

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาเชิงทดลองของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนที่มีระบบหล่อเย็นแบบไฮบริด

Experimental study of a split air conditioning unit with hybrid cooling system



รฟ.  
๗๒๕๖  
๒๕๔๙

เลขที่.....  
เลขทะเบียน..... 72168  
วัน,เดือน,ปี..... 11 ส.ย. 2550

b. 11764272  
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาดานหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**การศึกษาเชิงทดลองของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนที่มีระบบหล่อเย็นแบบไฮบริด**  
**Experimental study of a split air conditioning unit with hybrid cooling system**



**ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต**  
**ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล**  
**คณะวิศวกรรมศาสตร์**  
**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**  
**ปีการศึกษา 2549**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2549

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาเชิงทดลองของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนที่มีระบบหล่อเย็นแบบไฮบริด

Experimental study of a split air conditioning unit with hybrid cooling system

ผู้จัดทำ

1. นาย จตุพล เตือนฤทธิ รหัสประจำตัว 47015708

2. นาย ชีรวุฒิ ทองปานดี รหัสประจำตัว 47015715

3. นาย ศักดิ์สิทธิ์ หวาน รหัสประจำตัว 47015726



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การศึกษาเชิงทดลองของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนที่มีระบบหล่อเย็นแบบไฮบริด

นาย จตุพล เลื่อนฤทธิ์

นาย ชีรวัฒน์ ทองปานดี

นาย ศักดิ์สิทธิ์ หาวัน

รศ.ดร. มงคล มงคลวงศ์โรจน์ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2549

### บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการพัฒนาเครื่องควบแน่นในระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนและได้ศึกษาเชิงทดลองและหาสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่ใช้เครื่องควบแน่นดังกล่าว หลักการระบายความร้อนเป็นแบบการถ่ายเทความร้อนแฝงและการถ่ายเทความร้อนแบบรู้สึกลำสัมผัสได้ โดยใช้สารทำความเย็น Freon 22 กับเครื่องปรับอากาศขนาด 1 ตัน การศึกษาเชิงทดลองนี้จะทำการหาขนาดความยาวของเครื่องควบแน่นในการระบายความร้อนที่เหมาะสมที่สุด การระบายความร้อนนี้จะอาศัยอากาศและน้ำช่วยในการระบายความร้อนออกจากเครื่องควบแน่นที่ให้ได้มากที่สุด ยังผลทำให้ได้เครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## **EXPERIMENTAL STUDY OF A SPLIT AIR CONDITIONING UNIT WITH HYBRID COOLING SYSTEM**

Jatupon Launrit

Teerawat Thongpandee

Saksit Hawan

Assoc. Prof.Dr. Mongkol Mongkolvongrojh,Advisor

### **Abstract**

This project deals with the development of a counter flow evaporative condenser for a split air conditioning unit. The principal of heat transfer in the condenser are both latent and sensible heat transfer in order to remove heat quickly and effectively. The design and construction of the condenser are proposed experimentally in this project. Experimental investigation of the performance characteristics for the air conditioning system are tested at various heat load conditions. The refrigerant is Freon 22 for a air-conditioner with one ton cooling capacity. In this project, the main objective is to obtain the optimum heat transfer area of the evaporative condenser for the air conditioner with maximum efficiency.

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. มงคล มงคลวงศ์โรจน์ ซึ่งได้ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำ ตลอดจนให้คำปรึกษาในทุก ๆ ด้าน และขอขอบพระคุณบริษัทไทยคูตลิ่งทาวเออร์ซึ่งได้กรุณา สนับสนุนอุปกรณ์สำหรับการทดลองครั้งนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่านที่ให้ความรู้ทางด้านวิชาการต่าง ๆ และให้คำแนะนำด้วยดีเสมอมา

ขอขอบคุณพี่ ๆ ร้าน คีดี แอร์เซอร์วิสที่กรุณาให้คำปรึกษาและให้ความรู้ในการติดตั้งระบบ แอร์รวมถึงเพื่อน ๆ นักศึกษาทุกคนที่ได้ช่วยเหลือกันทำงานให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณบิดามารดาอันเป็นที่เคารพรักยิ่งผู้ซึ่งอบรมเลี้ยงดูให้โอกาสทางการศึกษาและ เป็นกำลังใจจนกระทั่งมีวันนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

จตุพล เลื่อนฤทธิ์  
ธีรวัฒน์ ทองปานดี  
ศักดิ์สิทธิ์ หาวัน

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 วิธีการดำเนินงานวิจัย	2
บทที่ 2 ทฤษฎี	3
2.1 ทฤษฎีการทำความเย็น	3
2.2 หน่วยของการทำความเย็น	3
2.3 ประเภทของระบบการทำความเย็น	4
2.4 ระบบทำความเย็นชนิดอัดไอ	4
2.5 วงจรการทำความเย็นและส่วนประกอบของระบบทำความเย็นชนิดอัดไอ	5
2.6 สารทำความเย็น	19
2.7 P-h Diagram	22
2.8 วงจรทางปฏิบัติของการทำความเย็น	24
2.9 สมการที่ใช้ในการคำนวณ	25
2.10 คุณสมบัติไซโครเมตริกของอากาศ	27
บทที่ 3 อุปกรณ์การทดลองและวิธีการทดลอง	34
3.1 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	34
3.2 การบริการะบบ	40
3.3 วิธีการทดลอง	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง	47
4.1 ความยาวคอยล์ร้อนที่ 11 เมตร	47
4.2 ความยาวคอยล์ร้อนที่ 13 เมตร	50
4.3 ความยาวคอยล์ร้อนที่ 15 เมตร	53
4.4 ความยาวคอยล์ร้อนที่ 17 เมตร	56
4.5 ความยาวคอยล์ร้อนที่ 19 เมตร	59
บทที่ 5 การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง	62
5.1 วิเคราะห์ผลการทดลอง	62
5.2 สรุปผลการทดลอง	66
5.3 ข้อเสนอแนะ	67
บรรณานุกรม	68



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2-1 ชนิดของสารความเย็นที่นิยมใช้	21
ตารางที่ 4-1 การทดลองเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 17 °C ที่ 11 เมตร	47
ตารางที่ 4-2 การทดลองเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 20 °C ที่ 11 เมตร	48
ตารางที่ 4-3 การทดลองเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 23 °C ที่ 11 เมตร	49
ตารางที่ 4-4 การทดลองเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 17 °C ที่ 13 เมตร	50
ตารางที่ 4-5 การทดลองเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 20 °C ที่ 13 เมตร	51
ตารางที่ 4-6 การทดลองเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 23 °C ที่ 13 เมตร	52
ตารางที่ 4-7 การทดลองเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 17 °C ที่ 15 เมตร	53
ตารางที่ 4-8 การทดลองเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 20 °C ที่ 15 เมตร	54
ตารางที่ 4-9 การทดลองเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 23 °C ที่ 15 เมตร	55
ตารางที่ 4-10 การทดลองเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 17 °C ที่ 17 เมตร	56
ตารางที่ 4-11 การทดลองเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 20 °C ที่ 17 เมตร	57
ตารางที่ 4-12 การทดลองเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 23 °C ที่ 17 เมตร	58
ตารางที่ 4-13 การทดลองเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 17 °C ที่ 19 เมตร	59
ตารางที่ 4-14 การทดลองเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 20 °C ที่ 19 เมตร	60
ตารางที่ 4-15 การทดลองเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 23 °C ที่ 19 เมตร	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2-1 แสดงวัฏจักรการทำความเย็นในทางปฏิบัติเมื่อเปรียบเทียบกับทางทฤษฎี	5
รูปที่ 2-2 อุปกรณ์เครื่องทำความเย็น	5
รูปที่ 2-3 คอมเพรสเซอร์แบบอิสระ	6
รูปที่ 2.4 คอมเพรสเซอร์แบบกึ่งปิดสนิท	7
รูปที่ 2-5 คอมเพรสเซอร์แบบปิดสนิท	7
รูปที่ 2-6 คอนเดนเซอร์แบบใช้อากาศหมุนเวียนพาความร้อนออกโดยธรรมชาติ	8
รูปที่ 2-7 คอนเดนเซอร์แบบมีพัดลมช่วย	9
รูปที่ 2-8 คอนเดนเซอร์แบบท่อสองชั้นหล่อเย็นด้วยน้ำ	9
รูปที่ 2-9 คอนเดนเซอร์แบบท่อใหญ่มีขดท่อภายใน	10
รูปที่ 2.10 คอนเดนเซอร์แบบท่อใหญ่มีท่อตรงภายใน	10
รูปที่ 2.11 ถิ่นลดความดันชนิดปรับด้วยมือ	11
รูปที่ 2.12 ถิ่นลดความดันชนิดอัตโนมัติ	12
รูปที่ 2.13 ถิ่นลดความดันชนิดควบคุมด้วยความร้อน	12
รูปที่ 2.14 อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลชนิดท่อรูเข็ม (capillary tube)	13
รูปที่ 2.15 อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลชนิดด้านลูกลอยด้านความดันต่ำ	14
รูปที่ 2.16 อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลชนิดด้านลูกลอยด้านความดันสูง	15
รูปที่ 2.17 แบบทั่วไปของอีแวปโปเรเตอร์แบบท่อเปลือย	16
รูปที่ 2.18 อีแวปโปเรเตอร์แบบแผ่น	16
รูปที่ 2.19 อีแวปโปเรเตอร์แบบกริบ	17
รูปที่ 2-20 หลักการทำงานของระบบทำความเย็นชนิดอัดไอ	17
รูปที่ 2.21 แสดงส่วนความดันสูงและความดันต่ำในวัฏจักรทำความเย็น	18
รูปที่ 2-22 โครงสร้างทางเคมีของ R-22	22
รูปที่ 2-23 โครงสร้าง P-h ไดอะแกรม	23
รูปที่ 2-24 โครงสร้าง P-h ไดอะแกรมแสดงเส้นความดันคงที่ อุณหภูมิคงที่ ปริมาตรคงที่	24
รูปที่ 2-25 แผนภูมิไซโครเมตริก	32
รูปที่ 2-26 แผนภูมิ P-h ไดอะแกรมของน้ำยา R-22	33
รูปที่ 3-1 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	34
รูปที่ 3-2 แสดงวงจรของระบบชุดทดลอง	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3-3 heater แบบครีป	35
รูปที่ 3-4 เครื่องทำหมอก	35
รูปที่ 3-5 คอยล์เย็น	36
รูปที่ 3-6 Condensing unit	36
รูปที่ 3-7 Cooling Tower	37
รูปที่ 3-8 Thermo couple	37
รูปที่ 3-9 เกจแมนิโฟลด์	38
รูปที่ 3-10 เกจวัดความดัน	38
รูปที่ 3-11 ป้อนน้ำแรงดันสูง	39
รูปที่ 3-12 แสดงระบบหัวฉีด	39
รูปที่ 3-13 วาล์ว A วาล์ว B อยู่ในตำแหน่งปิดทั้งคู่	40
รูปที่ 3-14 วาล์ว A อยู่ในตำแหน่งเปิด วาล์ว B อยู่ในตำแหน่งปิด	41
รูปที่ 3-15 วาล์ว A อยู่ในตำแหน่งปิด วาล์ว B อยู่ในตำแหน่งเปิด	41
รูปที่ 3-16 วาล์ว A และวาล์ว B อยู่ในตำแหน่งเปิดทั้งคู่	41
รูปที่ 3-17 ป้อนสุญญากาศ	43
รูปที่ 3-18 การทำสุญญากาศระบบ	44
รูปที่ 3-19 การชาร์จน้ำยาในสถานะแก๊สเข้าระบบทางด้านความดันต่ำ	45
กราฟที่ 5-1 ความสัมพันธ์ระหว่าง COP – ความยาวท่อคอนเดนเซอร์	62
กราฟที่ 5-2 ความสัมพันธ์ระหว่าง Power input – ความยาวท่อคอนเดนเซอร์	63
กราฟที่ 5-3 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความร้อนที่ออกจากคอนเดนเซอร์กับความยาวท่อ	64
กราฟที่ 5-4 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความร้อนที่ไอเวปไพเรเตอร์กับความยาวท่อ	65

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มา

ปัจจุบันเครื่องปรับอากาศถือเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับชีวิตประจำวัน และเป็นที่นิยมใช้กันแพร่หลายมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นอาคารสำนักงาน หรือตามอาคารบ้านเรือนเครื่องปรับอากาศเป็นระบบที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นปริมาณมาก เมื่อเทียบกับปริมาณการใช้พลังงานของระบบอื่นๆ ในอาคาร ดังนั้น เมื่อมีการใช้เครื่องปรับอากาศมากขึ้นเท่าใด ความต้องการพลังงานไฟฟ้า จึงมากขึ้นเป็นเงาตามตัว และมีแนวโน้มมากขึ้นในอนาคตมาตรการประหยัดพลังงานต่างๆ ได้ถูกคิดค้น และนำมาใช้มากขึ้น เช่น การรณรงค์ปิดเครื่องปรับอากาศตอนเที่ยง และตั้งอุณหภูมิที่ 25 องศา เป็นต้น

เนื่องจากประเทศไทยอยู่ในเขตร้อนชื้น จึงมีความชื้นในอากาศมากพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เครื่องปรับอากาศนั้น นอกจากจะต้องทำให้อากาศภายในห้องเย็นตัวลงจนได้อุณหภูมิที่ต้องการแล้ว พลังงานส่วนหนึ่งจะต้องใช้ไปเพื่อกำจัดความชื้นในอากาศในการควบแน่นด้วยดังนั้นถ้าการระบายความร้อนที่เครื่องควบแน่นระบายความร้อนได้ดียิ่งขึ้นจนกระทั่งสารทำความเย็นเหลวมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิจุดอิ่มตัวของสารทำความเย็นเหลว สารทำความเย็นก็จะถูกทำอยู่ในสถานะของเหลวเย็นยิ่ง ซึ่งจะมีความหนาแน่นมากเพราะไม่มีไอปนอยู่เลยก่อนเข้าอุปกรณ์ควบแน่นการไหลของสารทำความเย็น ซึ่งเป็นการทำให้มวลของสารทำความเย็นที่เป็นของเหลวมากกว่าไอไหลผ่านเครื่องทำระเหยมากขึ้นและดูดซับความร้อนได้มากขึ้นก็จะทำให้ประสิทธิภาพการทำความเย็นเพิ่มมากขึ้น เป็นผลให้ความดัน และอุณหภูมิภายในระบบลดต่ำลง ทำให้อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศลดลง และประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้าได้ส่วนหนึ่ง

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 ศึกษาพฤติกรรมกรรมการระบายความร้อนในเครื่องควบแน่นของเครื่องปรับอากาศ
- 1.2.2 สร้างเครื่องควบแน่นของระบบปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยน้ำและอากาศ
- 1.2.3 ทดลองและหาสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศที่ใช้เครื่องควบแน่นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำและอากาศ

### 1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 ศึกษาเฉพาะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนขนาด 1 ตัน
- 1.3.2 สร้างเครื่องควบแน่นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำและอากาศ ดัดตั้งอุปกรณ์และทดสอบสมรรถนะ ของเครื่องปรับอากาศ
- 1.3.3 ทดลองและทำการหาขนาดความยาวของคอนเดนเซอร์ที่เหมาะสมในการระบายความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 เป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ
- 1.4.2 พัฒนาเครื่องปรับอากาศที่ให้สมรรถนะสูงประหยัดพลังงานซึ่งเป็นประโยชน์มากต่อสถานะการเกิดวิกฤติพลังงานในปัจจุบัน

## 1.5 วิธีการดำเนินงานวิจัย

- 1.5.1 ศึกษาทฤษฎีการทำงานในการถ่ายเทความร้อนของเครื่องควบแน่นและเครื่องปรับอากาศระบบรวมถึงศึกษาการทำงานของ evaporative cooling
- 1.5.2 ออกแบบขนาดการขดท่อคอยล์ร้อน
- 1.5.3 ออกแบบอุปกรณ์การฉีดน้ำ
- 1.5.4 คิดตั้งขดท่อคอยล์ร้อนเข้ากับหอระบายน้ําเย็นและติดตั้งอุปกรณ์การฉีดน้ำ
- 1.5.5 คิดตั้งอุปกรณ์ที่ออกแบบเข้ากับระบบทำความเย็น
- 1.5.6 ทำการชาร์จน้ําเข้าระบบเพื่อทำการทดสอบรายละเอียดและวิธีการทดลองอยู่ในบทที่ 3
- 1.5.7 นำผลที่ได้จากการทดลองมาคำนวณและนำผลที่ได้จากการคำนวณมาเขียนกราฟเพื่อศึกษาแนวโน้มของแต่ละระบบ โดยส่วนนี้จะอยู่ในบทที่ 4
- 1.5.8 นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์และสรุปผลประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัยครั้งนี้จะอยู่ในบทที่ 5

## บทที่ 2

## ทฤษฎี

### 2.1 ทฤษฎีการทำความเย็น

#### 2.1.1 การทำความเย็น(Refrigeration)

การทำความเย็นเป็นสาขาหนึ่งของวิทยาศาสตร์ที่กล่าวถึงวิธีในการลดและรักษาระดับอุณหภูมิของเนื้อที่ว่าง หรืออุณหภูมิของวัตถุให้ต่ำกว่าระดับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม โดยทั่วไปสามารถนิยามการทำความเย็นสั้นๆว่าเป็นกระบวนการเคลื่อนย้ายความร้อนออกจากสถานที่หนึ่งทำให้อุณหภูมิของสถานที่นั้นลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอก ซึ่งอัตราความร้อนที่ต้องการเคลื่อนย้ายออกจากสถานที่นั้นๆ เพื่อลดอุณหภูมิลงหรือรักษาระดับอุณหภูมิที่ต้องการไว้จะเรียกว่า ความร้อนที่คิดเป็นภาระ (Heat Load) จะเป็นผลรวมของความร้อนจากแหล่งความร้อนต่างๆ เช่น ความร้อนที่เกิดจากการรั่วซึม, ความร้อนจากร่างกายคน, ความร้อนจากผลิตภัณฑ์, ความร้อนจากมอเตอร์, ความร้อนจากหลอดไฟ หรือความร้อนจากอุปกรณ์ต่างๆ และสิ่งเหล่านี้จะมีผลในการคำนวณหาขนาดของอุปกรณ์ทำความเย็น

#### 2.1.2 สารทำความเย็นที่เป็นของเหลว(Liquid Refrigerant)

ขณะที่ของเหลวเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ มันสามารถดูดความร้อนแฝงไว้ได้เป็นจำนวนมาก ซึ่งได้นำมาใช้เป็นหลักการทำความเย็นของเครื่องทำความเย็นในปัจจุบัน การกลายเป็นไอของของเหลวในลักษณะเป็นตัวทำความเย็นจะมีข้อดีว่าการหลอมละลายของของแข็ง และการกลายเป็นไอสามารถควบคุมได้ง่ายกว่าผลของความทำความเย็นที่ได้จากการกลายเป็นไอของสารทำความเย็นสามารถที่จะเริ่มต้นหรือหยุดขณะใดขณะหนึ่งได้สามารถที่จะกำหนดความเย็นล่วงหน้าได้ และอุณหภูมิกลายเป็นไอของของเหลวสามารถควบคุมได้โดยการปรับความดัน และของเหลวที่กลายเป็นไอแล้วสามารถเก็บรวบรวมไว้และพร้อมที่จะทำให้เป็นของเหลวนำกลับมาใช้ได้อีก ในปัจจุบันของเหลวที่นิยมนำมาเป็นสารทำความเย็นที่แพร่หลาย ก็คือ Fluorinated hydrocarbon of methane series ใช้ชื่อทางเคมีว่า Monochlorodifluoromethane( $\text{CHClF}_2$ ) ใช้ชื่อทางการค้าว่า ฟรีออน โดยมีชื่อทางเคมีทั่วไปว่า Refrigerant - 22 (R-22) หรือ ฟรีออน -22

### 2.2 หน่วยของการทำความเย็น(Standard Rating of Refrigeration)

หน่วยที่ใช้วัดอัตราการทำความเย็นใช้หน่วยที่เรียกว่า “ตันของการทำความเย็น” (Ton of Refrigeration) หนึ่งตันของการทำความเย็น หมายถึงปริมาณความร้อนที่ทำให้ น้ำแข็งบริสุทธิ์ 1 ตัน (2000 ปอนด์) ที่อุณหภูมิ  $32^\circ\text{F}$  กลายเป็นน้ำบริสุทธิ์อุณหภูมิ  $32^\circ\text{F}$  ภายในเวลา 24 ชั่วโมง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก  $Q = mL$

เมื่อ  $Q =$  ปริมาณความร้อนที่ทำให้น้ำแข็งจำนวน 1 ตันละลายเป็นน้ำ

$M =$  มวลของน้ำแข็ง

$L =$  ความร้อนแฝงของน้ำแข็ง = 144 Btu/lb

ดังนั้น 1 ตันของการทำความเย็นจึงมีค่าเท่ากับ 12,000 Btu/hr หรือ 200 Btu/min

## 2.3 ประเภทของระบบการทำความเย็น

ในการทำอุณหภูมิลดลงจากปกติ (Ambient Air Temperature) ลงมาถึงอุณหภูมิที่ต้องการนั้น สามารถใช้ระบบทำความเย็นได้แบบ ซึ่งมีทั้งชนิดที่เป็นแบบทางกลและไม่ใช้ทางกล ดังนี้

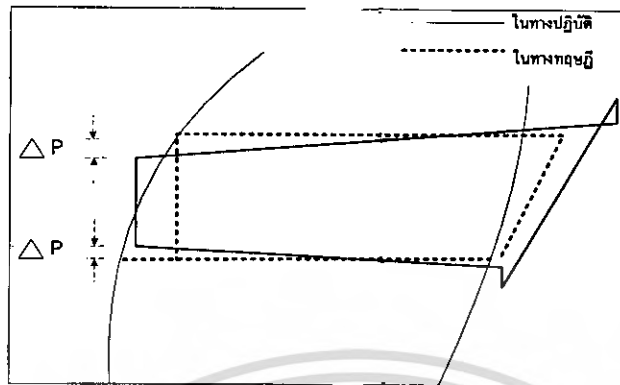
1. ระบบทำความเย็นชนิดอัดไอ (Vapor Compression Refrigeration System)
2. ระบบทำความเย็นชนิดดูดละลาย (Absorption Refrigeration System)
3. ระบบทำความเย็นด้วยอากาศ(ระบบปิด) (Air Refrigeration System Closed)
4. ระบบทำความเย็นแบบใช้หัวฉีด-ไอน้ำ (Steam Jet Refrigeration System)
5. ระบบทำความเย็นแบบเทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric Refrigeration System)
6. ระบบแม่เหล็กที่ใช้ในการทำอุณหภูมิต่ำ (Magnetic System of Producing Low Temperatuer) ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะระบบทำความเย็นชนิดอัดไอน้ำเท่านั้น

