0.025	249.03	411.53	415.10	441.67	2.058	3.11	0.924	6.116	1.902	0.689
0.500	0.025	247.19	411.84	416.95	443.46	1.222	6.16	0.972	6.111	1.915	0.687
1.000	0.025	247.42	411.33	416.13	443.00	1.097	11.99	0.972	5.788	1.645	0.716
1.500	0.025	247.31	414.54	416.38	442.35	1.003	17.53	0.973	5.639	1.505	0.733
2.000	0.025	247.11	413.91	416.49	442.09	0.909	23.07	0.973	5.616	1.425	0.746
2.500	0.025	246.74	414.49	416.35	441.83	0.846	28.33	0.986	5.584	1.368	0.755
3.000	0.025	243.83	413.92	422.28	449.98	0.867	32.35	0.994	5.540	1.342	0.758
0.125	0.025	239.46	418.61	433.71	467.05	2.089	1.67	0.792	5.573	1.623	0.709
0.250	0.025	248.23	411.28	414.79	443.88	1.901	3.10	0.924	6.005	1.827	0.696
0.500	0.025	246.25	411.22	417.06	443.51	1.107	6.09	0.963	6.037	1.839	0.695
1.000	0.025	246.26	411.43	416.18	443.26	0.982	12.02	0.968	5.599	1.621	0.710
1.500	0.025	246.10	414.14	415.81	442.52	0.888	17.67	0.968	5.491	1.458	0.734
2.000	0.025	247.06	413.51	416.09	442.44	1.013	23.46	0.968	5.417	1.394	0.743
2.500	0.025	245.94	413.77	415.89	442.47	0.815	28.62	0.977	5.314	1.298	0.756
3.000	0.025	243.74	413.85	421.65	450.03	0.877	32.85	0.986	5.294	1.265	0.761
0.125	0.025	240.23	417.82	433.55	470.33	1.880	1.67	0.801	5.476	1.599	0.708
0.250	0.025	247.43	411.59	414.79	442.95	1.692	3.10	0.915	5.830	1.768	0.697
0.500	0.025	246.25	411.33	417.42	443.82	1.076	6.11	0.950	5.856	1.748	0.702
1.000	0.025	246.26	414.02	415.82	443.51	1.003	11.93	0.959	5.359	1.559	0.709
1.500	0.025	246.24	414.37	416.03	442.78	0.898	17.62	0.959	5.116	1.425	0.721
2.000	0.025	246.02	413.51	416.15	442.67	0.909	23.18	0.959	5.013	1.335	0.734
2.500	0.025	246.06	413.74	416.12	442.75	0.815	28.62	0.977	5.003	1.285	0.743
3.000	0.025	243.37	413.14	420.85	450.09	0.763	32.91	0.986	5.001	1.251	0.750
0.125	0.025	240.13	417.78	433.60	470.46	1.703	1.65	0.801	5.420	1.529	0.718
0.250	0.025	246.40	411.28	414.68	444.13	1.515	3.09	0.915	5.798	1.739	0.700
0.500	0.025	246.09	411.12	416.80	444.03	0.877	6.07	0.945	5.761	1.725	0.701
1.000	0.025	246.11	411.07	416.03	443.77	0.752	11.86	0.947	5.247	1.455	0.723
1.500	0.025	244.80	413.63	415.58	442.67	0.783	17.45	0.950	4.932	1.348	0.727
2.000	0.025	244.94	413.23	415.52	442.84	0.867	23.32	0.950	4.860	1.282	0.736
2.500	0.025	245.10	413.81	415.60	442.81	0.679	28.93	0.968	4.830	1.245	0.742
3.000	0.025	243.37	413.23	421.25	450.26	0.669	32.73	0.977	4.798	1.225	0.745

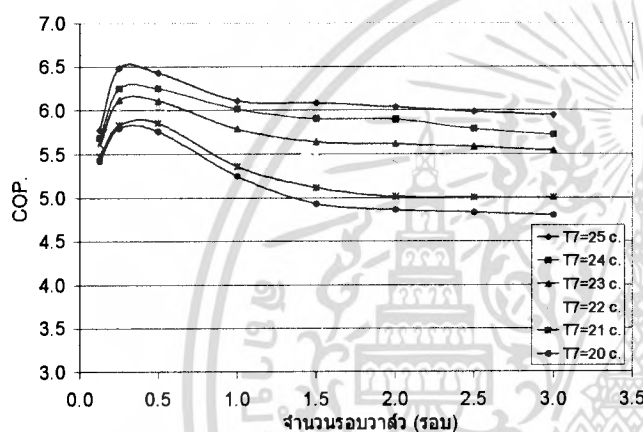
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



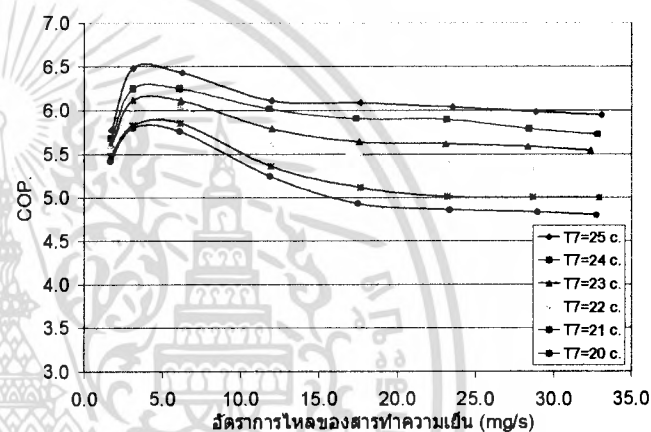
กราฟที่ 4-2 COP จริง ของ R-22 ที่อุณหภูมิการทำความเย็นต่าง ๆ ต่อรอบมวล



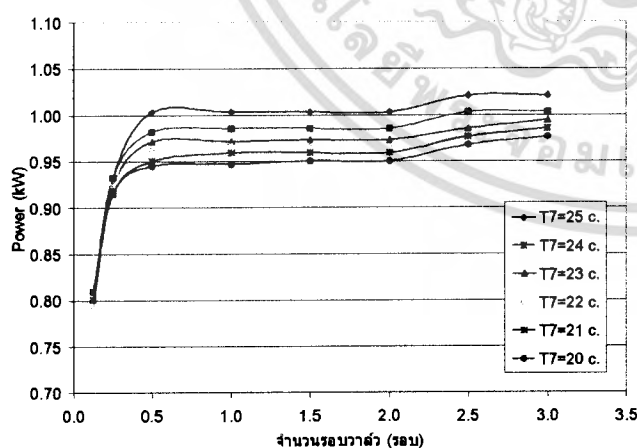
กราฟที่ 4-3 COP จริง ของ R-22 ที่อุณหภูมิการทำความเย็นต่าง ๆ ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น



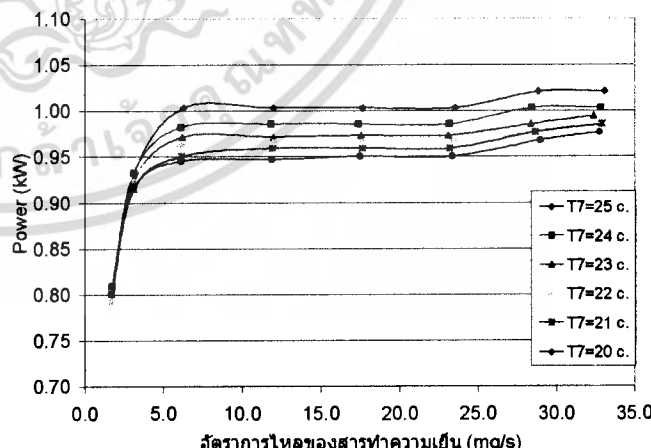
กราฟที่ 4-4 COP ทฤษฎี ของ R-22 ที่อุณหภูมิการทำความเย็นต่าง ๆ ต่อรอบมวล



กราฟที่ 4-5 COP ทฤษฎี ของ R-22 ที่อุณหภูมิการทำความเย็นต่าง ๆ ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น

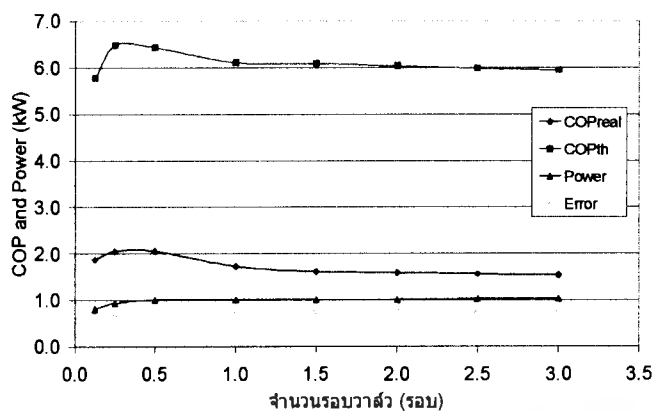


กราฟที่ 4-6 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของสาร R-22 ต่อรอบมวล

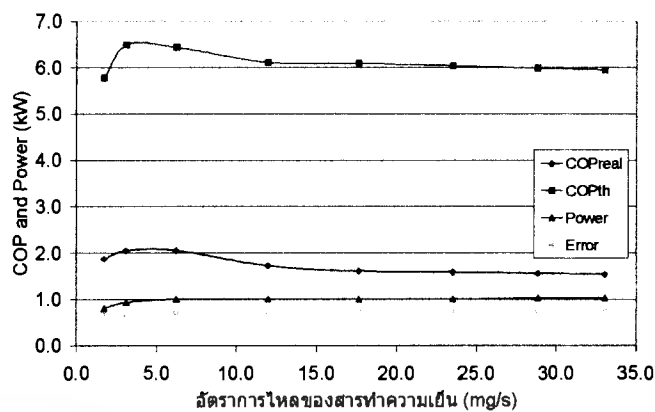


กราฟที่ 4-7 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของสาร R-22 ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น

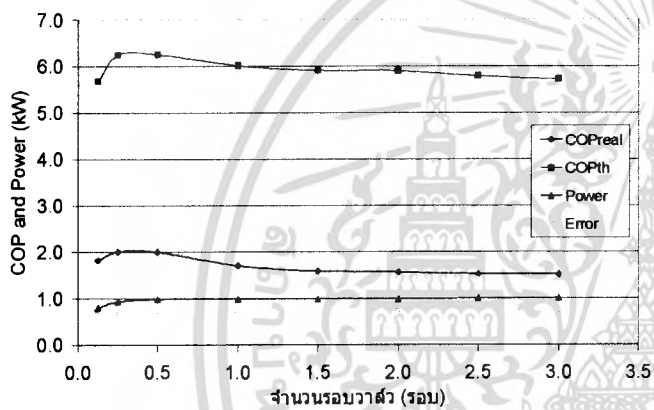
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



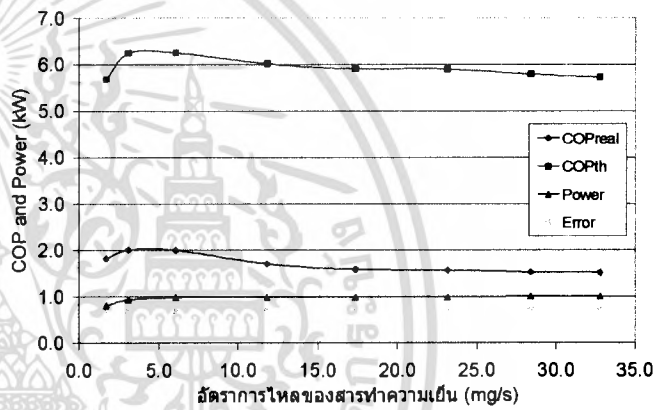
กราฟที่ 4-8 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 25 °C ต่อรอบวาล์ว



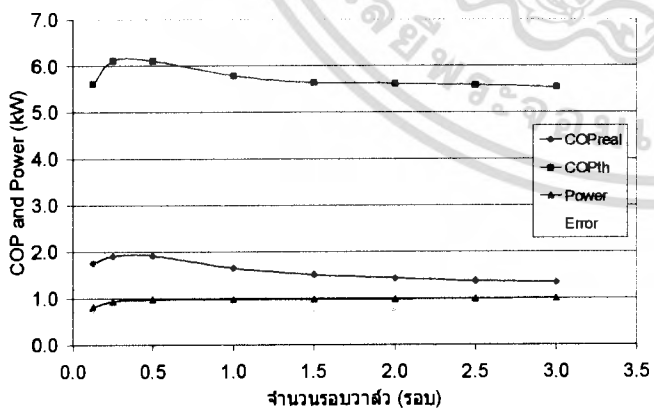
กราฟที่ 4-9 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 25 °C ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น



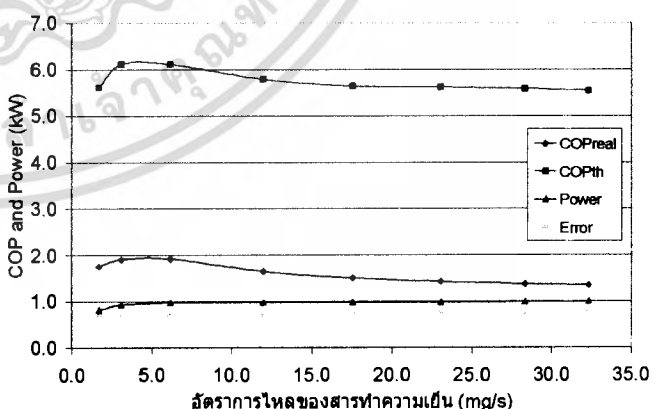
กราฟที่ 4-10 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 24 °C ต่อรอบวาล์ว



กราฟที่ 4-11 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 24 °C ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น

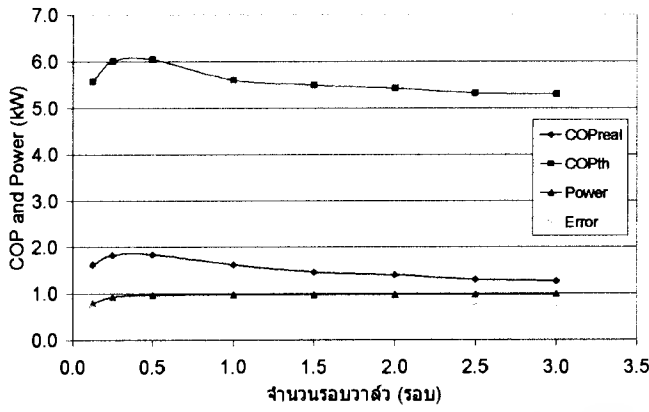


กราฟที่ 4-12 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 23 °C ต่อรอบวาล์ว

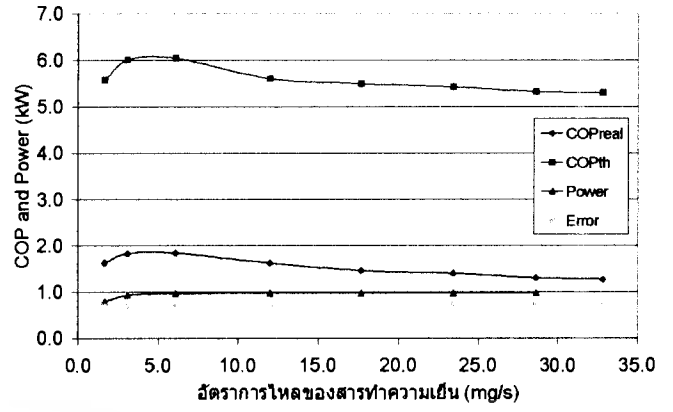


กราฟที่ 4-13 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 23 °C ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น

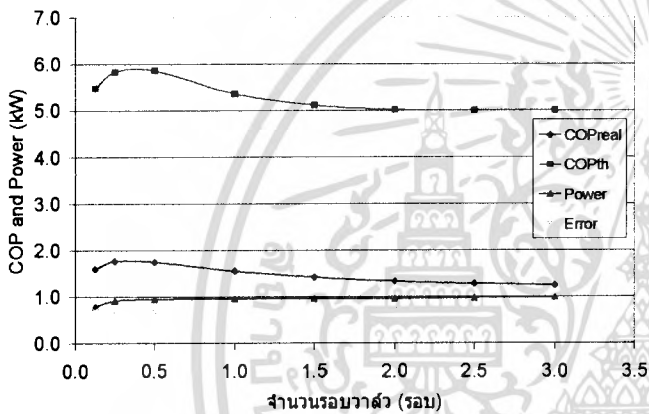
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



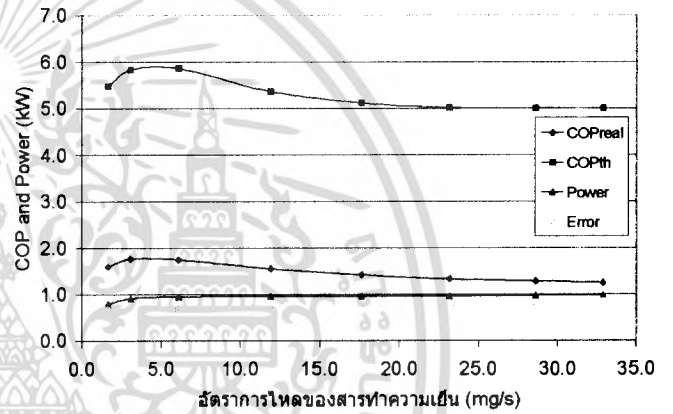
กราฟที่ 4-14 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุมน้ำ 22 °C ต่อรอบมวล



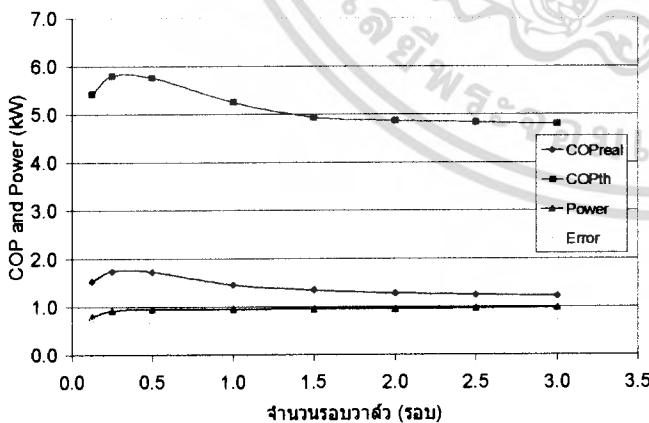
กราฟที่ 4-15 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุมน้ำ 22 °C ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น



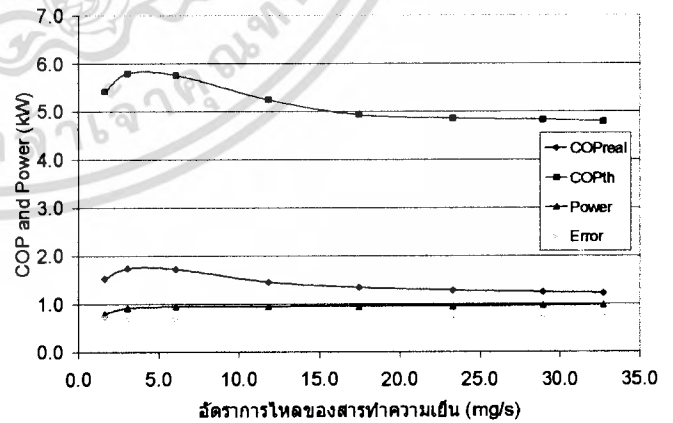
กราฟที่ 4-16 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุมน้ำ 21 °C ต่อรอบมวล



กราฟที่ 4-17 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุมน้ำ 21 °C ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น



กราฟที่ 4-18 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุมน้ำ 20 °C ต่อรอบมวล



กราฟที่ 4-19 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุมน้ำ 20 °C ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## วิเคราะห์

จากตารางข้อมูลเบื้องต้น และตารางที่ได้จากการคำนวณของ R-22 ผู้วิจัยได้นำค่าเหล่านี้มาเขียนกราฟแสดงสมรรถนะทางการทดสอบ ( $COP_{real}$ ) ดังกราฟ 4-2, 4-3, กราฟสมรรถนะทางทฤษฎี ( $COP_{th}$ ) ดังกราฟ 4-4, 4-5, กำลังไฟฟ้าที่ให้กับคอมเพรสเซอร์ (Power) ดังกราฟ 4-6, 4-7 และแยกกราฟเพื่อพิจารณาเปรียบเทียบ ค่า  $COP_{real}$ ,  $COP_{th}$ , Power และค่าความคลาดเคลื่อน (Error) ในแต่ละอุณหภูมิการทำงาน ดังกราฟ 4-8 ถึง 4-19 จากกราฟ  $COP_{real}$  พบว่า ค่า COP มีค่าสูงสุดของทุกอุณหภูมิการทำงานที่รอบวาล์ว  $\frac{1}{2}$  รอบหรือที่อัตราการไหล 5 mg/s แล้วค่า COP จะมีค่าลดลงเรื่อย ๆ อย่างต่อเนื่องเมื่อเปิดวาล์วมากขึ้น และเมื่อพิจารณาแต่ละอุณหภูมิการทำงานที่จำนวนรอบวาล์วต่าง ๆ พบว่า ที่อุณหภูมิการทำงานสูงกว่าจะให้ค่า COP สูงกว่าตามลำดับ ซึ่งผลการทดสอบทั้งหมดเป็นไปตามหลักการทางทฤษฎี ดังกราฟ 4-4, 4-5 เพียงแต่มีค่าความแตกต่างค่อนข้างมาก ซึ่งสาเหตุเหล่านี้เนื่องมาจากปัจจัยต่าง ๆ ของระบบทดสอบ เช่น ประสิทธิภาพของอุปกรณ์แต่ละชิ้นในระบบทดสอบ, การติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยให้การระบายความร้อนของระบบดีขึ้น ถือเป็นการช่วยคอนเดนเซอร์ระบายความร้อนอีกแรง แต่มีข้อด้อยคือ ทำให้ความหนาแน่นของสารทำความเย็นในสถานะไอคง (superheated) ก่อนเข้าคอมเพรสเซอร์ลดลง ส่งผลให้อัตราการไหลของระบบลดลง ท้ายที่สุด ทำให้ COP ของระบบลดลงนั่นเอง และจากกราฟกำลังไฟฟ้าที่ต้องให้กับคอมเพรสเซอร์ พบว่าที่ประมาณรอบวาล์ว  $\frac{1}{2}$  ถึง 1 รอบ กำลังไฟฟ้าที่ต้องให้กับคอมเพรสเซอร์จะสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และค่าเกือบคงที่ในที่สุด และเมื่อพิจารณาแต่ละอุณหภูมิการทำงานที่จำนวนรอบวาล์วต่าง ๆ พบว่าที่อุณหภูมิการทำงานสูงกว่าจะให้ค่า COP สูงกว่าตามลำดับ ข้อสังเกตคือ ที่อุณหภูมิการทำงานสูงกว่า จะใช้กำลังไฟฟ้าสูงกว่า และ COP ก็สูงกว่าด้วย นั่นหมายความว่า ที่อุณหภูมิการทำงานที่สูงกว่า ค่าความแตกต่างของอัตราส่วนระหว่างปริมาณการถ่ายเทความร้อนที่อีวาโปเรเตอร์ กับกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้คอมเพรสเซอร์สูงด้วยนั่นเอง และจากกราฟ 4-8 ถึง 4-19 พบว่า แนวโน้มของผลการทดสอบทั้งหมด มีความคล้ายคลึงกัน ในทุกรอบวาล์ว และทุกอุณหภูมิการทำงาน จากกราฟค่าความคลาดเคลื่อนของสมรรถนะ (Error) พบว่าค่าค่อนข้างคงที่นั่นแสดงว่า ผลการทดสอบมีแนวโน้มเป็นไปตามหลักการทางทฤษฎีจริง และเมื่อพิจารณากราฟกำลังไฟฟ้าที่ต้องให้กับคอมเพรสเซอร์ของ R-22 พบว่ามีค่าค่อนข้างสูง สาเหตุเนื่องจาก ความดันในการทำงานของระบบทดสอบกับสารทำความเย็น R-22 มีค่าสูง ซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของ R-22 เอง จึงทำให้คอมเพรสเซอร์ต้องใช้กำลังในการอัดสูงด้วย

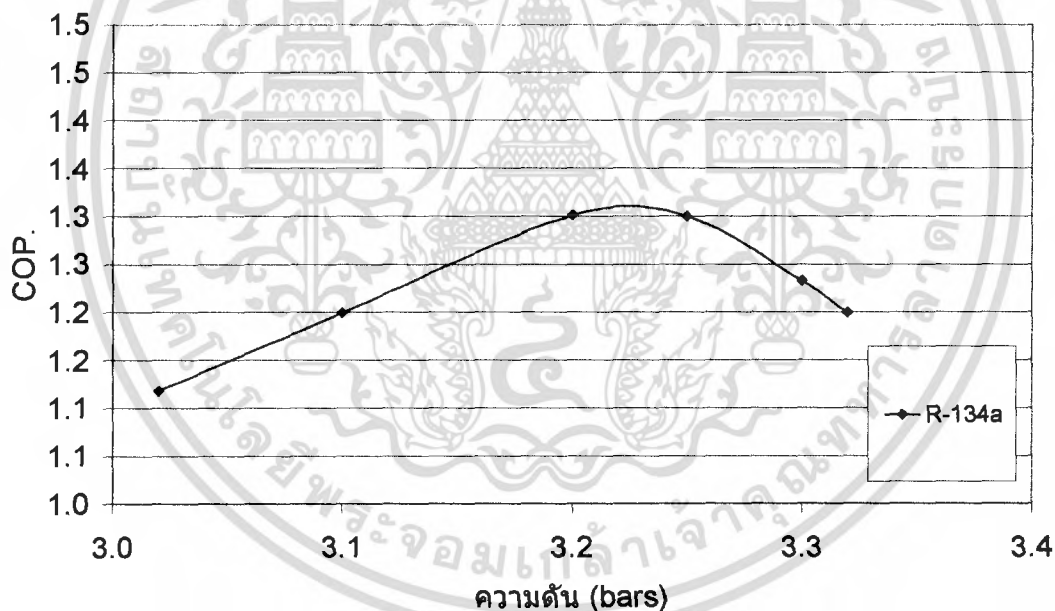
#### 4.2 สารทำความเย็น R-134a

ก่อนทำการทดสอบ ผู้ทดสอบได้ทดสอบ เพื่อพิจารณาเลือกความดันด้านดูด ( $P_4$ ) พิจารณาสารทำความเย็น R-134a, ที่จำนวนรอบวาล์ว  $\frac{1}{2}$  รอบ, อุณหภูมิการทำงานเย็น 25 °C จะได้ข้อมูลเบื้องต้นจากการทำงานของระบบที่สภาวะความดันด้านดูดต่าง ๆ ดังนี้

ตารางที่ 4-4 ตารางการพิจารณาเลือกความดันด้านดูดของ R-134a

I(comp)	V water	$P_4$ (bars)	$T_6$ (°C)	$T_7$ (°C)	Q	Power	COP
4.10	0.025	3.02	40.70	25	1.640	0.902	1.318
4.20	0.025	3.10	41.80	25	1.755	0.924	1.399
4.20	0.025	3.20	42.70	25	1.849	0.924	1.501
4.25	0.025	3.25	42.90	25	1.870	0.935	1.500
4.30	0.025	3.30	42.50	25	1.828	0.946	1.432
4.40	0.025	3.32	42.60	25	1.838	0.968	1.399

นำค่าที่ได้จากข้อมูลเบื้องต้น ไปตรวจสอบเพื่อพิจารณาเลือกความดันด้านดูด ( $P_4$ ) โดยพิจารณาเปรียบเทียบจากกราฟสมรรถนะ (COP) ได้ดังนี้



กราฟที่ 4-20 กราฟพิจารณาความดันด้านดูด ของสารทำความเย็น R-134a

จากกราฟผลการตรวจสอบ พิจารณาเลือกความดันด้านดูดของสารทำความเย็นที่ 3.2 bars กับสารทำความเย็น R-134a, ที่จำนวนรอบวาล์ว  $\frac{1}{2}$  รอบ, อุณหภูมิการทำงานเย็น 25 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4-5 ตารางข้อมูลเบื้องต้นของการทดสอบกับสารทำความเย็น R-134a

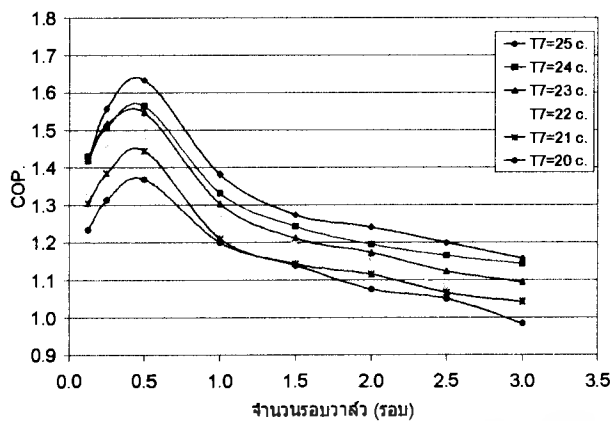
No.	l(comp)	V(water)	T <sub>1</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>
0.125	3.90	0.025	30.8	14.4	32.3	80.2	42.4	25	8.60	2.00	1.25	1.80	8.65
0.250	4.10	0.025	34.2	8.4	27.4	69.8	44.5	25	8.95	2.95	2.05	2.62	9.00
0.500	4.25	0.025	35.4	11.3	20.7	61.2	43.7	25	9.10	3.60	2.65	3.20	9.15
1.000	4.33	0.025	35.8	11.7	20.6	60.7	43.4	25	9.15	3.80	2.80	3.30	9.20
1.500	4.35	0.025	36.4	12.4	21.3	61.5	42.7	25	9.20	3.80	2.85	3.38	9.25
2.000	4.35	0.025	36.5	9.3	21.4	61.5	43.7	25	9.20	3.95	2.90	3.45	9.25
2.500	4.35	0.025	36.5	13.4	20.5	59.0	42.4	25	9.20	4.00	2.90	3.54	9.25
3.000	4.35	0.025	36.0	11.7	21.4	60.5	43.3	25	9.20	3.78	2.80	3.32	9.25
0.125	3.90	0.025	30.2	13.7	32.4	80.5	41.5	24	8.55	2.00	1.20	1.78	8.60
0.250	4.10	0.025	34.5	7.3	26.5	69.9	42.9	24	8.93	2.90	2.05	2.58	8.98
0.500	4.25	0.025	35.3	10.4	20.5	61.4	42.3	24	9.00	3.60	2.60	3.15	9.05
1.000	4.30	0.025	35.9	11.2	20.3	60.0	42.4	24	9.05	3.70	2.75	3.25	9.10
1.500	4.30	0.025	35.9	11.3	20.4	61.4	41.6	24	9.15	3.80	2.80	3.33	9.20
2.000	4.30	0.025	36.1	9.4	20.9	61.2	42.7	24	9.20	3.90	2.85	3.40	9.25
2.500	4.30	0.025	35.9	12.4	20.2	58.7	40.5	24	9.20	3.95	2.85	3.47	9.25
3.000	4.30	0.025	35.5	11.2	20.8	60.4	41.6	24	9.20	3.70	2.65	3.27	9.25
0.125	3.90	0.025	29.7	14.4	32.5	80.8	40.4	23	8.45	1.95	1.20	1.78	8.50
0.250	4.10	0.025	33.9	7.8	26.3	70.7	42.4	23	8.92	2.85	2.00	2.55	8.97
0.500	4.25	0.025	35.0	10.5	19.7	61.7	40.3	23	8.95	3.55	2.60	3.10	9.00
1.000	4.30	0.025	35.3	10.0	20.2	60.1	40.5	23	9.05	3.65	2.70	3.20	9.10
1.500	4.30	0.025	35.5	11.1	20.4	61.0	39.4	23	9.10	3.70	2.75	3.25	9.15
2.000	4.30	0.025	35.7	8.6	20.4	61.3	41.5	23	9.15	3.85	2.78	3.30	9.20
2.500	4.30	0.025	35.7	12.1	20.3	58.2	39.6	23	9.15	3.90	2.80	3.43	9.20
3.000	4.30	0.025	35.3	11.6	20.5	60.5	40.2	23	9.12	3.62	2.60	3.22	9.17
0.125	3.85	0.025	30.1	13.8	32.6	81.1	38.7	22	8.45	1.95	1.20	1.75	8.50
0.250	4.10	0.025	33.0	7.3	26.1	70.9	40.6	22	8.85	2.80	2.00	2.50	8.90
0.500	4.20	0.025	34.5	9.4	19.2	61.4	37.7	22	8.95	3.45	2.50	3.05	9.00
1.000	4.30	0.025	35.4	10.5	19.2	59.8	39.4	22	8.95	3.60	2.65	3.18	9.00
1.500	4.30	0.025	35.4	11.2	19.4	60.2	39.2	22	9.00	3.65	2.70	3.20	9.05
2.000	4.30	0.025	35.4	8.4	20.1	61.3	38.8	22	9.00	3.80	2.75	3.24	9.05
2.500	4.30	0.025	35.4	11.3	19.6	58.6	36.8	22	9.00	3.80	2.75	3.33	9.05
3.000	4.30	0.025	35.1	10.5	19.2	59.8	39.4	22	8.95	3.60	2.65	3.18	9.00
0.125	3.85	0.025	30.0	13.3	31.7	81.6	37.5	21	8.40	1.95	1.20	1.72	8.45
0.250	4.05	0.025	33.0	7.2	26.0	71.2	38.6	21	8.70	2.80	1.95	2.48	8.75
0.500	4.15	0.025	34.4	9.3	19.2	61.5	35.9	21	8.75	3.40	2.45	3.00	8.80
1.000	4.25	0.025	35.2	9.1	18.7	59.5	36.4	21	8.80	3.50	2.55	3.09	8.85
1.500	4.25	0.025	35.2	10.0	19.4	60.3	37.5	21	8.90	3.60	2.65	3.16	8.95
2.000	4.25	0.025	35.4	7.7	19.5	61.2	37.4	21	8.95	3.75	2.70	3.25	9.00
2.500	4.25	0.025	35.2	11.4	19.4	58.3	36.4	21	8.95	3.80	2.70	3.32	9.00
3.000	4.25	0.025	35.0	10.0	19.2	60.0	36.5	21	8.95	3.55	2.55	3.12	9.00
0.125	3.85	0.025	29.7	12.2	31.6	82.0	36.5	20	8.35	1.90	1.15	1.70	8.40
0.250	4.05	0.025	33.3	6.5	25.5	71.7	36.5	20	8.65	2.70	1.90	2.42	8.70
0.500	4.10	0.025	34.0	7.3	18.4	60.6	34.4	20	8.70	3.35	2.40	2.93	8.75
1.000	4.20	0.025	34.2	9.3	18.2	59.0	34.5	20	8.80	3.40	2.50	3.02	8.85
1.500	4.20	0.025	34.3	9.1	18.7	59.4	34.5	20	8.85	3.50	2.65	3.05	8.90
2.000	4.20	0.025	34.4	7.4	18.9	61.1	35.7	20	8.90	3.65	2.68	3.15	8.95
2.500	4.20	0.025	34.5	11.5	18.5	58.2	34.6	20	8.90	3.75	2.70	3.25	8.95
3.000	4.20	0.025	34.2	9.0	19.2	60.7	34.9	20	8.87	3.45	2.45	3.05	8.92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

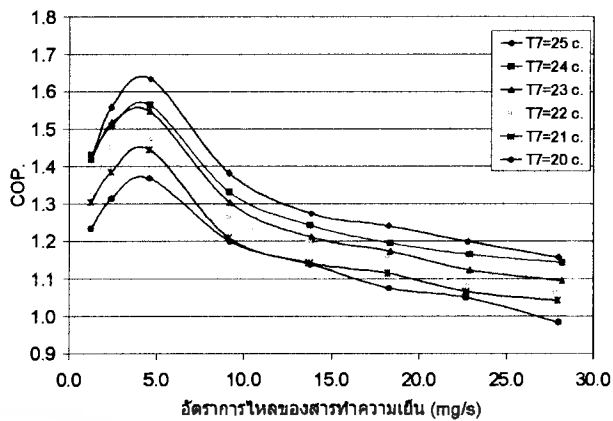
ตารางที่ 4-6 ตารางแสดงผลการคำนวณของสารทำความเย็น R-134a

No.	M(water)	$h_1=h_2$	$h_3$	$h_4$	$h_5$	$Q=mc\Delta T$	$R_f$	$W=IV$	COP ทฤษฎี	COP จริง	Error
0.125	0.025	244.61	417.18	419.21	456.29	1.818	1.255	0.686	4.654	1.418	0.695
0.250	0.025	247.59	406.44	423.19	453.70	2.037	2.426	0.722	5.206	1.558	0.701
0.500	0.025	249.34	408.31	415.56	444.21	1.953	4.645	0.748	5.549	1.634	0.706
1.000	0.025	249.93	408.27	415.24	443.56	1.922	9.162	0.762	5.421	1.382	0.745
1.500	0.025	250.82	408.80	415.70	444.33	1.849	13.836	0.766	5.318	1.274	0.760
2.000	0.025	250.37	407.19	420.39	450.28	1.953	18.269	0.766	5.247	1.241	0.763
2.500	0.025	250.94	409.30	414.56	441.70	1.818	22.786	0.766	5.235	1.199	0.771
3.000	0.025	250.22	408.55	415.92	443.25	1.912	27.993	0.766	5.193	1.157	0.777
0.125	0.025	241.76	416.67	429.34	465.68	1.828	1.251	0.686	4.613	1.430	0.690
0.250	0.025	248.00	406.34	423.34	453.90	1.974	2.432	0.722	5.181	1.509	0.709
0.500	0.025	249.21	407.64	415.51	444.59	1.912	4.602	0.748	5.448	1.564	0.713
1.000	0.025	248.76	407.96	415.09	443.00	1.922	9.162	0.757	5.404	1.332	0.754
1.500	0.025	249.34	407.92	414.98	444.33	1.838	13.772	0.757	5.303	1.243	0.766
2.000	0.025	250.82	407.40	419.87	450.51	1.953	18.356	0.757	5.210	1.195	0.771
2.500	0.025	249.05	408.66	414.43	441.49	1.723	22.895	0.757	5.198	1.165	0.776
3.000	0.025	250.53	408.22	415.49	443.25	1.838	28.199	0.757	5.180	1.143	0.779
0.125	0.025	242.17	416.41	429.44	466.14	1.818	1.246	0.686	4.548	1.418	0.688
0.250	0.025	247.15	406.03	422.21	454.70	2.026	2.440	0.722	4.990	1.517	0.696
0.500	0.025	248.76	407.72	414.89	444.67	1.807	4.602	0.748	5.338	1.547	0.710
1.000	0.025	248.76	407.01	414.16	443.28	1.828	9.204	0.757	5.354	1.303	0.757
1.500	0.025	249.03	407.87	415.16	444.15	1.713	13.836	0.757	5.279	1.211	0.771
2.000	0.025	249.34	406.88	419.69	450.69	1.932	18.356	0.757	5.182	1.173	0.774
2.500	0.025	248.74	408.50	414.64	441.14	1.734	22.895	0.757	5.129	1.123	0.781
3.000	0.025	249.50	408.73	415.33	443.41	1.797	28.199	0.757	5.132	1.094	0.787
0.125	0.025	242.44	415.56	429.59	466.64	1.744	1.246	0.678	4.373	1.329	0.696
0.250	0.025	246.56	405.70	422.14	455.04	1.943	2.436	0.722	4.837	1.454	0.699
0.500	0.025	247.28	407.00	414.53	444.85	1.640	4.645	0.739	5.268	1.475	0.720
1.000	0.025	249.34	407.60	414.21	442.95	1.818	9.162	0.757	5.307	1.264	0.762
1.500	0.025	249.34	408.10	414.37	443.38	1.797	13.772	0.757	5.230	1.199	0.771
2.000	0.025	249.34	406.78	419.28	450.95	1.755	18.182	0.757	5.009	1.155	0.769
2.500	0.025	248.61	408.04	414.23	441.76	1.546	22.786	0.757	4.991	1.084	0.783
3.000	0.025	249.05	408.27	415.33	443.51	1.818	27.812	0.757	4.950	1.065	0.785
0.125	0.025	241.76	415.46	428.82	467.04	1.723	1.241	0.678	4.245	1.305	0.693
0.250	0.025	245.84	405.75	422.11	455.59	1.838	2.405	0.713	4.776	1.385	0.710
0.500	0.025	247.87	407.05	414.66	445.13	1.556	4.581	0.730	5.224	1.445	0.723
1.000	0.025	247.87	406.60	413.41	442.89	1.609	9.119	0.748	5.284	1.210	0.771
1.500	0.025	247.87	407.13	414.44	443.59	1.723	13.708	0.748	5.190	1.143	0.780
2.000	0.025	248.90	406.29	419.10	450.92	1.713	18.182	0.748	4.946	1.115	0.775
2.500	0.025	248.16	408.19	414.07	441.43	1.609	22.676	0.748	4.849	1.066	0.780
3.000	0.025	248.74	407.42	414.38	443.14	1.619	27.941	0.748	4.817	1.042	0.784
0.125	0.025	242.03	414.82	428.77	467.54	1.723	1.241	0.678	4.157	1.234	0.703
0.250	0.025	246.25	405.18	421.77	456.19	1.723	2.415	0.713	4.617	1.314	0.715
0.500	0.025	248.00	406.46	414.10	444.26	1.504	4.581	0.722	5.200	1.368	0.737
1.000	0.025	247.42	406.91	413.70	442.56	1.515	9.204	0.739	5.226	1.200	0.770
1.500	0.025	247.73	406.59	414.08	442.89	1.515	13.772	0.739	5.114	1.139	0.777
2.000	0.025	247.87	406.08	418.17	450.89	1.640	18.269	0.739	4.935	1.075	0.782
2.500	0.025	247.58	408.32	413.02	441.40	1.525	22.676	0.739	4.851	1.050	0.784
3.000	0.025	247.85	406.78	414.53	444.06	1.556	27.993	0.739	4.792	0.984	0.795

