การศึกษาสมรรถนะของระบบการทำความเย็นแบบอัดสองขั้น

PERFORMANCE STUDY OF A TWO-STAGE COMPRESSION REFRIGERATION SYSTEM

ภูไท ฤทธิ์ธาร
BTUTHAI RITTAN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2550

KMITL-2007-EN-M-030-110

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าฉลาดกระบัง

การศึกษาสมรรถนะของระบบการทำความเย็นแบบอัดสองขั้น

PERFORMANCE STUDY OF A TWO – STAGE COMPRESSION REFRIGERATION SYSTEM

ภูไท ฤทธิ์ธาร

BTUTHAI RITTAN

เลขหมู่.....77988
เลขทะเบียน.....12 ก.พ. 2551
วัน,เดือน,ปี.....

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

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2550

KMITL-2007-EN-M-030-110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PERFORMANCE STUDY OF A TWO – STAGE COMPRESSION REFRIGERATION SYSTEM

BHUTHAI RITTAN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2007

KMITL-2007-EN-M-030-110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2007

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาสมรรถนะของระบบการทำความเย็นแบบอัดสองขั้น

Performance Study of a Two-Stage Compression Refrigeration System

นักศึกษา นายภูไท ฤทธิ์ธาร

รหัสประจำตัว 46060403

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ธวัชชัย นาคพิพัฒน์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.พงษ์เจต	พรหมวงศ์	
ผศ.ดร.มนต์ศักดิ์	พิมสาร	
ดร.วิศนุรักษ์	เวชสถล	
รศ.ดร.จารุวัตร	เจริญสุข	
ผศ.ธวัชชัย	นาคพิพัฒน์	

วัน / เดือน/ปี ที่สอบ 5 ตุลาคม, 2550 **เวลา** 11.30-13.30 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร A ห้องประชุม 3 ชั้น 5

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 30 **เดือน** ตุลาคม **พ.ศ.** 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาสมรรถนะของระบบการทำความเย็นแบบอัดสองขั้น
นักศึกษา	นาย ภูไท ฤทธิ์ธาร
รหัสนักศึกษา	46060403
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
พ.ศ.	2550
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ. ธวัชชัย นาคพิพัฒน์

บทคัดย่อ

ระบบการทำความเย็นแบบอัดไอเป็นวัฏจักรทำความเย็นที่นิยมใช้กันมากที่สุดเพราะเป็นระบบที่ง่าย ราคาไม่แพง ไม่เสียหายง่าย และไม่ต้องบำรุงรักษามากนักแต่อย่างไรก็ตามวัฏจักรการทำความเย็นแบบธรรมดาอาจจะไม่เหมาะสมกับงานในอุตสาหกรรมประเภทที่ต้องการทำความเย็นที่อุณหภูมิต่ำมาก เนื่องจากช่วงความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างในเครื่องควบแน่นและเครื่องระเหยมีค่ากว้างเกินไปทำให้วัฏจักรแบบอัดไอขั้นเดียวไม่เหมาะสมในการใช้งานในเชิงปฏิบัติ เนื่องจากถ้าช่วงความแตกต่างของอุณหภูมิยิ่งสูงมากเท่าใดช่วงความแตกต่างของความดันก็มีค่าสูงขึ้นซึ่งทำให้ประสิทธิภาพของระบบต่ำเนื่องจากอัตราส่วนการอัดที่มีค่าสูง วิธีหนึ่งที่จะแก้ปัญหานี้คือการใช้กระบวนการทำความเย็นแบบหลายขั้น คือใช้วัฏจักรทำความเย็นมากกว่าหนึ่งวัฏจักรทำงานในลักษณะอนุกรมแต่ละวัฏจักรเชื่อมต่อกันโดยหอผสมเป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างวัฏจักร ระบบเช่นนี้เรียกว่าระบบการทำความเย็นแบบอัดหลายขั้นโดยงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบระบบการทำความเย็นแบบอัดสองขั้น และทดลองหาประสิทธิภาพการทำงานของระบบที่สภาวะการทำงานต่าง ๆ ในการควบคุมการทำงานของระบบให้มีประสิทธิภาพสูงทุก ๆ สภาวะการทำงาน ประกอบด้วย การควบคุมความดันที่หอผสม อัตราการไหลของสารทำความเย็น และพลังงานที่ให้กับเครื่องอัดของทั้งสองวัฏจักรให้มีอัตราส่วนที่เหมาะสม สามารถทำให้ระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงกว่าวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดขั้นเดียวที่อุณหภูมิเครื่องระเหยต่ำกว่า -8 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Performance Study of a Two-Stage Compression Refrigeration System
Student	Mr. Bhuthai Rittan
Student ID.	46060403
Degree	Master of Engineering
Program	Mechanical Engineering
Year	2007
Thesis Advisor	Assist. Prof. Tawatchai Nakpiput

ABSTRACT

The simple vapor-compression refrigeration is the most widely used refrigeration cycle. The ordinary vapor-compression refrigeration is simple, inexpensive, reliable, and practically low maintenance. However, some industrial applications require moderately or very low temperatures. This is due to a large temperature difference between condenser and evaporator. A large temperature range also means a large pressure range in the cycle and low performance form high pressure ratio. One way in dealing with such situation is to perform the refrigeration process in many stages, that is, to have two or more refrigeration cycles which operate in series. In This research a two - stage refrigeration cycle was designed and experimental parameters were varied in order condition to find out the condition for higher performance. Under manual control, a two - stages can be maintain at a proper ratio by controlling mixing chamber's pressure, refrigerant flow rate, and power input to compressors. The system can operate on higher performance then single stage system at evaporator lower then -8 °C.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้อย่างดีด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาจาก ผศ. ธวัชชัย นาคพิพัฒน์ ข้าพเจ้ารู้สึกทราบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุก ๆ ท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ในภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคนที่ให้คำแนะนำต่าง ๆ และคอยให้กำลังใจเสมอมา

ขอขอบคุณบัณฑิตศึกษาและบัณฑิตวิทยาลัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่าง ๆ

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และ คุณ ภัทธิยา ไชยณรงค์ ที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุก ๆ เรื่อง ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ภูไท ฤทธิ์ธาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ..... IV

สารบัญตาราง.....XI

สารบัญรูป.....XII

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....2

1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....3

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....4

1.5 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน.....5

1.6 ขอบเขตการวิจัย.....6

1.7 ขั้นตอนการศึกษา.....6

บทที่ 2 วรรณกรรมปริทรรศน์.....7

บทที่ 3 ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัย..... 10

3.1 ทฤษฎีเบื้องต้นในการออกแบบเครื่องทำความเย็นชนิดอัดไอ.....10

3.1.1 ความดัน (Pressures)..... 10

3.1.2 ความดันสัมบูรณ์ (Absolute Pressure)..... 11

3.1.3 อุณหภูมิ (Temperature)..... 11

3.1.4 สเกลอุณหภูมิ (Temperature Scales).....12

3.1.5 คุณสมบัติของของไหล (Properties of Fluid)..... 13

3.1.6 การไหล.....13

3.1.7 สารสูญเสียภายในท่อ..... 14

3.2 คุณสมบัติของสารบริสุทธิ์..... 15

3.2.1 ของแข็ง (Solid)..... 15

3.2.2 ของเหลว (Liquid)..... 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2.3 ไอ (Vapor)....16
3.3 กระบวนการเปลี่ยนแปลงสถานะของสารบริสุทธิ์....18
3.4 อุณหภูมิอิ่มตัวและความดันอิ่มตัว....19
3.5 แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงสถานะ....20
3.5.1 แผนภาพอุณหภูมิ-ปริมาตรจำเพาะ (T-v Diagram)....21
3.5.2 แผนภาพความดัน - ปริมาตรจำเพาะ (P-v Diagram)....22
3.6 ตารางแสดงคุณสมบัติของสาร....22
3.6.1 ตารางแสดงคุณสมบัติของน้ำอิ่มตัว (Saturate Water Table)....23
3.7 สารบริสุทธิ์ที่มีสถานะเป็นของผสม ของเหลว-ไอ....23
3.8 สารบริสุทธิ์ที่มีสถานะเป็นไอร้อนยวดยิ่ง....24
3.9 สารบริสุทธิ์ที่มีสถานะเป็นของเหลวอัดตัว....24
3.10 ความร้อน (Heat)....24
3.10.1 การนำความร้อน (Conduction)....25
3.10.2 การพาความร้อน (Convection)....25
3.10.3 การแผ่รังสี....27
3.11 เครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศทางทฤษฎี....27
3.11.1วัฏจักรการทำความเย็นชนิดอัดไอแบบอุดมคติ....28
3.11.2 ปั๊มความร้อน (Heat Pump)....29
3.11.3 หน่วยของการทำความเย็น....29
3.11.4 การคำนวณค่าต่าง ๆ สำหรับระบบทำความเย็นแบบอัดขั้นเดียว....30
3.11.5 ระบบการทำความเย็นแบบอัดสองขั้น....30
3.11.6 การคำนวณค่าต่าง ๆ สำหรับระบบทำความเย็นแบบอัดสองขั้น....32
3.11.7 การเปรียบเทียบสมรรถนะระบบทำความเย็นแบบอัดขั้นเดียวและสองขั้น....33
3.12 วัฏจักรการทำความเย็นชนิดอัดไอทางปฏิบัติ....35
3.13 สัมประสิทธิ์สมรรถนะ Coefficient of Performance, COP....37
3.14 แผนภูมิ Psychometric....37
3.14.1 อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry Bulb Temperature)....38
3.14.2 อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet Bulb Temperature)....38
3.14.3 อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (DP)....38
3.14.4 ความชื้นจำเพาะ (W)....38