## 2.4 ระบบทำความเย็นชนิดอัดไอ

ระบบการทำความเย็นชนิดอัดไอได้รับการออกแบบและสร้างขึ้นโดยอาศัยหลักการพื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิกส์ ดังนี้

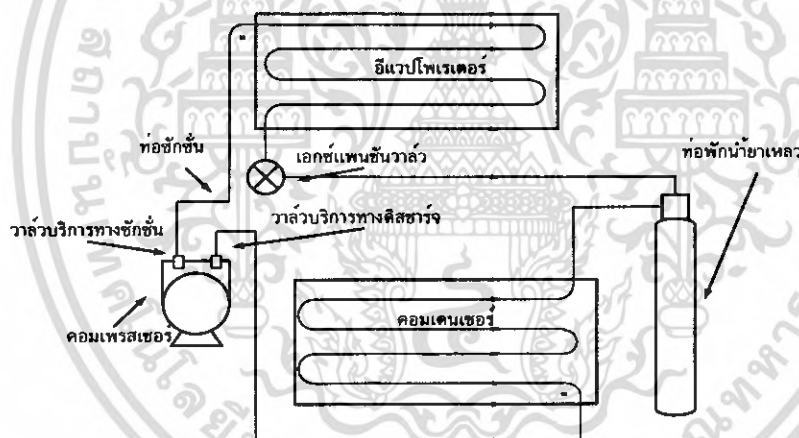
1. ของไหลดูดความร้อนในขณะที่เปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอและยอมให้ความร้อนขณะที่เปลี่ยนสถานะจากไอเป็นของเหลว
2. ในระหว่างที่เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะอุณหภูมิจะคงที่แต่อุณหภูมินี้จะเปลี่ยนแปลงกับความดันที่ความดันคงที่จุดหนึ่งการกลายเป็นไอจะเกิดขึ้น ณ จุดที่อุณหภูมิจึงมีความสัมพันธ์กันเท่านั้น อย่างไรก็ตามอุณหภูมิของการกลายเป็นไอที่ความดันอันหนึ่งย่อมแตกต่างกันสำหรับของเหลวที่ต่างกัน
3. ความร้อนจะไหลจากแหล่งอุณหภูมิสูงไปยังแหล่งอุณหภูมิต่ำ
4. การเลือกใช้โลหะที่ใช้ทำเครื่องควบแน่นจะต้องเป็นโลหะที่มีการนำความร้อนสูง
5. พลังงานความร้อนและพลังงานในรูปแบบอื่น ๆ สามารถที่จะนำกลับมาใช้ประโยชน์ โดยกฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์

## 2.5 วัฏจักรการทำความเย็นและส่วนประกอบของระบบทำความเย็นชนิดอัดไอ



รูปที่ 2-1 แสดงวัฏจักรการทำความเย็นในทางปฏิบัติเมื่อเปรียบเทียบกับทางทฤษฎี

### 2.5.1 อุปกรณ์ของระบบทำความเย็น



รูปที่ 2-2 อุปกรณ์เครื่องทำความเย็น

ส่วนประกอบของระบบทำความเย็นและหลักการการทำงานของระบบทำความเย็นชนิดอัดไอ

1. คอมเพรสเซอร์
2. คอนเดนเซอร์
3. ถังลดความดันหรืออุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหล
4. อีแวปโปเรเตอร์
5. หลักการทำงานของระบบทำความเย็นชนิดอัดไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

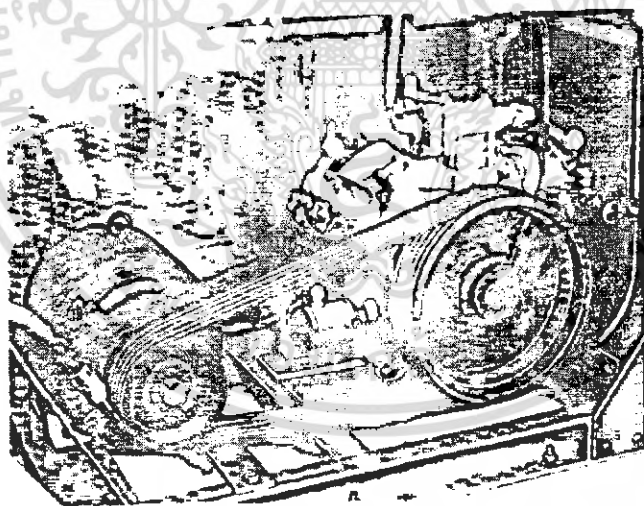
**1.คอมเพรสเซอร์** สร้างความดันที่แตกต่างกันไป ในระบบท่อสารทำความเย็นของเครื่องทำความเย็น เพื่อให้สารทำความเย็นที่มีในระบบไหลวนเวียนได้การทำงานอาจแบ่งได้สองหน้าที่คือ (1) คึงไอสารทำความเย็นจากอีแวปโปเรเตอร์ และในเวลาเดียวกันเป็นการลดความดันในอีแวปโปเรเตอร์ลงถึงระดับหนึ่งเพื่อให้ความระดบที่มีในอีแวปโปเรเตอร์สอดคล้องกับอุณหภูมิของอีแวปโปเรเตอร์ (2) เป็นตัวเพิ่มความดันให้กับไอสารทำความเย็นในคอนเดนเซอร์เพื่อให้ความดันสอดคล้องกับอุณหภูมิอิ่มตัวและเมื่อลดอุณหภูมิอิ่มตัวลงบ้าง สารทำความเย็นจะเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวได้อีก

1.1 คอมเพรสเซอร์แบบอิสระ

1.2 คอมเพรสเซอร์แบบกึ่งปิดสนิท

1.3 คอมเพรสเซอร์แบบปิดสนิท

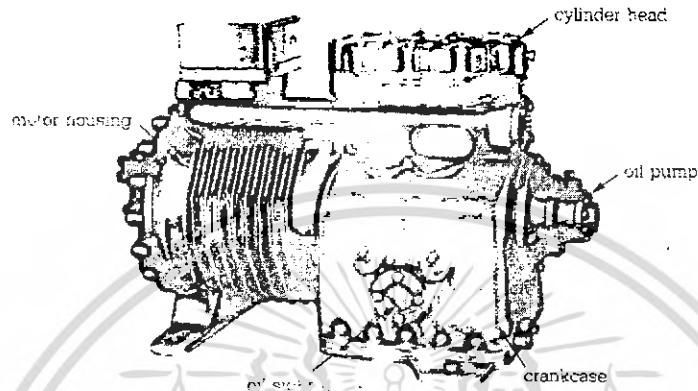
1.1 คอมเพรสเซอร์แบบอิสระ นิยมใช้กันมากในสมัยการพัฒนาเครื่องทำความเย็นขึ้นใหม่ๆ การขับเคลื่อนจะเป็นเครื่องชนิดหรือมอเตอร์ไฟฟ้าก็ได้ ข้อเสียคือรูปร่างทอะทะ และมีน้ำหนักมากเพราะตัวเรือนสร้างด้วยเหล็กหล่อเป็นเหตุให้คอมเพรสเซอร์แบบนี้มีราคาสูงการปิดกั้นกันรั้วซึมของสารทำความเย็น บริเวณแกนของเพลลาข้อเหวี่ยงกระทำได้ยากหากจะให้มีการขับเคลื่อนโดยตรงไม่ต้องใช้สายพาน การตั้งแนวระดับกระทำได้ยาก ขณะใช้งานมีเสียงดังมาก



รูปที่ 2.3 คอมเพรสเซอร์แบบอิสระ

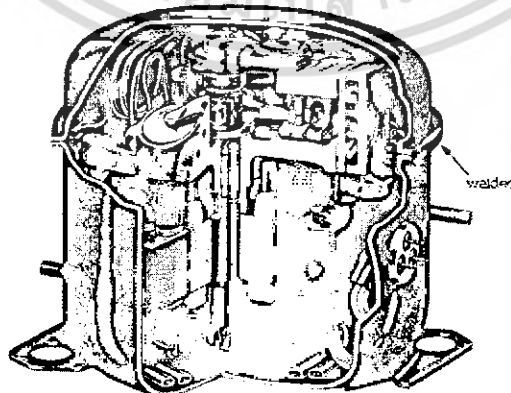
1.2 คอมเพรสเซอร์แบบกึ่งปิดสนิท คอมเพรสเซอร์ที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าโดยให้คอมเพรสเซอร์และมอเตอร์ไฟฟ้ารวมอยู่ในตัวเรือนเดียวกันตัวหมุนของมอเตอร์ต่อกับเพลลาข้อเหวี่ยงของคอมเพรสเซอร์ และอุปกรณ์ทุกชิ้นของมอเตอร์จะไม่สัมผัสโดยตรงกับระบบทำความเย็นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่นการสร้างคอมเพรสเซอร์ลักษณะนี้จะขจัดปัญหาบางอย่าง คือปัญหาของสายพาน ปัญหาการรั่วซึมของสารทำความเย็นบริเวณเพลลาซิป และขนาดของมอเตอร์ที่เหมาะสม ทำให้สามารถออกแบบสร้างคอมเพรสเซอร์ให้มีขนาดกะทัดรัดยิ่งขึ้น และเสียงเบา



รูปที่ 2.4 คอมเพรสเซอร์แบบกึ่งปิดสนิท

1.3 คอมเพรสเซอร์แบบปิดสนิท คอมเพรสเซอร์แบบนี้ได้รับการออกแบบเพื่อลดขนาดของคอมเพรสเซอร์ หมายถึงการลดต้นทุนการสร้างเครื่องทำความเย็นซึ่งมีผลคือ สามารถจำหน่ายในราคาที่ถูกกว่าจึงนิยมใช้งานกันในปัจจุบัน คอมเพรสเซอร์แบบนี้จะมีมอเตอร์และคอมเพรสเซอร์บรรจุภายในตัวเรือน ที่เชื่อมปิดมิดชิดการทำงาน ไอสารทำความเย็นที่ใช้งานแล้วจากอีแวปโพเรเตอร์ผ่านท่อดูด สู่ภายในตัวของคอมเพรสเซอร์ และช่องดูดของคอมเพรสเซอร์จะดูดไอสารทำความเย็นผ่านวาล์วดูดอัด โดยถูกสูบลบกับเสื่อสูบ และถูกดันออกผ่านวาล์วออกสู่อ่างออก



รูปที่ 2.5 คอมเพรสเซอร์แบบปิดสนิท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2. คอนเดนเซอร์** เป็นอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนแบบหนึ่งเช่น เดียวกันกับฮีทเอ็กซ์เชนเจอร์ไอ ร้อนจากสารทำความเย็นซึ่งไหลไปตามผนังท่อของคอนเดนเซอร์จะถ่ายเทความร้อนให้กับสารทำความเย็นผลจากการถ่ายเทความร้อนนี้จะทำให้สารทำความเย็นกลั่นตัวเป็นของเหลวตัวกลางหล่อเย็นที่นิยมใช้กัน

2.1 คอนเดนเซอร์แบบหล่อเย็นด้วยอากาศ

2.2 คอนเดนเซอร์แบบหล่อเย็นด้วยน้ำ

2.1 คอนเดนเซอร์แบบหล่อเย็นด้วยอากาศ มีทั้งแบบใช้อากาศหมุนเวียนพาความร้อนออกโดยธรรมชาติ และแบบมีพัดลมช่วยโดย

2.1.1 แบบใช้อากาศหมุนเวียนพาความร้อนออกโดยธรรมชาติอาศัยอากาศโดยรอบ คอนเดนเซอร์จะมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศปกติจึงลอยตัวสูงขึ้นอากาศซึ่งเย็นกว่าจะไหลเข้ามาแทนที่เพื่อการระบายความร้อนออกจากผิวของคอนเดนเซอร์



**รูปที่ 2.6 คอนเดนเซอร์แบบใช้อากาศหมุนเวียนพาความร้อนออกโดยธรรมชาติ**

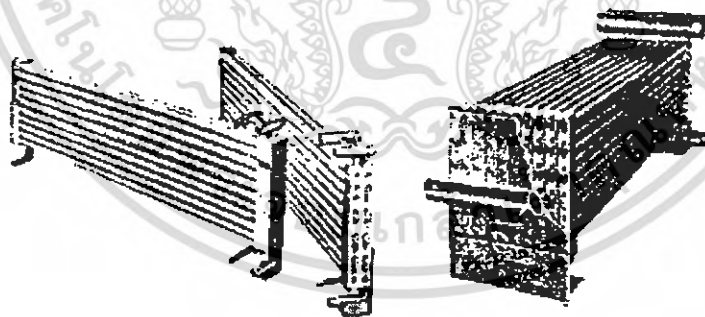
2.1.2 แบบมีพัดลมช่วย คอนเดนเซอร์แบบนี้จะใช้พัดลมช่วยเพิ่มปริมาณลมที่ผ่านผิวของคอนเดนเซอร์มากขึ้น ซึ่งจะช่วยให้สามารถลดขนาดของคอนเดนเซอร์ให้เล็กลงได้



**รูปที่ 2.7 คอนเดนเซอร์แบบมีพัดลมช่วย**

2.2 คอนเดนเซอร์แบบหล่อเย็นด้วยน้ำ โดยแบบนี้สามารถแบ่งได้คือ แบบท่อสองชั้น แบบท่อใหญ่มีขดท่อภายใน แบบท่อใหญ่มีท่อตรงภายใน

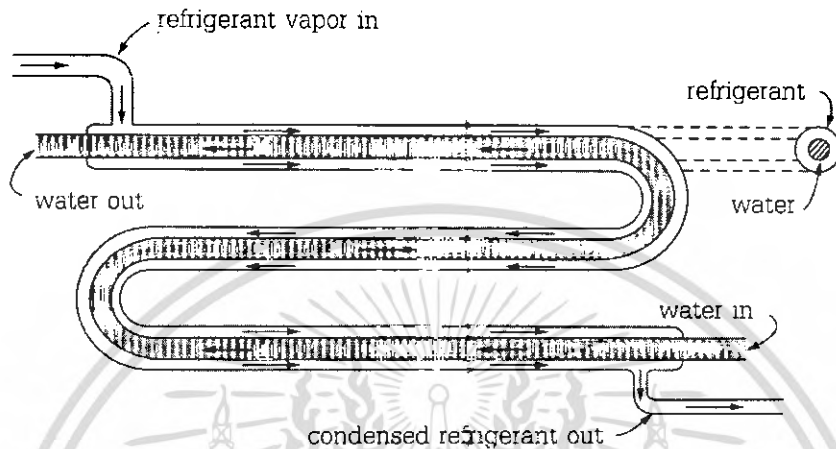
2.2.1 แบบท่อสองชั้น ประกอบด้วยท่อสองท่อคือ ท่อเล็กซึ่งเป็นท่อน้ำจะอยู่ภายในท่อใหญ่ซึ่งเป็นท่อสารทำความเย็น



**รูปที่ 2.8 คอนเดนเซอร์แบบท่อสองชั้นหล่อเย็นด้วยน้ำ**

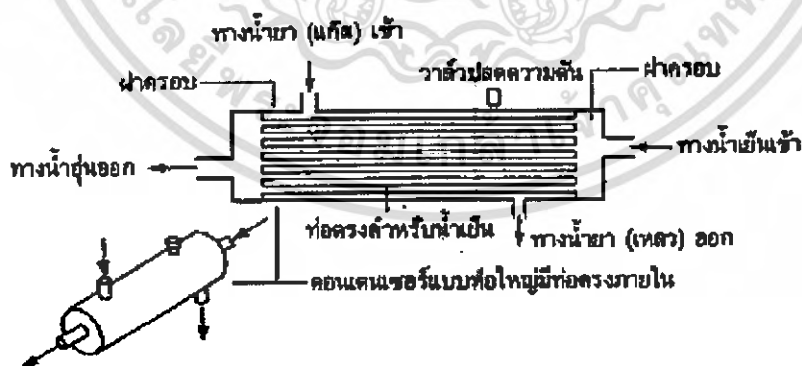
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 แบบท่อใหญ่มีขดท่อภายในประกอบด้วยขดท่อน้ำหนึ่งขดหรือมากกว่าขดอยู่ภายในท่อใหญ่ซึ่งบรรจุสารทำความเย็นที่ถูกอัดส่งมาจากคอมเพรสเซอร์มากลั่นตัวเป็นสารทำความเย็นเหลวรอบๆขดน้ำเย็น



รูปที่ 2.9 คอนเดนเซอร์แบบท่อใหญ่มีขดท่อภายใน

2.2.3 แบบท่อใหญ่มีท่อตรงภายใน ประกอบด้วยท่อเหล็กขนาดใหญ่ภายในมีท่อตรงขนาดเล็กอยู่มาหลายเรียงตัวขนานกัน ใช้กับเครื่องทำความเย็นขนาดตั้งแต่ 2 คตัน ขึ้นไป



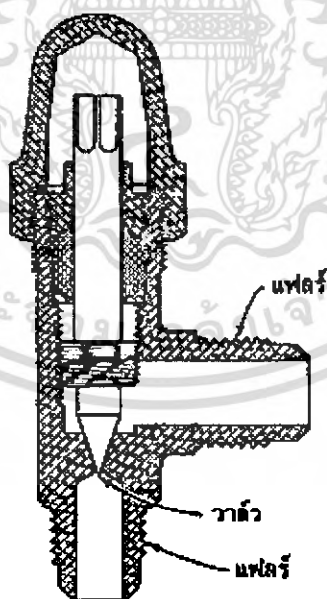
รูปที่ 2.10 คอนเดนเซอร์แบบท่อใหญ่มีท่อตรงภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**3. ถิ่นลดความดันหรืออุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหล** เป็นอุปกรณ์ทำหน้าที่ควบคุมการไหลของสารทำความเย็นของเครื่องทำความเย็นก่อนที่จะผ่านเข้ายังอีแวปโปเรเตอร์ ถิ่นลดความดันของสารทำความเย็นให้มีความดันต่ำลงจนสามารถเปลี่ยนสถานะเป็นแก๊สได้ที่อุณหภูมิต่างๆ ในอีแวปโปเรเตอร์และยังทำหน้าที่เป็นตัวแบ่งความดันของระบบเป็นความดันสูงและความดันต่ำ

- 3.1 ถิ่นลดความดันชนิดปรับด้วยมือ
- 3.2 ถิ่นลดความดันชนิดอัตโนมัติ
- 3.3 ถิ่นลดความดันชนิดควบคุมด้วยความร้อน
- 3.4 อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลชนิดท่อรูเข็ม (capillary tube)
- 3.5 อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลชนิดด้านลูกลอยด้านความดันต่ำ
- 3.6 อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลชนิดด้านลูกลอยด้านความดันสูง

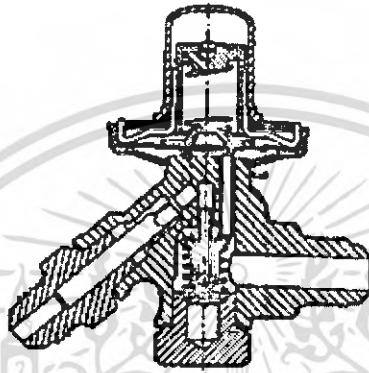
3.1 ถิ่นลดความดันชนิดปรับด้วยมือ เป็นแบบต้องให้คนควบคุมปรับวาล์วให้เปิดกว้างมากหรือน้อย เพื่อให้สารทำความเย็นในระบบจากท่อพักสารทำความเย็นไหลผ่านได้มากหรือน้อย ซึ่งอัตราการไหลของสารทำความเย็นนี้ยังขึ้นอยู่กับความดันที่แตกต่างกันระหว่างด้านความดันสูงและด้านความดันต่ำของระบบเหมาะสำหรับระบบเครื่องทำความเย็นขนาดใหญ่ปริมาณความร้อนที่คิดเป็นโหลดที่อีแวปโปเรเตอร์ไม่เปลี่ยนแปลงมาก



**รูปที่ 2.11 ถิ่นลดความดันชนิดปรับด้วยมือ**

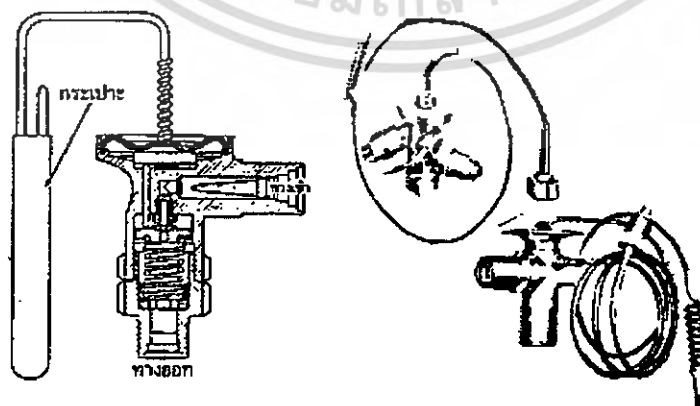
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ลินดลดความดันชนิดอัตโนมัติ โดยอาศัยหลักควบคุมให้ความดันทางอีแวนโพเรเตอร์คงที่อยู่เสมอตามปกติว่าลวจะเปิดให้สารทำความเย็นชนิดผ่านได้เพียงเล็กน้อย และเมื่อมีการเพิ่มปริมาณความร้อนที่คิดเป็น โหลดเข้าในอีแวนโพเรเตอร์ ค่าความดันของสารทำความเย็นในอีแวนโพเรเตอร์จะสูงขึ้นว่าลวจะเปิดกว้างขึ้นให้สารทำความเย็นชนิดผ่านได้มากขึ้นเข้าไปเคือคเปลี่ยนสถานะควรับปริมาณความร้อนในอีแวนโพเรเตอร์ได้มากขึ้น



รูปที่ 2.12 ลินดลดความดันชนิดอัตโนมัติ

3.3 ลินดลดความดันชนิดควบคุมด้วยความร้อน อาศัยหลักควบคุมให้อุณหภูมิทางอีแวนโพเรเตอร์คงที่อยู่เสมอจะติดตั้งอยู่ใกล้กับท่อทางเข้าของอีแวนโพเรเตอร์ว่าลวจะเปิดเพียงเล็กน้อย เพื่อให้สารทำความเย็นเหลว ไหลผ่านได้แต่เพียงเล็กน้อย ดังนั้นสารทำความเย็นจะลดลงจนสามารถเคือคเปลี่ยนสถานะได้ที่อุณหภูมิค่าๆตามอุณหภูมิของอีแวนโพเรเตอร์