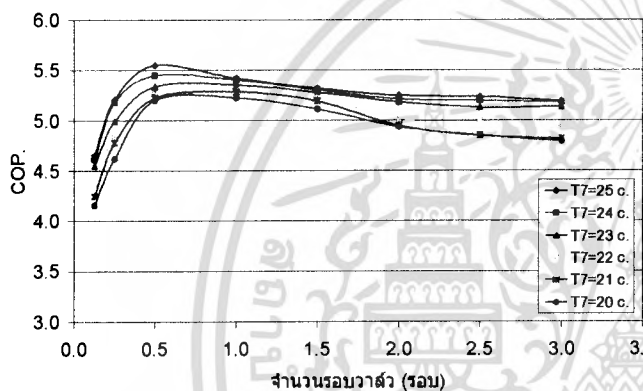
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



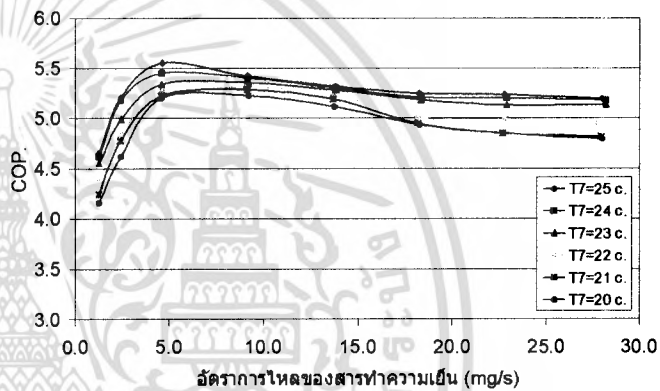
กราฟที่ 4-21 COP จริง ของ R-134a ที่อุณหภูมิ  
การทำความเย็นต่าง ๆ ต่อรอบมวล



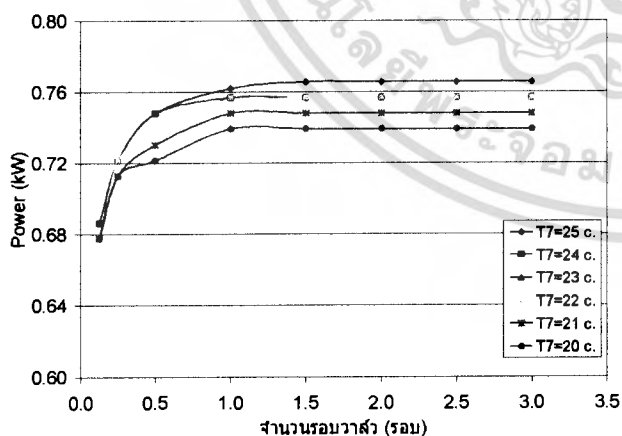
กราฟที่ 4-22 COP จริง ของ R-134a ที่  
อุณหภูมิมักทำความเย็นต่าง ๆ  
ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น



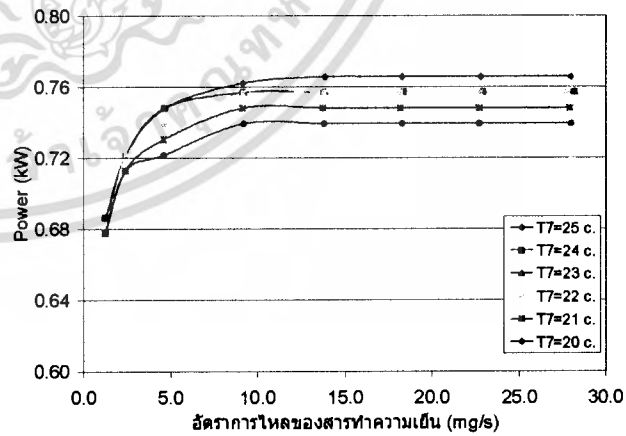
กราฟที่ 4-23 COP ทฤษฎี ของ R-134a ที่  
อุณหภูมิมักทำความเย็นต่าง ๆ ต่อรอบมวล



กราฟที่ 4-24 COP ทฤษฎี ของ R-134a ที่  
อุณหภูมิมักทำความเย็นต่าง ๆ  
ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น

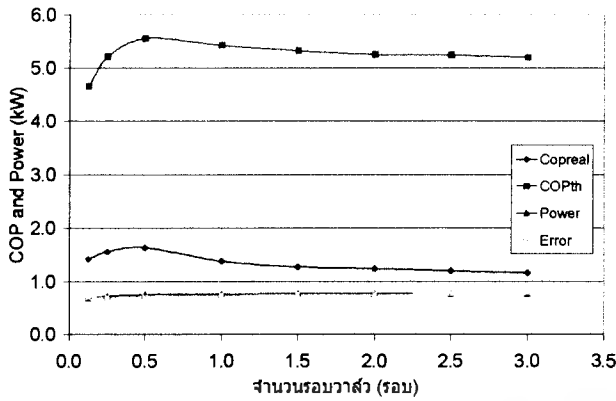


กราฟที่ 4-25 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่  
อุณหภูมิต่าง ๆ ของสาร R-134a ต่อรอบมวล

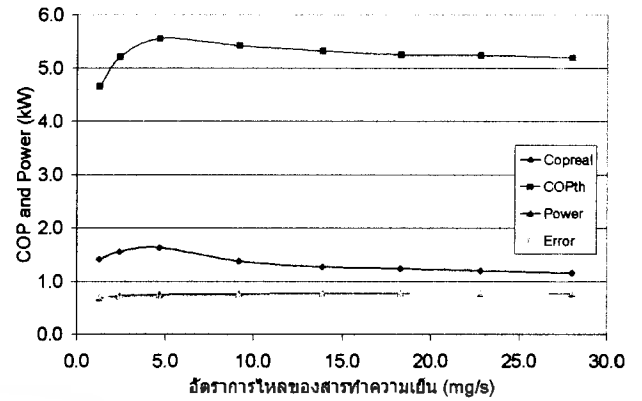


กราฟที่ 4-26 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่  
อุณหภูมิต่าง ๆ ของสาร R-134a  
ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น

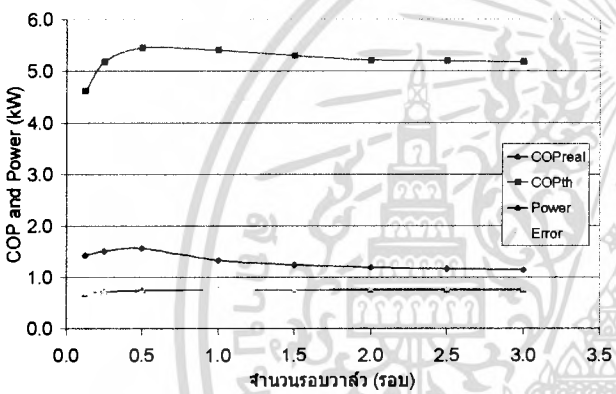
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



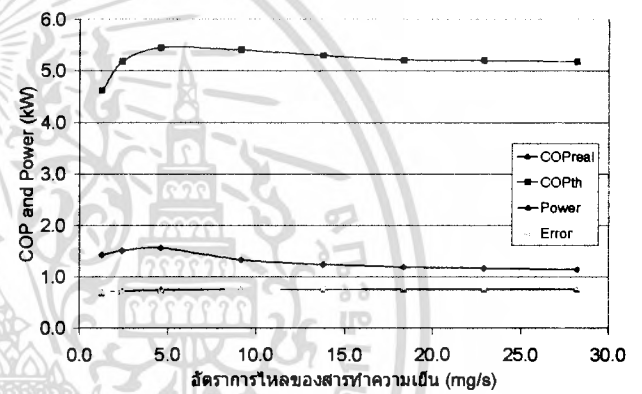
กราฟที่ 4-27 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 25 °C ต่อรอบวาล์ว



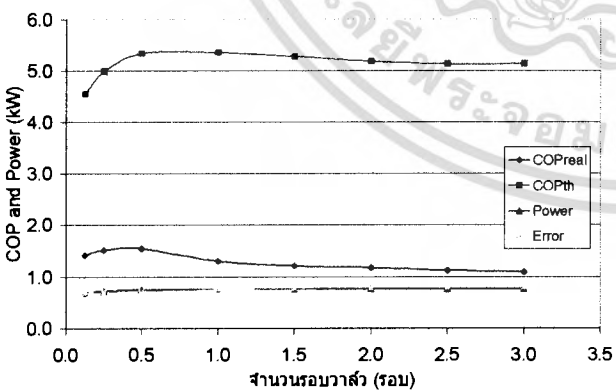
กราฟที่ 4-28 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 25 °C ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น



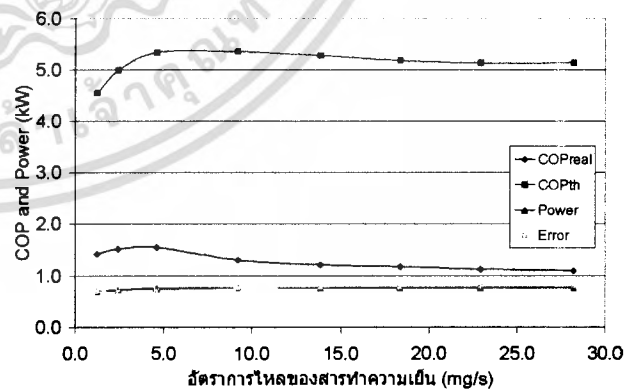
กราฟที่ 4-29 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 24 °C ต่อรอบวาล์ว



กราฟที่ 4-30 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 24 °C ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น

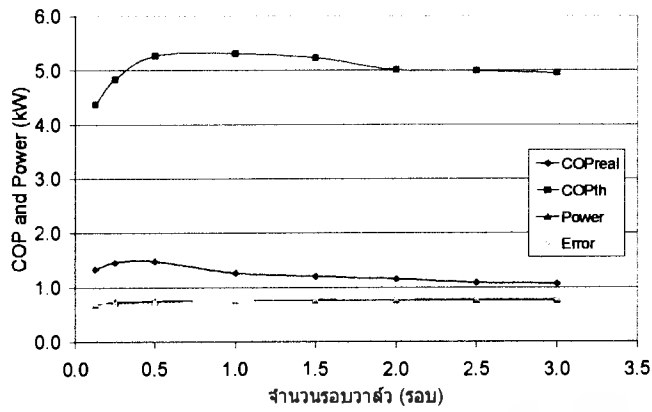


กราฟที่ 4-31 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 23 °C ต่อรอบวาล์ว

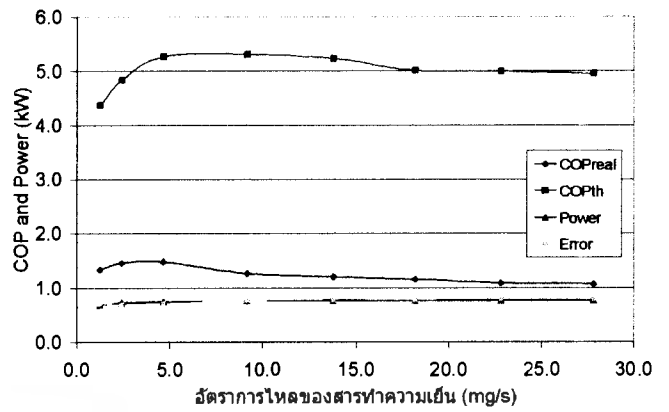


กราฟที่ 4-32 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 23 °C ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น

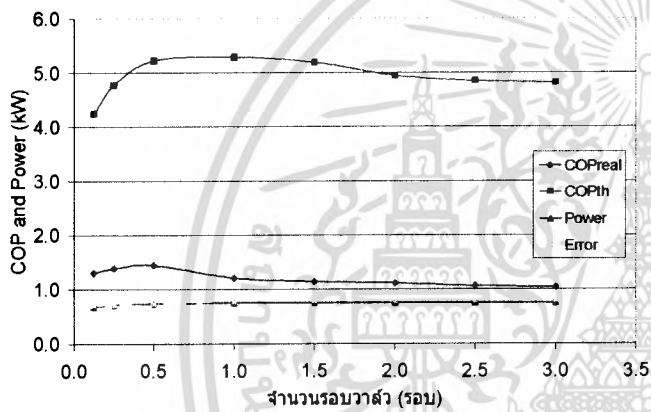
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



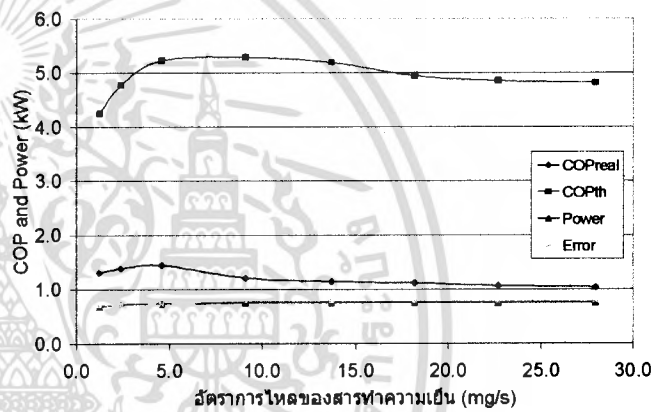
กราฟที่ 4-33 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคลุม 22 °C ต่อรอบวาล์ว



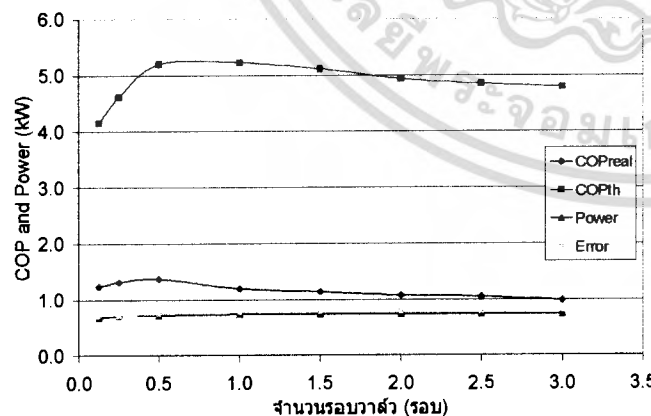
กราฟที่ 4-34 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคลุม 22 °C ต่ออัตราไหลของสารทำความเย็น



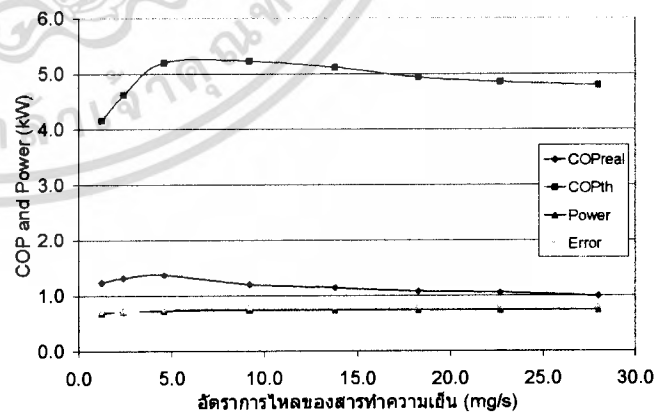
กราฟที่ 4-35 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคลุม 21 °C ต่อรอบวาล์ว



กราฟที่ 4-36 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคลุม 21 °C ต่ออัตราไหลของสารทำความเย็น



กราฟที่ 4-37 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคลุม 20 °C ต่อรอบวาล์ว



กราฟที่ 4-38 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคลุม 20 °C ต่ออัตราไหลของสารทำความเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## วิเคราะห์

จากตารางข้อมูลเบื้องต้น และตารางที่ได้จากการคำนวณของ R-134a ผู้วิจัยได้นำค่าเหล่านี้มาเขียนกราฟแสดงสมรรถนะทางการทดสอบ ( $COP_{real}$ ) ดังกราฟ 4-21,4-22, กราฟสมรรถนะทางทฤษฎี ( $COP_{th}$ ) ดังกราฟ 4-23,4-24, กำลังไฟฟ้าที่ให้กับคอมเพรสเซอร์ (Power) ดังกราฟ 4-25,4-26 และแยกกราฟเพื่อพิจารณาเปรียบเทียบ ค่า  $COP_{real}$ ,  $COP_{th}$ , Power และค่าความคลาดเคลื่อน (Error) ในแต่ละอุณหภูมิการทำงาน ดังกราฟ 4-27 ถึง 4-38 จากกราฟ  $COP_{real}$  พบว่า ค่า COP มีค่าสูงสุดของทุกอุณหภูมิการทำงานที่รอบวาล์ว  $\frac{1}{2}$  รอบ หรือที่อัตราการไหล 5 mg/s แล้วค่า COP จะมีค่าลดลงเรื่อย ๆ อย่างต่อเนื่องเมื่อเปิดวาล์วมากขึ้น และเมื่อพิจารณาแต่ละอุณหภูมิการทำงานที่จำนวนรอบวาล์วต่าง ๆ พบว่า ที่อุณหภูมิการทำงานสูงกว่าจะให้ค่า COP สูงกว่าตามลำดับ ซึ่งผลการทดสอบทั้งหมดเป็นไปตามหลักการทางทฤษฎี ดังกราฟ 4-23,4-24 เพียงแต่มีค่าความแตกต่างค่อนข้างมาก ซึ่งสาเหตุเหล่านี้เนื่องมาจากปัจจัยต่าง ๆ ของระบบทดสอบ เช่น ประสิทธิภาพของอุปกรณ์แต่ละชิ้นในระบบทดสอบ, การติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยให้การระบายความร้อนของระบบดีขึ้น ถือเป็นการช่วยคอนเดนเซอร์ระบายความร้อนอีกแรง แต่มีข้อด้อยคือ ทำให้ความหนาแน่นของสารทำความเย็นในสภาวะไอแดง (superheated) ก่อนเข้าคอมเพรสเซอร์ลดลง ส่งผลให้อัตราการไหลของระบบลดลง ที่ยที่สุด ทำให้ COP ของระบบลดลงนั่นเอง และจากกราฟกำลังไฟฟ้าที่ต้องให้กับคอมเพรสเซอร์ พบว่าที่รอบวาล์ว  $\frac{1}{2}$  รอบ ค่ากำลังไฟฟ้าที่ต้องป้อนให้กับคอมเพรสเซอร์จะสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และค่าเกือบคงที่ในที่สุด และเมื่อพิจารณาแต่ละอุณหภูมิการทำงานที่จำนวนรอบวาล์วต่าง ๆ พบว่าที่อุณหภูมิการทำงานสูงกว่าจะให้ค่า COP สูงกว่าตามลำดับ ข้อสังเกตคือ ที่อุณหภูมิการทำงานสูงกว่า ใช้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงกว่า และ COP ก็สูงกว่าด้วย นั่นหมายความว่า ที่อุณหภูมิการทำงานที่สูงกว่า ค่าความแตกต่างของอัตราส่วนระหว่างอัตราปริมาณการถ่ายเทความร้อนที่อีวาโพเรเตอร์ กับกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้คอมเพรสเซอร์สูงด้วยนั่นเอง และจากกราฟ 4-27 ถึง 4-38 พบว่า แนวโน้มของผลการทดสอบทั้งหมด มีความคล้ายคลึงกัน ในทุกรอบวาล์ว และทุกอุณหภูมิการทำงาน จากกราฟค่าความคลาดเคลื่อนของสมรรถนะ (Error) พบว่าค่าค่อนข้างคงที่ นั่นแสดงว่า ผลการทดสอบมีแนวโน้มเป็นไปตามหลักการทางทฤษฎีจริง เมื่อพิจารณากำลังไฟฟ้าที่ต้องให้กับคอมเพรสเซอร์ สำหรับสารทำความเย็น R-134a พบว่า มีค่าไม่สูงมากนัก สาเหตุเนื่องจากความดันในการทำงานของระบบทดสอบมีค่าไม่สูงมาก ซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะของ R-134a เอง จึงทำให้คอมเพรสเซอร์ใช้กำลังในการอัดความดันดังกล่าวไม่มากนัก

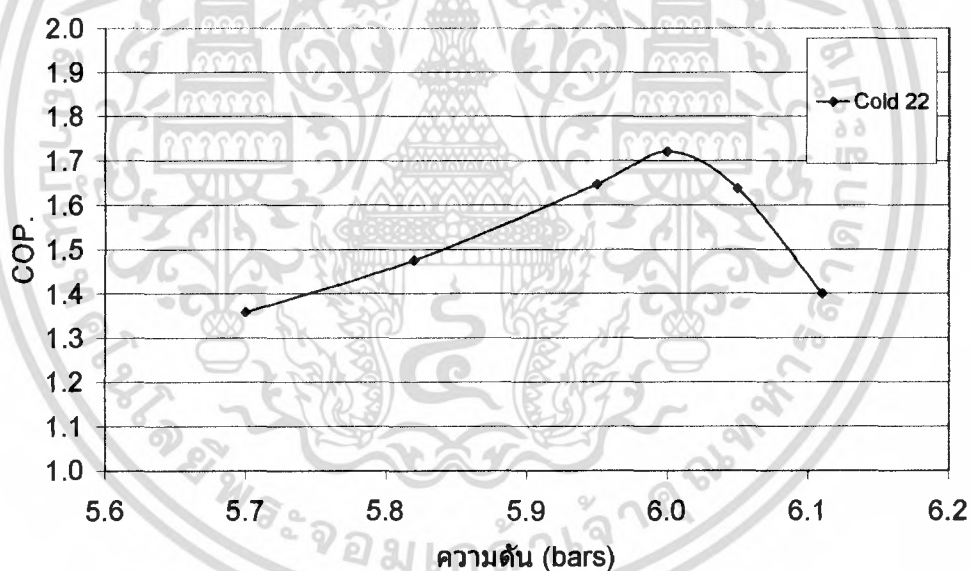
### 4.3 สารทำความเย็น Cold 22

ก่อนทำการทดสอบ ผู้ทดสอบได้ทดสอบ เพื่อพิจารณาเลือกความดันด้านดูด ( $P_4$ ) พิจารณาสารทำความเย็น Cold 22, ที่จำนวนรอบวาล์ว  $\frac{1}{2}$  รอบ, อุณหภูมิการทำงานเย็น  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  จะ ได้ข้อมูลเบื้องต้น จากการทำงานของระบบที่สภาวะความดันด้านดูดต่าง ๆ ดังนี้

ตารางที่ 4-7 ตารางการพิจารณาเลือกความดันด้านดูดของ Cold-22

I(comp)	V water	$P_4$ (bars)	$T_6$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$T_7$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	Q	Power	COP
4.45	0.025	5.70	30.70	25	0.595	0.979	1.358
4.45	0.025	5.82	31.80	25	0.710	0.979	1.476
4.50	0.025	5.95	33.50	25	0.888	0.990	1.647
4.50	0.025	6.00	34.20	25	0.961	0.990	1.721
4.55	0.025	6.05	33.50	25	0.888	1.001	1.637
4.60	0.025	6.11	31.30	25	0.658	1.012	1.400

นำค่าที่ได้จากข้อมูลเบื้องต้น ไปตรวจสอบเพื่อพิจารณาเลือกความดันด้านดูด ( $P_4$ ) โดยพิจารณาเปรียบเทียบกับกราฟสมรรถนะ (COP) ได้ดังนี้



กราฟที่ 4-39 กราฟพิจารณาความดันด้านดูด ของสารทำความเย็น Cold-22

จากกราฟผลการตรวจสอบ พิจารณาเลือกความดันด้านดูดของสารทำความเย็นที่ 6.0 bars กับสารทำความเย็น Cold 22, ที่จำนวนรอบวาล์ว  $\frac{1}{2}$  รอบ, อุณหภูมิการทำงานเย็น  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4-8 ตารางข้อมูลเบื้องต้นของการทดสอบกับสารทำความเย็น Cold-22**

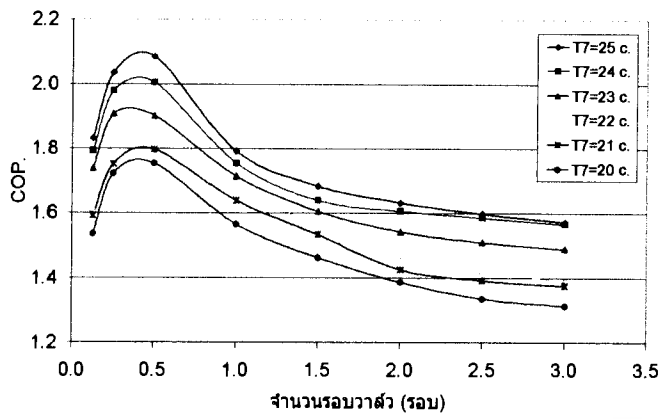
No.	I(comp)	V(water)	T <sub>1</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>
0.125	4.60	0.025	29.9	20.4	35.3	80.0	41.4	25	11.55	2.96	2.12	3.60	11.60
0.250	4.90	0.025	33.5	20.4	31.5	69.0	39.5	25	12.25	4.43	3.51	5.00	12.30
0.500	5.03	0.025	33.6	19.6	30.5	66.0	37.8	25	12.45	5.36	4.37	5.80	12.50
1.000	5.20	0.025	36.5	20.8	29.4	66.0	37.5	25	12.70	5.91	4.97	6.40	12.75
1.500	5.30	0.025	36.6	20.4	29.2	65.6	38.6	25	12.70	5.86	4.95	6.35	12.75
2.000	5.30	0.025	36.4	20.2	28.5	65.3	38.7	25	12.75	5.83	4.92	6.30	12.80
2.500	5.32	0.025	36.5	20.0	27.9	65.0	38.4	25	12.75	5.87	4.95	6.30	12.80
3.000	5.32	0.025	36.4	19.8	27.9	65.0	38.1	25	12.80	5.88	4.95	6.25	12.85
0.125	4.60	0.025	29.2	18.6	34.4	81.0	39.4	24	11.55	2.92	2.16	3.55	11.60
0.250	4.90	0.025	33.1	19.4	30.8	69.0	38.5	24	12.25	4.41	3.48	4.95	12.30
0.500	5.00	0.025	33.5	18.7	29.5	65.5	36.6	24	12.45	5.25	4.26	5.75	12.50
1.000	5.20	0.025	36.4	19.8	29.3	65.8	36.3	24	12.65	5.88	4.91	6.35	12.70
1.500	5.30	0.025	36.7	18.6	28.4	65.5	37.5	24	12.70	5.80	4.90	6.30	12.75
2.000	5.30	0.025	36.9	19.3	28.4	64.9	37.5	24	12.70	5.80	4.87	6.25	12.75
2.500	5.32	0.025	37.0	19.1	28.1	64.5	37.2	24	12.75	5.85	4.87	6.25	12.80
3.000	5.32	0.025	37.0	19.1	28.1	64.3	36.9	24	12.75	5.86	4.85	6.20	12.80
0.125	4.60	0.025	29.6	18.4	34.2	81.5	37.6	23	11.45	2.89	2.13	3.55	11.50
0.250	4.90	0.025	33.4	18.5	30.4	69.0	37.5	23	12.05	4.40	3.47	4.90	12.10
0.500	5.00	0.025	33.2	17.4	28.7	65.0	35.4	23	12.25	5.22	4.23	5.70	12.30
1.000	5.20	0.025	36.4	18.5	28.5	65.0	35.5	23	12.50	5.81	4.84	6.25	12.55
1.500	5.30	0.025	36.4	17.8	27.8	64.6	36.5	23	12.55	5.79	4.85	6.20	12.60
2.000	5.30	0.025	36.6	18.6	27.3	64.0	35.5	23	12.55	5.79	4.83	6.20	12.60
2.500	5.32	0.025	36.7	18.4	27.1	63.8	35.2	23	12.60	5.80	4.84	6.20	12.65
3.000	5.33	0.025	36.5	18.2	27.1	63.5	34.8	23	12.60	5.81	4.85	6.14	12.65
0.125	4.60	0.025	29.2	17.4	34.4	82.0	37.5	22	11.88	2.98	2.20	3.55	11.50
0.250	4.90	0.025	33.2	17.6	29.6	69.0	36.4	22	11.95	4.38	3.42	4.90	12.00
0.500	5.00	0.025	32.8	16.4	27.4	64.0	34.4	22	12.15	5.20	4.20	5.65	12.20
1.000	5.20	0.025	35.7	17.4	27.5	64.3	33.5	22	12.45	5.79	4.80	6.20	12.50
1.500	5.30	0.025	35.5	16.4	26.5	63.8	34.5	22	12.50	5.72	4.85	6.20	12.55
2.000	5.30	0.025	36.0	15.5	26.3	63.4	33.5	22	12.50	5.75	4.80	6.20	12.55
2.500	5.32	0.025	35.9	15.2	26.1	63.0	33.2	22	12.55	5.76	4.81	6.20	12.60
3.000	5.33	0.025	35.4	15.1	26.0	63.0	32.8	22	12.55	5.75	4.81	6.14	12.60
0.125	4.60	0.025	29.6	16.5	33.2	82.5	36.4	21	11.45	2.89	2.10	3.40	11.50
0.250	4.90	0.025	33.4	16.5	29.3	69.0	34.6	21	11.95	4.37	3.40	4.90	12.00
0.500	5.00	0.025	32.2	15.6	27.5	63.5	33.4	21	12.10	5.17	4.18	5.60	12.15
1.000	5.20	0.025	35.6	15.8	26.5	63.7	32.5	21	12.40	5.72	4.78	6.15	12.45
1.500	5.30	0.025	35.2	14.4	25.8	62.9	33.5	21	12.45	5.70	4.80	6.15	12.50
2.000	5.30	0.025	36.0	15.5	26.3	63.4	33.5	21	12.45	5.70	4.78	6.10	12.50
2.500	5.32	0.025	35.6	15.2	25.6	63.1	33.2	21	12.50	5.71	4.80	6.10	12.55
3.000	5.32	0.025	35.4	14.8	25.5	62.8	32.8	21	12.50	5.70	4.80	6.10	12.55
0.125	4.55	0.025	29.6	14.5	33.3	82.5	33.5	20	11.45	2.80	2.00	3.40	11.50
0.250	4.90	0.025	33.0	15.4	28.5	69.0	33.7	20	11.95	4.30	3.38	4.85	12.00
0.500	5.00	0.025	32.4	14.7	26.5	62.5	32.4	20	12.05	5.12	4.13	5.60	12.10
1.000	5.20	0.025	35.4	13.6	25.4	62.8	31.4	20	12.35	5.64	4.70	6.10	12.40
1.500	5.25	0.025	35.2	14.1	25.2	61.7	31.5	20	12.40	5.60	4.70	6.05	12.45
2.000	5.30	0.025	35.5	14.1	25.5	62.3	31.7	20	12.40	5.60	4.67	6.10	12.45
2.500	5.32	0.025	35.6	14.0	25.5	62.1	31.4	20	12.45	5.62	4.67	6.10	12.55
3.000	5.32	0.025	35.4	13.8	25.3	61.8	31.1	20	12.50	5.60	4.66	6.10	12.55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

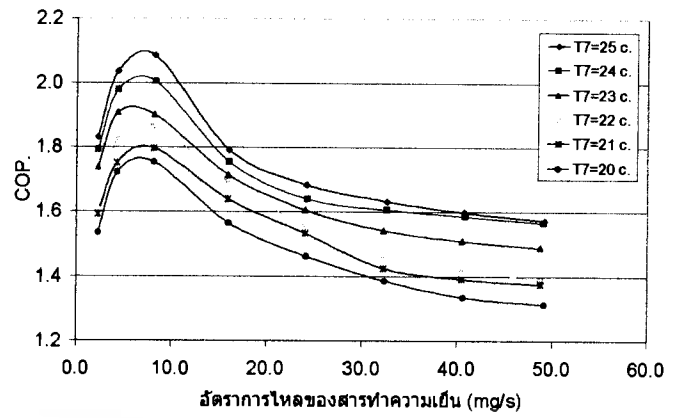
ตารางที่ 4-9 ตารางแสดงผลการคำนวณของสารทำความเย็น Cold-22

No.	M(water)	$h_1=h_2$	$h_3$	$h_4$	$h_5$	$Q=mc\Delta T$	$R_f$	$W=IV$	COP ทฤษฎี	COP จริง	Error
0.125	0.025	276.90	619.67	643.53	706.66	2.123	2.227	0.810	4.932	1.832	0.629
0.250	0.025	286.68	616.37	632.10	681.07	1.877	4.306	0.862	6.430	2.036	0.683
0.500	0.025	286.96	609.97	627.48	674.00	1.657	8.201	0.885	6.732	2.086	0.690
1.000	0.025	294.99	611.60	623.22	673.22	1.618	16.051	0.915	6.405	1.792	0.720
1.500	0.025	295.23	609.34	623.09	672.37	1.761	24.218	0.933	6.350	1.684	0.735
2.000	0.025	294.68	608.88	622.00	671.59	1.774	32.619	0.933	6.294	1.632	0.741
2.500	0.025	294.83	609.16	622.65	671.55	1.735	40.761	0.936	6.275	1.598	0.745
3.000	0.025	295.14	610.56	622.56	671.94	1.696	49.192	0.936	6.252	1.572	0.749
0.125	0.025	274.96	616.41	642.12	708.83	1.994	2.233	0.810	4.918	1.793	0.635
0.250	0.025	285.60	612.96	631.31	681.07	1.877	4.312	0.862	6.379	1.980	0.690
0.500	0.025	286.65	608.82	625.85	673.53	1.631	8.265	0.880	6.657	2.005	0.699
1.000	0.025	294.68	608.26	623.25	672.84	1.592	16.028	0.915	6.323	1.755	0.722
1.500	0.025	295.54	606.32	621.77	672.60	1.748	24.324	0.933	6.312	1.639	0.740
2.000	0.025	296.08	607.40	622.00	671.05	1.748	32.572	0.933	6.265	1.606	0.744
2.500	0.025	296.55	607.45	623.56	672.22	1.709	40.820	0.936	6.226	1.586	0.745
3.000	0.025	295.32	607.26	623.48	672.65	1.670	49.085	0.936	6.210	1.566	0.748
0.125	0.025	276.04	616.18	641.73	710.15	1.890	2.224	0.810	4.971	1.738	0.650
0.250	0.025	286.37	611.40	630.47	681.69	1.877	4.259	0.862	6.346	1.908	0.699
0.500	0.025	285.07	606.55	624.53	673.38	1.605	8.166	0.880	6.581	1.902	0.711
1.000	0.025	294.68	606.08	622.16	671.52	1.618	15.933	0.915	6.309	1.715	0.728
1.500	0.025	294.68	605.00	621.07	670.82	1.748	24.076	0.933	6.238	1.605	0.743
2.000	0.025	295.23	606.32	620.14	669.73	1.618	32.240	0.933	6.233	1.542	0.753
2.500	0.025	295.66	606.25	621.59	669.26	1.579	40.523	0.936	6.223	1.509	0.758
3.000	0.025	295.85	606.39	621.54	670.32	1.528	48.728	0.938	6.198	1.489	0.760
0.125	0.025	274.96	614.24	642.12	711.16	2.007	2.267	0.810	4.914	1.607	0.673
0.250	0.025	285.83	610.00	628.99	682.00	1.864	4.237	0.862	6.115	1.824	0.702
0.500	0.025	284.78	604.84	622.28	672.06	1.605	8.120	0.880	6.429	1.865	0.710
1.000	0.025	296.02	604.30	620.45	670.35	1.489	15.897	0.915	6.178	1.697	0.725
1.500	0.025	295.64	602.67	618.66	669.11	1.618	24.112	0.933	6.176	1.555	0.748
2.000	0.025	294.68	602.98	620.14	669.26	1.489	32.216	0.933	6.145	1.466	0.761
2.500	0.025	296.36	603.55	620.55	669.11	1.450	40.494	0.936	6.135	1.422	0.768
3.000	0.025	295.47	602.87	620.36	669.58	1.398	48.764	0.938	6.129	1.388	0.774
0.125	0.025	276.04	613.07	640.41	712.25	1.994	2.224	0.810	4.691	1.592	0.661
0.250	0.025	286.33	608.14	628.45	682.00	1.761	4.240	0.862	6.010	1.752	0.708
0.500	0.025	283.15	603.56	622.66	670.97	1.605	8.108	0.880	6.332	1.797	0.716
1.000	0.025	292.51	601.42	618.82	669.03	1.489	15.921	0.915	6.152	1.639	0.734
1.500	0.025	291.38	599.25	618.55	667.32	1.618	24.058	0.933	6.150	1.533	0.751
2.000	0.025	293.60	600.88	618.59	668.41	1.618	32.216	0.933	6.124	1.425	0.767
2.500	0.025	293.45	601.22	618.25	667.85	1.579	40.494	0.936	6.112	1.392	0.772
3.000	0.025	294.22	601.89	618.59	667.26	1.528	48.764	0.936	6.085	1.375	0.774
0.125	0.025	276.04	610.04	640.64	712.25	1.748	2.235	0.801	4.664	1.535	0.671
0.250	0.025	285.29	606.35	627.13	682.00	1.774	4.259	0.862	5.851	1.723	0.706
0.500	0.025	283.69	602.08	620.88	669.57	1.605	8.108	0.880	6.239	1.755	0.719
1.000	0.025	291.89	597.85	616.96	667.09	1.476	15.957	0.915	6.103	1.565	0.744
1.500	0.025	291.38	593.66	616.80	665.07	1.489	24.147	0.924	6.062	1.462	0.759
2.000	0.025	292.20	595.21	617.11	666.31	1.515	32.335	0.933	6.059	1.386	0.771
2.500	0.025	291.56	600.62	616.23	665.46	1.476	40.613	0.936	6.022	1.335	0.778
3.000	0.025	291.52	601.32	616.91	665.61	1.437	49.121	0.936	6.003	1.313	0.781

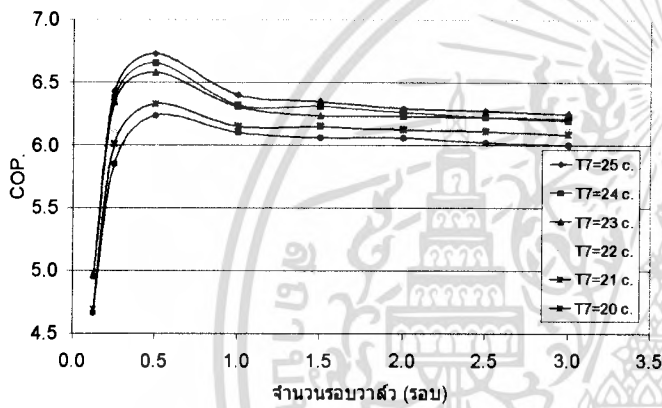
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



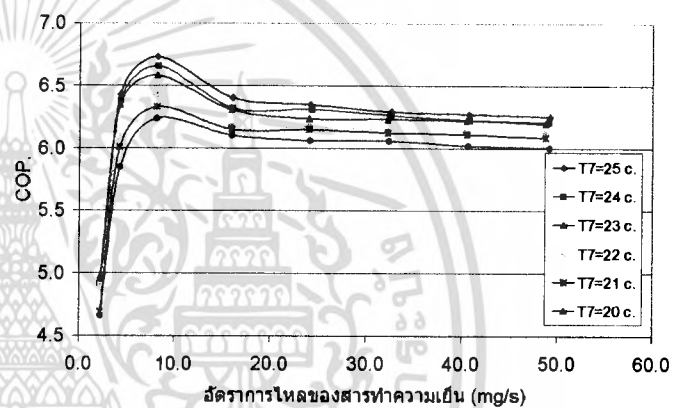
กราฟที่ 4-40 COP จริง ของ Cold-22 ที่อุณหภูมิการทำความเย็นต่าง ๆ ต่อรอบวาล์ว



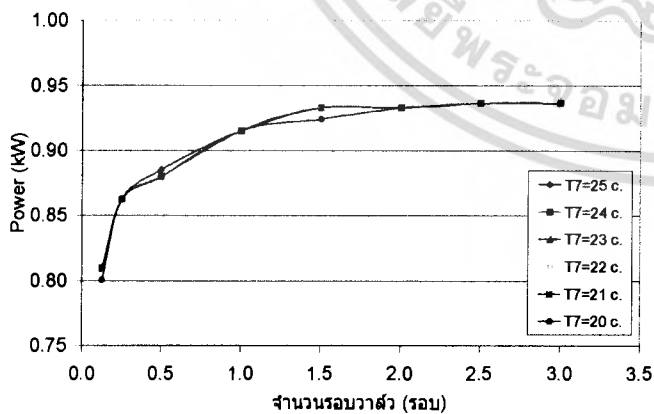
กราฟที่ 4-41 COP จริง ของ Cold-22 ที่อุณหภูมิการทำความเย็นต่าง ๆ ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น