เอกสารนี้เป็นเอกสาร... ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น... ครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.14.5 ความชื้นสัมพัทธ์ (RH)..... 38
3.15 กระบวนการปรับอากา.....38
3.15.1 การให้ความร้อนและการทำความเย็นอย่างง่าย.....39
3.15.2 การให้ความร้อนพร้อมด้วยการเพิ่มความชื้น 39
3.15.3 การทำความเย็นพร้อมด้วยการลดความชื้น 40
3.15.4 การทำความเย็นโดยวิธีการระเหย..... 41
3.15.5 การผสมอากาศ..... 42
3.15.6 ความรู้สึกสบายของมนุษย์ และการปรับอากาศ.....42
3.16 เครื่องอัด (Compressor)..... 44
3.16.1 การเลือกเครื่องอัด 44
3.16.2 การนำเครื่องอัดไปใช้งาน.....45
3.16.3 กำลังขับที่กำหนด (Rate Output)..... 46
3.16.4 ความสามารถในการทำความเย็นและความสามารถในการทำความร้อน.....46
3.16.5 แรงดันของแหล่งจ่ายไฟฟ้า.....47
3.16.6 ข้อกำหนดสำหรับการใช้งานในย่านอุณหภูมิสูง.....47
3.16.7 วงจรไฟฟ้าและการต่อวงจร..... 47
3.16.8 อุปกรณ์ไฟฟ้า..... 50
3.16.9 ยางรองเครื่องอัด..... 56
3.17 สารทำความเย็น..... 56
3.18 น้ำมันหล่อลื่น..... 56
3.19 อุณหภูมิของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อเครื่องอัด..... 57
3.19.1 อุณหภูมิของเครื่องควบแน่น.....57
3.19.2 อุณหภูมิของเครื่องระเหย.....58
3.19.3 อัตราส่วนการอัด.....58
3.19.4 อุณหภูมิของเครื่องอัด..... 58
3.20 ข้อจำกัดการเติมสารทำความเย็นสำหรับเครื่องอัด..... 61
3.21 การป้องกันสารทำความเย็นเหลวเข้าเครื่องอัด.....61
3.21.1 เครื่องอัดเกิดการอัดสารทำความเย็นเหลว..... 61
3.21.2 อัตราการไหลของสารทำความเย็นในระบบมากขึ้น..... 62
3.21.3 ปริมาณน้ำมันหล่อลื่นเจือจางลง..... 62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.21.4 เครื่องอัดมีเสียงดังและสั่นผิดปกติ....62
3.22 การป้องกันไม่ให้เกิดการรวมตัวของน้ำมันกับสารทำความเย็นเหลว.... 62
3.22.1 เกิดการอัดตัวของของเหลวขึ้น.... 62
3.22.2 น้ำมันถูกพาออกไปจากเครื่องอัด.... 62
3.22.3 น้ำมันที่ดูดและจ่ายไปยังชิ้นส่วนต่าง ๆ น้อยลง.... 62
3.22.4 การอัดของเหลวทำให้เกิดการสั่นและเสียงดังมากขึ้น....62
3.22.5 ลักษณะเหตุการณ์อัดสารทำความเย็นเหลวของเครื่องอัด.... 63
3.23 Accumulator.... 63
3.23.1 การสร้างรูสำหรับให้น้ำมันไหลกลับเข้าเครื่องอัด.... 64
3.23.2 ในประเทศที่มีสภาพอากาศอุณหภูมิต่ำมาก.... 64
3.24 ขดลวดความร้อน.... 64
3.25 ความสะอาดของระบบทำความเย็น.... 65
3.25.1 ความผิดปกติที่เกิดขึ้นเนื่องจากมีสิ่งแปลกปลอมอื่นเข้าภายในระบบ....65
3.25.2 ความผิดปกติเนื่องจากมีอากาศ และความชื้นเข้าไปในระบบ....65
3.26 แรงดันไฟฟ้า.... 66
3.27 ความถี่ในการเปิดปิดเครื่องอัด.... 67
3.28 ข้อแนะนำในการออกแบบระบบ.... 67
3.28.1 การเดินท่อเข้าเครื่องอัด....67
3.28.2 การไหลกลับของน้ำมัน.... 68
3.28.3 การต่อท่อก๊าซ.... 69
3.28.4 การต่อท่อสารทำความเย็นเหลว.... 69
3.28.5 ท่อด้านดูด.... 70
3.29 การติดตั้งระบบ.... 71
3.29.1 การติดตั้งเครื่องอัด.... 71
3.29.2 วิธีการเชื่อมต่อท่อ.... 71
3.29.3 การดูดอากาศออกจากระบบ.... 71
3.29.4 การเติมน้ำมัน.... 71
3.29.5 การเติมสารทำความเย็น.... 71
3.29.6 การต่อสายไฟและอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ 72
3.29.7 การทดสอบระบบ.... 72

เอกสารนี้เป็นเอกสาร... เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ... ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.29.8 การตรวจหารอยรั่ว....72
3.29.9 ข้อกำหนดอื่น ๆ....72
3.30 การออกแบบเครื่องระเหย (Evaporator)....73
3.30.1 การกลั่นตัวของไอน้ำที่เครื่องระเหย....74
3.30.2 วงจรขดท่อเครื่องระเหย....75
3.30.3 ทิศทางการไหลของลม....75
3.31 เครื่องควบแน่น (Condenser)....75
3.31.1 เครื่องควบแน่นชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ....76
3.31.2 หอระบายความเย็น (Cooling Tower)....77
3.32 วาล์วขยาย (Expansion Valve)....77
3.33 อุปกรณ์เสริมอื่น ๆ ของระบบ....78
3.33.1 Filter Drier....79
3.33.2 กระจกมองสารทำความเย็น (Sight Glasses)....79
3.33.3 อุปกรณ์แยกน้ำมัน (Oil Separate)....79
3.33.4 ท่ออ่อนกันสะเทือน....80
3.33.5 วาล์วบริการ....80
3.34 วิธีการเชื่อมต่อบอร์ดควบคุมกับคอมพิวเตอร์....80
3.34.1 การส่งและอ่านข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรม RS 485....82
3.35 การทำงานของ Stepper Motor....83
3.35.1 การกระตุ้นและควบคุมการหมุนของ Stepper Motor....83

บทที่ 4 การออกแบบระบบและวิธีการทดลอง....86
4.1 บทนำ....86
4.2 อุปกรณ์และการออกแบบระบบเครื่องทำความเย็น....87
4.2.1 เครื่องระเหย....87
4.2.2 เครื่องควบแน่น....88
4.2.3 เครื่องอัด....89
4.2.4 หอผสม....90
4.2.5 วาล์วขยาย....91
4.2.6 กระจกมองสารทำความเย็น....92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.7 กรอง..... 93
4.2.8 สารทำความเย็น..... 93
4.2.9 ท่อสารทำความเย็น 93
4.3 อุปกรณ์และการออกแบบระบบควบคุมการทำงาน..... 94
4.3.1 วิธีการเชื่อมต่อบอร์ดควบคุมกับคอมพิวเตอร์..... 94
4.3.2 ชุดแปลงสัญญาณ USB เป็นสัญญาณ RS 485..... 95
4.4 การต่อใช้งาน USB เข้ากับ Port USB ของ ET-USB/RS485..... 95
4.4.1 เสียบสาย USB เข้ากับ Port USB..... 95
4.4.2 ติดตั้ง Driver..... 96
4.5 การตั้งค่ารับส่งข้อมูล..... 96
4.6 การเปลี่ยนหมายเลข Com Port..... 98
4.7 โปรแกรมควบคุม Electronic Expansion Valve และวิธีการใช้งาน..... 99
4.8 การกระตุ้นการทำงานของ Electronic Expansion Valve..... 105
4.9 เครื่องมือวัดและอุปกรณ์ในการทดสอบ..... 105
4.9.1 หัววัดอุณหภูมิ..... 105
4.9.2 เครื่องวัดและบันทึกความชื้นสัมพัทธ์..... 105
4.9.3 มาตรวัดวัตต์ – ชั่วโมง..... 105
4.9.4 มาตรวัดความดัน..... 106
4.10 วิธีการทดสอบ..... 106
4.10.1 ช่องเก็บอาหาร..... 106
4.10.2 ขีดความสามารถตามขีดความสามารถในการทำงาน ณ อุณหภูมิโดยรอบแบ่งออกเป็น 4 ชั้นภูมิอากาศ..... 106
4.10.3 ช่องแช่ตู้เย็นแบ่งตามอุณหภูมิเก็บอาหารออกเป็น 3 ประเภท..... 106
4.10.4 การควบคุมสภาวะการทดสอบที่เสถียร..... 107
4.10.5 การทดสอบการใช้พลังงาน..... 107
4.10.6 การทดสอบความสามารถทำน้ำแข็ง..... 108
4.11 รายละเอียดการทดสอบ..... 108

