ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องปรับอากาศความดันต่ำขนาดเล็ก

The small-sized of low pressure air conditioner

นาย ภาคภูมิ เกตุรุ่งหิรัญ
นาย สีหราช ขุนทา
นาย สุเทพ แร่อ่อน

ปริญญานิพนธ์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี.....

.b.....
.i.....

เครื่องปรับอากาศความดันต่ำขนาดเล็ก

The small-sized of low pressure air conditioner

นาย ภาคภูมิ เกตุรุ่งหิรัญ

นาย สีหราช ขุนทา

นาย สุเทพ แร่อ่อน

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ธวัชชัย นาคพิพัฒน์

ปริญญานิพนธ์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2550

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

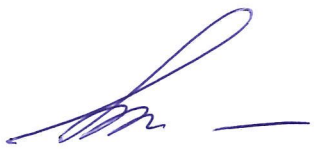
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องปรับอากาศความดันต่ำขนาดเล็ก

The small-sized of low-pressure air conditioner

ผู้จัดทำ

1. นาย ภาคภูมิ เกตุรุ่งหิรัญ	รหัสนักศึกษา 47010557
3. นาย สีหราช ขุนทา	รหัสนักศึกษา 47010844
2. นาย สุเทพ แร่อ่อน	รหัสนักศึกษา 47010865



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ธวัชชัย นาคพิพัฒน์)

เครื่องปรับอากาศความดันต่ำขนาดเล็ก

นาย ภาคภูมิ เกตุรุ่งหิรัญ 47010557
นาย สีหราช ขุนทา 47010844
นาย สุเทพ แร่อ่อน 47010865
ผศ. ธวัชชัย นาคพิพัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2550

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการศึกษาเพื่อสร้างเครื่องปรับอากาศความดันต่ำขนาดเล็ก ที่มีส่วนผสมกันระหว่างระบบการทำความเย็นแบบอัดไอและคอยล์เย็นแบบน้ำยาท่วม มีการทำความเย็นโดยอาศัยการระเหยของสารทำความเย็นที่ท่วมอีวาพอเรเตอร์ โดยโครงงานการศึกษานี้ใช้ R-11 เป็นสารทำความเย็น ใช้ซูเปอร์ชาร์จเจอร์ ชนิดรูท ในการดูดและอัดไอของสารทำความเย็นที่ออกจากอีวาพอเรเตอร์แทนคอมเพรสเซอร์ โดยพลังงานที่ให้แก่ซูเปอร์ชาร์จเจอร์เป็นมอเตอร์ชนิดปรับรอบได้ จุดที่เน้นในการศึกษาโครงงานนี้คือ ความสามารถในการทำความเย็นของระบบโดยใช้พลังงานในการอัดไอสารทำความเย็นที่น้อยที่สุด

The small-sized of low-pressure air conditioner

Mr. Parkpoom Ketrunghiran 47010557

Mr. Seharat Khunta 47010844

Mr. Suthep Raeon 47010865

Assc.Prof. Tawatchai Nakpipat Advisor

Abstract

The purpose of this project is to develop the small-sized of low-pressure air conditioner. It was done by the mixing of vapor-compression refrigerating system and flooded system. The system utilized the evaporation of the refrigerant that flooded over the evaporator. In this case, R-11 has been used as the refrigerant and the root supercharger has been used as compressor. Variable speed motor was used as power source of compressor. The focus of this project was on the refrigerating capability of the system by using the minimum power in order to compress the vapor of the refrigerant.

กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้ด้วยความอนุเคราะห์ โดยได้รับคำแนะนำและชี้แนวทางการศึกษาค้นคว้าเป็นอย่างดีจาก อาจารย์ธวัชชัย นาคพิพัฒน์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาผู้ทำปริญญานิพนธ์ ขอขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาคเครื่องกลทุกท่านที่ได้ให้โอกาสและให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะ รวมทั้งให้ความสะดวกในการยืมเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ จนโครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ นั้นก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูข้าพเจ้ามาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังคอยให้กำลังใจเอาใจใส่เสมอมาในทุกๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

หากปริญญานิพนธ์นี้มีข้อบกพร่องประการใด คณะผู้จัดทำขอน้อมรับความบกพร่องที่เกิดขึ้นด้วยประการทั้งปวง

คณะผู้จัดทำ
นายภาคภูมิ เกตุรุ่งหิรัญ
นายสีหราช ขุนทา
นายสุเทพ แร่อ่อน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	IX
สารบัญกราฟ	X
บทที่1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	1
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	1
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงงาน	2
1.5 วิธีการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎี	3
2.1 ทฤษฎีการทำความเย็น	3
2.2 หน่วยมาตรฐานของการทำความเย็น	3
2.3 ประเภทของระบบการทำความเย็น	4
2.4 ระบบทำความเย็นชนิดอัดไอ	4
2.5 วัฏจักรการทำความเย็นชนิดอัดไอ	5
2.6 สารทำความเย็น	9
2.7 P-h Diagram	13
2.8 วัฏจักรทางปฏิบัติของการทำความเย็นจริง	15
2.9 สมการที่ใช้ในการคำนวณ	17

บทที่ 3 อุปกรณ์การทดลองและวิธีการทดลอง 20
3.1 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 20
3.2 อุปกรณ์บริการระบบ 27
3.3 การบริการระบบ 30
3.4 วิธีการทดลอง 45

บทที่ 4 ผลการทดลอง 46
4.1 P-h diagram จากการทดลอง 47
4.2 ผลการคำนวณ 51
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง 58
5.1 สรุปผลการทดลอง 58
5.2 ข้อเสนอแนะ 59

บรรณานุกรม 60

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2-1	แสดงอุปกรณ์เครื่องทำความเย็น	5
2-2	แสดงวัฏจักรการทำความเย็นในทางทฤษฎี	5
2-3	แสดงหลักการทำงานของระบบทำความเย็นชนิดอัดไอ	7
2-4	แสดงส่วนความดันสูงและความดันต่ำในวัฏจักรการทำความเย็น	8
2-5	แสดงโครงสร้างทางเคมีของ R-11	12
2-6	แสดงโครงสร้าง P-h diagram	13
2-7	แสดงโครงสร้าง P-h Diagram เส้นความดันคงที่ อุณหภูมิคงที่ ปริมาตรคงที่ และเอนทาลปี	14
2-8	แสดงสภาพวงรอบทางทฤษฎี ตามแนวเส้นประและวงรอบแท้จริงของระบบเครื่องทำความเย็น	16
2-9	แสดงแผนภูมิความดันและเอนทาลปีเปรียบเทียบวัฏจักรของเหลวอิ่มตัวกับต่ำกว่าของเหลวอิ่มตัว	17
2-10	แสดงแผนภูมิ P-h ไดอะแกรมของน้ำยา R-11	19
3-1	แสดงภาพชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	20
3-2	แสดงภาพบอร์ดติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ของอุปกรณ์	20
3-3	แสดงภาพซูเปอร์ชาร์จเจอร์	21
3-4	แสดงภาพคอนเดนเซอร์	21
3-5	แสดงภาพอีวาพอเรเตอร์	22
3-6	แสดงภาพวาล์วควบคุมการไหลของสารทำความเย็น	22
3-7	แสดงภาพกระจกมองน้ำยา	23
3-8	แสดงภาพถังพักสารทำความเย็น	23
3-9	แสดงภาพฟิลเตอร์ดรายเออร์	24
3-10	แสดงภาพเทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิแบบดิจิตอล	24
3-11	แสดงภาพเกจวัดความดัน	25
3-12	แสดงภาพมอเตอร์ 3 เฟส 1 แรงม้า	25
3-13	แสดงภาพวาล์วลูกศร	26
3-14	แสดงภาพสารทำความเย็น R-11	26

3-15	แสดงภาพความร้อน	27
3-16	แสดงภาพคัตเตอร์ตัดท่อ	27
3-17	แสดงภาพรีมเมอร์	28
3-18	แสดงภาพเครื่องมือบานแฟลร์ท่อ	28
3-19	แสดงภาพเหล็กขยายท่อ	29
3-20	แสดงภาพเครื่องมือดัดท่อ	29
3-21	แสดงภาพลักษณะการตัดท่อ	30
3-22	แสดงภาพเลื่อยตัดท่อ	30
3-23	แสดงภาพการลบมุมท่อภายในและภายนอก	31
3-24	แสดงภาพสปริงดัดท่อ	31
3-25	แสดงภาพการใช้เครื่องมือดัดท่อ	32
3-26	แสดงภาพการบานแฟลร์ท่อชั้นเดียว	32
3-27	แสดงภาพขั้นตอนการบานแฟลร์ท่อชั้นเดียว	33
3-28	แสดงภาพขั้นตอนการบานท่อ	34
3-29	แสดงภาพรูปตัดของการต่อท่อ โดยใช้แฟลร์นัตและข้อต่อ	35
3-30	แสดงภาพรูปตัดของการต่อท่อโดยการเชื่อม	35
3-31	แสดงภาพตัวอย่างของข้อต่อ	36
3-32	แสดงภาพการต่อใช้เกจแมนิโฟลด์	37
3-33	แสดงภาพวาล์ว A วาล์ว B อยู่ในตำแหน่งปิดทั้งคู่	38
3-34	แสดงภาพวาล์ว A อยู่ในตำแหน่งเปิด วาล์ว B อยู่ในตำแหน่งปิด	38
3-35	แสดงภาพวาล์ว A อยู่ในตำแหน่งปิด วาล์ว B อยู่ในตำแหน่งเปิด	39
3-36	แสดงภาพวาล์ว A วาล์ว B อยู่ในตำแหน่งเปิดทั้งคู่	39
3-37	แสดงภาพเครื่องตรวจหารอยรั่ว แบบตะเกียงแก๊ส	41
3-38	แสดงภาพการทำสุญญากาศระบบ	43
3-39	แสดงภาพการบรรจุน้ำยาในสถานะแก๊สเข้าในระบบทางด้านความดันต่ำ	44
4-1	แสดงภาพกราฟค่าเอนทาลปีที่สภาวะมาตรฐาน ความถี่ 30 Hz	47
4-2	แสดงภาพกราฟค่าเอนทาลปีที่สภาวะมาตรฐาน ความถี่ 35 Hz	48
4-3	แสดงภาพกราฟค่าเอนทาลปีที่สภาวะมาตรฐาน ความถี่ 40 Hz	49
4-4	แสดงภาพกราฟค่าเอนทาลปีที่สภาวะมาตรฐาน ความถี่ 45 Hz	50

4-5 แสดงภาพกราฟค่าเอนทาลปี้ที่สภาวะมาตรฐาน ความถี่ 50 Hz 51

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	แสดงชนิดของสารทำความเย็นที่นิยมใช้	11
3-1	แสดงอุณหภูมิจุดเดือดของน้ำภายใต้ความดันบรรยากาศ	42
4-1	แสดงผลการทดลอง ที่อุณหภูมิตามมาตรฐาน	46
4-2	แสดงผลการทดลอง ที่อุณหภูมิตามมาตรฐาน(ต่อ)	47
4-3	แสดงผลการคำนวณ ที่อุณหภูมิตามมาตรฐาน	53
4-4	แสดงผลการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศที่ใช้คอมเพรสเซอร์ในระบบการควบคุม - การทำความเย็นโดยวิธีบายพาสไอสารทำความเย็น (ใช้สารทำความเย็นR-12)	53
4-5	แสดงผลการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศที่ใช้คอมเพรสเซอร์ในการพัฒนา - โปรแกรมเพื่อควบคุมอิเลคทรอนิคส์เอ็กซ์แปนชั่นวาล์วและอินเวอร์เตอร์สำหรับ - เครื่องทำความเย็นขนาดเล็ก EXV (ใช้สารทำความเย็นR-22)	54
4-6	แสดงเบอร์เครื่องปรับอากาศในปัจจุบัน	54
4-7	แสดงค่าประสิทธิภาพการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศแต่ละตราผลิตภัณฑ์ - ที่สุ่มเลือกมาจากท้องตลาดในปัจจุบัน	57

สารบัญกราฟ

กราฟที่		หน้า
4-1	แสดงค่า COP ที่ความถี่ต่างๆ ที่สภาวะมาตรฐานของซูเปอร์ชาร์จเจอร์	55
4-2	แสดงการเปรียบเทียบ ค่า COP จริงและกำลังที่ให้จริง ระหว่างซูเปอร์ชาร์จเจอร์กับคอมเพรสเซอร์ระบบต่างๆ	55
4-3	แสดงการเปรียบเทียบ ค่า EER จริงและกำลังที่ให้จริง ระหว่างซูเปอร์ชาร์จเจอร์กับคอมเพรสเซอร์ระบบต่างๆ	56
4-4	แสดงการเปรียบเทียบงานที่ให้กับภาระการทำความเย็นระหว่างซูเปอร์ชาร์จเจอร์กับคอมเพรสเซอร์ระบบต่างๆ	56
4-5	แสดงการเปรียบเทียบงานที่ให้กับ EER ระหว่างเครื่องปรับอากาศทั่วไปๆ ในท้องตลาด	57

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ปัจจุบันนี้เครื่องทำความเย็นมีบทบาทต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์มาก ไม่ว่าจะเป็นการนำระบบการทำความเย็นมาอำนวยความสะดวกในชีวิตประจำวันตลอดจนนำไปใช้ในการเก็บรักษาอาหารเครื่องดื่ม ยารักษาโรค การปรับอากาศ และนำไปใช้เป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม ซึ่งจากอดีตจนถึงปัจจุบันได้มีการศึกษาและพัฒนาระบบการทำความเย็นให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นเพื่อให้ใช้ประโยชน์ได้สูงสุด

ในระบบเครื่องปรับอากาศที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายจากอดีตจนถึงปัจจุบันคือ ระบบการทำความเย็นแบบอัดไอที่ใช้คอมเพรสเซอร์เป็นส่วนประกอบหลักและสารทำความเย็นเป็นส่วนประกอบที่สำคัญ ในโครงงานนี้ได้เสนอเครื่องปรับอากาศความดันต่ำ ขนาดเล็ก ซึ่งอาจเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการทำความเย็น

โครงงานนี้ได้นำเทคนิคของการทำความเย็นอีกวิธีหนึ่งมาทำการดำเนินการในโครงงาน เป็นการทำเครื่องปรับอากาศขนาดเล็กที่มีส่วนผสมกันระหว่างระบบการทำความเย็นแบบอัดไอความดันต่ำ โดยใช้ความรู้เบื้องต้นทางด้านการทำความเย็นและวิธีการต่างๆในทางวิศวกรรมเป็นแนวทางที่ใช้ในโครงงานนี้ เพื่อการปรับอากาศที่ใช้พลังงานต่ำ โครงงานนี้เป็นการศึกษาถึงหลักการทำงานของเครื่องปรับอากาศความดันต่ำ ขนาดเล็ก ซึ่งความเป็นไปได้อาจจะต้องมีการพัฒนาต่อไปในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อนำสารทำความเย็นความดันต่ำมาทำเครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก

1.2.2 เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องปรับอากาศความดันต่ำที่ใช้งานได้

1.2.3 เป็นต้นแบบเพื่อนำไปพัฒนาในอนาคตได้

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1.3.1 ศึกษาและวิเคราะห์หาสมรรถนะการทำความเย็นที่มีส่วนผสมระหว่างการทำความเย็นแบบอัดไอและคอยล์เย็นแบบน้ำยาท่วม

1.3.2 ศึกษาสารทำความเย็นที่สนใจ เพื่อเลือกใช้งานได้เหมาะสม

1.3.3 ศึกษาเพื่อพิจารณาเลือก ออกแบบ เครื่องปรับอากาศที่เหมาะสมกับระบบทดสอบที่ออกแบบ

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงงาน

1.4.1 ทำให้ผู้วิจัยได้รู้วิธีการศึกษาและหาคำตอบของปัญหา เพื่อให้โครงงานบรรลุวัตถุประสงค์

1.4.2 ทำให้ผู้วิจัยเข้าใจระบบเครื่องปรับอากาศ อุปกรณ์ในระบบเครื่องปรับอากาศ และสามารถออกแบบเครื่องปรับอากาศได้

1.4.3 ทำให้ผู้วิจัยรู้วิธีการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบ รวมทั้งการนำเสนอผลการทดสอบด้วย

1.4.4 โครงงานนี้เป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนาต่อในอนาคต

1.5 วิธีการดำเนินงาน

ขั้นตอนในการดำเนินงานของโครงงานสามารถแบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอนหลัก ซึ่งขั้นตอนแรกเป็นการศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีการทำความเย็น อุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในระบบเครื่องทำความเย็น ตลอดจนศึกษาการทำความเย็นแบบอัดไอโดยใช้ P-h Diagram เปรียบเทียบการทำงานซึ่งรายละเอียดอยู่ในบทที่ 2

ในส่วนต่อมาจะศึกษาและออกแบบอุปกรณ์ เพื่อที่จะสร้างชุดทดลองทำการทดสอบสมรรถนะของซูเปอร์ชาร์จเจอร์ที่จะใช้เป็นเครื่องอัดไอและสารทำความเย็นที่จะนำมาใช้กับเครื่องปรับอากาศ เมื่อทำการทดสอบเสร็จนำผลที่คำนวณได้มาวิเคราะห์แนวโน้มของระบบเครื่องปรับอากาศที่ได้ออกแบบไว้

ในส่วนสุดท้ายจะเป็นการนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงงานนี้ ข้อเสนอแนะในการดำเนินการโครงงาน รวมทั้งข้อปรับปรุงแก้ไขเพิ่มเติมเพื่อให้โครงงานนี้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น

บทที่ 2
ทฤษฎี

2.1 ทฤษฎีการทำความเย็น

2.1.1 การทำความเย็น (Refrigeration)

การทำความเย็นเป็นสาขาหนึ่งของวิทยาศาสตร์ที่กล่าวถึงวิธีในการลดและรักษาระดับอุณหภูมิของเนื้อที่ว่าง หรือของเทหวัตถุให้ต่ำกว่าระดับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม โดยทั่วไปสามารถนิยามการทำความเย็นอย่างสั้นๆว่าเป็นกระบวนการเคลื่อนย้ายความร้อนออกจากสถานที่หนึ่งทำให้อุณหภูมิของสถานที่นั้นลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอก ซึ่งอัตราความร้อนที่ต้องเคลื่อนย้ายออกจากสถานที่นั้นๆ เพื่อลดอุณหภูมิลงหรือรักษาระดับอุณหภูมิที่ต้องการไว้จะเรียกว่า ความร้อนที่คิดเป็นภาระ (Heat Load) จะเป็นผลรวมของความร้อนจากแหล่งความร้อนต่างๆ เช่น ความร้อนที่เกิดจากการรั่วซึม, ความร้อนจากร่างกายคน, ความร้อนจากผลิตภัณฑ์, ความร้อนจากมอเตอร์, ความร้อนจากหลอดไฟ หรือความร้อนจากอุปกรณ์ต่างๆ และสิ่งเหล่านี้จะมีผลในการคำนวณหาขนาดของอุปกรณ์ทำความเย็น

2.1.2 สารทำความเย็นที่เป็นของเหลว (Liquid Refrigerant)

ขณะที่สารมีสถานะเป็นของเหลวเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ สารสามารถดูดความร้อนแฝงไว้ได้เป็นจำนวนมากซึ่งได้นำมาใช้เป็นหลักการทำความเย็นของเครื่องทำความเย็นในปัจจุบัน การกลายเป็นไอของของเหลวในลักษณะเป็นตัวทำความเย็นจะมีข้อดีกว่าการหลอมละลายของของแข็ง และการกลายเป็นไอสามารถควบคุมได้ง่ายกว่า ผลของความเย็นที่ได้จากการกลายเป็นไอของสารทำความเย็นสามารถที่จะเริ่มต้นหรือหยุดขณะใดขณะหนึ่งได้ สามารถที่จะกำหนดความเย็นล่วงหน้าได้ และอุณหภูมิการกลายเป็นไอของของเหลวสามารถควบคุมได้โดยการปรับความดัน และของเหลวที่กลายเป็นไอแล้วสามารถเก็บรวบรวมไว้และพร้อมที่จะทำให้เป็นของเหลวนำกลับมาใช้ได้อีก โดยสารทำความเย็นที่ใช้ในโครงงานนี้ใช้ชื่อทางเคมีว่า Trichloromonofluorometane (CCl_3F) โดยมีชื่อทางเคมีทั่วไปว่า Refrigerant – 11 (R-11) หรือ ฟรีออน – 11

2.2 หน่วยมาตรฐานของการทำความเย็น (Standard Rating of Refrigeration)

หน่วยที่ใช้วัดอัตราการทำความเย็นใช้หน่วยที่เรียกว่า "ตันของการทำความเย็น" (Ton of Refrigeration) หนึ่งตันของการทำความเย็น หมายถึงปริมาณความร้อนที่ทำให้น้ำแข็งบริสุทธิ์ 1 ตัน (2000 ปอนด์) ที่อุณหภูมิ 32 °F กลายเป็นน้ำบริสุทธิ์อุณหภูมิ 32 °F ภายในเวลา 24 ชั่วโมง

จาก $Q = mL$

เมื่อ Q = ปริมาณความร้อนที่ทำให้น้ำแข็งจำนวน 1 ตันละลายเป็นน้ำ

m = มวลของน้ำแข็ง (1b)

L = ความร้อนแฝงของน้ำแข็ง = 144 Btu/1b

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

2.3 ประเภทของระบบการทำความเย็น

ในการทำให้อุณหภูมิลดลงจากปกติ(Ambient Air Temperature) ลงมาถึงอุณหภูมิที่ต้องการนั้น สามารถใช้ระบบทำความเย็นได้หลายแบบ ซึ่งมีทั้งชนิดที่เป็นแบบทางกลและไม่ใช่ทางกล 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. ระบบทำความเย็นแบบเทอร์โมอิเลคทริค (Thermoelectric Refrigeration System)
6. ระบบแม่เหล็กที่ใช้ในการทำอุณหภูมิต่ำ (Magnetic System of Producing Low Temperature)

ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะระบบทำความเย็นชนิดอัดไอเท่านั้น

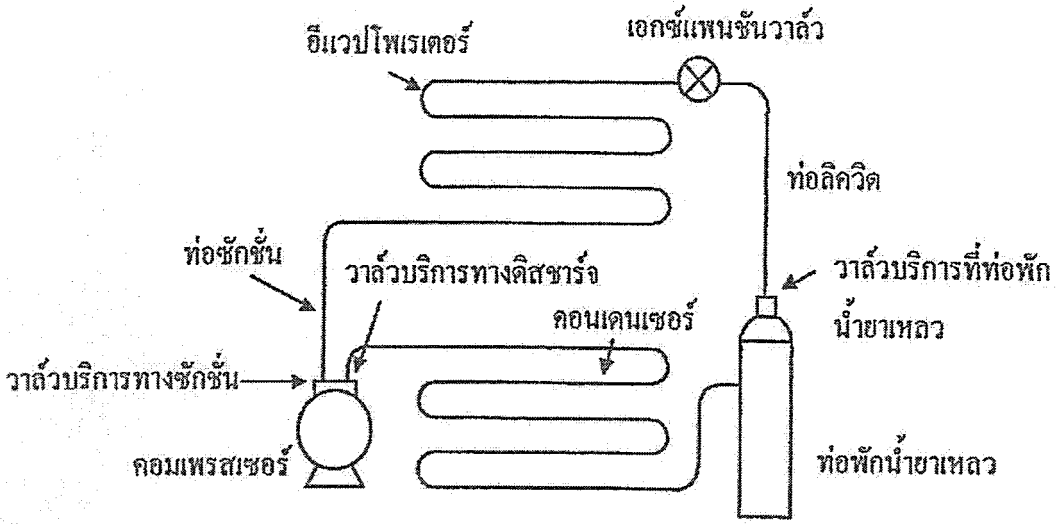
2.4 ระบบทำความเย็นชนิดอัดไอ (Vapor Compression Refrigeration System)

ระบบการทำความเย็นชนิดอัดไอได้รับการออกแบบและสร้างขึ้นโดยอาศัยหลักการพื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิกส์ ดังนี้

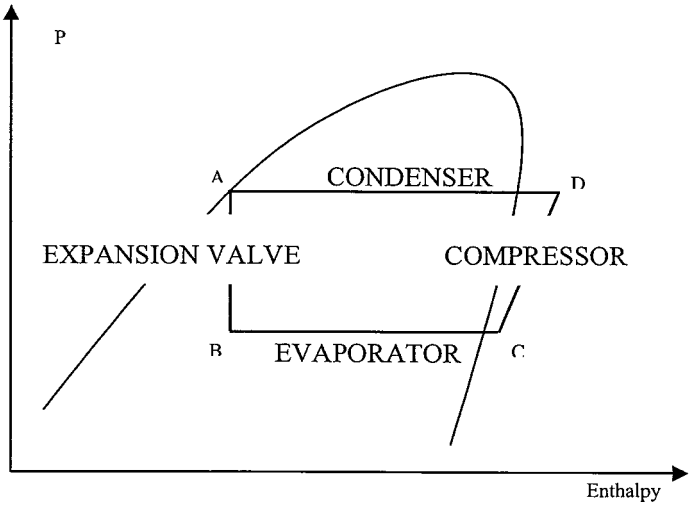
1. ของไหลดูดความร้อนในขณะที่เปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ และยอมให้ความร้อนขณะที่เปลี่ยนสถานะจากไอเป็นของเหลว
2. ในระหว่างที่เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะอุณหภูมิจะคงที่ แต่อุณหภูมินี้จะเปลี่ยนแปลงกับความดันที่ความดันคงที่จุด หนึ่งการกลายเป็นไอจะเกิดขึ้น ณ จุดที่อุณหภูมิมีความสัมพันธ์กันเท่านั้น อย่างไรก็ตามอุณหภูมิของการกลายเป็นไอที่ความดันอันหนึ่งย่อมแตกต่างกันสำหรับของเหลวที่ต่างกัน
3. ความร้อนจะไหลจากแหล่งอุณหภูมิสูงไปยังแหล่งอุณหภูมิต่ำ
4. การเลือกโลหะที่ใช้ทำเครื่องควบแน่นจะต้องเป็นโลหะที่มีการนำความร้อนสูง

5. พลังงานความร้อนและพลังงานในรูปแบบอื่นๆ สามารถที่จะนำกลับมาใช้ประโยชน์ โดยกฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์

2.5 วัฏจักรการทำความเย็นชนิดอัดไอ



รูปที่ 2-1 แสดงอุปกรณ์เครื่องทำความเย็น



รูปที่ 2-2 แสดงวัฏจักรการทำความเย็นในทางทฤษฎี

2.5.1 อุปกรณ์ของระบบทำความเย็น

ระบบทำความเย็นชนิดอัดไอจะประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก ดังนี้

1. อีวาพอเรเตอร์ (Evaporator) ทำหน้าที่ดูดรับปริมาณความร้อนจากบริเวณหรือเนื้อที่ที่ต้องการทำความเย็น ขณะที่น้ำยาทำความเย็นภายในระบบตรงบริเวณนี้ระเหยเปลี่ยนสถานะเป็นไอจะดูดปริมาณความร้อนผ่านผิวท่อทางเดินน้ำยาเข้าไปยังน้ำยาภายในระบบ ทำให้อุณหภูมิโดยรอบ อีวาพอเรเตอร์ลดลง

2. คอมเพรสเซอร์(Compressor) ทำหน้าที่ในการดูดและอัดน้ำยาในสถานะที่เป็นไอ โดยดูดไอที่มีอุณหภูมิและความดันต่ำจากอีวาพอเรเตอร์ และอัดให้มีความดันและอุณหภูมิสูง จนถึงจุดที่ไอพร้อมจะควบแน่นเป็นของเหลวเมื่อมีการถ่ายเทความร้อนออกจากน้ำยา

3. คอนเดนเซอร์ (Condenser) ทำหน้าที่ให้น้ำยาในสถานะที่เป็นไอควบแน่นเป็นของเหลวด้วยการระบายความร้อนออกจากน้ำยา กล่าวคือน้ำยาในสถานะไอ อุณหภูมิและความดันสูงมากซึ่งถูกอัดส่งมาจากคอมเพรสเซอร์ เมื่อถูกระบายความร้อนแฝงออกจะควบแน่นเป็นของเหลว แต่จะมีความดันและอุณหภูมิสูงอยู่

4. ถังเก็บน้ำยาเหลว (Receiver) สารความเย็นที่ควบแน่นโดยคอนเดนเซอร์กลายเป็นของเหลวจะถูกนำมาเก็บที่นี่ก่อนส่งไปยังวาล์วควบคุมการไหล