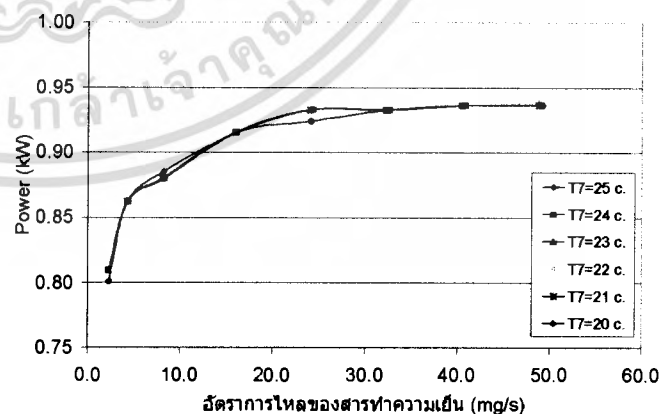
กราฟที่ 4-42 COP ทฤษฎี ของ Cold-22 ที่อุณหภูมิการทำความเย็นต่าง ๆ ต่อรอบวาล์ว



กราฟที่ 4-43 COP ทฤษฎี ของ Cold-22 ที่อุณหภูมิการทำความเย็นต่าง ๆ ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น

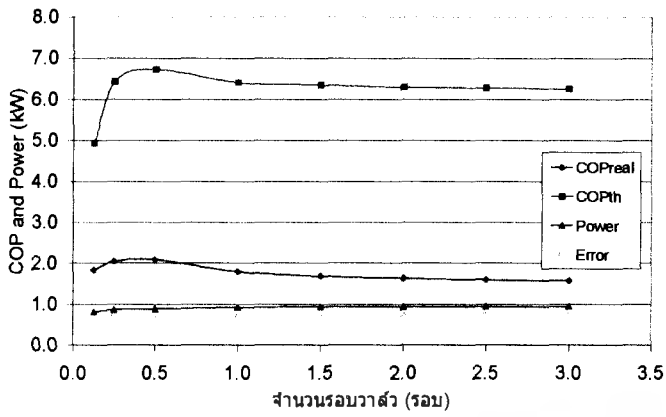


กราฟที่ 4-44 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของสาร Cold-22 ต่อรอบวาล์ว

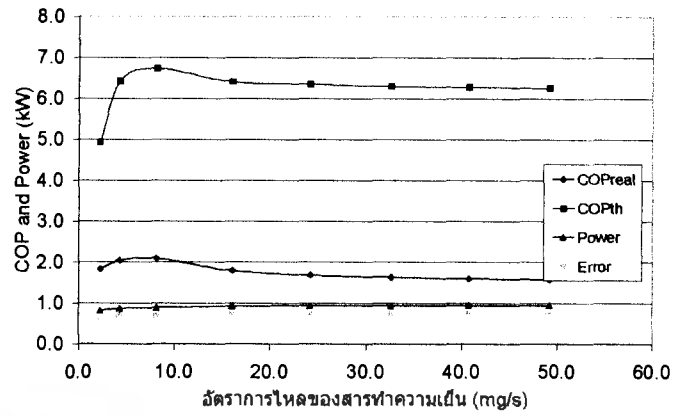


กราฟที่ 4-45 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของสาร Cold-22 ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น

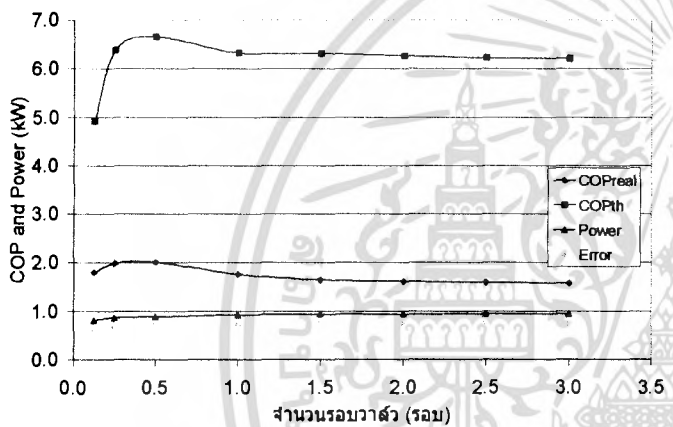
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



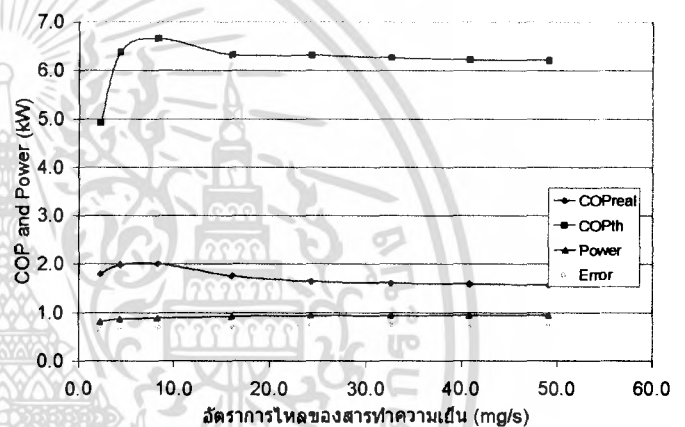
กราฟที่ 4-46 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 25 °C ต่อรอบวาล์ว



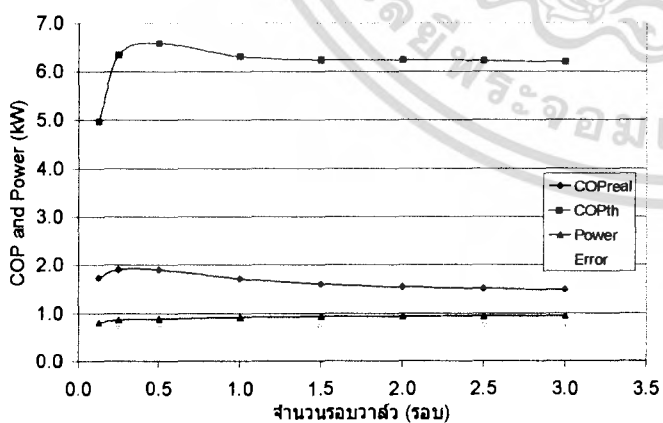
กราฟที่ 4-47 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 25 °C ต่อ อัตราการไหลของสารทำความเย็น



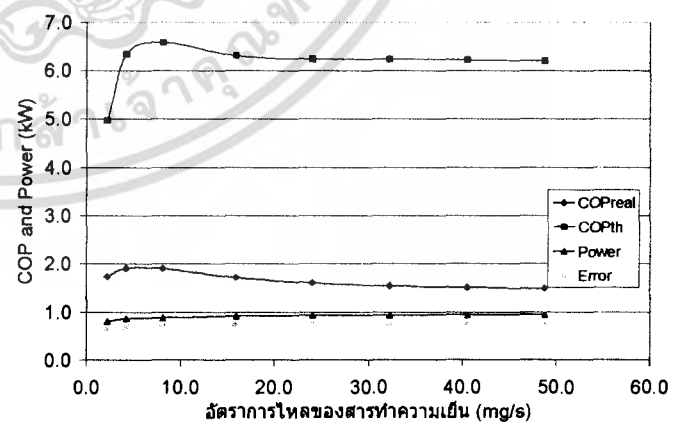
กราฟที่ 4-48 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 24 °C ต่อรอบวาล์ว



กราฟที่ 4-49 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 24 °C ต่อ อัตราการไหลของสารทำความเย็น

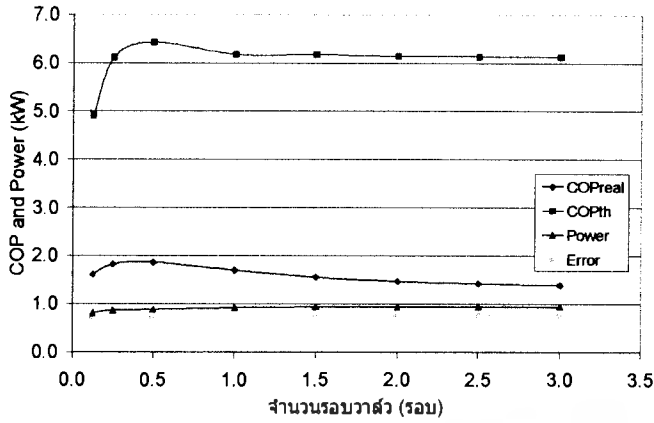


กราฟที่ 4-50 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 23 °C ต่อรอบวาล์ว

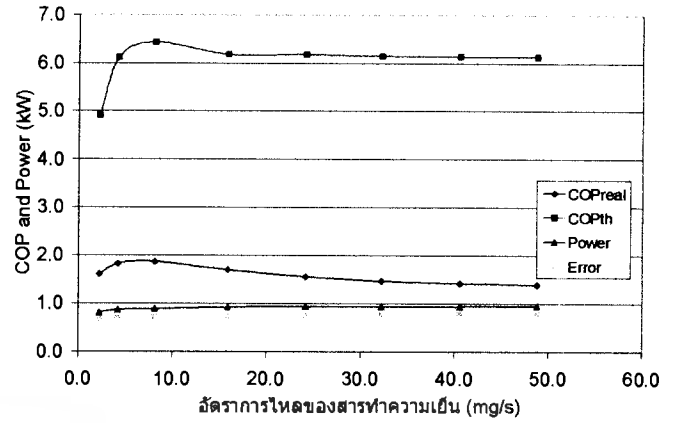


กราฟที่ 4-51 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 23 °C ต่อ อัตราการไหลของสารทำความเย็น

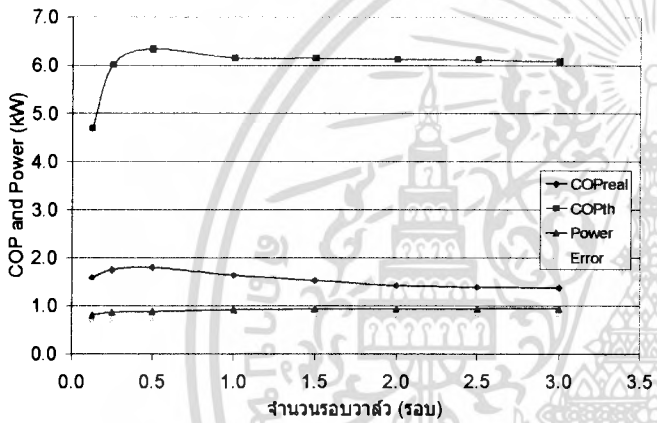
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



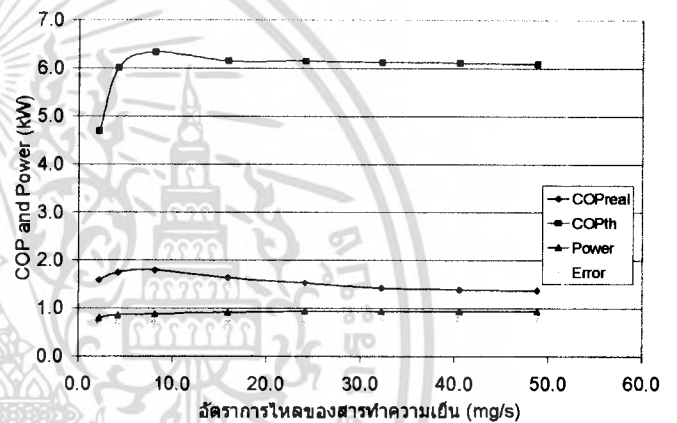
กราฟที่ 4-52 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 22 °C ต่อรอบวาล์ว



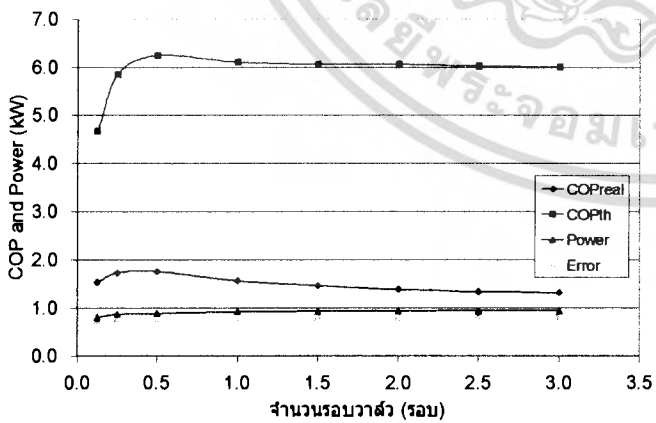
กราฟที่ 4-53 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 22 °C ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น



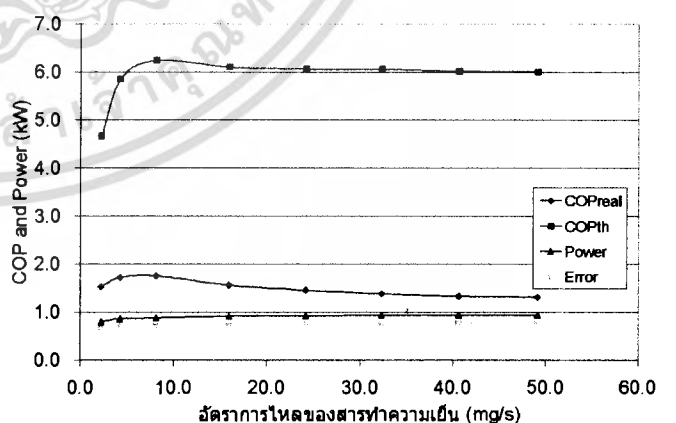
กราฟที่ 4-54 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 21 °C ต่อรอบวาล์ว



กราฟที่ 4-55 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 21 °C ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น



กราฟที่ 4-56 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 20 °C ต่อรอบวาล์ว



กราฟที่ 4-57 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 20 °C ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## วิเคราะห์

จากตารางข้อมูลเบื้องต้น และตารางที่ได้จากการคำนวณของ Cold-22 ผู้วิจัยได้นำค่าเหล่านี้มาเขียนกราฟแสดงสมรรถนะทางการทดสอบ ( $COP_{real}$ ) ดังกราฟ 4-40,4-41, กราฟสมรรถนะทางทฤษฎี ( $COP_{th}$ ) ดังกราฟ 4-42,4-43, กำลังไฟฟ้าที่ให้กับคอมเพรสเซอร์ (Power) ดังกราฟ 4-44,4-45, และแยกกราฟเพื่อพิจารณาเปรียบเทียบ ค่า  $COP_{real}$ ,  $COP_{th}$ , Power และค่าความคลาดเคลื่อน (Error) ในแต่ละอุณหภูมิการทำงานเป็น ดังกราฟ 4-46 ถึง 4-57 จากกราฟ  $COP_{real}$  พบว่า ค่า COP มีค่าสูงสุดของทุกอุณหภูมิการทำงานที่รอบวาล์ว  $\frac{1}{2}$  รอบ หรือที่อัตราการไหล 5 mg/s แล้วค่า COP จะมีค่าลดลงเรื่อยๆ อย่างต่อเนื่องเมื่อเปิดวาล์วมากขึ้น และเมื่อพิจารณาแต่ละอุณหภูมิการทำงานที่จำนวนรอบวาล์วต่าง ๆ พบว่า ที่อุณหภูมิการทำงานสูงกว่าจะให้ค่า COP สูงกว่าตามลำดับ ซึ่งผลการทดสอบทั้งหมดเป็นไปตามหลักการทางทฤษฎี ดังกราฟ 4-42,4-43 เพียงแต่มีค่าความแตกต่างค่อนข้างมาก ซึ่งสาเหตุเหล่านี้เนื่องมาจากปัจจัยต่าง ๆ ของระบบทดสอบ เช่น ประสิทธิภาพของอุปกรณ์แต่ละชิ้นในระบบทดสอบ, การติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยให้การระบายความร้อนของระบบดีขึ้น ถือเป็นการช่วยคอนเดนเซอร์ระบายความร้อนอีกแรง แต่มีข้อด้อยคือ ทำให้ความหนาแน่นของสารทำความเย็นในสถานะไอคง (superheated) ก่อนเข้าคอมเพรสเซอร์ลดลง ส่งผลให้อัตราการไหลของระบบลดลง ทำให้อัตราการไหลที่ COP ของระบบลดลงนั่นเอง และจากกราฟกำลังไฟฟ้าที่ต้องให้กับคอมเพรสเซอร์ พบว่าที่รอบวาล์ว  $\frac{1}{2}$  รอบ กำลังไฟฟ้าที่ต้องป้อนให้คอมเพรสเซอร์สูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และค่าเกือบคงที่ในที่สุด และเมื่อพิจารณาแต่ละอุณหภูมิการทำงานที่จำนวนรอบวาล์วต่าง ๆ พบว่าที่อุณหภูมิการทำงานสูงกว่าจะให้ค่า COP สูงกว่าตามลำดับ ข้อสังเกตคือ ที่อุณหภูมิการทำงานสูงกว่า ให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงกว่า และ COP ก็สูงกว่าด้วย นั่นหมายความว่า ที่อุณหภูมิการทำงานที่สูงกว่า ค่าความแตกต่างของอัตราส่วนระหว่างอัตราปริมาณการถ่ายเทความร้อนที่อีวาโปเรเตอร์ กับกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้คอมเพรสเซอร์สูงด้วยนั่นเอง และจากกราฟ 4-46 ถึง 4-57 พบว่า แนวโน้มของผลการทดสอบทั้งหมด มีความคล้ายคลึงกัน ในทุกรอบวาล์ว และทุกอุณหภูมิการทำงาน จากกราฟค่าความคลาดเคลื่อนของสมรรถนะ (Error) พบว่าค่าค่อนข้างคงที่ นั่นแสดงว่า ผลการทดสอบมีแนวโน้มเป็นไปตามหลักการทางทฤษฎีจริง เมื่อพิจารณา กำลังไฟฟ้าที่ต้องให้กับคอมเพรสเซอร์แล้ว สำหรับสารทำความเย็น Cold 22 พบว่าทุกรอบวาล์วและทุกอุณหภูมิการทำงาน มีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน และแสดงผลออกมาเท่ากัน ดังกราฟ 4-44,4-45 แต่ในความเป็นจริงแล้ว ที่อุณหภูมิการทำงานสูงกว่า กำลังไฟฟ้าที่ต้องให้คอมเพรสเซอร์ย่อมมากกว่าตามลำดับ แต่ในทางปฏิบัติ เนื่องจากขีดความสามารถในการแสดงผลของอุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้า จึงทำให้ผลการทดสอบที่แสดงออกมามีความละเอียดน้อย ค่าจึงออกมาเท่ากัน

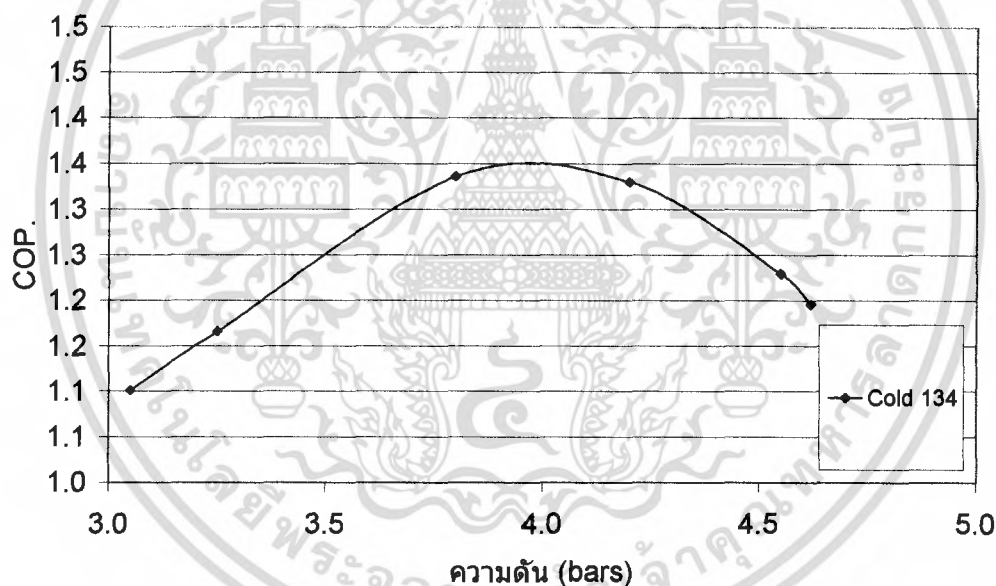
#### 4.4 สารทำความเย็น Cold 134

ก่อนทำการทดสอบ ผู้ทดสอบได้ทดสอบ เพื่อพิจารณาเลือกความดันด้านดูด ( $P_4$ ) พิจารณาสารทำความเย็น Cold 134, ที่จำนวนรอบวาล์ว  $\frac{1}{2}$  รอบ, อุณหภูมิการทำงานเย็น  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  จะได้ข้อมูลเบื้องต้น จากการทำงานของระบบที่สภาวะความดันด้านดูดต่าง ๆ ดังนี้

ตารางที่ 4-10 ตารางการพิจารณาเลือกความดันด้านดูดของ Cold-134

I(comp)	V water	$P_4$ (bars)	$T_6$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$T_7$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	Q	Power	COP
4.15	0.025	3.05	35.50	25	1.097	0.913	1.101
4.20	0.025	3.25	36.20	25	1.170	0.924	1.166
4.20	0.025	3.80	37.70	25	1.327	0.924	1.336
4.25	0.025	4.20	37.80	25	1.337	0.935	1.330
4.25	0.025	4.55	36.90	25	1.243	0.935	1.229
4.25	0.025	4.62	36.60	25	1.212	0.935	1.196

นำค่าที่ได้จากข้อมูลเบื้องต้น ไปตรวจสอบเพื่อพิจารณาเลือกความดันด้านดูด ( $P_4$ ) โดยพิจารณาเปรียบเทียบจากกราฟสมรรถนะ (COP) ได้ดังนี้



กราฟที่ 4-58 กราฟพิจารณาความดันด้านดูด ของสารทำความเย็น Cold-134

จากกราฟผลการตรวจสอบ พิจารณาเลือกความดันด้านดูดของสารทำความเย็นที่ 4.0 bars กับสารทำความเย็น Cold 134, ที่จำนวนรอบวาล์ว  $\frac{1}{2}$  รอบ, อุณหภูมิการทำงานเย็น  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4-11 ตารางข้อมูลเบื้องต้นของการทดสอบกับสารทำความเย็น Cold-134

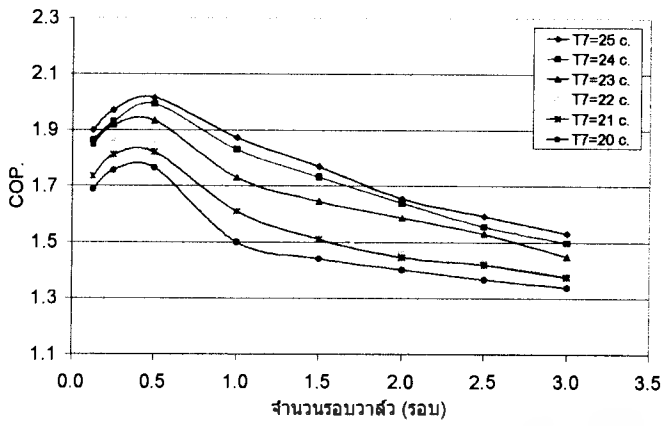
No.	l(comp)	V(water)	T <sub>1</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>
0.125	3.90	0.025	31.4	12.0	26.3	74.0	40.6	25	9.70	2.42	1.68	2.30	9.75
0.250	4.05	0.025	34.2	14.5	26.3	65.5	39.2	25	9.70	3.40	2.60	3.20	9.75
0.500	4.20	0.025	35.3	14.7	25.7	61.3	38.4	25	9.70	4.28	3.35	4.00	9.75
1.000	4.25	0.025	35.4	15.0	25.2	60.5	37.3	25	9.70	4.33	3.40	4.05	9.75
1.500	4.28	0.025	36.0	15.1	25.7	61.3	37.4	25	9.70	4.45	3.50	4.20	9.75
2.000	4.30	0.025	36.4	15.8	25.4	61.0	37.5	25	9.70	4.40	3.43	4.10	9.75
2.500	4.30	0.025	36.5	16.0	26.2	61.4	37.2	25	9.75	4.60	3.62	4.25	9.80
3.000	4.30	0.025	36.6	17.0	26.1	59.7	36.5	25	9.75	4.68	3.70	4.35	9.80
0.125	3.90	0.025	31.6	10.0	25.0	75.0	39.3	24	9.65	2.40	1.67	2.25	9.70
0.250	4.05	0.025	34.2	10.5	25.6	67.7	38.5	24	9.65	3.33	2.57	3.15	9.70
0.500	4.20	0.025	35.2	13.1	25.3	61.7	37.2	24	9.65	4.22	3.32	3.96	9.70
1.000	4.25	0.025	35.2	14.4	25.0	60.7	36.8	24	9.65	4.32	3.40	4.05	9.70
1.500	4.28	0.025	35.8	14.6	25.2	60.1	37.0	24	9.70	4.40	3.48	4.13	9.75
2.000	4.30	0.025	36.5	14.5	25.5	61.7	36.8	24	9.70	4.38	3.42	4.05	9.75
2.500	4.30	0.025	36.5	15.0	26.2	60.5	36.0	24	9.70	4.60	3.62	4.25	9.75
3.000	4.30	0.025	36.2	15.8	25.9	59.0	35.4	24	9.70	4.65	3.70	4.30	9.75
0.125	3.90	0.025	31.0	10.0	25.2	77.0	37.6	23	9.60	2.40	1.62	2.25	9.65
0.250	4.05	0.025	34.3	10.5	25.3	68.0	37.5	23	9.60	3.40	2.58	3.13	9.65
0.500	4.20	0.025	35.0	13.0	24.3	61.6	34.9	23	9.60	4.20	3.30	3.95	9.65
1.000	4.25	0.025	35.3	14.1	24.2	60.8	34.5	23	9.65	4.30	3.35	4.00	9.70
1.500	4.28	0.025	35.3	14.3	25.2	60.5	34.4	23	9.65	4.40	3.46	4.10	9.70
2.000	4.30	0.025	35.5	14.3	24.6	60.9	34.5	23	9.65	4.30	3.40	4.00	9.70
2.500	4.30	0.025	35.8	15.0	25.4	60.1	33.3	23	9.65	4.43	3.50	4.18	9.70
3.000	4.30	0.025	35.3	15.4	25.5	59.6	33.5	23	9.65	4.60	3.68	4.28	9.70
0.125	3.90	0.025	30.2	9.5	24.2	78.0	35.9	22	9.50	2.37	1.60	2.25	9.55
0.250	4.05	0.025	33.4	12.2	24.2	68.3	35.5	22	9.50	3.38	2.57	3.10	9.55
0.500	4.20	0.025	35.0	13.3	24.6	61.6	33.7	22	9.50	4.15	3.25	3.90	9.55
1.000	4.25	0.025	35.4	13.6	24.0	60.2	33.4	22	9.55	4.25	3.35	3.98	9.60
1.500	4.28	0.025	35.4	14.1	24.2	60.2	33.2	22	9.55	4.35	3.45	4.05	9.60
2.000	4.30	0.025	35.5	14.3	24.5	60.2	33.4	22	9.55	4.25	3.38	4.00	9.60
2.500	4.30	0.025	35.5	15.0	24.1	60.2	32.4	22	9.60	4.40	3.48	4.10	9.65
3.000	4.30	0.025	35.8	15.5	24.6	59.0	31.7	22	9.60	4.60	3.65	4.25	9.65
0.125	3.90	0.025	30.5	10.1	23.3	79.0	35.6	21	9.45	2.37	1.61	2.25	9.50
0.250	4.05	0.025	33.0	13.0	23.5	69.5	35.5	21	9.45	3.39	2.58	3.10	9.50
0.500	4.15	0.025	35.0	13.5	23.6	60.1	34.6	21	9.45	4.15	3.25	3.90	9.50
1.000	4.25	0.025	35.6	14.0	24.1	60.0	33.8	21	9.45	4.25	3.35	4.00	9.50
1.500	4.28	0.025	35.6	14.3	24.5	60.1	33.8	21	9.45	4.32	3.45	4.05	9.50
2.000	4.30	0.025	35.5	14.3	24.7	60.2	32.5	21	9.45	4.25	3.40	4.00	9.50
2.500	4.30	0.025	35.5	14.6	24.0	60.2	30.7	21	9.45	4.30	3.50	4.11	9.50
3.000	4.30	0.025	35.2	15.6	24.4	60.1	30.5	21	9.50	4.50	3.65	4.24	9.55
0.125	3.90	0.025	30.4	8.1	22.9	79.0	33.4	20	9.45	2.35	1.58	2.20	9.50
0.250	4.05	0.025	33.4	10.2	23.5	69.3	32.5	20	9.45	3.33	2.50	3.10	9.50
0.500	4.15	0.025	34.5	12.1	23.2	60.0	30.7	20	9.45	4.10	3.20	3.80	9.50
1.000	4.20	0.025	34.6	12.4	22.9	59.4	29.9	20	9.45	4.12	3.22	3.88	9.50
1.500	4.25	0.025	34.9	13.4	23.3	59.7	29.6	20	9.45	4.23	3.32	3.95	9.50
2.000	4.30	0.025	35.2	13.7	23.5	60.0	29.0	20	9.45	4.18	3.25	3.90	9.50
2.500	4.30	0.025	35.4	13.8	23.1	58.7	28.6	20	9.45	4.30	3.40	4.10	9.50
3.000	4.30	0.025	35.7	14.0	24.1	58.1	28.5	20	9.45	4.50	3.60	4.20	9.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

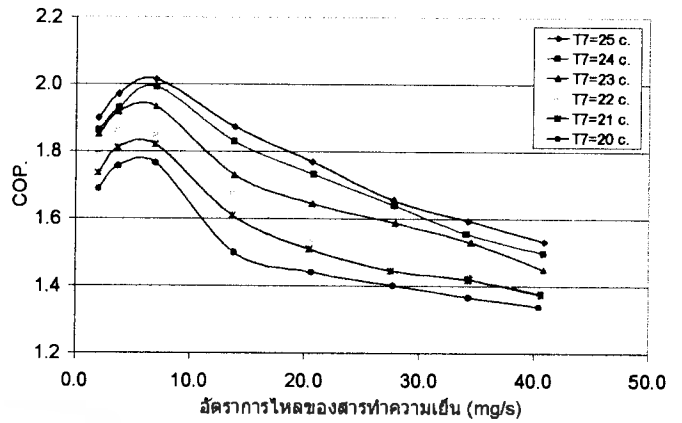
ตารางที่ 4-12 ตารางแสดงผลการคำนวณของสารทำความเย็น Cold-134

No.	M(water)	$R_f$	$Q=mc\Delta T$	$W=IV$	COP จริง
0.125	0.025	1.991	1.629	0.686	1.899
0.250	0.025	3.753	1.483	0.713	1.971
0.500	0.025	6.963	1.400	0.739	2.015
1.000	0.025	13.861	1.285	0.748	1.873
1.500	0.025	20.602	1.295	0.753	1.769
2.000	0.025	27.719	1.306	0.757	1.655
2.500	0.025	34.243	1.274	0.757	1.594
3.000	0.025	40.885	1.201	0.757	1.532
0.125	0.025	1.987	1.598	0.686	1.863
0.250	0.025	3.759	1.515	0.713	1.930
0.500	0.025	6.969	1.379	0.739	1.992
1.000	0.025	13.809	1.337	0.748	1.830
1.500	0.025	20.700	1.358	0.753	1.732
2.000	0.025	27.771	1.337	0.757	1.640
2.500	0.025	34.077	1.253	0.757	1.556
3.000	0.025	40.804	1.191	0.757	1.498
0.125	0.025	1.980	1.525	0.686	1.850
0.250	0.025	3.723	1.515	0.713	1.918
0.500	0.025	6.950	1.243	0.739	1.933
1.000	0.025	13.835	1.201	0.748	1.730
1.500	0.025	20.602	1.191	0.753	1.645
2.000	0.025	27.850	1.201	0.757	1.587
2.500	0.025	34.475	1.076	0.757	1.530
3.000	0.025	40.804	1.097	0.757	1.449
0.125	0.025	1.971	1.452	0.686	1.790
0.250	0.025	3.699	1.410	0.713	1.864
0.500	0.025	6.917	1.222	0.739	1.848
1.000	0.025	13.770	1.191	0.748	1.674
1.500	0.025	20.504	1.170	0.753	1.532
2.000	0.025	27.719	1.191	0.757	1.469
2.500	0.025	34.409	1.086	0.757	1.428
3.000	0.025	40.602	1.013	0.757	1.379
0.125	0.025	1.964	1.525	0.686	1.735
0.250	0.025	3.681	1.515	0.713	1.811
0.500	0.025	6.885	1.421	0.730	1.821
1.000	0.025	13.640	1.337	0.748	1.610
1.500	0.025	20.365	1.337	0.753	1.510
2.000	0.025	27.456	1.201	0.757	1.446
2.500	0.025	34.243	1.013	0.757	1.419
3.000	0.025	40.602	0.992	0.757	1.375
0.125	0.025	1.966	1.400	0.686	1.689
0.250	0.025	3.699	1.306	0.713	1.756
0.500	0.025	6.917	1.118	0.730	1.765
1.000	0.025	13.809	1.034	0.739	1.500
1.500	0.025	20.543	1.003	0.748	1.441
2.000	0.025	27.641	0.940	0.757	1.402
2.500	0.025	34.243	0.898	0.757	1.367
3.000	0.025	40.398	0.888	0.757	1.339

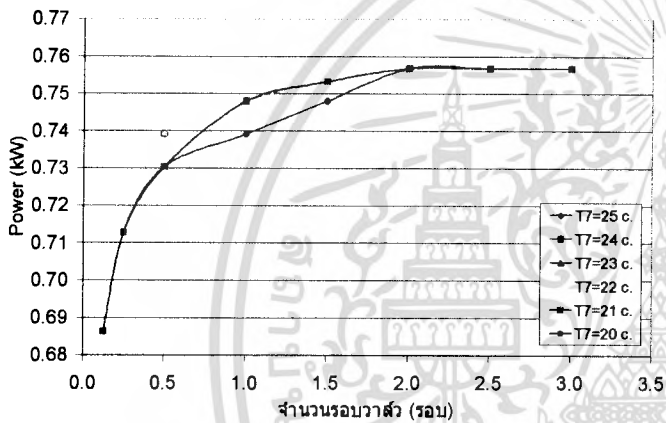
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



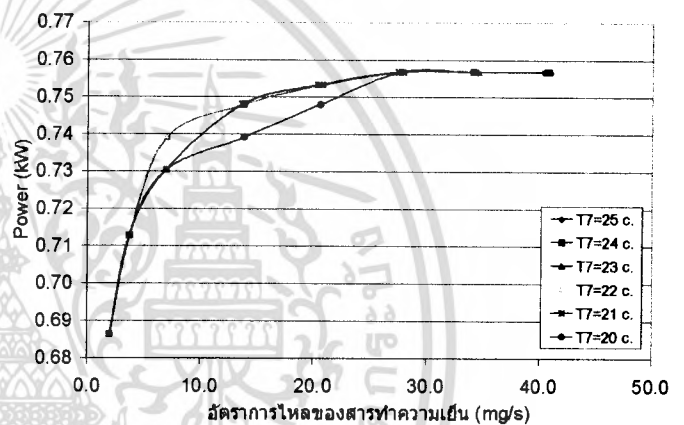
กราฟที่ 4-59 COP จริง ของ Cold-134 ที่อุณหภูมิ  
การทำความเย็นต่าง ๆ ต่อรอบวาล์ว



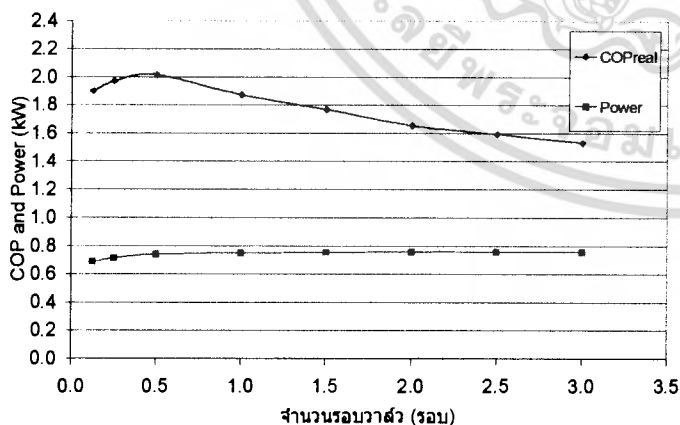
กราฟที่ 4-60 COP จริง ของ Cold-134 ที่อุณหภูมิ  
การทำความเย็นต่าง ๆ ต่ออัตราการไหลของ  
สารทำความเย็น



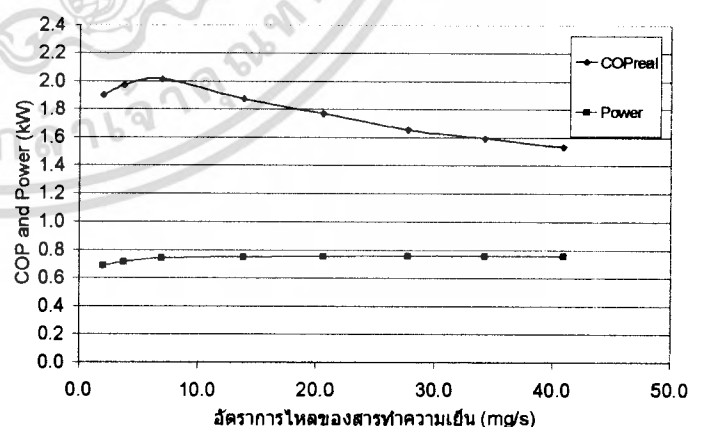
กราฟที่ 4-61 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่อุณหภูมิ  
ต่าง ๆ ของสาร Cold-134 ต่อรอบวาล์ว



กราฟที่ 4-62 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่อุณหภูมิ  
ต่าง ๆ ของสาร Cold-134 ต่ออัตราการไหลของ  
สารทำความเย็น

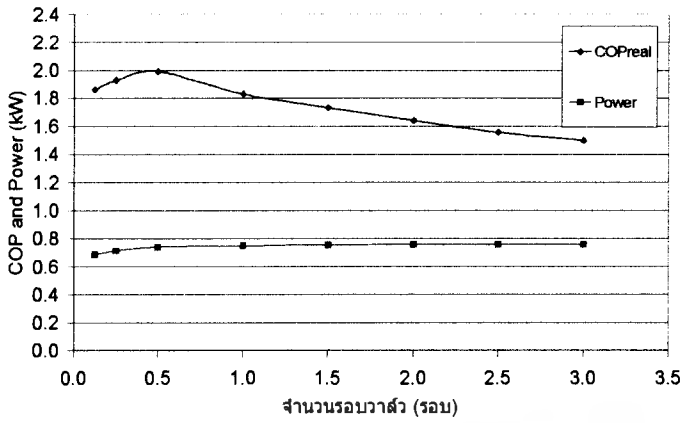


กราฟที่ 4-63 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง และ  
กำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 25 °C ต่อรอบวาล์ว

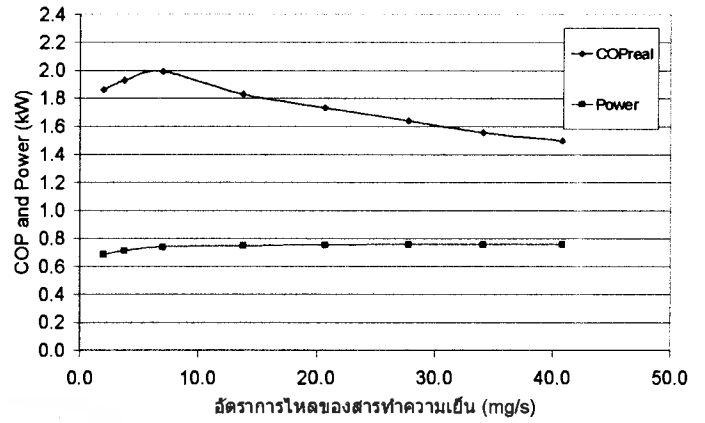


กราฟที่ 4-64 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง และ  
กำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 25 °C ต่อ  
อัตราการไหลของสารทำความเย็น

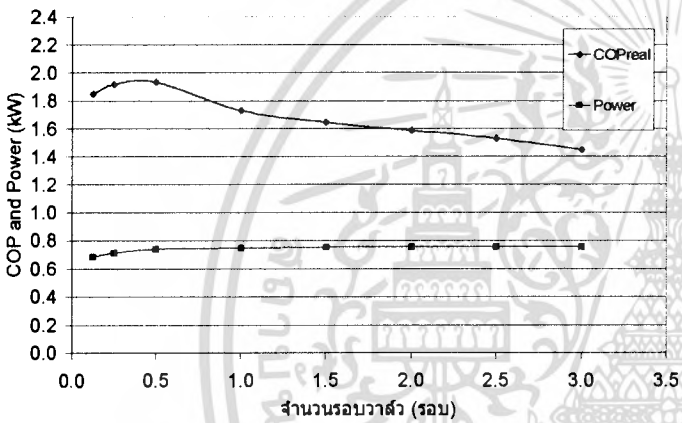
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