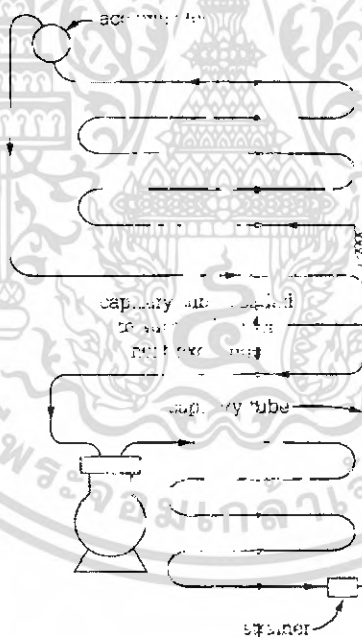
รูปที่ 2.13 ลินดลดความดันชนิดควบคุมด้วยความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลชนิดท่อรูเข็ม (capillary tube) อาศัยหลักการทำงานอย่างง่าย จะเป็นท่อที่มีขนาดเล็กมากต่ออยู่ในระบบแบบอนุกรมทำให้สารทำความเย็นที่ไหลจากคอนเดนเซอร์ไปยังอีแวปโปเรเตอร์ถูกจำกัดให้ไหลผ่านได้เพียงเล็กน้อยและความดันของสารทำความเย็นในระบบถูกลดลงที่อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลชนิดท่อรูเข็ม (capillary tube)

ข้อดีของอุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลชนิดท่อรูเข็ม (capillary tube)

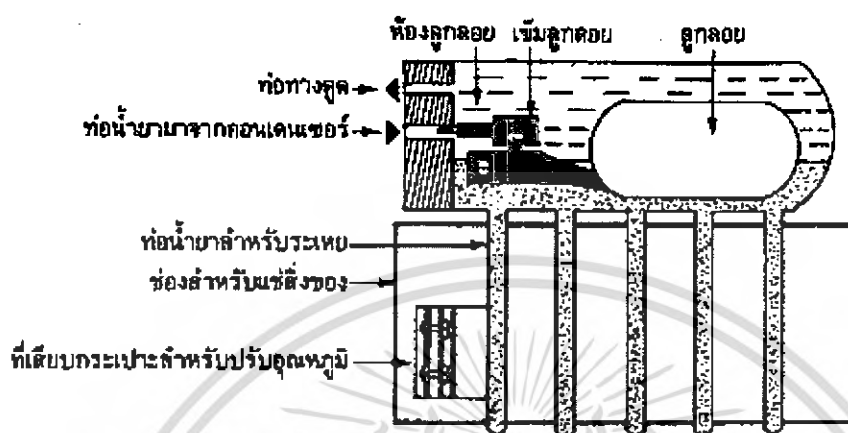
- เป็นแบบที่มีลักษณะการทำงานง่ายๆ ไม่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่
- ราคาถูก
- ใช้สารทำความเย็นน้อยเพราะระบบไม่จำเป็นต้องมีท่อพักสารทำความเย็นเหลว
- โอกาสที่จะเปลี่ยนชิ้นส่วนต่างๆมีน้อย
- ระบบออกตัวได้ง่าย เพราะเมื่อขณะหยุดระบบความดันของสารทำความเย็นในระบบด้านความดันสูง สามารถไหลกลับเข้าสู่ด้านความดันต่ำของระบบ ได้จนมีความดันเท่ากัน



รูปที่ 2.14 อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลชนิดท่อรูเข็ม (capillary tube)

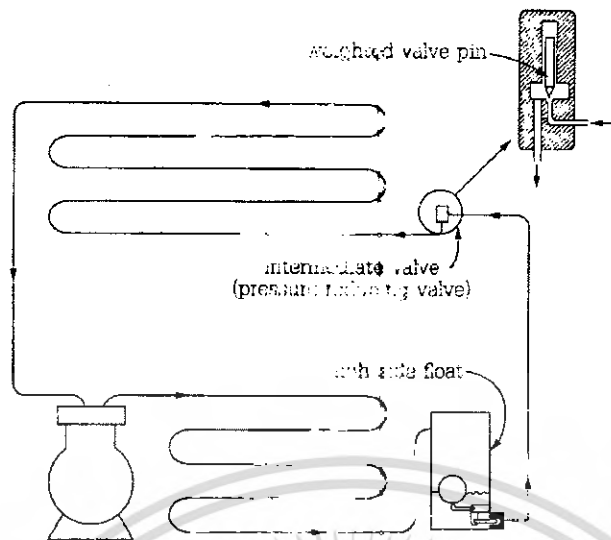
3.5 อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลชนิดด้านลูกลอยด้านความดันต่ำจะควบคุมระดับของสารทำความเย็นเหลวในห้องลูกลอยให้คงที่อยู่เสมอขณะที่สารทำความเย็นเหลวภายใต้ความดันต่ำในห้องลูกลอยเดือดเปลี่ยนสถานะเป็นแก๊สที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือดของสารทำความเย็นเหลวที่ระดับของสารทำความเย็นเหลวลดต่ำลง ลิ้นลูกลอยจะเปิดกว้างให้สารทำความเย็นเหลวลดต่ำลง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลิ้นลูกลอยจะเปิดกว้างให้สารทำความเย็นไหลผ่านเข้ามาได้มากขึ้นเพื่อรักษาระดับของสารทำความเย็นในห้องลูกลอยให้คงที่อยู่เสมอ



รูปที่ 2.15 อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลชนิดด้านลูกลอยด้านความดันต่ำ

3.6 อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลชนิดด้านลูกลอยด้านความดันสูง ในขณะที่คอมเพรสเซอร์ทำงานสารทำความเย็นเหลวซึ่งกลั่นตัวเรียบร้อยแล้วจากคอนเดนเซอร์จะไหลเข้าห้องลูกลอยด้านความดันสูงจนกระทั่งเมื่อมีจำนวนเพียงพอก็จะทำให้ลูกลอยลอยขึ้นวาล์วลูกลอยจะเปิดให้สารทำความเย็นเหลวซึ่งมีความดันสูงไหลผ่านไปส่งเข้ายังวาล์ว อีกตัวหนึ่งที่อาศัยน้ำหนักของตัวเองลดลงสารทำความเย็นเหลวเมื่อไหลผ่านวาล์วนี้จะมีความดันลดลงเนื่องจากจะต้องสูญเสียความดันให้กับแรงดันของวาล์ว การทำความเย็นในระบบนี้ส่วนมากใช้ในตู้แช่เพื่อการค้าซึ่งต้องการผลความเย็นสูงจำนวนสารทำความเย็นที่ใช้เดิมเข้าในระบบนี้จำเป็นต้องมีปริมาณที่แน่นอนจะมากหรือน้อยเกินไปไม่ได้เพราะจะทำให้การทำงานของลูกลอยผิดปกติ



**รูปที่ 2.16 อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลชนิดค้ำถูกถอยด้านความดันสูง**

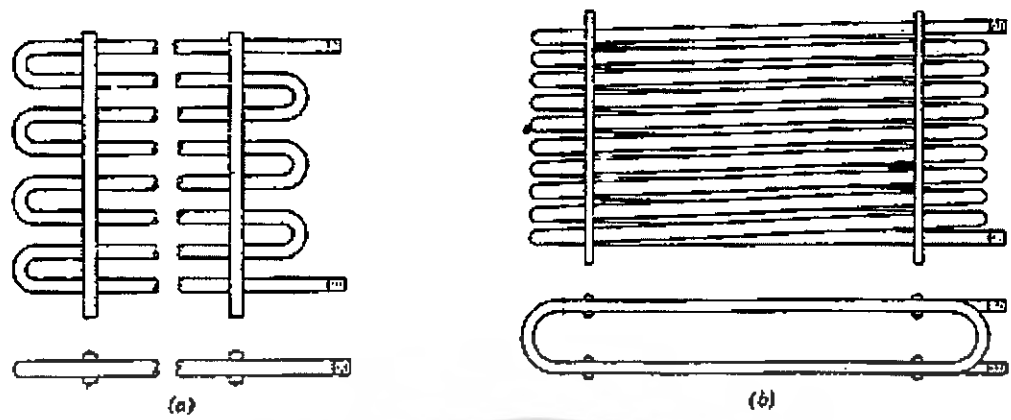
**4.อีแวนไพเรเตอร์**เป็นอุปกรณ์ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนแบบหนึ่ง ซึ่งเกิดจากการที่ของเหลวระเหยกลายเป็นไอเพื่อจุดประสงค์ในการดึงเอาความร้อนออกไปจากผลิตภัณฑ์ หรือช่องว่างที่ต้องการทำให้เย็นถูกนำไปใช้งานในรูปแบบต่างๆ จึงทำให้อีแวนไพเรเตอร์ถูกผลิตออกมาในหลายรูปแบบ หลายขนาด

4.1 อีแวนไพเรเตอร์แบบท่อเปลือย

4.2 อีแวนไพเรเตอร์แบบแผ่น

4.3 อีแวนไพเรเตอร์แบบครีป

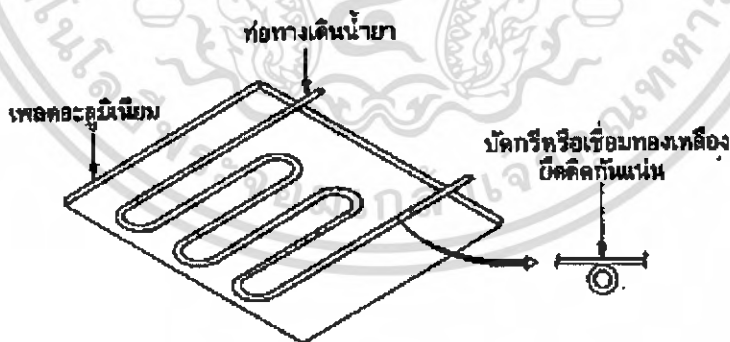
4.1 อีแวนไพเรเตอร์แบบท่อเปลือย จะสร้างจากท่อเหล็กหรือทองแดงท่อเหล็กมักจะใช้กับสารทำความเย็นพวกแอมโมเนียเพราะทองแดงจะทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียแล้วเกิดการสึกหรอและใช้กับการทำความเย็นขนาดเล็กและสารทำความเย็นที่ไม่ใช่แอมโมเนียอื่นๆ อีแวนไพเรเตอร์แบบท่อเปลือยนี้มีหลายขนาดหลายแบบ และมักจะใช้กับงานแต่ละอย่างแยกกันไปรูปร่างโดยทั่วไปจะเป็นแบบซิกแซกและ oval trombone ดังแสดงในรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 แบบทั่วไปของฮีเวปโทเรเตอร์แบบท่อเปลือย

(a) ท่อแบบจิกนซก (b) trombone

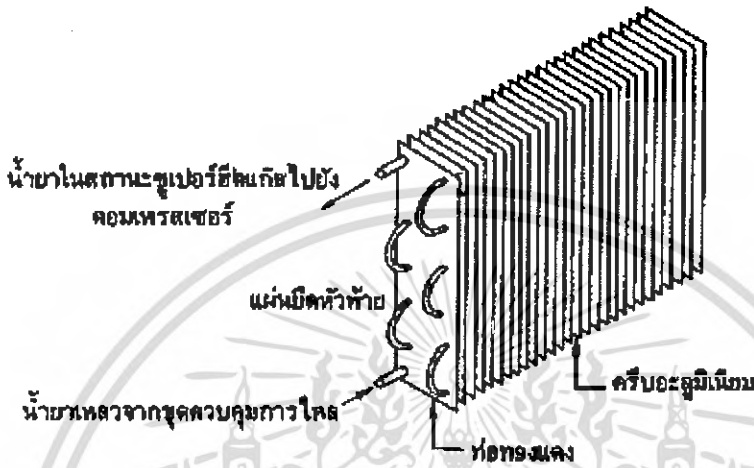
4.2 ฮีเวปโทเรเตอร์แบบแผ่น แบบนี้สามารถแบ่งย่อยได้อีกหลายแบบสร้างโดยใช้โลหะ 2 แผ่น แผ่นหนึ่งกดขึ้นรูปเป็นลอนนูนอีกแผ่นเรียบแล้วทำการเชื่อมติดกัน และรอยที่เป็นลอนนูนจะทำเป็นท่อทางของสารทำความเย็นดังรูปที่ 2.18 สำหรับฮีเวปโทเรเตอร์แบบนี้ใช้กันอย่างกว้างขวางในพวกตู้เย็นภายในบ้านเพราะทำความสะดวกและผลิตขายเป็นส่วนมาก



รูปที่ 2.18 ฮีเวปโทเรเตอร์แบบแผ่น

4.3 ฮีเวปโทเรเตอร์แบบกริบ เป็นการสร้างจากท่อเปลือยธรรมดาเพียงแต่เพิ่มแผ่นโลหะลงไปทีเรียกว่า กริบ ตัวกริบจะเป็นลักษณะของพื้นผิวชั้นที่ 2 ซึ่งจะเป็นการเพิ่มพื้นผิวด้านนอกของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

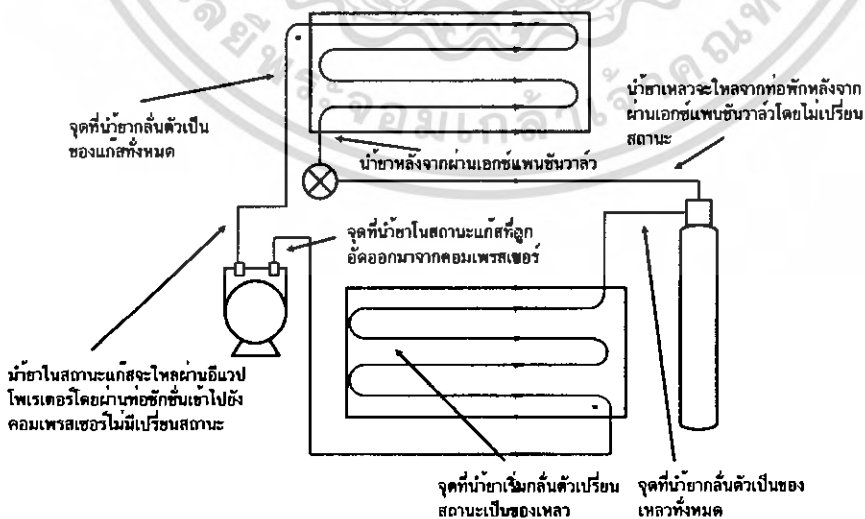
อีแวปโปเรเตอร์อันจะเพิ่มประสิทธิภาพของการทำความเย็นให้มากขึ้น โดยครีบบจะทำตัวเสมือนเป็นตัวเก็บความร้อนมาจากอากาศบริเวณรอบๆ ที่ไม่ได้สัมผัสกับท่อโดยตรงแล้วครีบบก็จะทำการถ่ายเทความร้อนให้กับท่อของสารทำความเย็นอีกต่อหนึ่ง



รูปที่ 2.19 อีแวปโปเรเตอร์แบบครีบบ

**5. หลักการทำงานของระบบทำความเย็นชนิดอัดไอ**

ในวัฏจักรการทำความเย็นประกอบไปด้วยการระเหย การควบแน่นและการหมุนเวียนของสารทำความเย็น (Refrigeration) ในระบบอย่างสม่ำเสมอ การระเหยกลายเป็นไอเกิดขึ้นเมื่อมีความดันต่ำและอุณหภูมิต่ำ การควบแน่นจากไอเป็นของเหลวเกิดเมื่อมีความดันสูงอุณหภูมิต่ำ



รูปที่ 2-20 หลักการทำงานของระบบทำความเย็นชนิดอัดไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัด 72168 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

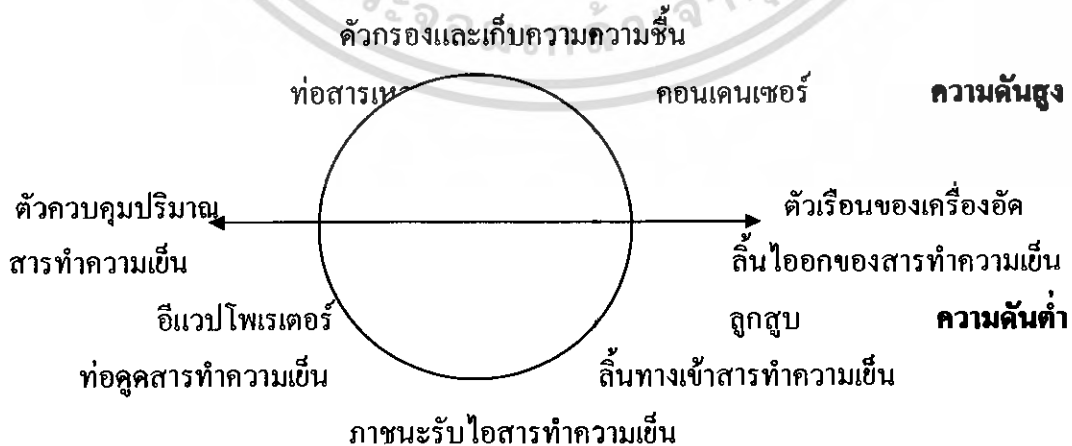
พิจารณาบทบาทแต่ละจุดของเครื่องทำความเย็นในรอกๆวัฏจักร โดยเริ่มที่ทางเข้าของอีแวปโปเรเตอร์ (Evaporator)

สารทำความเย็น (Refrigeration) จะผ่านตัวควบคุมปริมาณสารทำความเย็น (Flow Control Valve) ซึ่งจะคอยควบคุมปริมาณสารทำความเย็นที่จะเข้าไปในอีแวปโปเรเตอร์ และในเวลาเดียวกันจะเป็นตัวลดทั้งความดันและอุณหภูมิของสารทำความเย็นด้วย เมื่อสารทำความเย็นที่มีสถานะความดันต่ำและอุณหภูมิต่ำไหลเข้าไปในอีแวปโปเรเตอร์ที่วางอยู่ท่ามกลางภาระ (Load) ที่มีอุณหภูมิสูง ความร้อนจากภาระจะถ่ายเทมาสู่อีแวปโปเรเตอร์ ทำให้สถานะของสารทำความเย็นเปลี่ยนไปจากของเหลวกลายเป็นไอ

เมื่อสารทำความเย็นที่ไหลผ่านอีแวปโปเรเตอร์เปลี่ยนสถานะเป็นไอแล้ว ที่ปลายของอีแวปโปเรเตอร์จะต่อผ่านท่อดูด (Suction Line) ไปต่อกับด้านดูดของคอมเพรสเซอร์ (Compressor) ด้านดูดของเครื่องคอมเพรสเซอร์จะดูดไอของสารทำความเย็นเข้าไป แล้วอัดไอของสารทำความเย็นจนมีอุณหภูมิสูงและความดันสูงแต่ยังมีสถานะเป็นไออยู่ ไอที่ผ่านท่อออก (Discharge Line) จะเข้าสู่คอนเดนเซอร์เพื่อถ่ายเทความร้อนที่สารทำความเย็นรับมาจากภาระถ่ายสู่อากาศหรือน้ำอีกทอดหนึ่ง และสารทำความเย็นจะเปลี่ยนสถานะไปเป็นของเหลว ซึ่งหมายความว่าสารทำความเย็นอยู่ในสภาพที่พร้อมจะใช้งานได้แล้วจะถูกส่งไปเก็บในถังน้ำยาเหลว

แต่เนื่องด้วยการประกอบระบบท่อของเครื่องทำความเย็น การดูด - อัดสารทำความเย็นของเครื่องคอมเพรสเซอร์ อาจมีความชื้นหรือสิ่งสกปรกชิ้นเล็กแปลกปลอมเข้าไปในระบบท่อ จึงให้มีที่กรองและเก็บความชื้น (Filter Drier) สารทำความเย็นเหลวที่ผ่านออกมาจะอยู่ในสภาพอุณหภูมิปานกลางและความดันสูง จากนั้นจะผ่านไปสู่อีแวปโปเรเตอร์และจะวนเวียนอย่างนี้ต่อไปเรื่อยๆ

เมื่อพิจารณาวัฏจักรของเครื่องทำความเย็นอาจจะแบ่งได้เป็นสองส่วนคือ ด้านที่มีความดันสูงและด้านที่มีความดันต่ำ



**รูปที่ 2.21 แสดงผ่านความดันสูงและความดันต่ำในวัฏจักรการทำความเย็น**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้านที่มีความดันสูง (High Side) ประกอบด้วย ท่อทางส่งของคอมเพรสเซอร์ ท่อส่ง คอนเดนเซอร์ ถึงพักน้ำยาเหลว ท่อของเหลว และทางเข้าของวาล์วควบคุมการไหล ความดันของน้ำยาด้านความดันสูงนี้บางครั้งเรียกว่า ความดันทางคอนเดนเซอร์ (Condensing Pressure) หรือความดันด้านอัด (Discharge Pressure)

ด้านที่มีความดันต่ำ (Low Side) ประกอบด้วย ทางออกของวาล์วควบคุมการไหล อีแวนไพเพอเรเตอร์ท่อดูดและทางดูดของคอมเพรสเซอร์ ความดันด้านต่ำนี้บางครั้งเรียกว่า ความดันทางอีแวนไพเพอเรเตอร์ หรือความดันด้านดูด (Back Pressure)

โดยสรุปในระบบทำความเย็นจะประกอบไปด้วยกระบวนการต่างๆ คือ

1. ไอระเหยของสารความเย็นถูกดูดผ่านท่อดูดเข้าคอมเพรสเซอร์และอัดจนเป็นไอหรือแก๊สที่มีอุณหภูมิสูง ความดันสูงแล้วส่งออกจากท่อส่ง ออกไปสู่คอนเดนเซอร์

2. ไอของสารความเย็นที่ถูกอัดแล้วและถูกส่งมายังคอนเดนเซอร์จะได้รับการถ่ายเทความร้อนออกจนไอสารความเย็นเปลี่ยนสถานะเป็นสถานะเป็นของเหลวที่ยังมีความร้อนปานกลางและความดันสูง ณ ที่นี้ความร้อนที่ถูกถ่ายเทออกจะเป็นความร้อนแฝงเป็นส่วนมากอุณหภูมิจึงไม่ค่อยลดลงมาก

3. สารความเย็นที่อยู่ในสภาพของของเหลวจะถูกส่งไปตามท่อของเหลวผ่านตัวควบคุมปริมาณสารความเย็นเข้าสู่อีแวนไพเพอเรเตอร์

4. ด้วยเหตุที่สารความเย็นที่ผ่านตัวควบคุมปริมาณสารความเย็นแล้วความดันจะลดลง หมายถึง อุณหภูมิจะลดลงด้วยและเมื่อสารความเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำและความดันต่ำผ่านอีแวนไพเพอเรเตอร์ซึ่งวางอยู่ในตำแหน่งที่รับความร้อนจากภาระความร้อนนี้จะทำให้สารความเย็นเดือดกลายเป็นไอที่ด้านปลายของอีแวนไพเพอเรเตอร์อีก