5. วาล์วควบคุมการไหล (Flow Control valve) ทำหน้าที่ควบคุมการไหลของน้ำยาเหลวที่ผ่านเข้าไปยังอีวาพอเรเตอร์ ลดความดันของน้ำยาให้มีความดันต่ำลง จนสามารถระเหยเปลี่ยนสถานะเป็นไอได้ที่อุณหภูมิในอีวาพอเรเตอร์

6. ท่อดูด (Suction Line) ท่อสารทำความเย็นในสถานะไอที่ออกจากอีวาพอเรเตอร์ไปยังคอมเพรสเซอร์

7. ท่อส่ง (Discharge Line) ท่อสารความเย็นในสถานะไอที่ออกจากคอมเพรสเซอร์ไปยังคอนเดนเซอร์

8. ท่อของเหลว (Liquid Line) ท่อสารความเย็นในสถานะของเหลวที่ต่อออกจากถังพักน้ำยาเหลวกับวาล์วควบคุมการไหล

นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์เสริม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน ซึ่งอาจมีความจำเป็น ที่ต้องติดตั้งในระบบทำความเย็นบางระบบ แต่อาจไม่มีความจำเป็นสำหรับอีกระบบหนึ่งดังนี้

9. ฟิลเตอร์ดรายเออร์ (Filter Drier) จะยอมให้สารความเย็นผ่านได้แต่จะป้องกันความชื้น ฝุ่นผง หรือสิ่งสกปรกอื่นๆที่ปะปนมากับสารความเย็นในระบบไม่ให้ผ่านไปได้ ดรายเออร์หรือสารดูดรับความชื้นที่นิยมใช้กันทั่วไปมี ซิลิกาเจล (Silica Gel), แคลเซียมซัลเฟต (Calcium Sulfate), อะลูมินา

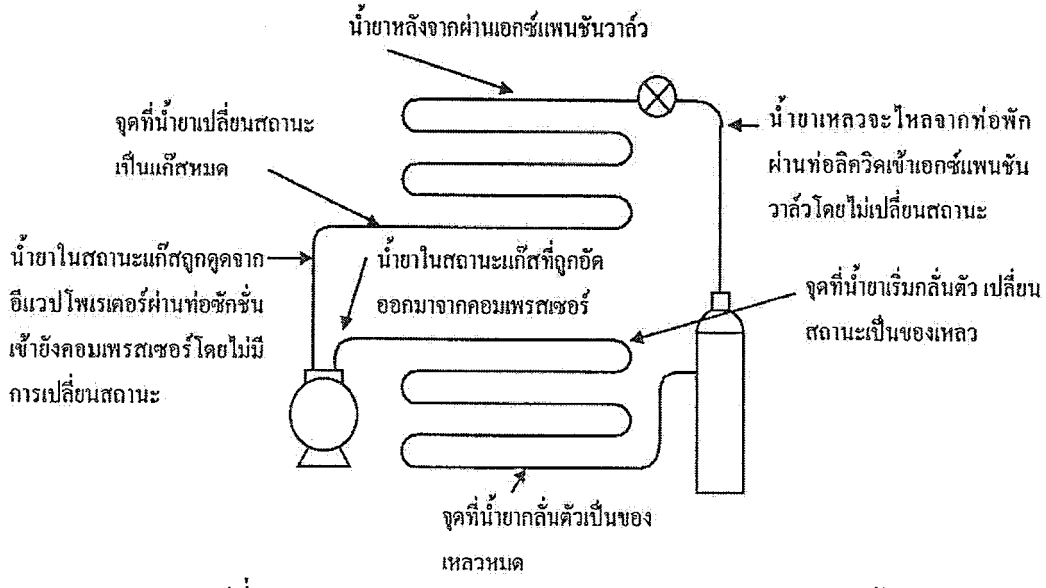
เจล (Alumina Gel) เป็นต้น จะติดตั้งอยู่ที่ท่อของเหลวใกล้กับทางเข้าวาล์วควบคุมการไหล และที่ที่ติดตั้งต้องอยู่ในบริเวณที่ไม่ถูกปะทะด้วยลมร้อนเพราะสารดูดความชื้นจะดูดรับความชื้นได้มากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ ถ้าอยู่ในที่ร้อนความสามารถในการดูดรับความชื้นจะลดลง ทำให้ความชื้นในระบบที่ดูดรับไว้ถูกคายออกมาบางส่วนและจะไปอุดตันที่วาล์วควบคุม การไหล

10. กระจกมองน้ำยา (Sight Glass) สำหรับใช้มองดูสารความเย็นภายในระบบว่ามีเพียงพอหรือไม่

11. แอกคิวมูเลเตอร์ (Accumulator) จะติดตั้งอยู่ระหว่างอีวาพอเรเตอร์และทางดูดของคอมเพรสเซอร์คอยกันไม่ให้สารความเย็นเหลวจากอีวาพอเรเตอร์ถูกดูดเข้าคอมเพรสเซอร์โดยตรง

2.5.2 หลักการทำงานของระบบทำความเย็นชนิดอัดไอ

ในวัฏจักรการทำความเย็นประกอบด้วยการระเหย การควบแน่นและการหมุนเวียนของสารทำความเย็น (Refrigerant) ในระบบอย่างสม่ำเสมอ การระเหยกลายเป็นไอเกิดขึ้นเมื่อมีความดันต่ำและอุณหภูมิต่ำ การควบแน่นจากไอเป็นของเหลวเกิดเมื่อมีความดันสูงและอุณหภูมิต่ำ



รูปที่ 2-3 แสดงหลักการทำงานของระบบทำความเย็นชนิดอัดไอ

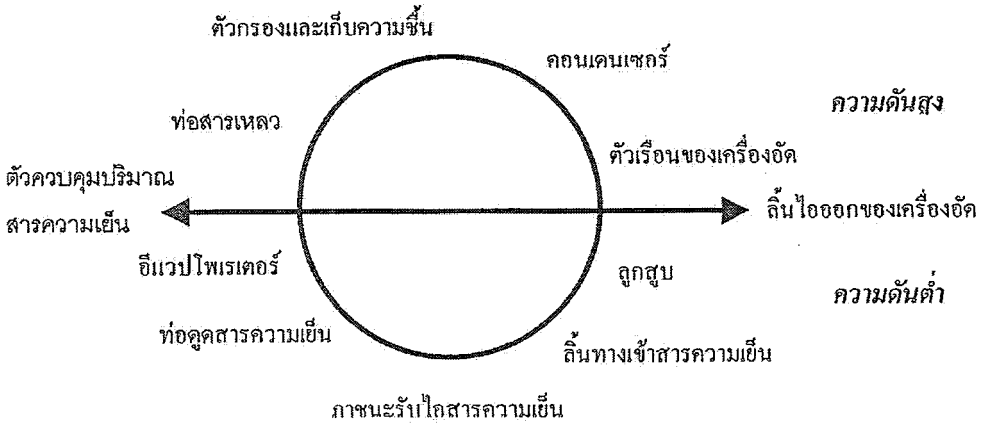
พิจารณาบทบาทแต่ละจุดของเครื่องทำความเย็นในรอบๆวัฏจักร โดยเริ่มที่ทางเข้าของอีวาพอเรเตอร์ (Evaporator) สารทำความเย็น (Refrigerant) จะผ่านตัวควบคุมปริมาณสารทำความเย็น (Flow Control Valve) ซึ่งจะคอยควบคุมปริมาณสารทำความเย็นที่จะเข้าไปในอีวาพอเรเตอร์ และในเวลา

เดียวกันจะเป็นตัวลดทั้งความดันและอุณหภูมิของสารทำความเย็นด้วย เมื่อสารทำความเย็นที่มีสถานะความดันต่ำและอุณหภูมิต่ำไหลเข้าไปในอีวาพอเรเตอร์ที่วางอยู่ท่ามกลางภาระ (Load) ที่มีอุณหภูมิสูง ความร้อนจากภาระจะถ่ายทอดมาสู่อีวาพอเรเตอร์ทำให้สถานะของสารทำความเย็นเปลี่ยนสถานะไปจากของเหลวกลายเป็นไอ

เมื่อสารทำความเย็นที่ไหลผ่านอีวาพอเรเตอร์เปลี่ยนสถานะเป็นไอแล้ว ที่ปลายของอีวาพอเรเตอร์จะต่อผ่านท่อดูด (Suction Line) ไปต่อกับด้านดูดของคอมเพรสเซอร์ ด้านดูดของเครื่องคอมเพรสเซอร์จะดูดไอของสารทำความเย็นเข้าไปแล้วอัดไอของสารทำความเย็นจนมีอุณหภูมิสูงและความดันสูง แต่ยังมีสถานะเป็นไออยู่ ไอที่ผ่านท่อจ่าย (Discharge Line) จะเข้าสู่คอนเดนเซอร์เพื่อถ่ายเทความร้อนที่สารทำความเย็นรับมาจากภาระที่อีวาโพเรเตอร์ถ่ายสู่อากาศหรือน้ำอีกทอดหนึ่ง และสารทำความเย็นจะเปลี่ยนสถานะไปเป็นของเหลวซึ่งหมายความว่าสารทำความเย็นอยู่ในสภาพที่พร้อมจะใช้งานได้แล้วจะถูกส่งไปจัดเก็บในถังน้ำยาเหลว

แต่เนื่องด้วยการประกอบระบบท่อของเครื่องทำความเย็น การดูด – อัดสารทำความเย็นของเครื่องคอมเพรสเซอร์ อาจมีความชื้นหรือสิ่งสกปรกส่วนเล็กๆแปลกปลอมเข้าไปในระบบท่อ จึงให้มีที่กรองและเก็บความชื้น (Filter Drier) สารทำความเย็นเหลวที่ผ่านออกมาจะอยู่ในสภาพอุณหภูมิปานกลางและความดันสูง จากนั้นจะผ่านไปสู่ตัวควบคุมปริมาณสารทำความเย็นและจะวนเวียนอย่างนี้ต่อไปเรื่อยๆ

เมื่อพิจารณาวัฏจักรของเครื่องทำความเย็นอาจจะแบ่งได้เป็นสองส่วนคือ ด้านที่มีความดันสูงและด้านที่มีความดันต่ำ



รูปที่ 2-4 แสดงส่วนความดันสูงและความดันต่ำในวัฏจักรการทำความเย็น

ด้านที่มีความดันสูง (High Side) ประกอบด้วย ท่อทางส่งของคอมเพรสเซอร์, ท่อส่ง, คอนเดนเซอร์ , ถังพักน้ำยาเหลว, ท่อของเหลว และทางเข้าของวาล์วควบคุมการไหล ความดันของน้ำยาด้านความสูงนี้บางครั้งเรียกว่า ความดันทางคอนเดนเซอร์ (Condensing Pressure) หรือความดันของด้านอัด (Discharge Pressure)

ด้านที่มีความดันต่ำ (Low Side) ประกอบด้วย ทางออกของวาล์วควบคุมการไหล, อีวาพอเรเตอร์, ท่อดูด และทางดูดของคอมเพรสเซอร์ ความดันด้านต่ำนี้บางครั้งเรียกว่า ความดันทางอีวาพอเรเตอร์ หรือ ความดันด้านดูด (Back Pressure)

โดยสรุปในระบบทำความเย็นจะประกอบด้วยกระบวนการต่างๆคือ

1. ไอระเหยของสารทำความเย็นถูกดูดผ่านท่อดูดเข้าคอมเพรสเซอร์และอัดจนเป็นไอหรือแก๊สมีอุณหภูมิสูง ความดันสูงแล้วส่งออกทางท่อจ่ายไปสู่คอนเดนเซอร์

2. ไอของสารทำความเย็นที่ถูกอัดแล้วและถูกส่งมายังคอนเดนเซอร์จะได้รับการถ่ายเทความร้อนออกจนไอสารทำความเย็นเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวที่ยังมีความร้อนปานกลางและความดันสูง ณ ที่นี้ความร้อนที่ถูกถ่ายเทออกจะเป็นความร้อนแฝงเป็นส่วนมาก อุณหภูมิจึงไม่ค่อยลดมากนัก

3. สารทำความเย็นที่อยู่ในสภาพของของเหลวจะถูกส่งไปตามท่อของเหลวผ่านตัวความคุมปริมาณสารทำความเย็น เข้าสู่อีวาพอเรเตอร์

4. ด้วยเหตุที่สารทำความเย็นที่ผ่านตัวควบคุมปริมาณสารทำความเย็นแล้ว ความดันจะลดลง หมายถึงอุณหภูมิจะลดลงด้วย และเมื่อสารทำความเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำและความดันต่ำผ่านอีวาพอเรเตอร์ ซึ่งวางอยู่ในตำแหน่งที่จะรับความร้อนจากภาระ ความร้อนนี้จะทำให้สารทำความเย็นเดือดกลายเป็นไอที่ด้านปลายของอีวาพอเรเตอร์อีก

5. ไอของสารทำความเย็นที่เกิดขึ้นเนื่องจากสารทำความเย็นได้รับความร้อนขณะผ่านอีวาพอเรเตอร์ จะถูกดูดให้ผ่านท่อดูดเข้าเครื่องอัดอีก

2.6 สารทำความเย็น (Refrigerant)

ในการกล่าวทั่วๆไป สารทำความเย็นก็คือ วัตถุหรือสารที่จะเป็นตัวรับความร้อนจากวัตถุหรือสารอื่น สำหรับระบบทำความเย็นชนิดอัดไอ สารทำความเย็นซึ่งเป็นตัวทำงานอยู่ในรูปของการไหล (Working Fluid) ซึ่งจะดูดความร้อนในช่วงของการเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ และคายความร้อนในช่วงเปลี่ยนสถานะจากไอควบแน่นเป็นของเหลว ในการเลือกว่าสารใดจะใช้เป็นสารทำความเย็นนั้นจะต้องพิจารณาคุณสมบัติทางเคมี, ฟิสิกส์, และเทอร์โมไดนามิกส์ ให้เหมาะสมกับระบบที่ใช้งาน

2.6.1 คุณสมบัติทั่วไปของสารทำความเย็น

สารทำความเย็นที่ใช้ในระบบเครื่องทำความเย็นมีหลายชนิดแล้วแต่ลักษณะของการใช้งาน คุณสมบัติของสารที่กล่าวถึงมิได้หมายความว่า สารทำความเย็นที่มีจำหน่ายจะมีคุณสมบัติครบทุกข้อ มีเพียงบางข้อที่น่าจะให้ความสำคัญสำหรับงานแต่ละประเภท แต่ที่สำคัญที่สุดคือความปลอดภัยของผู้ใช้ คุณสมบัติของสารทำความเย็นมีประเด็นที่ควรพิจารณาดังนี้

1. ไม่เป็นพิษ
2. ไม่เป็นวัตถุระเบิด
3. ไม่กัดกร่อนโลหะ
4. ไม่ติดไฟ
5. หากมีรอยรั่วสามารถตรวจพบได้ง่าย
6. สามารถหาตำแหน่งรั่วได้ง่าย
7. ใช้งานที่ความดันไม่สูงนัก
8. ขณะอยู่ในสภาพแก๊สต้องมีเสถียรภาพคงที่
9. ขณะอยู่ในสภาพของเหลวต้องไหลง่าย
10. ไม่มีพิษเป็นอันตรายกับระบบหายใจและผิวหนังของมนุษย์
11. มีความหนาแน่นน้อย เพื่อให้สะดวกกับการควบคุมปริมาณใช้งาน
12. มีค่าความร้อนแฝงต่อหน่วยน้ำหนักสูง

2.6.2 ชนิดของสารทำความเย็น

ด้วยเหตุที่สารทำความเย็นเป็นสารผสมจากสารหลายชนิด การเรียกชื่อ โดยตรงจึงไม่สะดวก สมาคมวิศวกรเครื่องทำความร้อน เครื่องทำความเย็นและการปรับอากาศ (The American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers – ASHRAE) ได้กำหนดสารทำความเย็นแต่ละชนิดไว้เป็นตัวเลข โดยให้เป็น R-11, R-12, R-22 เป็นต้น R หมายถึง Refrigerant และตัวเลขที่ตามมาหมายถึง ชนิดของสารทำความเย็น

หมายเลขสารความเย็น	ชื่อและสูตรทางเคมี
R-11	Trichloromonofluoromethane CCl_3F
R-12	Dichlorodifluoromethane CCl_2F_2
R-22	Monochlorodifluoromethane $CHClF_2$
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 NH_3

ตารางที่ 2-1 แสดงชนิดของสารทำความเย็นที่นิยมใช้

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยได้แบ่งประเภทเครื่องทำความเย็น และประเภทของสารทำความเย็นไว้ดังนี้

ประเภทของระบบทำความเย็น แบ่งตามน้ำหนักของสารทำความเย็นที่บรรจุในระบบดังนี้

ประเภท ก ระบบที่บรรจุสารความเย็นหนัก 500 กก. หรือมากกว่า

ประเภท ข ระบบที่บรรจุสารความเย็นมากกว่า 50 กก. แต่น้อยกว่า 500 กก.

ประเภท ค ระบบที่บรรจุสารความเย็นมากกว่า 10 กก. แต่น้อยกว่า 50 กก.

ประเภท ง ระบบที่บรรจุสารความเย็นมากกว่า 3 กก. แต่น้อยกว่า 10 กก.

ประเภท จ ระบบที่บรรจุสารความเย็นน้อยกว่า 3 กก.

สารทำความเย็นมีหลายประเภทแต่สารทำความเย็นที่ใช้ในปัจจุบันแบ่งเป็น 3 ประเภทดังนี้

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-502

2.6.2.2 ชนิดติดไฟ

ประเภท 1 R-40, R-1130

ประเภท 2 R-160, R-170, R-290, R-600, R-601, R-611

2.6.2.3 ชนิดระคายเคือง

ไม่แบ่งประเภท ได้แก่ R-764, R-717

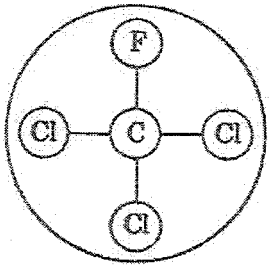
โดยในโครงงานนี้จะใช้สารทำความเย็น R-11 ในการศึกษา

2.6.3 สารทำความเย็น R-11 (CCl_3F)

เป็นสารจำพวกฟลูออโรคาร์บอนจัดอยู่ในพวกมีเทน ที่ความดันของบรรยากาศมีจุดเดือด 23.7 ^{0}C (74.7 ^{0}F) โดยปกติเป็นของเหลวเมื่อทำงานอยู่ในอีวาพอเรเตอร์ต้องใช้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ และเป็นสารที่มีปริมาตรจำเพาะ เมื่อเป็นแก๊สสูง ดังนั้นจึงต้องการพื้นที่ในเครื่องอัดมากต้องใช้กับเครื่องอัดแบบแรงเหวี่ยง

สารความเย็น – 11 เหมาะจะใช้กับระบบทำความเย็นในสำนักงาน โรงงาน ห้างสรรพสินค้า โรงภาพยนตร์ และยังสามารถใช้เป็นขั้นที่สองได้ด้วย

สารความเย็น – 11 ไม่กัดกร่อนโลหะ ไม่เป็นพิษและไม่ติดไฟ แต่สามารถละลายยางธรรมชาติได้ สำหรับการตรวจสอบการรั่วไหลใช้วิธี halide torch



รูปที่ 2-5 แสดงโครงสร้างทางเคมีของ R-11

2.7 P-h Diagram

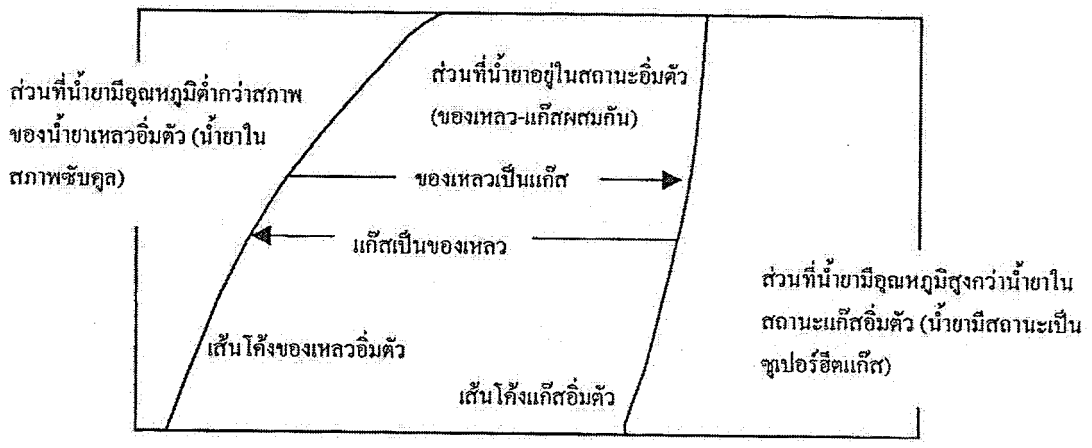
โดยปกติรูปแบบโครงสร้าง P-h Diagram ของสารทำความเย็นจะคล้ายกัน แต่จะใช้แทนกันไม่ได้ เพราะค่าตัวเลขต่างกัน P-h Diagram ของสารทำความเย็นชนิดไหนก็จะใช้ได้เฉพาะกับสารทำความเย็นชนิดนั้น จะใช้กับระบบทำความเย็นที่ใช้สารทำความเย็นชนิดอื่นไม่ได้

โครงสร้างของ P-h Diagram ได้แสดงดังรูปที่ 2-6 ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

1. ส่วนที่น้ำยามีสภาพอิ่มตัวซึ่งอยู่ตรงกลาง ส่วนนี้น้ำยาที่มีสภาพเป็นของเหลวพร้อมที่จะระเหยหรือเดือดเปลี่ยนสถานะเป็นไอ ในทางกลับกันน้ำยาที่มีสถานะเป็นไอพร้อมที่จะกลั่นตัวเป็นของเหลว

2. ส่วนที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าสภาพของน้ำยาเหลวอิ่มตัวซึ่งอยู่ทางด้านซ้ายมือ น้ำยามีสถานะเป็นของเหลวอัดตัว (Subcooled)

3. ส่วนที่มีอุณหภูมิสูงกว่าสภาพของน้ำยาในสถานะไออิ่มตัว ซึ่งอยู่ทางด้านขวาของน้ำยา ซึ่งมีสถานะเป็นไอ (Superhearted)



รูปที่ 2-6 แสดงโครงสร้าง P-h Diagram

รายละเอียดโครงสร้าง P-h Diagram แสดงโดยรูปที่ 2-7

1. เส้นความดันสมบูรณ์มีหน่วยเป็น psia เป็นเส้นที่อยู่ในแนวนอนตลอด

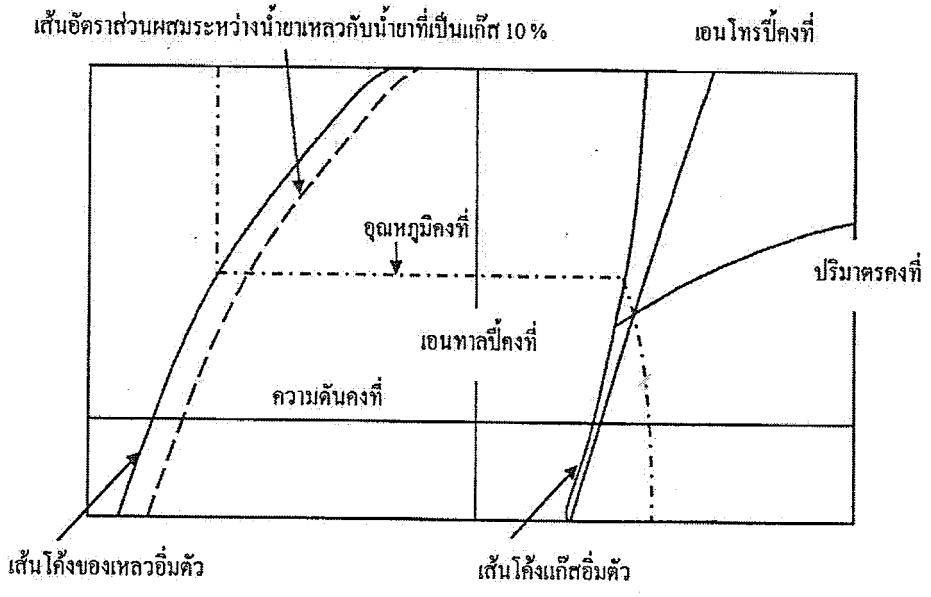
2. เส้นอัตราส่วนระหว่างน้ำยาเหลวกับน้ำยาที่เป็นไอ มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์เป็นเส้นโค้งในแนวตั้งซึ่งอยู่ในส่วนกลาง แต่ละเส้นจะบอกถึงจำนวนเปอร์เซนต์ของน้ำยาอิ่มตัวที่มีสภาพเป็นของเหลวพร้อมที่จะระเหย หรือเดือดเป็นไอ ในทางกลับกันไอที่จะกลั่นตัวเป็นของเหลวเส้นซ้ายมือสุดเป็นเส้นของเหลวอิ่มตัว ส่วนเส้นที่อยู่ขวาสุดเป็นเส้นไออิ่มตัว

3. เส้นอุณหภูมิมีหน่วยเป็น ฟาเรนไฮต์ เป็นเส้นประ เส้นอุณหภูมินี้จะอยู่ในแนวนอนเฉพาะที่น้ำยามีสภาพอิ่มตัวเท่านั้นเพราะอุณหภูมิจะสัมพันธ์กับความดัน และจะสูงขึ้นเมื่อน้ำยามีสภาพเป็นของเหลวอิ่มตัวหรือมีอุณหภูมิน้อยกว่าอุณหภูมิอิ่มตัว และจะต่ำลงเมื่อน้ำยามีสภาพเป็นไอดงหรือมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิอิ่มตัว

4. เส้นเอนทาลปีคงที่ (Constant Enthalpy) มีหน่วยเป็น Btu/lb เป็นเส้นที่อยู่ในแนวตั้ง

5. เส้นปริมาตรจำเพาะ (Constant Volume) มีหน่วยเป็น lb/ft^3 เป็นเส้นโค้งในแนวนอนเอียงขึ้นเล็กน้อยอยู่ทางขวามือ ซึ่งอยู่ในส่วนที่มีอุณหภูมิสูงกว่าน้ำยาที่มีสภาพเป็นไออิ่มตัว

6. เส้นเอนโทรปีคงที่ (Constant Entropy) มีหน่วยเป็น Btu/lb-R เป็นเส้นทะแยงมุมในแนวดิ่งแยกขึ้นจากเส้นไออิ่มตัว ซึ่งอยู่ในส่วนที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไออิ่มตัว เส้นนี้แสดงการอัดตัวของน้ำยาที่มีสภาพเป็นไอให้มีความดันสูงขึ้น ซึ่งเป็นผลให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นโดยไม่มีการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทาน



รูปที่ 2-7 แสดงโครงสร้าง P-h Diagram เส้นความดันคงที่ อุณหภูมิคงที่ ปริมาตรคงที่และเอนทาลปี

2.8 วัฏจักรทางปฏิบัติของการทำความเย็นจริง (Actual Vapor Compression Refrigerating Cycle)

ในระบบท่อสารทำความเย็นของเครื่องทำความเย็นจะมีความดันตก เนื่องจากความฝืดตามจุดต่างๆ ของระบบท่อซึ่งจะต้องลดหรือขจัดให้ได้เพื่อให้การไหลของสารความเย็นเป็นไปได้โดยสะดวก การสูญเสียของความดันมีทั้งที่อีวาพอเรเตอร์และที่คอนเดนเซอร์หรือตามข้อต่อต่างๆจึงจะพิจารณาแต่ละจุดดังนี้