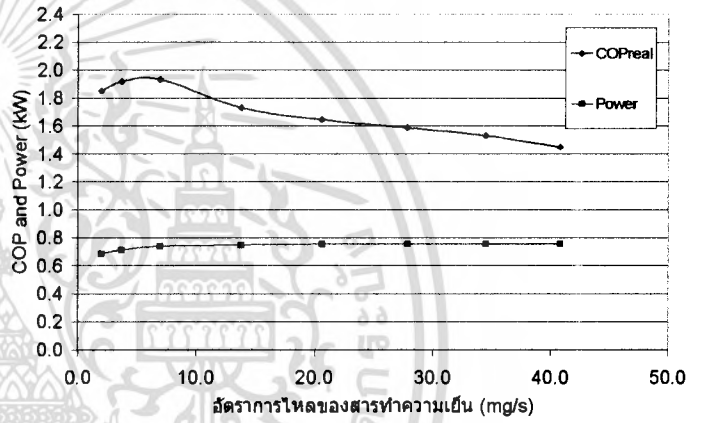
กราฟที่ 4-65 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง และ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 24 °C ต่อรอบวาล์ว



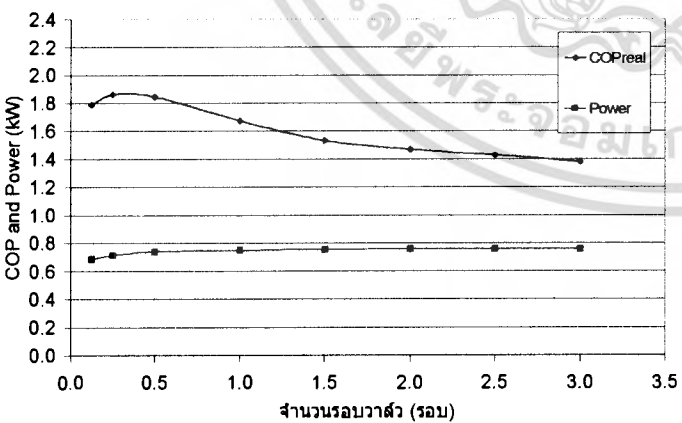
กราฟที่ 4-66 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง และ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 24 °C ต่อ อัตราการไหลของสารทำความเย็น



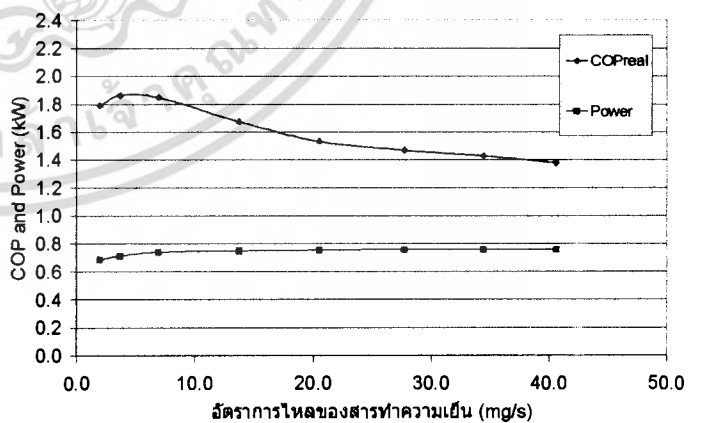
กราฟที่ 4-67 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง และ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 23 °C ต่อรอบวาล์ว



กราฟที่ 4-68 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง และ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 23 °C ต่อ อัตราการไหลของสารทำความเย็น

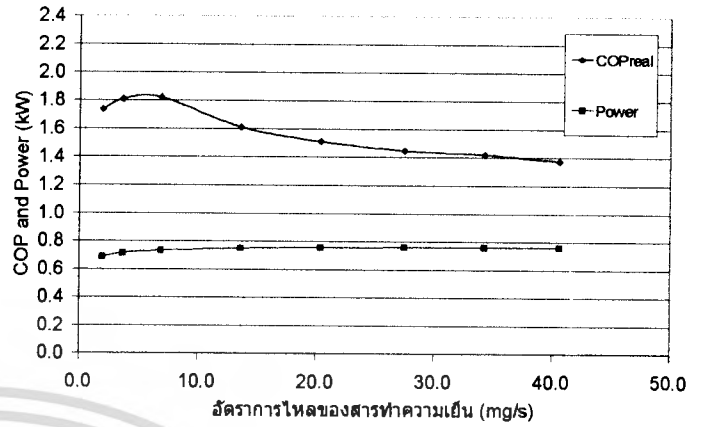
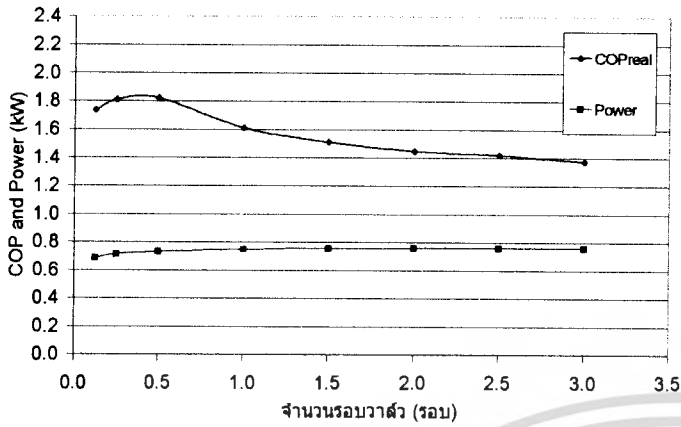


กราฟที่ 4-69 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง และ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 22 °C ต่อรอบวาล์ว



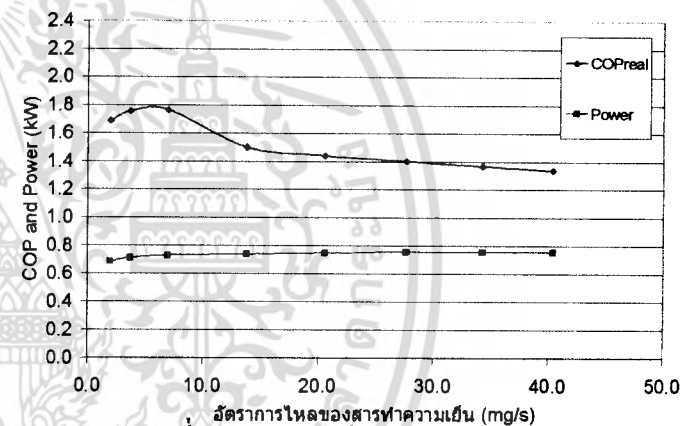
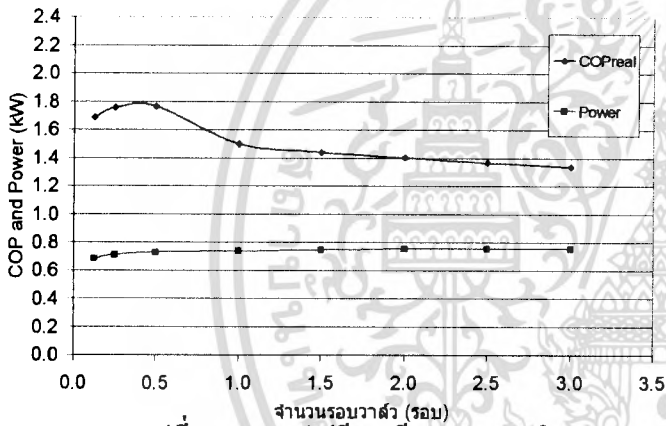
กราฟที่ 4-70 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง และ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 22 °C ต่อ อัตราการไหลของสารทำความเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 4-71 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง และ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 21 °C ต่อรอบวาล์ว

กราฟที่ 4-72 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง และ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 21 °C ต่อ อัตราการไหลของสารทำความเย็น



กราฟที่ 4-73 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง และ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 20 °C ต่อรอบวาล์ว

กราฟที่ 4-74 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง และ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 20 °C ต่อ อัตราการไหลของสารทำความเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## วิเคราะห์

จากตารางข้อมูลเบื้องต้น และตารางที่ได้จากการคำนวณของ Cold-134 ผู้วิจัยได้นำค่าเหล่านี้มาเขียนกราฟแสดงสมรรถนะทางการทดสอบ ( $COP_{real}$ ) ดังกราฟ 4-59,4-60 และกำลังไฟฟ้าที่ให้กับคอมเพรสเซอร์ (Power) ดังกราฟ 4-61,4-62 และแยกกราฟเพื่อพิจารณาเปรียบเทียบ ค่า  $COP_{real}$  และ Power ในแต่ละอุณหภูมิการทำความเย็น ดังกราฟ 4-63 ถึง 4-74 จากกราฟ  $COP_{real}$  พบว่า ค่า  $COP$  มีค่าสูงสุดของทุกอุณหภูมิการทำความเย็นที่รอบวาล์ว  $\frac{1}{2}$  รอบ หรือที่อัตราการไหล 5 mg/s แล้วค่า  $COP$  จะมีค่าลดลงเรื่อย ๆ อย่างต่ำเมื่อเปิดวาล์วมากขึ้น และเมื่อพิจารณาแต่ละอุณหภูมิการทำความเย็นที่จำนวนรอบวาล์วต่าง ๆ พบว่า ที่อุณหภูมิการทำความเย็นสูงกว่าจะให้ค่า  $COP$  สูงกว่าตามลำดับ ซึ่งผลการทดสอบทั้งหมดเป็นไปตามหลักการทางทฤษฎีจริง เพียงแต่ค่า  $COP$  ทางปฏิบัติมีค่าค่อนข้างต่ำ ซึ่งสาเหตุเหล่านี้เนื่องมาจากปัจจัยต่าง ๆ ของระบบทดสอบ เช่น ประสิทธิภาพของอุปกรณ์แต่ละชิ้นในระบบทดสอบ, การติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยในการระบายความร้อนของระบบดีขึ้น ถือเป็นการทำงานที่ช่วยคอนเดนเซอร์ระบายความร้อนอีกแรง แต่มีข้อด้อยคือทำให้ความหนาแน่นของสารทำความเย็นในสภาวะไอคง (superheated) ก่อนเข้าคอมเพรสเซอร์ลดลง ส่งผลให้อัตราการไหลของระบบลดลง ทำให้อัตราการไหลที่ต่ำที่สุด ทำให้  $COP$  ของระบบลดลงนั่นเอง และจากกราฟกำลังไฟฟ้าที่ต้องให้กับคอมเพรสเซอร์ พบว่าที่รอบวาล์ว  $\frac{1}{2}$  รอบ ให้ค่ากำลังไฟฟ้าที่ต้องป้อนให้คอมเพรสเซอร์สูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และค่าเกือบคงที่ในที่สุด และเมื่อพิจารณาแต่ละอุณหภูมิการทำความเย็นที่จำนวนรอบวาล์วต่าง ๆ พบว่าที่อุณหภูมิการทำความเย็นสูงกว่าจะให้ค่า  $COP$  สูงกว่าตามลำดับ ข้อสังเกตคือ ที่อุณหภูมิการทำความเย็นสูงกว่า ให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงกว่า และ  $COP$  ก็สูงกว่าด้วย นั่นหมายความว่า ที่อุณหภูมิการทำความเย็นที่สูงกว่า ค่าความแตกต่างของอัตราส่วนระหว่างอัตราปริมาณการถ่ายเทความร้อนที่อิวาโพเรเตอร์ กับกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้คอมเพรสเซอร์สูงด้วยนั่นเอง และจากกราฟรูป 4-63 ถึง 4-74 พบว่า แนวโน้มของผลการทดสอบทั้งหมด มีความคล้ายคลึงกัน ในทุกรอบวาล์ว และทุกอุณหภูมิการทำความเย็น และเมื่อพิจารณากำลังไฟฟ้าที่ต้องให้กับคอมเพรสเซอร์แล้ว สำหรับสารทำความเย็น Cold 134 พบว่าทุกรอบวาล์วและทุกอุณหภูมิการทำความเย็น มีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน และแสดงผลออกมาเท่ากัน ดังกราฟ 4-61,4-62 แต่ในความเป็นจริงแล้ว ที่อุณหภูมิการทำความเย็นสูงกว่า กำลังไฟฟ้าที่ต้องให้คอมเพรสเซอร์ย่อมมากกว่าตามลำดับ แต่ในทางปฏิบัติ เนื่องจากขีดความสามารถในการแสดงผลของอุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้า จึงทำให้ผลการทดสอบที่แสดงผลออกมามีความละเอียดน้อย และเนื่องจาก Cold 134 เป็นสารทำความเย็นผสมที่เกิดจากการผสมของ R-290 กับ R-600a และปัจจุบัน ถือเป็นสารทำความเย็นใหม่ที่ยังขาดข้อมูลคุณสมบัติของสารทำความเย็นดังกล่าว ผู้ทำการวิจัยจึงไม่สามารถแสดงกราฟสมรรถนะทางทฤษฎี ( $COP_{th}$ ) ของ Cold 134 ได้ แต่เนื่องจากโครงการนี้เน้นศึกษาและเปรียบเทียบในส่วนของสมรรถนะจริงของสารทำความเย็นมากกว่า ซึ่งเหตุผลนี้ทำให้ผู้ทำการวิจัยให้ความสำคัญในเรื่องมาตรฐานและความสามารถในการทำงานของระบบทดสอบ ให้สามารถทำงานที่สภาวะที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละครั้งที่ทำการทดสอบ และอย่างไรก็ตาม ผลการทดสอบทางปฏิบัติมีแนวโน้มเป็นไปตามทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

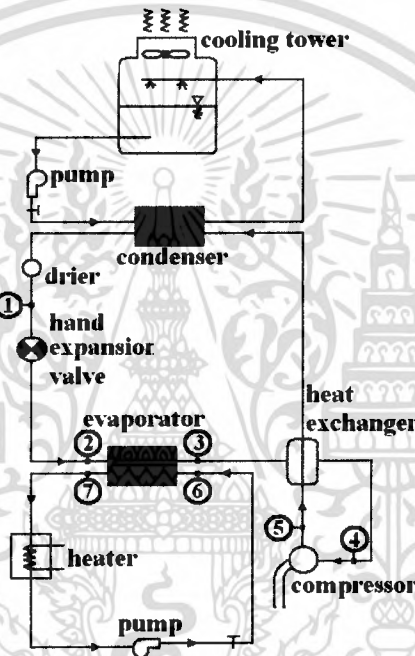
## บทที่ 4

### ผลการทดสอบ

งานวิจัยนี้ได้แบ่งผลการทดสอบออกเป็นส่วน ๆ ตามชนิดของสารทำความเย็น คือ R-22, R-134a, Cold 22 และ Cold 134 ตามลำดับ

#### 4.1 สารทำความเย็น R-22

ก่อนทำการทดสอบ ผู้ทดสอบได้ทดสอบ เพื่อพิจารณาเลือกความดันด้านดูด ( $P_4$ ) พิจารณาสารทำความเย็น R-22, ที่จำนวนรอบวาล์ว  $\frac{1}{2}$  รอบ, อุณหภูมิการทำงาน 25 °C จะได้ข้อมูลเบื้องต้นจากการทำงานของระบบที่สภาวะความดันด้านดูดต่าง ๆ ดังนี้



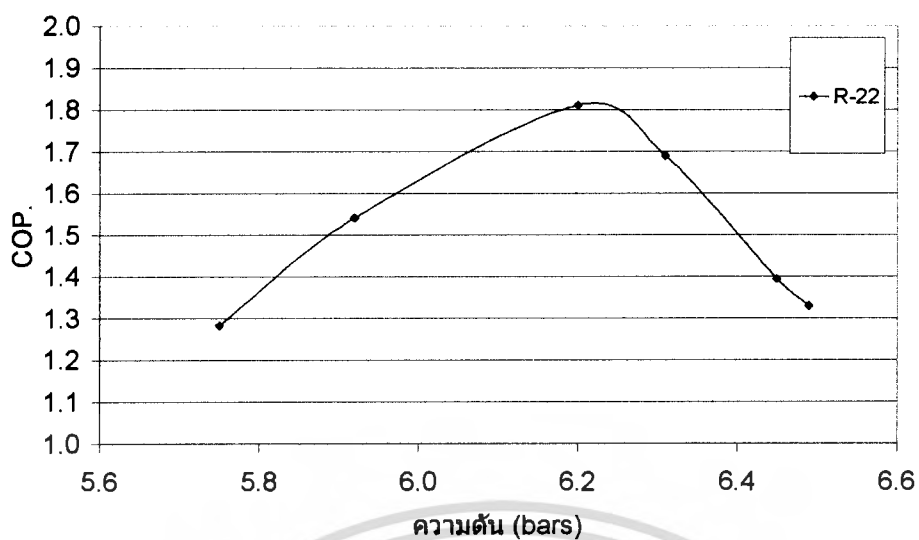
รูปที่ 4-1 แสดงตัวเลขกำกับจุดที่วัดค่าความดันและอุณหภูมิในชุดทดสอบ

ตารางที่ 4-1 ตารางการพิจารณาเลือกความดันด้านดูดของ R-22

I(comp)	V water	$P_4$ (bars)	$T_6$ (°C)	$T_7$ (°C)	Q	Power	COP
5.7	0.025	5.75	39.8	25	1.546	1.254	1.283
5.7	0.025	5.92	42.9	25	1.870	1.254	1.541
5.85	0.025	6.2	46.7	25	2.267	1.287	1.811
5.85	0.025	6.31	45.2	25	2.110	1.287	1.689
5.9	0.025	6.45	41.7	25	1.744	1.298	1.394
5.9	0.025	6.49	40.9	25	1.661	1.298	1.330

นำค่าที่ได้จากข้อมูลเบื้องต้น ไปตรวจสอบเพื่อพิจารณาเลือกความดันด้านดูด ( $P_4$ ) โดยพิจารณาเปรียบเทียบจากกราฟสมรรถนะ (COP) ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 4-1 กราฟพิจารณาความดันด้านดูด ของสารทำความเย็น R-22

จากกราฟผลการตรวจสอบ พิจารณาเลือกความดันด้านดูดของสารทำความเย็นที่ 6.2 bars กับสารทำความเย็น R-22, ที่จำนวนรอบวาล์ว 1/2 รอบ, อุณหภูมิการทำความเย็น 25 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4-2 ตารางข้อมูลเบื้องต้นของการทดสอบกับสารทำความเย็น R-22

No.	I(comp)	V(water)	T <sub>1</sub> (°C)	T <sub>3</sub> (°C)	T <sub>4</sub> (°C)	T <sub>5</sub> (°C)	T <sub>6</sub> (°C)	T <sub>7</sub> (°C)	P <sub>1</sub> (bars)	P <sub>2</sub> (bars)	P <sub>3</sub> (bars)	P <sub>4</sub> (bars)	P <sub>5</sub> (bars)
0.125	4.60	0.025	38.5	13.3	17.3	72.0	47.2	25.0	16.75	4.23	5.00	5.13	16.80
0.250	5.30	0.025	38.5	13.2	17.3	70.5	45.7	25.0	16.45	6.60	5.60	6.15	16.50
0.500	5.70	0.025	38.4	13.4	18.5	68.5	41.5	25.0	16.45	6.65	5.63	6.25	16.50
1.000	5.70	0.025	38.4	14.9	18.2	67.8	40.1	25.0	15.95	6.91	5.83	6.33	16.00
1.500	5.70	0.025	38.4	15.3	19.5	67.5	39.5	25.0	15.75	7.10	6.00	6.42	15.80
2.000	5.70	0.025	38.3	15.2	19.5	67.2	39.4	25.0	15.75	7.15	6.00	6.55	15.80
2.500	5.80	0.025	38.1	15.4	19.5	67.0	35.0	25.0	15.35	7.13	5.98	6.50	15.40
3.000	5.80	0.025	37.5	14.6	25.4	67.0	33.5	25.0	14.45	6.98	5.78	6.50	14.50
0.125	4.60	0.025	38.5	12.5	16.3	72.0	45.5	24.0	16.25	4.22	4.98	5.12	16.30
0.250	5.30	0.025	38.5	12.4	16.4	70.5	43.7	24.0	16.15	6.48	5.48	6.10	16.20
0.500	5.58	0.025	38.4	12.5	18.4	69.0	36.8	24.0	15.75	6.50	5.50	6.18	15.80
1.000	5.60	0.025	38.3	13.4	18.2	67.9	36.6	24.0	15.55	6.75	5.68	6.20	15.60
1.500	5.60	0.025	38.3	14.3	18.5	67.8	34.5	24.0	15.35	6.97	5.82	6.32	15.40
2.000	5.60	0.025	38.2	14.5	18.5	67.8	34.8	24.0	15.15	6.82	5.78	6.25	15.20
2.500	5.70	0.025	38.1	14.5	19.5	67.5	33.5	24.0	14.95	6.98	5.80	6.40	15.00
3.000	5.70	0.025	37.3	14.4	24.6	67.5	32.4	24.0	14.20	6.85	5.65	6.20	14.25
0.125	4.60	0.025	38.5	12.4	16.3	72.1	43.8	23.0	16.15	4.22	4.95	5.05	16.20
0.250	5.25	0.025	38.5	12.4	16.2	71.0	42.7	23.0	16.15	6.40	5.42	5.80	16.20
0.500	5.52	0.025	38.4	12.6	17.9	69.5	34.7	23.0	16.00	6.45	5.45	6.00	16.05
1.000	5.52	0.025	38.3	12.7	17.5	68.3	33.5	23.0	15.65	6.60	5.53	6.00	15.70
1.500	5.53	0.025	38.2	14.5	18.4	68.2	32.6	23.0	15.35	6.79	5.65	6.20	15.40
2.000	5.53	0.025	37.8	14.3	17.9	68.0	31.7	23.0	15.05	6.78	5.61	6.13	15.10
2.500	5.60	0.025	37.6	14.4	19.4	67.7	31.1	23.0	14.75	6.81	5.65	6.30	14.80
3.000	5.65	0.025	36.9	13.8	24.4	67.6	31.3	23.0	13.95	6.80	5.60	6.20	14.00
0.125	4.50	0.025	37.8	11.5	14.6	72.2	42.0	22.0	15.70	4.23	4.92	4.98	15.75
0.250	5.25	0.025	37.8	11.4	14.6	70.5	40.2	22.0	15.70	6.00	5.10	5.71	15.75
0.500	5.47	0.025	37.7	11.5	17.3	69.5	32.6	22.0	15.55	6.20	5.20	5.75	15.60
1.000	5.50	0.025	37.5	12.4	17.4	68.9	31.4	22.0	15.55	6.45	5.40	5.90	15.60
1.500	5.50	0.025	37.3	13.5	17.3	68.1	30.5	22.0	15.35	6.65	5.48	5.95	15.40
2.000	5.50	0.025	37.3	13.2	17.5	68.0	31.7	22.0	15.15	6.60	5.50	6.10	15.20
2.500	5.55	0.025	37.0	13.3	18.5	68.0	29.8	22.0	14.75	6.65	5.60	6.10	14.80
3.000	5.60	0.025	36.3	13.4	23.5	68.0	30.4	22.0	14.15	6.78	5.60	6.18	14.20
0.125	4.55	0.025	35.1	11.4	14.6	72.2	39.0	21.0	15.70	4.23	4.86	4.90	15.75
0.250	5.20	0.025	37.5	11.4	14.6	70.5	37.2	21.0	15.70	6.00	5.10	5.55	15.75
0.500	5.40	0.025	37.5	11.2	16.7	69.5	31.3	21.0	15.45	6.05	5.22	5.65	15.50
1.000	5.45	0.025	37.4	11.7	16.6	69.0	30.6	21.0	15.35	6.39	5.30	5.80	15.40
1.500	5.45	0.025	37.4	12.4	17.4	68.3	29.6	21.0	15.25	6.60	5.35	5.95	15.30
2.000	5.45	0.025	37.2	12.4	17.3	68.1	29.7	21.0	14.85	6.50	5.40	5.90	14.90
2.500	5.55	0.025	36.5	12.8	18.2	68.2	28.8	21.0	14.70	6.60	5.42	5.90	14.75
3.000	5.60	0.025	35.6	12.2	22.2	68.0	28.3	21.0	14.10	6.70	5.50	6.10	14.15
0.125	4.55	0.025	37.1	10.5	14.3	72.1	36.3	20.0	15.50	4.21	4.76	4.85	15.55
0.250	5.20	0.025	37.1	10.5	14.3	70.5	34.5	20.0	15.45	5.82	4.90	5.50	15.50
0.500	5.37	0.025	37.0	10.6	16.4	69.8	28.4	20.0	15.20	5.93	5.10	5.60	15.25
1.000	5.38	0.025	36.9	11.3	16.5	69.0	27.2	20.0	15.05	6.20	5.20	5.63	15.10
1.500	5.40	0.025	36.8	12.3	16.4	68.4	27.5	20.0	14.90	6.42	5.30	5.83	14.95
2.000	5.40	0.025	36.5	12.2	16.2	68.1	28.3	20.0	14.85	6.40	5.36	5.80	14.90
2.500	5.50	0.025	36.4	12.4	16.8	68.2	26.5	20.0	14.70	6.42	5.38	5.90	14.75
3.000	5.55	0.025	35.8	12.4	22.2	68.2	26.4	20.0	13.95	6.63	5.48	6.00	14.00

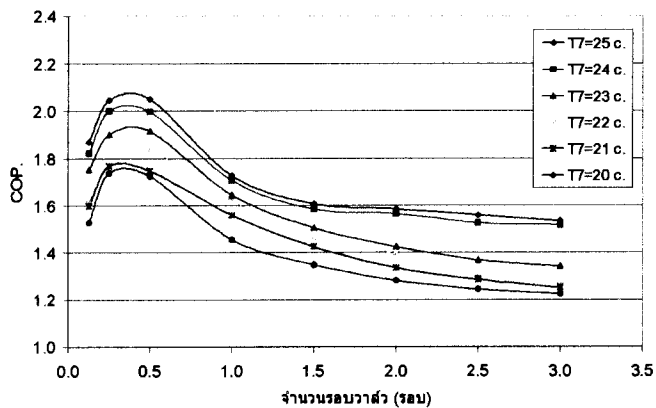
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

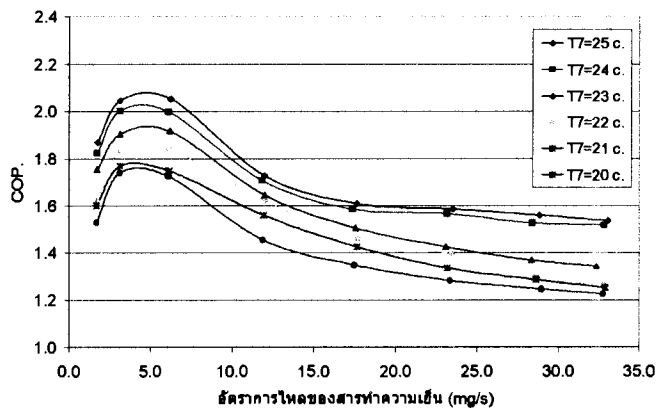
ตารางที่ 4-3 ตารางแสดงผลการคำนวณของสารทำความเย็น R-22

No.	M(water)	$h_1=h_2$	$h_3$	$h_4$	$h_5$	$Q=mc\Delta T$	$R_f$	$W=IV$	COP ทฤษฎี	COP จริง	Error
0.125	0.025	239.97	420.36	418.55	449.25	2.319	1.74	0.810	5.776	1.869	0.676
0.250	0.025	250.19	411.69	415.56	443.20	2.162	3.13	0.933	6.485	2.046	0.685
0.500	0.025	247.57	411.07	416.44	441.86	1.723	6.24	1.003	6.432	2.052	0.681
1.000	0.025	247.17	411.64	415.97	441.24	1.577	11.98	1.003	6.109	1.727	0.717
1.500	0.025	247.59	414.49	416.78	441.38	1.515	17.62	1.003	6.085	1.608	0.736
2.000	0.025	247.19	414.31	416.44	441.62	1.504	23.53	1.003	6.037	1.585	0.737
2.500	0.025	247.88	414.56	416.46	440.80	1.045	28.83	1.021	5.984	1.559	0.739
3.000	0.025	243.88	413.62	422.51	449.69	0.888	33.07	1.021	5.945	1.536	0.742
0.125	0.025	239.97	419.69	433.03	462.59	2.246	1.71	0.810	5.682	1.823	0.679
0.250	0.025	250.35	411.33	415.10	443.20	2.058	3.10	0.933	6.248	2.002	0.680
0.500	0.025	247.57	411.59	417.01	442.84	1.337	6.06	0.982	6.250	1.998	0.680
1.000	0.025	247.17	411.59	416.44	442.64	1.316	11.82	0.986	6.015	1.707	0.716
1.500	0.025	247.59	414.49	416.78	441.38	1.097	17.34	0.986	5.905	1.585	0.732
2.000	0.025	247.19	414.31	416.44	441.62	1.128	23.16	0.986	5.896	1.565	0.735
2.500	0.025	247.38	414.26	416.06	441.43	0.992	28.38	1.003	5.788	1.526	0.736
3.000	0.025	243.65	413.74	422.28	449.98	0.877	32.80	1.003	5.722	1.517	0.735
0.125	0.025	239.62	419.07	433.60	466.15	2.173	1.70	0.810	5.613	1.752	0.688
0.250	0.025	249.03	411.53	415.10	441.67	2.058	3.11	0.924	6.116	1.902	0.689
0.500	0.025	247.19	411.84	416.95	443.46	1.222	6.16	0.972	6.111	1.915	0.687
1.000	0.025	247.42	411.33	416.13	443.00	1.097	11.99	0.972	5.788	1.645	0.716
1.500	0.025	247.31	414.54	416.38	442.35	1.003	17.53	0.973	5.639	1.505	0.733
2.000	0.025	247.11	413.91	416.49	442.09	0.909	23.07	0.973	5.616	1.425	0.746
2.500	0.025	246.74	414.49	416.35	441.83	0.846	28.33	0.986	5.584	1.368	0.755
3.000	0.025	243.83	413.92	422.28	449.98	0.867	32.35	0.994	5.540	1.342	0.758
0.125	0.025	239.46	418.61	433.71	467.05	2.089	1.67	0.792	5.573	1.623	0.709
0.250	0.025	248.23	411.28	414.79	443.88	1.901	3.10	0.924	6.005	1.827	0.696
0.500	0.025	246.25	411.22	417.06	443.51	1.107	6.09	0.963	6.037	1.839	0.695
1.000	0.025	246.26	411.43	416.18	443.26	0.982	12.02	0.968	5.599	1.621	0.710
1.500	0.025	246.10	414.14	415.81	442.52	0.888	17.67	0.968	5.491	1.458	0.734
2.000	0.025	247.06	413.51	416.09	442.44	1.013	23.46	0.968	5.417	1.394	0.743
2.500	0.025	245.94	413.77	415.89	442.47	0.815	28.62	0.977	5.314	1.298	0.756
3.000	0.025	243.74	413.85	421.65	450.03	0.877	32.85	0.986	5.294	1.265	0.761
0.125	0.025	240.23	417.82	433.55	470.33	1.880	1.67	0.801	5.476	1.599	0.708
0.250	0.025	247.43	411.59	414.79	442.95	1.692	3.10	0.915	5.830	1.768	0.697
0.500	0.025	246.25	411.33	417.42	443.82	1.076	6.11	0.950	5.856	1.748	0.702
1.000	0.025	246.26	414.02	415.82	443.51	1.003	11.93	0.959	5.359	1.559	0.709
1.500	0.025	246.24	414.37	416.03	442.78	0.898	17.62	0.959	5.116	1.425	0.721
2.000	0.025	246.02	413.51	416.15	442.67	0.909	23.18	0.959	5.013	1.335	0.734
2.500	0.025	246.06	413.74	416.12	442.75	0.815	28.62	0.977	5.003	1.285	0.743
3.000	0.025	243.37	413.14	420.85	450.09	0.763	32.91	0.986	5.001	1.251	0.750
0.125	0.025	240.13	417.78	433.60	470.46	1.703	1.65	0.801	5.420	1.529	0.718
0.250	0.025	246.40	411.28	414.68	444.13	1.515	3.09	0.915	5.798	1.739	0.700
0.500	0.025	246.09	411.12	416.80	444.03	0.877	6.07	0.945	5.761	1.725	0.701
1.000	0.025	246.11	411.07	416.03	443.77	0.752	11.86	0.947	5.247	1.455	0.723
1.500	0.025	244.80	413.63	415.58	442.67	0.783	17.45	0.950	4.932	1.348	0.727
2.000	0.025	244.94	413.23	415.52	442.84	0.867	23.32	0.950	4.860	1.282	0.736
2.500	0.025	245.10	413.81	415.60	442.81	0.679	28.93	0.968	4.830	1.245	0.742
3.000	0.025	243.37	413.23	421.25	450.26	0.669	32.73	0.977	4.798	1.225	0.745

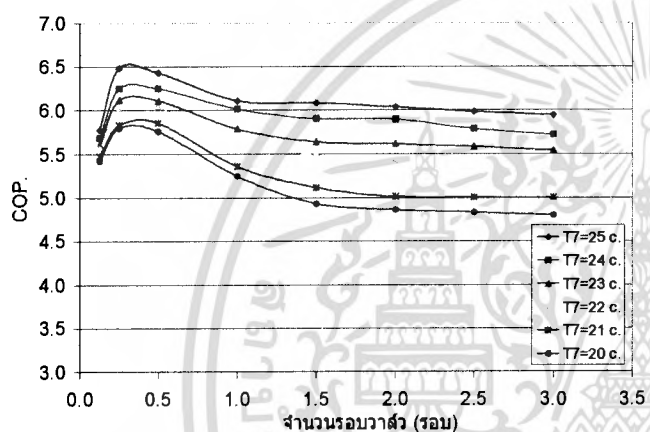
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



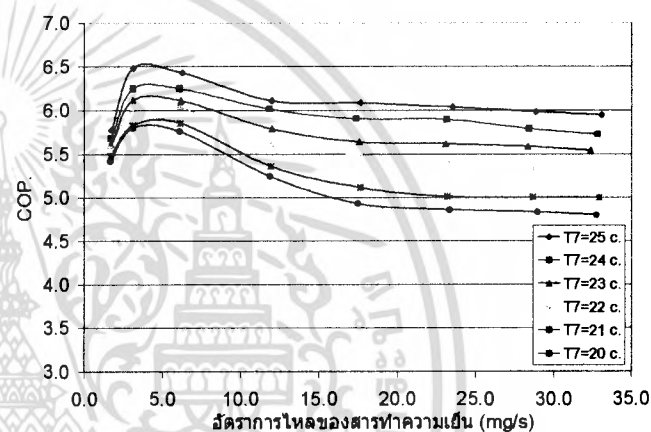
กราฟที่ 4-2 COP จริง ของ R-22 ที่อุณหภูมิการทำความเย็นต่าง ๆ ต่อรอบവാລ်



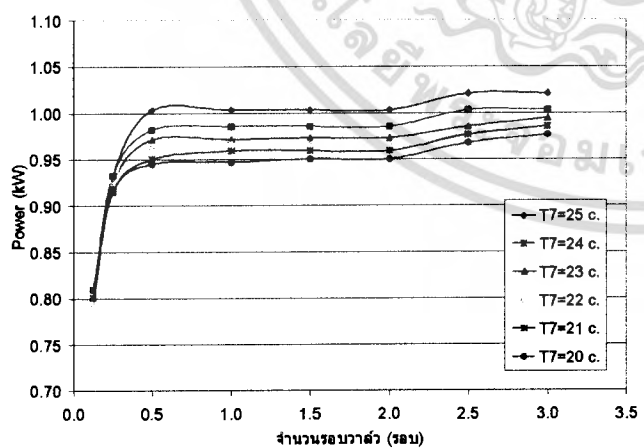
กราฟที่ 4-3 COP จริง ของ R-22 ที่อุณหภูมิการทำความเย็นต่าง ๆ ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น



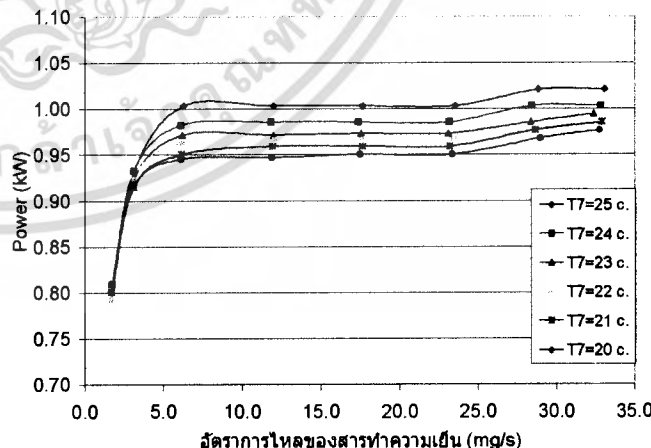
กราฟที่ 4-4 COP ทฤษฎี ของ R-22 ที่อุณหภูมิการทำความเย็นต่าง ๆ ต่อรอบവാລ်



กราฟที่ 4-5 COP ทฤษฎี ของ R-22 ที่อุณหภูมิการทำความเย็นต่าง ๆ ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น

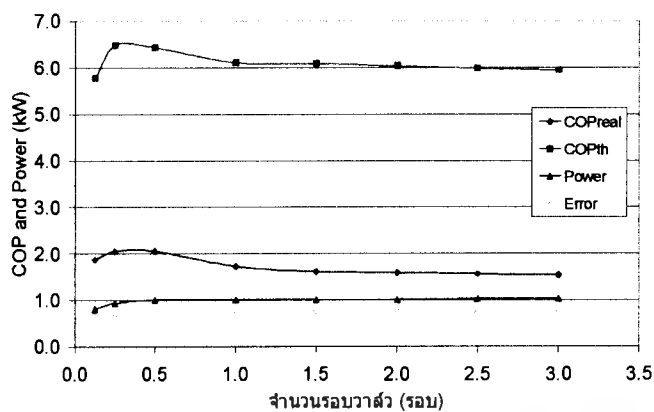


กราฟที่ 4-6 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของสาร R-22 ต่อรอบവാລ်

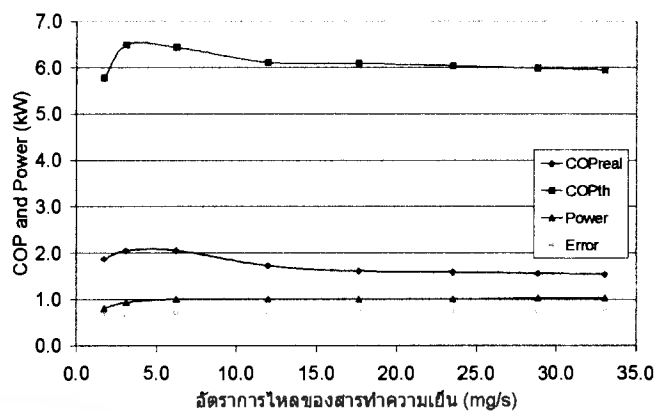


กราฟที่ 4-7 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของสาร R-22 ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น

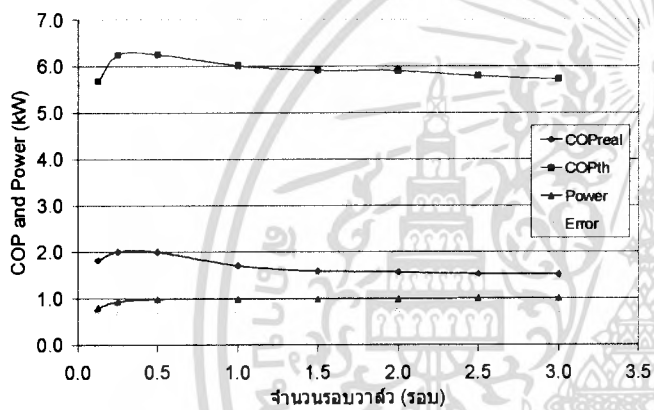
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



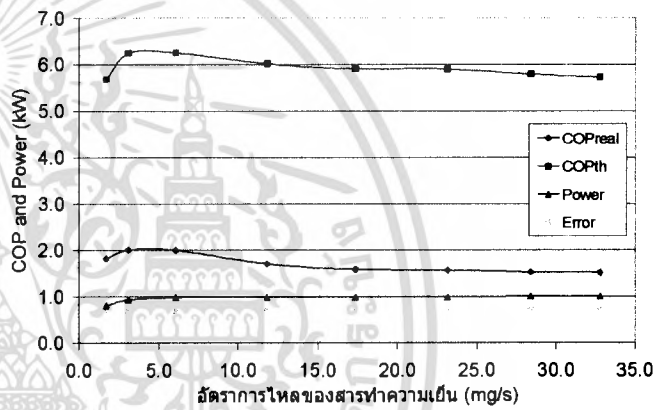
กราฟที่ 4-8 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 25 °C ต่อรอบวาล์ว