5. ไอของสารความเย็นที่เกิดขึ้นเนื่องจากสารความเย็นได้รับความร้อนขณะผ่านอีแวนไพเพอเรเตอร์จะถูกดูดให้ผ่านท่อดูดเข้าเครื่องอัดอีก

## 2.6 สารความเย็น (Refrigeration)

ในการกล่าวทั่วไป สารความเย็นก็คือ วัตถุหรือสารที่จะเป็นตัวรับความร้อนจากวัตถุหรือสารอื่น สำหรับระบบทำความเย็นชนิดอัดไอสารทำความเย็นซึ่งเป็นตัวทำงานอยู่ในรูปของการไหล (Working Fluid) ซึ่งจะถูกดูดความร้อนในช่วงของการเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ และคายความร้อนในช่วงเปลี่ยนสถานะจากไอควบแน่นเป็นของเหลวในการเลือกว่าสารใดจะใช้เป็นสารความเย็นนั้นจะต้องพิจารณาคุณสมบัติทางเคมี ฟิสิกส์ และเทอร์โม ไดนามิกส์ ให้เหมาะสมกับระบบที่ใช้

### 2.6.1 คุณสมบัติทั่วไปของสารความเย็น

สารความเย็นที่ใช้ในระบบเครื่องทำความเย็นมีหลายชนิดแล้ว แต่ลักษณะการใช้งาน คุณสมบัติของสารที่กล่าวถึงมิได้หมายความว่า สารความเย็นที่มีจำหน่ายจะมีคุณสมบัติครบทุกข้อ มีเพียงบางข้อที่น่าจะให้ความสำคัญสำหรับงานแต่ละประเภท แต่ที่สำคัญที่สุดคือความปลอดภัยของผู้ใช้ คุณสมบัติของสารความเย็นมีประเด็นที่ควรพิจารณาดังนี้

1. ไม่เป็นพิษ
2. ไม่เป็นวัตถุระเบิด
3. ไม่กัดกร่อนโลหะ
4. ไม่ติดไฟ
5. หากมีรอยรั่วสามารถตรวจพบได้ง่าย
6. สามารถหาค่าแห่งรั่วได้ง่าย
7. ใช้งานที่ความดัน ไม่สูงนัก
8. ขณะอยู่ในสภาพแก๊สต้องมีเสถียรภาพคงที่
9. ขณะอยู่ในสภาพของเหลวต้องไหลง่าย
10. ไม่มีพิษเป็นอันตรายกับระบบหายใจ
11. มีความหนาแน่นน้อย เพื่อให้สะดวกกับการควบคุมปริมาณใช้งาน
12. มีค่าความร้อนแฝงค่อนหน่วยน้ำหนักสูง

### 2.6.2 ชนิดของสารความเย็น

ด้วยเหตุที่สารความเย็นเป็นสารผสมจากสารหลายชนิด การเรียกชื่อโดยตรงจึงไม่สะดวก สมาคมวิศวกรเครื่องทำความร้อนเครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศ (The American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineering – ASHRAE) ได้กำหนดสารความเย็นแต่ละชนิดไว้เป็นตัวเลข โดยกำหนดให้เป็น R-11 , R-12 , R-22 เป็นต้น R หมายถึง Refrigerant และตัวเลขที่ตามมาหมายถึง ชนิดของสารความเย็น

หมายเลขสารความเย็น	ชื่อและสูตรทางเคมี
R-11	Trichloromonofluoromethane $\text{CCl}_3\text{F}$
R-12	Dichlorodifluoromethane $\text{CCl}_2\text{F}_2$
R-22	Monochlorodifluoromethane $\text{CHClF}_2$
R-500	Azeotropic mixture of 78.3% of (R-12) and 26.2% of (R-152a)
R-502	Azeotropic mixture of 48.8% of (R-22) and 51.2% of (R-115)
R-503	Azeotropic mixture of 40.1% of (R-23) and 59.9% of (R-13)
R-504	Azeotropic mixture of 48.2% of (R-32) and 51.8% of (R-115)
R-717	Ammonia $\text{NH}_3$

### ตารางที่ 2-1 ชนิดของสารความเย็นที่นิยมใช้

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยได้แบ่งประเภทเครื่องทำความเย็น และประเภทของสารความเย็นไว้ดังนี้

ประเภทของระบบทำความเย็น แบ่งตามน้ำหนักของสารความเย็นที่บรรจุในระบบดังนี้

ประเภท ก ระบบที่บรรจุสารความเย็นหนัก 500 กก. หรือมากกว่า

ประเภท ข ระบบที่บรรจุสารความเย็นมากกว่า 5. กก. แต่ไม่น้อยกว่า 500 กก.

ประเภท ค ระบบที่บรรจุสารความเย็นมากกว่า 10 กก. แต่ไม่น้อยกว่า 10 กก.

ประเภท ง ระบบที่บรรจุสารความเย็นมากกว่า 3 กก. แต่ไม่น้อยกว่า 10 กก.

ประเภท จ ระบบที่บรรจุสารความเย็นน้อยกว่า 3 กก.

#### 2.6.2.1 ชนิดไม่ระคายเคืองและไม่ติดไฟ

ประเภท 1 R-744

ประเภท 2 R-11, R-12, R-30, R-113, R-114, R-115, R-152a, R-500, R-11, R-502

#### 2.6.2.2 ชนิดติดไฟ

ประเภท 1 R-40, R-1130

ประเภท 1 R-160, R-170, R-290, R-600, R-601, R-611

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.6.2.3 ชนิดระคายเคือง

ไม่แบ่งประเภท ได้แก่ R-764, R-717

โดยในโครงการนี้จะใช้สารความเย็น R-22 ในการศึกษา

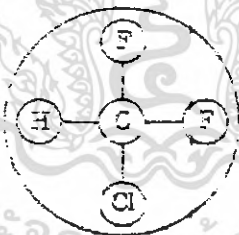
### 2.6.3 สารทำความเย็น R-22(CH<sub>2</sub>ClF<sub>2</sub>)

สารความเย็น-22 เป็นสารความเย็นกลุ่มฟลูออโรคาร์บอนจึงไม่เป็นพิษ เหมาะจะใช้กับระบบทำความเย็นที่อุณหภูมิต่ำกว่าความดันบรรยากาศมีจุดเดือด-40.8 องศาเซลเซียส ในปัจจุบันใช้กับเครื่องปรับอากาศเพราะเครื่องอัดที่ใช้กับระบบนี้มีขนาดเล็ก

เมื่อเทียบกับสารความเย็น-12 แล้ว สารความเย็น-22 จะทำงานที่ความดันสูงกว่าและได้ความดันที่เส้นทางออกสูงกว่าในขณะที่ใช้กำลังขับเคลื่อนอัดเท่ากัน

ข้อดีที่เหนือกว่าสารความเย็น-12 คือ ใช้เครื่องอัดที่เล็กกว่าเนื่องจากมีปริมาตรจำเพาะน้อยกว่าส่วนข้อที่ด้อยกว่าก็คือ สารความเย็น-12 มีราคาต่ำกว่า และความดันในเครื่องอัดต่ำและแนวโน้มในการไหลรั่วจะมีน้อยกว่า รวมถึงอุณหภูมิที่ทางออกของเครื่องอัดต่ำกว่าด้วย

สารความเย็น-22 สามารถรวมกับน้ำมันได้ ซึ่งจะพบในส่วนควบแน่นของระบบ แต่จะแยกออกจากกันในอีแวปโปเรเตอร์ อุณหภูมิสำหรับการแยกตัวนั้นขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณน้ำมันที่ผสมอยู่ในสารความเย็น



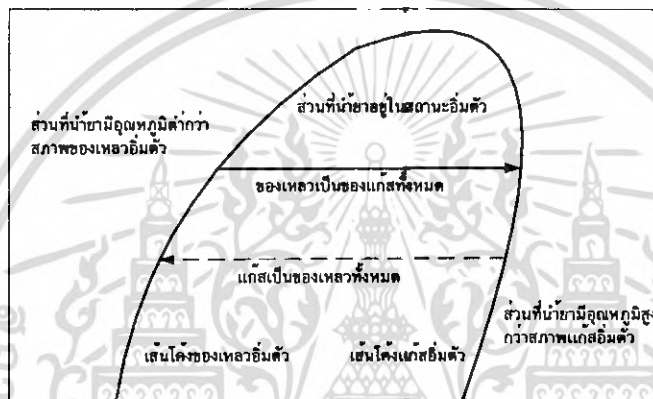
รูปที่ 2-22 โครงสร้างทางเคมีของ R-22

## 2.7 P-h Diagram

โดยปกติรูปแบบโครงสร้าง P-h Diagram ของสารความเย็นจะคล้ายกัน แต่จะใช้แทนกันไม่ได้เพราะค่าตัวเลขต่างกัน P-h Diagram ของสารความเย็นชนิดไหนก็จะใช้ได้เฉพาะกับสารความเย็นชนิดนั้น จะใช้กับระบบทำความเย็นที่ใช้สารความเย็นชนิดอื่นไม่ได้

โครงสร้างของ P-h ไดอะแกรม ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

1. ส่วนที่น้ำยามีสภาพอิ่มตัวซึ่งอยู่ตรงกลางส่วนนี้ น้ำยามีสภาพเป็นของเหลวพร้อมที่จะระเหยหรือเดือดเปลี่ยนสถานะเป็นไอในทางกลับกัน น้ำยามีสถานะเป็นไอพร้อมที่กลั่นตัวเป็นของเหลว
2. ส่วนที่อุณหภูมิต่ำกว่าสภาพน้ำยาเหลวอิ่มตัวซึ่งอยู่ทางด้านซ้ายมีสถานะเป็นของเหลวอัดตัว (Subcooled)
3. ส่วนที่อุณหภูมิสูงกว่าสภาพของน้ำยาในสถานะไออิ่มตัวซึ่งอยู่ทางด้านขวาของน้ำยาซึ่งสถานะเป็นไอ (Superheated)



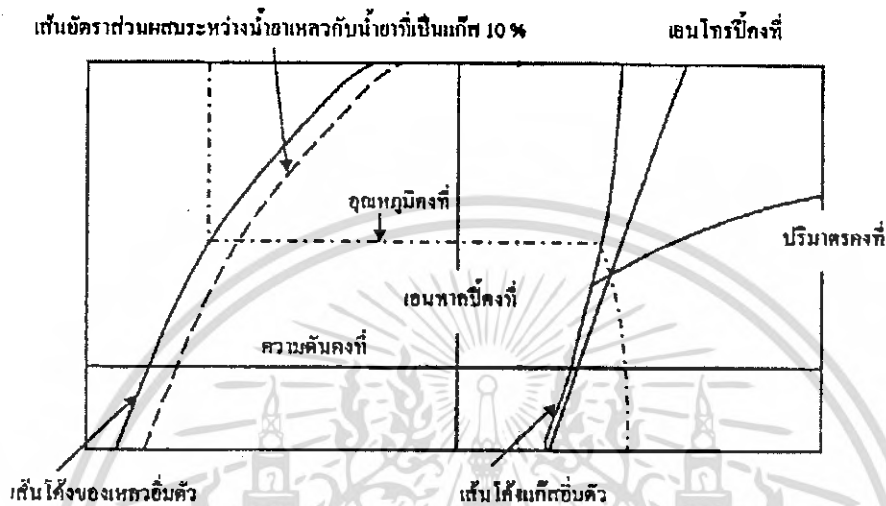
รูปที่ 2-23 โครงสร้าง P-h ไดอะแกรม

รายละเอียดโครงสร้าง P-h ไดอะแกรม แสดง โดยรูปที่ 2-23

1. เส้นความดันสมบูรณ์มีหน่วยเป็น psia เป็นเส้นที่อยู่ในแนวนอนตลอด
2. เส้นอัตราส่วนระหว่างน้ำยาเหลวกับน้ำยาที่เป็นไอ มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์เป็นเส้น โค้งในแนวตั้งซึ่งอยู่ในส่วนกลาง (เส้นประ) แต่ละเส้นจะบอกถึงเปอร์เซ็นต์ของน้ำยาอิ่มตัวที่มีสภาพเป็นของเหลวพร้อมที่จะระเหย หรือเดือดเป็นไอ ในทางกลับกัน ไอที่จะกลั่นตัวเป็นของเหลว เส้นซ้ายมือสุดเป็นเส้นของเหลวอิ่มตัว ส่วนเส้นที่อยู่ขวาสุดเป็นเส้น ไออิ่มตัว
3. เส้นอุณหภูมิมีหน่วยเป็น ฟาเรนไฮต์ เป็นเส้นประ เส้นอุณหภูมินี้จะอยู่ในแนวนอนเฉพาะที่น้ำยามีสภาพอิ่มตัวเท่านั้นเพราะอุณหภูมิจะสัมพันธ์กับความดันและจะสูงขึ้นเมื่อน้ำยามีสภาพเป็นของเหลวอิ่มตัวหรือมีอุณหภูมిన้อยกว่าอุณหภูมิจึงอิ่มตัวและจะต่ำลงเมื่อน้ำยามีสภาพเป็นไอคงหรือมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิจึงอิ่มตัว
4. เส้นเอนทัลปีคงที่ (Constant Enthalpy) มีหน่วยเป็น Btu/lb เป็นเส้นที่อยู่ในแนวตั้ง
5. เส้นปริมาตรจำเพาะ (Constant Volume) มีหน่วยเป็น lb/ft เป็นเส้น โค้งในแนวนอนเอียงขึ้นเล็กน้อยอยู่ทางขวามือซึ่งอยู่ในอุณหภูมิสูงกว่าน้ำยามีสภาพเป็น ไออิ่มตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เส้นเอนโทรปีคงที่ (Constant Entropy) มีหน่วยเป็น Btu/lb-R เป็นเส้นทแยงมุมในแนวตั้ง แยกขึ้นจากเส้น ไออิมตัว ซึ่งอยู่ในส่วนที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไออิมตัว เส้นนี้แสดงการอัดตัวของน้ำยา ที่มีสภาพเป็นไอให้มีความดันสูงขึ้นซึ่งเป็นผลให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นโดยไม่มีการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทาน



รูปที่ 2-24 โครงสร้าง P-h โคจรแกรมแสดงเส้นความดันคงที่ อุณหภูมิคงที่ ปริมาณคงที่

## 2.8 วัฏจักรทางปฏิบัติของการทำความเย็น (Actual Vapor Compression Refrigerating Cycle)

ในระบบท่อสารทำความเย็นของเครื่องทำความเย็นจะมีความดันตก เนื่องจากความฝืดตามจุดต่างๆ ของระบบท่อซึ่งจะต้องลดหรือจัดให้ได้เพื่อการไหลของสารทำความเย็นเป็นไปได้อย่างสะดวก การสูญเสียของความดันมีทั้งที่อีแวปโปเรเตอร์ที่คอนเดนเซอร์หรือตามข้อต่อต่างๆ จึงจะพิจารณาแต่ละจุดดังนี้

1. ความดันตกในท่อดูด (Suction Line) สภาพของสารทำความเย็นที่ผ่านพื้นอีแวปโปเรเตอร์ ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่างๆ ของอีแวปโปเรเตอร์ และสภาพของสารทำความเย็นก่อนเข้าอีแวปโปเรเตอร์ ทำนองเดียวกันความดันตกในท่อดูดในช่วงระหว่างอีแวปโปเรเตอร์และเครื่องอัดมีส่วนช่วยให้สารทำความเย็นที่เข้าเครื่องอัดอยู่ในสภาพของไอแต่มีข้อจำกัดอยู่โดยในหลักปฏิบัติขนาดของท่อสารทำความเย็นมีผลต่อความเย็นมีผลต่อความดันหากท่อเล็กความดันสูญเสียหรือความดันตกคร่อมจะมาก ถ้าใช้ท่อโคความดันสูญเสียจะน้อย แต่มีปัจจัยอื่นที่ควรพิจารณาคือ หากใช้ท่อโค ค่าใช้จ่ายจะมาก โดยหลักเศรษฐศาสตร์ทางการค้าจะต้องให้สมดุลระหว่างความดันสูญเสียเปรียบเทียบกับราคาท่อในงานเครื่องทำความเย็นความดันสูญเสียหรือความดันตกคร่อมเปรียบเทียบกับ การลดลงของอุณหภูมิความดันตกในท่อดูดเทียบเท่ากับการลดลงของอุณหภูมิไม่เกิน 2 องศาฟาเรนไฮต์ถือว่าเป็นการออกแบบที่เหมาะสม จาก P-h Diagram ความดันตกในท่อดูดเกิดในลักษณะตามเส้นเอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทาลปีคังที่ ซึ่งปกติที่จะดูจะมีฉนวนหุ้มเพื่อจำกัดความร้อนที่มาจากภายนอกรอบท่อดูมาเพิ่มให้กับสารความเย็นที่กำลังจะเข้าเครื่องอัด

2. ความดันตกในท่อจ่าย (Discharge Line) ความดันตกที่เกิดกับไอสารความเย็นหลังจากสารความเย็นถูกอัดแล้วและจ่ายออกมาตามท่อจ่ายจาก (P-h Diagram) จุดที่ความดันตกลงมาเป็นทางเข้าคอนเดนเซอร์การเกิดความดันตกที่ท่อจ่ายมีผลคือความดันของการควบแน่น (Condensing Pressure) ต่ำ

3. ความดันตกในท่อของเหลว(Liquid Line) โยหลักการแล้วความดันตกในท่อของเหลวคือจากทางออกจากสารความเย็นเหลวที่ส่วนท้ายของคอนเดนเซอร์ถึงตัวควบคุมปริมาณสารความเย็น ความดันนี้จะไม่มีผลต่อพลังงานความร้อนของระบบทำความเย็น แต่ถึงแม้จะไม่มีผลเสียหากมองข้ามไปอาจทำให้ระบบเครื่องทำความเย็นนั้นหย่อนประสิทธิภาพลง เพราะความดันในท่อของเหลวที่ลดลงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดไอขยายตัว(Flash Gas) ของสารความเย็นที่จะเข้าตัวควบคุมปริมาณสารความเย็น ด้วยเหตุที่ตัวควบคุมสารความเย็นออกแบบมาสำหรับเฉพาะสารความเย็นเหลว ถ้ามีไอขยายตัวปนอยู่ในสารความเย็น ทำให้ปริมาณสารความเย็นที่ส่งผ่านตัวควบคุมปริมาณสารความเย็นมีจำนวนไม่ถูกต้อง โดยต่ำกว่าปริมาณใช้งานระบบด้วยเหตุนี้การให้ระบบทำความเย็นมีอุณหภูมิของสารความเย็นในคอนเดนเซอร์ต่ำกว่าอุณหภูมิของเหลวอิ่มตัว (Subcooled Liquid) จึงเป็นสิ่งจำเป็น

4. ความดันตกในอีแวปโปเรเตอร์และคอนเดนเซอร์ การตกลงของความดันนี้มีผลให้สถานการณ์ถ่ายเทความร้อนที่อีแวปโปเรเตอร์และที่คอนเดนเซอร์เปลี่ยนไป รวมถึงอัตราส่วนการอัดด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากความดันจากคอนเดนเซอร์ตกมากเกินไป ความดันที่เหลือสู่ตัวควบคุมปริมาณสารความเย็นอาจไม่มากพอที่จะทำให้ตัวควบคุมทำงานตามปกติได้

5. อุณหภูมิของสารความเย็นในคอนเดนเซอร์ถูกทำให้ต่ำกว่าอุณหภูมิของเหลวอิ่มตัว (Subcooled Liquid) ก่อนที่จะผ่านเข้าไปในวาล์วขยายตัว (Expansion valve) เพื่อให้ค่าการทำ ความเย็น (Refrigerating Effect, R.E.) ต่อหน่วยมวลของสารความเย็นมากขึ้น

6. ไอของสารความเย็นจะเป็นไอร้อนขูดยิ่งก่อนเข้าคอมเพรสเซอร์เป็นการทำให้ค่าการทำ ความเย็นต่อหน่วยมวลสารความเย็นเพิ่มขึ้นอีก

## 2.9 สมการที่ใช้ในการคำนวณ

คอมเพรสเซอร์(Compressor) กำลังงานที่ใช้ของคอมเพรสเซอร์สามารถหาได้จาก

$$W_c = m(h_2 - h_1)$$

เมื่อ  $W_c$  คือกำลังงานที่ใช้ของคอมเพรสเซอร์ มีหน่วยเป็น Btu/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- $h_1$  คือ เอนทาลปีของสารความเย็นก่อนที่จะเข้าคอมเพรสเซอร์ มีหน่วยเป็น Btu/lb  
 $h_2$  คือ เอนทาลปีของสารความเย็นที่ออกจากคอมเพรสเซอร์ มีหน่วยเป็น Btu/lb  
 $m$  คือ ปริมาณสารความเย็นที่ไหลผ่านคอมเพรสเซอร์ มีหน่วยเป็น lb/min

คอนเดนเซอร์ (Condenser) ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทออกที่คอนเดนเซอร์หาได้จาก

$$q_c = m(h_3 - h_2)$$

- เมื่อ  $q_c$  คือ ปริมาณความร้อนที่คายออกที่คอนเดนเซอร์ มีหน่วยเป็น Btu/min  
 $h_3$  คือ เอนทาลปีของสารความเย็นที่ออกจากคอนเดนเซอร์ มีหน่วยเป็น Btu/lb

อีแวปโปเรเตอร์ (Evaporator) ค่าการทำคามเย็นที่อีแวปโปเรเตอร์หาได้จาก

$$R.E = m(h_1 - h_4)$$

- เมื่อ Refrigeration Effect ( R.E.) คือค่าการทำคามเย็น มีหน่วยเป็น Btu/hr  
 $H_4$  คือ เอนทาลปีของสารความเย็นก่อนเข้าอีแวปโปเรเตอร์ มีหน่วยเป็น Btu/lb  
 $H_1$  คือ เอนทาลปีของสารความเย็นออกจากอีแวปโปเรเตอร์ มีหน่วยเป็น Btu/lb

ประสิทธิภาพการทำคาม

$$C.O.P = R.E. / W_c$$

อัตราการใช้พลังงาน (Energy Efficiency Ratio)

$$\begin{aligned} EER &= RE.(Btu/hr) / W_c (Watt) \\ &= C.O.P \times 3.41 (Btu/Watt hr) \end{aligned}$$

System Capacity อัตราความสามารถในการดูดความร้อนของสารความเย็น (Btu/hr)

$$Q_c = m (R.E)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.10 คุณสมบัติทางโครเมตริกของอากาศ (Psychrometric Properties of Air)