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 109
5.1 ผลการทดลองและการวิเคราะห์..... 109

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.1.1 สรุปผลการทดลอง..... 126
5.1.2 ข้อเสนอแนะ..... 127

บรรณานุกรม..... 128

ภาคผนวก..... 130
ภาคผนวก ก. โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของ Electronic Expansion Valve 131
ภาคผนวก ข. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่..... 181

ประวัติผู้เขียน..... 191

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

3.1 ค่าความดันบรรยากาศและอุณหภูมิอิ่มตัวของน้ำที่ระดับความสูงต่าง ๆ.....20

3.2 แสดงคุณสมบัติของน้ำที่เป็นของเหลวอิ่มตัวและไออิ่มตัว.....23

3.3 ตัวอย่างมาตรฐานการทดสอบของเครื่องอัด.....46

3.4 แสดงการกระตุ้นแบบ Full Step 1 Phase.....84

3.5 แสดงการกระตุ้นแบบ Full Step 2 Phase.....84

3.6 แสดงการกระตุ้นแบบ Haft Step.....85

4.1 รายละเอียดการออกแบบเครื่องระเหย.....88

4.2 รายละเอียดการออกแบบเครื่องควบแน่น.....89

4.3 รายละเอียดการออกแบบเครื่องอัด.....90

4.4 รายละเอียดการออกแบบหอผสม.....91

4.5 รายละเอียดการออกแบบ Electronic Expansion Valve.....92

4.6 รายละเอียดการออกแบบกระจกมองสารทำความเย็น.....92

4.7 รายละเอียดการออกแบบกรอง.....93

4.8 การกระตุ้นการทำงานของ Electronic Expansion Valve.....105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

1.1 แสดงอัตราส่วนการอัดที่มีผลต่อประสิทธิภาพเชิงปริมาตร.....2

1.2 แสดงการทำงานของระบบทำความเย็นแบบอัดสองขั้น.....4

1.3 T-S Diagram ของระบบทำความเย็นแบบอัดสองขั้น.....5

3.1 ผลของความลึกที่มีผลต่อความดันของไหล..... 10

3.2 ผลของความดันของก๊าซที่ความลึก.....10

3.3 Absolute, Gage and Vacuum Pressure 11

3.4 การถ่ายเทความร้อนของวัตถุที่มีอุณหภูมิต่างกัน 12

3.5 การเปรียบเทียบสเกลอุณหภูมิ..... 12

3.6 โมเลกุลของสารที่เป็นของแข็ง.....15

3.7 โมเลกุลของสารที่เป็นของเหลว.....16

3.8 โมเลกุลของสารที่เป็นของไอ.....17

3.9 ขบวนการเปลี่ยนแปลงสถานะของสารใน 3 สถานะ..... 17

3.10 ไอน้ำที่อยู่ในสถานะของเหลวอิ่มตัว, ไออิ่มตัวและไอร้อนยิ่งยวด.....19

3.11 กระบวนการเปลี่ยนแปลงสถานะของน้ำภายใต้ความดันบรรยากาศ.....19

3.12 อุณหภูมิอิ่มตัวของสารบริสุทธิ์เปลี่ยนแปลงเมื่อความดันเหนือสารบริสุทธิ์สูงขึ้น.....20

3.13 แผนภาพอุณหภูมิ-ปริมาตรจำเพาะ (T-v Diagram).....21

3.14 แผนภาพความดัน - ปริมาตรจำเพาะ (P-v Diagram)..... 22

3.15 สารบริสุทธิ์ที่มีสถานะเป็นของผสม ของเหลว-ไอ.....24

3.16 กระบวนการ Adiabatic 25

3.17 แสดงการนำความร้อน..... 25

3.18 แสดงการพาความร้อน..... 26

3.19 แสดงการพาความร้อนแบบบังคับ.....26

3.20 แสดงการพาความร้อนแบบอิสระ..... 27

3.21 แสดงการแผ่รังสี.....27

3.22 แผนภาพแสดงการทำงานของวัฏจักรการทำความเย็นชนิดอัดไอแบบอุดมคติ..... 28

3.23 แผนภาพแสดงการทำงานของปั๊มความร้อน..... 29

3.24 ภาพแสดงระบบการอัดไอแบบอัดสองขั้น.....31

3.25 P-h Diagram ของระบบการอัดไอแบบสองขั้น..... 31

3.26 แสดงวัฏจักรทำความเย็นแบบอัดสองขั้น.....32

เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.27 แสดงวัฏจักรทำความเย็นแบบอัดสองขั้น.....33

3.28 P-h Diagram ของระบบการอัดไอแบบขั้นเดียว.....34

3.29 แผนภาพแสดงวัฏจักรการทำความเย็นชนิดอัดไอทางปฏิบัติ.....36

3.30 แผนภูมิ Psychometric 37

3.31 การให้ความร้อนและการทำความเย็นอย่างง่าย.....39

3.32 การให้ความร้อนพร้อมด้วยการเพิ่มความชื้น.....40

3.33 การทำความเย็นพร้อมด้วยการลดความชื้น.....41

3.34 การทำความเย็นโดยวิธีการระเหย.....41

3.35 การผสมอากาศ.....42

3.36 ตัว Name Plate ที่ติดบนตัวเครื่องอัด.....45

3.37 สัญลักษณ์ขั้วไฟฟ้าของมอเตอร์.....47

3.38 วงจรมอเตอร์แบบ PSC.....48

3.39 วงจรมอเตอร์แบบ CSR.....49

3.40 วงจรมอเตอร์แบบ IR.....49

3.41 วงจรควบคุมโดยไมโครคอมพิวเตอร์.....50

3.42 สตาร์ทรีเลย์.....51

3.43 สตาร์ทคาปาซิเตอร์.....52

3.44 รันคาปาซิเตอร์.....52

3.45 ตัวต้านทานบรีดเดอร์.....53

3.46 OCR ชนิดบรรจุปรอท.....54

3.47 ตัวป้องกันมอเตอร์แบบติดตั้งอยู่ภายใน.....54

3.48 ตัวป้องกันอุณหภูมิเกินชนิดติดตั้งภายนอก.....55

3.49 ตัวป้องกันการต่อแบบสลับเฟส.....56

3.50 ลักษณะเหตุการณ์อัดสารทำความเย็นเหลวของเครื่องอัด.....63

3.51 Accumulator.....64

3.52 ความผิดปกติที่เกิดขึ้นเนื่องจากมีสิ่งแปลกปลอมอื่นเข้าภายในระบบ.....65

3.53 ความผิดปกติเนื่องจากมีอากาศ และความชื้นเข้าไปในระบบ.....66

3.54 ที่ดักน้ำมัน.....68

3.55 การเดินท่อด้านอัด.....69

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.56 การเดินท่อสารทำความเย็นเหลว....70
3.57 การเดินท่อสารทำความเย็นด้านดูด....70
3.58 ไดอะแกรมเวลาของการส่งข้อมูลไปยังเครื่องพิมพ์....81
3.59 Timing ของการส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส....82
3.60 โครงสร้างพื้นฐานของ Step Motor ชนิด ยูนิโพล่าร์แบบ 5 และ 6 สาย....83
4.1 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง....86
4.2 แสดงเครื่องระเหย....88
4.3 แสดงเครื่องควบแน่น....89
4.4 แสดงเครื่องอัด....90
4.5 แสดงหอผสม....91
4.6 แสดงวาล์วขยายชนิด Electronic Expansion Valve....91
4.7 แสดงกระจกมองสารทำความเย็น....92
4.8 แสดงกรอง....93
4.9 แสดง ET-USB/RS485 Module....95
4.10 แสดง Port การเชื่อมต่อ สาย USB กับคอมพิวเตอร์....95
4.11 แสดงการตั้งค่ารับส่งข้อมูล....96
4.12 แสดงการเลือก Port Settings....97
4.13 แสดงการกำหนดค่า Receive....97
4.14 แสดงการเปลี่ยน COM Port....98
4.15 แสดงการเลือก Port Settings....98
4.16 แสดงการเปลี่ยน Port....99
4.17 โปรแกรมควบคุม Electronic Expansion Valve....99
4.18 แสดงการกำหนดค่า Serial DATA....100
4.19 แสดงการกำหนดค่า Log File....100
4.20 แสดงการกำหนดค่า Thermistor....101
4.21 แสดงการควบคุม Electronic Expansion Valve แบบ Manual....102
4.22 แสดงการควบคุม Electronic Expansion Valve แบบ Auto by Temp....103
4.23 แสดงการควบคุม Electronic Expansion Valve แบบ Auto by EXV....104