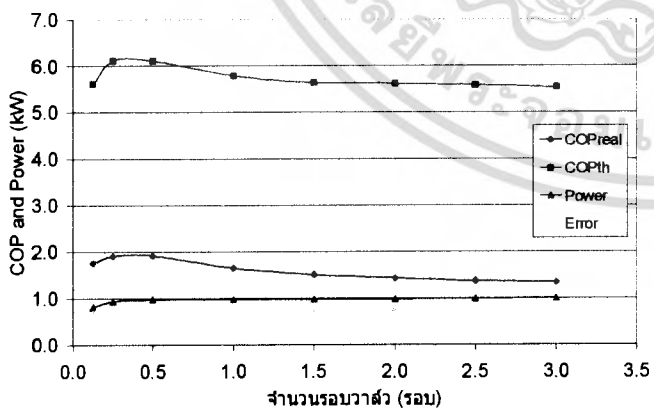
กราฟที่ 4-9 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 25 °C ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น



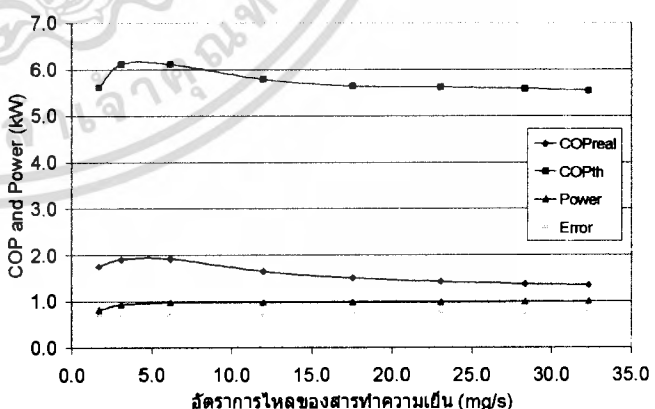
กราฟที่ 4-10 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 24 °C ต่อรอบวาล์ว



กราฟที่ 4-11 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 24 °C ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น

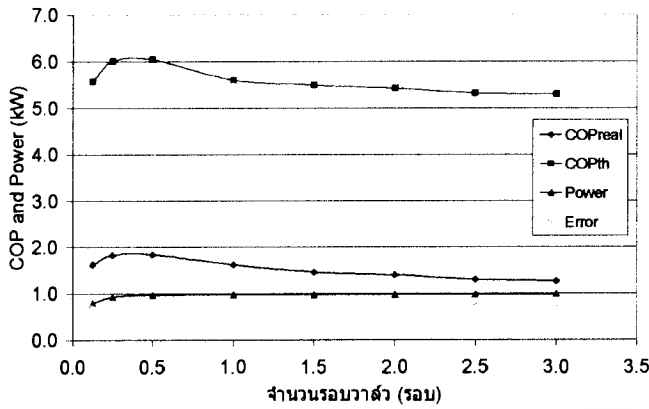


กราฟที่ 4-12 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 23 °C ต่อรอบวาล์ว

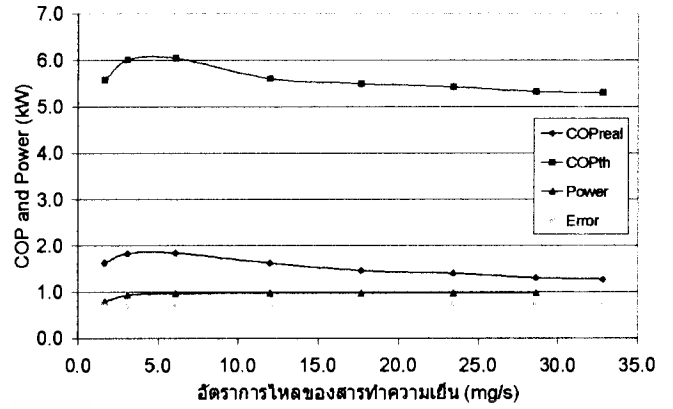


กราฟที่ 4-13 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 23 °C ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น

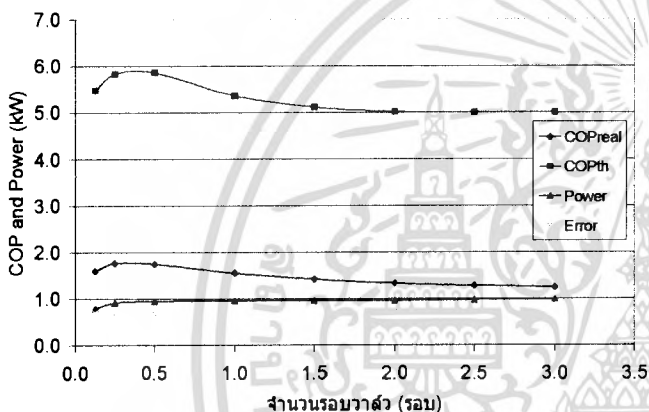
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



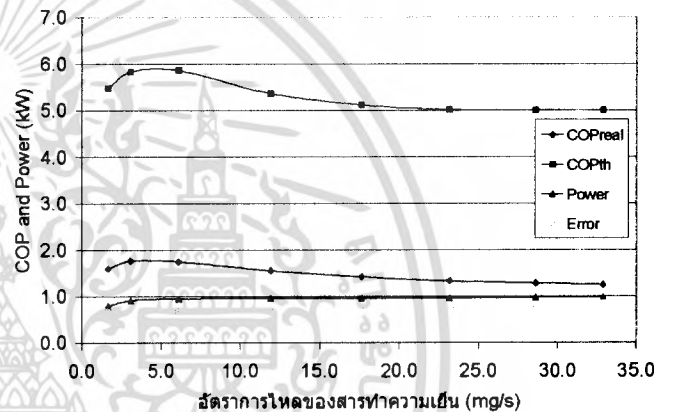
กราฟที่ 4-14 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุมหอ 22 °C ต่อรอบแล้ว



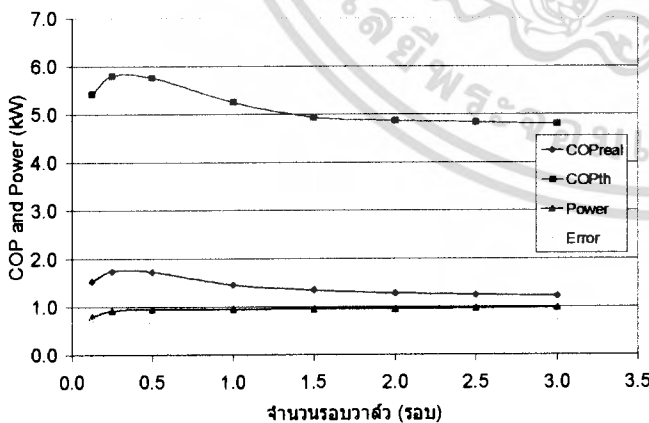
กราฟที่ 4-15 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุมหอ 22 °C ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น



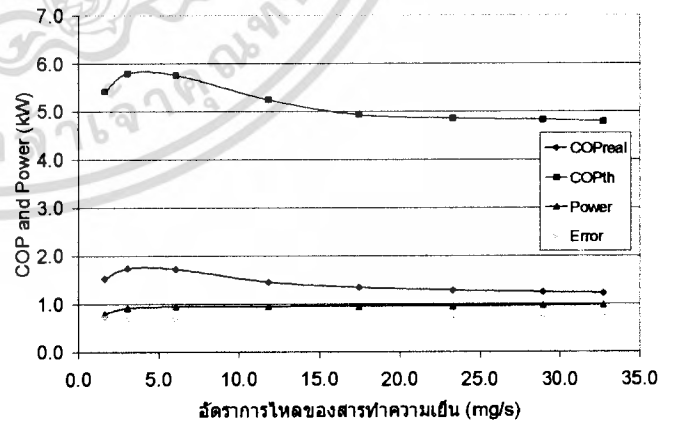
กราฟที่ 4-16 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุมหอ 21 °C ต่อรอบแล้ว



กราฟที่ 4-17 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุมหอ 21 °C ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น



กราฟที่ 4-18 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุมหอ 20 °C ต่อรอบแล้ว



กราฟที่ 4-19 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุมหอ 20 °C ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## วิเคราะห์

จากตารางข้อมูลเบื้องต้น และตารางที่ได้จากการคำนวณของ R-22 ผู้วิจัยได้นำค่าเหล่านี้มาเขียนกราฟแสดงสมรรถนะทางการทดสอบ ( $COP_{real}$ ) ดังกราฟ 4-2, 4-3, กราฟสมรรถนะทางทฤษฎี ( $COP_{th}$ ) ดังกราฟ 4-4, 4-5, กำลังไฟฟ้าที่ให้กับคอมเพรสเซอร์ (Power) ดังกราฟ 4-6, 4-7 และแยกกราฟเพื่อพิจารณาเปรียบเทียบ ค่า  $COP_{real}$ ,  $COP_{th}$ , Power และค่าความคลาดเคลื่อน (Error) ในแต่ละอุณหภูมิการทำงาน ดังกราฟ 4-8 ถึง 4-19 จากกราฟ  $COP_{real}$  พบว่า ค่า COP มีค่าสูงสุดของทุกอุณหภูมิการทำงานที่รอบวาล์ว  $\frac{1}{2}$  รอบหรือที่อัตราการไหล 5 mg/s แล้วค่า COP จะมีค่าลดลงเรื่อย ๆ อย่างต่อเนื่องเมื่อเปิดวาล์วมากขึ้น และเมื่อพิจารณาแต่ละอุณหภูมิการทำงานที่จำนวนรอบวาล์วต่าง ๆ พบว่า ที่อุณหภูมิการทำงานสูงกว่าจะให้ค่า COP สูงกว่าตามลำดับ ซึ่งผลการทดสอบทั้งหมดเป็นไปตามหลักการทางทฤษฎี ดังกราฟ 4-4, 4-5 เพียงแต่มีค่าความแตกต่างค่อนข้างมาก ซึ่งสาเหตุเหล่านี้เนื่องมาจากปัจจัยต่าง ๆ ของระบบทดสอบ เช่น ประสิทธิภาพของอุปกรณ์แต่ละชิ้นในระบบทดสอบ, การติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยให้การระบายความร้อนของระบบดีขึ้น ถือเป็นการช่วยคอนเดนเซอร์ระบายความร้อนอีกแรง แต่มีข้อด้อยคือ ทำให้ความหนาแน่นของสารทำความเย็นในสถานะไอแดง (superheated) ก่อนเข้าคอมเพรสเซอร์ลดลง ส่งผลให้อัตราการไหลของระบบลดลง ท้ายที่สุด ทำให้ COP ของระบบลดลงนั่นเอง และจากกราฟกำลังไฟฟ้าที่ต้องให้กับคอมเพรสเซอร์ พบว่าที่ประมาณรอบวาล์ว  $\frac{1}{2}$  ถึง 1 รอบ กำลังไฟฟ้าที่ต้องให้กับคอมเพรสเซอร์จะสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และค่าเกือบคงที่ในที่สุด และเมื่อพิจารณาแต่ละอุณหภูมิการทำงานที่จำนวนรอบวาล์วต่าง ๆ พบว่าที่อุณหภูมิการทำงานสูงกว่าจะให้ค่า COP สูงกว่าตามลำดับ ข้อสังเกตคือ ที่อุณหภูมิการทำงานสูงกว่า จะใช้กำลังไฟฟ้าสูงกว่า และ COP ก็สูงกว่าด้วย นั่นหมายความว่า ที่อุณหภูมิการทำงานที่สูงกว่า ค่าความแตกต่างของอัตราส่วนระหว่างปริมาณการถ่ายเทความร้อนที่อีวาโปเรเตอร์ กับกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้คอมเพรสเซอร์สูงด้วยนั่นเอง และจากกราฟ 4-8 ถึง 4-19 พบว่า แนวโน้มของผลการทดสอบทั้งหมด มีความคล้ายคลึงกัน ในทุกรอบวาล์ว และทุกอุณหภูมิการทำงาน จากกราฟค่าความคลาดเคลื่อนของสมรรถนะ (Error) พบว่าค่าค่อนข้างคงที่นั่นแสดงว่า ผลการทดสอบมีแนวโน้มเป็นไปตามหลักการทางทฤษฎีจริง และเมื่อพิจารณากราฟกำลังไฟฟ้าที่ต้องให้กับคอมเพรสเซอร์ของ R-22 พบว่ามีค่าค่อนข้างสูง สาเหตุเนื่องจาก ความดันในการทำงานของระบบทดสอบกับสารทำความเย็น R-22 มีค่าสูง ซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของ R-22 เอง จึงทำให้คอมเพรสเซอร์ต้องใช้กำลังในการอัดสูงด้วย

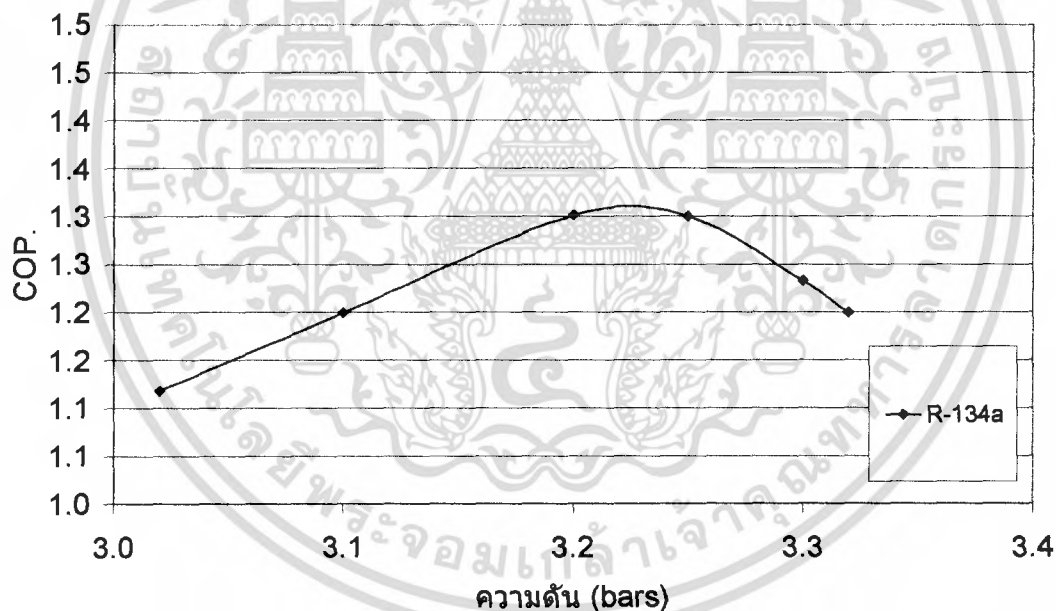
#### 4.2 สารทำความเย็น R-134a

ก่อนทำการทดสอบ ผู้ทดสอบได้ทดสอบ เพื่อพิจารณาเลือกความดันด้านดูด ( $P_4$ ) พิจารณาสารทำความเย็น R-134a, ที่จำนวนรอบวาล์ว  $\frac{1}{2}$  รอบ, อุณหภูมิการทำงานเย็น 25 °C จะได้ข้อมูลเบื้องต้นจากการทำงานของระบบที่สภาวะความดันด้านดูดต่าง ๆ ดังนี้

ตารางที่ 4-4 ตารางการพิจารณาเลือกความดันด้านดูดของ R-134a

I(comp)	V water	$P_4$ (bars)	$T_6$ (°C)	$T_7$ (°C)	Q	Power	COP
4.10	0.025	3.02	40.70	25	1.640	0.902	1.318
4.20	0.025	3.10	41.80	25	1.755	0.924	1.399
4.20	0.025	3.20	42.70	25	1.849	0.924	1.501
4.25	0.025	3.25	42.90	25	1.870	0.935	1.500
4.30	0.025	3.30	42.50	25	1.828	0.946	1.432
4.40	0.025	3.32	42.60	25	1.838	0.968	1.399

นำค่าที่ได้จากข้อมูลเบื้องต้น ไปตรวจสอบเพื่อพิจารณาเลือกความดันด้านดูด ( $P_4$ ) โดยพิจารณาเปรียบเทียบจากกราฟสมรรถนะ (COP) ได้ดังนี้



กราฟที่ 4-20 กราฟพิจารณาความดันด้านดูด ของสารทำความเย็น R-134a

จากกราฟผลการตรวจสอบ พิจารณาเลือกความดันด้านดูดของสารทำความเย็นที่ 3.2 bars กับสารทำความเย็น R-134a, ที่จำนวนรอบวาล์ว  $\frac{1}{2}$  รอบ, อุณหภูมิการทำงานเย็น 25 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4-5 ตารางข้อมูลเบื้องต้นของการทดสอบกับสารทำความเย็น R-134a

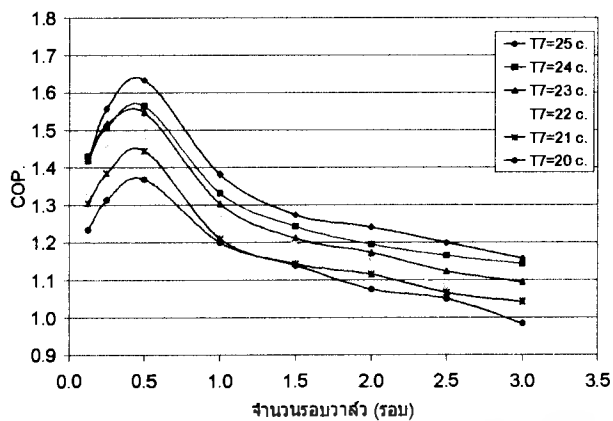
No.	l(comp)	V(water)	T <sub>1</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>
0.125	3.90	0.025	30.8	14.4	32.3	80.2	42.4	25	8.60	2.00	1.25	1.80	8.65
0.250	4.10	0.025	34.2	8.4	27.4	69.8	44.5	25	8.95	2.95	2.05	2.62	9.00
0.500	4.25	0.025	35.4	11.3	20.7	61.2	43.7	25	9.10	3.60	2.65	3.20	9.15
1.000	4.33	0.025	35.8	11.7	20.6	60.7	43.4	25	9.15	3.80	2.80	3.30	9.20
1.500	4.35	0.025	36.4	12.4	21.3	61.5	42.7	25	9.20	3.80	2.85	3.38	9.25
2.000	4.35	0.025	36.5	9.3	21.4	61.5	43.7	25	9.20	3.95	2.90	3.45	9.25
2.500	4.35	0.025	36.5	13.4	20.5	59.0	42.4	25	9.20	4.00	2.90	3.54	9.25
3.000	4.35	0.025	36.0	11.7	21.4	60.5	43.3	25	9.20	3.78	2.80	3.32	9.25
0.125	3.90	0.025	30.2	13.7	32.4	80.5	41.5	24	8.55	2.00	1.20	1.78	8.60
0.250	4.10	0.025	34.5	7.3	26.5	69.9	42.9	24	8.93	2.90	2.05	2.58	8.98
0.500	4.25	0.025	35.3	10.4	20.5	61.4	42.3	24	9.00	3.60	2.60	3.15	9.05
1.000	4.30	0.025	35.9	11.2	20.3	60.0	42.4	24	9.05	3.70	2.75	3.25	9.10
1.500	4.30	0.025	35.9	11.3	20.4	61.4	41.6	24	9.15	3.80	2.80	3.33	9.20
2.000	4.30	0.025	36.1	9.4	20.9	61.2	42.7	24	9.20	3.90	2.85	3.40	9.25
2.500	4.30	0.025	35.9	12.4	20.2	58.7	40.5	24	9.20	3.95	2.85	3.47	9.25
3.000	4.30	0.025	35.5	11.2	20.8	60.4	41.6	24	9.20	3.70	2.65	3.27	9.25
0.125	3.90	0.025	29.7	14.4	32.5	80.8	40.4	23	8.45	1.95	1.20	1.78	8.50
0.250	4.10	0.025	33.9	7.8	26.3	70.7	42.4	23	8.92	2.85	2.00	2.55	8.97
0.500	4.25	0.025	35.0	10.5	19.7	61.7	40.3	23	8.95	3.55	2.60	3.10	9.00
1.000	4.30	0.025	35.3	10.0	20.2	60.1	40.5	23	9.05	3.65	2.70	3.20	9.10
1.500	4.30	0.025	35.5	11.1	20.4	61.0	39.4	23	9.10	3.70	2.75	3.25	9.15
2.000	4.30	0.025	35.7	8.6	20.4	61.3	41.5	23	9.15	3.85	2.78	3.30	9.20
2.500	4.30	0.025	35.7	12.1	20.3	58.2	39.6	23	9.15	3.90	2.80	3.43	9.20
3.000	4.30	0.025	35.3	11.6	20.5	60.5	40.2	23	9.12	3.62	2.60	3.22	9.17
0.125	3.85	0.025	30.1	13.8	32.6	81.1	38.7	22	8.45	1.95	1.20	1.75	8.50
0.250	4.10	0.025	33.0	7.3	26.1	70.9	40.6	22	8.85	2.80	2.00	2.50	8.90
0.500	4.20	0.025	34.5	9.4	19.2	61.4	37.7	22	8.95	3.45	2.50	3.05	9.00
1.000	4.30	0.025	35.4	10.5	19.2	59.8	39.4	22	8.95	3.60	2.65	3.18	9.00
1.500	4.30	0.025	35.4	11.2	19.4	60.2	39.2	22	9.00	3.65	2.70	3.20	9.05
2.000	4.30	0.025	35.4	8.4	20.1	61.3	38.8	22	9.00	3.80	2.75	3.24	9.05
2.500	4.30	0.025	35.4	11.3	19.6	58.6	36.8	22	9.00	3.80	2.75	3.33	9.05
3.000	4.30	0.025	35.1	10.5	19.2	59.8	39.4	22	8.95	3.60	2.65	3.18	9.00
0.125	3.85	0.025	30.0	13.3	31.7	81.6	37.5	21	8.40	1.95	1.20	1.72	8.45
0.250	4.05	0.025	33.0	7.2	26.0	71.2	38.6	21	8.70	2.80	1.95	2.48	8.75
0.500	4.15	0.025	34.4	9.3	19.2	61.5	35.9	21	8.75	3.40	2.45	3.00	8.80
1.000	4.25	0.025	35.2	9.1	18.7	59.5	36.4	21	8.80	3.50	2.55	3.09	8.85
1.500	4.25	0.025	35.2	10.0	19.4	60.3	37.5	21	8.90	3.60	2.65	3.16	8.95
2.000	4.25	0.025	35.4	7.7	19.5	61.2	37.4	21	8.95	3.75	2.70	3.25	9.00
2.500	4.25	0.025	35.2	11.4	19.4	58.3	36.4	21	8.95	3.80	2.70	3.32	9.00
3.000	4.25	0.025	35.0	10.0	19.2	60.0	36.5	21	8.95	3.55	2.55	3.12	9.00
0.125	3.85	0.025	29.7	12.2	31.6	82.0	36.5	20	8.35	1.90	1.15	1.70	8.40
0.250	4.05	0.025	33.3	6.5	25.5	71.7	36.5	20	8.65	2.70	1.90	2.42	8.70
0.500	4.10	0.025	34.0	7.3	18.4	60.6	34.4	20	8.70	3.35	2.40	2.93	8.75
1.000	4.20	0.025	34.2	9.3	18.2	59.0	34.5	20	8.80	3.40	2.50	3.02	8.85
1.500	4.20	0.025	34.3	9.1	18.7	59.4	34.5	20	8.85	3.50	2.65	3.05	8.90
2.000	4.20	0.025	34.4	7.4	18.9	61.1	35.7	20	8.90	3.65	2.68	3.15	8.95
2.500	4.20	0.025	34.5	11.5	18.5	58.2	34.6	20	8.90	3.75	2.70	3.25	8.95
3.000	4.20	0.025	34.2	9.0	19.2	60.7	34.9	20	8.87	3.45	2.45	3.05	8.92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

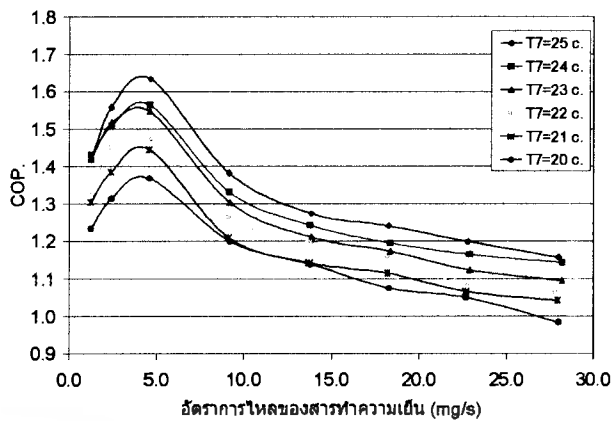
ตารางที่ 4-6 ตารางแสดงผลการคำนวณของสารทำความเย็น R-134a

No.	M(water)	$h_1=h_2$	$h_3$	$h_4$	$h_5$	$Q=mc\Delta T$	$R_f$	$W=IV$	COP ทฤษฎี	COP จริง	Error
0.125	0.025	244.61	417.18	419.21	456.29	1.818	1.255	0.686	4.654	1.418	0.695
0.250	0.025	247.59	406.44	423.19	453.70	2.037	2.426	0.722	5.206	1.558	0.701
0.500	0.025	249.34	408.31	415.56	444.21	1.953	4.645	0.748	5.549	1.634	0.706
1.000	0.025	249.93	408.27	415.24	443.56	1.922	9.162	0.762	5.421	1.382	0.745
1.500	0.025	250.82	408.80	415.70	444.33	1.849	13.836	0.766	5.318	1.274	0.760
2.000	0.025	250.37	407.19	420.39	450.28	1.953	18.269	0.766	5.247	1.241	0.763
2.500	0.025	250.94	409.30	414.56	441.70	1.818	22.786	0.766	5.235	1.199	0.771
3.000	0.025	250.22	408.55	415.92	443.25	1.912	27.993	0.766	5.193	1.157	0.777
0.125	0.025	241.76	416.67	429.34	465.68	1.828	1.251	0.686	4.613	1.430	0.690
0.250	0.025	248.00	406.34	423.34	453.90	1.974	2.432	0.722	5.181	1.509	0.709
0.500	0.025	249.21	407.64	415.51	444.59	1.912	4.602	0.748	5.448	1.564	0.713
1.000	0.025	248.76	407.96	415.09	443.00	1.922	9.162	0.757	5.404	1.332	0.754
1.500	0.025	249.34	407.92	414.98	444.33	1.838	13.772	0.757	5.303	1.243	0.766
2.000	0.025	250.82	407.40	419.87	450.51	1.953	18.356	0.757	5.210	1.195	0.771
2.500	0.025	249.05	408.66	414.43	441.49	1.723	22.895	0.757	5.198	1.165	0.776
3.000	0.025	250.53	408.22	415.49	443.25	1.838	28.199	0.757	5.180	1.143	0.779
0.125	0.025	242.17	416.41	429.44	466.14	1.818	1.246	0.686	4.548	1.418	0.688
0.250	0.025	247.15	406.03	422.21	454.70	2.026	2.440	0.722	4.990	1.517	0.696
0.500	0.025	248.76	407.72	414.89	444.67	1.807	4.602	0.748	5.338	1.547	0.710
1.000	0.025	248.76	407.01	414.16	443.28	1.828	9.204	0.757	5.354	1.303	0.757
1.500	0.025	249.03	407.87	415.16	444.15	1.713	13.836	0.757	5.279	1.211	0.771
2.000	0.025	249.34	406.88	419.69	450.69	1.932	18.356	0.757	5.182	1.173	0.774
2.500	0.025	248.74	408.50	414.64	441.14	1.734	22.895	0.757	5.129	1.123	0.781
3.000	0.025	249.50	408.73	415.33	443.41	1.797	28.199	0.757	5.132	1.094	0.787
0.125	0.025	242.44	415.56	429.59	466.64	1.744	1.246	0.678	4.373	1.329	0.696
0.250	0.025	246.56	405.70	422.14	455.04	1.943	2.436	0.722	4.837	1.454	0.699
0.500	0.025	247.28	407.00	414.53	444.85	1.640	4.645	0.739	5.268	1.475	0.720
1.000	0.025	249.34	407.60	414.21	442.95	1.818	9.162	0.757	5.307	1.264	0.762
1.500	0.025	249.34	408.10	414.37	443.38	1.797	13.772	0.757	5.230	1.199	0.771
2.000	0.025	249.34	406.78	419.28	450.95	1.755	18.182	0.757	5.009	1.155	0.769
2.500	0.025	248.61	408.04	414.23	441.76	1.546	22.786	0.757	4.991	1.084	0.783
3.000	0.025	249.05	408.27	415.33	443.51	1.818	27.812	0.757	4.950	1.065	0.785
0.125	0.025	241.76	415.46	428.82	467.04	1.723	1.241	0.678	4.245	1.305	0.693
0.250	0.025	245.84	405.75	422.11	455.59	1.838	2.405	0.713	4.776	1.385	0.710
0.500	0.025	247.87	407.05	414.66	445.13	1.556	4.581	0.730	5.224	1.445	0.723
1.000	0.025	247.87	406.60	413.41	442.89	1.609	9.119	0.748	5.284	1.210	0.771
1.500	0.025	247.87	407.13	414.44	443.59	1.723	13.708	0.748	5.190	1.143	0.780
2.000	0.025	248.90	406.29	419.10	450.92	1.713	18.182	0.748	4.946	1.115	0.775
2.500	0.025	248.16	408.19	414.07	441.43	1.609	22.676	0.748	4.849	1.066	0.780
3.000	0.025	248.74	407.42	414.38	443.14	1.619	27.941	0.748	4.817	1.042	0.784
0.125	0.025	242.03	414.82	428.77	467.54	1.723	1.241	0.678	4.157	1.234	0.703
0.250	0.025	246.25	405.18	421.77	456.19	1.723	2.415	0.713	4.617	1.314	0.715
0.500	0.025	248.00	406.46	414.10	444.26	1.504	4.581	0.722	5.200	1.368	0.737
1.000	0.025	247.42	406.91	413.70	442.56	1.515	9.204	0.739	5.226	1.200	0.770
1.500	0.025	247.73	406.59	414.08	442.89	1.515	13.772	0.739	5.114	1.139	0.777
2.000	0.025	247.87	406.08	418.17	450.89	1.640	18.269	0.739	4.935	1.075	0.782
2.500	0.025	247.58	408.32	413.02	441.40	1.525	22.676	0.739	4.851	1.050	0.784
3.000	0.025	247.85	406.78	414.53	444.06	1.556	27.993	0.739	4.792	0.984	0.795

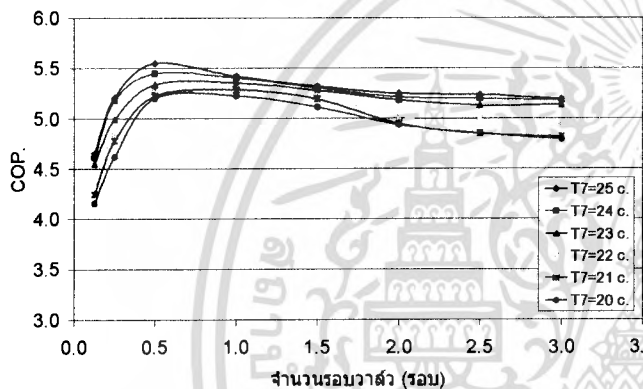
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



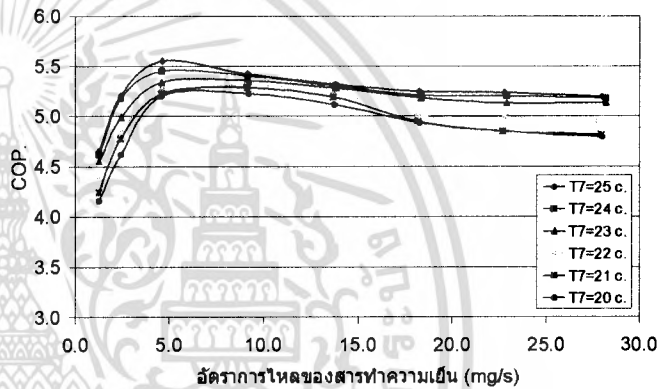
กราฟที่ 4-21 COP จริง ของ R-134a ที่อุณหภูมิ  
การทำความเย็นต่าง ๆ ต่อรอบมวล



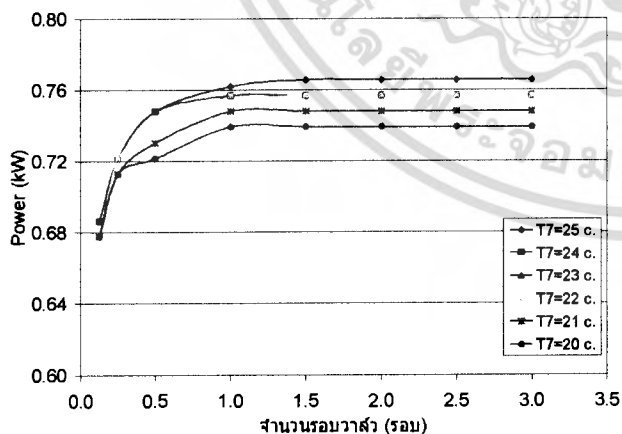
กราฟที่ 4-22 COP จริง ของ R-134a ที่  
อุณหภูมิกการทำความเย็นต่าง ๆ  
ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น



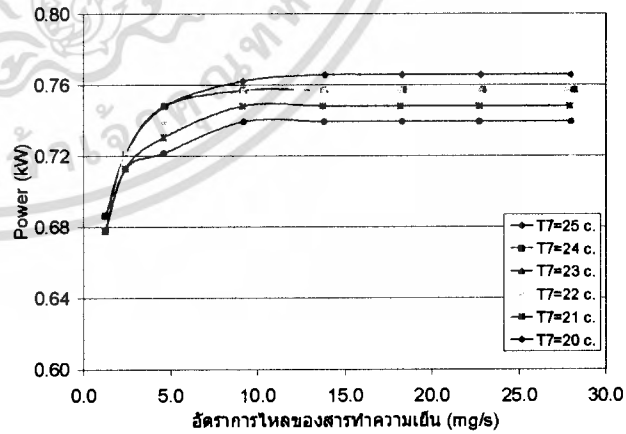
กราฟที่ 4-23 COP ทฤษฎี ของ R-134a ที่  
อุณหภูมิกการทำความเย็นต่าง ๆ ต่อรอบมวล



กราฟที่ 4-24 COP ทฤษฎี ของ R-134a ที่  
อุณหภูมิกการทำความเย็นต่าง ๆ  
ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น

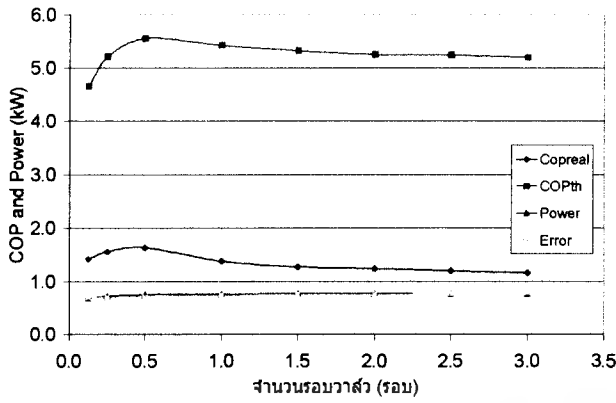


กราฟที่ 4-25 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่  
อุณหภูมิกต่าง ๆ ของสาร R-134a ต่อรอบมวล

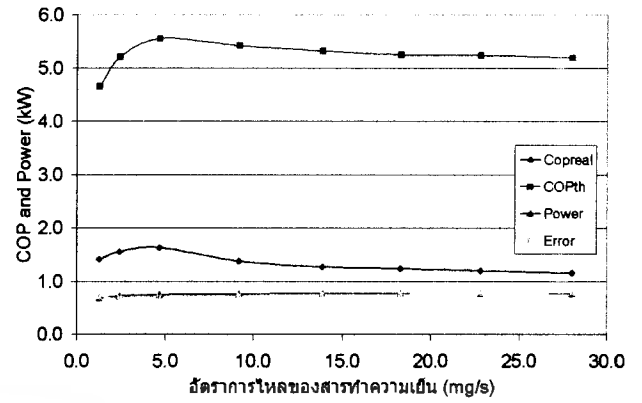


กราฟที่ 4-26 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่  
อุณหภูมิกต่าง ๆ ของสาร R-134a  
ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น

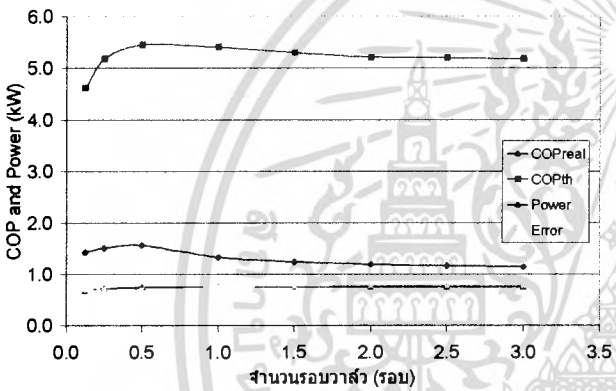
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



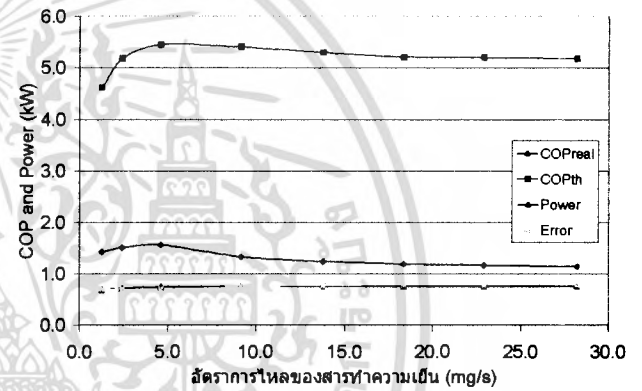
กราฟที่ 4-27 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 25 °C ต่อรอบวาล์ว



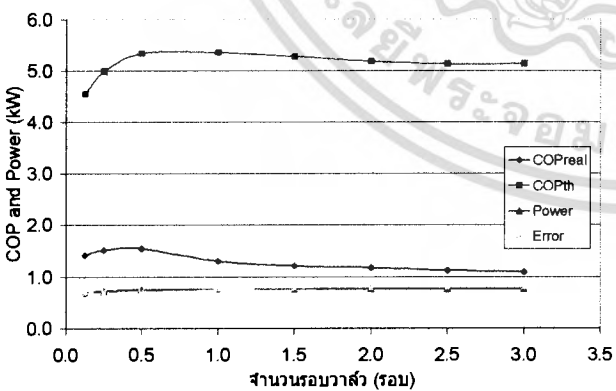
กราฟที่ 4-28 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 25 °C ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น



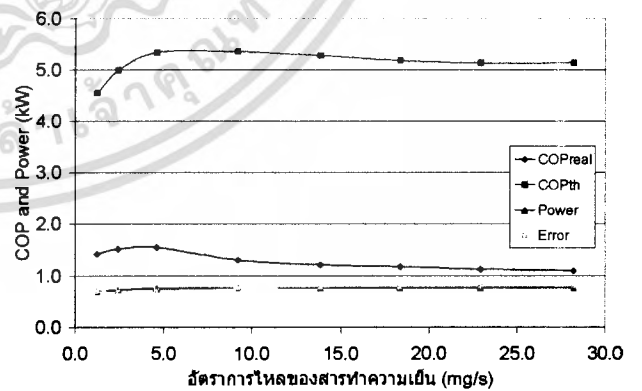
กราฟที่ 4-29 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 24 °C ต่อรอบวาล์ว



กราฟที่ 4-30 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 24 °C ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น

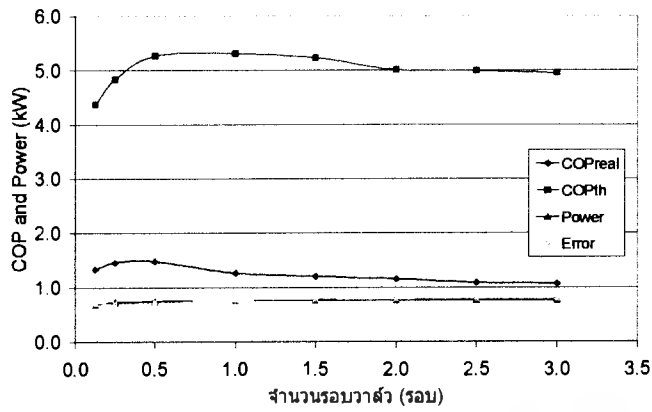


กราฟที่ 4-31 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 23 °C ต่อรอบวาล์ว

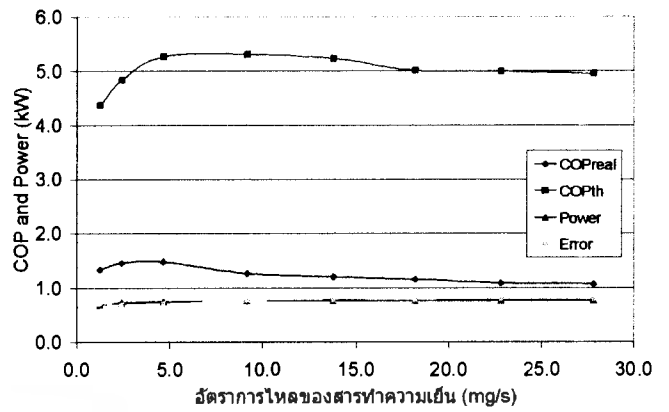


กราฟที่ 4-32 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 23 °C ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น