### 2.10.1 ส่วนประกอบของอากาศ (Composition of Air)

อากาศเป็นส่วนผสมทางกลของก๊าซและไอน้ำ อากาศแห้ง (อากาศที่ไม่มีไอน้ำ) ส่วนใหญ่ประกอบในโตรเจน(ประมาณ 78 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร) และออกซิเจน(ประมาณ 21 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร) ส่วนที่เหลืออีก 1 เปอร์เซ็นต์ ประกอบด้วย คาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซอื่นๆ เช่น ไฮโดรเจน ฮีเลียม นีออน และอาร์กอน ส่วนประกอบอากาศต่างๆ ไปก็จะเป็นไปตามนี้ในบางกรณี จำนวนไอน้ำในอากาศ โดยปกติจะมีปริมาณอยู่ 1 เปอร์เซ็นต์ถึง 3 เปอร์เซ็นต์ โดยมวล เพราะว่าไอน้ำในอากาศเป็นผลขั้นแรกจากการระเหยเป็นไอของน้ำ ความชื้นของบรรยากาศ(จำนวนไอน้ำในอากาศ) จะมีมากน้อยก็จะขึ้นอยู่กับสถานที่ถ้าใกล้แหล่งน้ำธรรมชาติ

เพราะว่าอากาศในธรรมชาติจะมีปริมาณไอน้ำปนอยู่ไม่มีอากาศแห้ง แต่อย่างไรก็ตาม “อากาศแห้ง” เป็นประโยชน์อย่างมากอันหนึ่งในการคำนวณเกี่ยวกับไซโครเมตริกต่อไปข้างล่างนี้ คำว่า “อากาศแห้ง” จะใช้ในความหมายของอากาศที่ปราศจากไอน้ำส่วนคำว่า “อากาศ” หรือ “อากาศชื้น” จะใช้ในความหมายส่วนผสมตามธรรมชาติของอากาศแห้งและไอน้ำ

### 2.10.2 กฎัดคั้นของความดันย่อย (Dalton's Law of Partial Pressure)

กฎัดคั้นของความดัน แสดงให้เห็นผลที่ว่าส่วนผสมทางกลใดๆ ของก๊าซและไอ (สิ่งเหล่านี้รวมตัวกันทางเคมี) ความดันที่เกิดขึ้นจะเท่ากับผลรวมของความดันของก๊าซแต่ละชนิดที่กระทำกับภาชนะที่บรรจุ

อากาศเป็นส่วนผสมทางกลของก๊าซและไอน้ำ ก็จะเป็นไปตามกฎของคัลคั้น เพราะฉะนั้น ความกดดันของบรรยากาศจะเท่ากับผลรวมของความดันของก๊าซแห้งและไอน้ำ

### 2.10.3 อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew Point temperature)

สิ่งสำคัญที่ขังจำกันได้ที่ว่าไอน้ำในอากาศแห้งที่จริงก็คือ ไอน้ำที่ความดันต่ำ และไอน้ำที่ความดันต่ำนี้จะเหมือนกับไอน้ำที่ความดันสูงจะอยู่ในสภาวะอิ่มตัว เมื่ออุณหภูมิที่สภาวะนั้นเป็นอุณหภูมิอิ่มตัวตรงกับความดันที่สภาวะนั้น เพราะว่าส่วนผสมทั้งหมดของก๊าซที่บรรจุอยู่ในปริมาตรที่เท่ากันและที่อุณหภูมิเดียวกัน ดังนั้นเมื่ออากาศที่อุณหภูมิใดๆเหนืออุณหภูมิอิ่มตัวกระทำต่อความดันของไอน้ำ เป็นผลทำให้ไอน้ำในอากาศเป็นไอร้อนยวดยิ่ง ในอีกทางหนึ่งเมื่ออากาศมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิอิ่มตัว กระทำกับความดันของไอน้ำ ไอน้ำในอากาศจะเป็นน้ำอิ่มตัว อุณหภูมิซึ่งไอน้ำในอากาศเป็นน้ำอิ่มตัวเรียกว่า อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (DP) ของอากาศ เมื่อรู้ค่าความดันของไอน้ำ อุณหภูมิจุดน้ำค้างในอากาศสามารถที่จะคำนวณจากตารางไอน้ำ ในทางกลับกัน เมื่อรู้ อุณหภูมิจุดน้ำค้างของอากาศ ความดันของไอน้ำสามารถที่จะคำนวณได้จากตารางไอน้ำ เช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่าความดันของไอน้ำ เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความหนาแน่นของไอน้ำ เพราะว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างของอากาศจะขึ้นกับความดันของไอน้ำในอากาศเท่านั้น ในปริมาตรที่กำหนดให้ของอากาศอุณหภูมิจุดน้ำค้างจะขึ้นอยู่กับปริมาณปริมาตรของไอน้ำในอากาศเท่านั้น ในขณะที่มวลของไอน้ำคือหน่วยปริมาตรของอากาศไม่เปลี่ยนแปลง อุณหภูมิจุดน้ำค้างก็คงที่ด้วย การเพิ่มของจำนวนไอน้ำในอากาศจะเป็นการเพิ่มความดัน ไอน้ำและอุณหภูมิจุดน้ำค้างจะเพิ่มขึ้นในทางกลับกันเมื่อจำนวนไอน้ำในอากาศน้อยลง ความดันไอน้ำในอากาศก็จะลดลงและอุณหภูมิจุดน้ำค้างก็จะต่ำลงด้วย

#### 2.10.4 ความชื้นสัมบูรณ์ (Absolute Humidity)

ไอน้ำในอากาศเรียกว่า ความชื้น ความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศที่กำหนดให้ในสถานะใดๆ คือ มวลของไอน้ำต่อปริมาตรของอากาศที่สถานะนั้น ความชื้นสัมบูรณ์หรืออาจจะเรียกว่า ความหนาแน่นไอ (Vapor Density) มีหน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ( $\text{gm}/\text{m}^3$ ) หรือกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

ในหัวข้อ 2.10.2 แสดงให้เห็นว่ามวลของไอน้ำต่อหน่วยปริมาตรไอน้ำของอากาศ (ความหนาแน่นไอ) ที่เกิดขึ้นจริงเป็นตำแหน่งเดียวของอุณหภูมิจุดน้ำค้างของอากาศ เพราะว่าความสัมพันธ์นี้คงที่ระหว่างอุณหภูมิจุดน้ำค้างและความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศ เมื่อรู้ค่าใดค่าหนึ่งค่าอื่นๆสามารถที่จะคำนวณได้ (หรือหาค่าความชื้นสัมบูรณ์ให้หาค่าปริมาตรจำเพาะ จากตารางไอน้ำ)

$$\text{ความชื้นสัมบูรณ์} = 1/V \text{ kg}/\text{m}^3 \quad (V = \text{ปริมาตรจำเพาะของไอน้ำ})$$

เพราะว่าความดันของไอน้ำในอากาศมีค่าต่ำสุด ไอน้ำในอากาศก็จะเข้าใกล้สถานะสมบูรณ์ และมีคุณสมบัติเพียงพอที่จะเป็นไปตามกฎของก๊าซสมบูรณ์ คือ  $pV = mRT$  และสามารถใช้ร่วมกับตารางไอน้ำคำนวณหาความชื้นสัมบูรณ์ (ความหนาแน่นไอ) ของอากาศได้

#### 2.10.5 ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity, RH)

ความชื้นสัมพัทธ์ หมายถึง อัตราส่วนความดันของไอน้ำในอากาศที่มีอยู่ในอากาศขึ้นกับความดันอิ่มตัวของไอน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่า

$$\text{RH} = \frac{\text{ความดันไอน้ำที่เกิดขึ้นจริง}}{\text{ความดันที่จุดอิ่มตัวของไอน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่า}} \times 100$$

RH บางครั้งหมายถึง อัตราส่วนของความหนาแน่นไอที่มีอยู่ในอากาศชื้นและความหนาแน่นไอที่อิ่มตัว

### 2.10.6 อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (dry bulb temperature, DB)

หมายถึงอุณหภูมิที่อ่านจากเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะแห้งในการจัดจะต้องให้กระเปาะอยู่ใจที่อากาศถ่ายเทสะดวกเพื่อให้ค่าที่อ่านได้ถูกต้องและป้องกันการผิดพลาดจากการแผ่รังสี

### 2.10.7 อุณหภูมิกระเปาะเปียก (wet bulb temperature, WB)

หมายถึงอุณหภูมิที่อ่านจากเทอร์โมมิเตอร์ที่กระเปาะหุ้มด้วยผ้าที่ชื้น โดยมีกระแสลมที่มีความเร็วระหว่าง 5 และ 10 เมตรต่อวินาทีพัดผ่านกระเปาะ

### 2.10.8 อัตราความชื้น (Humidity Ratio, W)

อัตราส่วนความชื้นบางครั้งเรียกว่า ความชื้นจำเพาะ หมายถึงมวลของไอน้ำต่อมวลของอากาศแห้งและโดยปรกติจะมีหน่วยเป็น กรัมต่อกิโลกรัมของอากาศแห้ง หรือ กิโลกรัมต่อกิโลกรัมของอากาศแห้ง

สำหรับความกดดันของบรรยากาศที่กำหนดให้ใด ๆ อัตราส่วนความชื้นเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิจุดน้ำค้างอย่างเดียว อย่างไรก็ตามอัตราส่วนความชื้นต่ออุณหภูมิจุดน้ำค้างที่กำหนดให้ใดๆ จะแปรกับความกดดันของบรรยากาศทั้งหมด สำหรับเหตุผลนี้จะเป็นไปตามกฎของก๊าซ ปริมาตรต่อหน่วยมวลของอากาศจะเพิ่มขึ้นขณะที่ความกดดันของบรรยากาศลดลง เพราะว่าความหนาแน่นของไอน้ำจะแปรโดยตรงกับปริมาตรเมื่อปริมาตรเพิ่มขึ้นมวลของไอน้ำ ความหนาแน่นไอและความดันไอ จะเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันกันด้วย

เมื่อรู้ความกดดันของบรรยากาศ และอุณหภูมิจุดน้ำค้างอัตราส่วนความชื้นคำนวณได้จากความสัมพันธ์ของสมการของก๊าซสมบูรณ์และกฎของคัลตัน ดังนั้น

$$\text{อัตราส่วนความชื้น, } W = \frac{(0.622 \text{ kg/kg}') (p_w)}{p - p_w}$$

เมื่อ  $W$  = อัตราส่วนความชื้นมีหน่วยเป็น kg ของไอน้ำต่อ kg ของอากาศแห้ง ( $\text{kg/kg}'$ )

$p_w$  = ความดันของไอน้ำที่อุณหภูมิจุดน้ำค้าง มีหน่วยเป็น bar

$p$  = ความกดดันของบรรยากาศ มีหน่วยเป็น bar

### 2.10.9 เอนทาลปีของอากาศ(Enthalpy of Air)

อากาศมีความร้อนสัมผัส(Sensible heat) และ ความร้อนแฝง (Latent heat) ความร้อนทั้งหมดของอากาศที่สภาวะใด ๆ เป็นผลรวมของความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝง

จากที่ได้กล่าวมานี้จะแสดงในหัวข้อต่อไปนี้เป็นคือ

1. ความร้อนสัมผัสของอากาศเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิกระเปาะแห้ง
2. ความร้อนแฝงของอากาศเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิจุดน้ำค้าง
3. ความร้อนทั้งหมดของอากาศเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิกระเปาะเปียก

### 2.10.10 ความร้อนแฝงของอากาศ(Sensible heat of air, H )

สำหรับค่าที่กำหนดให้ใดๆ ของอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ความร้อนสัมผัสของอากาศ หาได้จากสมการดังนี้

$$H = m c_p (DB)$$

เมื่อ

H	=	m h <sub>s</sub>
H	=	ความร้อนสัมผัสของการอากาศ
M	=	จำนวนของมวลในอากาศ
c <sub>p</sub>	=	ความร้อนจำเพาะของอากาศที่ความดันคงที่ = 1KJ/kg °K
DB	=	อุณหภูมิที่อ่านจกเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะแห้ง
h <sub>s</sub>	=	เอนทาลปีจำเพาะของอากาศแห้ง

### 2.10.11 ความร้อนแฝงของอากาศ (Latent heat of air, H<sub>L</sub>)

ความร้อนแฝงของอากาศคือ ความร้อนแฝงของไอน้ำในอากาศ เพราะว่าจำนวนความร้อนแฝงที่กำหนดปริมาณของอากาศจะขึ้นอยู่กับมวลของไอน้ำในอากาศ และความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำจะตรงกับอุณหภูมิจุดน้ำค้างของไอน้ำ

อุณหภูมิจุดน้ำค้างของไอน้ำ คือ อุณหภูมิจุดน้ำค้างของอากาศด้วย อุณหภูมิ DB ไม่ได้คำนวณจากมวลของไอน้ำในอากาศ แต่คิดจากความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ ดังนั้น ความร้อนแฝงของอากาศเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิ DB ของอากาศที่คงที่ ความร้อนแฝงของอากาศก็คงที่ด้วย

ความร้อนสัมผัสของอากาศ คือ เอนทาลปีของอากาศแห้ง ความร้อนแฝงของอากาศคือ เอนทาลปีไอน้ำผลรวมของความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงของอากาศ คือ จำนวนของความร้อนทั้งหมดหรือเอนทาลปีของอากาศความร้อนแฝงของอากาศที่กำหนดให้สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$H_L = m(w \times h_w)$$

เมื่อ

$H_L$  = ความร้อนแฝงของอากาศ (KJ) ที่มีอัตราส่วนความชื้น  $w$

$M$  = มวลของอากาศ (kg)

$W$  = อัตราส่วนความชื้น (kg/ kg ของอากาศแห้ง)

$h_w$  = เอนทาลปีจำเพาะของไอน้ำในอากาศโดยปกติใช้ค่า  $h_g$  ของไอน้ำ (KJ/kg)

$h_L$  =  $(W)(h_w)$

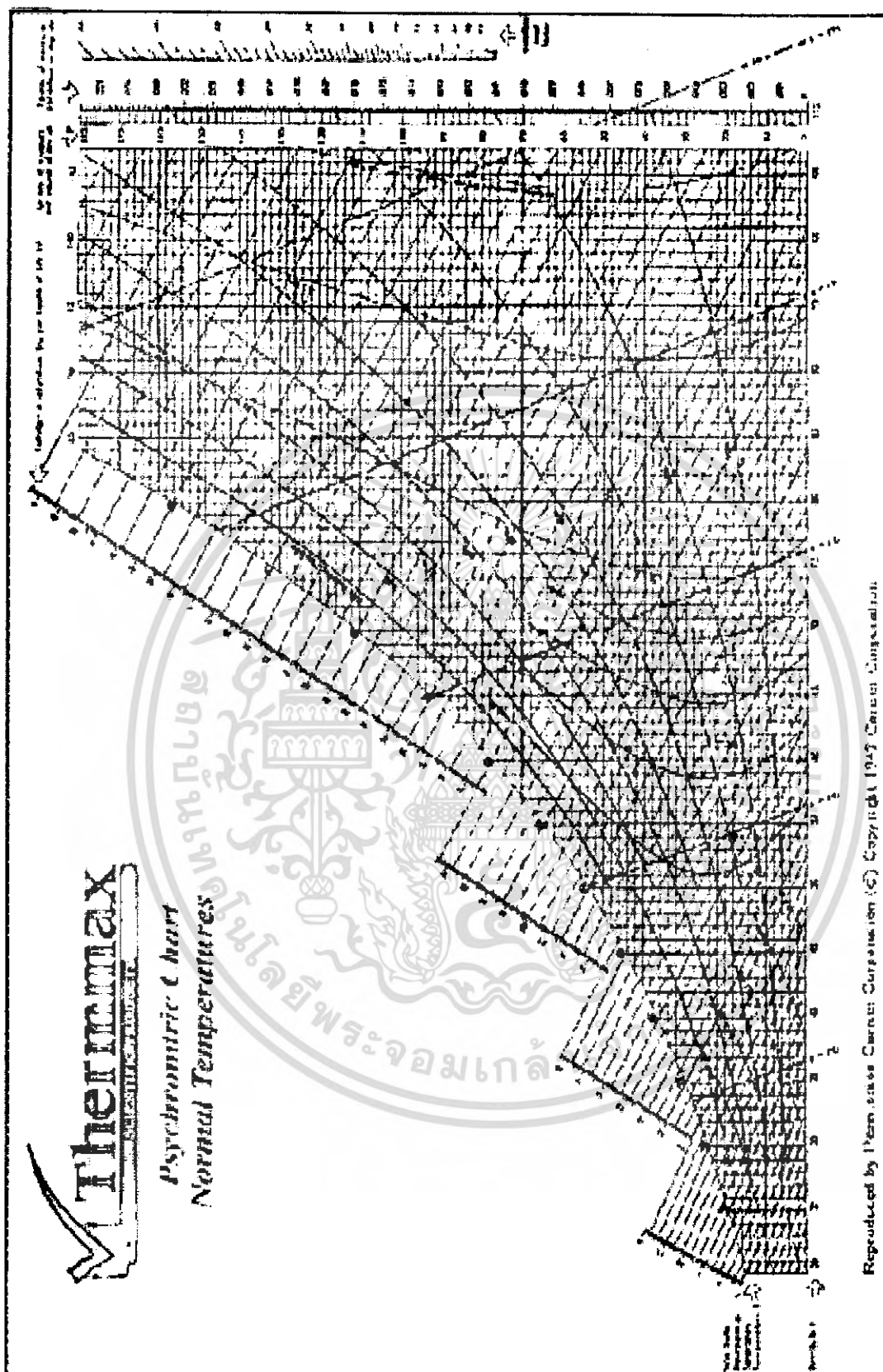
$h_L$  = ความร้อนแฝงของอากาศ ( KJ / kg )

### 2.10.12 แผนภูมิไซโครเมตริก (Psychrometric chart)

แผนภูมิไซโครเมตริกเป็นกราฟซึ่งแสดงคุณสมบัติของอากาศ แสดงในรูป ค่าที่กำหนดในแผนภูมิเป็นค่าที่ได้จากอากาศมาตรฐานและมีความกดดันของบรรยากาศ

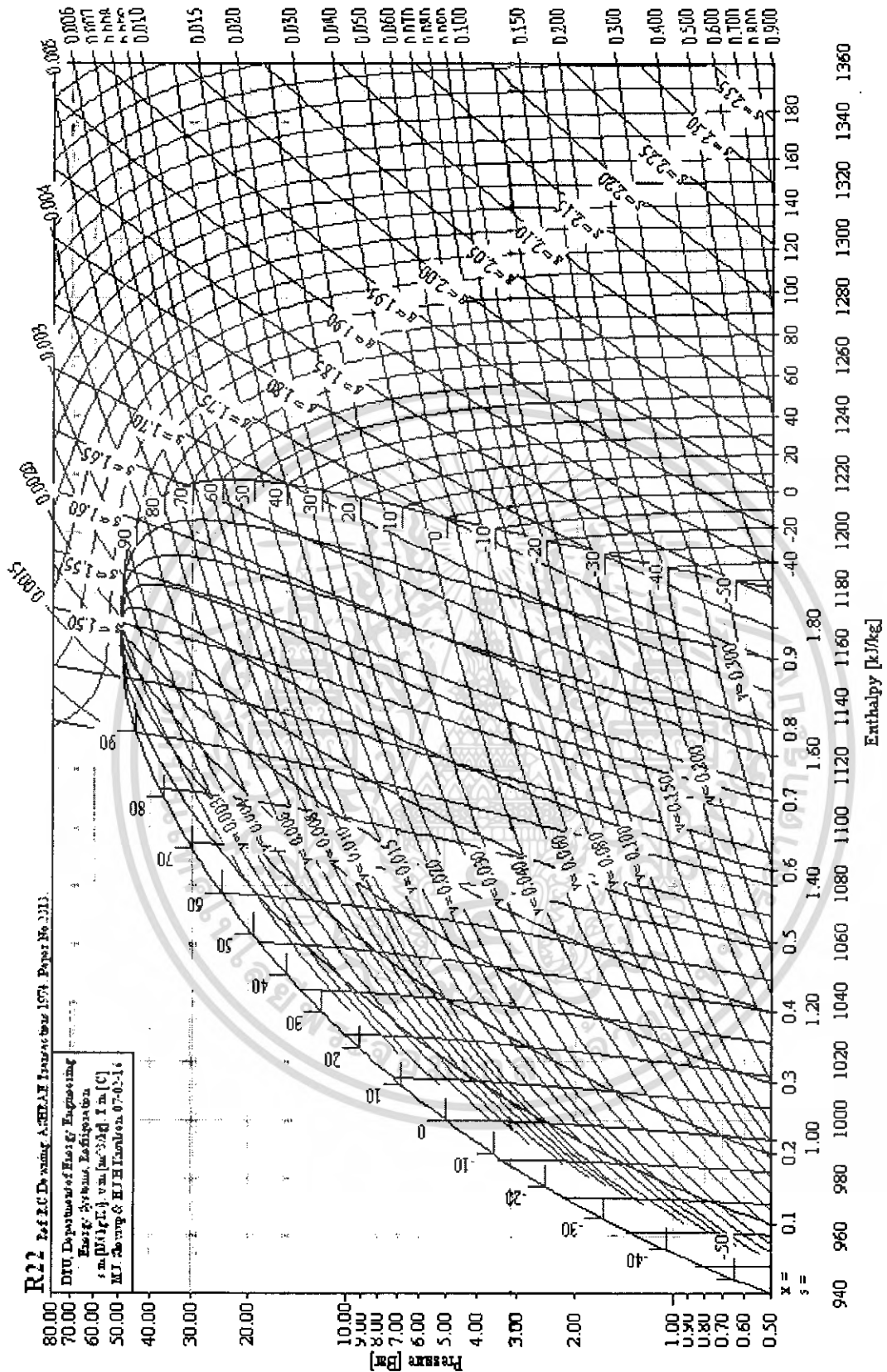
รูปที่ 2-25 เป็นการแสดงให้เห็นถึงโครงสร้างทั่วไป ๆ ของแผนภูมิไซโครเมตริก และคุณสมบัติพื้นฐานบางอย่างของอากาศ

1. เส้นในแนวดิ่งของแผนภูมิเป็นเส้นอุณหภูมิ DB คงที่
2. เส้นในแนวราบเป็นเส้นอุณหภูมิ DP คงที่ และอัตราส่วนความชื้น
3. เส้นที่ลากทแยงมุม เป็นเส้นอุณหภูมิ WB คงที่
4. เส้นที่ลาดในแนวดิ่งแต่เอียงมาทางด้านขวาเป็นเส้นปริมาตรจำเพาะคงที่
5. เส้นโค้งที่ลากจากข้างล่างซ้ายมือไปยังด้านขวามือบนแผนภูมิเป็นเส้นความชื้นสัมพัทธ์ (RH) และเส้นส่วนโค้งซ้ายสุดของแผนภูมิเป็นส่วน 100 RH และเป็นที่ยู้งักกันเป็นเส้นอิมดัวอากาศที่สถานะเช่นนี้
6. เส้นโค้งหักเห (Deviation curve) เป็นเส้นของเอนทาลปีที่ผิดไปจากเอนทาลปีจำเพาะ