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.1 กราฟแสดงผลการทดลองระบบอัดสองขั้นโดยควบคุมความดันด้าน Suction ของวัฏจักรความดันต่ำที่ 40 Psig 109
5.2 กราฟแสดงผลการทดลองระบบอัดสองขั้นโดยควบคุมความดันด้าน Suction ของวัฏจักรความดันต่ำที่ 35 Psig 110
5.3 กราฟแสดงผลการทดลองระบบอัดสองขั้นโดยควบคุมความดันด้าน Suction ของวัฏจักรความดันต่ำที่ 30 Psig 111
5.4 กราฟแสดงผลการทดลองระบบอัดสองขั้นโดยควบคุมความดันด้าน Suction ของวัฏจักรความดันต่ำที่ 25 Psig 112
5.5 กราฟแสดงผลการทดลองระบบอัดสองขั้นโดยควบคุมความดันด้าน Suction ของวัฏจักรความดันต่ำที่ 20 Psig 113
5.6 กราฟแสดงผลการทดลองระบบอัดสองขั้นโดยควบคุมความดันด้าน Suction ของวัฏจักรความดันต่ำที่ 15 Psig 114
5.7 กราฟแสดงผลการทดลองระบบอัดสองขั้นโดยควบคุมความดันด้าน Suction ของวัฏจักรความดันต่ำที่ 10 Psig 115
5.8 กราฟแสดงผลการทดลองระบบอัดสองขั้นโดยควบคุมความดันด้าน Suction ของวัฏจักรความดันต่ำที่ 5 Psig 116
5.9 กราฟแสดงการควบคุมความดันด้าน Suction ของทั้งสองวัฏจักรที่เหมาะสม 117
5.10 กราฟแสดงการควบคุมความดันด้าน Suction 118
5.11 แสดงการเปรียบเทียบความสามารถในการทำความเย็นระหว่างระบบ Single Stage กับระบบ Two Stage 120
5.12 แสดงการเปรียบเทียบพลังงานที่จ่ายให้กับเครื่องอัด 121
5.13 แสดงการเปรียบเทียบค่า COP ระหว่างระบบ Single Stage กับ ระบบ Two Stage 122
5.14 แสดงอุณหภูมิด้าน Discharge ของเครื่องอัด 123
5.15 แสดงอัตราส่วนการอัดของเครื่องอัด 124
5.16 อัตราการไหลของสารทำความเย็น 125

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

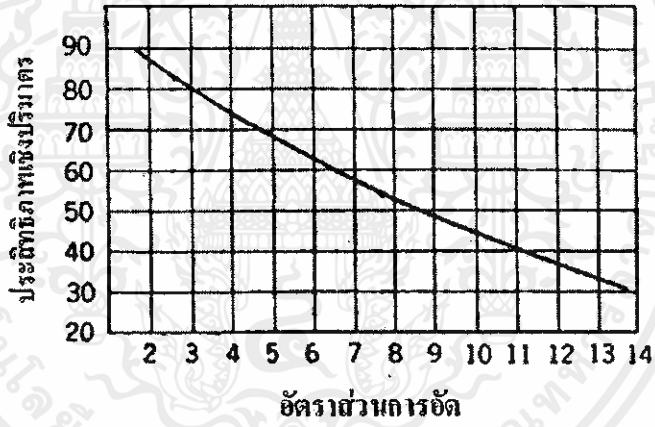
ระบบเครื่องทำความเย็นที่นิยมใช้กันในปัจจุบันเป็นระบบที่มีการอัดเพียงขั้นเดียว ซึ่งไม่เหมาะกับอุตสาหกรรมบางประเภทที่ต้องการควบคุมอุณหภูมิต่ำตัวอย่างเช่น การแช่แข็งอาหารประเภทเนื้อสดที่ต้องการเก็บรักษาที่อุณหภูมิประมาณ -20 องศาเซลเซียส ซึ่งจะต้องควบคุมความดันสารทำความเย็นด้านความดันต่ำของระบบเครื่องทำความเย็นอยู่ที่ประมาณ 4 Psig ซึ่งการทำงานที่สภาวะดังกล่าวทำให้อัตราส่วนการอัดของเครื่องอัดมีค่าสูง อัตราส่วนการอัดที่มีค่าสูงส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพเชิงปริมาตรของตัวเครื่องอัด ดังแสดงในกราฟรูปที่ 1.1 [9] ผลที่ตามมาก็คือทำให้ค่าประสิทธิภาพการทำงานของระบบต่ำ นอกจากนี้ประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นชนิดอัดไอยังขึ้นอยู่กับสภาวะการทำงานของระบบเป็นสำคัญ ซึ่งวัฏจักรการทำงานจริงของระบบมีความแตกต่างจากวัฏจักรทางทฤษฎีเนื่องจากสภาวะการทำงานที่ผันกลับไม่ได้ในอุปกรณ์หลายส่วน ซึ่งสาเหตุหลัก ๆ เนื่องมาจากความต้านทานการไหลภายในท่อ การถ่ายโอนความร้อนระหว่างระบบและสิ่งแวดล้อม ข้อจำกัดการทำงานของอุปกรณ์ก็เป็นสาเหตุหนึ่งที่ต้องควบคุมให้วัฏจักรการทำงานจริงของระบบมีความแตกต่างจากวัฏจักรทางทฤษฎี ตำแหน่งที่วัฏจักรการทำงานจริงมีความแตกต่างจากวัฏจักรทางทฤษฎีและส่งผลกระทบต่อระบบได้แก่ ตำแหน่งที่สารทำความเย็นออกจากเครื่องระเหยแล้วเข้าเครื่องอัด ในการทำงานจริงไม่สามารถควบคุมสารทำความเย็นให้อยู่ในสถานะไออิ่มตัวได้อย่างแม่นยำ ดังนั้นจำเป็นต้องออกแบบเผื่อให้สารทำความเย็นอยู่ในสถานะไอร้อนยิ่งยวดเล็กน้อยที่สภาวะทางเข้าเครื่องอัด เพื่อให้มั่นใจว่าสารทำความเย็นที่ไหลเข้าสู่เครื่องอัดมีการระเหยอย่างสมบูรณ์ เพราะถ้าหากมีของเหลวเข้าสู่เครื่องอัดจะทำให้เกิดความเสียหายแก่ลิ้นเครื่องอัดได้ แต่การทำให้สารทำความเย็นก่อนเข้าเครื่องอัดอยู่ในสถานะไอร้อนยิ่งยวดมากเกินไปก็มีผลเสียหลายประการตัวอย่างเช่น อุณหภูมิของลิ้นทางออกจากเครื่องอัดสูงขึ้น ซึ่งในทางปฏิบัติจะต้องระวังไม่ให้สูงมากนักเพราะจะทำให้ต้องใช้เครื่องอัดที่มีขนาดใหญ่ไม่เป็นการประหยัด ปริมาตรจำเพาะของไอสารทำความเย็นก่อนเข้าเครื่องอัดมีค่าสูงขึ้น ทำให้อัตราการไหลโดยมวลลดลง ความสามารถในการทำความเย็นก็จะลดลง ถ้ากระบวนการกลายเป็นไอร้อนยิ่งยวดเกิดในเครื่องระเหยแทนที่จะเกิดในท่อดูด ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนในเครื่องระเหยลดลงเพราะสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของสารทำความเย็นในสถานะไอแห้งมีค่าต่ำกว่าสารทำความเย็นที่มีสถานะเป็นของเหลว ส่งผลให้กำลังงานที่ให้กับเครื่องอัดเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพของการควบแน่นลดลง เพราะสารทำความเย็นที่อยู่ในสถานะไอร้อนยิ่งยวดก่อนเข้าเครื่องอัด เมื่อถูกอัดจะมีอุณหภูมิสูงกว่าสารทำความเย็นที่ถูกอัดในสถานะไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิ่มตัว แต่ความดันยังเท่าเดิม ดังนั้นสารทำความเย็นจำเป็นต้องคายความร้อนให้กับสารหล่อเย็นเพิ่มขึ้นเพื่อควบแน่นสารทำความเย็นให้เป็นของเหลว

ท่อที่เชื่อมต่อระหว่างเครื่องระเหยและเครื่องอัดมีความยาวมากเป็นสาเหตุทำให้มีความดันลดเนื่องจากความต้านทานการไหลภายในท่อรวมทั้งมีการถ่ายโอนความร้อนจากสิ่งแวดล้อมเข้าสู่สารทำความเย็น ซึ่งทำให้สารทำความเย็นที่ออกจากเครื่องระเหยมีความดันและอุณหภูมิต่ำปริมาตรจำเพาะสูงขึ้นค่าการทำความเย็นลดลง

กระบวนการอัดของเครื่องอัดทางทฤษฎีมีลักษณะเป็นกระบวนการ Isentropic คือมีค่าเอนโทรปีคงที่ แต่กระบวนการอัดจริงจะมีผลที่เกิดจากสภาวะผันกลับไม่ได้ในอุปกรณ์เนื่องจากความต้านทานการไหลซึ่งทำให้ค่าเอนโทรปีมีค่าเพิ่มสูงขึ้น การสิ้นเปลืองกำลังงานในการขับของเครื่องอัดก็จะสูงขึ้นไปด้วย ฉะนั้นในการออกแบบและควบคุมการทำงานของระบบทำความเย็นจะต้องออกแบบและควบคุมการทำงานของระบบให้มีวัฏจักรการทำงานจริงให้ใกล้เคียงกับวัฏจักรทางทฤษฎีมากที่สุดเพื่อความประหยัดพลังงานและประสิทธิภาพการทำงานของระบบที่ดีที่สุด