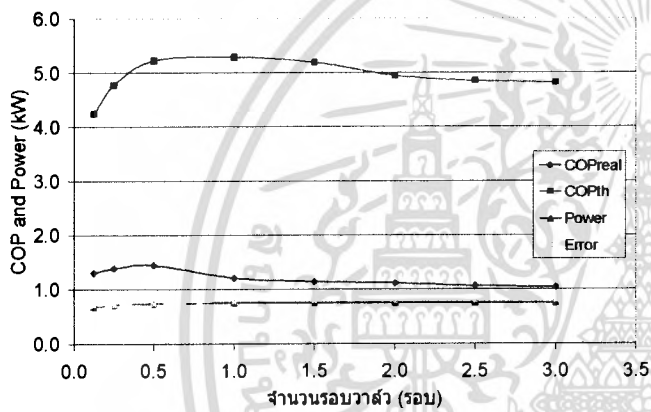
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



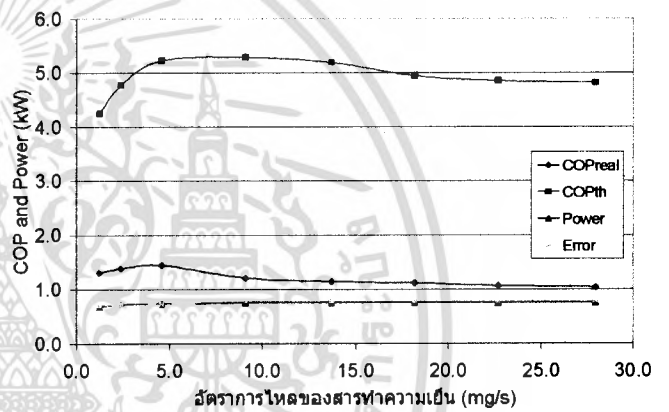
กราฟที่ 4-33 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 22 °C ต่อรอบวาล์ว



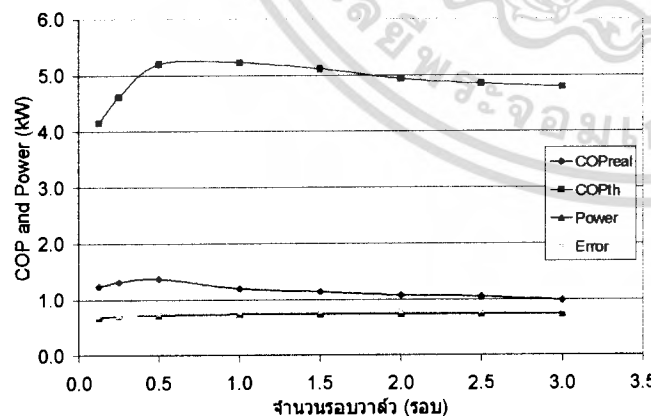
กราฟที่ 4-34 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 22 °C ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น



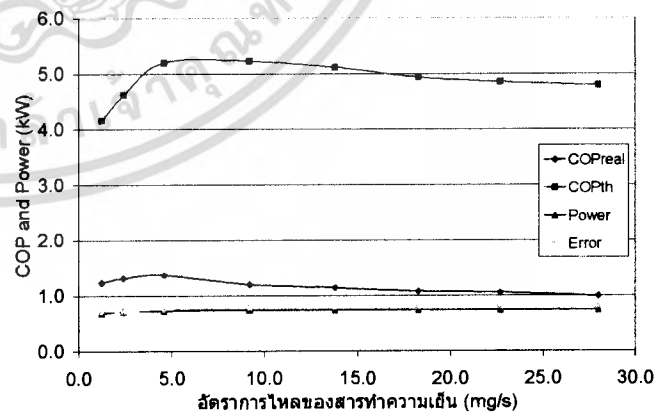
กราฟที่ 4-35 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 21 °C ต่อรอบวาล์ว



กราฟที่ 4-36 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 21 °C ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น



กราฟที่ 4-37 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 20 °C ต่อรอบวาล์ว



กราฟที่ 4-38 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 20 °C ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## วิเคราะห์

จากตารางข้อมูลเบื้องต้น และตารางที่ได้จากการคำนวณของ R-134a ผู้วิจัยได้นำค่าเหล่านี้มาเขียนกราฟแสดงสมรรถนะทางการทดสอบ ( $COP_{real}$ ) ดังกราฟ 4-21,4-22, กราฟสมรรถนะทางทฤษฎี ( $COP_{th}$ ) ดังกราฟ 4-23,4-24, กำลังไฟฟ้าที่ให้กับคอมเพรสเซอร์ (Power) ดังกราฟ 4-25,4-26 และแยกกราฟเพื่อพิจารณาเปรียบเทียบ ค่า  $COP_{real}$ ,  $COP_{th}$ , Power และค่าความคลาดเคลื่อน (Error) ในแต่ละอุณหภูมิการทำงาน ดังกราฟ 4-27 ถึง 4-38 จากกราฟ  $COP_{real}$  พบว่า ค่า COP มีค่าสูงสุดของทุกอุณหภูมิการทำงานที่รอบวาล์ว  $\frac{1}{2}$  รอบ หรือที่อัตราการไหล 5 mg/s แล้วค่า COP จะมีค่าลดลงเรื่อย ๆ อย่างต่อเนื่องเมื่อเปิดวาล์วมากขึ้น และเมื่อพิจารณาแต่ละอุณหภูมิการทำงานที่จำนวนรอบวาล์วต่าง ๆ พบว่า ที่อุณหภูมิการทำงานสูงกว่าจะให้ค่า COP สูงกว่าตามลำดับ ซึ่งผลการทดสอบทั้งหมดเป็นไปตามหลักการทางทฤษฎี ดังกราฟ 4-23,4-24 เพียงแต่มีค่าความแตกต่างค่อนข้างมาก ซึ่งสาเหตุเหล่านี้เนื่องมาจากปัจจัยต่าง ๆ ของระบบทดสอบ เช่น ประสิทธิภาพของอุปกรณ์แต่ละชิ้นในระบบทดสอบ, การติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยให้การระบายความร้อนของระบบดีขึ้น ถือเป็นการช่วยคอนเดนเซอร์ระบายความร้อนอีกแรง แต่มีข้อด้อยคือ ทำให้ความหนาแน่นของสารทำความเย็นในสภาวะไอคง (superheated) ก่อนเข้าคอมเพรสเซอร์ลดลง ส่งผลให้อัตราการไหลของระบบลดลง ที่ยที่สุด ทำให้ COP ของระบบลดลงนั่นเอง และจากกราฟกำลังไฟฟ้าที่ต้องให้กับคอมเพรสเซอร์ พบว่าที่รอบวาล์ว  $\frac{1}{2}$  รอบ ค่ากำลังไฟฟ้าที่ต้องป้อนให้กับคอมเพรสเซอร์จะสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และค่าเกือบคงที่ในที่สุด และเมื่อพิจารณาแต่ละอุณหภูมิการทำงานที่จำนวนรอบวาล์วต่าง ๆ พบว่าที่อุณหภูมิการทำงานสูงกว่าจะให้ค่า COP สูงกว่าตามลำดับ ข้อสังเกตคือ ที่อุณหภูมิการทำงานสูงกว่า ใช้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงกว่า และ COP ก็สูงกว่าด้วย นั่นหมายความว่า ที่อุณหภูมิการทำงานที่สูงกว่า ค่าความแตกต่างของอัตราส่วนระหว่างอัตราปริมาณการถ่ายเทความร้อนที่อีวาโพเรเตอร์ กับกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้คอมเพรสเซอร์สูงด้วยนั่นเอง และจากกราฟ 4-27 ถึง 4-38 พบว่า แนวโน้มของผลการทดสอบทั้งหมด มีความคล้ายคลึงกัน ในทุกรอบวาล์ว และทุกอุณหภูมิการทำงาน จากกราฟค่าความคลาดเคลื่อนของสมรรถนะ (Error) พบว่า ค่าค่อนข้างคงที่ นั่นแสดงว่า ผลการทดสอบมีแนวโน้มเป็นไปตามหลักการทางทฤษฎีจริง เมื่อพิจารณา กำลังไฟฟ้าที่ต้องให้กับคอมเพรสเซอร์ สำหรับสารทำความเย็น R-134a พบว่า มีค่าไม่สูงมากนัก สาเหตุเนื่องจากความดันในการทำงานของระบบทดสอบมีค่าไม่สูงมาก ซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะของ R-134a เอง จึงทำให้คอมเพรสเซอร์ใช้กำลังในการอัดความดันดังกล่าวไม่มากนัก

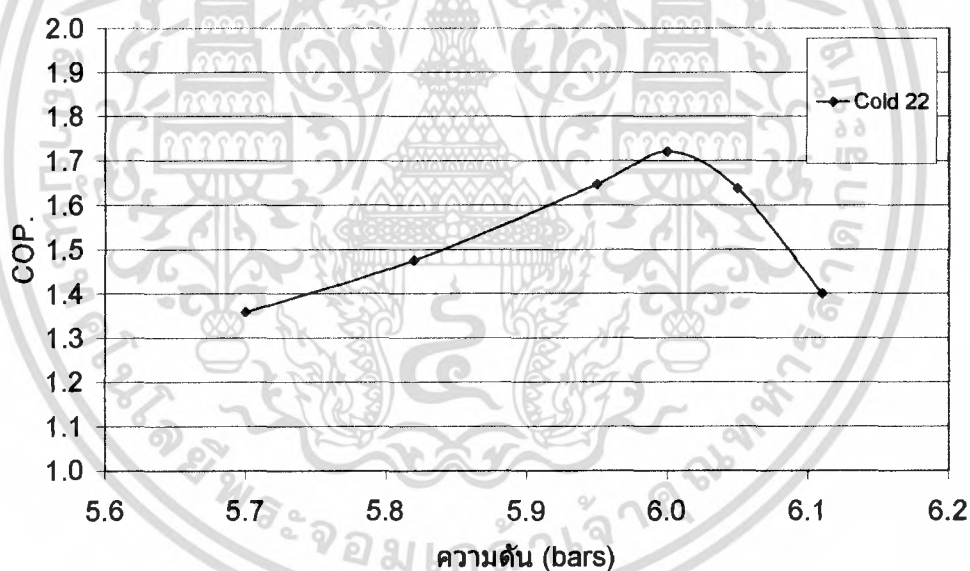
### 4.3 สารทำความเย็น Cold 22

ก่อนทำการทดสอบ ผู้ทดสอบได้ทดสอบ เพื่อพิจารณาเลือกความดันด้านดูด ( $P_4$ ) พิจารณาสารทำความเย็น Cold 22, ที่จำนวนรอบวาล์ว  $\frac{1}{2}$  รอบ, อุณหภูมิการทำงานเย็น  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  จะได้ข้อมูลเบื้องต้นจากการทำงานของระบบที่สภาวะความดันด้านดูดต่าง ๆ ดังนี้

ตารางที่ 4-7 ตารางการพิจารณาเลือกความดันด้านดูดของ Cold-22

I(comp)	V water	$P_4$ (bars)	$T_6$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$T_7$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	Q	Power	COP
4.45	0.025	5.70	30.70	25	0.595	0.979	1.358
4.45	0.025	5.82	31.80	25	0.710	0.979	1.476
4.50	0.025	5.95	33.50	25	0.888	0.990	1.647
4.50	0.025	6.00	34.20	25	0.961	0.990	1.721
4.55	0.025	6.05	33.50	25	0.888	1.001	1.637
4.60	0.025	6.11	31.30	25	0.658	1.012	1.400

นำค่าที่ได้จากข้อมูลเบื้องต้น ไปตรวจสอบเพื่อพิจารณาเลือกความดันด้านดูด ( $P_4$ ) โดยพิจารณาเปรียบเทียบกับกราฟสมรรถนะ (COP) ได้ดังนี้



กราฟที่ 4-39 กราฟพิจารณาความดันด้านดูด ของสารทำความเย็น Cold-22

จากกราฟผลการตรวจสอบ พิจารณาเลือกความดันด้านดูดของสารทำความเย็นที่ 6.0 bars กับสารทำความเย็น Cold 22, ที่จำนวนรอบวาล์ว  $\frac{1}{2}$  รอบ, อุณหภูมิการทำงานเย็น  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4-8 ตารางข้อมูลเบื้องต้นของการทดสอบกับสารทำความเย็น Cold-22**

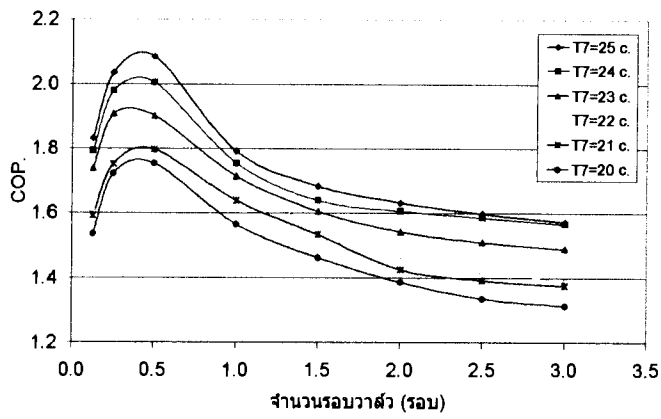
No.	I(comp)	V(water)	T <sub>1</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>
0.125	4.60	0.025	29.9	20.4	35.3	80.0	41.4	25	11.55	2.96	2.12	3.60	11.60
0.250	4.90	0.025	33.5	20.4	31.5	69.0	39.5	25	12.25	4.43	3.51	5.00	12.30
0.500	5.03	0.025	33.6	19.6	30.5	66.0	37.8	25	12.45	5.36	4.37	5.80	12.50
1.000	5.20	0.025	36.5	20.8	29.4	66.0	37.5	25	12.70	5.91	4.97	6.40	12.75
1.500	5.30	0.025	36.6	20.4	29.2	65.6	38.6	25	12.70	5.86	4.95	6.35	12.75
2.000	5.30	0.025	36.4	20.2	28.5	65.3	38.7	25	12.75	5.83	4.92	6.30	12.80
2.500	5.32	0.025	36.5	20.0	27.9	65.0	38.4	25	12.75	5.87	4.95	6.30	12.80
3.000	5.32	0.025	36.4	19.8	27.9	65.0	38.1	25	12.80	5.88	4.95	6.25	12.85
0.125	4.60	0.025	29.2	18.6	34.4	81.0	39.4	24	11.55	2.92	2.16	3.55	11.60
0.250	4.90	0.025	33.1	19.4	30.8	69.0	38.5	24	12.25	4.41	3.48	4.95	12.30
0.500	5.00	0.025	33.5	18.7	29.5	65.5	36.6	24	12.45	5.25	4.26	5.75	12.50
1.000	5.20	0.025	36.4	19.8	29.3	65.8	36.3	24	12.65	5.88	4.91	6.35	12.70
1.500	5.30	0.025	36.7	18.6	28.4	65.5	37.5	24	12.70	5.80	4.90	6.30	12.75
2.000	5.30	0.025	36.9	19.3	28.4	64.9	37.5	24	12.70	5.80	4.87	6.25	12.75
2.500	5.32	0.025	37.0	19.1	28.1	64.5	37.2	24	12.75	5.85	4.87	6.25	12.80
3.000	5.32	0.025	37.0	19.1	28.1	64.3	36.9	24	12.75	5.86	4.85	6.20	12.80
0.125	4.60	0.025	29.6	18.4	34.2	81.5	37.6	23	11.45	2.89	2.13	3.55	11.50
0.250	4.90	0.025	33.4	18.5	30.4	69.0	37.5	23	12.05	4.40	3.47	4.90	12.10
0.500	5.00	0.025	33.2	17.4	28.7	65.0	35.4	23	12.25	5.22	4.23	5.70	12.30
1.000	5.20	0.025	36.4	18.5	28.5	65.0	35.5	23	12.50	5.81	4.84	6.25	12.55
1.500	5.30	0.025	36.4	17.8	27.8	64.6	36.5	23	12.55	5.79	4.85	6.20	12.60
2.000	5.30	0.025	36.6	18.6	27.3	64.0	35.5	23	12.55	5.79	4.83	6.20	12.60
2.500	5.32	0.025	36.7	18.4	27.1	63.8	35.2	23	12.60	5.80	4.84	6.20	12.65
3.000	5.33	0.025	36.5	18.2	27.1	63.5	34.8	23	12.60	5.81	4.85	6.14	12.65
0.125	4.60	0.025	29.2	17.4	34.4	82.0	37.5	22	11.88	2.98	2.20	3.55	11.50
0.250	4.90	0.025	33.2	17.6	29.6	69.0	36.4	22	11.95	4.38	3.42	4.90	12.00
0.500	5.00	0.025	32.8	16.4	27.4	64.0	34.4	22	12.15	5.20	4.20	5.65	12.20
1.000	5.20	0.025	35.7	17.4	27.5	64.3	33.5	22	12.45	5.79	4.80	6.20	12.50
1.500	5.30	0.025	35.5	16.4	26.5	63.8	34.5	22	12.50	5.72	4.85	6.20	12.55
2.000	5.30	0.025	36.0	15.5	26.3	63.4	33.5	22	12.50	5.75	4.80	6.20	12.55
2.500	5.32	0.025	35.9	15.2	26.1	63.0	33.2	22	12.55	5.76	4.81	6.20	12.60
3.000	5.33	0.025	35.4	15.1	26.0	63.0	32.8	22	12.55	5.75	4.81	6.14	12.60
0.125	4.60	0.025	29.6	16.5	33.2	82.5	36.4	21	11.45	2.89	2.10	3.40	11.50
0.250	4.90	0.025	33.4	16.5	29.3	69.0	34.6	21	11.95	4.37	3.40	4.90	12.00
0.500	5.00	0.025	32.2	15.6	27.5	63.5	33.4	21	12.10	5.17	4.18	5.60	12.15
1.000	5.20	0.025	35.6	15.8	26.5	63.7	32.5	21	12.40	5.72	4.78	6.15	12.45
1.500	5.30	0.025	35.2	14.4	25.8	62.9	33.5	21	12.45	5.70	4.80	6.15	12.50
2.000	5.30	0.025	36.0	15.5	26.3	63.4	33.5	21	12.45	5.70	4.78	6.10	12.50
2.500	5.32	0.025	35.6	15.2	25.6	63.1	33.2	21	12.50	5.71	4.80	6.10	12.55
3.000	5.32	0.025	35.4	14.8	25.5	62.8	32.8	21	12.50	5.70	4.80	6.10	12.55
0.125	4.55	0.025	29.6	14.5	33.3	82.5	33.5	20	11.45	2.80	2.00	3.40	11.50
0.250	4.90	0.025	33.0	15.4	28.5	69.0	33.7	20	11.95	4.30	3.38	4.85	12.00
0.500	5.00	0.025	32.4	14.7	26.5	62.5	32.4	20	12.05	5.12	4.13	5.60	12.10
1.000	5.20	0.025	35.4	13.6	25.4	62.8	31.4	20	12.35	5.64	4.70	6.10	12.40
1.500	5.25	0.025	35.2	14.1	25.2	61.7	31.5	20	12.40	5.60	4.70	6.05	12.45
2.000	5.30	0.025	35.5	14.1	25.5	62.3	31.7	20	12.40	5.60	4.67	6.10	12.45
2.500	5.32	0.025	35.6	14.0	25.5	62.1	31.4	20	12.45	5.62	4.67	6.10	12.55
3.000	5.32	0.025	35.4	13.8	25.3	61.8	31.1	20	12.50	5.60	4.66	6.10	12.55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

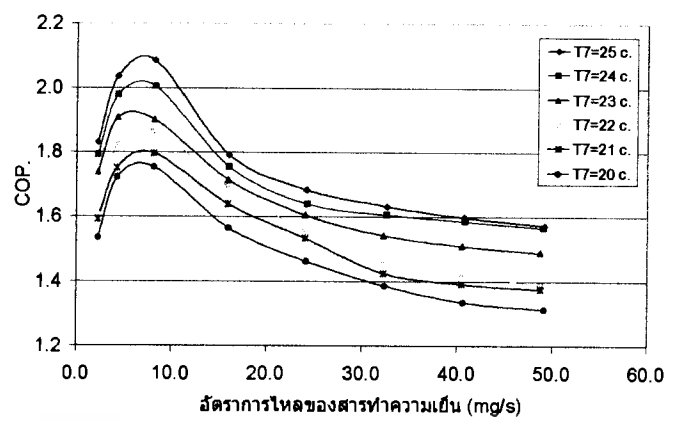
ตารางที่ 4-9 ตารางแสดงผลการคำนวณของสารทำความเย็น Cold-22

No.	M(water)	$h_1=h_2$	$h_3$	$h_4$	$h_5$	$Q=mc\Delta T$	$R_f$	$W=IV$	COP ทฤษฎี	COP จริง	Error
0.125	0.025	276.90	619.67	643.53	706.66	2.123	2.227	0.810	4.932	1.832	0.629
0.250	0.025	286.68	616.37	632.10	681.07	1.877	4.306	0.862	6.430	2.036	0.683
0.500	0.025	286.96	609.97	627.48	674.00	1.657	8.201	0.885	6.732	2.086	0.690
1.000	0.025	294.99	611.60	623.22	673.22	1.618	16.051	0.915	6.405	1.792	0.720
1.500	0.025	295.23	609.34	623.09	672.37	1.761	24.218	0.933	6.350	1.684	0.735
2.000	0.025	294.68	608.88	622.00	671.59	1.774	32.619	0.933	6.294	1.632	0.741
2.500	0.025	294.83	609.16	622.65	671.55	1.735	40.761	0.936	6.275	1.598	0.745
3.000	0.025	295.14	610.56	622.56	671.94	1.696	49.192	0.936	6.252	1.572	0.749
0.125	0.025	274.96	616.41	642.12	708.83	1.994	2.233	0.810	4.918	1.793	0.635
0.250	0.025	285.60	612.96	631.31	681.07	1.877	4.312	0.862	6.379	1.980	0.690
0.500	0.025	286.65	608.82	625.85	673.53	1.631	8.265	0.880	6.657	2.005	0.699
1.000	0.025	294.68	608.26	623.25	672.84	1.592	16.028	0.915	6.323	1.755	0.722
1.500	0.025	295.54	606.32	621.77	672.60	1.748	24.324	0.933	6.312	1.639	0.740
2.000	0.025	296.08	607.40	622.00	671.05	1.748	32.572	0.933	6.265	1.606	0.744
2.500	0.025	296.55	607.45	623.56	672.22	1.709	40.820	0.936	6.226	1.586	0.745
3.000	0.025	295.32	607.26	623.48	672.65	1.670	49.085	0.936	6.210	1.566	0.748
0.125	0.025	276.04	616.18	641.73	710.15	1.890	2.224	0.810	4.971	1.738	0.650
0.250	0.025	286.37	611.40	630.47	681.69	1.877	4.259	0.862	6.346	1.908	0.699
0.500	0.025	285.07	606.55	624.53	673.38	1.605	8.166	0.880	6.581	1.902	0.711
1.000	0.025	294.68	606.08	622.16	671.52	1.618	15.933	0.915	6.309	1.715	0.728
1.500	0.025	294.68	605.00	621.07	670.82	1.748	24.076	0.933	6.238	1.605	0.743
2.000	0.025	295.23	606.32	620.14	669.73	1.618	32.240	0.933	6.233	1.542	0.753
2.500	0.025	295.66	606.25	621.59	669.26	1.579	40.523	0.936	6.223	1.509	0.758
3.000	0.025	295.85	606.39	621.54	670.32	1.528	48.728	0.938	6.198	1.489	0.760
0.125	0.025	274.96	614.24	642.12	711.16	2.007	2.267	0.810	4.914	1.607	0.673
0.250	0.025	285.83	610.00	628.99	682.00	1.864	4.237	0.862	6.115	1.824	0.702
0.500	0.025	284.78	604.84	622.28	672.06	1.605	8.120	0.880	6.429	1.865	0.710
1.000	0.025	296.02	604.30	620.45	670.35	1.489	15.897	0.915	6.178	1.697	0.725
1.500	0.025	295.64	602.67	618.66	669.11	1.618	24.112	0.933	6.176	1.555	0.748
2.000	0.025	294.68	602.98	620.14	669.26	1.489	32.216	0.933	6.145	1.466	0.761
2.500	0.025	296.36	603.55	620.55	669.11	1.450	40.494	0.936	6.135	1.422	0.768
3.000	0.025	295.47	602.87	620.36	669.58	1.398	48.764	0.938	6.129	1.388	0.774
0.125	0.025	276.04	613.07	640.41	712.25	1.994	2.224	0.810	4.691	1.592	0.661
0.250	0.025	286.33	608.14	628.45	682.00	1.761	4.240	0.862	6.010	1.752	0.708
0.500	0.025	283.15	603.56	622.66	670.97	1.605	8.108	0.880	6.332	1.797	0.716
1.000	0.025	292.51	601.42	618.82	669.03	1.489	15.921	0.915	6.152	1.639	0.734
1.500	0.025	291.38	599.25	618.55	667.32	1.618	24.058	0.933	6.150	1.533	0.751
2.000	0.025	293.60	600.88	618.59	668.41	1.618	32.216	0.933	6.124	1.425	0.767
2.500	0.025	293.45	601.22	618.25	667.85	1.579	40.494	0.936	6.112	1.392	0.772
3.000	0.025	294.22	601.89	618.59	667.26	1.528	48.764	0.936	6.085	1.375	0.774
0.125	0.025	276.04	610.04	640.64	712.25	1.748	2.235	0.801	4.664	1.535	0.671
0.250	0.025	285.29	606.35	627.13	682.00	1.774	4.259	0.862	5.851	1.723	0.706
0.500	0.025	283.69	602.08	620.88	669.57	1.605	8.108	0.880	6.239	1.755	0.719
1.000	0.025	291.89	597.85	616.96	667.09	1.476	15.957	0.915	6.103	1.565	0.744
1.500	0.025	291.38	593.66	616.80	665.07	1.489	24.147	0.924	6.062	1.462	0.759
2.000	0.025	292.20	595.21	617.11	666.31	1.515	32.335	0.933	6.059	1.386	0.771
2.500	0.025	291.56	600.62	616.23	665.46	1.476	40.613	0.936	6.022	1.335	0.778
3.000	0.025	291.52	601.32	616.91	665.61	1.437	49.121	0.936	6.003	1.313	0.781

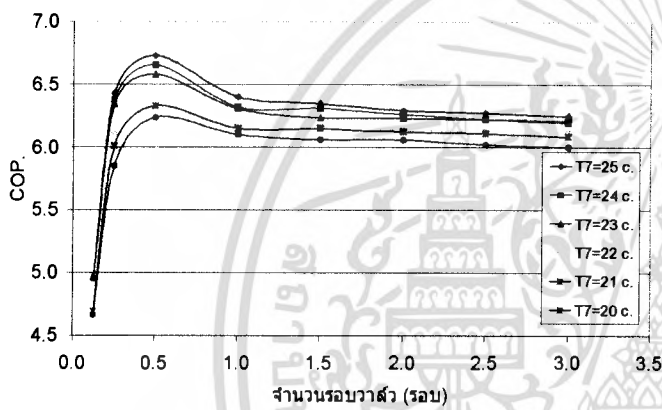
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



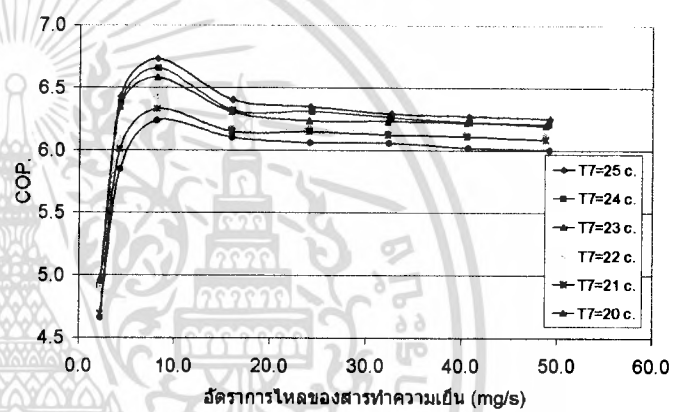
กราฟที่ 4-40 COP จริง ของ Cold-22 ที่อุณหภูมิการทำความเย็นต่าง ๆ ต่อรอบวาล์ว



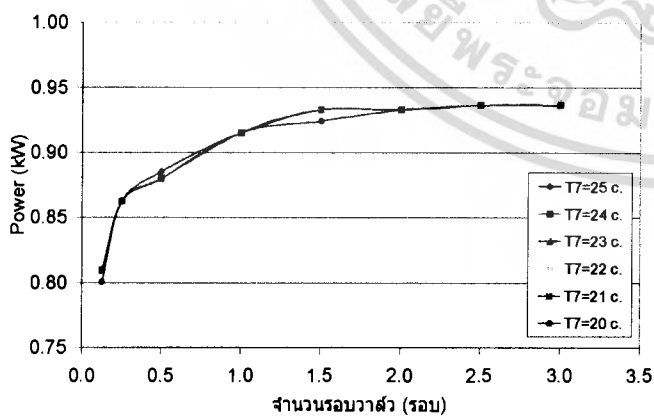
กราฟที่ 4-41 COP จริง ของ Cold-22 ที่อุณหภูมิการทำความเย็นต่าง ๆ ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น



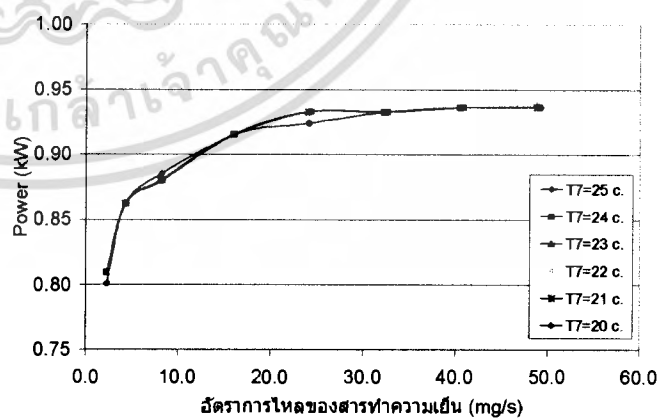
กราฟที่ 4-42 COP ทฤษฎี ของ Cold-22 ที่อุณหภูมิการทำความเย็นต่าง ๆ ต่อรอบวาล์ว



กราฟที่ 4-43 COP ทฤษฎี ของ Cold-22 ที่อุณหภูมิการทำความเย็นต่าง ๆ ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น

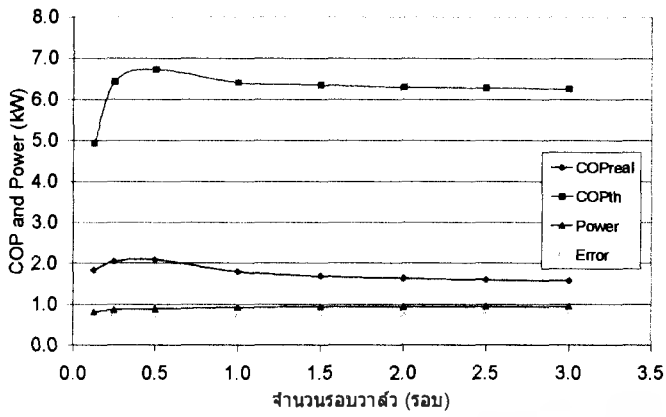


กราฟที่ 4-44 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของสาร Cold-22 ต่อรอบวาล์ว

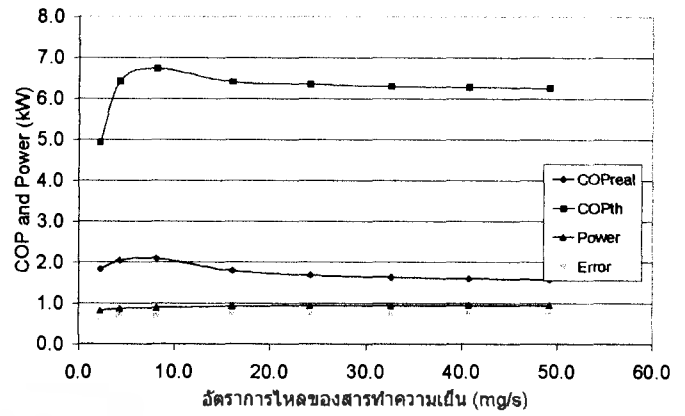


กราฟที่ 4-45 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของสาร Cold-22 ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



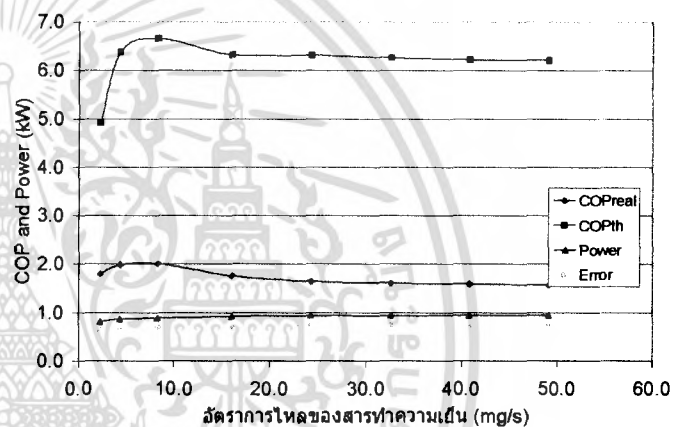
กราฟที่ 4-46 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 25 °C ต่อรอบวาล์ว



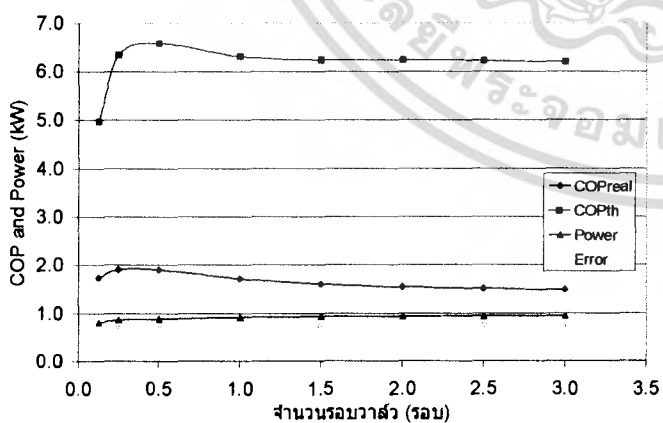
กราฟที่ 4-47 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 25 °C ต่อ อัตราการไหลของสารทำความเย็น



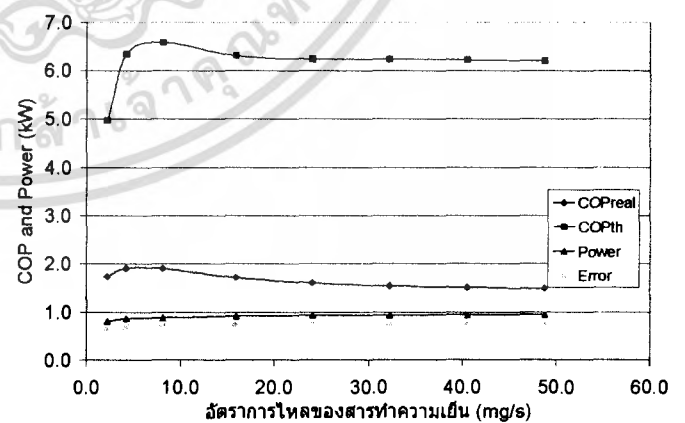
กราฟที่ 4-48 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 24 °C ต่อรอบวาล์ว



กราฟที่ 4-49 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 24 °C ต่อ อัตราการไหลของสารทำความเย็น

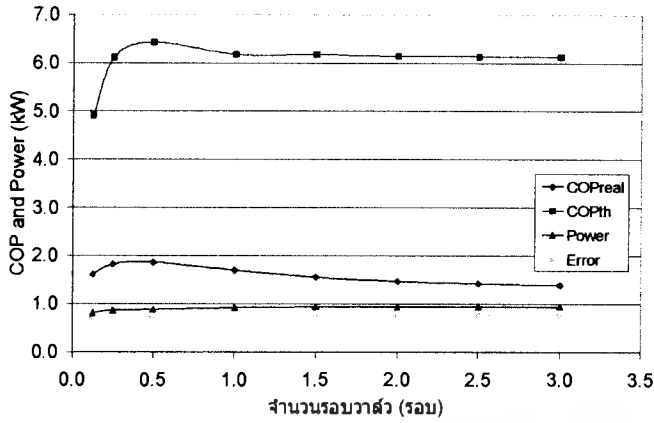


กราฟที่ 4-50 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 23 °C ต่อรอบวาล์ว

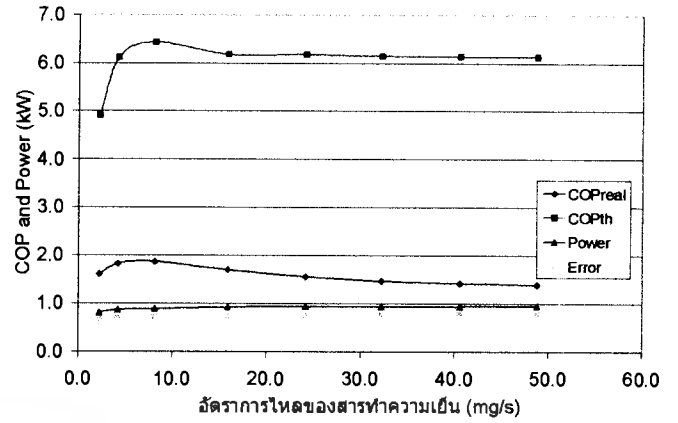


กราฟที่ 4-51 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 23 °C ต่อ อัตราการไหลของสารทำความเย็น

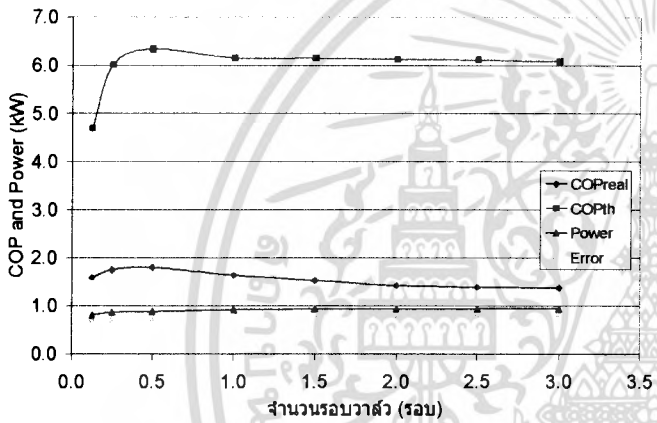
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



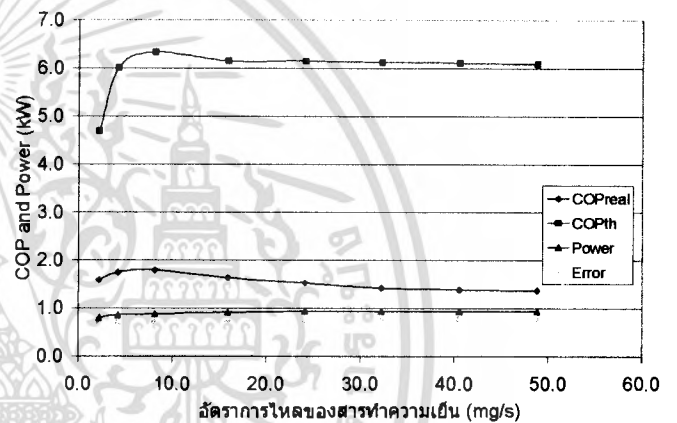
กราฟที่ 4-52 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 22 °C ต่อรอบวาล์ว



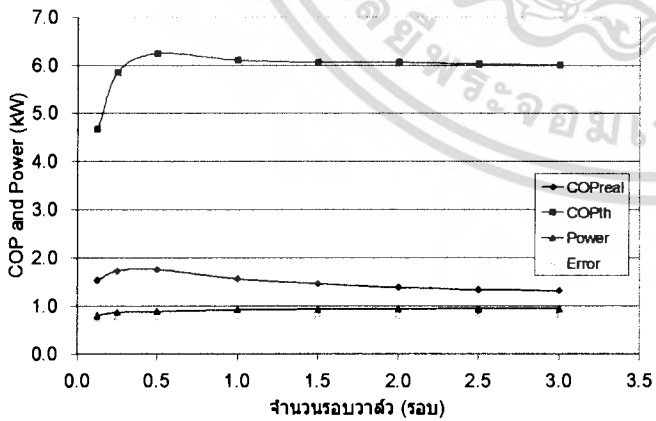
กราฟที่ 4-53 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 22 °C ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น



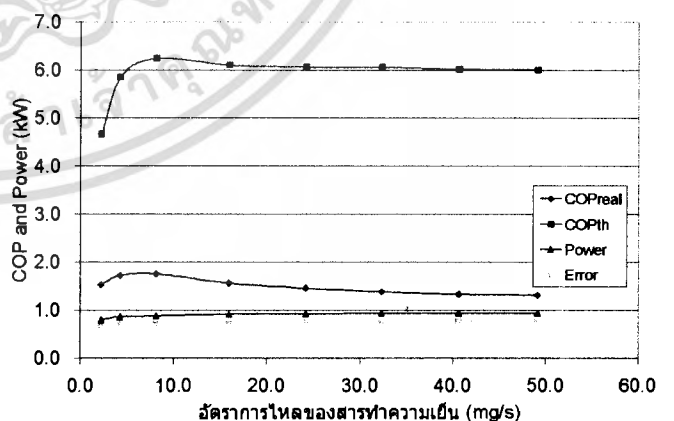
กราฟที่ 4-54 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 21 °C ต่อรอบวาล์ว