รูปที่ 2-25 แผนภูมิไซโครเมตริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



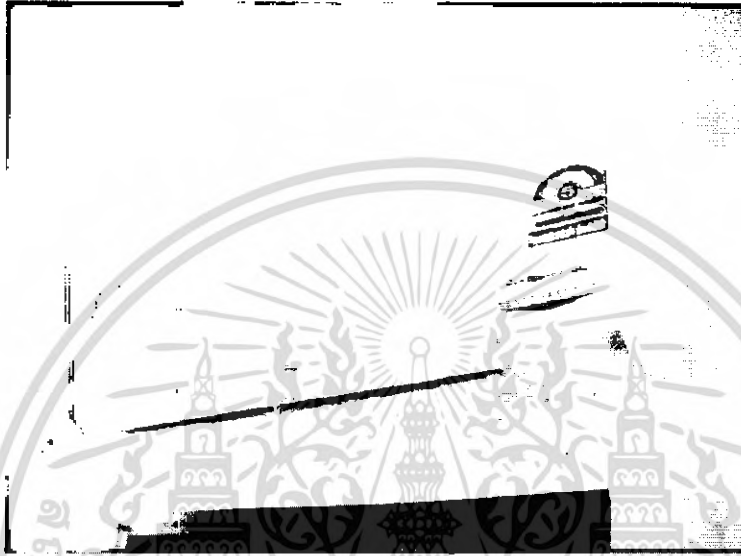
รูปที่ 2-26 แผนภูมิ P-h ไคอะแกรมของน้ำยา R-22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

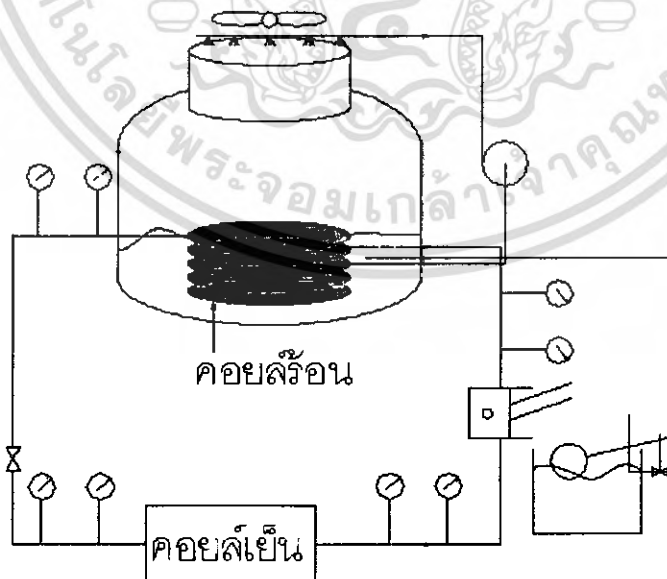
### บทที่ 3

## อุปกรณ์การทดลองและวิธีการทดลอง

### 3.1 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3-1 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง



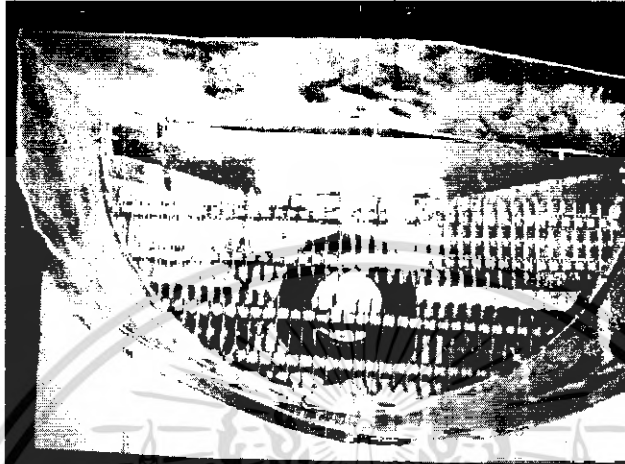
รูปที่ 3-2 แสดงวงจรของระบบชุดทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์สำคัญที่ติดตั้งในชุดทดลอง แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

### 1. บริเวณภายในห้องทดสอบ

1.1 โหลดความร้อน(Heater) แบบกริบ เพื่อให้ความร้อนแก่ห้องทดสอบ



รูปที่ 3-3 heater แบบกริบ

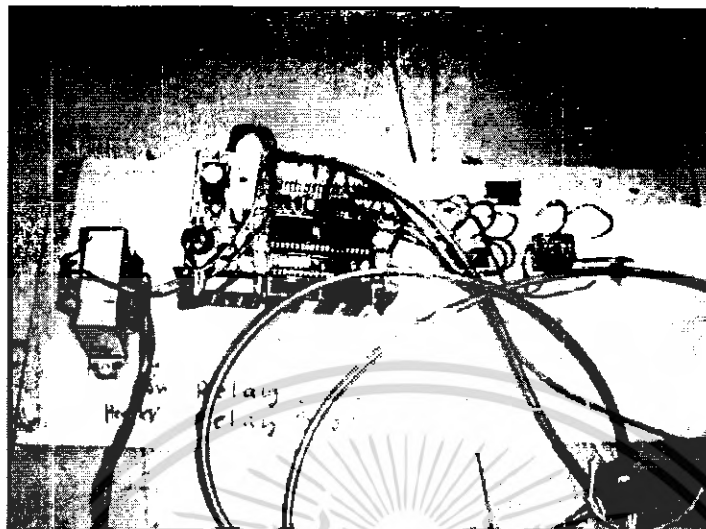
1.2 เครื่องทำหมอก เป็นแหล่งเพิ่มความชื้น



รูปที่ 3-4 เครื่องทำหมอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3 แผงวงจรใช้วัดอุณหภูมิและความชื้นภายในห้องทดลอง



รูปที่ 3-5 แผงวงจรใช้วัดอุณหภูมิภายในห้องทดลอง

## 2. บริเวณนอกห้องทดสอบ ได้แก่

### 2.1 Condensing unit



รูปที่ 3-6 Condensing unit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 Cooling Tower



รูปที่ 3-7 Cooling Tower

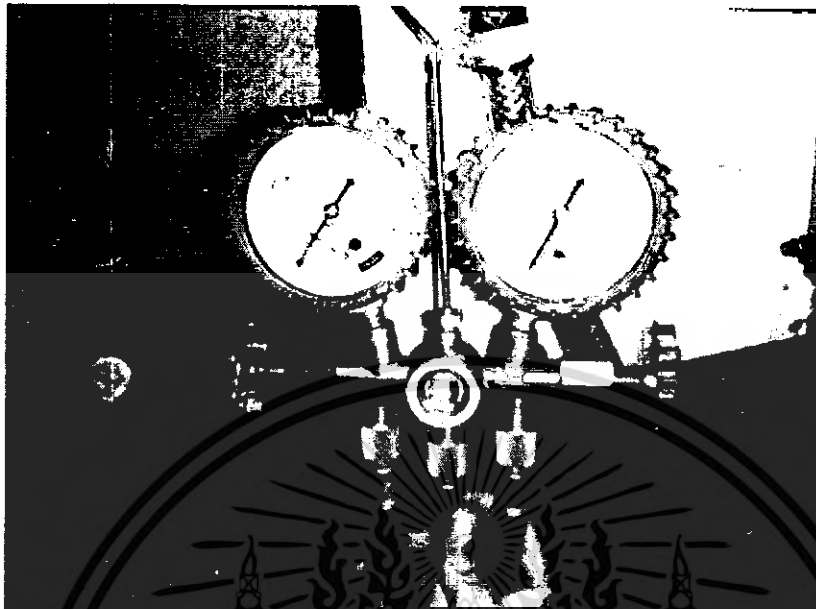
## 2.3 Thermo couple ใช้วัดอุณหภูมิ 4 ตำแหน่ง



รูปที่ 3-8 Thermo couple

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 เกจแมนิโฟลด์



รูปที่ 3-9 เกจแมนิโฟลด์

## 2.5 เกจวัดความดัน



รูปที่ 3-10 เกจวัดความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 ป้อนน้ำแรงดันสูง



รูปที่ 3-11 ป้อนน้ำแรงดันสูง

## 2.7 ระบบหัวใจ



รูปที่ 3-12 แสดงระบบหัวใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.2 การบริการระบบ

### 3.2.1 เกจแมนิโฟลด์

เกจแมนิโฟลด์ ประกอบด้วย

1. เกจวัดความดันด้านสูง (High Pressure Gauge) มีสเกลบอกค่าความดันบนหน้าปัดเพียงอันเดียวตามปกติจะเริ่มจาก 0 – 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

2. เกจวัดความดันด้านต่ำ (Low Pressure Gauge) เป็นเกจวัดความดันแบบผสม( Compound Gauge) ใช้วัดค่าความดันที่สูงและต่ำกว่าความดันบรรยากาศ สเกลที่บอกค่าดันจะบอกตั้งแต่ –30–0 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และ 0-250 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

3. วาล์วปรับด้วยมือ 3 ตัว

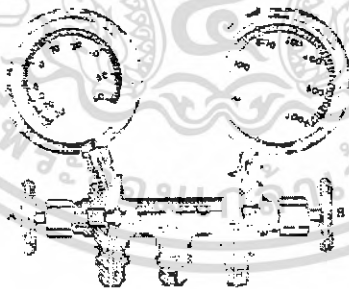
4. สายชาร์จน้ำยา

การใช้เกจแมนิโฟลด์

1. ท่อซ้ายมือของเกจแมนิโฟลด์ใช้ต่อเข้ากับด้านความดันต่ำ
2. ท่อขวามือของเกจแมนิโฟลด์ใช้ต่อเข้ากับด้านความดันสูง
3. ท่อกลางของเกจแมนิโฟลด์ใช้ต่อสำหรับบริการเช่น ป้อนสุญญากาศ ท่อน้ำยาเป็นต้น

ลักษณะต่างๆ ของการใช้เกจแมนิโฟลด์

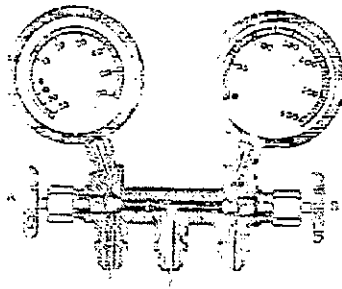
1. ใช้อ่านค่าความดันของระบบ ซึ่งวาล์ว A และวาล์ว B อยู่ในตำแหน่งปิดทั้งคู่ความดันในระบบทางด้านความดันต่ำและความดันสูง อ่านได้จากเกจทั้งคู่



รูปที่ 3-13 วาล์ว A วาล์ว B อยู่ในตำแหน่งปิดทั้งคู่

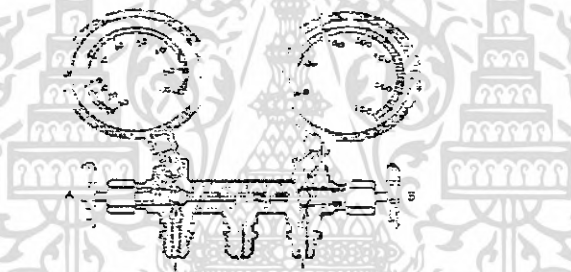
2. ใช้สำหรับชาร์จน้ำยาเข้าระบบหรือปล่อยน้ำยาออกจากระบบ วาล์ว A อยู่ในตำแหน่งเปิด วาล์ว B อยู่ในตำแหน่งปิด ใช้สำหรับให้น้ำยา (สถานะไอ) จากท่อบรรจุน้ำยาผ่านเข้าไปในระบบ ในทางกลับกันถ้าปล่อยสายกลางของเกจแมนิโฟลด์ออกจากท่อน้ำยาและวาล์วอยู่ในตำแหน่งนี้แล้ว ก็จะเป็นการปล่อยน้ำยาออกจากระบบทิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



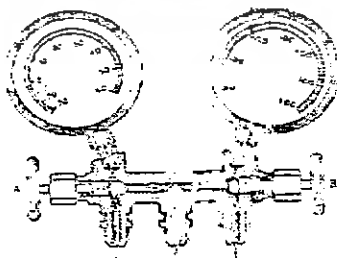
**รูปที่ 3-14 วาล์ว A อยู่ในตำแหน่งเปิด วาล์ว B อยู่ในตำแหน่งปิด**

3. ใช้สำหรับไล่อากาศในสาย(Purging) หรือปล่อยน้ำยาออกจากระบบทางด้านความดันสูง วาล์ว A อยู่ในตำแหน่งปิด และวาล์ว B อยู่ในตำแหน่งเปิด เป็นการใช้น้ำยาจากระบบทางด้านความดันสูงไล่อากาศในสาย หรือเป็นการปล่อยน้ำยาทิ้งออกจากในระบบ



**รูปที่ 3-15 วาล์ว A อยู่ในตำแหน่งปิด วาล์ว B อยู่ในตำแหน่งเปิด**

4. ใช้สำหรับทำสุญญากาศระบบ วาล์ว A และวาล์ว B อยู่ในตำแหน่งเปิดทั้งคู่ สายท่อกกลางของระบบต่อเข้ากับปั๊มสุญญากาศ



**รูปที่ 3-16 วาล์ว A และวาล์ว B อยู่ในตำแหน่งเปิดทั้งคู่**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ขั้นตอนการใช้เกจแมนิโพลด์

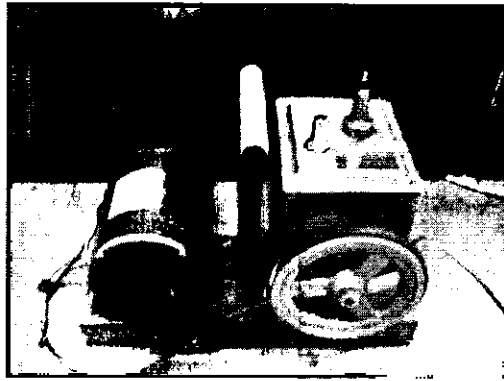
1. หาดำแหน่งของวาล์วบริการในระบบ
2. คลายฝาครอบสำหรับเกดต่อเข้าเกดที่วาล์วบริการอย่างช้าๆ
3. ตรวจสอบว่า วาล์วของเกจแมนิโพลด์อยู่ในตำแหน่งปิดทั้งคู่หรือยัง
4. ต่อสายเกดเข้ากับวาล์วบริการ
5. ถ้าระบบที่ใช้วาล์วบริการปรับด้วยมือ หรือหมุนวาล์วบริการตามเข็มนาฬิกาประมาณ  $\frac{1}{4}$  รอบ
6. ขณะนี้ควรอ่านค่าความดันเกดได้บนเกดทั้งคู่ ถ้าไม่มีความดันเกิดขึ้น แสดงว่าภายในระบบไม่มีน้ำยาให้หาดำแหน่งรั่ว และทำการแก้ไข
7. ไล่อากาศในสายที่จุดนี้โดย
  - คลายสายที่เกจแมนิโพลด์เล็กน้อย ปลดปล่อยไอสารความเย็น ที่งอกประมาณ 3 วินาที หรือ
  - คลายปลายสายกลางของเกจแมนิโพลด์ออกจากท่อน้ำยาเล็กน้อย ใช้น้ำยาในระบบไล่อากาศ โดยเปิดวาล์วของเกจแมนิโพลด์ทั้งคู่ ลอยให้น้ำยาจากในระบบรั่วทิ้งออกจากปลายสายกลางแล้วจึงขันปลายสายกลางเข้ากับท่อน้ำยาให้แน่น ปิดวาล์วเกจแมนิโพลด์ทั้งคู่อีกครั้งหนึ่ง
8. เกจแมนิโพลด์ขณะนี้พร้อมใช้งานได้แล้ว

### 3.2.2 การทำสุญญากาศ ( Evacuating The System )

การทำสุญญากาศระบบ หรือที่เรียกว่า การทำสุญญากาศ จะกระทำภายหลังจากการตรวจรั่วระบบแต่ก่อนที่จะนำยาเข้าระบบ การสุญญากาศเป็นการใช้เครื่องปั๊มสุญญากาศ(Vacuum Pump) ดูดเอาอากาศและความชื้นภายในระบบออกให้หมด ถ้าเป็นระบบเก่าก็รวมการขจัดน้ำยาที่เสื่อมคุณภาพออกจากระบบ

ในขณะที่กำลังทำสุญญากาศระบบ ค่าความดันของเกดความดันต่ำ จะอ่านได้ต่ำกว่า 0 ปอนด์ต่อตารางนิ้วเกดจะแสดงให้เห็นว่าในระบบเป็นสุญญากาศซึ่งหมายถึงว่าความดันในระบบ ขณะนี้น้อยกว่าความดันบรรยากาศ

สิ่งที่สำคัญที่สุดของการทำสุญญากาศคือ ต้องดูความชื้นออกจากระบบให้หมด จากหลักการที่ว่าเมื่อลดความดันที่ผิวหน้าของของเหลวจะทำให้จุดเดือดของของเหลวต่ำลงด้วย ฉะนั้นเมื่อระบบสุญญากาศหรือที่ความสูงของปรอทใกล้ 29 นิ้วปรอท น้ำจะมีจุดเดือดที่ 0 องศาฟาเรนไฮด์ ความชื้นที่เหลืออยู่ในระบบจะถูกเปลี่ยนสถานะ และถูกดูดออกมา

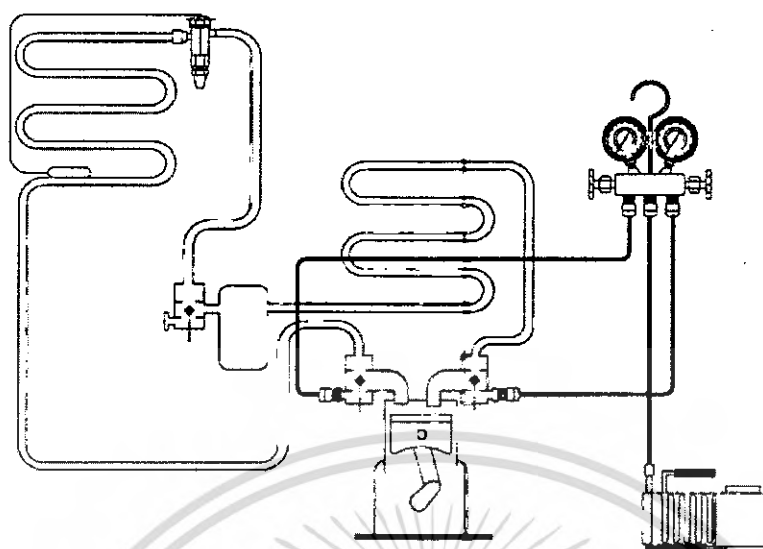


**รูปที่ 3-17 ปัมสุญญากาศ**

การทำสุญญากาศระบบควรทำตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. ต่อชุดเกจแมนิโฟลด์เข้ากับวาล์วบริการ
2. เปิดวาล์วทั้งคู่ของเกจแมนิโฟลด์
3. ต่อสายท่อกลางของเกจแมนิโฟลด์เข้ากับปัมสุญญากาศ
4. เดินเครื่องปัมสุญญากาศ
5. เข้มความดันของเกจวัดความดันต่ำเริ่มลดกว่าตำแหน่ง 0 (เกจวัดความดันสูงจะไม่สามารถอ่านค่าได้)
6. เมื่อเข็มวัดความดันต่ำอ่านค่าถึง  $-29.92$  นิ้วปรอทให้เดินเครื่องปัมสุญญากาศต่อไปอีก 20 นาที
7. ถ้าเข็มของเกจวัดความดันต่ำไม่สามารถลดลงถึง  $-29.92$  นิ้วปรอท ให้ทำการ ตรวจสอบข้อต่อต่าง ๆ ใหม่หมด
8. เกจทางสุญญากาศที่อ่านได้ไม่เป็นที่น่าพอใจ ให้หมุนวาล์วทั้งคู่ของเกจของแมนิโฟลด์ให้อยู่ในตำแหน่งปิด ถ้าค่าความดันสูงขึ้น (แต่ยังต่ำกว่า 0 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) แสดงว่าระบบรั่วให้หยุดเครื่องปัมสุญญากาศแล้วค้นหาที่รั่ว
9. ถ้าเกจทางสุญญากาศคงที่ อยู่ในขณะที่วาล์วทั้งคู่ของแมนิโฟลด์เกจ อยู่ในตำแหน่งปิด แสดงว่าปัมสุญญากาศไม่มีพ้อ
10. ภายหลังจากเดินเครื่องปัมสุญญากาศ 20-30 นาที แล้วปิดวาล์วทั้งคู่ของเกจแมนิโฟลด์
11. หยุดเครื่องเดินเครื่องปัมสุญญากาศ
12. ขณะนี้ระบบทำสุญญากาศเรียบร้อย พร้อมทั้งจะชาร์จน้ำยาเข้าในระบบต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 3- 18 การทำสุญญากาศระบบ**

### 3.2.3 การชาร์จน้ำยาเข้าระบบ( Charging The System )

การชาร์จน้ำยาเข้าระบบเป็นการปฏิบัติต่อจากการทำสุญญากาศระบบ สายกลางของแมนนิโฟลด์ที่ปลดออกจากปั๊มสุญญากาศ หลังจากสุญญากาศระบบแล้วจะถูกต่อเข้ากับท่อบรรจุน้ำยา

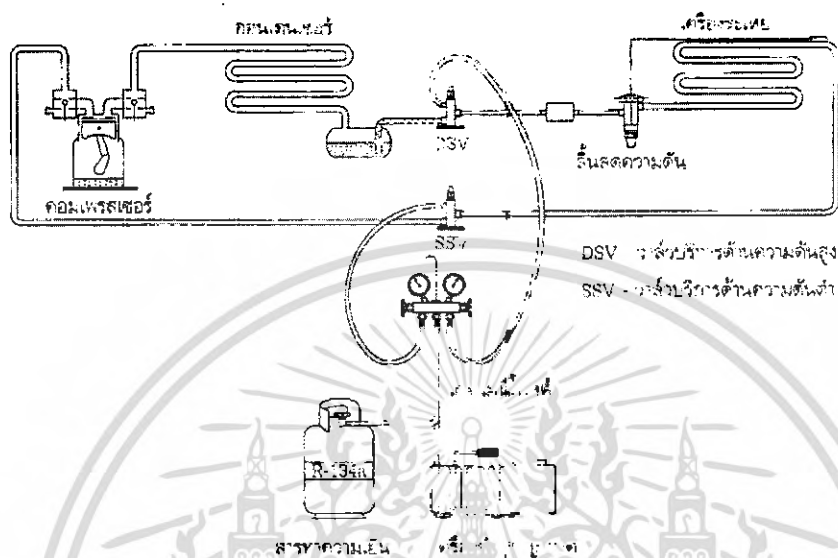
การชาร์จน้ำยาในสถานะไอเข้าในระบบทางด้านความดันต่ำ เป็นการชาร์จไอสารความเย็นเข้าในระบบทางด้านความดันต่ำ โดยเดินมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ดูดน้ำยาเข้าในระบบการเติมน้ำยาเข้าระบบ โดยวิธีนี้จะใช้เวลาเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่เป็นวิธีที่ธรรมดาๆ และปลอดภัย