รูปที่ 1.1 แสดงอัตราส่วนการอัดที่มีผลต่อประสิทธิภาพเชิงปริมาตร

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งหวังเพื่อออกแบบระบบการทำงานและศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องทำความเย็นแบบอัดไอชนิดอัดสองขั้น โดยใช้วัฏจักรการทำความเย็นสองวัฏจักรต่อกันในลักษณะอนุกรมแต่ละวัฏจักรถูกต่อเชื่อมด้วยหอผสม หอผสมทำหน้าที่เป็นตัวแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างเครื่องระเหยของวัฏจักรความดันสูง และเครื่องควบแน่นของวัฏจักรความดันต่ำ ซึ่งจะต้องหาวิธีการควบคุมความดันของสารทำความเย็นในแต่ละอุปกรณ์และอัตราการไหลของสารทำความเย็นแต่ละวัฏจักรให้สามารถทำงานสอดคล้องกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเพื่อที่จะให้ระบบสามารถทำงานที่ประสิทธิภาพสูงทุก ๆ สภาวะการทำงานของระบบ เช่น เมื่อภาระที่จ่ายให้กับระบบเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิที่เครื่องระเหยเปลี่ยนแปลงหรืออุณหภูมิอากาศที่ระบายความร้อนเครื่องควบแน่นเปลี่ยนแปลง ระบบจะต้องทำงานได้ที่ประสิทธิภาพสูง อีกทั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะการทำงานดังกล่าวที่เปลี่ยนแปลง ระบบจะต้องทำงานได้อย่างปลอดภัยคือ จะต้องไม่เกิดสภาวะที่ตัวเครื่องอัดมีอุณหภูมิสูงเกินกำหนดในสภาวะการทำงานที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากสารทำความเย็นที่ไหลกลับเข้าเครื่องอัดทางด้านดูดมีสถานะเป็นไอร้อนยิ่งยวดมากเกินไปทำให้สารทำความเย็นไม่สามารถรับความร้อนจากตัวเครื่องอัดได้เพียงพอ หรือจะต้องไม่เกิดสภาวะที่วาล์วของเครื่องอัดอัดของเหลวในกรณีการทำงานที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ เนื่องจากสารทำความเย็นที่ไหลเข้าเครื่องอัดทางด้านดูดมีสถานะเป็นของเหลว เป็นต้น

ในส่วนของรายละเอียดการศึกษาในการควบคุมเพื่อให้ระบบสามารถทำงานอย่างมีประสิทธิภาพนั้นมุ่งเน้นไปที่การควบคุมอัตราการไหลของสารทำความเย็นของทั้งสองวัฏจักร โดยใช้ Electronic Expansion Valve เป็นตัวควบคุมในขั้นแรก โดยตัวแปรที่ต้องนำมาวิเคราะห์ในการควบคุม Electronic Expansion Valve ประกอบไปด้วย อุณหภูมิจุดอ้างอิง สมการในการควบคุมการเปลี่ยนตำแหน่ง ระยะเวลาการประมวลผลเพื่อเปลี่ยนตำแหน่ง ตำแหน่งเริ่มต้น ตำแหน่งต่ำสุดและสูงสุดของ Electronic Expansion Valve ส่วนการควบคุมอัตราการไหลของสารทำความเย็นในขั้นที่สองจะควบคุมโดยใช้ Inverter เพื่อควบคุมความเร็วรอบการทำงานของตัวเครื่องอัด เพื่อจุดประสงค์ในการเพิ่มหรือลดอัตราการไหลของสารทำความเย็น ผลที่ได้จากการควบคุมอัตราการไหลของสารทำความเย็นภายในระบบ ก็จะส่งผลถึงกำลังงานที่จ่ายให้กับระบบ ค่าความสามารถการทำความเย็นและความดันทำงานของสารทำความเย็นแต่ละวัฏจักรได้

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

ลักษณะการทำงานของระบบการทำความเย็นชนิดอัดสองขั้นในลักษณะอนุกรมนั้น แบ่งการทำงานออกเป็นสองวัฏจักรซึ่งประกอบด้วยวัฏจักรความดันสูงและวัฏจักรความดันต่ำ ซึ่งในการควบคุมความดันด้านเครื่องระเหยของวัฏจักรความดันสูงผ่านทางวาล์วขยายที่นิยมใช้ในปัจจุบัน เช่น Thermostatic Expansion Valve, Capillary Tube แต่เนื่องจากอุปกรณ์ดังกล่าวมีข้อเสียในการทำงาน คือไม่สามารถควบคุมตำแหน่งการเปิดตามสภาวะการทำงานของระบบโดยให้มีความสอดคล้องระหว่างวัฏจักรความดันสูงกับวัฏจักรความดันต่ำได้อย่างแน่นอน อีกทั้งการควบคุมตำแหน่งการเปิดต่ำสุดหรือสูงสุดนั้นก็ทำได้ยาก ซึ่งเหตุผลดังกล่าวจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบลดลงหรือทำให้ระบบได้รับความเสียหายได้ การแก้ไขปัญหาข้างต้น สามารถทำได้โดยใช้วาล์วขยายชนิด Electronic Expansion Valve เนื่องจากการทำงานของ Electronic Expansion Valve นั้นเป็นวาล์วรูเข็มที่ใช้ Step Motor เป็นตัวขับ ดังนั้นการควบคุมตำแหน่งการเปิดของวาล์วนั้นสามารถควบคุมได้อย่างแม่นยำผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยใช้ข้อมูลอ้างอิงที่เหมาะสมในการควบคุมการทำงาน แต่การควบคุมการทำงานของระบบการทำความเย็นแบบอัดสองขั้นโดยใช้วาล์วขยายเพียงอย่างเดียวนั้นไม่สามารถทำให้ระบบทำงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดได้ เนื่องจากเมื่อสภาวะการทำงานของระบบเปลี่ยนแปลง อัตราการไหลของสารทำความเย็นของทั้งสองระบบต้องสอดคล้องกับภาระที่เปลี่ยนแปลงด้วย ซึ่งการใช้

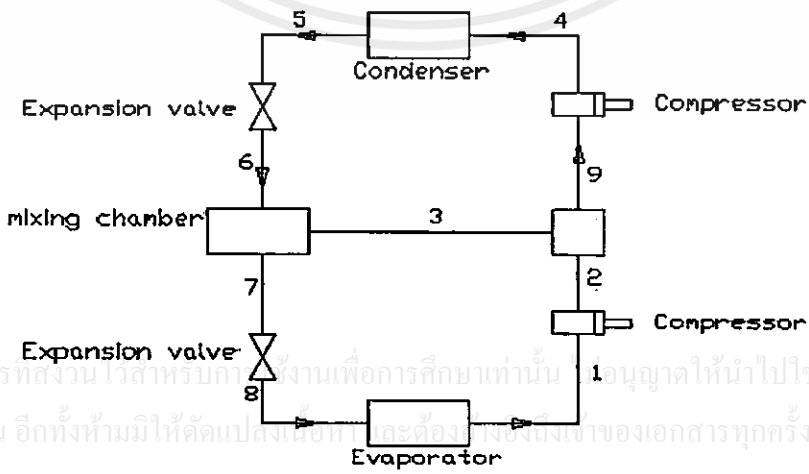
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วาล์วขยายเพียงอย่างเดียวในการควบคุมนั้นสามารถควบคุมได้ในช่วงแคบ ๆ ซึ่งปัญหาดังกล่าวแก้ไขได้โดยการใช้ Inverter เป็นตัวควบคุมอีกขั้นหนึ่ง ซึ่ง Inverter จะเป็นตัวควบคุมความเร็วรอบของเครื่องอัดให้ลดลงหรือเพิ่มขึ้นตามสภาวะการทำงาน เพื่อควบคุมอัตราการไหลของสารทำความเย็นให้เหมาะสม