กราฟที่ 4-55 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 21 °C ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น



กราฟที่ 4-56 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 20 °C ต่อรอบวาล์ว



กราฟที่ 4-57 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง, COP ทฤษฎี และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 20 °C ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## วิเคราะห์

จากตารางข้อมูลเบื้องต้น และตารางที่ได้จากการคำนวณของ Cold-22 ผู้วิจัยได้นำค่าเหล่านี้มาเขียนกราฟแสดงสมรรถนะทางการทดสอบ ( $COP_{real}$ ) ดังกราฟ 4-40,4-41, กราฟสมรรถนะทางทฤษฎี ( $COP_{th}$ ) ดังกราฟ 4-42,4-43, กำลังไฟฟ้าที่ให้กับคอมเพรสเซอร์ (Power) ดังกราฟ 4-44,4-45, และแยกกราฟเพื่อพิจารณาเปรียบเทียบ ค่า  $COP_{real}$ ,  $COP_{th}$ , Power และค่าความคลาดเคลื่อน (Error) ในแต่ละอุณหภูมิการทำงานเป็น ดังกราฟ 4-46 ถึง 4-57 จากกราฟ  $COP_{real}$  พบว่า ค่า COP มีค่าสูงสุดของทุกอุณหภูมิการทำงานที่รอบวาล์ว  $\frac{1}{2}$  รอบ หรือที่อัตราการไหล 5 mg/s แล้วค่า COP จะมีค่าลดลงเรื่อยๆ อย่างต่อเนื่องเมื่อเปิดวาล์วมากขึ้น และเมื่อพิจารณาแต่ละอุณหภูมิการทำงานที่จำนวนรอบวาล์วต่าง ๆ พบว่า ที่อุณหภูมิการทำงานสูงกว่าจะให้ค่า COP สูงกว่าตามลำดับ ซึ่งผลการทดสอบทั้งหมดเป็นไปตามหลักการทางทฤษฎี ดังกราฟ 4-42,4-43 เพียงแต่มีค่าความแตกต่างค่อนข้างมาก ซึ่งสาเหตุเหล่านี้เนื่องมาจากปัจจัยต่าง ๆ ของระบบทดสอบ เช่น ประสิทธิภาพของอุปกรณ์แต่ละชิ้นในระบบทดสอบ, การติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยให้การระบายความร้อนของระบบดีขึ้น ถือเป็นการช่วยคอนเดนเซอร์ระบายความร้อนอีกแรง แต่มีข้อด้อยคือ ทำให้ความหนาแน่นของสารทำความเย็นในสถานะไอคง (superheated) ก่อนเข้าคอมเพรสเซอร์ลดลง ส่งผลให้อัตราการไหลของระบบลดลง ทำให้อัตราการไหลที่ต่ำที่สุด ทำให้ COP ของระบบลดลงนั่นเอง และจากกราฟกำลังไฟฟ้าที่ต้องให้กับคอมเพรสเซอร์ พบว่าที่รอบวาล์ว  $\frac{1}{2}$  รอบ กำลังไฟฟ้าที่ต้องป้อนให้คอมเพรสเซอร์สูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และค่าเกือบคงที่ในที่สุด และเมื่อพิจารณาแต่ละอุณหภูมิการทำงานที่จำนวนรอบวาล์วต่าง ๆ พบว่าที่อุณหภูมิการทำงานสูงกว่าจะให้ค่า COP สูงกว่าตามลำดับ ข้อสังเกตคือ ที่อุณหภูมิการทำงานสูงกว่า ให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงกว่า และ COP ก็สูงกว่าด้วย นั่นหมายความว่า ที่อุณหภูมิการทำงานที่สูงกว่า ค่าความแตกต่างของอัตราส่วนระหว่างอัตราปริมาณการถ่ายเทความร้อนที่อีวาโปเรเตอร์ กับกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้คอมเพรสเซอร์สูงด้วยนั่นเอง และจากกราฟ 4-46 ถึง 4-57 พบว่า แนวโน้มของผลการทดสอบทั้งหมด มีความคล้ายคลึงกัน ในทุกรอบวาล์ว และทุกอุณหภูมิการทำงาน จากกราฟค่าความคลาดเคลื่อนของสมรรถนะ (Error) พบว่าค่าค่อนข้างคงที่ นั่นแสดงว่า ผลการทดสอบมีแนวโน้มเป็นไปตามหลักการทางทฤษฎีจริง เมื่อพิจารณา กำลังไฟฟ้าที่ต้องให้กับคอมเพรสเซอร์แล้ว สำหรับสารทำความเย็น Cold 22 พบว่าทุกรอบวาล์วและทุกอุณหภูมิการทำงาน มีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน และแสดงผลออกมาเท่ากัน ดังกราฟ 4-44,4-45 แต่ในความเป็นจริงแล้ว ที่อุณหภูมิการทำงานสูงกว่า กำลังไฟฟ้าที่ต้องให้คอมเพรสเซอร์ย่อมมากกว่าตามลำดับ แต่ในทางปฏิบัติ เนื่องจากขีดความสามารถในการแสดงผลของอุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้า จึงทำให้ผลการทดสอบที่แสดงออกมามีความละเอียดน้อย ค่าจึงออกมาเท่ากัน

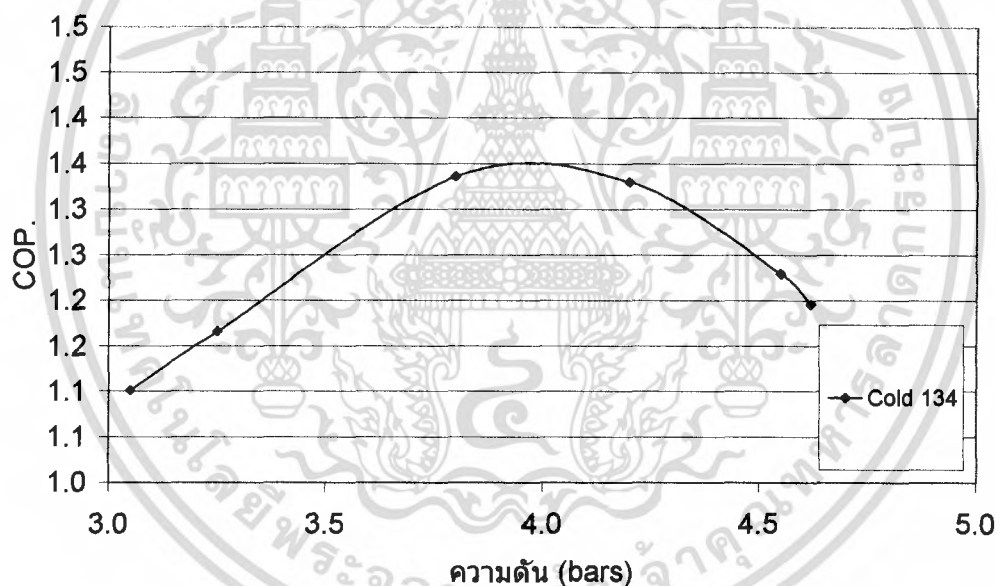
#### 4.4 สารทำความเย็น Cold 134

ก่อนทำการทดสอบ ผู้ทดสอบได้ทดสอบเพื่อพิจารณาเลือกความดันด้านดูด ( $P_4$ ) พิจารณาสารทำความเย็น Cold 134, ที่จำนวนรอบวาล์ว  $\frac{1}{2}$  รอบ, อุณหภูมิการทำงานเย็น  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  จะได้ข้อมูลเบื้องต้น จากการทำงานของระบบที่สภาวะความดันด้านดูดต่าง ๆ ดังนี้

ตารางที่ 4-10 ตารางการพิจารณาเลือกความดันด้านดูดของ Cold-134

I(comp)	V water	$P_4$ (bars)	$T_6$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$T_7$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	Q	Power	COP
4.15	0.025	3.05	35.50	25	1.097	0.913	1.101
4.20	0.025	3.25	36.20	25	1.170	0.924	1.166
4.20	0.025	3.80	37.70	25	1.327	0.924	1.336
4.25	0.025	4.20	37.80	25	1.337	0.935	1.330
4.25	0.025	4.55	36.90	25	1.243	0.935	1.229
4.25	0.025	4.62	36.60	25	1.212	0.935	1.196

นำค่าที่ได้จากข้อมูลเบื้องต้น ไปตรวจสอบเพื่อพิจารณาเลือกความดันด้านดูด ( $P_4$ ) โดยพิจารณาเปรียบเทียบจากกราฟสมรรถนะ (COP) ได้ดังนี้



กราฟที่ 4-58 กราฟพิจารณาความดันด้านดูด ของสารทำความเย็น Cold-134

จากกราฟผลการตรวจสอบ พิจารณาเลือกความดันด้านดูดของสารทำความเย็นที่ 4.0 bars กับสารทำความเย็น Cold 134, ที่จำนวนรอบวาล์ว  $\frac{1}{2}$  รอบ, อุณหภูมิการทำงานเย็น  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4-11 ตารางข้อมูลเบื้องต้นของการทดสอบกับสารทำความเย็น Cold-134

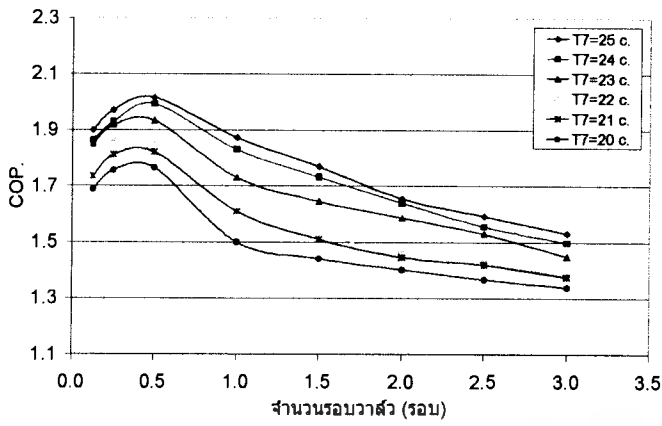
No.	l(comp)	V(water)	T <sub>1</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>
0.125	3.90	0.025	31.4	12.0	26.3	74.0	40.6	25	9.70	2.42	1.68	2.30	9.75
0.250	4.05	0.025	34.2	14.5	26.3	65.5	39.2	25	9.70	3.40	2.60	3.20	9.75
0.500	4.20	0.025	35.3	14.7	25.7	61.3	38.4	25	9.70	4.28	3.35	4.00	9.75
1.000	4.25	0.025	35.4	15.0	25.2	60.5	37.3	25	9.70	4.33	3.40	4.05	9.75
1.500	4.28	0.025	36.0	15.1	25.7	61.3	37.4	25	9.70	4.45	3.50	4.20	9.75
2.000	4.30	0.025	36.4	15.8	25.4	61.0	37.5	25	9.70	4.40	3.43	4.10	9.75
2.500	4.30	0.025	36.5	16.0	26.2	61.4	37.2	25	9.75	4.60	3.62	4.25	9.80
3.000	4.30	0.025	36.6	17.0	26.1	59.7	36.5	25	9.75	4.68	3.70	4.35	9.80
0.125	3.90	0.025	31.6	10.0	25.0	75.0	39.3	24	9.65	2.40	1.67	2.25	9.70
0.250	4.05	0.025	34.2	10.5	25.6	67.7	38.5	24	9.65	3.33	2.57	3.15	9.70
0.500	4.20	0.025	35.2	13.1	25.3	61.7	37.2	24	9.65	4.22	3.32	3.96	9.70
1.000	4.25	0.025	35.2	14.4	25.0	60.7	36.8	24	9.65	4.32	3.40	4.05	9.70
1.500	4.28	0.025	35.8	14.6	25.2	60.1	37.0	24	9.70	4.40	3.48	4.13	9.75
2.000	4.30	0.025	36.5	14.5	25.5	61.7	36.8	24	9.70	4.38	3.42	4.05	9.75
2.500	4.30	0.025	36.5	15.0	26.2	60.5	36.0	24	9.70	4.60	3.62	4.25	9.75
3.000	4.30	0.025	36.2	15.8	25.9	59.0	35.4	24	9.70	4.65	3.70	4.30	9.75
0.125	3.90	0.025	31.0	10.0	25.2	77.0	37.6	23	9.60	2.40	1.62	2.25	9.65
0.250	4.05	0.025	34.3	10.5	25.3	68.0	37.5	23	9.60	3.40	2.58	3.13	9.65
0.500	4.20	0.025	35.0	13.0	24.3	61.6	34.9	23	9.60	4.20	3.30	3.95	9.65
1.000	4.25	0.025	35.3	14.1	24.2	60.8	34.5	23	9.65	4.30	3.35	4.00	9.70
1.500	4.28	0.025	35.3	14.3	25.2	60.5	34.4	23	9.65	4.40	3.46	4.10	9.70
2.000	4.30	0.025	35.5	14.3	24.6	60.9	34.5	23	9.65	4.30	3.40	4.00	9.70
2.500	4.30	0.025	35.8	15.0	25.4	60.1	33.3	23	9.65	4.43	3.50	4.18	9.70
3.000	4.30	0.025	35.3	15.4	25.5	59.6	33.5	23	9.65	4.60	3.68	4.28	9.70
0.125	3.90	0.025	30.2	9.5	24.2	78.0	35.9	22	9.50	2.37	1.60	2.25	9.55
0.250	4.05	0.025	33.4	12.2	24.2	68.3	35.5	22	9.50	3.38	2.57	3.10	9.55
0.500	4.20	0.025	35.0	13.3	24.6	61.6	33.7	22	9.50	4.15	3.25	3.90	9.55
1.000	4.25	0.025	35.4	13.6	24.0	60.2	33.4	22	9.55	4.25	3.35	3.98	9.60
1.500	4.28	0.025	35.4	14.1	24.2	60.2	33.2	22	9.55	4.35	3.45	4.05	9.60
2.000	4.30	0.025	35.5	14.3	24.5	60.2	33.4	22	9.55	4.25	3.38	4.00	9.60
2.500	4.30	0.025	35.5	15.0	24.1	60.2	32.4	22	9.60	4.40	3.48	4.10	9.65
3.000	4.30	0.025	35.8	15.5	24.6	59.0	31.7	22	9.60	4.60	3.65	4.25	9.65
0.125	3.90	0.025	30.5	10.1	23.3	79.0	35.6	21	9.45	2.37	1.61	2.25	9.50
0.250	4.05	0.025	33.0	13.0	23.5	69.5	35.5	21	9.45	3.39	2.58	3.10	9.50
0.500	4.15	0.025	35.0	13.5	23.6	60.1	34.6	21	9.45	4.15	3.25	3.90	9.50
1.000	4.25	0.025	35.6	14.0	24.1	60.0	33.8	21	9.45	4.25	3.35	4.00	9.50
1.500	4.28	0.025	35.6	14.3	24.5	60.1	33.8	21	9.45	4.32	3.45	4.05	9.50
2.000	4.30	0.025	35.5	14.3	24.7	60.2	32.5	21	9.45	4.25	3.40	4.00	9.50
2.500	4.30	0.025	35.5	14.6	24.0	60.2	30.7	21	9.45	4.30	3.50	4.11	9.50
3.000	4.30	0.025	35.2	15.6	24.4	60.1	30.5	21	9.50	4.50	3.65	4.24	9.55
0.125	3.90	0.025	30.4	8.1	22.9	79.0	33.4	20	9.45	2.35	1.58	2.20	9.50
0.250	4.05	0.025	33.4	10.2	23.5	69.3	32.5	20	9.45	3.33	2.50	3.10	9.50
0.500	4.15	0.025	34.5	12.1	23.2	60.0	30.7	20	9.45	4.10	3.20	3.80	9.50
1.000	4.20	0.025	34.6	12.4	22.9	59.4	29.9	20	9.45	4.12	3.22	3.88	9.50
1.500	4.25	0.025	34.9	13.4	23.3	59.7	29.6	20	9.45	4.23	3.32	3.95	9.50
2.000	4.30	0.025	35.2	13.7	23.5	60.0	29.0	20	9.45	4.18	3.25	3.90	9.50
2.500	4.30	0.025	35.4	13.8	23.1	58.7	28.6	20	9.45	4.30	3.40	4.10	9.50
3.000	4.30	0.025	35.7	14.0	24.1	58.1	28.5	20	9.45	4.50	3.60	4.20	9.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

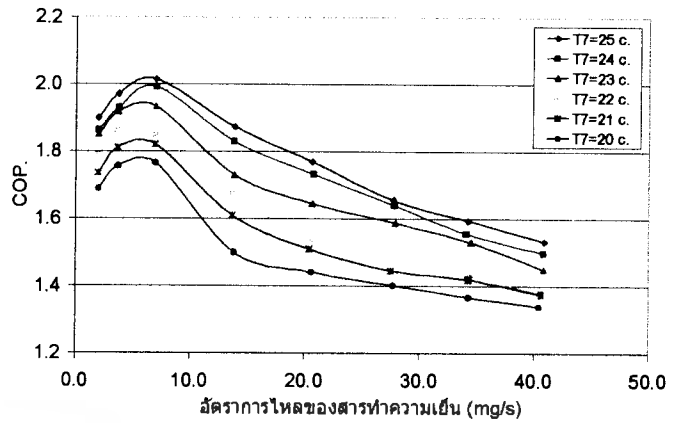
ตารางที่ 4-12 ตารางแสดงผลการคำนวณของสารทำความเย็น Cold-134

No.	M(water)	$R_f$	$Q=mc\Delta T$	$W=IV$	COP จริง
0.125	0.025	1.991	1.629	0.686	1.899
0.250	0.025	3.753	1.483	0.713	1.971
0.500	0.025	6.963	1.400	0.739	2.015
1.000	0.025	13.861	1.285	0.748	1.873
1.500	0.025	20.602	1.295	0.753	1.769
2.000	0.025	27.719	1.306	0.757	1.655
2.500	0.025	34.243	1.274	0.757	1.594
3.000	0.025	40.885	1.201	0.757	1.532
0.125	0.025	1.987	1.598	0.686	1.863
0.250	0.025	3.759	1.515	0.713	1.930
0.500	0.025	6.969	1.379	0.739	1.992
1.000	0.025	13.809	1.337	0.748	1.830
1.500	0.025	20.700	1.358	0.753	1.732
2.000	0.025	27.771	1.337	0.757	1.640
2.500	0.025	34.077	1.253	0.757	1.556
3.000	0.025	40.804	1.191	0.757	1.498
0.125	0.025	1.980	1.525	0.686	1.850
0.250	0.025	3.723	1.515	0.713	1.918
0.500	0.025	6.950	1.243	0.739	1.933
1.000	0.025	13.835	1.201	0.748	1.730
1.500	0.025	20.602	1.191	0.753	1.645
2.000	0.025	27.850	1.201	0.757	1.587
2.500	0.025	34.475	1.076	0.757	1.530
3.000	0.025	40.804	1.097	0.757	1.449
0.125	0.025	1.971	1.452	0.686	1.790
0.250	0.025	3.699	1.410	0.713	1.864
0.500	0.025	6.917	1.222	0.739	1.848
1.000	0.025	13.770	1.191	0.748	1.674
1.500	0.025	20.504	1.170	0.753	1.532
2.000	0.025	27.719	1.191	0.757	1.469
2.500	0.025	34.409	1.086	0.757	1.428
3.000	0.025	40.602	1.013	0.757	1.379
0.125	0.025	1.964	1.525	0.686	1.735
0.250	0.025	3.681	1.515	0.713	1.811
0.500	0.025	6.885	1.421	0.730	1.821
1.000	0.025	13.640	1.337	0.748	1.610
1.500	0.025	20.365	1.337	0.753	1.510
2.000	0.025	27.456	1.201	0.757	1.446
2.500	0.025	34.243	1.013	0.757	1.419
3.000	0.025	40.602	0.992	0.757	1.375
0.125	0.025	1.966	1.400	0.686	1.689
0.250	0.025	3.699	1.306	0.713	1.756
0.500	0.025	6.917	1.118	0.730	1.765
1.000	0.025	13.809	1.034	0.739	1.500
1.500	0.025	20.543	1.003	0.748	1.441
2.000	0.025	27.641	0.940	0.757	1.402
2.500	0.025	34.243	0.898	0.757	1.367
3.000	0.025	40.398	0.888	0.757	1.339

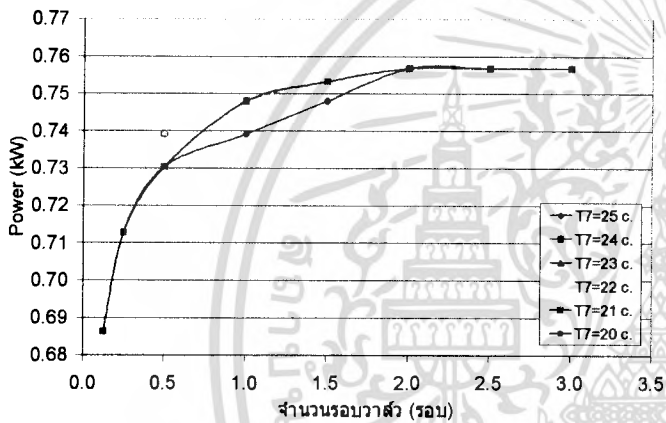
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



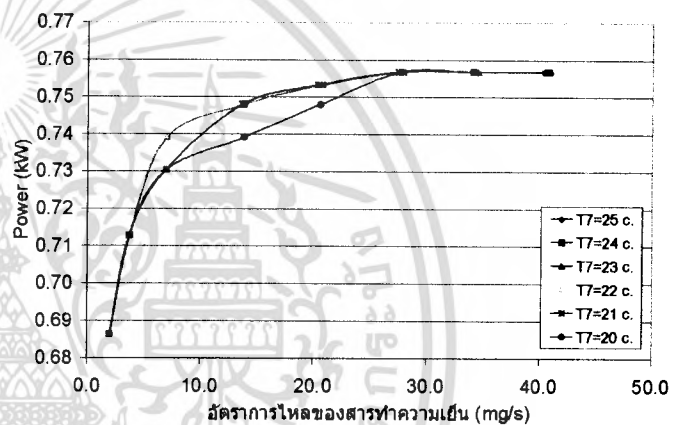
กราฟที่ 4-59 COP จริง ของ Cold-134 ที่อุณหภูมิ  
การทำความเย็นต่าง ๆ ต่อรอบวาล์ว



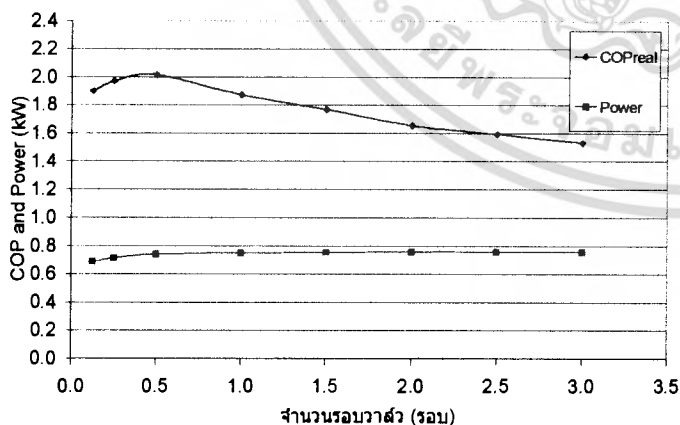
กราฟที่ 4-60 COP จริง ของ Cold-134 ที่อุณหภูมิ  
การทำความเย็นต่าง ๆ ต่ออัตราการไหลของ  
สารทำความเย็น



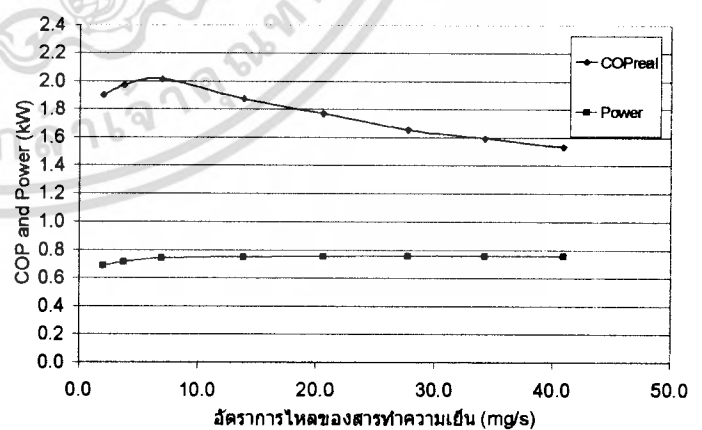
กราฟที่ 4-61 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่อุณหภูมิ  
ต่าง ๆ ของสาร Cold-134 ต่อรอบวาล์ว



กราฟที่ 4-62 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่อุณหภูมิ  
ต่าง ๆ ของสาร Cold-134 ต่ออัตราการไหลของ  
สารทำความเย็น

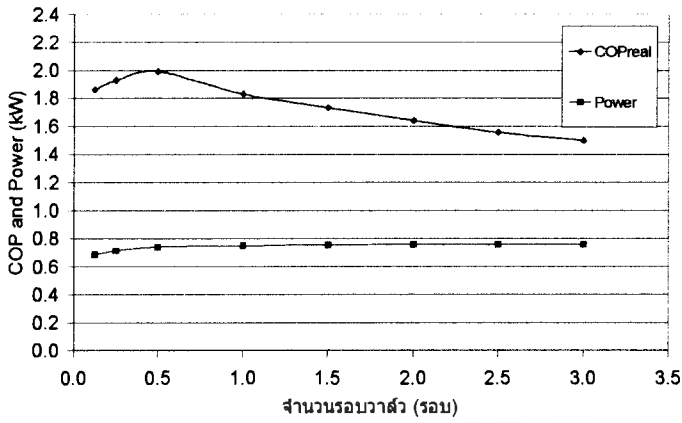


กราฟที่ 4-63 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง และ  
กำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 25 °C ต่อรอบวาล์ว

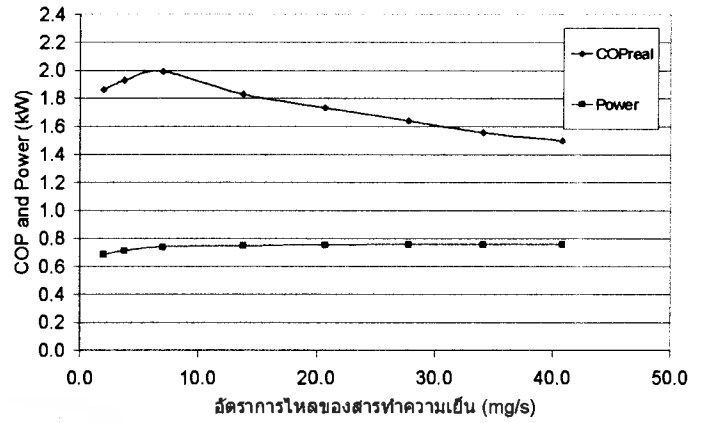


กราฟที่ 4-64 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง และ  
กำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 25 °C ต่อ  
อัตราการไหลของสารทำความเย็น

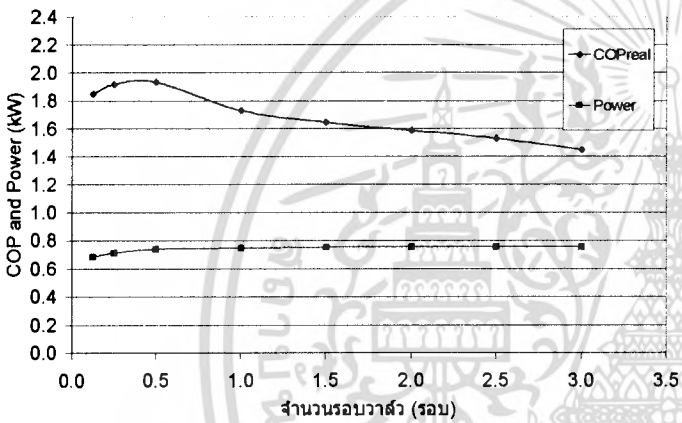
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



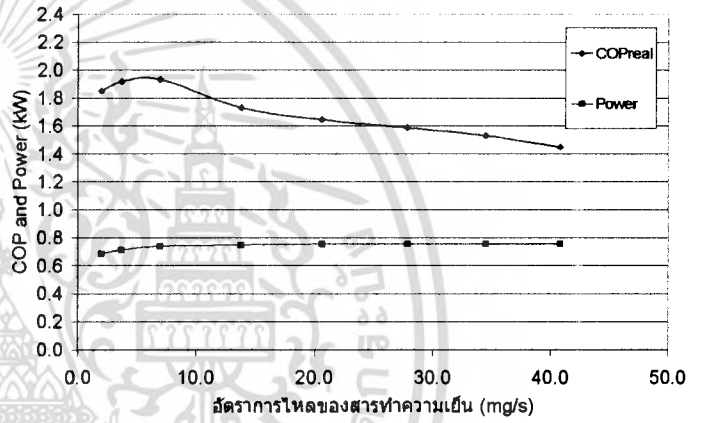
กราฟที่ 4-65 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง และ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 24 °C ต่อรอบวาล์ว



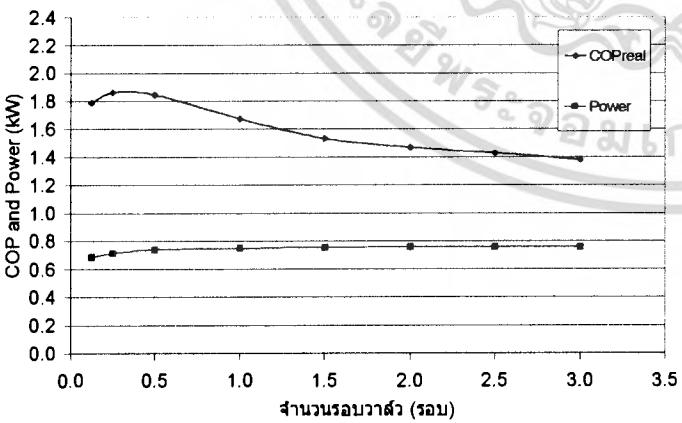
กราฟที่ 4-66 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง และ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 24 °C ต่อ อัตราการไหลของสารทำความเย็น



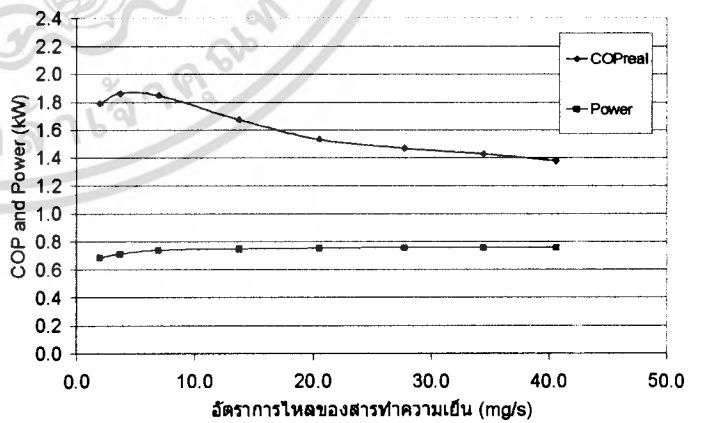
กราฟที่ 4-67 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง และ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 23 °C ต่อรอบวาล์ว



กราฟที่ 4-68 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง และ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 23 °C ต่อ อัตราการไหลของสารทำความเย็น

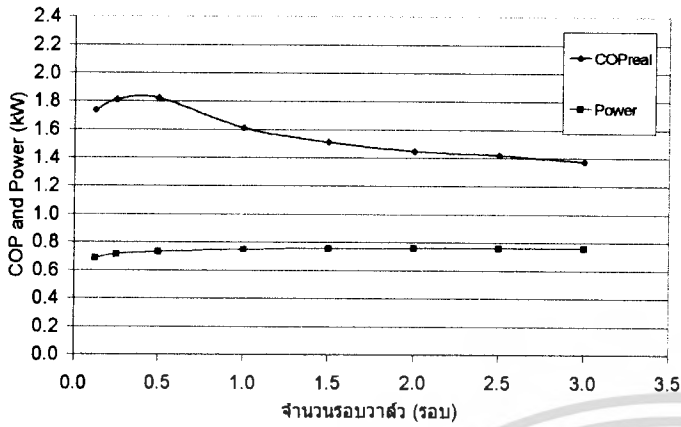


กราฟที่ 4-69 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง และ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 22 °C ต่อรอบวาล์ว

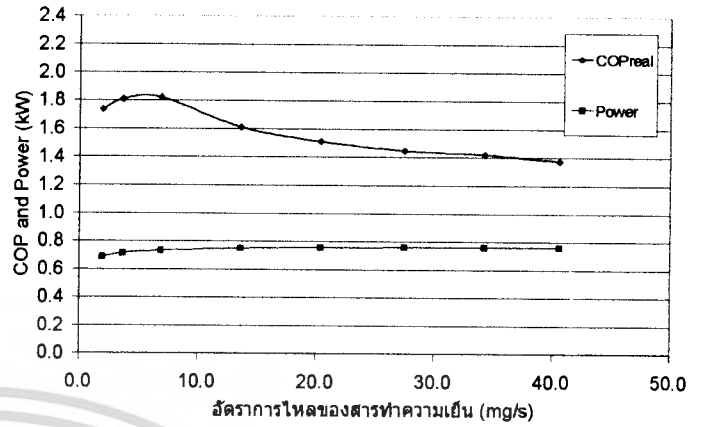


กราฟที่ 4-70 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง และ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 22 °C ต่อ อัตราการไหลของสารทำความเย็น

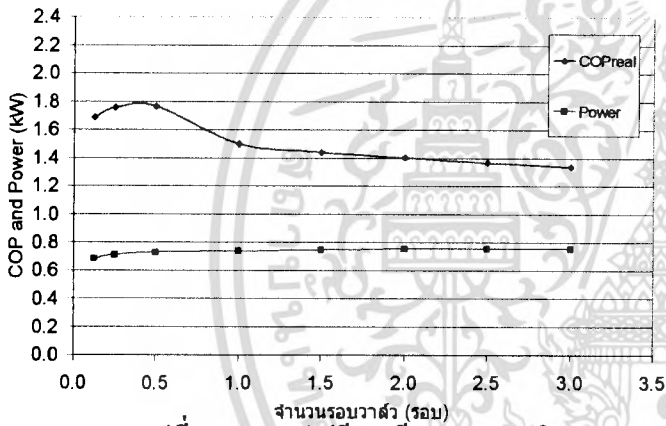
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



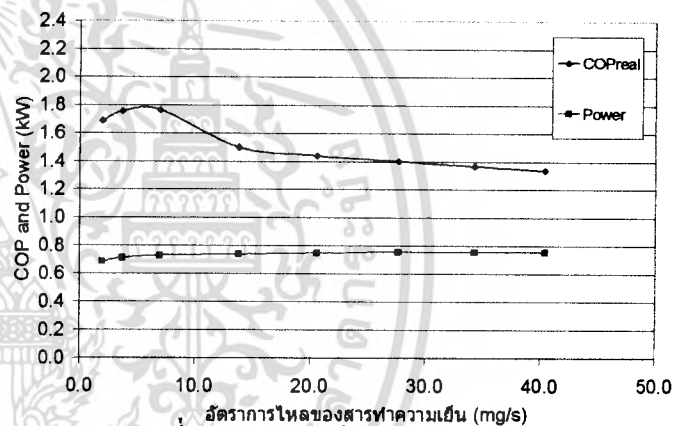
กราฟที่ 4-71 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง และ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 21 °C ต่อรอบวาล์ว



กราฟที่ 4-72 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง และ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 21 °C ต่อ อัตราการไหลของสารทำความเย็น



กราฟที่ 4-73 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง และ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 20 °C ต่อรอบวาล์ว



กราฟที่ 4-74 กราฟเปรียบเทียบ COP จริง และ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่อุณหภูมิควบคุม 20 °C ต่อ อัตราการไหลของสารทำความเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## วิเคราะห์

จากตารางข้อมูลเบื้องต้น และตารางที่ได้จากการคำนวณของ Cold-134 ผู้วิจัยได้นำค่าเหล่านี้มาเขียนกราฟแสดงสมรรถนะทางการทดสอบ ( $COP_{real}$ ) ดังกราฟ 4-59,4-60 และกำลังไฟฟ้าที่ให้กับคอมเพรสเซอร์ (Power) ดังกราฟ 4-61,4-62 และแยกกราฟเพื่อพิจารณาเปรียบเทียบ ค่า  $COP_{real}$  และ Power ในแต่ละอุณหภูมิการทำความเย็น ดังกราฟ 4-63 ถึง 4-74 จากกราฟ  $COP_{real}$  พบว่า ค่า  $COP$  มีค่าสูงสุดของทุกอุณหภูมิการทำความเย็นที่รอบวาล์ว  $\frac{1}{2}$  รอบ หรือที่อัตราการไหล 5 mg/s แล้วค่า  $COP$  จะมีค่าลดลงเรื่อย ๆ อย่างต่ำเมื่อเปิดวาล์วมากขึ้น และเมื่อพิจารณาแต่ละอุณหภูมิการทำความเย็นที่จำนวนรอบวาล์วต่าง ๆ พบว่า ที่อุณหภูมิการทำความเย็นสูงกว่าจะให้ค่า  $COP$  สูงกว่าตามลำดับ ซึ่งผลการทดสอบทั้งหมดเป็นไปตามหลักการทางทฤษฎีจริง เพียงแต่ค่า  $COP$  ทางปฏิบัติมีค่าค่อนข้างต่ำ ซึ่งสาเหตุเหล่านี้เนื่องมาจากปัจจัยต่าง ๆ ของระบบทดสอบ เช่น ประสิทธิภาพของอุปกรณ์แต่ละชิ้นในระบบทดสอบ, การติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยในการระบายความร้อนของระบบดีขึ้น ถือเป็นการทำงานที่ช่วยคอนเดนเซอร์ระบายความร้อนอีกแรง แต่มีข้อด้อยคือทำให้ความหนาแน่นของสารทำความเย็นในสภาวะไอคง (superheated) ก่อนเข้าคอมเพรสเซอร์ลดลง ส่งผลให้อัตราการไหลของระบบลดลง ทำให้อัตราการไหลที่ต่ำ ทำให้  $COP$  ของระบบลดลงนั่นเอง และจากกราฟกำลังไฟฟ้าที่ต้องให้กับคอมเพรสเซอร์ พบว่าที่รอบวาล์ว  $\frac{1}{2}$  รอบ ให้ค่ากำลังไฟฟ้าที่ต้องป้อนให้คอมเพรสเซอร์สูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และค่าเกือบคงที่ในที่สุด และเมื่อพิจารณาแต่ละอุณหภูมิการทำความเย็นที่จำนวนรอบวาล์วต่าง ๆ พบว่าที่อุณหภูมิการทำความเย็นสูงกว่าจะให้ค่า  $COP$  สูงกว่าตามลำดับ ข้อสังเกตคือ ที่อุณหภูมิการทำความเย็นสูงกว่า ให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงกว่า และ  $COP$  ก็สูงกว่าด้วย นั่นหมายความว่า ที่อุณหภูมิการทำความเย็นที่สูงกว่า ค่าความแตกต่างของอัตราส่วนระหว่างอัตราปริมาณการถ่ายเทความร้อนที่อิวาโพเรเตอร์ กับกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้คอมเพรสเซอร์สูงด้วยนั่นเอง และจากกราฟรูป 4-63 ถึง 4-74 พบว่า แนวโน้มของผลการทดสอบทั้งหมด มีความคล้ายคลึงกัน ในทุกรอบวาล์ว และทุกอุณหภูมิการทำความเย็น และเมื่อพิจารณากำลังไฟฟ้าที่ต้องให้กับคอมเพรสเซอร์แล้ว สำหรับสารทำความเย็น Cold 134 พบว่าทุกรอบวาล์วและทุกอุณหภูมิการทำความเย็น มีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน และแสดงผลออกมาเท่ากัน ดังกราฟ 4-61,4-62 แต่ในความเป็นจริงแล้ว ที่อุณหภูมิการทำความเย็นสูงกว่า กำลังไฟฟ้าที่ต้องให้คอมเพรสเซอร์ย่อมมากกว่าตามลำดับ แต่ในทางปฏิบัติ เนื่องจากขีดความสามารถในการแสดงผลของอุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้า จึงทำให้ผลการทดสอบที่แสดงผลออกมามีความละเอียดน้อย และเนื่องจาก Cold 134 เป็นสารทำความเย็นผสมที่เกิดจากการผสมของ R-290 กับ R-600a และปัจจุบัน ถือเป็นสารทำความเย็นใหม่ที่ยังขาดข้อมูลคุณสมบัติของสารทำความเย็นดังกล่าว ผู้ทำการวิจัยจึงไม่สามารถแสดงกราฟสมรรถนะทางทฤษฎี ( $COP_{th}$ ) ของ Cold 134 ได้ แต่เนื่องจากโครงการนี้เน้นศึกษาและเปรียบเทียบในส่วนของสมรรถนะจริงของสารทำความเย็นมากกว่า ซึ่งเหตุผลนี้ทำให้ผู้ทำการวิจัยให้ความสำคัญในเรื่องมาตรฐานและความสามารถในการทำงานของระบบทดสอบ ให้สามารถทำงานที่สภาวะที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละครั้งที่ทำการทดสอบ และอย่างไรก็ตาม ผลการทดสอบทางปฏิบัติมีแนวโน้มเป็นไปตามทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปและวิจารณ์ผลการทดสอบ