1. ความดันตกในท่อดูด (Suction Line) สภาพของสารทำความเย็นที่ผ่านพ้นอีวาพอเรเตอร์ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่างๆของอีวาพอเรเตอร์ และสภาพของสารทำความเย็นก่อนเข้าอีวาพอเรเตอร์ ทำนองเดียวกัน ความดันตกในท่อดูดในช่วงระหว่างอีวาพอเรเตอร์และคอมเพรสเซอร์มีส่วนช่วยให้สารความเย็นที่เข้าคอมเพรสเซอร์อยู่ในสภาพของไอ แต่มีข้อจำกัดอยู่โดยในหลักปฏิบัติ ขนาดของท่อสารทำความเย็นมีผลต่อความดัน หากท่อเล็กความดันสูญเสียหรือความดันตกคร่อมจะมาก ถ้าใช้ท่อโตความดันสูญเสียจะน้อย แต่มีปัจจัยอื่นที่ควรพิจารณาคือ หากใช้ท่อโต ค่าใช้จ่ายจะมาก โดยหลักเศรษฐศาสตร์ทางการค้าจะต้องให้สมดุลระหว่างความดันสูญเสียเปรียบเทียบกับราคาท่อ ในงานเครื่องทำความเย็นความดันสูญเสียหรือความดันตกคร่อมเปรียบเทียบกับการลดลงของอุณหภูมิ ความดันตกในท่อดูดเทียบเท่ากับการลดลงของอุณหภูมิไม่เกิน 2 องศาฟาเรนไฮต์ถือว่าเป็นการออกแบบที่เหมาะสม จาก P-h Diagram ความดันตกในท่อดูดเกิดในลักษณะตามเส้นเอนทาลปี้คงที่ ซึ่งปกติท่อดูดจะมีฉนวนหุ้มเพื่อจำกัดความร้อนที่มาจากภายนอกรอบท่อดูดมาเพิ่มให้กับสารทำความเย็นที่กำลังจะเข้าเครื่องอัด

2. ความดันตกในท่อจ่าย (Discharge Line) ความดันตกที่เกิดกับไอสารความเย็นร้อน หลังจากสารทำความเย็นถูกอัดแล้วและจ่ายออกมาตามท่อจ่าย จาก P-h Diagram จุดที่ความดันตกลงมาเป็นทางเข้าคอนเดนเซอร์ การเกิดความดันตกที่ท่อจ่ายมีผลคือความดันของการควบแน่น (Condensing Pressure) ต่ำ

3. ความดันตกในท่อของเหลว (Liquid Line) โดยหลักการแล้วความดันตกในท่อของเหลวคือจากทางออกของสารทำความเย็นเหลวที่ส่วนท้ายของคอนเดนเซอร์ถึงตัวควบคุมปริมาณสารทำความเย็น ความดันนี้จะไม่มีผลต่อพลังงานความร้อนของระบบทำความเย็น แต่ถึงแม้จะไม่มีผลเสียหากมองข้ามไปอาจทำให้ระบบเครื่องทำความเย็นนั้นหย่อนประสิทธิภาพลง เพราะความดันในท่อของเหลวที่ลดลงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดไอขยายตัว (Flash Gas) ของสารทำความเย็นที่จะเข้าตัวควบคุมปริมาณสารทำความเย็น ด้วยเหตุที่ตัวควบคุมสารทำความเย็นออกแบบมาสำหรับเฉพาะสารทำความเย็นเหลว ถ้ามีไอขยายตัวปนอยู่ในสารทำความเย็น จะทำให้ปริมาณสารทำความเย็นที่ส่งผ่านตัวควบคุมปริมาณสาร

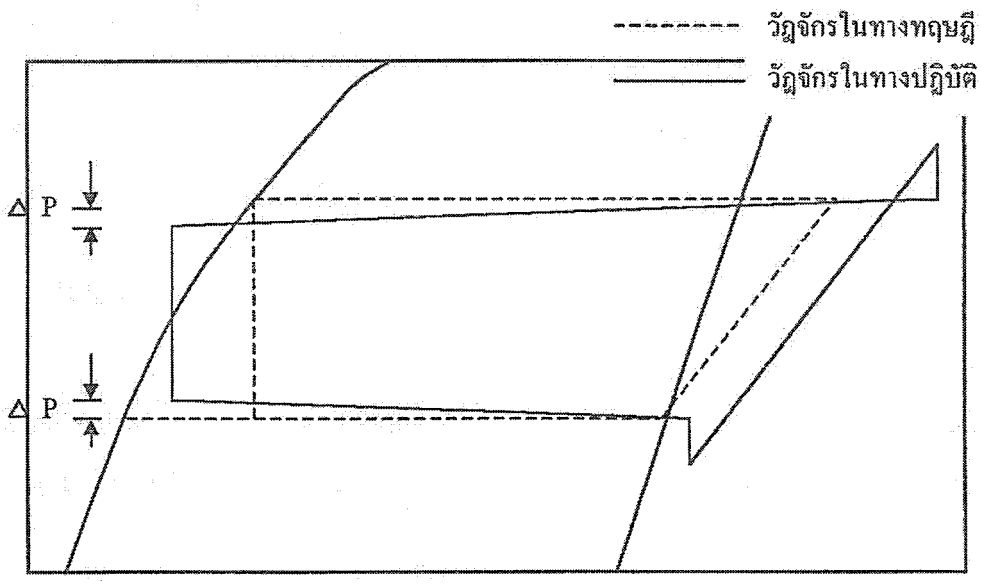
ทำความเย็นมีจำนวนไม่ถูกต้องโดยต่ำกว่าปริมาณใช้งานของระบบ ด้วยเหตุนี้การให้ระบบทำความเย็นมีอุณหภูมิของสารทำความเย็นในคอนเดนเซอร์ต่ำกว่าอุณหภูมิของเหลวอิ่มตัว (Subcooled Liquid) จึงเป็นสิ่งจำเป็น

4. ความดันตกในอีวาพอเรเตอร์และคอนเดนเซอร์ การตกลงของความดันมีผลให้สถานะการถ่ายเทความร้อนที่อีวาพอเรเตอร์และที่คอนเดนเซอร์เปลี่ยนไป รวมถึงอัตราส่วนการอัดด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากความดันจากคอนเดนเซอร์ตกมาเกินไป ความดันที่เหลือสู่ตัวควบคุมปริมาณสารทำความเย็นอาจไม่มากพอที่จะทำให้ตัวควบคุมทำงานตามปกติได้

5. อุณหภูมิของสารทำความเย็นในคอนเดนเซอร์ถูกทำให้ต่ำกว่าอุณหภูมิของเหลวอิ่มตัว (Subcooled Liquid) ก่อนที่จะผ่านเข้าไปในวาล์วขยายตัว (Expansion valve) เพื่อทำให้ค่าการทำความเย็น (Refrigerating Effect, R.E.) ต่อหน่วยมวลของสารทำความเย็นเพิ่มขึ้น

6. ไอของสารทำความเย็นจะเป็นไอร้อนยวดยิ่งก่อนเข้าคอมเพรสเซอร์เป็นการทำให้ค่าการทำความเย็นต่อหน่วยมวลสารทำความเย็นเพิ่มขึ้นอีก

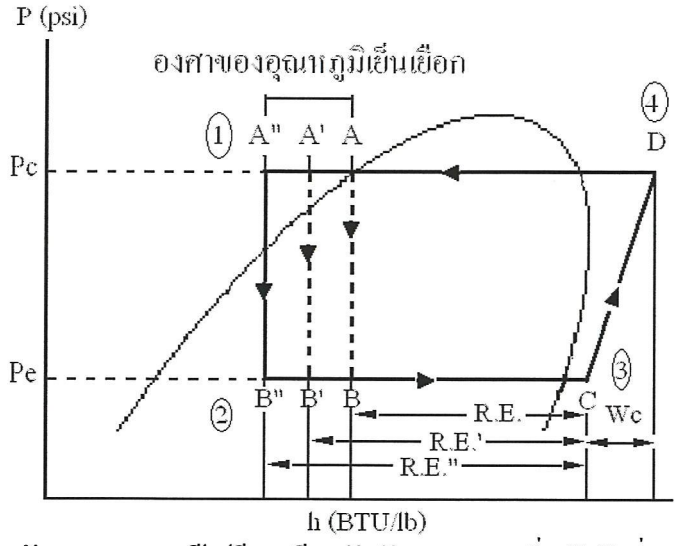
7. ในทางทฤษฎีการอัดสารทำความเย็นเป็นแบบไอเซนโทรปิกแต่ในทางปฏิบัติยุ่งยากมากและไม่สามารถทำได้ และความดันในช่วงอัดตัวนี้จะแตกต่างจากอีวาพอเรเตอร์และคอนเดนเซอร์โดยความดันก่อนการอัดตัวนี้จะลดลงเนื่องจากเกิดความสูญเสียในขณะผ่านท่อ และไอร้อนที่ออกจากคอมเพรสเซอร์จะมีอุณหภูมิและความดันสูงขึ้นเนื่องจากความร้อนที่ไอสารทำความเย็นดูดไว้จากผนังกระบอกสูบ



รูปที่ 2-8 แสดงสภาพวงรอบทางทฤษฎี (Theoretical cycle) ตามแนวเส้นประและวงรอบแท้จริง (Actual cycle) ของระบบเครื่องทำความเย็น

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.9 สมการที่ใช้ในการคำนวณ



รูปที่ 2-9 แผนภูมิความดันและเอนทาลปีเปรียบเทียบวัฏจักรของเหลวอิ่มตัวกับต่ำกว่าของเหลวอิ่มตัว

คอมเพรสเซอร์ (Compressor) กำลังงานที่ใช้ของคอมเพรสเซอร์สามารถหาได้จาก

$$w_c = (h_4 - h_3) \quad \text{.....(2.1)}$$

เมื่อ w_c คือ กำลังงานที่ใช้ของคอมเพรสเซอร์ มีหน่วยเป็น Btu/min

h_3 คือ เอนทาลปี้ของสารทำความเย็นก่อนที่จะเข้าคอมเพรสเซอร์ มีหน่วยเป็น Btu/lb

h_4 คือ เอนทาลปี้ของสารทำความเย็นที่ออกจากคอมเพรสเซอร์ มีหน่วยเป็น Btu/lb

คอนเดนเซอร์ (Condenser) ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทออกที่คอนเดนเซอร์หาได้จาก

$$q_c = m(h_4 - h_1) \quad \text{.....(2.2)}$$

เมื่อ q_c คือ ความร้อนที่ไอของสารทำความเย็นคายให้กับตัวกลางหล่อเย็นในเครื่องคอนเดนเซอร์ มีหน่วยเป็น Btu/min

h_1 คือ เอนทาลปี้ของสารทำความเย็นที่ออกจากคอนเดนเซอร์ มีหน่วยเป็น Btu/lb

m คือ มวลของสารทำความเย็นที่ออกจากคอนเดนเซอร์มีหน่วยเป็น lb/min

อีวาพอเรเตอร์ (Evaporator) ค่าการทำความเย็นที่อีวาพอเรเตอร์หาได้จาก

$$R.E. = (h_3 - h_2) \quad \text{.....(2.3)}$$

เมื่อ Refrigeration Effect (R.E.) คือ ค่าการทำความเย็น มีหน่วยเป็น Btu/hr

h_3 คือ เอนทาลปี้ของสารทำความเย็นก่อนเข้าอีวาพอเรเตอร์ มีหน่วยเป็น Btu/lb

h_2 คือ เอนทาลปี้ของสารทำความเย็นที่ออกจากอีวาพอเรเตอร์ มีหน่วยเป็น Btu/lb

ประสิทธิภาพของการทำความเย็น

$C.O.P.$ = ปริมาณค่าความเย็นที่ทำได้ / พลังงานที่ใช้ขับเครื่องอัด

$$C.O.P. = \frac{R.E.(BTU/hr)}{W_c(BTU/hr)} \quad \text{.....(2.4)}$$

อัตราการกินพลังงาน (Energy Efficiency Ratio)

EER = ปริมาณค่าความเย็นที่ทำได้ / กำลังไฟฟ้าที่เครื่องอัด

$$EER = \frac{R.E.(BTU/hr)}{Watt} \quad \text{.....(2.5)}$$

หลักการเปลี่ยนค่า $C.O.P.$ เป็น EER

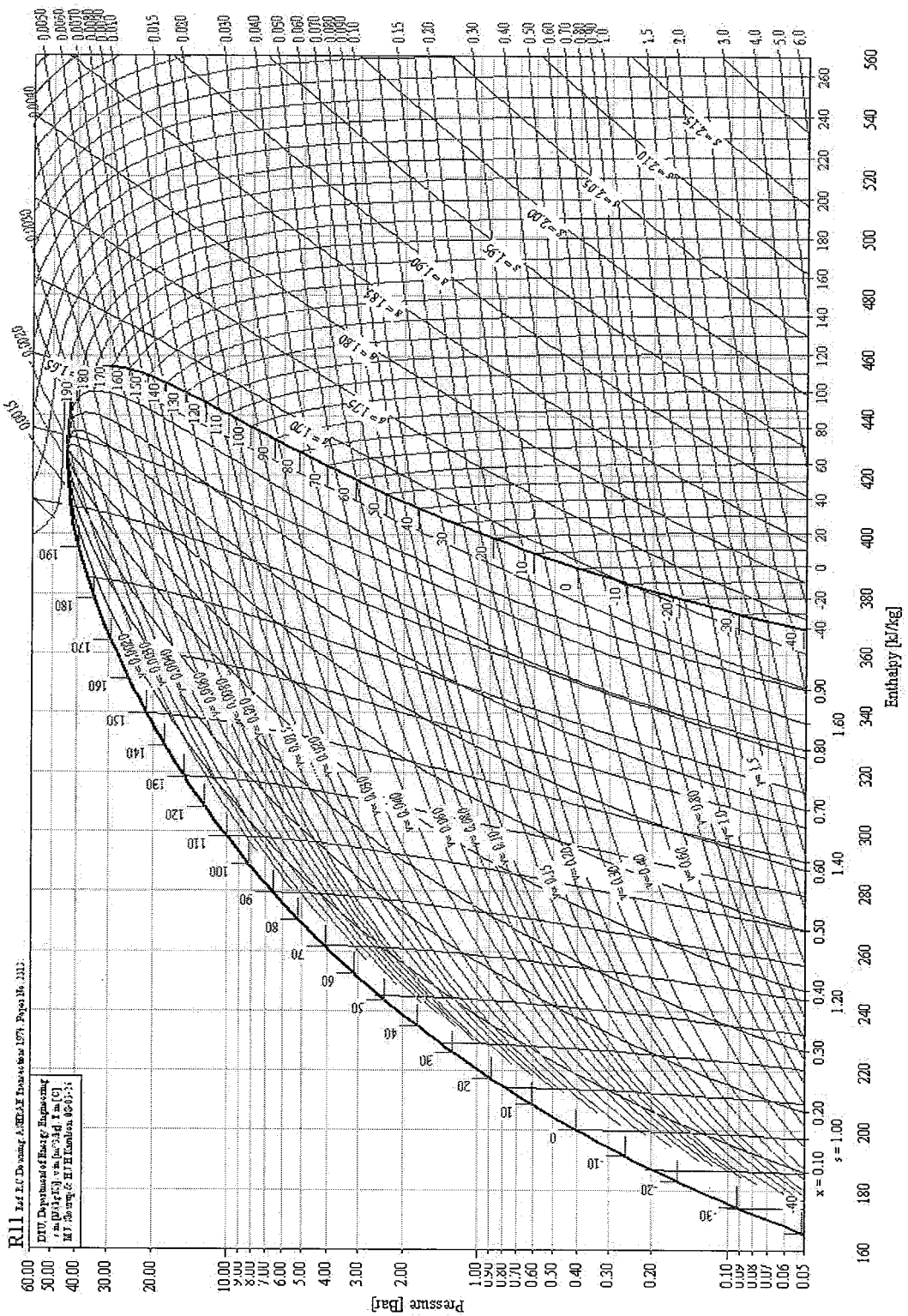
$$0.293\ BTU/hr = 1\ Watt$$

เพราะฉะนั้น

$$1\ BTU/hr = 3.412\ Watt$$

$$C.O.P. = \frac{BTU/hr}{BTU/hr} = \frac{BTU/hr}{3.412 Watt} = \frac{EER}{3.412 Watt}$$

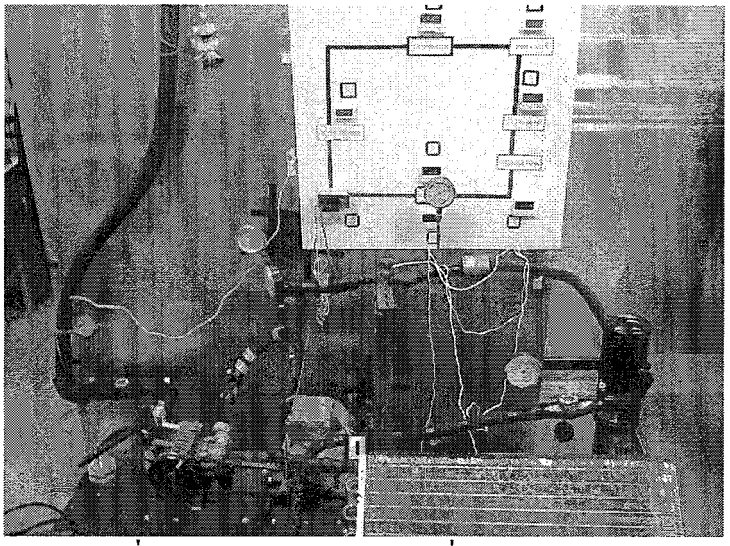
$$EER = \frac{BTU/hr.}{watt} = (C.O.P)(3.412)$$



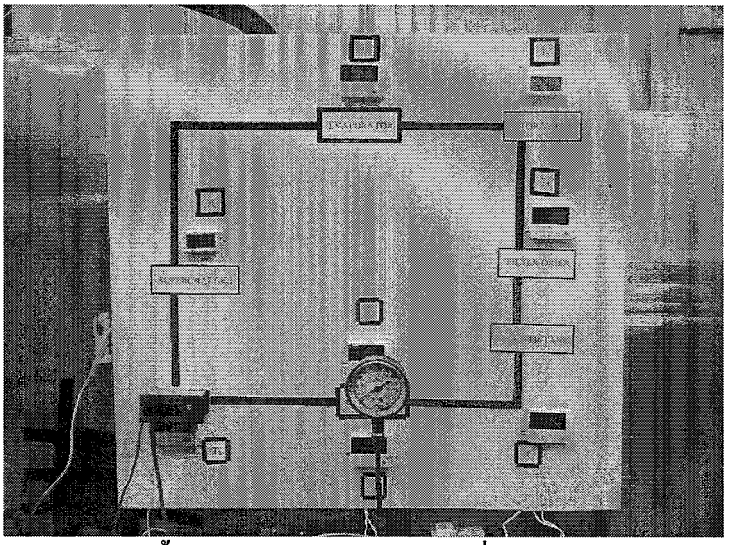
รูปที่ 2-10 แสดงแผนภูมิ P-h ไดอะแกรมของน้ำยา R-11

บทที่ 3
อุปกรณ์การทดลองและวิธีการทดลอง

3.1 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง



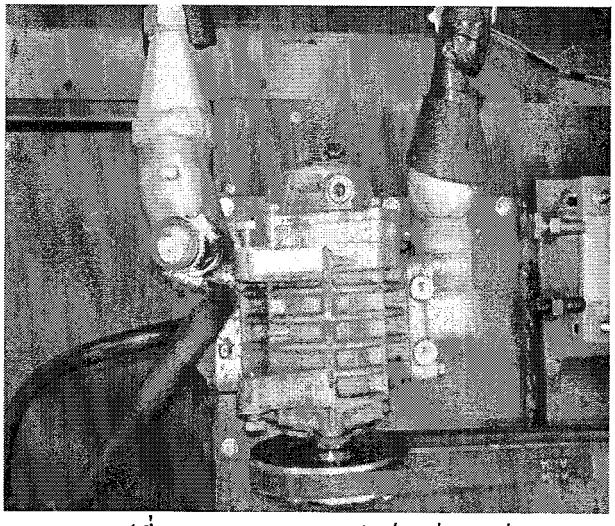
รูปที่ 3-1 แสดงภาพชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3-2 บอร์ดติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ของอุปกรณ์

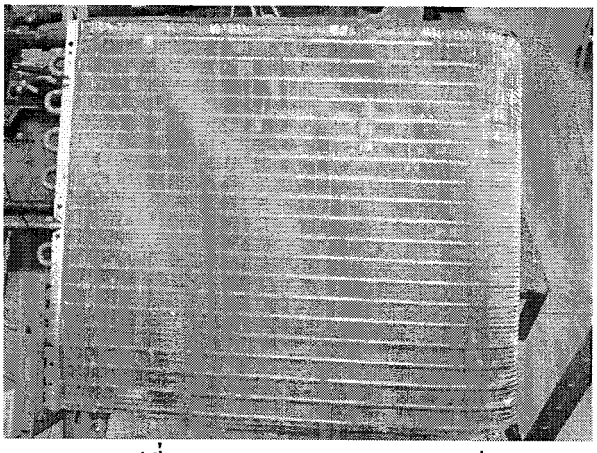
อุปกรณ์ที่ติดตั้งในชุดทดลองระบบเครื่องปรับอากาศความดันต่ำขนาดเล็ก โดยมีอุปกรณ์ที่สำคัญดังนี้

1. คอมเพรสเซอร์ ในการทดลองนี้ได้ใช้ซูเปอร์ชาร์จเจอร์ชนิดรูท (Roots – Blower) ในการอัดไอสารความเย็นแทนคอมเพรสเซอร์



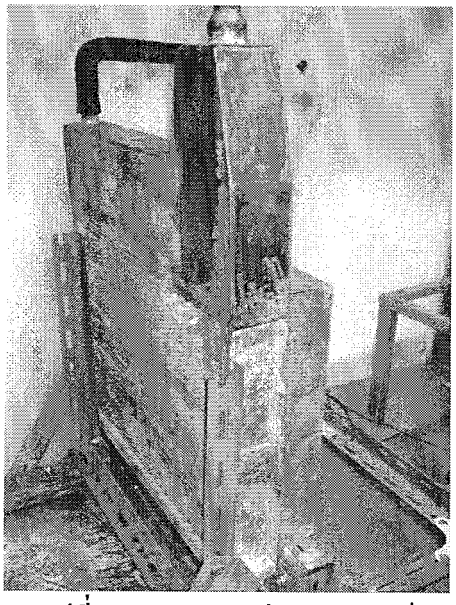
รูปที่ 3-3 แสดงภาพซูเปอร์ชาร์จเจอร์

2. คอนเดนเซอร์



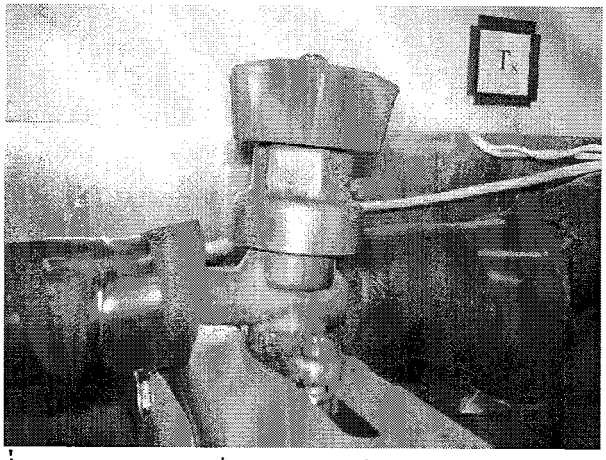
รูปที่ 3-4 แสดงภาพคอนเดนเซอร์

3. อีวาพอเรเตอร์



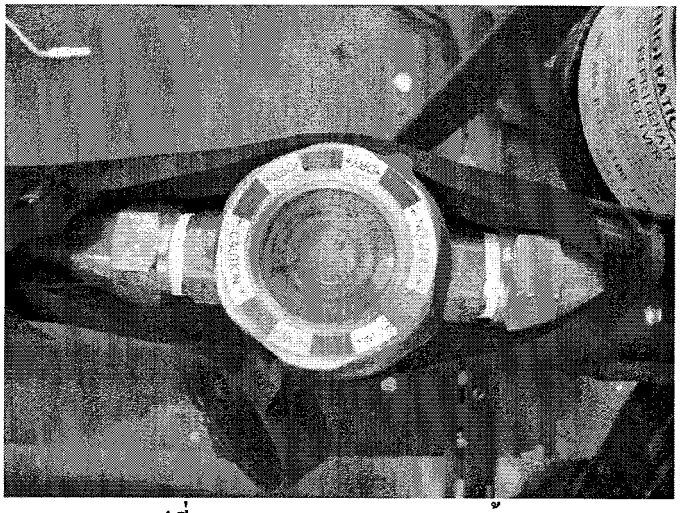
รูปที่ 3-5 แสดงภาพอีวาพอเรเตอร์

4. วาล์วขยายตัวปรับด้วยมือ (Hand expansion valves) อัตราการไหลของสารความเย็นที่ผ่านวาล์วนี้ขึ้นอยู่กับความดันที่แตกต่างกันที่ผ่านช่องวาล์วเข็ม และมุมที่วาล์วเปิด



รูปที่ 3-6 แสดงภาพวาล์วควบคุมการไหลของสารทำความเย็น

5. กระจกมองน้ำยา (Sight Glass) ติดตั้งสำหรับมองดูสารความเย็นภายในระบบทำความเย็นว่าเพียงพอหรือไม่ ถ้าภายในระบบมีสารทำความเย็นน้อย ซึ่งอาจเกิดจากการรั่วของระบบหรือชาร์จสารความเย็นน้อยเกินไปจะเห็นฟองสารความเย็นวิ่งผ่านกระจก แต่ถ้าสารความเย็นเต็มจะมีแต่ของเหลววิ่งผ่าน การเชื่อมต่อกัน ทำโดยการถอดกระจกก่อนเชื่อม ป้องกันการกระทบกระแทก

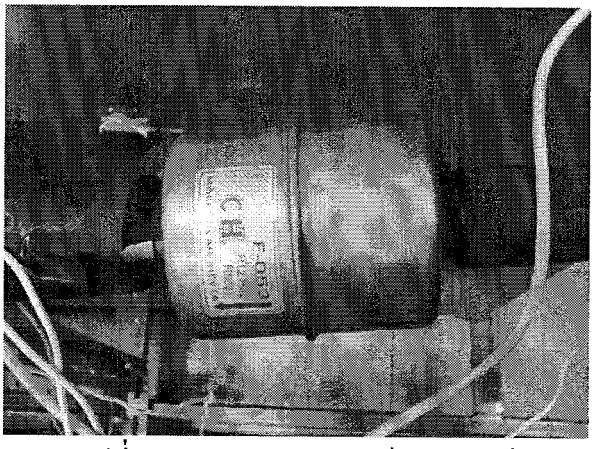


รูปที่ 3-7 แสดงภาพกระจกมองน้ำยา

6. ถังพักสารทำความเย็น (Receiver Tank) เป็นถังพักสารทำความเย็นที่ควบแน่นออกจากคอนเดนเซอร์ โดยจะกักสารความเย็นที่เป็นไอไว้ แล้วให้สารความเย็นที่เป็นของเหลวผ่านไปได้

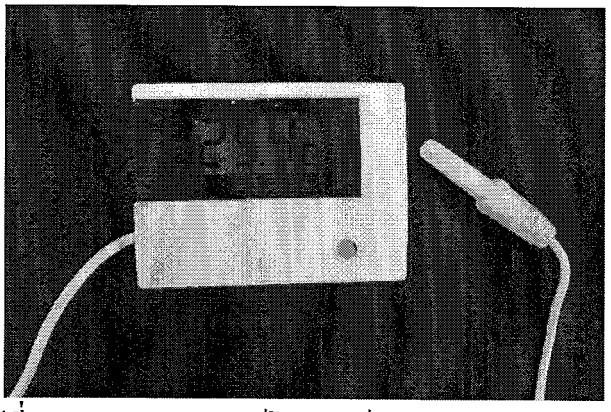
รูปที่ 3-8 แสดงภาพถังพักสารทำความเย็น

7. ฟิลเตอร์ดรายเออร์ (Filter-Drier) จะติดตั้งอยู่ที่ท่อลิควิดใกล้กับทางเข้าของชุดปรับอัตราการไหลของน้ำยา เพื่อทำหน้าที่ดูดความชื้นในระบบที่หลงเหลืออยู่ไม่ให้ผ่านไปอุดตันที่เอ็กแพนชั่นวาล์ว และตำแหน่งที่ติดตั้งฟิลเตอร์ดรายเออร์ จะต้องอยู่ในบริเวณที่เย็นเพราะสารดูดความชื้น จะดูดรับความชื้นได้มากที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งจะมีตะแกรงกรองทำหน้าที่แทนฟิลเตอร์ดรายเออร์ หรือสารดูดความชื้นที่ใช้ทั่วไป มีซิลิกาเจล (Siliga Gel) แคลเซียมซัลเฟต (Calcium Sulphate) อลูมินาเจล (Alumina Gel) มีคุณสมบัติในการดูดความชื้น, ตะกอนและกรด ออกจากสารความเย็นในระบบ