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

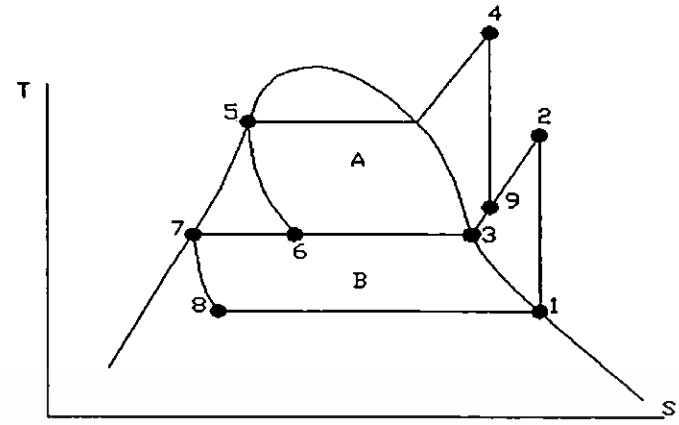
ระบบการทำความเย็นที่ต้องการทำงานที่อุณหภูมิต่ำมาก จะต้องควบคุมอุณหภูมิการทำงานของสารทำความเย็นที่เครื่องระเหยให้ต่ำนั้นหมายความว่าความดันที่เครื่องระเหยก็จะต้องต่ำด้วยซึ่งจะส่งผลให้ผลต่างของความดันระหว่างเครื่องระเหยและเครื่องควบแน่นจะมีค่าสูง เนื่องจากโดยทั่วไประบบการทำความเย็นที่ใช้อากาศบรรยากาศเป็นตัวระบายความร้อนที่เครื่องควบแน่นจะใช้อากาศบรรยากาศทั่วไปซึ่งอุณหภูมิของอากาศที่ใช้ระบายความร้อนขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมที่ไม่สามารถควบคุมได้ ดังนั้นเป็นไปได้ยากที่จะลดความดันด้านเครื่องควบแน่นลงมา ผลที่ตามมาก็คือทำให้เครื่องอัดทำงานที่อัตราส่วนความดันที่มีค่าสูง ส่งผลให้ประสิทธิภาพของระบบต่ำ ซึ่งปัญหาดังกล่าวแก้ไขได้โดยแบ่งการอัดเป็นขั้น ๆ เพื่อลดอัตราส่วนการอัดของเครื่องอัดที่มีค่าสูง

การทำงานเบื้องต้นของระบบทำความเย็นแบบอัดสองขั้น เริ่มจากสารทำความเย็นที่ออกจากเครื่องควบแน่นมีสถานะเป็นของเหลวไหลผ่านวาล์วขยายเพื่อลดความดันจนมีความดันเท่ากับความดันในหอผสม ซึ่งมีความดันเท่ากับความดันระหว่างเครื่องอัดทั้งสองตัว ในระหว่างกระบวนการนี้จะมีของเหลวบางส่วนระเหยกลายเป็นไออิ่มตัว (สภาวะ 3) ไปผสมกับไอร้อนยิ่งยวดที่มาจากเครื่องอัดความดันต่ำ (สภาวะ 2) จากนั้นไอผสมนี้จะถูกดูดโดยเครื่องอัดความดันสูง (สภาวะ 9) ส่วนสารทำความเย็นที่เป็นของเหลวอิ่มตัวในหอผสม จะไหลผ่านวาล์วขยาย (สภาวะ 8) เข้าสู่เครื่องระเหยเพื่อรับความร้อนจากผลิตภัณฑ์ที่ต้องการทำความเย็น



รูปที่ 1.2 แสดงการทำงานของระบบทำความเย็นแบบอัดสองขั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.3 T-S Diagram ของระบบทำความเย็นแบบอัดสองขั้น

การควบคุมการทำงานของวาล์วขยายมีวิธีการโดยการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อควบคุมการทำงานของ Electronic Expansion Valve ให้ควบคุมอัตราการไหลของสารทำความเย็นของทั้งสองวัฏจักรให้ได้ค่าที่เหมาะสม เพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งในการทดสอบประสิทธิภาพพลังงานของระบบนั้นอาศัย มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมตู้เย็นสำหรับใช้ในบ้าน (มอก. 455 – 2537) และ ISO 7371-1985 (Performance of Household Refrigerating Appliances Refrigerators With or Without Low Temperature Compartment) [17]

1.5 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน

วาล์วขยายเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบทำความเย็นที่มีจุดประสงค์เพื่อควบคุมอัตราการไหลและลดความดันสารทำความเย็นจากด้านความดันสูงเป็นความดันต่ำที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป ตัวอย่าง เช่น Capillary Tube มีลักษณะเป็นท่อขนาดเล็กไม่สามารถเปลี่ยนแปลงเส้นผ่านศูนย์กลางหรือขนาดของท่อได้ดังนั้นจะมีข้อจำกัดในการออกแบบระบบค่อนข้างสูงที่จำเป็นต้องเผื่อค่าความปลอดภัยในการทำงานของระบบคือ อุณหภูมิทำงานของสารทำความเย็นในเครื่องระเหยจะต้องอยู่ในขอบเขตที่ไม่ทำให้เกิดสภาวะสารทำความเย็นขาดหรือเกินจนส่งผลให้เครื่องอัดเกิดความเสียหาย ซึ่งข้อจำกัดดังกล่าวส่งผลให้มีข้อจำกัดในการใช้งานด้วย Thermostatic Expansion Valve มีหลักการทำงานคือ ใช้กระเปาะที่ติดแนบกับท่อสารทำความเย็นเป็นตัวรับอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิของน้ำยาในกระเปาะเปลี่ยนแปลงทำให้ความดันเปลี่ยนแปลงเพื่อปรับให้ลิ้นของ Thermostatic Expansion Valve เปิดกว้างมากหรือน้อยตามการเปลี่ยนแปลงความดันในกระเปาะที่เปลี่ยนแปลง จะเห็นได้ว่าการควบคุมการทำงานของ Thermostatic Expansion Valve ต้องอาศัยอุณหภูมิสารทำความเย็นที่เปลี่ยนแปลงได้เพียงอย่างเดียว ซึ่งก็เป็นข้อจำกัดในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควบคุม ในส่วนของ Electronic Expansion Valve เป็นลักษณะวาล์วรูเข็มที่ใช้ Step Motor เป็นตัวขับ ดังนั้นสามารถควบคุมการทำงานได้หลายรูปแบบโดยผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์

การควบคุมการทำงานของระบบการทำความเย็นแบบอัดสองขั้นให้เครื่องอัดของวัฏจักรความดันต่ำกับวัฏจักรความดันสูงสามารถทำงานสอดคล้องกันอย่างมีประสิทธิภาพสูงนั้น จำเป็นต้องใช้เครื่องอัดที่สามารถปรับรอบการทำงานได้ในการควบคุม เพื่อให้การทำงานของเครื่องอัดเหมาะสมกับภาระที่เกิดขึ้นแท้จริงในระบบ ซึ่งในส่วนของงานวิจัยนี้ใช้ Inverter ในการปรับรอบการทำงานควบคู่กับการควบคุมอัตราการไหลโดยใช้ Electronic Expansion Valve

1.6 ขอบเขตการวิจัย

1.6.1 ศึกษาอัตราส่วนของอัตราการไหลสารทำความเย็นระหว่างวัฏจักรความดันสูงและวัฏจักรความดันต่ำ ความดันทำงานสารทำความเย็นในแต่ละอุปกรณ์ อัตราส่วนพลังงานที่จ่ายให้ระบบระหว่างวัฏจักรความดันสูงและวัฏจักรความดันต่ำ และประสิทธิภาพพลังงานของระบบ

1.6.2 หาแนวทางการควบคุมอัตราการไหลของสารทำความเย็นในแต่ละสภาวะการทำงาน ให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบมีค่าสูง

1.6.3 ควบคุมอัตราการไหลของสารทำความเย็นในรูปแบบของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ตามสภาวะการทำงานของระบบ

1.7 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ สมมติฐาน ทฤษฎีที่ใช้ ขอบเขตของการวิจัย และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงการทบทวนวรรณกรรมปริทรรศน์

บทที่ 3 ทฤษฎีเบื้องต้นในการออกแบบเครื่องทำความเย็นชนิดอัดไอ พื้นฐานของระบบเครื่องทำความเย็น หลักการออกแบบระบบโดยทั่วไป และหลักพื้นฐานการเชื่อมต่อบอร์ดควบคุมกับคอมพิวเตอร์

บทที่ 4 อุปกรณ์และการออกแบบระบบเครื่องทำความเย็น วิธีการเชื่อมต่อบอร์ดควบคุมกับคอมพิวเตอร์ วิธีและรายละเอียดการทดสอบ

บทที่ 5 บทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
วรรณกรรมปริทรรศน์

งานวิจัยของ Fumitake Unezaki, Youichi Anzai, Takashi Ikeda, Fumio Matsuoka เรื่อง Energy Saving Refrigeration System for Supermarket [4] ได้ทำการวิจัยระบบทำความเย็นที่ใช้ใน Supermarket มีจุดประสงค์เพื่อลดการใช้พลังงาน โดยใช้เครื่องอัดชนิด DC Inverter สารทำความเย็น R404A โดยใช้อุณหภูมิที่แสดงปัจจุบันกับอุณหภูมิเป้าหมายในการควบคุม โดยทำการคำนวณเพื่อปรับความถี่ในการทำงานของเครื่องอัด เนื่องจากเครื่องอัดที่มีความเร็วรอบในการทำงานคงที่เมื่อภาระในระบบมีน้อยลงส่งผลให้อัตราการไหลของสารทำความเย็นเกินความต้องการซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบลดลง การควบคุมอัตราการไหลของสารทำความเย็นใช้ Electronic Expansion Valve โดยใช้อุณหภูมิทางเข้าและทางออกของเครื่องระเหยในการควบคุมค่าความร้อนยิ่งยวดซึ่งควบคุมค่าความร้อนยิ่งยวดไว้ที่ 8 องศา ผลที่ได้คือสามารถประหยัดพลังงานได้ถึง 31 % ต่อปี