#### 5.1 วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดสอบ

**ตารางที่ 5-1 ตารางเปรียบเทียบสมรรถนะ และเปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าที่ให้กับคอมเพรสเซอร์  
ของทุกสารทำความเย็นที่นำมาทดสอบ**

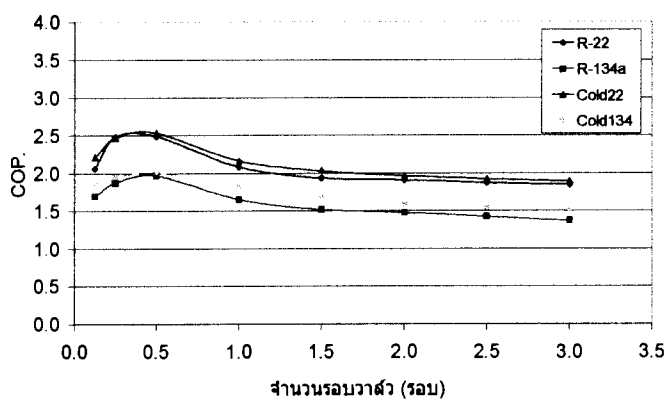
No.	R-22				R-134a			
	Rf	COP <sub>ทฤษฎี</sub>	COP <sub>จริง</sub>	W(comp)	Rf	COP <sub>ทฤษฎี</sub>	COP <sub>จริง</sub>	W(comp)
0.125	1.74	6.076	2.261	1.012	1.25	4.654	1.698	0.858
0.250	3.13	6.685	2.483	1.166	2.42	5.206	1.873	0.902
0.500	6.24	6.632	2.490	1.254	4.64	5.549	1.968	0.924
1.000	11.98	6.309	2.084	1.254	9.16	5.421	1.653	0.946
1.500	17.62	6.285	1.935	1.254	13.83	5.318	1.518	0.946
2.000	23.53	6.237	1.906	1.254	18.26	5.247	1.476	0.957
2.500	28.83	6.184	1.874	1.276	22.78	5.235	1.424	0.957
3.000	33.07	6.145	1.845	1.276	27.99	5.193	1.371	0.957
0.125	1.71	5.982	2.204	1.012	1.25	4.613	1.713	0.858
0.250	3.10	6.448	2.428	1.166	2.43	5.181	1.786	0.902
0.500	6.06	6.450	2.423	1.228	4.60	5.448	1.855	0.935
1.000	11.82	6.215	2.059	1.232	9.16	5.404	1.590	0.946
1.500	17.34	6.105	1.906	1.232	13.77	5.303	1.479	0.946
2.000	23.16	6.096	1.881	1.232	18.35	5.210	1.419	0.946
2.500	28.38	5.988	1.833	1.254	22.89	5.198	1.381	0.946
3.000	32.80	5.922	1.821	1.254	28.19	5.180	1.354	0.946
0.125	1.70	5.912	2.115	1.012	1.24	4.548	1.698	0.858
0.250	3.11	6.316	2.248	1.155	2.44	4.990	1.846	0.902
0.500	6.16	6.311	2.231	1.214	4.60	5.338	1.859	0.935
1.000	11.99	5.988	1.911	1.210	9.20	5.354	1.554	0.946
1.500	17.53	5.839	1.769	1.228	3.83	5.279	1.439	0.946
2.000	23.07	5.816	1.706	1.210	18.35	5.182	1.391	0.946
2.500	28.33	5.784	1.635	1.221	22.89	5.129	1.266	0.946
3.000	32.35	5.740	1.603	1.243	28.19	5.171	1.199	0.946
0.125	1.67	5.873	1.954	0.990	1.24	4.373	1.586	0.847
0.250	3.10	6.205	2.209	1.155	2.43	4.837	1.743	0.902
0.500	6.09	6.237	2.224	1.203	4.64	5.268	1.769	0.924
1.000	12.02	5.799	1.966	1.210	9.16	5.307	1.451	0.946
1.500	17.67	5.691	1.748	1.199	13.77	5.270	1.424	0.946
2.000	23.46	5.617	1.668	1.210	18.18	5.009	1.369	0.946
2.500	28.62	5.514	1.548	1.221	22.78	4.991	1.343	0.946
3.000	32.85	5.494	1.506	1.232	27.81	4.950	1.326	0.946
0.125	1.67	5.776	1.924	1.001	1.24	4.245	1.556	0.847
0.250	3.10	6.030	2.135	1.144	2.40	4.776	1.656	0.891
0.500	6.11	6.056	2.110	1.188	4.58	5.224	1.731	0.913
1.000	11.93	5.559	1.874	1.199	9.11	5.284	1.438	0.935
1.500	17.62	5.316	1.756	1.199	13.70	5.263	1.354	0.935
2.000	23.18	5.213	1.654	1.199	18.18	4.946	1.319	0.935
2.500	28.62	5.203	1.556	1.221	22.67	4.849	1.258	0.935
3.000	32.91	5.201	1.516	1.232	27.94	4.817	1.228	0.935
0.125	1.65	5.720	1.836	1.001	1.24	4.157	1.468	0.847
0.250	3.09	5.998	2.099	1.144	2.41	4.617	1.568	0.891
0.500	6.07	5.961	2.081	1.181	4.58	5.200	1.635	0.902
1.000	11.86	5.447	1.706	1.184	9.20	5.226	1.425	0.924
1.500	17.45	5.132	1.623	1.188	13.77	5.114	1.349	0.924
2.000	23.32	5.060	1.553	1.188	18.26	4.935	1.269	0.924
2.500	28.93	5.030	1.526	1.210	22.67	4.851	1.238	0.924
3.000	32.73	4.998	1.499	1.232	27.99	4.792	1.155	0.924

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

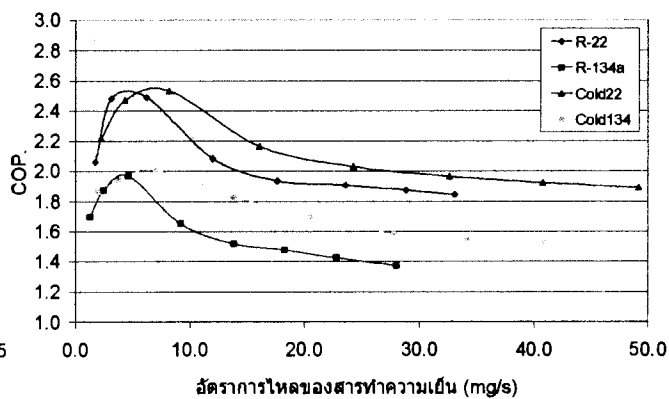
ตารางที่ 5-1 (ต่อ) ตารางเปรียบเทียบสมรรถนะ และเปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าที่ให้กับคอมเพรสเซอร์  
ของทุกสารทำความเย็นที่นำมาทดสอบ

No.	Cold22				Cold134		
	Rf	COP ทฤษฎี	COP จริง	W(comp)	Rf	COP จริง	W(comp)
0.125	2.22	4.932	2.215	1.012	1.99	1.861	0.858
0.250	4.30	6.430	2.470	1.100	3.75	1.944	0.891
0.500	8.20	6.732	2.533	1.107	6.96	2.006	0.924
1.000	16.05	6.205	2.165	1.166	13.86	1.829	0.935
1.500	24.21	6.200	2.030	1.166	20.60	1.699	0.942
2.000	32.61	6.118	1.965	1.166	27.71	1.588	0.946
2.500	40.76	6.022	1.923	1.170	34.24	1.546	0.946
3.000	49.19	6.005	1.890	1.170	40.88	1.525	0.946
0.125	2.23	4.918	2.166	1.012	1.98	1.816	0.858
0.250	4.31	6.379	2.400	1.078	3.75	1.900	0.891
0.500	8.26	6.657	2.431	1.100	6.96	1.978	0.924
1.000	16.02	6.323	2.119	1.166	13.80	1.775	0.935
1.500	24.32	6.312	1.974	1.166	20.70	1.665	0.942
2.000	32.57	6.047	1.933	1.166	27.71	1.538	0.942
2.500	40.82	5.942	1.908	1.170	34.07	1.519	0.946
3.000	49.08	5.902	1.883	1.170	40.80	1.436	0.946
0.125	2.22	4.971	2.098	1.012	1.98	1.800	0.858
0.250	4.25	6.346	2.235	1.078	3.72	1.885	0.891
0.500	8.16	6.581	2.260	1.100	6.95	1.904	0.924
1.000	15.93	6.309	1.944	1.166	13.83	1.650	0.935
1.500	24.07	6.238	1.806	1.166	20.60	1.569	0.942
2.000	32.24	6.273	1.753	1.170	27.85	1.450	0.946
2.500	40.52	6.223	1.686	1.170	34.47	1.400	0.946
3.000	48.72	6.198	1.661	1.173	40.80	1.311	0.946
0.125	2.26	4.914	1.934	1.012	1.97	1.725	0.858
0.250	4.23	6.345	2.205	1.078	3.69	1.818	0.891
0.500	8.12	6.429	2.256	1.100	6.91	1.798	0.924
1.000	15.89	6.164	2.046	1.166	13.77	1.580	0.935
1.500	24.12	6.153	1.806	1.166	20.50	1.403	0.942
2.000	32.21	6.122	1.733	1.166	27.71	1.324	0.946
2.500	40.49	6.105	1.678	1.170	34.40	1.273	0.946
3.000	48.76	6.003	1.648	1.173	40.60	1.201	0.946
0.125	2.22	4.691	1.915	1.012	1.96	1.656	0.858
0.250	4.24	6.325	2.115	1.078	3.68	1.751	0.902
0.500	8.10	6.632	2.171	1.100	6.88	1.764	0.913
1.000	15.92	6.152	1.974	1.166	13.64	1.500	0.935
1.500	24.05	6.150	1.841	1.166	20.36	1.375	0.942
2.000	32.21	6.168	1.706	1.166	27.45	1.270	0.946
2.500	40.49	6.144	1.665	1.170	34.24	1.201	0.946
3.000	48.76	6.102	1.644	1.170	40.60	1.156	0.946
0.125	2.23	4.664	1.844	1.001	1.96	1.599	0.858
0.250	4.25	5.851	2.079	1.078	3.69	1.683	0.891
0.500	8.10	6.539	2.119	1.100	6.91	1.694	0.902
1.000	15.95	6.103	1.831	1.144	13.80	1.363	0.924
1.500	24.14	6.262	1.691	1.166	20.54	1.203	0.942
2.000	32.33	6.159	1.658	1.166	27.64	1.105	0.946
2.500	40.61	6.122	1.594	1.170	34.24	1.050	0.946
3.000	49.12	6.058	1.566	1.170	40.39	1.024	0.946

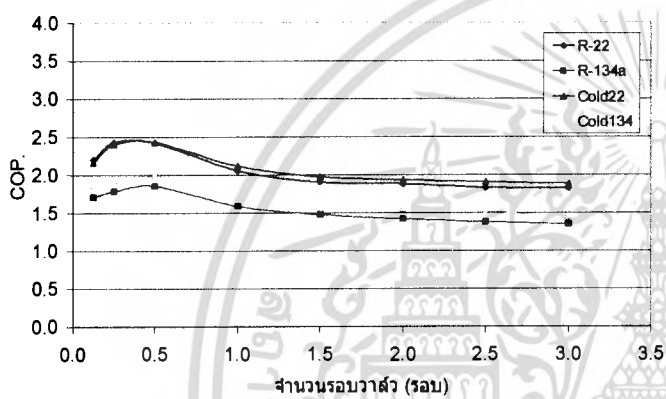
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



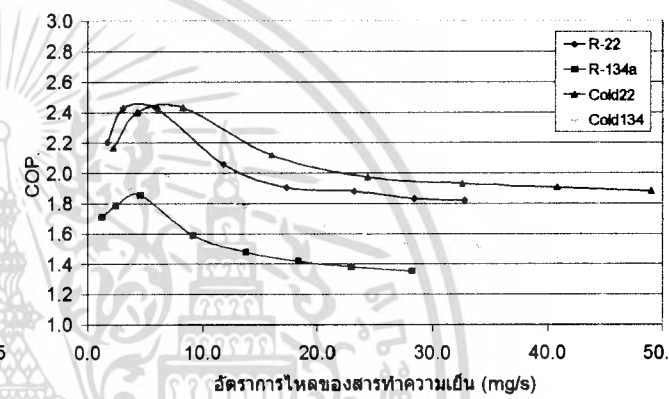
กราฟที่ 5-1 COP จริง ของสารทำความเย็นต่าง ๆ ต่อ รอบวาล์วที่อุณหภูมิน้ำเย็น 25 °C



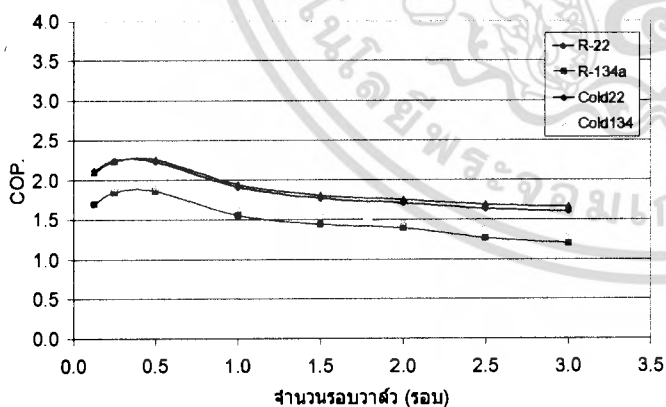
กราฟที่ 5-2 COP จริง ของสารทำความเย็นต่าง ๆ ต่อ อัตราการไหลของสารทำความเย็นที่ อุณหภูมิน้ำเย็น 25 °C



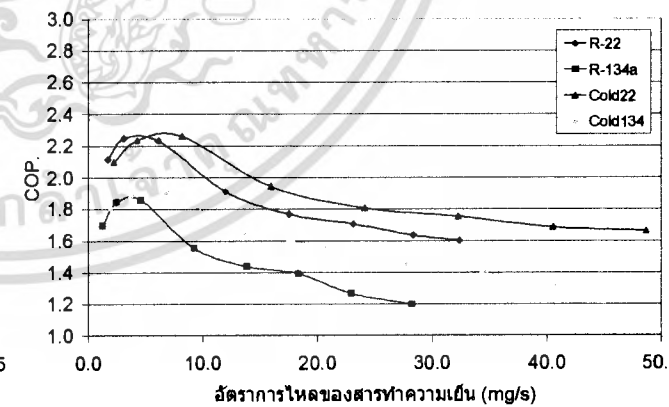
กราฟที่ 5-3 COP จริง ของสารทำความเย็นต่าง ๆ ต่อ รอบวาล์วที่อุณหภูมิน้ำเย็น 24 °C



กราฟที่ 5-4 COP จริง ของสารทำความเย็นต่าง ๆ ต่อ อัตราการไหลของสารทำความเย็นที่ อุณหภูมิน้ำเย็น 24 °C

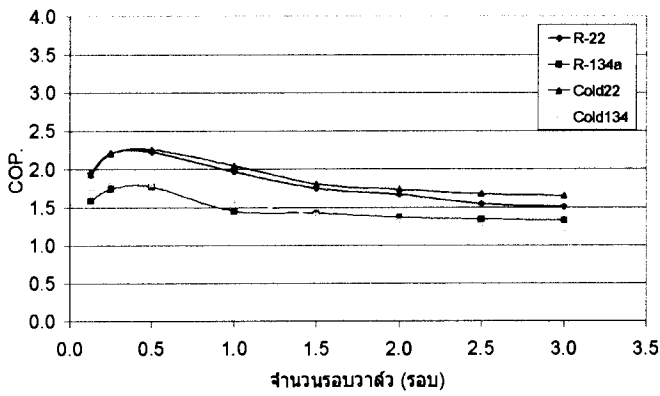


กราฟที่ 5-5 COP จริง ของสารทำความเย็นต่าง ๆ ต่อ รอบวาล์วที่อุณหภูมิน้ำเย็น 23 °C

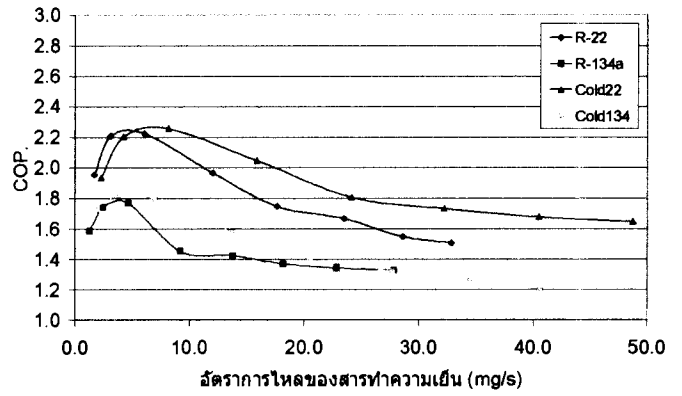


กราฟที่ 5-6 COP จริง ของสารทำความเย็นต่าง ๆ ต่อ อัตราการไหลของสารทำความเย็นที่ อุณหภูมิน้ำเย็น 23 °C

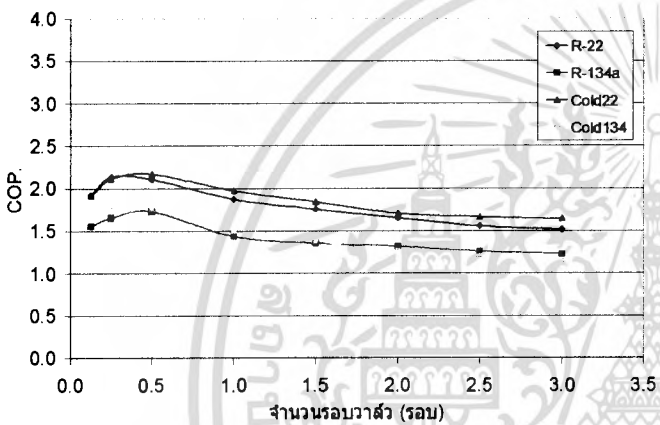
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



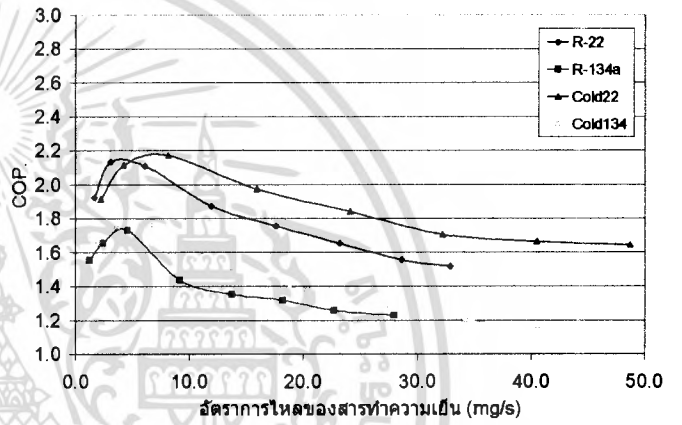
กราฟที่ 5-7 COP จริง ของสารทำความเย็นต่าง ๆ ต่อ  
รอบมวลว่ที่อุณหภูมิน้ำเย็น 22 °C



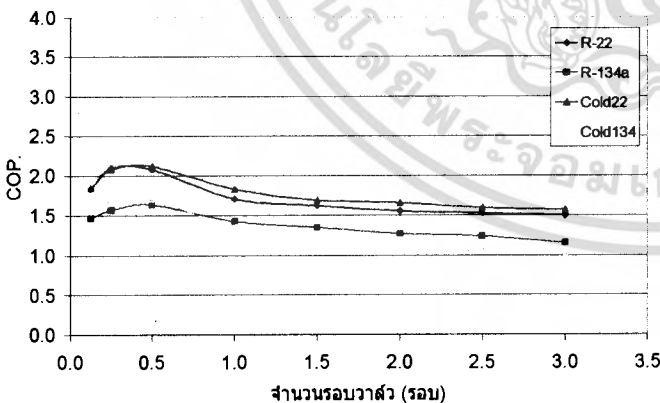
กราฟที่ 5-8 COP จริง ของสารทำความเย็นต่าง ๆ  
ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็นที่  
อุณหภูมิน้ำเย็น 22 °C



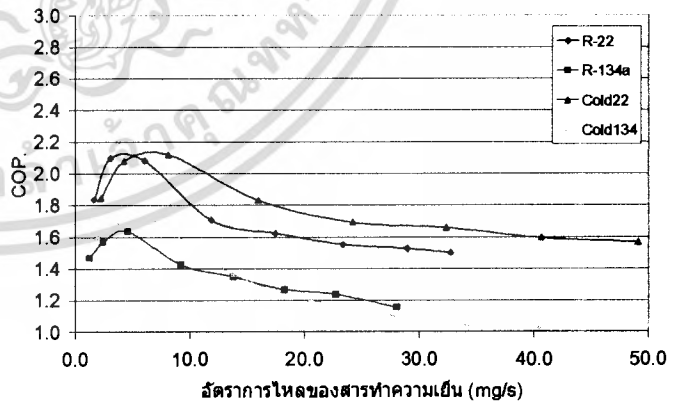
กราฟที่ 5-9 COP จริง ของสารทำความเย็นต่าง ๆ ต่อ  
รอบมวลว่ที่อุณหภูมิน้ำเย็น 21 °C



กราฟที่ 5-10 COP จริง ของสารทำความเย็นต่าง ๆ  
ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็นที่  
อุณหภูมิน้ำเย็น 21 °C

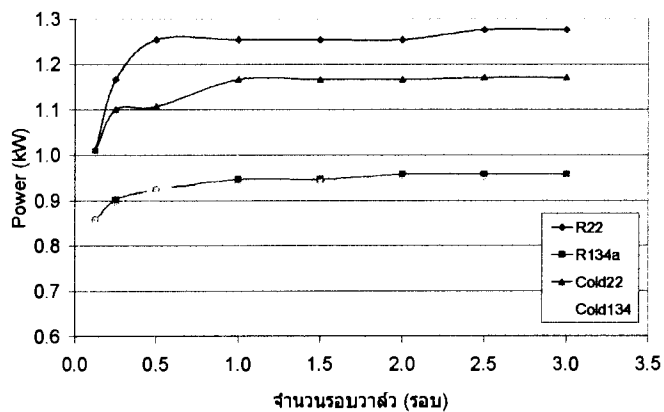


กราฟที่ 5-11 COP จริง ของสารทำความเย็นต่าง ๆ ต่อ  
รอบมวลว่ที่อุณหภูมิน้ำเย็น 20 °C

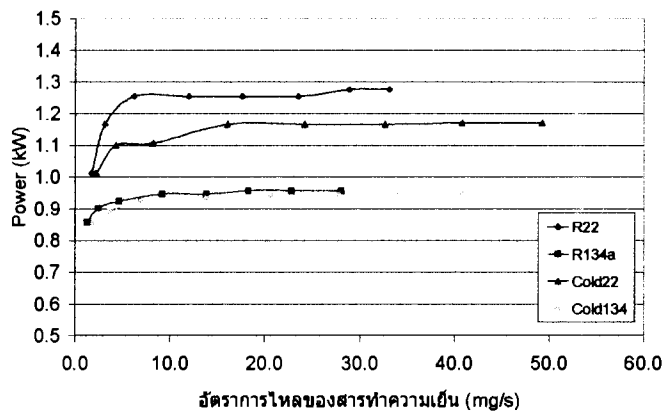


กราฟที่ 5-12 COP จริง ของสารทำความเย็นต่าง ๆ  
ต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็นที่  
อุณหภูมิน้ำเย็น 20 °C

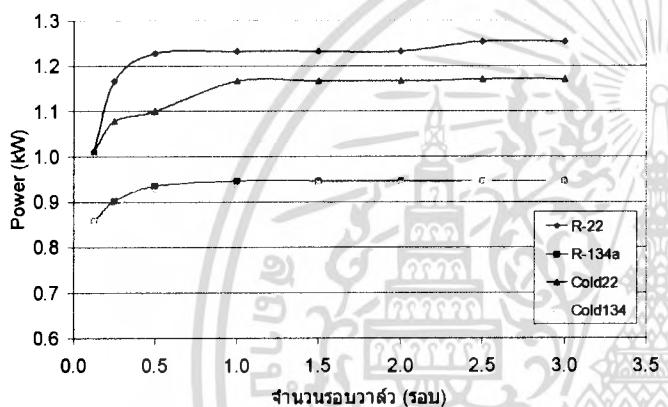
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



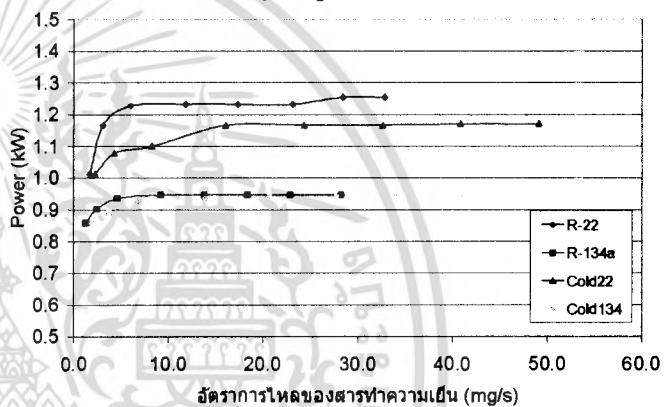
กราฟที่ 5-13 กำลังไฟฟ้าที่ให้กับคอมเพรสเซอร์ต่อ  
 ระบายความร้อนที่อุณหภูมิน้ำเย็น 25 °C



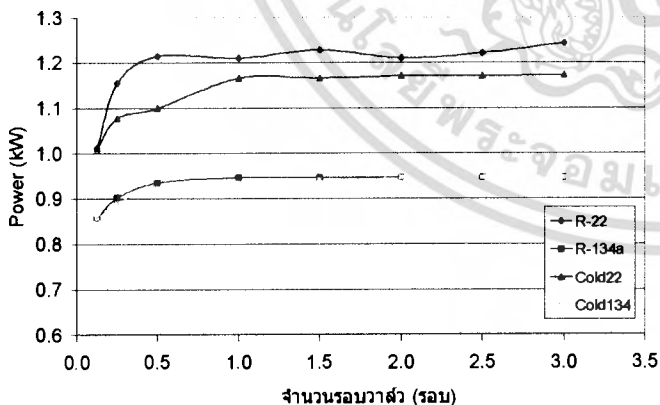
กราฟที่ 5-14 กำลังไฟฟ้าที่ให้กับคอมเพรสเซอร์ต่อ  
 อัตราการไหลของสารทำความเย็นที่  
 อุณหภูมิน้ำเย็น 25 °C



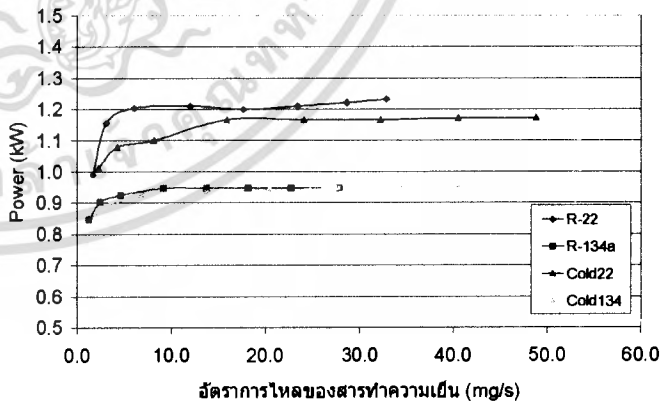
กราฟที่ 5-15 กำลังไฟฟ้าที่ให้กับคอมเพรสเซอร์ต่อ  
 ระบายความร้อนที่อุณหภูมิน้ำเย็น 24 °C



กราฟที่ 5-16 กำลังไฟฟ้าที่ให้กับคอมเพรสเซอร์ต่อ  
 อัตราการไหลของสารทำความเย็นที่  
 อุณหภูมิน้ำเย็น 24 °C

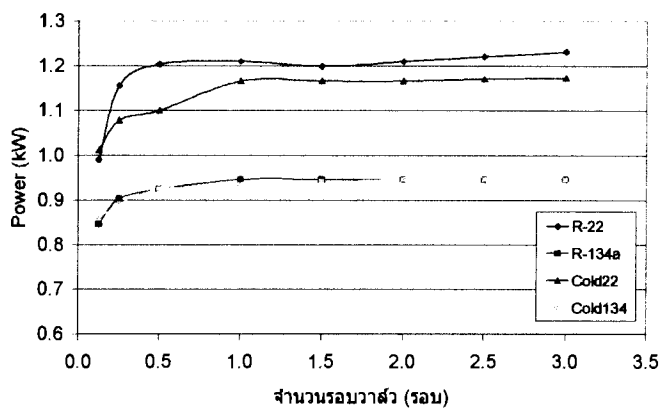


กราฟที่ 5-17 กำลังไฟฟ้าที่ให้กับคอมเพรสเซอร์ต่อ  
 ระบายความร้อนที่อุณหภูมิน้ำเย็น 23 °C

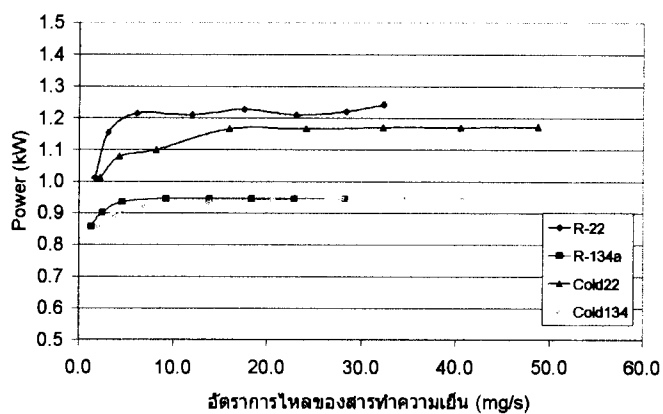


กราฟที่ 5-18 กำลังไฟฟ้าที่ให้กับคอมเพรสเซอร์ต่อ  
 อัตราการไหลของสารทำความเย็นที่  
 อุณหภูมิน้ำเย็น 23 °C

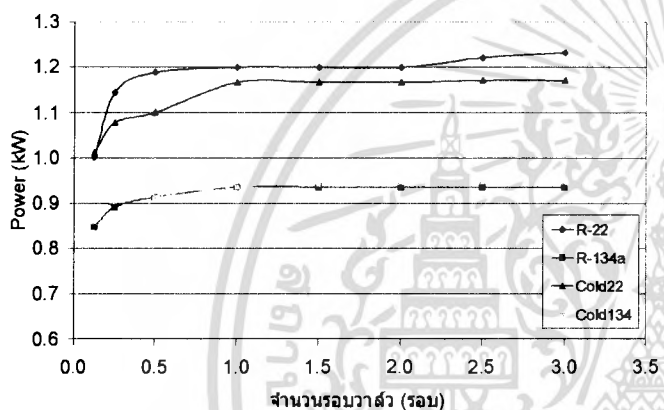
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



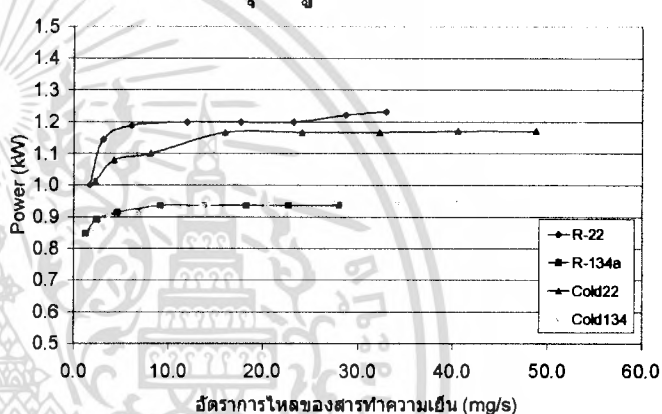
กราฟที่ 5-19 กำลังไฟฟ้าที่ให้กับคอมเพรสเซอร์ต่อ  
 รอบวาล์วที่อุณหภูมิน้ำเย็น 22 °C



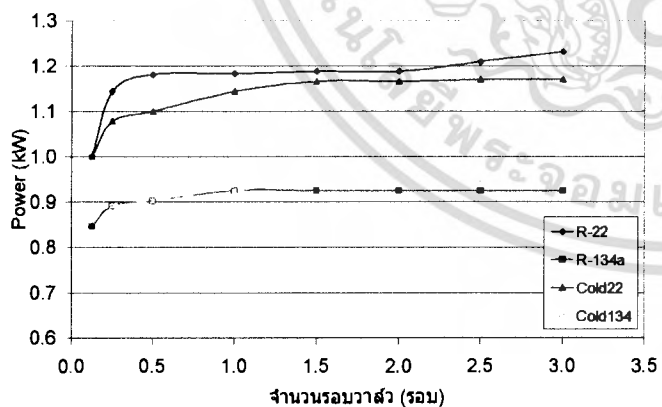
กราฟที่ 5-20 กำลังไฟฟ้าที่ให้กับคอมเพรสเซอร์ต่อ  
 อัตราการไหลของสารทำความเย็นที่  
 อุณหภูมิน้ำเย็น 22 °C



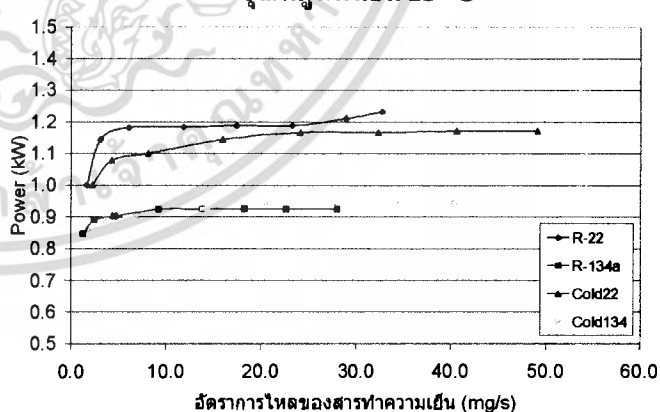
กราฟที่ 5-21 กำลังไฟฟ้าที่ให้กับคอมเพรสเซอร์ต่อ  
 รอบวาล์วที่อุณหภูมิน้ำเย็น 21 °C



กราฟที่ 5-22 กำลังไฟฟ้าที่ให้กับคอมเพรสเซอร์ต่อ  
 อัตราการไหลของสารทำความเย็นที่  
 อุณหภูมิน้ำเย็น 21 °C



กราฟที่ 5-23 กำลังไฟฟ้าที่ให้กับคอมเพรสเซอร์ต่อ  
 รอบวาล์วที่อุณหภูมิน้ำเย็น 20 °C



กราฟที่ 5-24 กำลังไฟฟ้าที่ให้กับคอมเพรสเซอร์ต่อ  
 อัตราการไหลของสารทำความเย็นที่  
 อุณหภูมิน้ำเย็น 20 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟรูป 5-1 ถึง 5-12 พบว่าทุกผลการทดสอบสารทำความเย็น Cold-22 ให้ค่า COP มากกว่าทุกสารทำความเย็นที่นำมาทดสอบ และ R-22 ให้ค่ารองลงมา ส่วน Cold 134 ให้ค่า COP สูงกว่า R-134a เล็กน้อยที่อุณหภูมิการทำงานสูงกว่ทุกรอบวาล์ว แต่ที่อุณหภูมิการทำงานต่ำ COP ของ R-134a สูงกว่า Cold เล็กน้อยที่จำนวนรอบวาล์วสูงกว่ และจากกราฟ 5-13 ถึง 5-24 พบว่า ทุกผลการทดสอบ กำลังไฟฟ้าที่ให้กับคอมเพรสเซอร์ของระบบที่ทดสอบกับ R-22 มีค่ามากกว่าทุกสารทำความเย็นอื่นที่นำมาทดสอบ และ Cold 22 ให้ค่ารองลงมา สำหรับ R-134a กับ Cold 134 พบว่ากำลังไฟฟ้าที่ให้กับคอมเพรสเซอร์ที่ทดสอบสารทำความเย็นทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกันจนเกือบเท่ากัน นั้นหมายความว่าหากต้องการเปรียบเทียบการทำงานของสารทำความเย็นทั้งสอง สามารถพิจารณาจากกราฟเปรียบเทียบ COP ได้ทันที

### สรุปผลการทดสอบ

1. ทุกสารทำความเย็นให้ค่า COP จากการทดลองสูงสุดที่ประมาณ  $\frac{1}{2}$  รอบวาล์ว (อัตราการไหล 5-6 kg/s) และมีค่าลดลงเรื่อย ๆ อย่างต่อเนื่องเมื่อจำนวนรอบวาล์วเพิ่มขึ้น (อัตราการไหลเพิ่มขึ้น)
2. ที่อุณหภูมิการทำงานสูงกว่ ทุกสารทำความเย็นให้ค่า COP สูงขึ้นตามลำดับทุกรอบวาล์ว
3. ผลการทดสอบมีแนวโน้มเป็นไปตามทฤษฎี แต่มีค่าของ COP ต่ำกว่าทฤษฎี
4. สารทำความเย็น R-22 และ Cold 22 สามารถทดแทนกันได้ แต่สาร Cold 22 ให้ค่า COP สูงกว่า
5. สารทำความเย็น Cold 134 ให้ค่า COP สูงกว่า R-134a เล็กน้อยที่อุณหภูมิการทำงานสูงทุกรอบวาล์ว แต่จะให้ค่า COP ต่ำกว่าเล็กน้อยที่อุณหภูมิการทำงานต่ำและจำนวนรอบวาล์วสูง

### วิจารณ์ผลการทดสอบ

1. เนื่องจากโครงการนี้ต้องการให้การระบายความร้อนของระบบที่คอนเดนเซอร์มีประสิทธิภาพสูง จึงต้องติดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) เข้าไปในระบบด้วย แต่มีข้อด้อยคือ ทำให้สมรรถนะรวมของระบบมีค่าต่ำเมื่อเทียบกับสมรรถนะทางทฤษฎี
2. โครงการนี้เลือกทดสอบเฉพาะเวลากลางคืน ซึ่งจะทำให้อุปกรณ์ทุกชิ้นของระบบทดสอบสามารถทำงานได้ประสิทธิภาพมากกว่าตอนกลางวัน
3. กราฟกำลังไฟฟ้าของทุกผลการทดสอบให้ค่าได้ไม่ละเอียด เนื่องจากข้อจำกัดในการแสดงค่าของอุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้า
4. สารทำความเย็น Cold 134 เป็นสารทำความเย็นใหม่ จึงขาดข้อมูลคุณสมบัติของสารทำความเย็นดังกล่าว ผู้วิจัยจึงไม่สามารถแสดงผลสมรรถนะทางทฤษฎีได้ แต่เนื่องจากโครงการนี้เน้นศึกษาในส่วนของการเปรียบเทียบสมรรถนะจริงของสารทำความเย็นมากกว่า แต่อย่างไรก็ตาม ผลการทดสอบทางปฏิบัติมีแนวโน้มเป็นไปตามทฤษฎี
5. ผลการทดสอบทั้งหมดแสดงผลเทียบกับทั้งจำนวนรอบวาล์ว (รอบ) และหน่วย อัตราการไหลของสารทำความเย็น (mg/s) เนื่องจากการแสดงผลเทียบกับจำนวนรอบวาล์วสามารถเปรียบเทียบผลได้ง่ายและชัดเจนกว่า ส่วนการแสดงผลเทียบกับอัตราการไหลของสารทำความเย็น เป็นมาตรฐานกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### เอกสารอ้างอิง

- [1] ประจักษ์ ภักดีรัตน์, “เทคนิคเครื่องเย็นและการปรับอากาศ”, สำนักพิมพ์นิยมวิทยา, กรุงเทพฯ, ปี พ.ศ. 2533
- [2] อัครเดช สินธุภัก, “การทำความเย็น”, ตำราชุดวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ, ปี พ.ศ. 2538.
- [3] สมศักดิ์ สุโมตยกุล, “เครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศ”, บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด, กรุงเทพฯ, ปี พ.ศ. 2521
- [4] ผศ. ชูชัย ด.ศิริวัฒนา, “การทำความเย็นและการปรับอากาศ”, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ, ปี พ.ศ. 2546
- [5] รศ. บรรเลง ศรีนิต, ดร. ชีรวุฒิ บุญยโสภณ, อ. วีรพงษ์ เฉลิมจิระรัตน์, อ. นิตี สงวนศักดิ์ “พื้นฐานเครื่องทำความเย็น” สำนักพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือวิทยาเขตพระนครเหนือ บางซื่อ คูสิต กรุงเทพมหานคร
- [6] วรเทพ ยอดดี, “คู่มือปฏิบัติงาน ระบบปรับอากาศ”, โครงการร่วมมือ จัดพิมพ์ตำราตามหลักสูตรของกรมอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ และสมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น (สสท.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้