ลำดับการชาร์จน้ำยาในสถานะไอเข้าระบบมีดังนี้

1. ถอดปลายสายกลางของเกจแมนนิโฟลด์ออกจากเครื่องปั๊ม แล้วต่อเข้ากับถังน้ำยา
2. เปิดวาล์วท่อน้ำยา(สถานะไอ)
3. ใช้น้ำยาในท่อไล่อากาศที่อยู่ในท่อของเกจแมนนิโฟลด์โดยคลายปลายสาย ด้านติดกับเกจแมนนิโฟลด์ ออกเล็กน้อยปล่อยให้ น้ำยาจากในท่อไล่อากาศออกทิ้งจนปลายสายกลับแน่นดังเดิม
4. เปิดวาล์ว A ชาร์จน้ำยาเข้าระบบเล็กน้อย ที่ความดันเกจประมาณ 30 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว แล้วปิดวาล์ว A
5. เดินมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ของระบบเครื่องทำความเย็น
6. ค่อยเปิดวาล์ว A ควบคุมให้น้ำยาสถานะแก๊ส ชาร์จน้ำยาเข้าในระบบ สังเกตเข็มของเกจแมนนิโฟลด์ทางด้านความดันสูงและความดันต่ำให้ได้ตามเกณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 7. ปิดวาล์ว A เมื่อความดันในระบบทางด้านสูงและด้านต่ำได้ตามเกณฑ์
- 8. ทดลองเดินเครื่องทำความเย็นในขณะที่ยังติดเกจแมนิโพลด์อยู่กับระบบอย่างน้อยประมาณ 3 ชั่วโมง



รูปที่ 3- 19 การชาร์จน้ำยาในสถานะแก๊สเข้าระบบทางด้านความดันต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 วิธีการทดลอง

#### เงื่อนไขการทดลอง

1. กำหนดขนาดความยาวของท่อคอยล์ร้อนเริ่มต้นที่ 19 เมตรแล้วลดความยาวครั้งละ 2 เมตร
2. ทดลองที่อุณหภูมิ 17 °C, 20 °C และ 23 °C
3. ใช้ heater แบบครีบบขนาด 3.3 kW.
4. เครื่องทำหมอกเพื่อเพิ่มความชื้น

#### ขั้นตอนการทดลอง

1. เติมน้ำลงในหอทำความเย็นซึ่งมีขดท่อคอยล์ร้อนวางอยู่
2. เปิดระบบฉีดน้ำระบายความร้อน
3. เปิดเครื่องปรับอากาศ โดยตั้งอุณหภูมิที่ตัวเครื่องต่ำสุด 15 °C และความเร็วรอบมอเตอร์ให้  
ได้ประสิทธิภาพการทำความเย็นมากที่สุด
4. ปรับอุณหภูมิภายในห้องให้เข้าสู่สภาวะทดสอบ
5. เปิด heater และเครื่องทำหมอกเพื่อให้อยู่ในสภาวะทดสอบ
6. เดินเครื่องปรับอากาศต่ออีก 1 ชั่วโมง
7. หลังจากเดินเครื่องปรับอากาศครบ 1 ชั่วโมง ทำการเก็บค่าทุกๆ 10 นาทีเป็นระยะเวลา 1  
ชั่วโมง
8. ทำการทดลองที่อุณหภูมิต่อไปจนครบทั้งสามอุณหภูมิตามเงื่อนไข
9. ทำการปล่อยสารทำความเย็นออกจากระบบเพื่อทำการลดความยาวท่อคอยล์ร้อน
10. ตัดท่อคอยล์ร้อนออก 2 เมตรตามเงื่อนไขที่กำหนดและทำการเชื่อมต่อท่อคอยล์ร้อนเข้า  
ด้วยกัน
11. เติมน้ำทำความเย็นเข้าระบบเพื่อทำการทดลองที่สภาวะต่อไปเหมือนข้อ 1-10
12. ลดความยาวท่ออีกครึ่งละ 2 เมตรทำการทดลองเหมือนข้อ 1-11 จนเหลือความยาวท่อที่  
11 เมตร

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 ความยาวคอยด์ร้อนที่ 11 เมตร และ Heater 3.3 kW

ผลทดลองการปรับอากาศที่สภาวะอุณหภูมิ 17 °C

รายละเอียด	เวลา (นาที)						
	0	10	20	30	40	50	60
อุณหภูมินอกห้อง	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0
อุณหภูมิในห้อง	29.9	29.7	29.6	29.7	29.7	29.8	29.8
ความชื้นสัมพัทธ์ในห้อง%	38.0	37.0	36.0	36.0	35.0	35.0	35.0
ความชื้นสัมพัทธ์นอกห้อง%	83.0	83.0	83.0	84.0	84.0	84.0	84.0
อุณหภูมิ T <sub>1</sub> (°C)	15.8	15.9	16.0	16.6	16.7	16.9	17.0
อุณหภูมิ T <sub>2</sub> (°C)	44.0	44.1	44.2	45.3	44.9	44.8	44.7
อุณหภูมิ T <sub>3</sub> (°C)	34.6	34.6	34.6	34.7	34.8	34.7	34.6
อุณหภูมิ T <sub>4</sub> (°C)	8.3	8.9	9.2	9.8	9.8	9.8	9.8
อุณหภูมิ Tw (°C)	31.2	31.7	31.3	31.3	31.7	31.7	31.4
ความดัน P <sub>1</sub> ( Psig)	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0
ความดัน P <sub>2</sub> ( Psig)	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0
ความดัน P <sub>3</sub> ( Psig)	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0
ความดัน P <sub>4</sub> ( Psig)	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0
Sensible Heat Capacity(W)	3300	3300	3300	3300	3300	3300	3300
Latent heat Capacity (W)	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0
Total Capacity (W)	3322	3322	3322	3322	3322	3322	3322
Current (A)	4.52	4.54	4.52	4.53	4.53	4.54	4.53
Voltage (V)	220	220	220	220	220	220	220
Power Input (kW)	1.0054	1.0076	1.0076	1.0076	1.0054	1.0076	1.0054
COP	3.536	3.521	3.536	3.528	3.528	3.521	3.528

**ตารางที่ 4-1 การทดสอบเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 17 °C**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลทดลองการปรับอากาศที่สภาวะอุณหภูมิ 20 °C

รายละเอียด	เวลา (นาที)						
	0	10	20	30	40	50	60
อุณหภูมิในห้อง	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0
อุณหภูมิในห้อง	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5
ความชื้นสัมพัทธ์ในห้อง%	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0
ความชื้นสัมพัทธ์ในห้อง%	65.0	67.0	66.0	65.0	65.0	67.0	68.0
อุณหภูมิ T <sub>1</sub> (°C)	19.7	18.7	17.4	18.4	18.5	18.4	18.4
อุณหภูมิ T <sub>2</sub> (°C)	43.9	44.5	44.6	44.6	44.7	44.6	44.6
อุณหภูมิ T <sub>3</sub> (°C)	34.2	34.4	34.7	35.0	34.8	34.7	34.7
อุณหภูมิ T <sub>4</sub> (°C)	9.6	9.6	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8
อุณหภูมิ T <sub>w</sub> (°C)	31.0	30.9	31.6	31.2	31.4	31.3	31.3
ความดัน P <sub>1</sub> (Psig)	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0
ความดัน P <sub>2</sub> (Psig)	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0
ความดัน P <sub>3</sub> (Psig)	267.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0
ความดัน P <sub>4</sub> (Psig)	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0
Sensible Heat Capacity (W)	3300	3300	3300	3300	3300	3300	3300
Latent heat Capacity (W)	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0
Total Capacity (W)	3322	3322	3322	3322	3322	3322	3322
Current (A)	4.52	4.54	4.52	4.53	4.53	4.54	4.53
Voltage (V)	220	220	220	220	220	220	220
Power Input (kW)	1.00	1.00	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00
COP	3.536	3.521	3.536	3.528	3.528	3.521	3.528

ตารางที่ 4-2 การทดสอบเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 20 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลทดลองการปรับอากาศที่สภาวะอุณหภูมิ 23 °C

รายละเอียด	เวลา (นาที)						
	0	10	20	30	40	50	60
อุณหภูมิในห้อง	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0
อุณหภูมิในห้อง	29.9	29.7	29.6	29.7	29.7	29.8	29.8
ความชื้นสัมพัทธ์ในห้อง%	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0
ความชื้นสัมพัทธ์ในห้อง%	65.0	67.0	66.0	65.0	65.0	67.0	68.0
อุณหภูมิ T <sub>1</sub> (°C)	17.2	17.1	17.3	17.4	17.5	17.6	17.5
อุณหภูมิ T <sub>2</sub> (°C)	44.8	44.9	44.8	44.8	44.8	44.8	44.8
อุณหภูมิ T <sub>3</sub> (°C)	34.3	34.3	34.2	34.2	34.2	34.3	34.2
อุณหภูมิ T <sub>4</sub> (°C)	9.3	9.5	9.4	9.5	9.6	9.6	9.6
อุณหภูมิ T <sub>w</sub> (°C)	31.8	31.7	31.9	31.7	31.7	31.7	31.7
ความดัน P <sub>1</sub> (Psig)	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0
ความดัน P <sub>2</sub> (Psig)	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0
ความดัน P <sub>3</sub> (Psig)	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0
ความดัน P <sub>4</sub> (Psig)	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0
Sensible Heat Capacity(W)	3300	3300	3300	3300	3300	3300	3300
Latent heat Capacity (W)	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0
Total Capacity (W)	3322	3322	3322	3322	3322	3322	3322
Current (A)	4.52	4.54	4.52	4.53	4.53	4.54	4.53
Voltage (V)	220	220	220	220	220	220	220
Power Input (kW)	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
COP	3.536	3.521	3.536	3.528	3.528	3.521	3.528

ตารางที่ 4-3 การทดสอบเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 23 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 ความยาวคอยล์ร้อนที่ 13 เมตร และ Heater 3.3 kW

ผลทดลองการปรับอากาศที่สภาวะอุณหภูมิ 17 °C

รายละเอียด	เวลา (นาที)						
	0	10	20	30	40	50	60
อุณหภูมินอกห้อง	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0
อุณหภูมิในห้อง	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5
ความชื้นสัมพัทธ์ในห้อง%	37.0	36.0	35.0	35.0	34.0	34.0	34.0
ความชื้นสัมพัทธ์นอกห้อง%	68.0	68.0	68.0	68.0	68.0	68.0	68.0
อุณหภูมิ T <sub>1</sub> (°C)	13.9	13.8	13.7	13.7	13.7	13.6	13.6
อุณหภูมิ T <sub>2</sub> (°C)	46.4	46.6	46.8	46.8	46.8	46.9	46.9
อุณหภูมิ T <sub>3</sub> (°C)	33.8	33.9	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4
อุณหภูมิ T <sub>4</sub> (°C)	12.0	12.0	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1
อุณหภูมิ T <sub>w</sub> (°C)	32.6	32.5	32.6	32.6	32.6	32.6	32.6
ความดัน P <sub>1</sub> ( Psig)	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0
ความดัน P <sub>2</sub> ( Psig)	290.0	290.0	290.0	290.0	290.0	290.0	290.0
ความดัน P <sub>3</sub> ( Psig)	290.0	290.0	290.0	290.0	290.0	290.0	290.0
ความดัน P <sub>4</sub> ( Psig)	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0
Sensible Heat Capacity(W)	3300	3300	3300	3300	3300	3300	3300
Latent heat Capacity (W)	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0
Total Capacity (W)	3322	3322	3322	3322	3322	3322	3322
Current (A)	4.54	4.54	4.54	4.54	4.54	4.54	4.54
Voltage (V)	220	220	220	220	220	220	220
Power Input (kW)	1.00	1.00	1.00	1.01	1.01	1.01	1.01
COP	3.536	3.521	3.536	3.528	3.528	3.521	3.528

ตารางที่ 4-4 การทดสอบเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 17 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลทดลองการปรับอากาศที่สภาวะอุณหภูมิ 20 °C

รายละเอียด	เวลา (นาที)						
	0	10	20	30	40	50	60
อุณหภูมินอกห้อง	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0
อุณหภูมิในห้อง	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5
ความชื้นสัมพัทธ์ในห้อง%	36.0	35.0	35.0	34.0	34.0	33.0	33.0
ความชื้นสัมพัทธ์นอกห้อง%	67.0	67.0	67.0	67.0	67.0	67.0	67.0
อุณหภูมิ T <sub>1</sub> (°C)	14.4	13.6	12.6	12.8	12.4	12.4	12.4
อุณหภูมิ T <sub>2</sub> (°C)	45.9	46.4	46.7	46.6	46.8	46.7	46.7
อุณหภูมิ T <sub>3</sub> (°C)	33.5	34.1	34.7	34.6	34.6	34.6	34.5
อุณหภูมิ T <sub>4</sub> (°C)	11.8	12.0	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1
อุณหภูมิ T <sub>w</sub> (°C)	32.2	32.5	33.0	33.0	33.2	33.2	33.2
ความดัน P <sub>1</sub> (Psig)	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0
ความดัน P <sub>2</sub> (Psig)	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0
ความดัน P <sub>3</sub> (Psig)	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0
ความดัน P <sub>4</sub> (Psig)	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0
Sensible Heat Capacity(W)	3300	3300	3300	3300	3300	3300	3300
Latent heat Capacity (W)	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0
Total Capacity (W)	3322	3322	3322	3322	3322	3322	3322
Current (A)	4.53	4.54	4.53	4.54	4.53	4.54	4.53
Voltage (V)	220	220	220	220	220	220	220
Power Input (kW)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.01
COP	3.528	3.521	3.528	3.521	3.528	3.521	3.528

ตารางที่ 4-5 การทดสอบเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 20 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลทดลองการปรับอากาศที่สภาวะอุณหภูมิ 23 °C

รายละเอียด	เวลา (นาที)						
	0	10	20	30	40	50	60
อุณหภูมินอกห้อง	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0
อุณหภูมิในห้อง	30.9	30.9	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7
ความชื้นสัมพัทธ์ในห้อง%	36.0	35.0	35.0	34.0	34.0	33.0	33.0
ความชื้นสัมพัทธ์นอกห้อง%	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0
อุณหภูมิ T <sub>1</sub> (°C)	15.2	15.0	14.9	14.8	14.6	14.6	14.6
อุณหภูมิ T <sub>2</sub> (°C)	45.9	46.4	46.4	46.4	46.3	46.3	46.1
อุณหภูมิ T <sub>3</sub> (°C)	33.0	33.3	33.6	33.8	33.8	33.8	33.8
อุณหภูมิ T <sub>4</sub> (°C)	12.2	12.2	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3
อุณหภูมิ T <sub>w</sub> (°C)	32.6	32.7	32.9	33.0	33.0	33.1	33.1
ความดัน P <sub>1</sub> ( Psig)	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0
ความดัน P <sub>2</sub> ( Psig)	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0
ความดัน P <sub>3</sub> ( Psig)	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0
ความดัน P <sub>4</sub> ( Psig)	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0
Sensible Heat Capacity(W)	3300	3300	3300	3300	3300	3300	3300
Latent heat Capacity (W)	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0
Total Capacity (W)	3322	3322	3322	3322	3322	3322	3322
Current (A)	4.52	4.54	4.52	4.53	4.53	4.54	4.53
Voltage (V)	220	220	220	220	220	220	220
Power Input (kW)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
COP	3.536	3.521	3.536	3.528	3.528	3.521	3.528

ตารางที่ 4-6 การทดสอบเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 23 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 ความยาวคอยร้อนที่ 15 เมตร และ Heater 3.3 kW

ผลทดลองการปรับอากาศที่สภาวะอุณหภูมิ 17 °C

รายละเอียด	เวลา (นาที)						
	0	10	20	30	40	50	60
อุณหภูมินอกห้อง	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0
อุณหภูมิในห้อง	28.2	28.2	28.1	28.1	28.2	28.1	28.1
ความชื้นสัมพัทธ์ในห้อง%	36.0	35.0	34.0	33.0	33.0	33.0	33.0
ความชื้นสัมพัทธ์นอกห้อง%	65.0	67.0	66.0	65.0	65.0	67.0	68.0
อุณหภูมิ $T_1$ (°C)	16.7	16.4	16.2	16.1	16.1	16.0	16.0
อุณหภูมิ $T_2$ (°C)	49.9	50.4	50.6	50.8	50.8	50.9	50.9
อุณหภูมิ $T_3$ (°C)	31.8	32.1	32.2	32.2	32.2	32.3	32.3
อุณหภูมิ $T_4$ (°C)	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6
อุณหภูมิ $T_w$ (°C)	31.4	32.2	32.4	32.2	32.2	32.5	32.3
ความดัน $P_1$ (Psig)	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0
ความดัน $P_2$ (Psig)	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0
ความดัน $P_3$ (Psig)	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0
ความดัน $P_4$ (Psig)	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0
Sensible Heat Capacity(W)	3300	3300	3300	3300	3300	3300	3300
Latent heat Capacity (W)	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0
Total Capacity (W)	3322	3322	3322	3322	3322	3322	3322
Current (A)	4.52	4.54	4.53	4.54	4.53	4.54	4.56
Voltage (V)	220	220	220	220	220	220	220
Power Input (kW)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
COP	3.536	3.521	3.528	3.521	3.528	3.521	3.505

### ตารางที่ 4-7 การทดสอบเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 17 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลทดลองการปรับอากาศที่สภาวะอุณหภูมิ 20 °C

รายละเอียด	เวลา (นาที)						
	0	10	20	30	40	50	60
อุณหภูมิในห้อง	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0
อุณหภูมิในห้อง	29.1	29.0	29.0	29.0	29.0	28.8	28.8
ความชื้นสัมพัทธ์ในห้อง%	39.0	37.0	38.0	36.0	36.0	36.0	36.0
ความชื้นสัมพัทธ์ในห้อง%	65.0	67.0	66.0	65.0	65.0	67.0	68.0
อุณหภูมิ T <sub>1</sub> (°C)	15.6	15.7	15.6	15.4	15.4	15.4	15.3
อุณหภูมิ T <sub>2</sub> (°C)	52.2	52.0	51.8	51.0	51.0	50.8	50.9
อุณหภูมิ T <sub>3</sub> (°C)	33.1	33.0	32.9	32.8	32.8	32.8	32.8
อุณหภูมิ T <sub>4</sub> (°C)	11.1	11.0	11.0	10.9	10.9	10.9	10.9
อุณหภูมิ T <sub>w</sub> (°C)	32.0	32.2	32.2	32.3	32.3	32.3	32.4
ความดัน P <sub>1</sub> ( Psig)	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0
ความดัน P <sub>2</sub> ( Psig)	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0
ความดัน P <sub>3</sub> ( Psig)	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0
ความดัน P <sub>4</sub> ( Psig)	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0
Sensible Heat Capacity(W)	3300	3300	3300	3300	3300	3300	3300
Latent heat Capacity (W)	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0
Total Capacity (W)	3322	3322	3322	3322	3322	3322	3322
Current (A)	4.52	4.54	4.53	4.54	4.53	4.54	4.56
Voltage (V)	220	220	220	220	220	220	220
Power Input (kW)	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
COP	3.536	3.521	3.528	3.521	3.528	3.521	3.505

## ตารางที่ 4-8 การทดสอบเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 20 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลทดลองการปรับอากาศที่สภาวะอุณหภูมิ 23 °C

รายละเอียด	เวลา (นาที)						
	0	10	20	30	40	50	60
อุณหภูมินอกห้อง	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0
อุณหภูมิในห้อง	29.5	29.4	29.4	29.3	29.3	29.3	29.3
ความชื้นสัมพัทธ์ในห้อง%	40.0	38.0	38.0	36.0	36.0	36.0	36.0
ความชื้นสัมพัทธ์นอกห้อง%	65.0	67.0	66.0	65.0	65.0	67.0	68.0
อุณหภูมิ T <sub>1</sub> (°C)	16.0	15.2	15.0	15.0	14.9	14.8	14.8
อุณหภูมิ T <sub>2</sub> (°C)	50.7	51.1	52.7	51.9	51.2	51.1	51.1
อุณหภูมิ T <sub>3</sub> (°C)	32.0	32.6	32.7	32.7	32.7	32.7	32.7
อุณหภูมิ T <sub>4</sub> (°C)	10.6	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8
อุณหภูมิ T <sub>w</sub> (°C)	32.1	32.1	32.2	32.2	32.4	32.6	32.6
ความดัน P <sub>1</sub> ( Psig)	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0
ความดัน P <sub>2</sub> ( Psig)	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0
ความดัน P <sub>3</sub> ( Psig)	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0
ความดัน P <sub>4</sub> ( Psig)	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0
Sensible Heat Capacity(W)	3300	3300	3300	3300	3300	3300	3300
Latent heat Capacity (W)	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0
Total Capacity (W)	3322	3322	3322	3322	3322	3322	3322
Current (A)	4.52	4.54	4.53	4.54	4.53	4.54	4.60
Voltage (V)	220	220	220	220	220	220	220
Power Input (kW)	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00
COP	3.536	3.521	3.528	3.521	3.528	3.521	3.475

## ตารางที่ 4-9 การทดสอบเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 23°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 ความยาวคอยร้อนที่ 17 เมตร และ Heater 3.3 kW

ผลทดลองการปรับอากาศที่สภาวะอุณหภูมิ 17 °C

รายละเอียด	เวลา (นาที)						
	0	10	20	30	40	50	60
อุณหภูมินอกห้อง	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0
อุณหภูมิในห้อง	28.5	28.4	28.4	28.4	28.4	28.3	28.3
ความชื้นสัมพัทธ์ในห้อง%	37.0	36.0	36.0	36.0	36.0	35.0	35.0
ความชื้นสัมพัทธ์นอกห้อง%	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0
อุณหภูมิ T <sub>1</sub> (°C)	16.3	16.5	16.6	16.7	16.8	16.9	16.9
อุณหภูมิ T <sub>2</sub> (°C)	49.6	48.5	48.2	48.0	47.6	4.6	47.6
อุณหภูมิ T <sub>3</sub> (°C)	33.5	32.7	32.6	32.5	32.5	32.5	32.5
อุณหภูมิ T <sub>4</sub> (°C)	10.5	10.3	10.2	10.2	10.2	10.1	10.1
อุณหภูมิ T <sub>w</sub> (°C)	32.1	32.1	32.2	32.4	32.4	32.6	32.6
ความดัน P <sub>1</sub> (Psig)	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0
ความดัน P <sub>2</sub> (Psig)	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0
ความดัน P <sub>3</sub> (Psig)	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0
ความดัน P <sub>4</sub> (Psig)	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0
Sensible Heat Capacity (W)	3300	3300	3300	3300	3300	3300	3300
Latent heat Capacity (W)	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0
Total Capacity (W)	3322	3322	3322	3322	3322	3322	3322
Current (A)	4.52	4.54	4.52	4.53	4.53	4.54	4.53
Voltage (V)	220	220	220	220	220	220	220
Power Input (kW)	1.00	1.00	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
COP	3.536	3.521	3.536	3.528	3.528	3.521	3.528