งานวิจัยของ J.Y.M. Cheung, A.S. Kamal เรื่อง Fuzzy Logic Control of Refrigeration Flow [6] ได้ทำการวิจัยเพื่อควบคุมอัตราการไหลของสารทำความเย็นในระบบเครื่องทำความเย็นและระบบเครื่องปรับอากาศ โดยมีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพการทำงานและเพิ่มอายุการใช้งานของระบบ เนื่องจากอัตราการไหลของสารทำความเย็นมีผลกระทบต่อระบบการทำความเย็นในสองเรื่องคือ ประสิทธิภาพและอายุการใช้งาน กรณีที่อัตราการไหลของสารทำความเย็นเกินส่งผลให้สารทำความเย็นระเหยไม่หมดในเครื่องระเหยประสิทธิภาพที่ได้จากการทำความเย็นต่ำ สารทำความเย็นที่เหลือไหลเข้าเครื่องอัดทำให้ตัวเครื่องอัดอุณหภูมิต่ำเกิดน้ำแข็งและส่งผลให้เครื่องอัดได้รับความเสียหายจากการอัดสารทำความเย็นที่มีสถานะเป็นของเหลวได้ กรณีที่อัตราการไหลของสารทำความเย็นขาด ส่งผลให้สารทำความเย็นเหลวระเหยหมดก่อนไม่เต็มพื้นที่คอยล์ ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำความเย็นและอุณหภูมิของเครื่องอัดจะสูงขึ้นเนื่องจากไม่มีสารทำความเย็นไปช่วยในการระบายความร้อน จากเหตุผลดังกล่าวจะเห็นว่าการควบคุมอัตราการไหลที่เหมาะสมมีความจำเป็นมาก วาล์วขยายที่นิยมใช้ในปัจจุบัน คือ Thermostatic Expansion Valve มีการควบคุมอัตราการไหลโดยใช้อุณหภูมิตำแหน่งทางออกของเครื่องระเหยเป็นตัวควบคุม ซึ่งจากผลการวิจัยที่ผ่านมาจะเห็นว่ามีความสามารถในการควบคุมช่วงสภาวะการทำงานที่แคบ ในงานวิจัยนี้จึงใช้ Electronic Expansion Valve เป็นตัวควบคุมโดยใช้วิธี Fuzzy Logic Control ใช้อุณหภูมิสองตำแหน่งในการควบคุมคือ อุณหภูมิสารทำความเย็นตำแหน่งทางเข้าเครื่องระเหยและทางออกเครื่องระเหยเป็นตัวควบคุมค่าความร้อนยิ่งยวดที่ 8 องศา โดยใช้ช่วงเวลาในการปรับตำแหน่ง Step Electronic Expansion Valve ในแต่ละครั้ง 6 วินาที ผลที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเทียบกับวาล์วขยายชนิด Thermostatic Expansion Valve ปรากฏว่าการใช้วิธีการควบคุมอัตราการไหลของ Electronic Expansion Valve มีค่าประสิทธิภาพพลังงานสูงกว่าประมาณ 12 %

งานวิจัยของ Murat Hosoz เรื่อง Performance Comparison of Single-Stage and Cascade Refrigeration System Using R134a as the Working Fluid [7] ได้ทำการวิจัยโดยมีจุดประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงาน อัตราการไหล กำลังงานที่จ่ายให้ระบบ อุณหภูมิด้านอัดของเครื่องอัด ประสิทธิภาพทางปริมาตร และอัตราส่วนการอัด ระหว่างระบบ Single Stage กับระบบ Cascade โดยใช้สารทำความเย็น R134a ในการออกแบบระบบ Single Stage ประกอบไปด้วย เครื่องอัดแบบลูกสูบ เครื่องควบแน่นแบบ Sell and Coil Water Cool วาล์วขยายแบบ Thermostatic Expansion Valve และสารทำความเย็น R134a ส่วนระบบ Cascade เพิ่มวัฏจักรความดันสูงซึ่งประกอบไปด้วย เครื่องอัดแบบ Hermetic เครื่องควบแน่นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ วาล์วขยายชนิด Thermostatic Expansion Valve ผลที่ได้คือระบบ Cascade สามารถทำงานที่อุณหภูมิเครื่องระเหยต่ำกว่า อุณหภูมิทางด้านอัดของเครื่องอัดต่ำกว่า อัตราส่วนการอัดของเครื่องอัดต่ำกว่า ประสิทธิภาพเชิงประสิทธิภาพดีกว่า แต่ค่าประสิทธิภาพพลังงาน (COP) ต่ำกว่า เนื่องมาจากเครื่องอัดที่ต้องใช้ 2 เครื่อง และเกิดความร้อนที่สูญเสียในอุปกรณ์ที่เพิ่มขึ้นมากกว่า

งานวิจัยของ Ahmed Ouadha, Mohammed En-nacer, Lahouari, Omar lmine เรื่อง Exergy Analysis of a Two-Stage Refrigeration Cycle Using Two Natural Substitutes of HCFC22 [1] ได้ทำการศึกษาระบบทำความเย็นแบบ Two-Stage Refrigeration System ใช้การคำนวณในการวิเคราะห์โดยสมการ Energetic Method บนพื้นฐานกฎข้อที่หนึ่งของ Thermodynamic (Energy Balance) โดยวิเคราะห์การทำงานของระบบที่อุณหภูมิเครื่องระเหยคงที่ -30 องศาเซลเซียส และเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเครื่องควบแน่นที่ 30,40,50 และ 60 องศาเซลเซียส โดยใช้สารทำความเย็น 2 ชนิด คือ Propane และ Ammonia ผลการวิจัยที่ได้คือ ค่าประสิทธิภาพพลังงาน (COP) ของระบบที่ใช้สารทำความเย็น Ammonia มีค่ามากกว่าทุก ๆ อุณหภูมิของเครื่องควบแน่นที่เพิ่มขึ้น ค่าอุณหภูมิสารทำความเย็นที่เหมาะสมของ Inter - Stage ต้องปรับขึ้นควบคู่กับอุณหภูมิของเครื่องควบแน่น ซึ่งอุณหภูมิสารทำความเย็นต้องอยู่ในสถานะ Saturated ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Richard C. Jordan and Gayle B. Priester "Refrigeration and Air Conditioning [9] เสนอทฤษฎีระบบการทำความเย็นแบบอัดสองขั้นที่ประกอบไปด้วย เครื่องอัดความดันต่ำ, เครื่องอัดความดันสูง, เครื่องควบแน่น, เครื่องระเหย, วาล์วขยาย โดยใช้ Intercooler เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างวัฏจักรความดันต่ำกับวัฏจักรความดันสูง โดยมี 3 ลักษณะ คือ Flash type

Intercooler, Shell and Coil Type Intercooler, Dry Expansion Intercooler ซึ่งได้เสนอสมการในการควบคุมความดันที่ Intercooler คือ

$$P_i = (Pe \times Pc)^{1/2} \quad (2.1)$$

เมื่อ P_i = ความดันที่ Intercooler

P_e = ความดันที่ เครื่องระเหย

P_c = ความดันที่เครื่องควบแน่น

Yunus A. Cengel, Michael A. Boles 2532 "Thermodynamic An Engineering Approach" [12] เสนอทฤษฎีระบบการทำความเย็นแบบอัดหลายขั้นที่ประกอบไปด้วย เครื่องอัดความดันต่ำ, เครื่องอัดความดันสูง, เครื่องควบแน่น, เครื่องระเหย, วาล์วขยาย โดยใช้ Flash chamber เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างวัฏจักรความดันต่ำกับวัฏจักรความดันสูง ซึ่งเรียกว่าระบบ Multistage Compression Refrigeration และใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเป็นตัวเชื่อมระหว่างวัฏจักรความดันต่ำกับวัฏจักรความดันสูงซึ่งเรียกว่าระบบ Cascade Refrigeration และได้เสนอผลการคำนวณเปรียบเทียบระหว่างระบบการทำความเย็นแบบอัดขั้นเดียวกับระบบการทำความเย็นแบบอัดสองขั้นที่สภาวะการทำงานที่เครื่องควบแน่นและเครื่องระเหยเดียวกัน โดยใช้สารทำความเย็น R-12 ผลที่ได้คือ ระบบการทำความเย็นแบบอัดสองขั้นมีประสิทธิภาพการทำความเย็นสูงกว่า 11.1 เปอร์เซ็นต์

Department of Mechanical Engineering Technical University of Denmark เสนอ วัฏจักรการทำความเย็น แบบ Two stage with open intercooler and load at intermediate pressure ซึ่งประกอบไปด้วย Compressor วัฏจักรความดันต่ำ, Compressor วัฏจักรความดันสูง, Condenser, Evaporator, Expansion valve และ Mixing Chamber โดยได้เสนอสมการสำหรับการคำนวณความดัน Intermediate ที่เหมาะสมจำนวน 3 สมการ คือ

$$P_i = (P_c \times P_e)^{1/2} \quad (2.2)$$

$$P_i = (P_c \times P_e)^{1/2} + 0.35 \text{ (Bar)} \quad (2.3)$$

$$P_i = [T_e+273 \times (P_c \times P_e)^{1/2}]/[T_e+273] \quad (2.4)$$

เมื่อ T_c = อุณหภูมิที่ Condenser

T_e = อุณหภูมิที่ Evaporator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