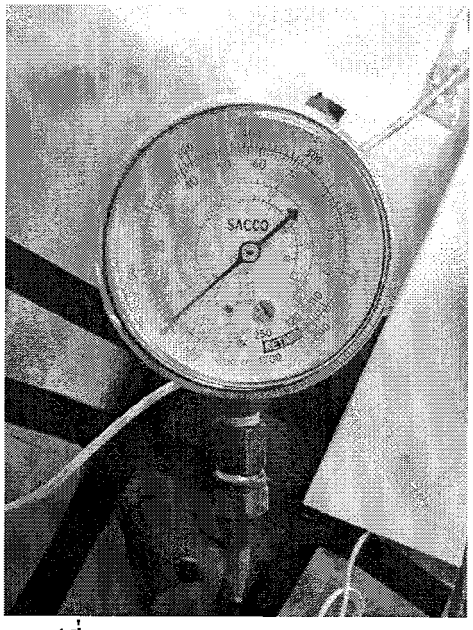
รูปที่ 3-9 แสดงภาพฟิลเตอร์ ดรายเออร์

8. เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิแบบดิจิตอล (Digital Thermometer)



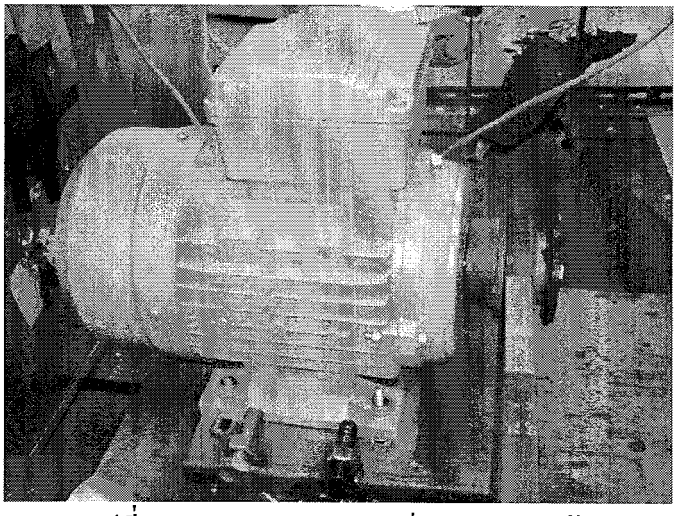
รูปที่ 3-10 แสดงภาพเทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิแบบดิจิตอล

9. เกจวัดความดัน (Pressure Gauge)



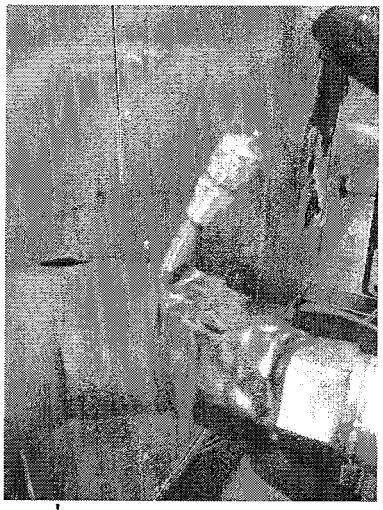
รูปที่ 3-11 แสดงภาพเกจวัดความดัน

10. มอเตอร์ 3 เฟส 1 แรงม้า



รูปที่ 3-12 แสดงภาพมอเตอร์ 3 เฟส 1 แรงม้า

11. วาล์วลูกศร

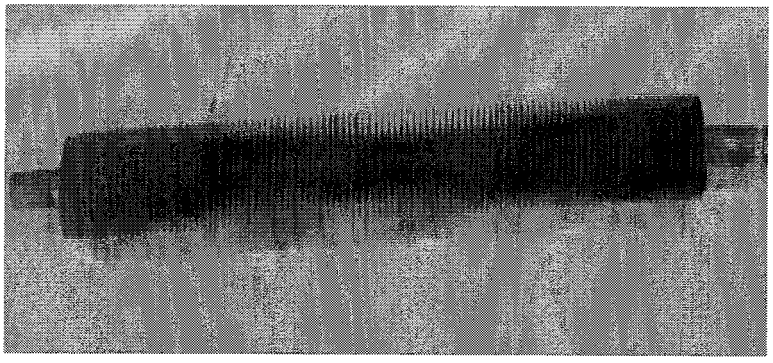


รูปที่ 3-13 แสดงภาพวาล์วลูกศร

12. สารทำความเย็น R-11 เป็นสารความเย็นที่ใช้ในการทดลอง เนื่องจาก R-11 มีจุดเดือดต่ำทำงานได้ดีในช่วงความดันต่ำ จึงต้องการงานในการอัดไอต่ำด้วย โดย R-11 เป็นผลิตภัณฑ์เคมีสังเคราะห์มีคุณสมบัติคงตัว ไม่ติดไฟและไม่เป็นพิษ มีความดันภาคความดันสูง 18.3 Psia (1.28 ก.ก. /ตร.ซม.) ที่ 86 ^{0}F (30^{0}C) ความร้อนแฝงที่ 5 ^{0}F (-15^{0}C) เท่ากับ 84.0 Btu/lb (195 J/g)

รูปที่ 3-14 แสดงภาพสารทำความเย็น R-11

13. ความร้อน (Heater) ขนาด 3000 Watt

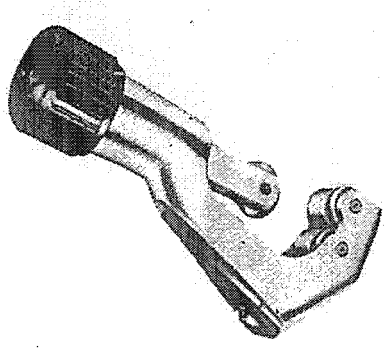


รูปที่ 3-15 แสดงภาพความร้อน

3.2 อุปกรณ์บริการระบบ

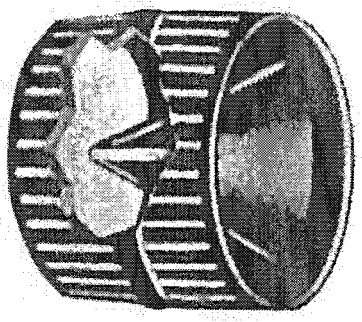
งานติดตั้งเครื่องทำความเย็นต้องอาศัยเครื่องมือเพื่ออำนวยความสะดวกในการดำเนินการติดตั้งโดยมีอุปกรณ์บริการดังต่อไปนี้

1. มีดตัดท่อหรือคัตเตอร์ (Cutter) เป็นเครื่องมือสำหรับตัดท่อที่ใช้ในระบบวงจรน้ำยาทำความเย็น มีด้วยกันหลายขนาดเพื่อให้เหมาะสมกับงานที่ทำ



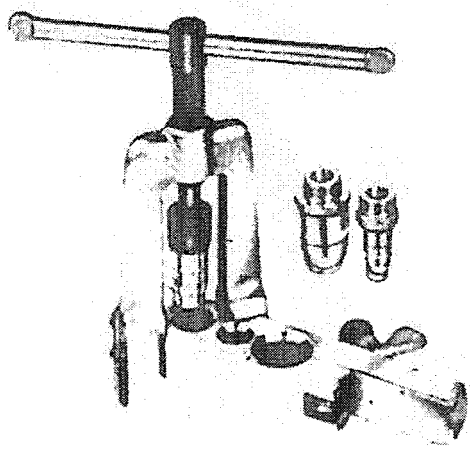
รูปที่ 3-16 แสดงภาพคัตเตอร์ตัดท่อ

2. รีมเมอร์ (Reamer) เป็นตัวปรับแต่งพื้นที่ผิวปากท่อ หลังจากที่ได้ตัดท่อแล้วปากท่อจะไม่เรียบก่อนที่จะนำไปใช้งาน ต้องปรับแต่งบริเวณปากท่อให้เรียบเสียก่อนด้วยรีมเมอร์ รีมเมอร์ตัวนี้อาจมีอยู่ในชุดมีดตัดท่อด้วยก็ได้



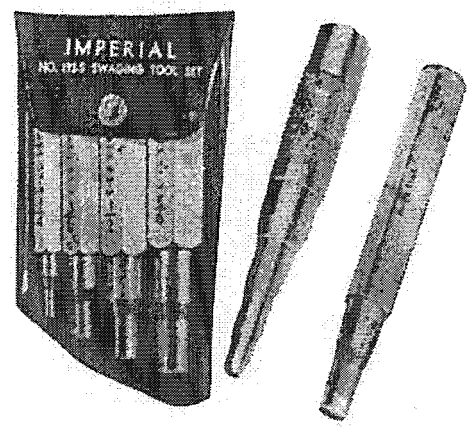
รูปที่ 3-17 แสดงภาพรีมเมอร์

3. เครื่องมือบานแฟลร์ (Flaring Tool) เป็นเครื่องมือที่ใช้บานแฟลร์ท่อทองแดง ประกอบด้วยตัวจับท่อทองแดง (Flaring Bar) ซึ่งมีขนาดรูต่างๆตั้งแต่ ¼ - 6/8 นิ้ว เป็นชุดจับท่อให้แน่นในขณะตอกหรือขันทำบานแฟลร์ตัวขันหรือตอกเพื่อบานแฟลร์ซึ่งสามารถทำการบานแฟลร์ได้ทั้งชั้นเดียวและสองชั้นแล้วแต่งานที่จะนำไปใช้ สำหรับบานแฟลร์ชั้นเดียวเป็นการบานชนิดธรรมดา



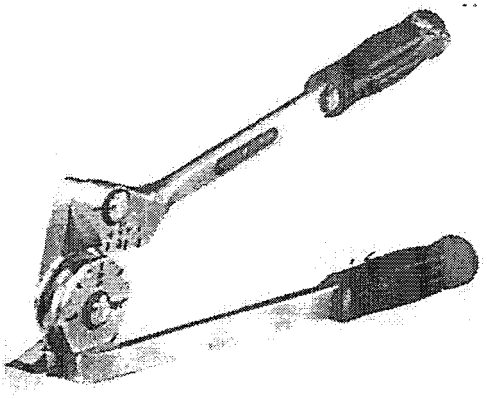
รูปที่ 3-18 แสดงภาพเครื่องมือบานแฟลร์ท่อ

4. เหล็กขยายท่อ (Swaging Tools) เมื่อต้องการต่อท่อขนาดเดียวกันด้วยการเชื่อมประสาน ปากท่อที่จะนำมาต่อกันนั้นจะต้องขยายด้านใดด้านหนึ่งให้โตพอที่จะนำปากท่ออันที่จะนำปากท่ออันที่ไม่ได้ขยายใส่เข้าไปได้พอดี ซึ่งในการนี้ต้องขยายท่อ



รูปที่ 3-19 แสดงภาพเหล็กขยายท่อ

5. เครื่องมือดัดท่อ (Tube Bender) เพื่อให้การดัดท่อเป็นไปตามที่ต้องการ โดยไม่เกิดความเสียหายกับท่อ เครื่องมือดัดท่อที่มีขนาดรูปร่างต่างๆกันสามารถดัดท่อให้อยู่ในรูปและมุมองศาที่ต่างๆกันได้



รูปที่ 3-20 แสดงภาพเครื่องมือดัดท่อ

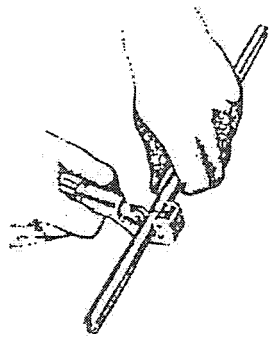
3.3 การบริการระบบ

3.3.1 การตัดท่อ (Cutting Tubing)

โดยทั่วไปมีเครื่องใช้อยู่ 2 ชนิด คือ

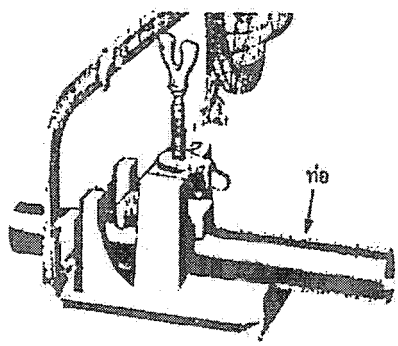
1. การตัดท่อโดยใช้คัตเตอร์ ส่วนมากใช้สำหรับตัดท่อทองแดงชนิดอ่อน ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

- วางท่อลงระหว่างโรลเลอร์ และใบมีดของคัตเตอร์
- หมุนตัวปรับตั้งระยะใบมีดให้ฝังลงเนื้อท่อเล็กน้อย
- หมุนตัวคัตเตอร์ช้าๆจะทำให้ใบมีดหมุนฝังเนื้อท่อโดยรอบ
- หมุนหัวปรับระยะใบมีดลงในเนื้อท่ออีก แล้วหมุนตัวคัตเตอร์ช้าๆรอบท่อ ทำซ้ำจนท่อขาด



รูปที่ 3-21 แสดงภาพลักษณะการตัดท่อ

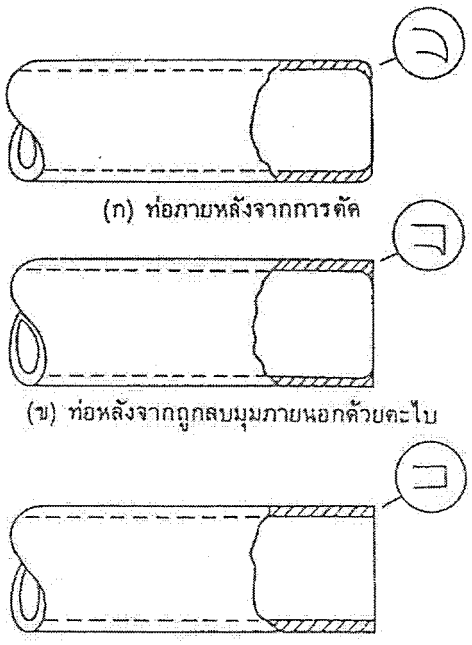
2. การตัดท่อโดยใช้เลื่อย ส่วนมากใช้สำหรับตัดท่อชนิดแข็ง ซึ่งควรมีตัวจับท่อ (Clamp) ไว้สำหรับจับยึดท่อเพื่อความสะดวกในการเลื่อยตัดท่อด้วย



รูปที่ 3-22 แสดงภาพเลื่อยตัดท่อ

3.3.2 การคว้านปลายท่อ (Reamed)

เมื่อเสร็จจากการตัดท่อทุกครั้งจะต้องคว้านปลายท่อให้เรียบร้อย ข้อนี้เป็นสิ่งสำคัญมาก ในการเตรียมท่อเพื่อการบานท่อและบานแฟลร์ใช้ในการตัดท่อต่อไป

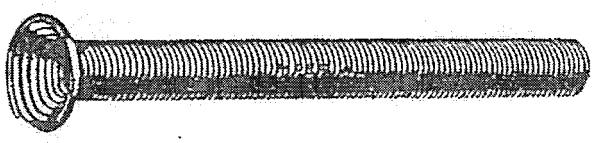


รูปที่ 3-23 แสดงภาพการลบมุมท่อภายในและภายนอก

3.3.3 การดัดท่อ (Bending Tubing)

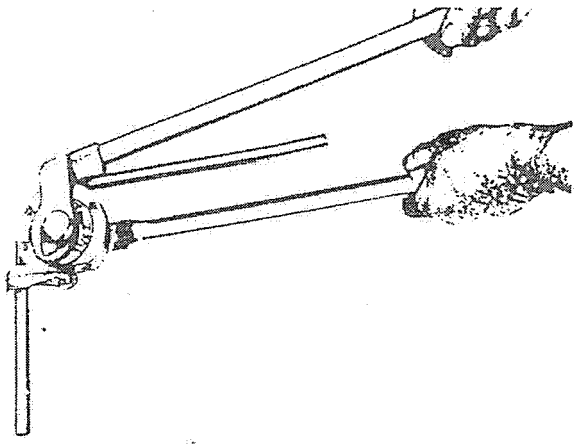
ในการดัดท่อทางเดินน้ำยามีเครื่องช่วยในการดัดท่อดังนี้

1. สปริง (Tube Bending Spring) เป็นเครื่องช่วยดัดท่อ อาจใช้สวมทั้งภายในท่อและภายนอกท่อเพื่อช่วยการดัด มีขนาดต่างๆกันตามขนาดของท่อ



รูปที่ 3-24 แสดงภาพสปริงดัดท่อ

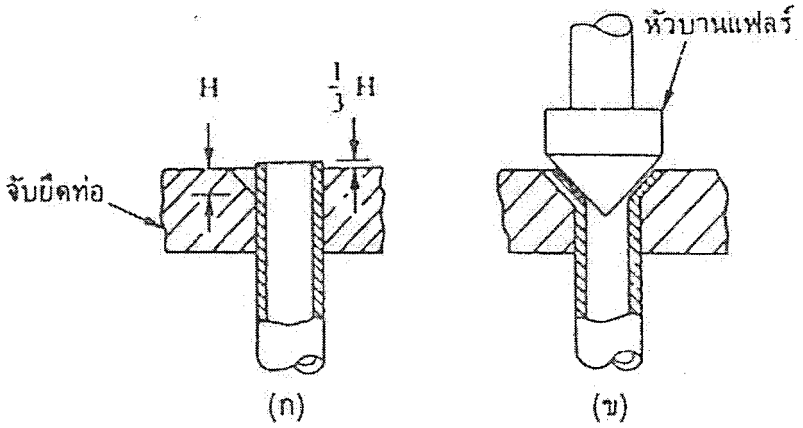
2. เครื่องมือดัดท่อ มีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้คือ องศาการดัด ด้ามหมุนดัดท่อ (Operating Lever) ด้ามยึดท่อที่ดัด (Bending Tool)



รูปที่ 3-25 แสดงภาพการใช้เครื่องมือดัดท่อ

3.3.4 การบานแฟลร์ท่อชั้นเดียว (Single Thickness Flare)

โดยการเริ่มบานแฟลร์ จะต้องแน่ใจว่า ที่ปลายท่อได้รับการคว้านเรียบร้อย



รูปที่ 3-26 แสดงภาพการบานแฟลร์ท่อชั้นเดียว

ขั้นตอนการทำงานของการบานแฟลร์ท่อชั้นเดียว

1. ใส่ท่อที่ตัดและคว้านปลายท่อไว้เรียบร้อยแล้วเข้าในตัวจับท่อ ให้ขนาดของท่อและขนาดของรูเท่ากัน ปลายท่อสูงกว่าระดับของตัวจับเล็กน้อยประมาณ 3/16 นิ้ว

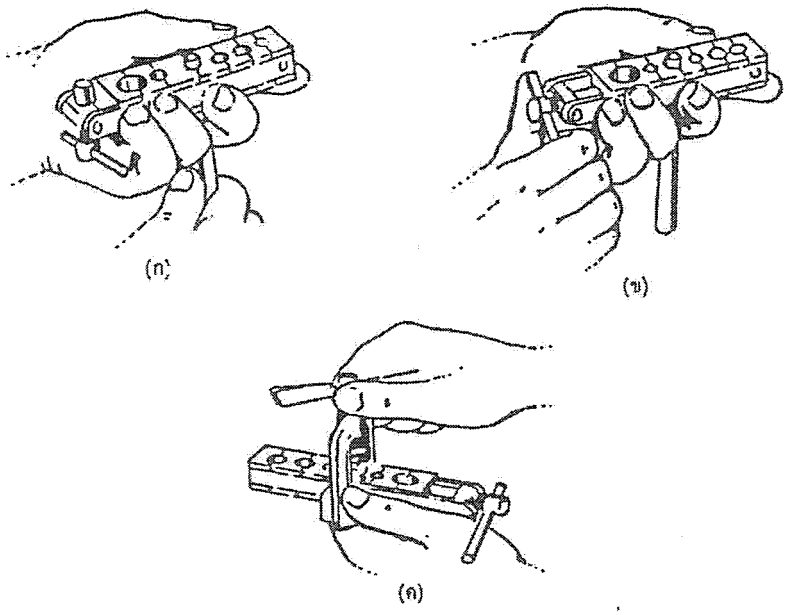
2. ขันยึดตัวจับให้แน่น

3. สวมตัวบานแฟลร์เข้าในตัวจับท่อ

4. หยดน้ำมันคอมเพรสเซอร์เล็กน้อย ลงบนกรวยของตัวบานแฟลร์ท่อ ค่อยๆหมุนให้กรวยกดลงบนปลายท่อ

5. เมื่อบานแฟลร์ท่อเรียบร้อย ให้คลายเกลียว ถอนกรวยออกและถอดตัวบานแฟลร์ท่อออกจากตัวจับท่อ

6. คลายตัวจับท่อ ถอดเอาท่อที่บานแฟลร์เรียบร้อยแล้วออก

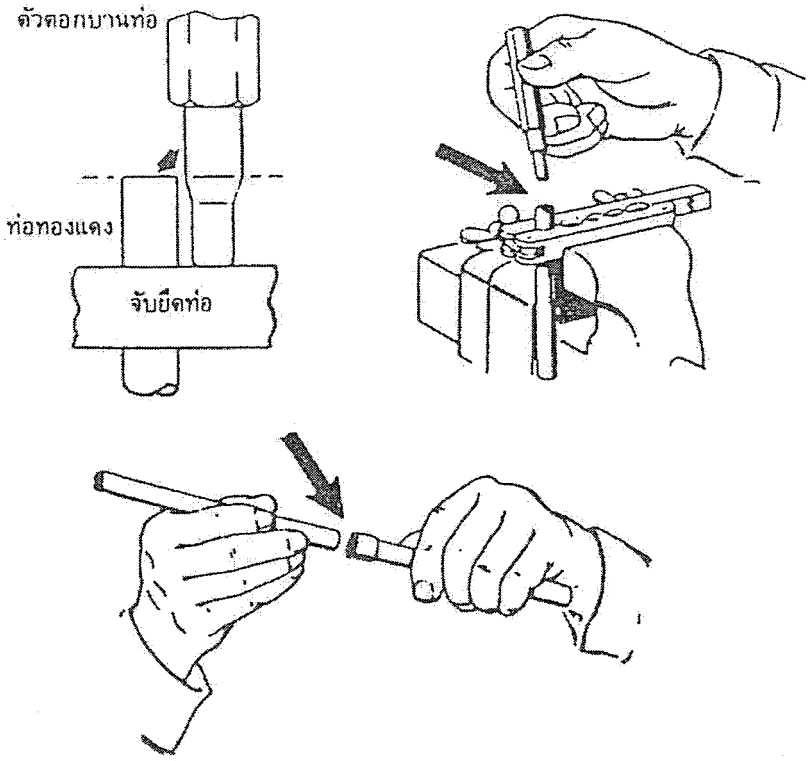


รูปที่ 3-27 แสดงภาพขั้นตอนการบานแฟลร์ท่อชั้นเดียว

3.3.5 การบานท่อแบบตอกบานท่อ (Punch Type)

ต้องใช้เครื่องมือซึ่งประกอบด้วยตัวยึดจับท่อและเหล็กตอกบาน ซึ่งจะมีขนาดต่างๆกันตามแต่ขนาดของท่อ ที่ต้องการตอกบาน มีขั้นตอนดังนี้

1. ใส่ท่อที่ตัดและคว้านปลายท่อไว้เรียบร้อยแล้วเข้าในตัวจับท่อ ให้ขนาดของท่อและขนาดของรูเท่ากัน ปลายท่อสูงกว่าระดับตัวจับท่อ ประมาณเท่ากับช่วงบนของตัวตอกบาน
2. ขันยึดตัวจับให้แน่น
3. ใส่ตัวบานท่อลงในท่อจับให้ตรง
4. ใช้ค้อนค่อยๆตอกตัวบานท่อเข้าไปในท่อจนสุด
5. เมื่อบานท่อเรียบร้อยแล้ว ขันตัวบานท่อออก
6. คลายตัวจับท่อถอนเอาท่อที่บานเรียบร้อยแล้วออก

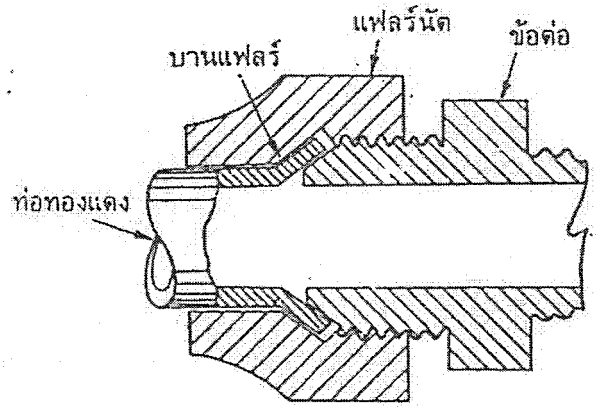


รูปที่ 3-28 แสดงภาพขั้นตอนการบานท่อ

3.3.6 การต่อท่อทางเดินน้ำยา

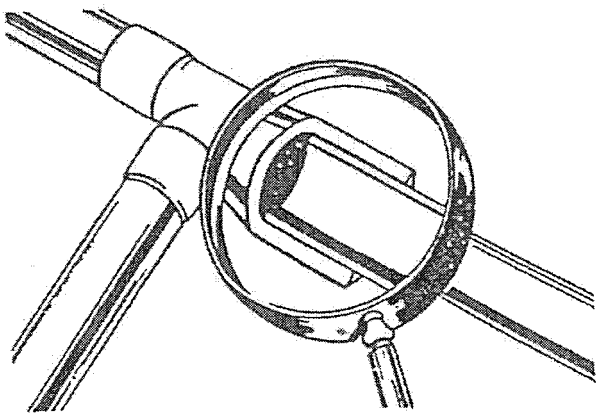
ในการต่อท่อทางเดินน้ำยาของระบบเครื่องทำความเย็นนั้น ทำได้ 2 วิธีคือ

1. การต่อท่อโดยใช้แฟลร์นัตและข้อต่อ เมื่อขันให้แฟลร์นัตกระชับแน่นเข้ากับตัวข้อต่อ จะบีบปลายท่อที่บานแฟลร์ไว้ ทำให้น้ำยาภายในท่อทางเดินน้ำยาไม่รั่วออกมา แต่ถ้าการบานแฟลร์ท่อไม่เรียบร้อย ผิวหน้าของท่อที่บานแฟลร์ไว้สัมผัสกับแฟลร์นัตและข้อต่อไม่ดี ก็จะเกิดการรั่วของน้ำยาในระบบที่จุดต่อนี้ได้

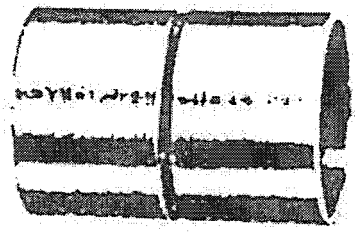


รูปที่ 3-29 แสดงภาพรูปตัดของการต่อท่อ โดยใช้แฟลร์นัตและข้อต่อ

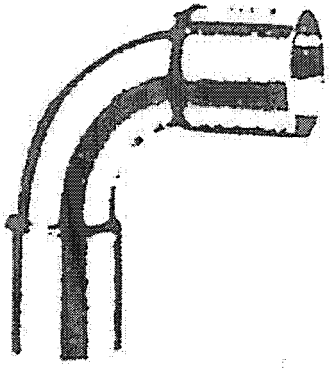
2. การต่อท่อโดยการเชื่อมต่อ ในการเชื่อมต่อท่อนี้ ถ้าเป็นท่อชนิดแข็ง การบานท่อจะทำไม่ได้ เพราะท่อจะแตก เพราะฉะนั้นจึงใช้ข้อต่อสำเร็จรูป หากเป็นท่อทองแดงชนิดอ่อน การเชื่อมต่อโดยทั่วไป การเชื่อมต่อท่อ ถ้าเป็นการต่อท่อทองแดงเข้าด้วยกันแล้ว มักใช้เชื่อมเงิน (Silver Brazing) และถ้าเป็นการต่อระหว่างท่อทองแดงกับเหล็กควรใช้เชื่อมทองเหลือง