ตารางที่ 4-10 การทดสอบเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 17 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลทดลองการปรับอากาศที่สภาวะอุณหภูมิ 20 °C

รายละเอียด	เวลา (นาที)						
	0	10	20	30	40	50	60
อุณหภูมินอกห้อง	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0
อุณหภูมิในห้อง	28.5	28.4	28.4	28.4	28.4	28.3	28.3
ความชื้นสัมพัทธ์ในห้อง%	37.0	38.0	37.0	36.0	35.0	35.0	35.0
ความชื้นสัมพัทธ์นอกห้อง%	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0
อุณหภูมิ T <sub>1</sub> (°C)	19.5	19.0	18.6	18.5	18.3	18.2	18.2
อุณหภูมิ T <sub>2</sub> (°C)	46.3	48.2	48.1	48.0	47.9	47.9	47.9
อุณหภูมิ T <sub>3</sub> (°C)	31.5	31.8	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0
อุณหภูมิ T <sub>4</sub> (°C)	9.3	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5
อุณหภูมิ T <sub>w</sub> (°C)	31.5	31.4	31.4	31.4	31.3	31.2	31.2
ความดัน P <sub>1</sub> ( Psig)	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0
ความดัน P <sub>2</sub> ( Psig)	260.0	260.0	260.0	260.0	260.0	260.0	260.0
ความดัน P <sub>3</sub> ( Psig)	260.0	260.0	260.0	260.0	260.0	260.0	260.0
ความดัน P <sub>4</sub> ( Psig)	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0
Sensible Heat Capacity(W)	3300	3300	3300	3300	3300	3300	3300
Latent heat Capacity (W)	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0
Total Capacity (W)	3322	3322	3322	3322	3322	3322	3322
Current (A)	4.52	4.54	4.52	4.53	4.53	4.54	4.53
Voltage (V)	220	220	220	220	220	220	220
Power Input (kW)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
COP	3.534	3.518	3.534	3.526	3.526	3.518	3.526

ตารางที่ 4-11 การทดสอบเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 20 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลทดลองการปรับอากาศที่สภาวะอุณหภูมิ 23 °C

รายละเอียด	เวลา (นาที)						
	0	10	20	30	40	50	60
อุณหภูมิในห้อง	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5
อุณหภูมิในห้อง	30.4	30.3	30.4	30.4	30.5	30.5	30.5
ความชื้นสัมพัทธ์ในห้อง%	40.0	38.0	37.0	37.0	37.0	37.0	37.0
ความชื้นสัมพัทธ์ในห้อง%	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0
อุณหภูมิ T <sub>1</sub> (°C)	17.9	17.5	17.3	17.3	17.3	17.3	17.3
อุณหภูมิ T <sub>2</sub> (°C)	47.0	46.7	46.2	46.6	45.7	45.7	45.7
อุณหภูมิ T <sub>3</sub> (°C)	33.4	33.5	33.5	33.5	33.5	33.5	33.5
อุณหภูมิ T <sub>4</sub> (°C)	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5
อุณหภูมิ T <sub>w</sub> (°C)	32.0	32.3	32.3	32.5	32.3	32.4	32.3
ความดัน P <sub>1</sub> (Psig)	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0
ความดัน P <sub>2</sub> (Psig)	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0
ความดัน P <sub>3</sub> (Psig)	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0
ความดัน P <sub>4</sub> (Psig)	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0
Sensible Heat Capacity(W)	3300	3300	3300	3300	3300	3300	3300
Latent heat Capacity (W)	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0
Total Capacity (W)	3322	3322	3322	3322	3322	3322	3322
Current (A)	4.51	4.52	4.53	4.53	4.54	4.54	5.55
Voltage (V)	220	220	220	220	220	220	220
Power Input (kW)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
COP	3.544	3.536	3.528	3.528	3.521	3.521	3.521

ตารางที่ 4-12 การทดสอบเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 23 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5 ความยาวคอยด์ร้อนที่ 19 เมตร และ Heater 3.3 kW

ผลทดลองการปรับอากาศที่สภาวะอุณหภูมิ 17 °C

รายละเอียด	เวลา (นาที)						
	0	10	20	30	40	50	60
อุณหภูมินอกห้อง	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0
อุณหภูมิในห้อง	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5
ความชื้นสัมพัทธ์ในห้อง%	39.0	39.0	37.0	36.0	36.0	36.0	36.0
ความชื้นสัมพัทธ์นอกห้อง%	67.0	67.0	67.0	65.0	65.0	66.0	66.0
อุณหภูมิ T <sub>1</sub> (°C)	19.3	18.7	18.6	18.6	18.5	18.5	18.5
อุณหภูมิ T <sub>2</sub> (°C)	45.3	45.9	46.7	46.4	46.3	46.4	46.4
อุณหภูมิ T <sub>3</sub> (°C)	31.7	32.2	32.4	32.5	32.5	32.6	32.6
อุณหภูมิ T <sub>4</sub> (°C)	8.6	8.6	8.9	8.9	8.9	8.9	8.9
อุณหภูมิ T <sub>w</sub> (°C)	32.3	32.3	32.4	32.3	32.5	32.5	32.6
ความดัน P <sub>1</sub> ( Psig)	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0
ความดัน P <sub>2</sub> ( Psig)	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0
ความดัน P <sub>3</sub> ( Psig)	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0
ความดัน P <sub>4</sub> ( Psig)	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0
Sensible Heat Capacity(W)	3300	3300	3300	3300	3300	3300	3300
Latent heat Capacity (W)	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0
Total Capacity (W)	3322	3322	3322	3322	3322	3322	332
Current (A)	4.51	4.52	4.53	4.53	4.54	4.54	4.55
Voltage (V)	220	220	220	220	220	220	220
Power Input (kW)	1.01	1.00	1.00	1.01	1.01	1.01	1.01
COP	3.544	3.536	3.528	3.528	3.521	3.521	3.513

ตารางที่ 4-13 การทดสอบเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 17 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลทดลองการปรับอากาศที่สภาวะอุณหภูมิ 20 °C

รายละเอียด	เวลา (นาที)						
	0	10	20	30	40	50	60
อุณหภูมิในนอกห้อง	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0
อุณหภูมิในห้อง	28.7	28.7	28.7	28.7	28.7	28.7	28.7
ความชื้นสัมพัทธ์ในห้อง%	39.0	39.0	37.0	36.0	36.0	36.0	36.0
ความชื้นสัมพัทธ์นอกห้อง%	63.0	63.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0
อุณหภูมิ T <sub>1</sub> (°C)	18.1	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9
อุณหภูมิ T <sub>2</sub> (°C)	43.8	44.0	44.0	44.0	44.0	44.0	44.0
อุณหภูมิ T <sub>3</sub> (°C)	32.2	32.5	32.6	32.7	32.7	32.7	32.7
อุณหภูมิ T <sub>4</sub> (°C)	9.4	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5
อุณหภูมิ Tw (°C)	32.8	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4
ความดัน P <sub>1</sub> ( Psig)	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0
ความดัน P <sub>2</sub> ( Psig)	260.0	260.0	260.0	260.0	260.0	260.0	260.0
ความดัน P <sub>3</sub> ( Psig)	260.0	260.0	260.0	260.0	260.0	260.0	260.0
ความดัน P <sub>4</sub> ( Psig)	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0
Sensible Heat Capacity(W)	3300	3300	3300	3300	3300	3300	3300
Latent heat Capacity (W)	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0
Total Capacity (W)	3322	3322	3322	3322	3322	3322	3322
Current (A)	4.51	4.52	4.53	4.53	4.54	4.54	4.55
Voltage (V)	220	220	220	220	220	220	220
Power Input (kW)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.01	1.01
COP	3.544	3.536	3.528	3.528	3.521	3.521	3.513

ตารางที่ 4-14 การทดสอบเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 20 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลทดลองการปรับอากาศที่สภาวะอุณหภูมิ 23 °C

รายละเอียด	เวลา (นาที)						
	0	10	20	30	40	50	60
อุณหภูมิห้อง	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0
อุณหภูมิในห้อง	30.2	30.1	30.2	30.1	29.8	29.8	29.8
ความชื้นสัมพัทธ์ในห้อง%	36.0	35.0	35.0	34.0	34.0	34.0	34.0
ความชื้นสัมพัทธ์นอกห้อง%	63.0	63.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0
อุณหภูมิ T <sub>1</sub> (°C)	17.2	17.2	17.2	17.4	17.4	17.5	17.5
อุณหภูมิ T <sub>2</sub> (°C)	43.5	44.0	44.1	44.2	44.2	44.2	44.2
อุณหภูมิ T <sub>3</sub> (°C)	32.1	32.8	33.0	33.1	33.1	33.1	33.1
อุณหภูมิ T <sub>4</sub> (°C)	8.9	9.5	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6
อุณหภูมิ T <sub>w</sub> (°C)	32.2	32.9	32.0	32.3	32.4	32.4	32.4
ความดัน P <sub>1</sub> ( Psig)	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0
ความดัน P <sub>2</sub> ( Psig)	260.0	260.0	260.0	260.0	260.0	260.0	260.0
ความดัน P <sub>3</sub> ( Psig)	260.0	260.0	260.0	260.0	260.0	260.0	260.0
ความดัน P <sub>4</sub> ( Psig)	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0	85.0
Sensible Heat Capacity(W)	3300	3300	3300	3300	3300	3300	3300
Latent heat Capacity (W)	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0
Total Capacity (W)	3322	3322	3322	3322	3322	3322	3322
Current (A)	4.52	4.54	4.52	4.53	4.53	4.54	4.53
Voltage (V)	220	220	220	220	220	220	220
Power Input (kW)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
COP	3.536	3.521	3.536	3.528	3.528	3.521	3.528

## ตารางที่ 4-15 การทดสอบเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 23 °C

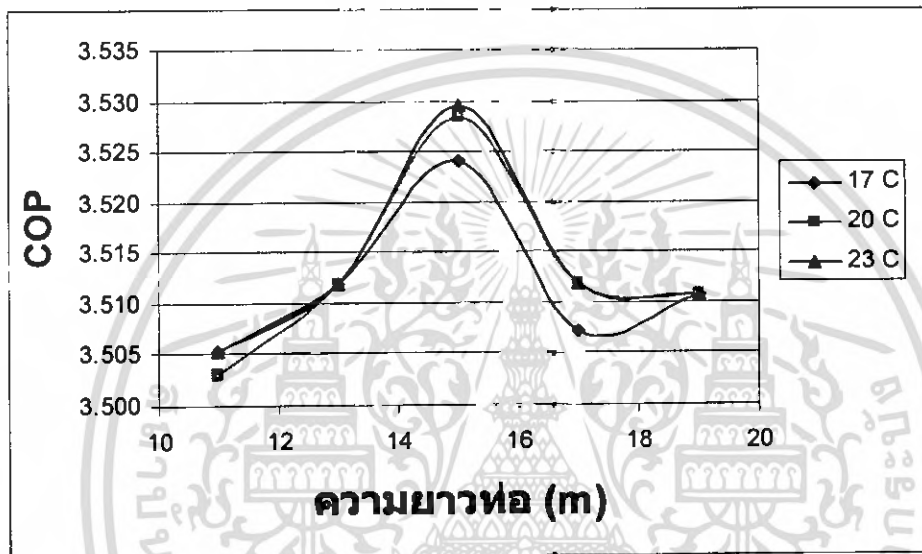
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

#### 5.1 วิเคราะห์ผลการทดลอง

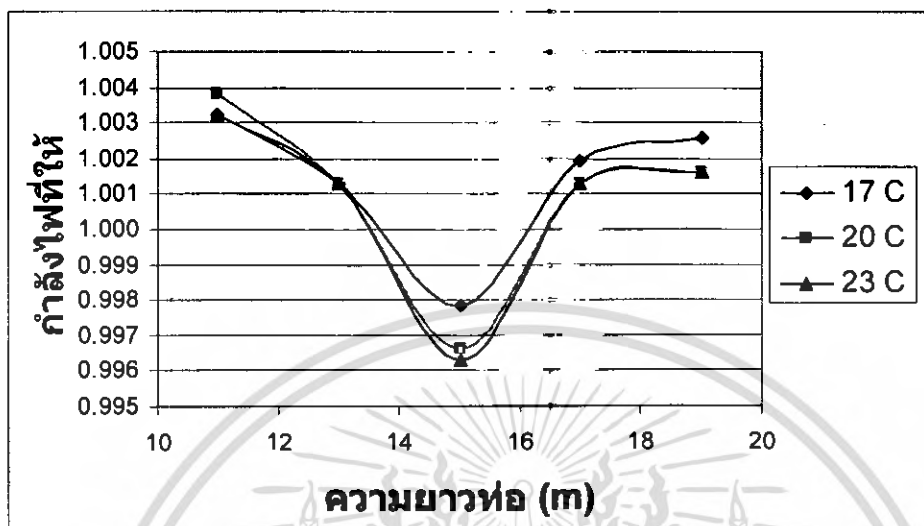
1. ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพการทำความเย็นกับความยาวท่อคอนเดนเซอร์



กราฟที่ 5-1 ความสัมพันธ์ระหว่าง COP - ความยาวท่อคอนเดนเซอร์

จากกราฟที่ 5-1 จะเห็นได้ว่าค่าประสิทธิภาพการทำความเย็นของระบบที่ใช้การฉีคน้ำให้เป็นฝอยละอองเพื่อระบายความร้อนออกจากรุ่น้ำที่ไปหล่อเย็นท่อคอนเดนเซอร์ จะมีค่าสูงกว่าระบบทำความเย็นอัดไอปกติ จากกราฟเมื่อเราได้ทำการทดลองที่ความยาวท่อที่ต่างกัน และอุณหภูมิที่ต่างกันจะเห็นได้ว่าที่ความยาวท่อคอนเดนเซอร์ขนาด 15 เมตรจะมีประสิทธิภาพสูงที่สุดในขณะที่อุณหภูมิที่ 23 °C จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าทุกอุณหภูมิที่ทำการทดลองเนื่องจากที่อุณหภูมิที่ 23 °C นี้ต้องการการทำความเย็นน้อยที่สุด

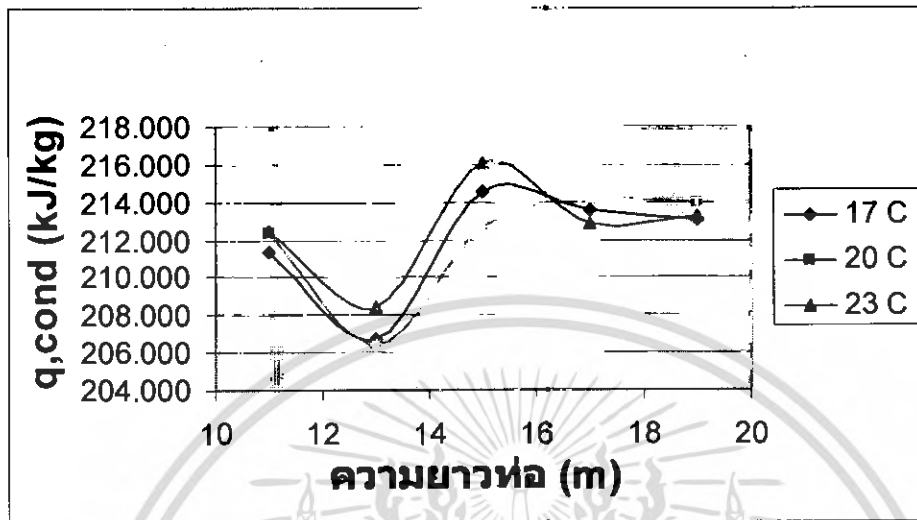
## 2. ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังงานที่ใช้กับความยาวท่อคอนเดนเซอร์



กราฟที่ 5-2 ความสัมพันธ์ระหว่าง Power Input – ความยาวท่อคอนเดนเซอร์

จากกราฟที่ 5-2 จะเห็นได้ว่าที่ขนาดความยาวของท่อคอนเดนเซอร์ที่ 15 เมตรและอุณหภูมิที่ 23 °C จะกินกำลังงานที่จ่ายให้กับระบบน้อยกว่าที่ทุกความยาวและทุกอุณหภูมิที่ทำการทดลองเป็นผลทำให้ประหยัดกำลังงานเพิ่มขึ้น

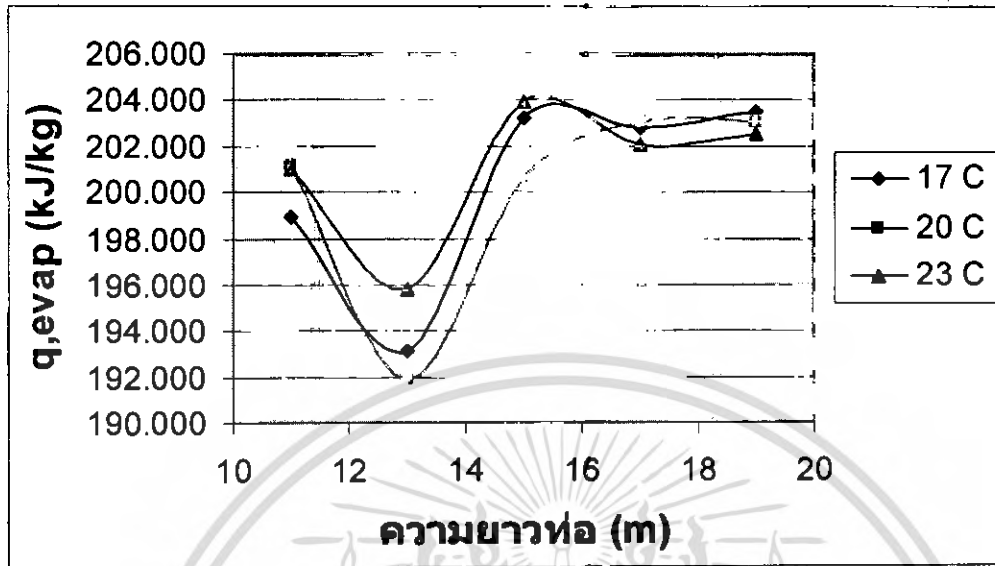
### 3. ความสัมพันธ์ระหว่าง ความร้อนที่คอนเดนเซอร์กับความยาวท่อ



กราฟที่ 5-3 ความสัมพันธ์ระหว่าง  $q,cond$  กับความยาวท่อ

จากกราฟที่ 5-3 จะเห็นได้ว่าที่ขนาดความยาวของท่อคอนเดนเซอร์ที่ 15 เมตรและอุณหภูมิที่ 23 °C จะมีการถ่ายเทความร้อนมากที่สุดในการทดลองทุกๆความยาวและทุกอุณหภูมิที่ทำการทดลอง ถ้าการถ่ายเทความร้อนได้มากค่าเอนโทรปีจะลดลงทำให้สามารถดูดความร้อนในห้องทำความเย็นได้มากทำให้ประหยัดพลังงาน

## 2. ความสัมพันธ์ระหว่าง ความร้อนที่ฮีเวปโพเรเตอร์กับความยาวท่อ



กราฟที่ 5-4 ความสัมพันธ์ระหว่าง  $q, \text{evap}$  กับความยาวท่อ

จากกราฟที่ 5-4 จะเห็นได้ว่าที่ขนาดความยาวของท่อคอนเดนเซอร์ที่ 15 เมตรและอุณหภูมิที่ 23 °C จะมีการดึงความร้อนในห้องทำความเย็นมากที่สุดในการทดลองทุกๆความยาวและทุกอุณหภูมิที่ทำการทดลอง ถ้ามีการดึงความร้อนในห้องทำความเย็นมากค่าเอนโทรปีจะเพิ่มขึ้นทำให้อุณหภูมิภายในห้องทำความเย็นลดลงเร็วขึ้นทำให้ประหยัดพลังงาน

## 5.2 สรุปผลการทดลอง

1. จากการศึกษาและการทดลองพบว่า การระบายความร้อนของคอนเดนเซอร์ด้วยน้ำผสมกับอากาศนั้น จะให้ประสิทธิภาพการทำความเย็นสูงกว่าการระบายความร้อนด้วยอากาศอย่างเดียว เนื่องจากน้ำมีความหนาแน่นสูงกว่าอากาศจึงสามารถดูดความร้อนออกจากคอนเดนเซอร์ได้มากกว่าภายในเวลาที่เท่ากัน

2. ความยาวของท่อคอนเดนเซอร์ที่เหมาะสมก็มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการทำความเย็นของระบบ เนื่องจากถ้าใช้ท่อคอนเดนเซอร์ที่มีความยาวมากเกินไปหรือสั้นเกินไป เป็นผลให้การระบายความร้อนที่ท่อคอนเดนเซอร์ไม่ดีทำให้ประสิทธิภาพของการทำความเย็นลดลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ถ้ามีผู้สนใจจะทำโครงการนี้ต่อไปควรมีการปรับปรุงขนาดของระบบระบายความร้อนให้เล็กลง และแก้ไขอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบที่สร้างขึ้นเพื่อให้สามารถวัดค่าที่ใช้ในการทดลองได้ละเอียดยิ่งขึ้น

2. ถ้ามีการศึกษาเพิ่มเติม ควรจะทำการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการเพิ่มประสิทธิภาพและการประหยัดพลังงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- [1] อัครเดช สิ้นธุภัก, “กระบวนการปรับอากาศและการทำความเย็น”, 2544
- [2] ดร.พิชิต ฤกษ์นันท์, สะพรัง สุวภิรมย์โชติ, “การทำความเย็น”, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- [3] ผศ.ดร.สมชัย อัครทิวา, อาจารย์ขวัญจิต วงษ์ชารี, “เทอร์โมไดนามิกส์”, กรุงเทพฯ : แมคกรอ-ฮิล, 2545
- [4] Richard C. Jordan and Gayle B. Priester, “Refrigeration and Air Conditioning” 2<sup>nd</sup> edition, NewDelhi, 1973
- [5] ผศ.ชูชัย ค.ศิริวัฒนา, “ การทำความเย็นและการปรับอากาศ”, กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2546



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้