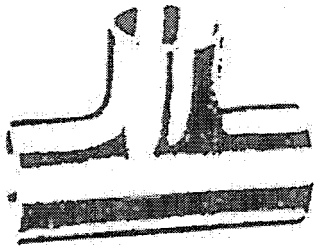


รูปที่ 3-30 แสดงภาพรูปตัดของการต่อท่อโดยการเชื่อม



(ก) สำหรับต่อตรง





(ข) สำหรับต่อสามทาง

รูปที่ 3-31 แสดงภาพตัวอย่างของข้อต่อ

ขั้นตอนการปฏิบัติงานเชื่อมต่อท่อ

1. ตัดท่อตามความยาวที่ต้องการ ทำรีมเมอร์ให้เรียบร้อย
2. ทำความสะอาดผิวนอก ด้วยกระดาษทรายหรือผ้าทราย
3. ทำความสะอาดผิวในท่อต่อด้วยแปลงหรือกระดาษทราย
4. ทาฟลักซ์ (Flux) ผิวในของข้อต่อ
5. ทาฟลักซ์บนผิวนอกของท่อ
6. ใช้หัวเชื่อมแก๊สเป่าให้ความร้อนชิ้นงานจนแดง และนำไปแตะลวดเชื่อม สังเกตดูการวิ่งของเนื้อเงินเชื่อม คอยดึงเปลวไฟออกให้พอดี ให้เนื้อเงินจับโดยรอบ

3.3.7 การใช้เกจแมนิโฟลด์ (Manifold Gauge)

เกจแมนิโฟลด์ ประกอบด้วย

1. เกจวัดความดันด้านสูง (High Pressure Gauge) มีสเกลบอกค่าความดันบนหน้าปัดเพียงอันเดียว ตามปกติจะเริ่มจาก 0-500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

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

3. วาล์วปรับด้วยมือ 3 ตัว

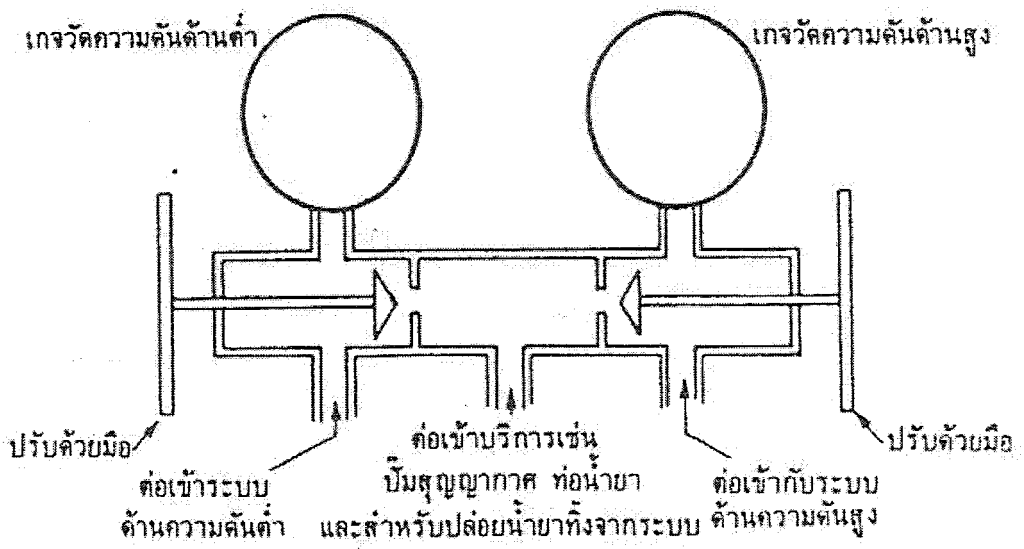
4. สายชาร์จน้ำยา (Charging Hose)

การใช้เกจแมนิโฟลด์

1. ท่อซ้ายมือของเกจแมนิโฟลด์ใช้ต่อเข้ากับด้านความดันต่ำ

2. ท่อขวามือของเกจแมนิโฟลด์ใช้ต่อเข้ากับด้านความดันสูง

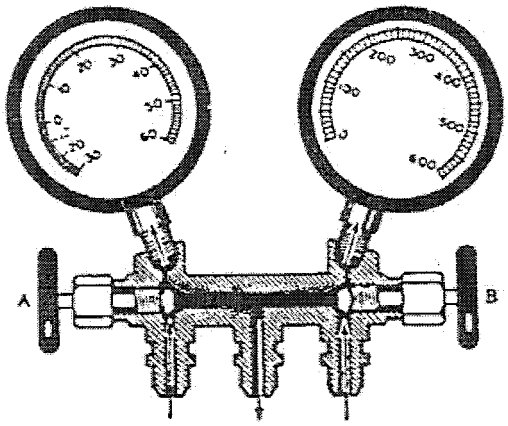
3. ท่อกลางของเกจแมนิโฟลด์ใช้ต่อเข้าสำหรับบริการ เช่น ปั๊มสุญญากาศ ท่อน้ำยา เป็นต้น



รูปที่ 3-32 แสดงภาพการต่อใช้เกจแมนิโฟลด์

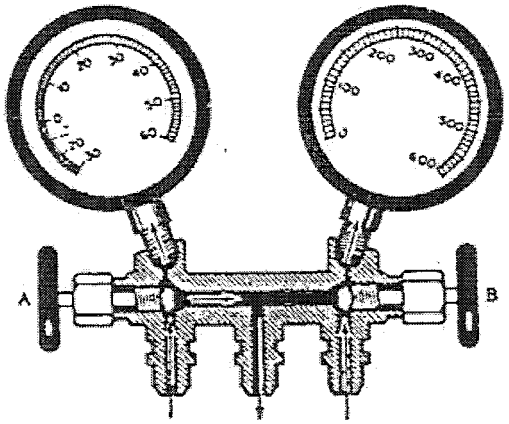
ลักษณะต่างๆของการใช้เกจแมนิโฟลด์

1. ใช้อ่านค่าความดันของระบบ ซึ่งวาล์ว A และ วาล์ว B อยู่ในตำแหน่งปิดทั้งคู่ ความดันในระบบทางด้านความดันต่ำและความดันสูง อ่านได้จากเกจทั้งคู่



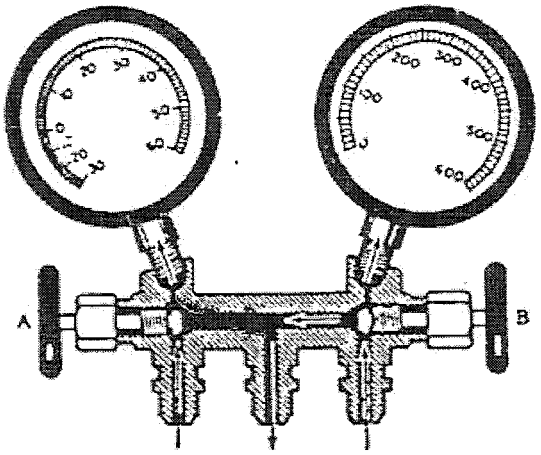
รูปที่ 3-33 แสดงภาพวาล์ว A วาล์ว B อยู่ในตำแหน่งปิดทั้งคู่

2. ใช้สำหรับชาร์จน้ำยาเข้าระบบหรือปล่อยน้ำยาออกจากระบบ วาล์ว A อยู่ในตำแหน่งเปิด วาล์ว B อยู่ในตำแหน่งปิด ใช้สำหรับให้น้ำยา (สถานะไอ) จากท่อบรรจุน้ำยาผ่านเข้าในระบบ ในทางกลับกัน ถ้าปล่อยสายกลางของเกจแมนิโฟลด์ออกจากท่อน้ำยา และวาล์วอยู่ในตำแหน่งนี้แล้วก็จะเป็นการปล่อยน้ำยาทิ้งออกจากระบบ



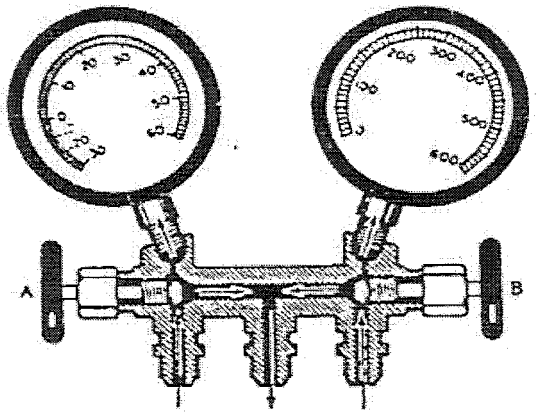
รูปที่ 3-34 แสดงภาพวาล์ว A อยู่ในตำแหน่งเปิด วาล์ว B อยู่ในตำแหน่งปิด

3. ใช้สำหรับไล่อากาศในสาย (Purging) หรทางด้านความดันสูง วาล์ว A อยู่ในตำแหน่งปิด และวาล์ว B อยู่ในตำแหน่งเปิด เป็นการให้น้ำยาจากระบบทางด้านความดันสูงไล่อากาศในสายหรือเป็นการปล่อยน้ำยาทิ้งออกจากระบบ



รูปที่ 3-35 แสดงภาพวาล์ว A อยู่ในตำแหน่งปิด วาล์ว B อยู่ในตำแหน่งเปิด

4. ใช้สำหรับทำสุญญากาศในระบบ วาล์ว A และวาล์ว B อยู่ในตำแหน่งเปิดทั้งคู่ สายท่อกลางของระบบต่อเข้ากับปั๊มสุญญากาศ



รูปที่ 3-36 แสดงภาพวาล์ว A วาล์ว B อยู่ในตำแหน่งเปิดทั้งคู่

ขั้นตอนการใช้เกจแมนิโฟลด์

1. หาตำแหน่งของวาล์วบริการในระบบ

2. คลายฝาครอบสำหรับเกจต่อเข้าเกจที่วาล์วบริการอย่างช้าๆ

3. ตรวจดูว่าวาล์วของเกจแมนิโฟลด์อยู่ในตำแหน่งปิดทั้งคู่หรือยัง

4. ต่อสายเกจเข้ากับวาล์วบริการ

5. ถ้าเป็นระบบที่ใช้วาล์วบริการปรับด้วยมือ หรือหมุนวาล์วบริการตามเข็มนาฬิกาประมาณ 1/4 รอบ

6. ขณะนี้ควรอ่านค่าความดันเกจได้บนเกจทั้งคู่ ถ้าไม่มีความดันเกิดขึ้น แสดงว่าภายในระบบไม่มีน้ำยา ให้หาตำแหน่งรั่วและทำการแก้ไข

7. ไล่อากาศในสายที่จุดนี้ โดย

- คลายสายที่เกจแมนิโฟลด์เล็กน้อย ปล่อยไอสารทำความเย็น ทิ้งออกประมาณ 3 วินาที หรือ

- คลายปลายสายกลางของเกจแมนิโฟลด์ออกจากท่อน้ำยาเล็กน้อย ใช้น้ำยาในระบบไล่อากาศ โดยเปิดวาล์วของเกจแมนิโฟลด์ทั้งคู่ ปล่อยให้น้ำยาจากในระบบรั่วทิ้งออกจากปลายสายกลางแล้วจึงขันปลายสายกลางเข้ากับท่อน้ำยาให้แน่น ปิดวาล์วเกจแมนิโฟลด์ทั้งคู่อีกครั้งหนึ่ง

8. เกจแมนิโฟลด์ขณะนี้พร้อมใช้งานได้แล้ว

3.3.8 การตรวจรั่วระบบ

1. สุญญากาศระบบเพื่อตรวจรั่ว

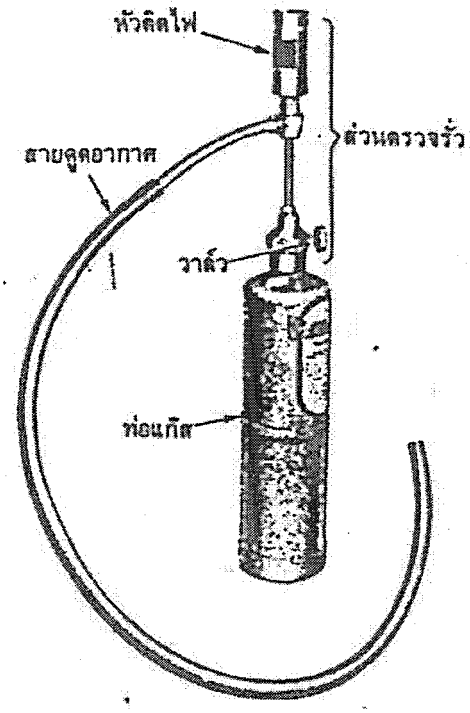
ทำโดยเมื่อทำสุญญากาศระบบแล้ว ให้ปิดวาล์วเกจแมนิโฟลด์ทิ้งไว้ประมาณ 8 – 24 ชั่วโมง แล้วดูว่าเข็มเกจขึ้นสูงหรือไม่

- ถ้าเข็มเกจสูงขึ้นแสดงว่าระบบรั่ว ต้องหาจุดที่รั่วและแก้ไขใหม่

- ถ้าเข็มเกจไม่สูงขึ้นแสดงว่าระบบไม่รั่ว สามารถชาร์จน้ำยาเข้าระบบต่อได้

2. ใช้ฟองสบู่ ใช้การอัดไอสารความเย็นเข้าไปในระบบ และใช้ฟองสบู่ตรวจรั่วตามข้อต่างๆ ตามท่อทางเดินน้ำยา หากมีการรั่วฟองสบู่จะโป่งออกจนแตก

3. ใช้ตะเกียง การตรวจรั่ววิธีอาศัยหลักคุณสมบัติน้ำยา R – 12, R – 22, R – 11 นั่นคือ เมื่อถูกเผาไหม้จะเปลี่ยนสีเปลวไฟ จากสีเหลืองส้ม เป็นสีเขียวตองอ่อน



รูปที่ 3 – 37 ตะเกียงตรวจรั่ว

3.3.9 การทำสุญญากาศระบบ (Evacuating The System)

การทำสุญญากาศระบบ หรือที่เรียกว่า การทำแวคคั่ม จะกระทำภายหลังจากการตรวจรั่วระบบแต่ก่อนที่จะชาร์จน้ำยาเข้าระบบ การทำสุญญากาศเป็นการใช้เครื่องปั๊มสุญญากาศ (Vacuum Pump) ดูดเอาอากาศและความชื้นภายในระบบออกให้หมด ถ้าเป็นระบบเก่าก็รวมการขจัดน้ำยาที่เสื่อมคุณภาพออกจากระบบ

ในขณะที่กำลังทำสุญญากาศระบบ ค่าความดันของเกจความดันต่ำ จะอ่านค่าได้ต่ำกว่า 0 ปอนด์/ตารางนิ้ว เกจจะแสดงให้เห็นว่าในระบบเป็นสุญญากาศซึ่งหมายถึงว่าความดันในระบบขณะนี้น้อยกว่าความดันบรรยากาศ

สิ่งที่สำคัญที่สุดของการทำสุญญากาศคือ ต้องดูดความชื้นออกจากระบบให้หมด จากหลักการที่ว่าเมื่อลดความดันที่ผิวหน้าของของเหลวจะทำให้จุดเดือดของของเหลวต่ำลงด้วย ฉะนั้นเมื่อระบบสุญญากาศหรือที่ความสูงของปรอทใกล้ 29 นิ้วปรอท น้ำจะมีจุดเดือดที่ 0 องศาฟาเรนไฮต์ ความชื้นที่เหลืออยู่ในระบบจะถูกเปลี่ยนสถานะ และถูกดูดออกมา

ระบบสุญญากาศ (นิ้วปรอท)	อุณหภูมิจุดเดือดของน้ำ (^{0}F)
24.04	140
25.30	130
26.45	120
27.32	110
27.99	100
28.50	90
28.89	80
29.18	70
29.40	60
29.66	50
29.71	40
29.76	30
29.82	20
29.86	10
29.87	5
29.88	0
29.90	-10
29.91	-20

ตารางที่ 3-1 อุณหภูมิจุดเดือดของน้ำภายใต้ความดันบรรยากาศ

การทำสุญญากาศในระบบควรทำตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. ต่อชุดเกจแมนิโฟลด์เข้ากับวาล์วบริการ
2. เปิดวาล์วทั้งคู่ของเกจแมนิโฟลด์
3. ต่อท่อกลางของเกจแมนิโฟลด์เข้ากับปั๊มสุญญากาศ
4. เดินเครื่องปั๊มสุญญากาศ
5. เข็มความดันของเกจวัดความดันต่ำเริ่มลดกว่าตำแหน่ง 0 (เกจวัดความดันสูงจะไม่สามารถอ่านค่าได้)
6. เมื่อเข็มวัดความดันต่ำอ่านถึง – 29.92 นิ้วปรอทให้เดินเครื่องปั๊มสุญญากาศต่อไปอีก 20 นาที
7. ถ้าเข็มของเกจวัดความดันต่ำไม่สามารถถึง -29.92 นิ้วปรอท ให้ทำการตรวจข้อต่อต่างๆ ให้หมด

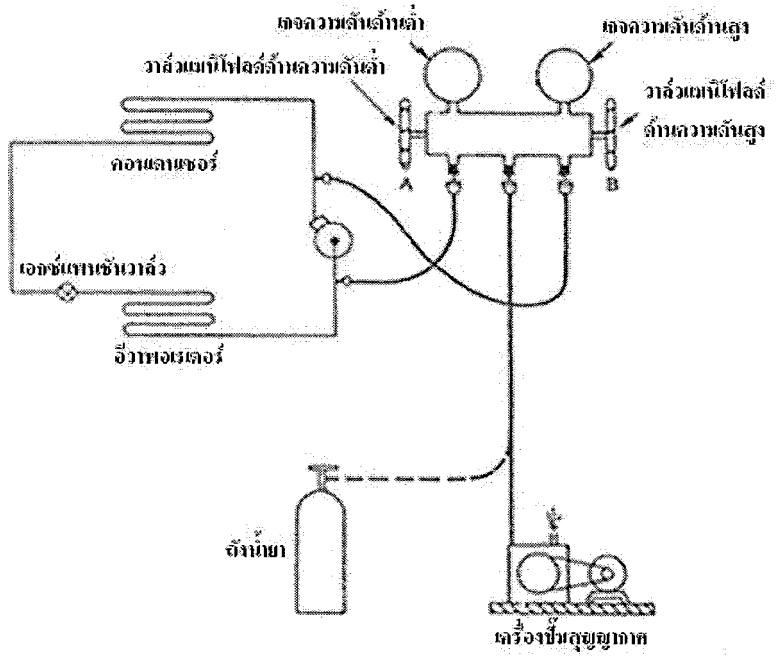
8. เกจทางสุญญากาศที่อ่านได้ไม่เป็นที่น่าพอใจ ให้หมุนวาล์วทั้งคู่ของ เกจแมนิโฟลด์ให้อยู่ในตำแหน่งปิด ถ้าค่าความดันสูงขึ้น (แต่ยังต่ำกว่า 0 ปอนด์/ตารางนิ้ว) แสดงว่าระบบรั่ว ให้หยุดเครื่องปั๊มสุญญากาศ แล้วค้นหาที่รั่ว

9. ถ้าเกจทางสุญญากาศคงที่ อยู่ในขณะที่วาล์วทั้งคู่ของแมนิโฟลด์เกจ อยู่ในตำแหน่งปิดแสดงว่าปั๊มสุญญากาศไม่ดีพอ

10. ภายหลังเดินเครื่องปั๊มสุญญากาศ 20 – 30 นาที แล้ว ปิดวาล์วทั้งคู่ของเกจแมนิโฟลด์

11. หยุดเดินเครื่องปั๊มสุญญากาศ

12. ขณะนี้ระบบทำสุญญากาศเรียบร้อยแล้ว พร้อมที่จะชาร์จน้ำยาเข้าระบบต่อไป



รูปที่ 3-38 แสดงภาพการทำสุญญากาศระบบ

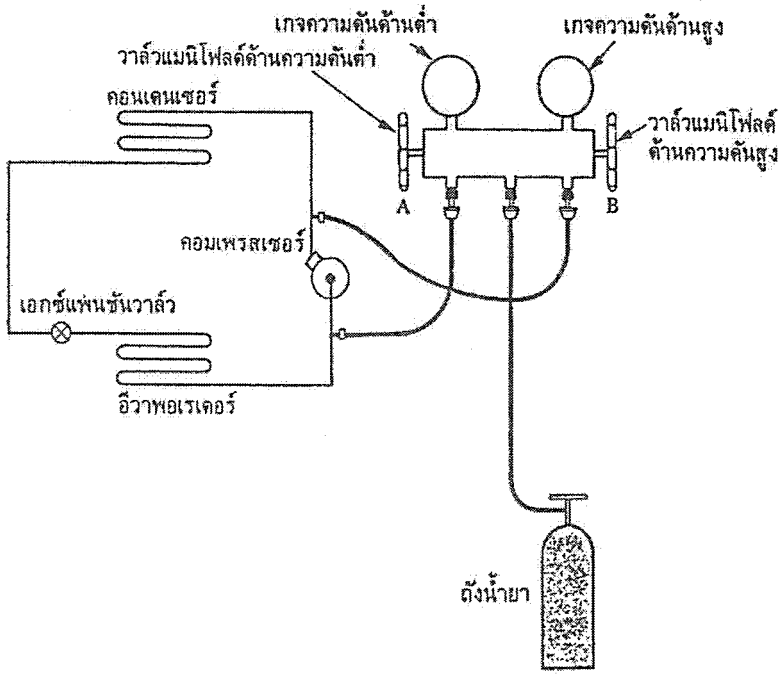
3.3.10 การชาร์จน้ำยาเข้าระบบ (Charging The System)

การชาร์จน้ำยาเข้าระบบเป็นการปฏิบัติต่อจากการทำสุญญากาศระบบ สายกลางของแมนิโฟลด์ที่ปลดออกจากปั๊มสุญญากาศ หลังจากหยุดการทำสุญญากาศระบบแล้วจะถูกต่อเข้ากับท่อบรรจุน้ำยา

การชาร์จน้ำยาในสถานะไอเข้าในระบบทางด้านความดันต่ำ เป็นการชาร์จไอสารความเย็น เข้าในระบบทางด้านความดันต่ำ โดยเดินมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ดูดน้ำยาเข้าในระบบการเติมน้ำยาเข้าระบบโดยวิธีนี้จะใช้เวลาเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่เป็นวิธีที่ธรรมดาๆ และปลอดภัย

ลำดับการชาร์จน้ำยาในสถานะไอเข้าในระบบมีดังนี้

1. ถอดปลายสายกลางของเกจแมนิโฟลด์ออกจากเครื่องปั๊ม แล้วต่อเข้ากับถังน้ำยา
2. เปิดวาล์วท่อน้ำยา (สถานะไอ)
3. ใช้น้ำยาในท่อไล่อากาศที่ค้างอยู่ในเกจแมนิโฟลด์ โดยคลายปลายสาย ด้านติดกับเกจแมนิโฟลด์ออกเล็กน้อยปล่อยให้น้ำยาจากในท่อไล่อากาศออกทิ้ง ขันปลายสายกลับแน่นดังเดิม
4. เปิดวาล์ว A ชาร์จน้ำยาเข้าระบบเล็กน้อย
5. เดินมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ของระบบเครื่องทำความเย็น
6. ค่อยๆ เปิดวาล์ว A ควบคุมให้น้ำยาสถานะก๊าซ ชาร์จน้ำยาเข้าในระบบ สังเกตดูเข็มของเกจแมนิโฟลด์ทางด้านความดันสูงและความดันต่ำ ให้ได้ตามเกณฑ์
7. ปิดวาล์ว A เมื่อความดันในระบบทางด้านสูงและด้านต่ำได้ตามเกณฑ์แล้ว
8. ทดลองเดินเครื่องทำความเย็นในขณะที่ยังติดเกจแมนิโฟลด์อยู่กับระบบอย่างน้อยประมาณ 3 ชั่วโมง



รูปที่ 3-39 แสดงภาพการบรรจุน้ำยาในสถานะแก๊สเข้าในระบบทางด้านความดันต่ำ

3.4 วิธีการทดลอง

1. กำหนดค่าอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ โดยช่วงอุณหภูมิที่กำหนดเพื่อใช้ในการทดสอบคือ 27^{0}C db และ 19 ^{0}C wb ตามมาตรฐาน

2. จ่ายไฟให้กับมอเตอร์ 1 แรงม้า

3. ปรับความถี่ที่อินเวอร์เตอร์ ตามความถี่ที่กำหนดในการทดสอบ โดยมีค่าความถี่ที่กำหนดในการทดสอบดังนี้ คือ 30 Hz, 35 Hz, 40 Hz, 45 Hz และ 50 Hz ตามลำดับ

4. ปรับวาล์วควบคุมน้ำยาโดยที่น้ำยาไหลผ่านวาล์วมากที่สุด

5. รอจนกระทั่งระบบคงที่

6. จากนั้นใส่ภาระให้กับระบบ พร้อมทั้งปรับภาระที่ให้แก่ระบบ จนค่าอุณหภูมิที่วัดได้จากภายในห้องเท่ากับค่าอุณหภูมิที่ได้กำหนดไว้

7. เมื่อระบบคงที่ ให้ทำการบันทึกค่าความดันและอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ พร้อมทั้งภาระที่ใส่ให้แก่ระบบ

8. ทำการทดสอบใหม่ โดยที่เปลี่ยนค่าความถี่ที่กำหนดไว้ในข้อ 3 ตามลำดับ (ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 5)

9. นำค่าที่ได้จากการทดสอบที่ความถี่ต่างๆมาคำนวณหา COP ของระบบทำความเย็น เพื่อทำการสรุปผลการทดสอบสำหรับการทดสอบที่กำหนดให้อุณหภูมิที่ต้องการวัดได้จากอีวาพอเรเตอร์เท่ากับ 27^{0}C db และ 19 ^{0}C wb ตามมาตรฐาน

บทที่ 4

ผลการทดลอง

กำหนดอุณหภูมิตามมาตรฐาน (ภายในห้อง 27^{0}C db 19^{0}C wb นอกห้องทดสอบ 35^{0}C db 24^{0}C wb)

Frequency(Hz)	**30**	**35**	**40**	**45**	**50**
Pressure (Bar)					
Evaporator in	0.944	0.944	0.944	0.875	0.806
Evaporator out	0.875	0.875	0.875	0.806	0.772
Compressor in	0.841	0.841	0.841	0.772	0.737
Compressor out	1.806	1.875	2.013	2.082	2.254
Condenser in	1.737	1.806	1.944	2.013	2.151
Condenser out	1.703	1.772	1.910	1.944	2.010
Liquid line	1.565	1.599	1.634	1.634	1.668
Temperature (^{0}C)					
Evaporator in	21.6	21	20.3	19.4	17.1
Evaporator out	24.1	23.5	22.4	21.5	19.3
Compressor in	27.4	26.4	26.2	25.7	24.6
Comp. out, Cond. In	87.4	91.3	94.9	99	104
Condenser out	35.6	36.2	36.8	37.2	37.8

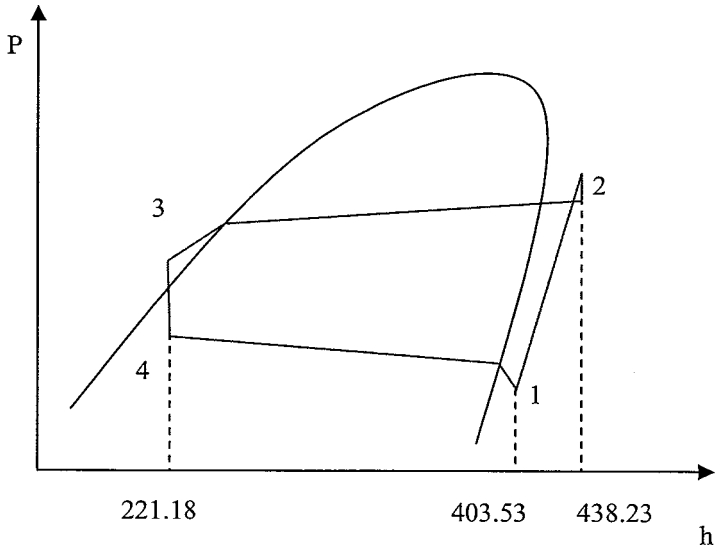
ตารางที่ 4-1 แสดงผลการทดลอง ที่อุณหภูมิตามมาตรฐาน

Motor					
Current	0.76	0.96	1.16	1.48	1.55
Voltage	235	270	304	343	380
Load (Heater)					
Current	4.5	5.1	5.6	6.0	6.3
Voltage	145	170	190	205	220

ตารางที่ 4-2 แสดงผลการทดลอง ที่อุณหภูมิตามมาตรฐาน(ต่อ)

4.1 P-h diagram จากการทดลอง

4.1.1 P-h diagram ที่ความถี่ 30 Hz



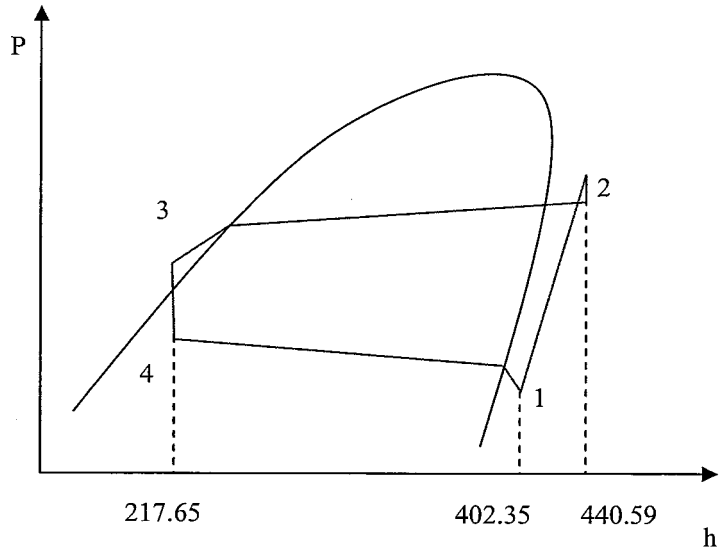
รูปที่ 4-1 กราฟค่าเอนทาลปีที่สภาวะมาตรฐาน ความถี่ 30 Hz

จากกราฟ P – h Diagram h_1 = 403.53 kJ/kg

h_2 = 438.23 kJ/kg

$h_3 = h_4$ = 217.06 kJ/kg

4.1.2 P-h diagram ที่ความถี่ 35 Hz



รูปที่ 4-2 กราฟค่าเอนทาลปี้ที่สภาวะมาตรฐาน ความถี่ 35 Hz

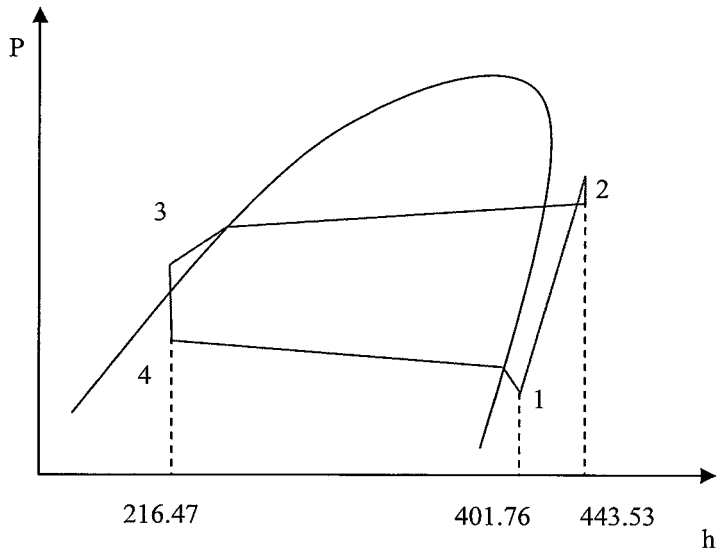
จากกราฟ P – h Diagram

h_1 = 402.35 kJ/kg

h_2 = 440.59 kJ/kg

$h_3 = h_4$ = 217.65 kJ/kg

4.1.3 P-h diagram ที่ความถี่ 40 Hz



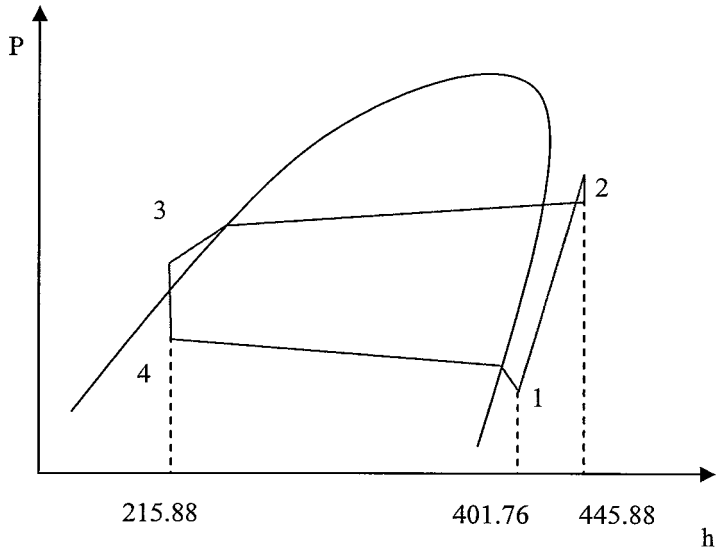
รูปที่ 4-3 กราฟค่าเอนทาลปี้ที่สภาวะมาตรฐาน ความถี่ 40 Hz

จากกราฟ P – h Diagram h_1 = 401.76 kJ/kg

h_2 = 443.53 kJ/kg

$h_3 = h_4$ = 216.47 kJ/kg

4.1.4 P-h diagram ที่ความถี่ 45 Hz



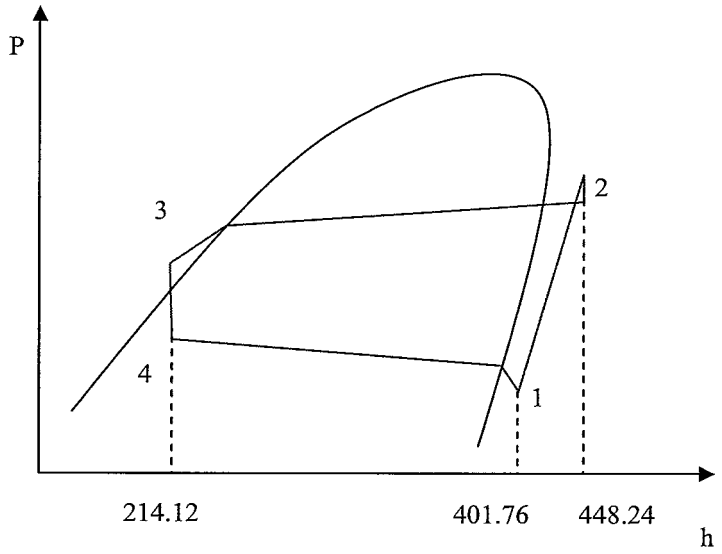
รูปที่ 4-4 กราฟค่าเอนทาลปี้ที่สภาวะมาตรฐาน ความถี่ 45 Hz

จากกราฟ P – h Diagram h_1 = 401.76 kJ/kg

h_2 = 445.88 kJ/kg

$h_3 = h_4$ = 215.88 kJ/kg

4.1.5 P-h diagram ที่ความถี่ 50 Hz



รูปที่ 4-5 กราฟค่าเอนทาลปี้ที่สภาวะมาตรฐาน ความถี่ 50 Hz

จากกราฟ P – h Diagram $h_1 = 401.76$ kJ/kg

$h_2 = 448.24$ kJ/kg

$h_3 = h_4 = 214.12$ kJ/kg

4.2 ผลการคำนวณ

ตัวอย่างผลการคำนวณซึ่งจะนำค่าต่างๆ ที่ได้จากผลการทดลอง มาคำนวณตามสูตรต่อไปนี้ ที่อุณหภูมิห้องทดสอบตามมาตรฐาน ที่ความถี่มอเตอร์ 30 Hz

ผลการทำความเย็นที่ อีวาพอเรเตอร์ คือ

$$Q_{eva}/m_e = h_1 - h_4 \text{ kJ/kg}$$

$$= 186.47 \text{ kJ/kg}$$

ผลการระบายความร้อนที่ คอนเดนเซอร์ คือ

$$Q_{cond}/m_h = h_2 - h_3 \text{ kJ/kg}$$

$$= 221.17 \text{ kJ/kg}$$

งานที่คอมเพรสเซอร์ต้องการ คือ

$$W_c / m_c = h_2 - h_1 \quad \text{kJ/kg}$$
$$= 34.7 \quad \text{kJ/kg}$$

ประสิทธิภาพการทำความเย็นจากกราฟ P – h Diagram คือ

$$COP_{cal} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$
$$= 5.374$$

กำลังไฟฟ้าที่ให้กับมอเตอร์

$$P_{motor} = \sqrt{3} IV \cos\theta$$
$$= \sqrt{3} \times 0.76 \times 235 \times 0.78$$
$$= 0.241 \quad \text{kw}$$

ภาระที่ให้กับห้อง

$$P_{load} = IV$$
$$= 4.5 \times 145$$
$$= 0.652 \quad \text{kw}$$

ประสิทธิภาพการทำความเย็นจริง คือ

$$COP_{real} = \frac{Q_{eva}}{W_c}$$
$$= \frac{0.652}{0.241}$$
$$= 2.7$$

อัตราการกินพลังงาน (Energy Efficiency Ratio) คือ

$$EER_{cal} = COP_{cal} \times 3.412$$
$$= 5.374 \times 3.412$$
$$= 18.33$$
$$EER_{real} = COP_{real} \times 3.412$$
$$= 2.7 \times 3.412$$
$$= 9.21$$

Frequency(Hz)	30	35	40	45	50
Power motor (kilowatt)					
Power motor	0.241	0.350	0.476	0.685	0.795
Power load (kilowatt)					
Power load	0.652	0.868	1.064	1.230	1.386
COP					
COP calculate	5.374	4.831	4.436	4.213	4.037
COP real	2.7	2.48	2.24	1.796	1.743
EER					
EER calculate	18.33	16.48	15.13	14.37	13.77
EER real	9.21	8.46	7.64	6.13	5.95

ตารางที่ 4-3 แสดงผลการคำนวณ ที่อุณหภูมิตามมาตรฐาน

Power input (kilowatt)				
Power input	0.627	0.576	0.479	0.45
Power load (kilowatt)				
Power load	1.917	1.898	1.789	1.740
COP by-pass				
COP by-pass	3.05	3.29	3.73	3.86
EER by-pass				
EER by-pass	10.43	11.25	12.75	13.20

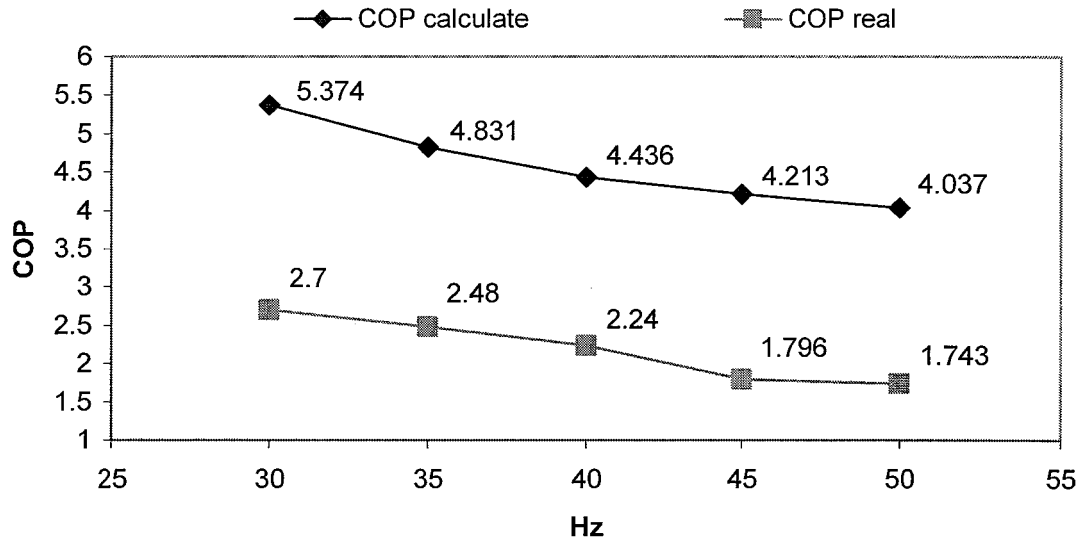
ตารางที่ 4-4 แสดงผลการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศที่ใช้คอมเพรสเซอร์
ในระบบการควบคุมการทำความเย็นโดยวิธีบายพาสไอสารทำความเย็น (ใช้สารทำความเย็นR-12)

Power input (kilowatt)					
Power input	1.959	1.777	1.377	0.996	1.214
Power load (kilowatt)					
Power load	5.527	5.358	5.281	4.224	4.803
COP exv					
COP exv	2.822	3.016	3.834	4.241	3.954
EER					
EER exv	9.629	10.291	13.081	14.31	13.493

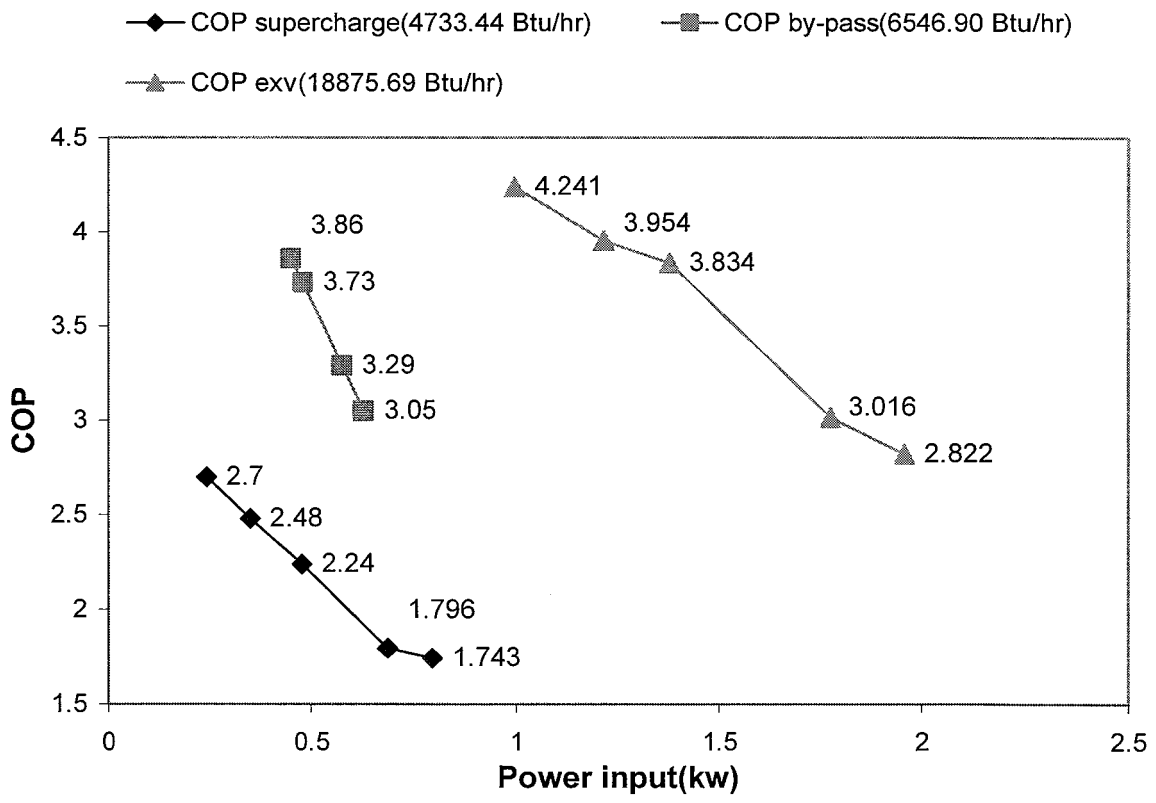
ตารางที่ 4-5 แสดงผลการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศที่ใช้คอมเพรสเซอร์ ในการพัฒนาโปรแกรมเพื่อควบคุมอิเลคทรอนิคส์เอ็กซ์แปนชั่นวาล์วและอินเวอร์เตอร์ สำหรับเครื่องทำความเย็นขนาดเล็ก EXV (ใช้สารทำความเย็นR-22)

เบอร์ 1	**EER ≥ 6.6**
เบอร์ 2	**EER ≥ 7.6**
เบอร์ 3	**EER ≥ 8.6**
เบอร์ 4	**EER ≥ 9.6**
เบอร์ 5	**EER ≥ 10.6**

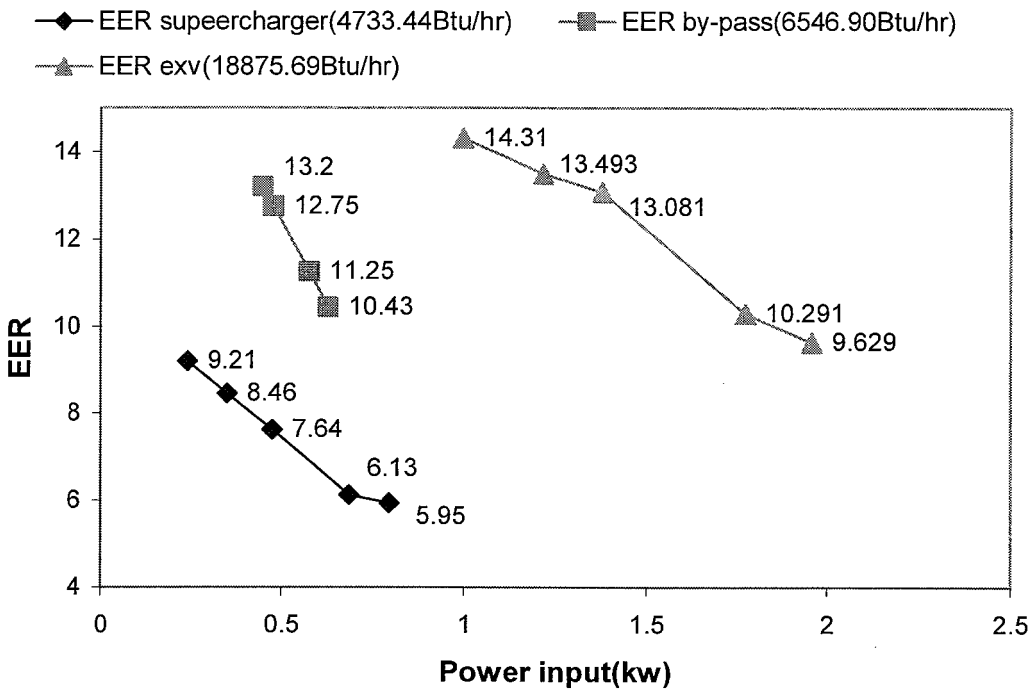
ตารางที่ 4-6 แสดงเบอร์เครื่องปรับอากาศในปัจจุบัน



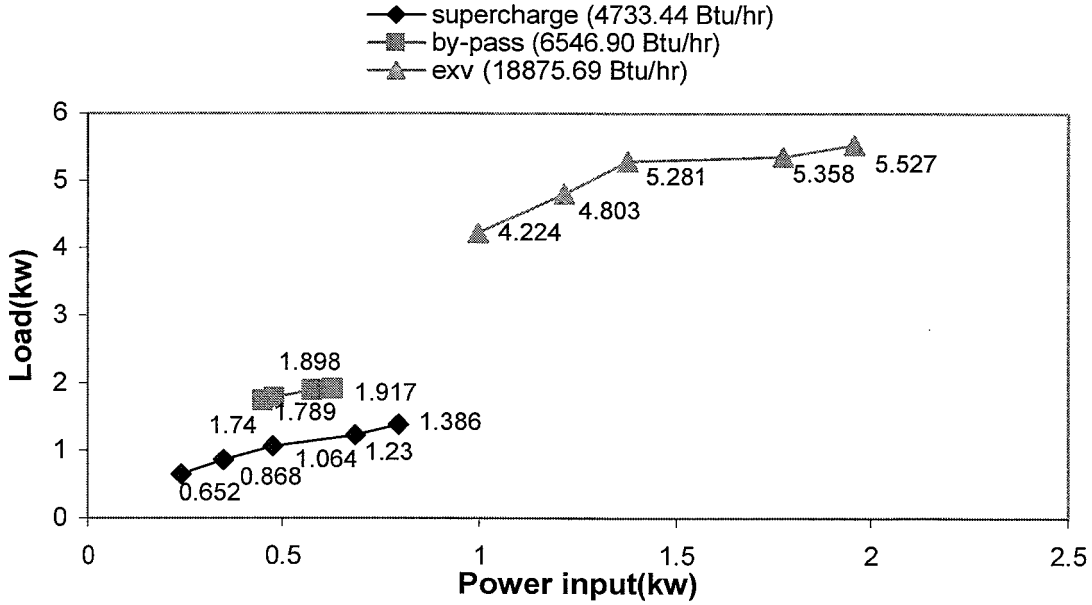
กราฟที่ 4-1 แสดงค่า COP ที่ความถี่ต่างๆ ที่สภาวะมาตรฐานของซูเปอร์ชาร์จเจอร์



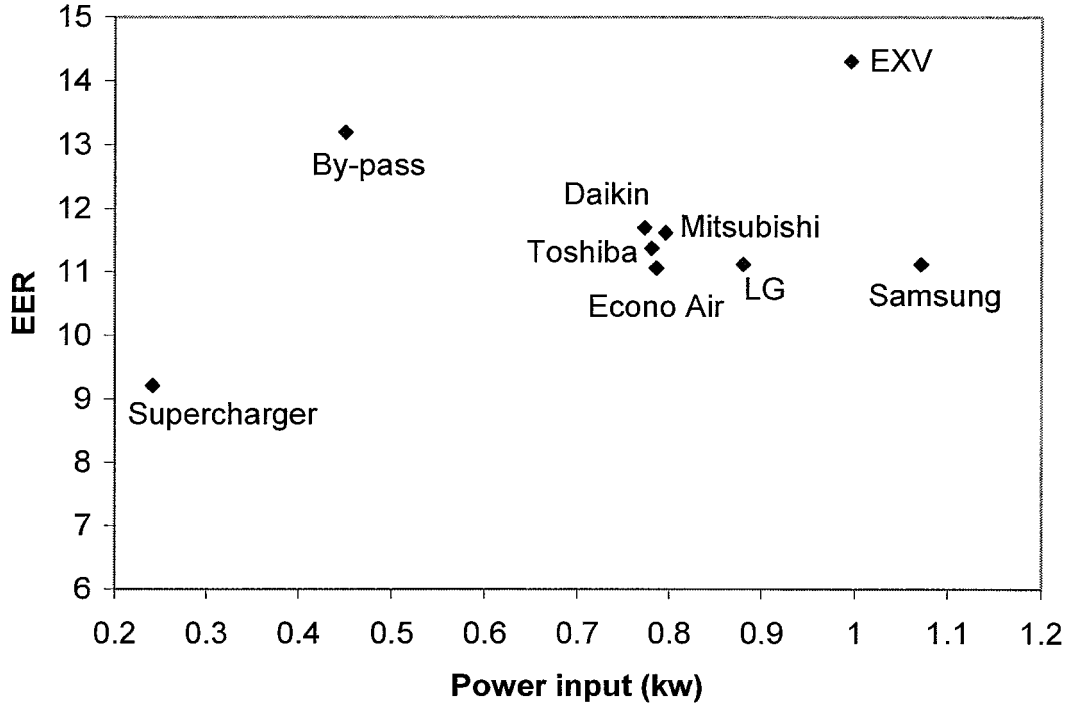
กราฟที่ 4-2 แสดงการเปรียบเทียบ ค่า COP จริงและกำลังที่ให้จริง ระหว่างซูเปอร์ชาร์จเจอร์กับคอมเพรสเซอร์ระบบต่างๆ



กราฟที่ 4-3 แสดงการเปรียบเทียบ ค่า EER จริงและกำลังที่ให้จริง ระหว่างซูเปอร์ชาร์จเจอร์กับคอมเพรสเซอร์ระบบต่างๆ



กราฟที่ 4-4 แสดงการเปรียบเทียบงานที่ให้กับภาระการทำความเย็นระหว่างซูเปอร์ชาร์จเจอร์กับคอมเพรสเซอร์ระบบต่างๆ



กราฟที่ 4-5 แสดงการเปรียบเทียบงานที่ให้กับ EER ระหว่างเครื่องปรับอากาศทั่วไปๆ ในท้องตลาด

ตราผลิตภัณฑ์	Power input (kilowatt)	Power load (kilowatt)	COP	EER	R.E (Btu/hr)
Mitsubishi	0.796	2.713	3.41	11.62	9265.63
Econo Air	0.786	2.548	3.24	11.06	8704.01
Daikin	0.773	2.649	3.43	11.70	9049.65
L G	0.880	2.869	3.26	11.12	9799.26
Samsung	1.072	3.495	3.26	11.12	11935.18
Toshiba	0.781	2.604	3.33	11.37	8891.67

ตารางที่ 4-7 แสดงค่าประสิทธิภาพการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศแต่ละตราผลิตภัณฑ์ที่สุ่มเลือกมาจากท้องตลาดในปัจจุบัน

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพการทำความเย็น(COP) กับความถี่ต่างๆ ที่สภาวะมาตรฐาน พบว่าค่าประสิทธิภาพการทำความเย็น(COP) จะสูงที่สุดที่ความถี่ 30 Hz กล่าวคือ 5.374 สำหรับค่าประสิทธิภาพการทำความเย็น(COP)จากการคำนวณ และ2.7 สำหรับค่าประสิทธิภาพการทำความเย็น(COP)จากการทดสอบจริง แต่ถ้าหากลดความถี่ลงให้ต่ำกว่า 30 Hz ระบบที่ทำการทดลองจะไม่สามารถทำความเย็นภายในห้องทดสอบได้ตามสภาวะที่ได้ออกแบบไว้ได้ และค่าประสิทธิภาพการทำความเย็น(COP) จะมีค่าลดลง เมื่อความถี่เพิ่มขึ้น เพราะ เมื่อความถี่เพิ่มขึ้นทำให้ซูเปอร์ชาร์จเจอร์หมุนเร็วขึ้น เป็นผลให้เกิดความร้อนทางด้านจ่ายมากขึ้น

2. จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพการทำความเย็น(COP) กับกำลังที่ให้แก่ระบบที่สภาวะมาตรฐาน พบว่าค่าประสิทธิภาพการทำความเย็น(COP) จะสูงที่สุด เมื่อให้กำลังแก่ระบบ 0.241 kW สำหรับกำลังที่ให้แก่ระบบจากการทดสอบจริง และค่าประสิทธิภาพการทำความเย็น(COP) จะมีค่าลดลง เมื่อกำลังที่เพิ่มให้กับระบบมากขึ้น เพราะ เมื่อกำลังที่ให้แก่ระบบเพิ่มขึ้นทำให้ซูเปอร์ชาร์จเจอร์หมุนเร็วขึ้น เป็นผลให้เกิดความร้อนทางด้านจ่ายมากขึ้นตามไปด้วย

3. จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังที่ให้แก่ระบบกับภาระที่ให้แก่ระบบ ที่สภาวะมาตรฐาน พบว่าภาระที่ให้แก่ระบบแปรผันตรงกับกำลังที่ให้แก่ระบบ ซึ่งหมายความว่า ถ้ากำลังที่ให้แก่ระบบมีค่ามากขึ้นนั่นคือ ความถี่มากขึ้น จะทำให้ระบบสามารถทำความเย็นได้มากขึ้นตามไปด้วย (แต่ COP จะมีค่าลดลง)

5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากระบบปรับอากาศที่ได้ทำการศึกษานั้น ได้ใช้ R-11 เป็นสารทำความเย็นให้แก่ระบบ โดยปกติแล้ว R-11 อยู่ในสถานะของเหลวเมื่อทำงานอยู่ในอีวาพอเรเตอร์ต้องใช้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ และเป็นสารที่มีปริมาตรจำเพาะสูง เมื่อเป็นแก๊ส ดังนั้นจึงต้องการพื้นที่ในเครื่องอัดมาก ซึ่งเหมาะในการใช้กับเครื่องอัดแบบแรงเหวี่ยง แต่ในการศึกษาระบบปรับอากาศนี้ ได้นำซุปเปอร์ชาร์จเจอร์มาอัดไอของสารทำความเย็นแทนเครื่องอัด ดังนั้นประสิทธิภาพที่ได้จึงต่ำกว่าระบบที่ใช้เครื่องอัดแบบแรงเหวี่ยงในระบบทำความเย็นระบบใหญ่ที่ใช้โดยทั่วไป อีกทั้งการออกแบบคอยล์เย็นจะมีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพของระบบทำความเย็น

พลังงานขับซูเปอร์ชาร์จเจอร์ที่ได้จากการหมุนของรอกสายพานผ่านแกนหมุนและแบริ่งไปสู่อุปกรณ์ที่ใช้ในการอัดไอที่มีขนาดใหญ่กว่าอุปกรณ์อัดไอทั่วไปในคอมเพรสเซอร์ ทำให้เกิดการเสียดสีและเกิดเป็นพลังงานความร้อนเพิ่มเข้าไปสู่สารทำความเย็น จึงทำให้สารทำความเย็นมีอุณหภูมิสูงขึ้นทางด้านจ่ายสูง เป็นผลให้ค่า COP ลดลง และเมื่อเพิ่มความถี่ของมอเตอร์มากขึ้นทำให้ซูเปอร์ชาร์จเจอร์หมุนเร็วขึ้น จึงทำให้เกิดความร้อนมากขึ้น เป็นผลให้ค่า COP ลดน้อยลง ซึ่งแก้ไขได้โดยการเพิ่มขนาดพื้นที่ระบายความร้อนของคอนเดนเซอร์เพื่อการถ่ายเทความร้อนที่ดีมากขึ้น

บรรณานุกรม

[1] ผศ. ธวัชชัย นาคพิพัฒน์ , "ระบบการควบคุมการทำความเย็นโดยวิธีบายพาสไอสารทำความเย็น" ปริญญานิพนธ์ ปี พ.ศ. 2543 คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[2] ผศ. ธวัชชัย นาคพิพัฒน์ , "การพัฒนาโปรแกรมเพื่อควบคุมอิเลคทรอนิคส์เอ็กซ์แปนชั่นวาล์วและอินเวอร์เตอร์ สำหรับเครื่องทำความเย็นขนาดเล็ก" ปริญญานิพนธ์ ปี พ.ศ. 2550 คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[3] อัครเดช สินธุภัค, "การทำความเย็น", ตำราชุดวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, พิมพ์ ครั้งที่ 3, กรุงเทพฯ, ปี พ.ศ. 2538.

[4] ประจักษ์ ภักดีรัตน์, "เทคนิคเครื่องเย็นและการปรับอากาศ", สำนักพิมพ์นิยมวิทยา, กรุงเทพฯ, ปี พ.ศ. 2533.

[5] สมศักดิ์ สุโมตยกุล, "เครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศ", บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, กรุงเทพฯ, ปี พ.ศ. 2521.

[6] วิทยา ยงเจริญ, "พื้นฐานการทำความเย็นและการปรับอากาศ (ภาคทฤษฎี)", สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ, ปี พ.ศ. 2544.

[7] Richard G.Jordan and Gayle B.Priester, "Refrigeration & Air Conditioning", 2nd edition, Prentice-Hall of India Private Limited New Delhi,1973.

สืบค้นข้อมูลออนไลน์ของบทความและปริญญานิพนธ์ได้ที่
www.kmitl.info

บทความประกอบวิชา 01054025 โครงงาน 2 ภาคเรียนที่ 2/2550 วันจันทร์ที่ 31 มีนาคม 2551

เครื่องปรับอากาศความดันต่ำขนาดเล็ก[1]

ภาคภูมิ เกตุรุ่งหิรัญ[2], สีหราช ขุนทา[2], สุเทพ แร่อ่อน[2], ธวัชชัย นาคพิพัฒน์[3]

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการศึกษาเพื่อสร้างเครื่องปรับอากาศความดันต่ำขนาดเล็ก ที่มีส่วนผสมกันระหว่างระบบการทำความเย็นแบบอัดไอและคอยล์เย็นแบบน้ำยาท่วม มีการทำความเย็นโดยอาศัยการระเหยของสารทำความเย็นที่ท่วมอีวาพอเรเตอร์ โดยโครงงานการศึกษานี้ใช้ R- 11 เป็นสารทำความเย็น ใช้ซูเปอร์ชาร์จเจอร์ ชนิดรูท ในการดูดและอัดไอของสารทำความเย็นที่ออกจากอีวาพอเรเตอร์แทนคอมเพรสเซอร์ โดยพลังงานที่ให้แก่ซูเปอร์ชาร์จเจอร์ได้จากมอเตอร์ จุดที่เน้นในการศึกษาโครงงานนี้คือ ความสามารถในการทำความเย็นของระบบโดยใช้พลังงานในการอัดไอสารทำความเย็นที่น้อยที่สุด

Abstract

The purpose of this project is to develop the small-sized of low-pressured air conditioner. It is done by the mixing of vapor-compression refrigerating system and flooded system. The system utilizes the evaporation of the refrigerant that floods over the evaporator. In this case, R-11 has been used as the refrigerant and the root supercharger has been used in as compressor. Motor power will be the power source for operating the supercharger. The focus of this project is on the refrigerating capability of the system by using the minimum power in order to compress the vapor of the refrigerant.

© 2006 Department of Mechanical Engineering, KMITL. All rights reserved

Keywords: small-sized low-pressure air conditioner; flooded system

1. บทนำ

ปัจจุบันนี้เครื่องทำความเย็นมีบทบาทต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์มาก ไม่ว่าจะเป็นการนำระบบการทำความเย็นมาอำนวยความสะดวกในชีวิตประจำวันตลอดจนนำไปใช้ในการเก็บรักษาอาหารเครื่องดื่ม ยารักษาโรค การปรับอากาศ และนำไปใช้เป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม ซึ่งจากอดีตจนถึงปัจจุบันได้มีการศึกษาและพัฒนาระบบการทำความเย็นให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นเพื่อให้ใช้ประโยชน์ได้สูงสุด

ในระบบเครื่องปรับอากาศที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายจากอดีตจนถึงปัจจุบันคือ ระบบการทำความเย็นแบบอัดไอที่ใช้คอมเพรสเซอร์เป็นส่วนประกอบหลักและสารทำความเย็นเป็นส่วนประกอบที่สำคัญ ในโครงงานนี้ได้เสนอเครื่องปรับอากาศความดันต่ำ ขนาดเล็ก ซึ่งอาจเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการทำความเย็น

โครงงานนี้ได้นำเทคนิคของการทำความเย็นอีกวิธีหนึ่งมาทำการดำเนินการในโครงงาน เป็นการทำเครื่องปรับอากาศขนาดเล็กที่มีส่วนผสมกันระหว่างระบบการทำความเย็นแบบอัดไอความดันต่ำ โดยใช้ความรู้เบื้องต้นทางด้านการทำความเย็นและวิธีการต่างๆในทางวิศวกรรมเป็นแนวทางที่ใช้ในโครงงานนี้เพื่อการปรับอากาศที่ใช้พลังงานต่ำ โครงงานนี้เป็นการศึกษาถึงหลักการทำงานของเครื่องปรับอากาศความดันต่ำ ขนาดเล็ก ซึ่งความเป็นไปได้อาจจะต้องมีการพัฒนาต่อไปในอนาคต

---

[1] ชื่ออังกฤษ "Small sized of low pressure air conditioner"

[2] นักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สจล. ห้อง 4G รหัส 47010557 47010844 และ 47010865 ตามลำดับ

[3] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สจล., โทร. 0 2326 4197, อีเมล *kntawatc@kmitl.ac.th*

สัญลักษณ์

COP_{th}	สมรรถนะทางทฤษฎีของการทำความเย็น	m_e	ปริมาณสารทำความเย็นที่ไหลผ่านอีวาพอเรเตอร์
h_1	เอนทาลปีของสารทำความเย็นก่อนเข้าอีวาพอเรเตอร์	m_h	ปริมาณสารทำความเย็นที่ไหลผ่านคอนเดนเซอร์
h_2	เอนทาลปีของสารทำความเย็นก่อนเข้าคอมเพรสเซอร์	Q	ปริมาณความร้อนที่ทำให้น้ำแข็ง 1 ตันละลายเป็นน้ำ
h_3	เอนทาลปีของสารทำความเย็นที่ออกจากคอมเพรสเซอร์	Q_{cond}	ปริมาณความร้อนที่คายออกจากคอนเดนเซอร์
h_4	เอนทาลปีของสารทำความเย็นที่ออกจากคอนเดนเซอร์	Q_{eva}	ค่าการทำความเย็นที่อีวาพอเรเตอร์
L	ความร้อนแฝงของน้ำแข็ง	V	อัตราการไหลโดยปริมาตรของสารทำความเย็น
m	มวลของน้ำแข็ง	v_g	ปริมาตรจำเพาะของสารทำความเย็น
m_c	ปริมาณสารทำความเย็นที่ไหลผ่านคอมเพรสเซอร์	W_c	กำลังงานที่ใช้ของคอมเพรสเซอร์

.1 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

.1.1 เพื่อนำสารทำความเย็น R – 11 ที่ยังมีอายุการใช้งานเหลืออยู่ 10 - 15 ปีมาใช้ให้เกิดประโยชน์

.1.2 เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องปรับอากาศความดันต่ำที่ใช้งานได้

.1.3 เป็นต้นแบบเพื่อนำไปพัฒนาในอนาคตได้

.2 ขอบเขตของโครงงาน

.2.1 ศึกษาและวิเคราะห์หาสมรรถนะการทำความเย็นที่มีส่วนผสมระหว่างการทำความเย็นแบบอัดไอและคอยล์เย็นแบบน้ำยาท่วม

.2.2 ศึกษาสารทำความเย็นที่สนใจ เพื่อเลือกใช้งานได้เหมาะสม

.2.3 ศึกษาเพื่อพิจารณาเลือก ออกแบบ เครื่องปรับอากาศที่เหมาะสมกับระบบทดสอบที่ออกแบบไว้

.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงงาน

.3.1 ทำให้ผู้วิจัยได้รู้วิธีการศึกษาและหาคำตอบของปัญหา เพื่อให้โครงงานบรรลุวัตถุประสงค์

.3.2 ทำให้ผู้วิจัยเข้าใจระบบเครื่องปรับอากาศ อุปกรณ์ในระบบเครื่องปรับอากาศ และสามารถออกแบบเครื่องปรับอากาศได้

.3.3 โครงงานนี้เป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนาต่อในอนาคต

.4 วิธีการดำเนินงาน

ขั้นตอนในการดำเนินงานของโครงงานสามารถแบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอนหลัก ซึ่งขั้นตอนแรกเป็นการศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีการทำความเย็น อุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในระบบเครื่องทำความเย็น ตลอดจนศึกษาการทำความเย็นแบบอัดไอโดยใช้ P-h Diagram เปรียบเทียบการทำงานซึ่งรายละเอียดอยู่ในหัวข้อที่ 2

ในส่วนต่อมาจะศึกษาและออกแบบอุปกรณ์ เพื่อที่จะสร้างชุดทดลองทำการทดสอบสมรรถนะของซูเปอร์ชาร์จที่จะใช้เป็นเครื่องอัดไอและสารทำความเย็นที่จะนำมาใช้กับเครื่องปรับอากาศ

เมื่อทำการทดสอบเสร็จนำผลที่คำนวณได้มาวิเคราะห์แนวโน้มของระบบเครื่องปรับอากาศที่ได้ออกแบบไว้

ในส่วนสุดท้ายจะเป็นการนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงงานนี้ ข้อเสนอแนะในการดำเนินการโครงงาน รวมทั้งข้อปรับปรุงแก้ไขเพิ่มเติมเพื่อให้โครงงานนี้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น

2 ทฤษฎีและหลักการ

2.1 การทำความเย็น (Refrigeration)

การทำความเย็นหมายถึงการทำให้อุณหภูมิในบริเวณนั้นต่ำลงโดยการดูดความร้อนออกจากบริเวณที่ต้องการให้เย็น แล้วนำความร้อนนั้นไปคายในแหล่งที่มีอุณหภูมิสูงกว่า

ในทางเทอร์โมไดนามิกส์มีกระบวนการต่างๆหลายกระบวนการที่สามารถทำให้อุณหภูมิลดต่ำลงได้ดังนี้

1.การเพิ่มอุณหภูมิของสารที่เย็น

โดยการนำสารที่ต้องการทำให้เย็นมาสัมผัสกับสารที่เย็นกว่า ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อน โดยเรียกสารที่ใช้เป็นตัวนำเอาความร้อนออกจากสิ่งที่ต้องการลดอุณหภูมิเรียกว่า “สารทำความเย็น”

2.การเปลี่ยนแปลงสถานะ

ความร้อนที่สารทำความเย็นต้องการเพื่อใช้เปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอเรียกว่า “ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ” ซึ่งค่าความร้อนแฝงนี้จะมีค่ามาก ดังนั้นการดูดความร้อนด้วยหลังการเปลี่ยนสถานะของสารทำความเย็นจากของเหลวกลายเป็นไอจึงสามารถดูดความร้อนได้มาก และถูกใช้กันอย่างกว้างขวาง อีกทั้งกระบวนการนี้ยังเป็นกระบวนการที่ใช้ในเครื่องทำความเย็นชนิดอัดไอ โดยที่การควบคุมความดันของสารทำความเย็น การกลายเป็นไอจะเป็นตัวกำหนดอุณหภูมิของกระบวนการ

3.การขยายตัวของของเหลว

การขยายตัวของของเหลวเป็นผลทำให้อุณหภูมิลดลง อุณหภูมิจะลดลงเล็กน้อยถ้าการขยายตัวอยู่ในสถานะของเหลว แต่หากกระบวนการนี้เกิดขึ้นในขณะที่สถานะอยู่ระหว่างไอและของเหลวแล้ว

อุณหภูมิจะลดลงอย่างมาก กระบวนการนี้เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในระบบทำความเย็น

4.การขยายตัวและไหลอย่างสม่ำเสมอของก๊าซสมบูรณ์

ในกระบวนการนี้จะต้องอาศัยอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดกระบวนการทรอทริ่ง แต่กระบวนการทรอทริ่งของก๊าซสมบูรณ์นี้จะไม่เป็นผลในการทำงานที่อุณหภูมิต่ำ แต่การไหลอย่างสม่ำเสมอในการขยายตัวเมื่อได้งานแล้วจะเป็นผลให้อุณหภูมิลดลงอย่างมาก

5.การขยายตัวของก๊าซที่แท้จริง

เมื่อก๊าซที่แท้จริงขยายตัวค่าเอนทาลปีจะคงที่แต่อุณหภูมิจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก (ต่างจากการขยายตัวของก๊าซสมบูรณ์ซึ่งอุณหภูมิคงที่) กระบวนการนี้เป็นประโยชน์ต่อการทำความเย็นที่อุณหภูมิต่ำ เช่น การผลิตก๊าซไนโตรเจน

ในการทำให้อุณหภูมิลดลงจากปกติลงมาที่อุณหภูมิที่ต้องการนั้นสามารถใช้ระบบทำความเย็นได้หลายแบบ ทั้งชนิดที่เป็นทางกลและไม่ใช่ทางกลดังนี้

1.ระบบการทำความเย็นชนิดอัดไอ (Vapor Compression Refrigeration System)

2.ระบบการทำความเย็นแบบดูดซึม (Absorption Refrigeration System)

3.ระบบการทำความเย็นแบบอัดอากาศ (Air Compression System)

4.ระบบการทำความเย็นแบบใช้หัวฉีดไอน้ำ (Steam Jet Refrigeration System)

5.ระบบการทำความเย็นแบบเทอร์โมอิเลคทริค (Thermoelectric Refrigeration System)

6.ระบบแม่เหล็กที่ใช้ในการทำอุณหภูมิต่ำ (Magnetic System of Producing low Temperature)

ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะระบบการทำความเย็นชนิดอัดไอ

2.2 หน่วยของการทำความเย็น

หน่วยที่ใช้ในการวัดอัตราการทำความเย็นใช้หน่วยที่เรียกว่า "ตันของการทำความเย็น" (Ton of Refrigeration) หนึ่งตันของการทำความเย็น หมายถึงปริมาณความร้อนที่ทำให้น้ำแข็งบริสุทธิ์ 1 ตัน(2000 ปอนด์) ที่อุณหภูมิ 32 ^{0}F กลายเป็นน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิ 32 ^{0}F ภายในเวลา 24 ชม.

จาก $Q = m\ L$

เมื่อ Q คือ ปริมาณความร้อนที่ทำให้น้ำแข็ง 1 ตันละลายเป็นน้ำ (Btu/hr)

m คือ มวลของน้ำแข็ง (lb)

L คือ ความร้อนแฝงของน้ำแข็ง = 144 Btu/min

ดังนั้น 1 ตัน ของการทำความเย็นจึงมีค่าเท่ากับ 12000 Btu/hr หรือ 200 Btu/min

2.3 ระบบการทำความเย็นชนิดอัดไอ

ระบบทำความเย็นชนิดอัดไอได้รับการออกแบบ และสร้างขึ้นโดยอาศัยหลักการพื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิกส์ดังนี้

1.ของไหลดูดความร้อนในขณะที่เปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ และคายความร้อนในขณะที่เปลี่ยนสถานะจากไอกลายเป็นของเหลว

2.ในขณะที่เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะอุณหภูมิจะคงที่ แต่อุณหภูมินี้จะเปลี่ยนแปลงตามความดันที่คงที่ ณ จุดๆหนึ่ง การกลายเป็นไอจะเกิดขึ้นที่ ณ จุดที่มีความสัมพันธ์กันระหว่างอุณหภูมิและความดันเท่านั้น

3.ความร้อนจะไหลจากแหล่งอุณหภูมิสูงไปแหล่งอุณหภูมิต่ำกว่า

4.การเลือกโลหะที่ใช้ทำเครื่องควบแน่นจะต้องเป็นโลหะที่มีความสามารถในการถ่ายเทความร้อนได้ดีและไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับสารทำความเย็น

5.พลังงานความร้อนและพลังงานรูปอื่นๆสามารถนำมาใช้ได้อีกโดยกฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์

2.4 วงจรของระบบทำความเย็นชนิดอัดไอ

ในวัฏจักรการทำความเย็นจะมีกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของของไหลคือ การระเหย การอัดตัว การควบแน่น และการลดลงของความดัน ซึ่งกระบวนการต่างๆนี้จะเกิดขึ้นได้ด้วยอุปกรณ์ดังนี้

1.อีวาพอเรเตอร์ (Evaporator) เป็นอุปกรณ์หลักที่ทำหน้าที่ดูดรับปริมาณความร้อนจากบริเวณที่ต้องการทำความเย็น

2.คอนเดนเซอร์ (Condenser) เป็นอุปกรณ์ใช้สำหรับระบายความร้อนเพื่อให้ไอสารทำความเย็นควบแน่นเป็นของเหลว

3.คอมเพรสเซอร์ (Compressor) ทำหน้าที่ในการดูดและอัดน้ำยาในสถานะที่เป็นไอ

4.วาล์วควบคุมการไหลของสารทำความเย็น (Expansion Valve) ทำหน้าที่ควบคุมการไหลของสารทำความเย็นที่จะไหลไปยังอีวาพอเรเตอร์ โดยลดความดันของสารทำความเย็นให้ต่ำลงจนสามารถระเหยที่อุณหภูมิต่ำได้

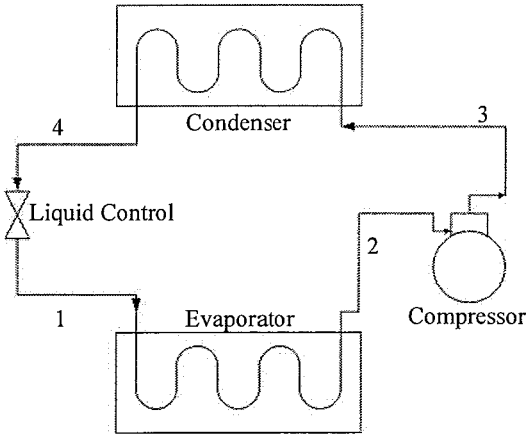
5.ท่อ (Tube) ใช้ส่งสารทำความเย็นไปยังอุปกรณ์ต่างๆ

นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์ที่มีความจำเป็นต่อการทำงานอื่นๆอีกคือ

6.ตัวกรอง (Filter-Drier) ทำหน้าที่ดูดความชื้นและกรองสิ่งสกปรกก่อนที่สารทำความเย็นเข้าสู่อีวาพอเรเตอร์

7.กระจกมองน้ำยา (Sight glass) ติดตั้งสำหรับมองดูสารทำความเย็นภายในระบบว่าเพียงพอหรือไม่

2.5 หลักการทำงานของระบบทำความเย็นแบบอัดไอ

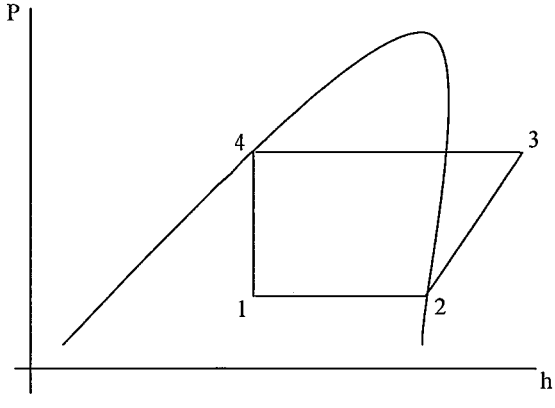


รูปที่ 2-1 แสดงระบบการอัดไอแบบธรรมดา

การทำงานของระบบจะเริ่มอธิบายจากสารทำความเย็นที่มีสถานะ
ป็นของเหลว โดยที่มีอุณหภูมิและความดันต่ำจนสามารถระเหยเปลี่ยน
ถานะเป็นไอ และดูดความร้อนได้จะถูกส่งไปยังอีวาพอเรเตอร์

ขณะที่สารทำความเย็นเหลวภายในอีวาพอเรเตอร์ระเหยเปลี่ยน
ถานะกลายเป็นไอจะดูดความร้อนจากอากาศรอบๆอีวาพอเรเตอร์
ายนอกระบบทำให้บริเวณที่ต้องการทำความเย็นมีอุณหภูมิลดลง

ไอที่มีอุณหภูมิและความดันต่ำจะถูกคอมเพรสเซอร์ดูด และอัด
อกไปทางท่อส่งในลักษณะไอร้อนยวดยิ่งที่มีอุณหภูมิและความดันสูง
ื่อส่งไปกลั่นตัวจะเป็นของเหลวที่คอนเดนเซอร์โดยการระบายความ
อนออก ทั้งนี้ทั้งนั้นเพื่อให้สารทำความเย็นถูกนำกลับมาใช้ได้อีก สาร
าความเย็นที่มีอุณหภูมิและความดันสูงจะถูกลดความดันโดยการส่ง
ข้าไปยังเอกซ์แพนชันวาล์ว ซึ่งเอกซ์แพนชันวาล์วจะควบคุมการไหล
องสารทำความเย็นที่จะถูกส่งเข้าไปยังอีวาพอเรเตอร์อีกครั้ง เพื่อให้มี
วามดันและอุณหภูมิต่ำอีกครั้ง เป็นอันครบวัฏจักรการทำงาน



รูปที่ 2-2 P-h diagram ของระบบการอัดไอแบบธรรมดา

การทำงานของระบบทำความเย็นสามารถแสดงด้วย P-h diagram
งนี้

ที่สภาวะ 2>>3 สารทำความเย็นสถานะไออิ่มตัวจะถูกอัดตัวจน
กลายเป็นไอร้อนยวดยิ่ง

ที่สภาวะ 3>>4 สารทำความเย็นสถานะไอร้อนยวดยิ่งไหลเข้า
คอนเดนเซอร์ และถูกหล่อเย็นภายใต้กระบวนการความดันคงที่
โดยสารทำความเย็นที่มีสถานะเป็นไอร้อนยวดยิ่งจะคายความร้อน
ให้กับคอนเดนเซอร์จนกระทั่งควบแน่นเป็นของเหลว

ที่สภาวะ 4>>1 สารทำความเย็นที่ไหลผ่านเอกซ์แพนชันวาล์วจะ
ขยายตัวแบบสม่ำเสมอภายใต้กระบวนการเอนทาลปีคงที่จนทำให้
อุณหภูมิและความดันลดลง

ที่สภาวะ 1>>2 สารทำความเย็นที่ไหลผ่านอีวาพอเรเตอร์ จะ
เปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอโดยดูดความร้อนในอีวาพอเร-
เตอร์ ทำให้อุณหภูมิรอบๆอีวาพอเรเตอร์ต่ำลงและให้ความเย็นออกมา

2.6 การคำนวณค่าต่างๆสำหรับระบบทำความเย็นแบบอัดไอ

สำหรับคอมเพรสเซอร์มีสมการที่ใช้หากำลังงานดังนี้

$W_c = m_c (h_3 - h_2)$

เมื่อ W_c คือ กำลังงานที่ใช้ของคอมเพรสเซอร์ (Btu/min)

m_c คือ ปริมาณสารทำความเย็นที่ไหลผ่านคอมเพรสเซอร์ (lb/min)

h_2 คือ เอนทาลปีของสารทำความเย็นก่อนเข้าคอมเพรสเซอร์ (Btu/lb)

h_3 คือ เอนทาลปีของสารทำความเย็นที่ออกจากคอมเพรสเซอร์ (Btu/lb)

สำหรับคอนเดนเซอร์มีสมการที่ใช้หาปริมาณความร้อนที่ถ่ายเท
ออกดังนี้

$Q_{cond} = m_h (h_3 - h_4)$

เมื่อ Q_{cond} คือ ปริมาณความร้อนที่คายออกจากคอนเดนเซอร์ (Btu/min)

m_h คือ ปริมาณสารทำความเย็นที่ไหลผ่านคอนเดนเซอร์ (lb/min)

h_3 คือ เอนทาลปีของสารทำความเย็นก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ (Btu/lb)

h_4 คือ เอนทาลปีของสารทำความเย็นที่ออกจากคอนเดนเซอร์ (Btu/lb)

สำหรับอีวาพอเรเตอร์มีสมการที่ใช้หาค่าการทำความเย็นดังนี้

$Q_{eva} = m_e (h_2 - h_1)$

เมื่อ Q_{eva} คือ ค่าการทำความเย็นที่อีวาพอเรเตอร์ (Btu/min)

m_e คือ ปริมาณสารทำความเย็นที่ไหลผ่านอีวาพอเรเตอร์ (lb/min)

h_1 คือ เอนทาลปีของสารทำความเย็นก่อนเข้าอีวาพอเรเตอร์ (Btu/lb)

h_2 คือ เอนทาลปีของสารทำความเย็นที่ออกจากอีวาพอเรเตอร์ (Btu/lb)

สมรรถนะของระบบทำความเย็นคือ

$COP = Q_{eva} / W_c$

(หมายเหตุ : 1 kW = 56.867 Btu/min

1 kJ/kg = 0.4299 Btu/lb
1 kg/s = 132.3 lb/min)

2.7 เครื่องปรับอากาศขนาดเล็กที่ใช้พลังงานต่ำ

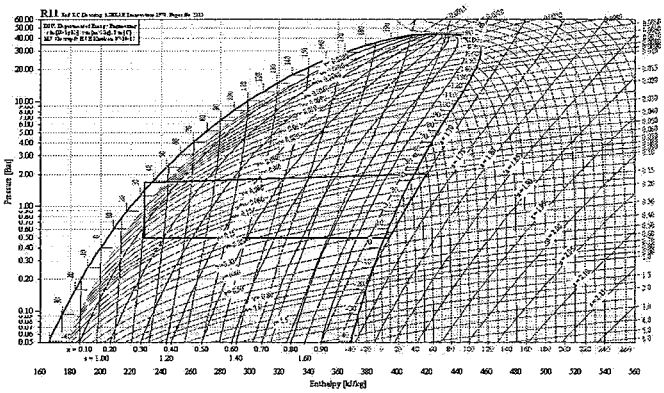
ในโครงงานนี้ศึกษาระบบทำความเย็นชนิดอัดไอที่ใช้พลังงานต่ำในการอัดไอร้อนยวดยิ่งของสารทำความเย็นที่ออกจากอีวาพอเรเตอร์ จึงเลือก R-11 (Trichloromonofluorometane, CCl_3F) เป็นสารทำความเย็นในระบบเนื่องจาก R-11 มีจุดเดือดต่ำทำงานได้ดีในช่วงความดันต่ำ จึงต้องการงานในการอัดไอต่ำด้วย โดย R-11 เป็นผลิตภัณฑ์เคมีสังเคราะห์มีคุณสมบัติคงตัว ไม่ติดไฟและไม่เป็นพิษ มีความดันภาคความดันสูง 18.3 Psia (1.28 ก.ก. /ตร.ซม.) ที่ 86 ^{0}F (30^{0}C) ความร้อนแฝงที่ 5 ^{0}F (-15^{0}C) เท่ากับ 84.0 Btu/lb (195 J/g) โครงงานนี้ได้กำหนดสภาวะของระบบ

1.กำหนดการทำงานด้านความดันสูงที่อุณหภูมิ 35 ^{0}C

2.กำหนดการทำงานด้านความดันต่ำที่อุณหภูมิ 5 ^{0}C

3.กำหนดให้มีการเกิด ไอร้อนยวดยิ่ง 5 ^{0}C และ Subcooling 5 ^{0}C

4.กำหนดให้เป็นระบบทำความเย็นขนาด 5000 Btu/hr=0.417 ton



รูปที่ 2-3 P-h diagram ของสารทำความเย็น R-11

จากตารางคุณสมบัติ ของสารทำความเย็น R-11 สามารถเปิดค่าเอนทาลปี ณ สภาวะการทำงานได้ดังนี้

h_1 = 229.24 kJ/kg h_3 = 419.36 kJ/kg

h_2 = 394.33 kJ/kg h_4 = 229.24 kJ/kg

ผลการทำความเย็นที่ อีวาพอเรเตอร์ คือ

$$Q_{eva} / m_e = (h_2 - h_1) = (394.33–229.24) = 165.09 \text{ kJ/kg}$$

ผลการระบายความร้อนที่ คอนเดนเซอร์ คือ

$$Q_{cond} / m_h = (h_3 - h_4) = (419.36–229.24) = 190.12 \text{ kJ/kg}$$

งานที่คอมเพรสเซอร์ต้องการ คือ

$$W_c / m_c = (h_3 - h_2) = (419.36–394.33) = 25.03 \text{ kJ/kg}$$

$$COP_{th} = Q_{eva} / W_c = \frac{165.09}{25.03} = 6.6$$

อัตราการไหลของไอสารทำความเย็นที่ผ่านคอมเพรสเซอร์

$$m_c = \frac{(211 \times ton)}{Q_{eva}} = \frac{(211 \times 0.417)}{165.09} = 0.533 \text{ kg/min}$$

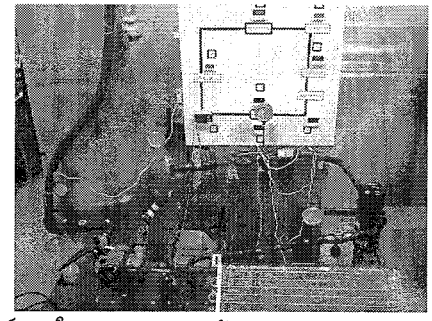
ที่อุณหภูมิ 5 ^{0}C ได้ค่า v_g = 0.332 m^3/kg

V = 0.177 m^3/min

W = 0.222 kW

= 0.298 hp

3 อุปกรณ์และการทดลอง



3.1 อุปกรณ์หลักในระบบประกอบด้วย

1.ซูเปอร์ชาร์จเจอร์ชนิดรูท (Roots – Blower) ใช้ในการอัดไอสารความทำเย็นแทนคอมเพรสเซอร์

2.คอนเดนเซอร์ (Condenser) ชนิดใช้อากาศเป็นตัวกลางในการระบายความร้อน

3.อีวาพอเรเตอร์ (Evaporator) เป็นอีวาพอเรเตอร์แบบเปียก (Flooded)

4.วาล์วขยายตัวปรับด้วยมือ (Hand expansion valves) ใช้ควบคุมการไหลของสารทำความเย็น

5.ห้องทดสอบขนาด 65 m × 130m × 130m = 1.099m^3 หุ้มฉนวน

6.มอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า ใช้ส่งกำลังให้กับซูเปอร์ชาร์จเจอร์

7.อินเวอร์เตอร์ ใช้ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์

3.2 ทดลองโดยที่ใส่ภาระในระบบ

1.กำหนดค่าอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ โดยช่วงอุณหภูมิที่กำหนดเพื่อใช้ในการทดสอบคือ27^{0}C db และ 19 ^{0}C wb ตามมาตรฐาน

2.จ่ายไฟให้กับมอเตอร์ 1 แรงม้า

3 ปรับความถี่ที่อินเวอร์เตอร์ ตามความถี่ที่กำหนดในการทดสอบ โดยมีค่าความถี่ที่กำหนดในการทดสอบดังนี้ คือ 30 Hz, 35 Hz, 40 Hz, 45 Hz และ 50 Hz ตามลำดับ

4 ปรับวาล์วควบคุมน้ำยาโดยที่น้ำยาไหลผ่านวาล์วมากที่สุด

5 รอจนกระทั่งระบบคงที่

6 จากนั้นใส่ภาระให้กับระบบ พร้อมทั้งปรับภาระที่ให้แก่ระบบ จนค่าอุณหภูมิที่วัดได้จากภายในห้องเท่ากับค่าอุณหภูมิที่ได้กำหนดไว้

7 เมื่อระบบคงที่ ให้ทำการบันทึกค่าความดันและอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ พร้อมทั้งภาระที่ใส่ให้แก่ระบบ

8 ทำการทดสอบใหม่ โดยที่เปลี่ยนค่าความถี่ที่กำหนดไว้ในข้อ 3 ตามลำดับ (ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 5)

9 นำค่าที่ได้จากการทดสอบที่ความถี่ต่างๆมาคำนวณหา COP ของระบบทำความเย็น เพื่อทำการสรุปผลการทดสอบสำหรับการทดสอบที่กำหนดให้อุณหภูมิที่ต้องการวัดได้จากอีวาพอเรเตอร์เท่ากับ 27^{0}C db และ 19 ^{0}C wb ตามมาตรฐาน

: ผลการทดลอง

ำหนดอุณหภูมิตามมาตรฐาน (ภายในห้อง 27^0C db 19^0C wb นอก

ห้องทดสอบ 35^0C db 24^0C wb)

quency)	30	35	40	45	50
Pressure (Bar)					
porator in	0.944	0.944	0.944	0.875	0.806
porator out	0.875	0.875	0.875	0.806	0.772
mpressor in	0.841	0.841	0.841	0.772	0.737
mpressor out	1.806	1.875	2.013	2.082	2.254
denser in	1.737	1.806	1.944	2.013	2.151
denser out	1.703	1.772	1.910	1.944	2.010
uid line	1.565	1.599	1.634	1.634	1.668
Temperature (^{0}C)					
porator in	21.6	21	20.3	19.4	17.1
porator out	24.1	23.5	22.4	21.5	19.3
mpressor in	27.4	26.4	26.2	25.7	24.6
mp. out, d. In	87.4	91.3	94.9	99	104
denser out	35.6	36.2	36.8	37.2	37.8
Condenser)	40.3	40.7	41.8	42.1	42.7
Evaporator)	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0

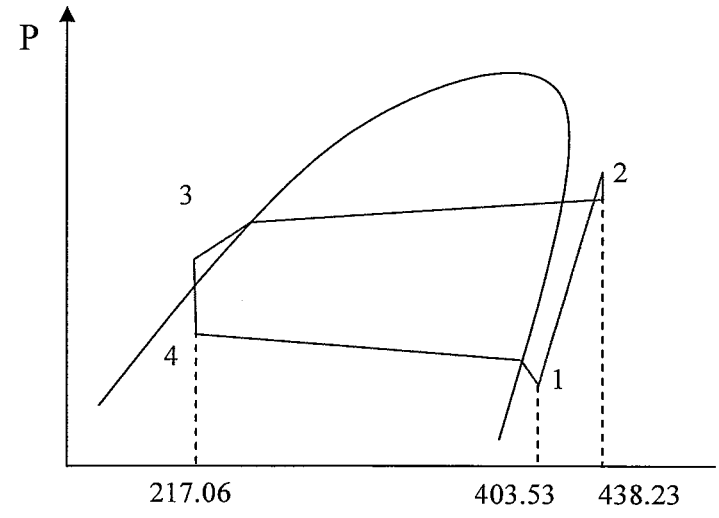
ตารางที่ 4-1ผลการทดลอง ที่อุณหภูมิตามมาตรฐาน

Motor					
Current	0.76	0.96	1.16	1.48	1.55
Voltage	235	270	304	343	380
Load (Heater)					
Current	4.5	5.1	5.6	6.0	6.3
Voltage	145	170	190	205	220

ตารางที่ 4-2ผลการทดลอง ที่อุณหภูมิตามมาตรฐาน

ตัวอย่างผลการคำนวณซึ่งจะนำค่าต่างๆ ที่ได้จากผลการทดลอง มาคำนวณตามสูตรต่อไปนี้

ที่อุณหภูมิห้องทดสอบตามมาตรฐาน ที่ความถี่มอเตอร์ 30 Hz



รูปที่ 4-1 กราฟค่าเอนทาลปี้ที่สภาวะมาตรฐาน ความถี่ 30 Hz

จากกราฟ P – h Diagram h_1 = 403.53 kJ/kg

h_2 = 438.23 kJ/kg

$h_3 = h_4$ = 217.06 kJ/kg

ผลการทำความเย็นที่ อีวาพอเรเตอร์ คือ

$$Q_{eva}/m_e = h_1 - h_4 \text{ kJ/kg}$$

$$= 186.47 \text{ kJ/kg}$$

ผลการระบายความร้อนที่ คอนเดนเซอร์ คือ

$$Q_{cond}/m_h = h_2 - h_3 \text{ kJ/kg}$$

$$= 221.17 \text{ kJ/kg}$$

งานที่คอมเพรสเซอร์ต้องการ คือ

$$W_c/m_c = h_2 - h_1 \text{ kJ/kg}$$

$$= 34.7 \text{ kJ/kg}$$

ประสิทธิภาพการทำความเย็นจากกราฟ P – h Diagram คือ

$$COP_{cal} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

$$= 5.374$$

กำลังไฟฟ้าที่ให้กับมอเตอร์

$$P_{motor} = \sqrt{3} IV \cos\theta$$

$$= \sqrt{3} \times 0.76 \times 235 \times 0.78$$

$$= 0.241 \text{ kw}$$

ภาระที่ให้กับห้อง

$$P_{load} = IV$$

$$= 4.5 \times 145$$

$$= 0.652 \text{ kw}$$

ประสิทธิภาพการทำความเย็นจริง คือ

$$COP_{real} = \frac{Q_{eva}}{W_c}$$

$$= \frac{0.652}{0.241}$$

$$= 2.7$$

อัตราการกินพลังงาน (Energy Efficiency Ratio) คือ

$EER_{cal} = COP_{cal} \times 3.412$
$= 5.374 \times 3.412$
$= 18.33$

$EER_{real} = COP_{real} \times 3.412$
$= 2.7 \times 3.412$
$= 9.21$

Frequency(Hz)	30	35	40	45	50
Power motor (kilowatt)					
Power motor	0.241	0.350	0.476	0.685	0.795
Power load (kilowatt)					
Power load	0.652	0.868	1.064	1.230	1.386
COP					
COP calculate	5.374	4.831	4.436	4.213	4.037
COP real	2.7	2.48	2.24	1.796	1.743
EER					
EER calculate	18.33	16.48	15.13	14.37	13.77
EER real	9.21	8.46	7.64	6.13	5.95

ตารางที่ 4-3 ผลการคำนวณ ที่อุณหภูมิตามมาตรฐานของซูเปอร์ชาร์จเจอร์

Power input (kilowatt)				
Power input	0.627	0.576	0.479	0.45
Power load (kilowatt)				
Power load	1.917	1.898	1.789	1.740
COP by-pass				
COP by-pass	3.05	3.29	3.73	3.86
EER by-pass				
EER by-pass	10.43	11.25	12.75	13.20

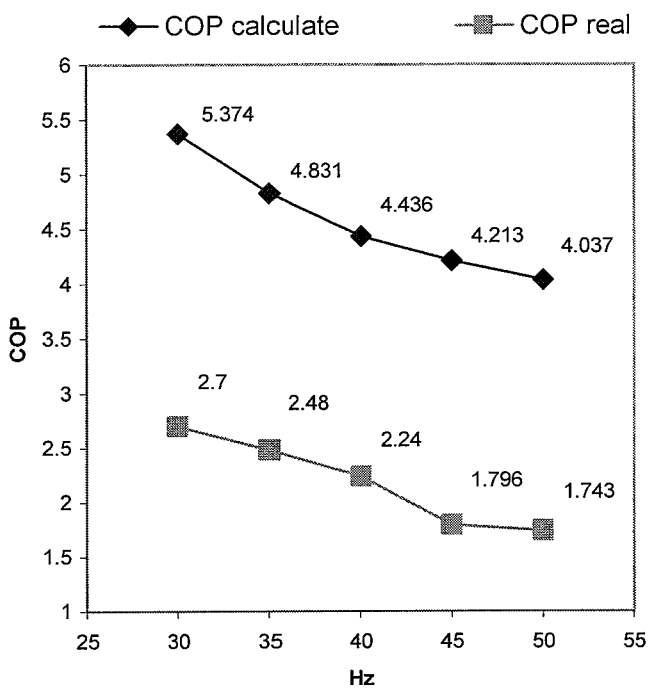
ตารางที่ 4-4 แสดงผลการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศที่ใช้คอมเพรสเซอร์ในระบบการควบคุมการทำความเย็นโดยวิธีบายพาสไอสารทำความเย็น (ใช้สารทำความเย็นR-12)

Power input (kilowatt)					
Power input	1.959	1.777	1.377	1.214	0.996
Power load (kilowatt)					
Power load	5.527	5.358	5.281	4.803	4.224
COP exv					
COP exv	2.822	3.016	3.834	3.954	4.241
EER					
EER exv	9.629	10.291	13.081	13.493	14.31

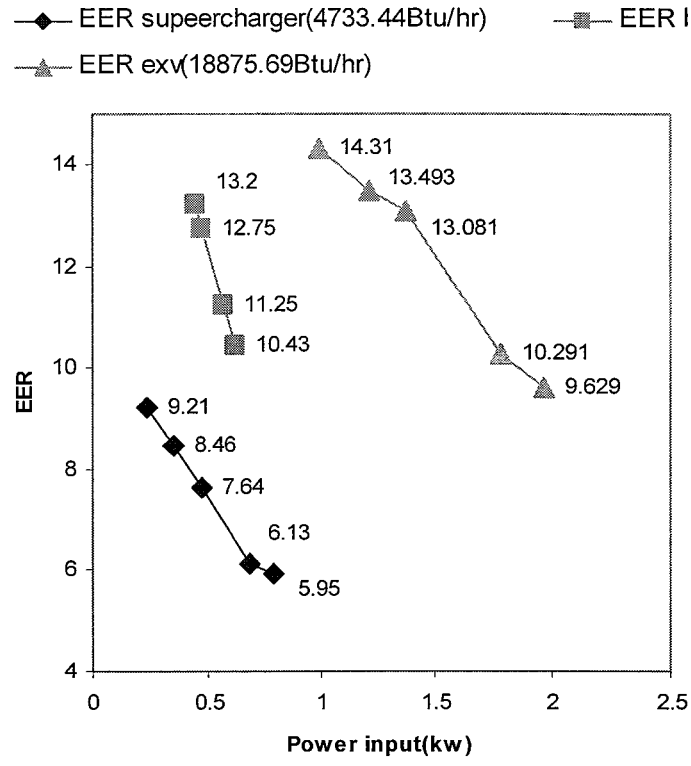
ตารางที่ 4-5 แสดงผลการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศที่ใช้คอมเพรสเซอร์ในการพัฒนาโปรแกรมเพื่อควบคุมอิเลคทรอนิคส์เอ็กซ์แปนชั่นวาล์วและอินเวอร์เตอร์ EXV สำหรับเครื่องทำความเย็นขนาดเล็ก (ใช้สารทำความเย็นR-22)

เบอร์ 1	**EER ≥ 6.6**
เบอร์ 2	**EER ≥ 7.6**
เบอร์ 3	**EER ≥ 8.6**
เบอร์ 4	**EER ≥ 9.6**
เบอร์ 5	**EER ≥ 10.6**

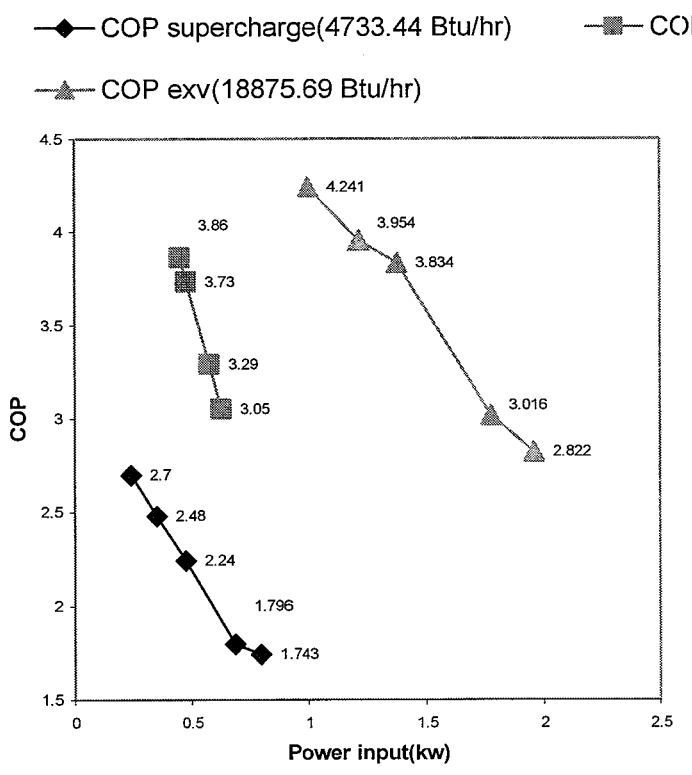
ตารางที่ 4-6 แสดงเบอร์เครื่องปรับอากาศในปัจจุบัน



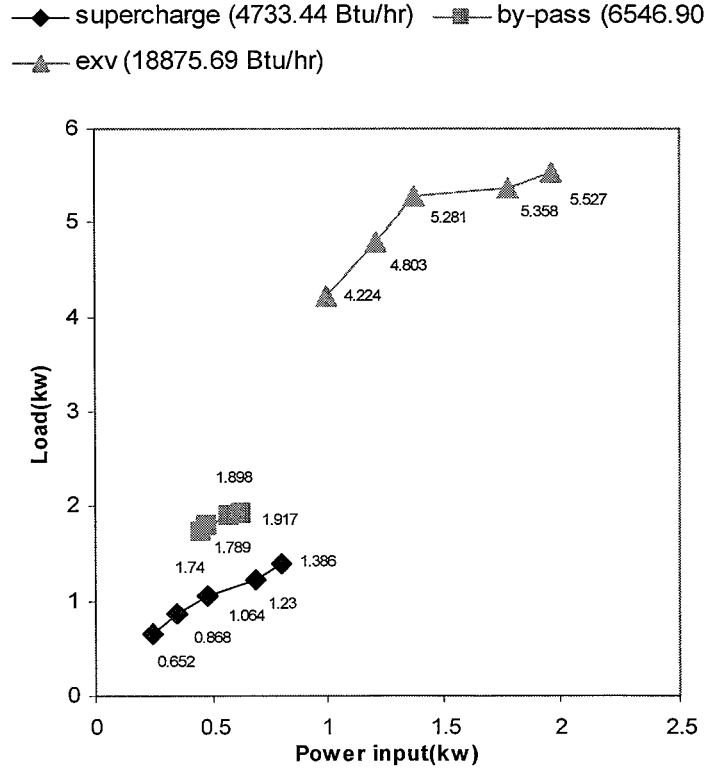
กราฟที่ 4-1แสดงค่า COP ที่ความถี่ต่างๆ ที่สภาวะมาตรฐานของซูเปอร์ชาร์จเจอร์



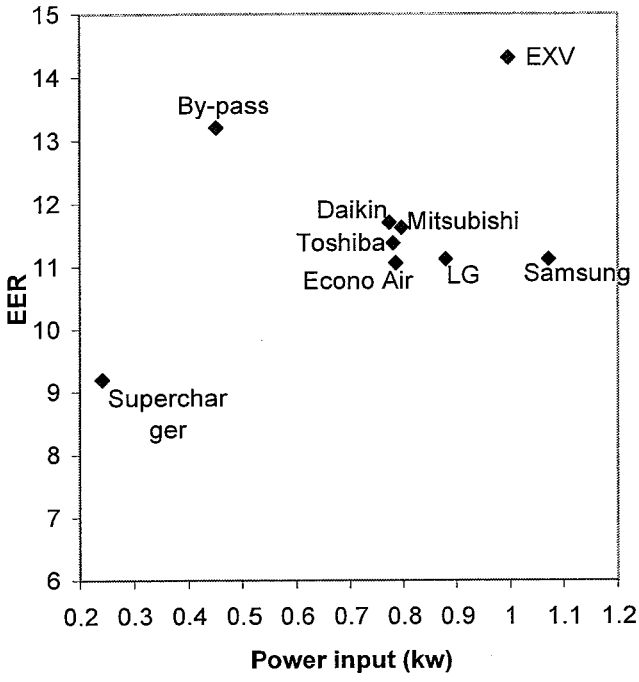
กราฟที่ 4-3 แสดงการเปรียบเทียบ ค่า EER จริงและกำลังที่ให้จริงระหว่างซูเปอร์ชาร์จเจอร์กับคอมเพรสเซอร์ระบบต่างๆ



กราฟที่ 4-2 แสดงการเปรียบเทียบ ค่า COP จริงและกำลังที่ให้จริงระหว่างซูเปอร์ชาร์จเจอร์กับคอมเพรสเซอร์ระบบต่างๆ



กราฟที่ 4-4 แสดงการเปรียบเทียบงานที่ให้กับภาระการทำความเย็นระหว่างซูเปอร์ชาร์จเจอร์กับคอมเพรสเซอร์ระบบต่างๆ



กราฟที่ 4-5 แสดงการเปรียบเทียบงานที่ให้กับ EER ระหว่างเครื่องปรับอากาศทั่วไปๆ ในท้องตลาด

ตรา ผลิตภัณฑ์	Power input (kilowatt)	Power load (kilowatt)	COP	EER	R.E (Btu/hr)
Mitsubishi	0.796	2.713	3.41	11.62	9265.63
Econo Air	0.786	2.548	3.24	11.06	8704.01
Daikin	0.773	2.649	3.43	11.70	9049.65
L G	0.880	2.869	3.26	11.12	9799.26
Samsung	1.072	3.495	3.26	11.12	11935.18
Toshiba	0.781	2.604	3.33	11.37	8891.67

ตารางที่ 4-7 แสดงค่าประสิทธิภาพการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศแต่ละตราผลิตภัณฑ์ที่สุ่มเลือกมาจากท้องตลาดในปัจจุบัน

5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพการทำความเย็น(COP) กับความถี่ต่างๆ ที่สภาวะมาตรฐาน พบว่าค่าประสิทธิภาพการทำความเย็น(COP) จะสูงที่สุดที่ความถี่ 30 Hz กล่าวคือ 5.374 สำหรับค่าประสิทธิภาพการทำความเย็น(COP)จากการคำนวณ และ2.7 สำหรับค่าประสิทธิภาพการทำความเย็น(COP)จากการทดสอบจริง แต่ถ้าหากลดความถี่ลงให้ต่ำกว่า 30 Hz ระบบที่ทำการทดลองจะไม่สามารถทำความเย็นภายในห้องทดสอบได้ตามสภาวะที่ได้ออกแบบไว้ได้ และค่าประสิทธิภาพการทำความเย็น(COP) จะมีค่าลดลง เมื่อความถี่เพิ่มขึ้น เพราะ เมื่อความถี่เพิ่มขึ้นทำให้ซูเปอร์ชาร์จเจอร์หมุนเร็วขึ้น เป็นผลให้เกิดความร้อนทางด้านจ่ายมากขึ้น

2. จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพการทำความเย็น (COP) กับกำลังที่ให้แก่ระบบ ที่สภาวะมาตรฐาน พบว่าค่าประสิทธิภาพการทำความเย็น(COP) จะสูงที่สุด เมื่อให้กำลังแก่ระบบ 0.241 kW สำหรับกำลังที่ให้แก่ระบบจากการทดสอบจริง และค่าประสิทธิภาพการทำความเย็น(COP) จะมีค่าลดลง เมื่อกำลังที่เพิ่มให้กับระบบมากขึ้น เพราะ เมื่อกำลังที่ให้แก่ระบบเพิ่มขึ้นทำให้ซูเปอร์ชาร์จเจอร์หมุนเร็วขึ้น เป็นผลให้เกิดความร้อนทางด้านจ่ายมากขึ้นตามไปด้วย

3. จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังที่ให้แก่ระบบกับภาระที่ให้แก่ระบบ ที่สภาวะมาตรฐาน พบว่าภาระที่ให้แก่ระบบแปรผันตรงกับกำลังที่ให้แก่ระบบ ซึ่งหมายความว่า ถ้ากำลังที่ให้แก่ระบบมีค่ามากขึ้น นั่นคือ ความถี่มากขึ้น จะทำให้ระบบสามารถทำความเย็นได้มากขึ้นตามไปด้วย (แต่ COP จะมีค่าลดลง)

5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากระบบปรับอากาศที่ได้ทำการศึกษานั้น ได้ใช้ R-11 เป็นสารทำความเย็นให้แก่ระบบ โดยปกติแล้ว R-11 อยู่ในสถานะของเหลว เมื่อทำงานอยู่ในอีวาพอเรเตอร์ต้องใช้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ และเป็นสารที่มีปริมาตรจำเพาะสูง เมื่อเป็นแก๊ส ดังนั้นจึงต้องการพื้นที่ในเครื่องอัดมาก ซึ่งเหมาะในการใช้กับเครื่องอัดแบบแรงเหวี่ยง แต่ในการศึกษาระบบปรับอากาศนี้ ได้นำซุปเปอร์ชาร์จเจอร์มาอัดไอของสารทำความเย็นแทนเครื่องอัด ดังนั้นประสิทธิภาพที่ได้จึงต่ำกว่าระบบที่ใช้เครื่องอัดแบบแรงเหวี่ยงในระบบทำความเย็นระบบใหญ่ที่ใช้โดยทั่วไป อีกทั้งการออกแบบคอยล์เย็นจะมีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพของระบบทำความเย็น

พลังงานขับซูเปอร์ชาร์จเจอร์ที่ได้จากการหมุนของรอกสายพานผ่านแกนหมุนและแบริ่งไปสู่อุปกรณ์ที่ใช้ในการอัดไอที่มีขนาดใหญ่กว่าอุปกรณ์อัดไอทั่วไปในคอมเพรสเซอร์ ทำให้เกิดมาเสียดสีและเกิดเป็นพลังงานความร้อนเพิ่มเข้าไปสู่สารทำความเย็น จึงทำให้สารทำความเย็นมีอุณหภูมิสูงขึ้นทางด้านจ่ายสูง เป็นผลให้ค่า COP ลดลง และเมื่อเพิ่มความถี่ของมอเตอร์มากขึ้นทำให้ซูเปอร์ชาร์จเจอร์หมุนเร็วขึ้น จึงทำให้เกิดความร้อนมากขึ้น เป็นผลให้ค่า COP ลดน้อยลง ซึ่งแก้ไขได้โดยการระบายความร้อนที่ตัวซูเปอร์ชาร์จเจอร์สู่ภายนอกระบบให้ได้มากที่สุด และเพิ่มขนาดพื้นที่ระบายความร้อนของคอนเดนเซอร์เพื่อการถ่ายเทความร้อนที่ดีมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

1] ผศ. ธวัชชัย นาคพิพัฒน์ , "ระบบการควบคุมการทำความเย็นโดยวิธีบายพาสไอสารทำความเย็น" ปริญญานิพนธ์ ปี พ.ศ. 2543 คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2] ผศ. ธวัชชัย นาคพิพัฒน์ , "การพัฒนาโปรแกรมเพื่อควบคุมอิเลคทรอนิคส์เอ็กซ์แปนชั่นวาล์วและอินเวอร์เตอร์ สำหรับเครื่องทำความเย็นขนาดเล็ก" ปริญญานิพนธ์ ปี พ.ศ. 2550 คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3] อัครเดช สินธุภัค, "การทำความเย็น", ตำราชุดวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, พิมพ์ครั้งที่ 3, กรุงเทพฯ, ปี พ.ศ. 2538.

4] ประจักษ์ ภักดีรัตน์, "เทคนิคเครื่องเย็นและการปรับอากาศ", สำนักพิมพ์นิยมวิทยา, กรุงเทพฯ, ปี พ.ศ. 2533.

5] สมศักดิ์ สุโมตยกุล, "เครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศ", บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, กรุงเทพฯ, ปี พ.ศ. 2521.

6] วิทยา ยงเจริญ, "พื้นฐานการทำความเย็นและการปรับอากาศ (ภาคทฤษฎี)", สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ, ปี พ.ศ. 2544.

7] Richard G.Jordan and Gayle B.Priester, "Refrigeration & Air Conditioning", 2nd edition, Prentice-Hall of India Private Limited New Delhi,1973.