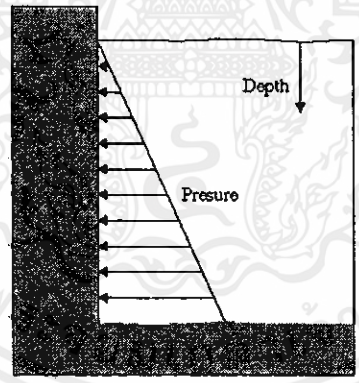
บทที่ 3
ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัย

3.1 ทฤษฎีเบื้องต้นในการออกแบบเครื่องทำความเย็นชนิดอัดไอ

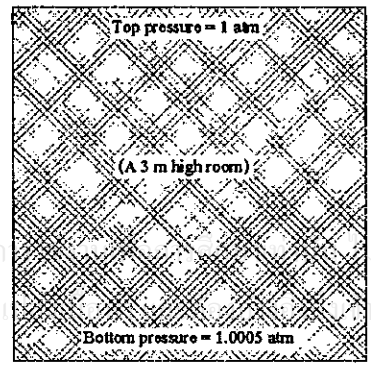
ในการออกแบบระบบเครื่องทำความเย็นหรือระบบเครื่องปรับอากาศ สิ่งสำคัญประการแรกที่ต้องทำความเข้าใจคือหลักการพื้นฐานทางด้านฟิสิกส์ เคมี ที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นพื้นฐานในการออกแบบและการวิเคราะห์การทำงานของระบบได้อย่างถูกต้อง

3.1.1 ความดัน (Pressures)

ความดัน หมายถึงแรงที่กระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่สำหรับของไหลที่อยู่นิ่งหรือของไหลสถิต (Static Fluid) นั้นมีความดันเท่ากันทุกทิศทาง ส่วนความดันของไหลจะเพิ่มขึ้นตามความลึก ซึ่งเป็นผลมาจากน้ำหนักของของไหล กล่าวคือของไหลที่อยู่ด้านล่างจะรับน้ำหนักมากกว่าชั้นที่ถัดขึ้นมาด้านบน โดยสามารถแสดงให้เห็นผลของความลึกต่อความดันของไหล ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ส่วนในกรณีของก๊าซถือได้ว่ามีความดันเท่ากันในทุกระดับความลึกเนื่องจากก๊าซมีน้ำหนักน้อยทำให้มีผลต่อความแตกต่างของความดันที่ความลึกต่าง ๆ น้อยมากดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 ผลของความลึกที่มีผลต่อความดันของไหล



รูปที่ 3.2 ผลของความดันของก๊าซที่ความลึก

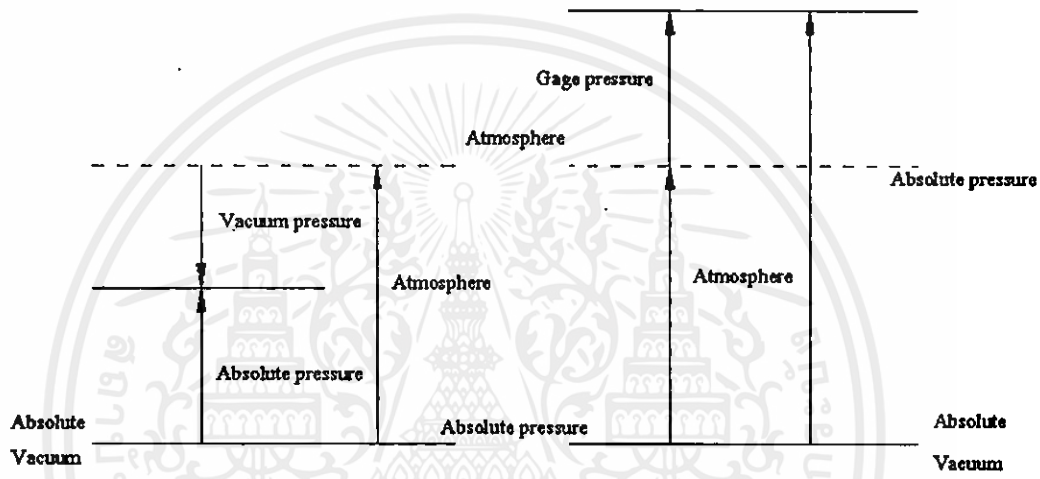
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 ความดันสัมบูรณ์ (Absolute Pressure)

ความดันสัมบูรณ์ หมายถึงความดันที่ใช้ระบุค่าในทางปฏิบัติหรือใช้สำหรับการคำนวณคุณสมบัติต่าง ๆ โดยความดันในรูปความดันสมบูรณ์ (P_{abs}) สามารถคำนวณได้จากความดันประเภทต่าง ๆ ดังนี้คือ ความดันเกจ (P_{gage}), ความดันบรรยากาศ (P_{atm}) , ความดันสุญญากาศ (P_{vac}) การหาความดันสมบูรณ์สามารถพิจารณาได้จากสมการดังต่อไปนี้ [12]

สำหรับความดันที่สูงกว่าบรรยากาศ (P_{abs}) = $P_{atm} + P_{gage}$

สำหรับความดันที่ต่ำกว่าบรรยากาศ (P_{abs}) = $P_{atm} + P_{vac}$

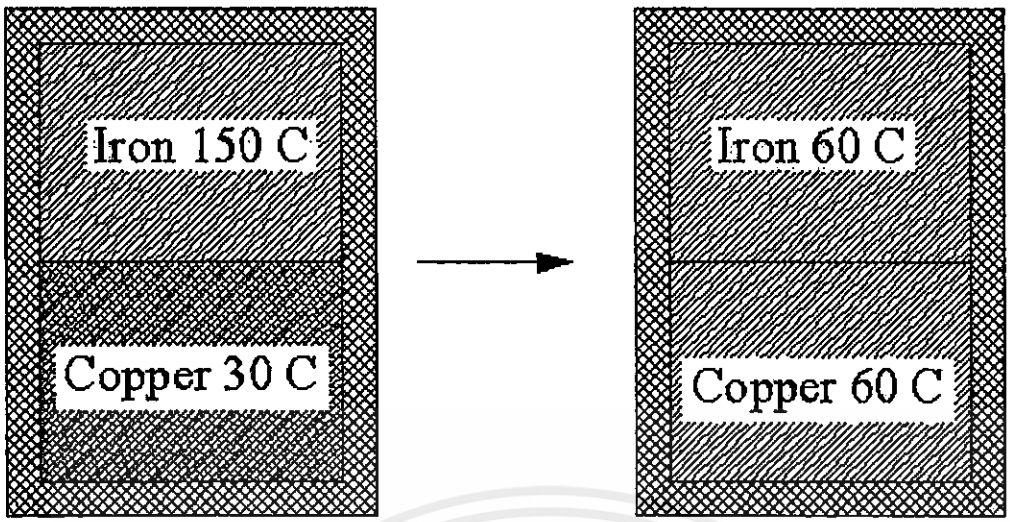


รูปที่ 3.3 Absolute, Gage and Vacuum Pressure

3.1.3 อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิ หมายถึงคุณสมบัติที่ใช้บอกถึง ความร้อน- เย็นของวัตถุต่าง ๆ ซึ่งมนุษย์ไม่สามารถบอกระดับอุณหภูมิได้จากความรู้สึก เนื่องจากในการพิจารณา ความร้อน-เย็นจากความรู้สึกอาจมีความผิดพลาดได้ เช่นมนุษย์มีความรู้สึกว่าวัตถุที่เป็นโลหะมีอุณหภูมิต่ำกว่าวัตถุที่เป็นไม้ถึงแม้ว่าวัตถุทั้งสองมีอุณหภูมิเท่ากันก็ตาม จากการที่คุณสมบัติของสสารหลายอย่างเกิดการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิโดยที่มีทิศทางและขนาดของการเปลี่ยนแปลงที่แน่นอน ปรากฏการณ์ดังกล่าวได้นำมาเป็นหลักเกณฑ์ในการวัดอุณหภูมิที่มีความแม่นยำ โดยวิธีที่เป็นที่นิยมคือการวัดจากการขยายตัวและหดตัว (การเปลี่ยนแปลงปริมาตร) ของปรอทที่บรรจุในหลอดแก้ว โดยเครื่องมือดังกล่าวเรียกว่า เทอร์โมมิเตอร์ เมื่อวัตถุที่มีอุณหภูมิต่างกันสัมผัสกันจะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงไปยังวัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า จนกระทั่งอุณหภูมิของวัตถุทั้งสองอยู่ในสภาวะสมดุลทางความร้อนซึ่งที่สภาวะดังกล่าวการถ่ายเทความร้อนจะสิ้นสุดลง ดังตัวอย่างปรากฏการณ์ การถ่ายเทความร้อนระหว่างเหล็ก (Iron) กับทองแดง (Copper) ดังแสดงในรูปที่ 3.4

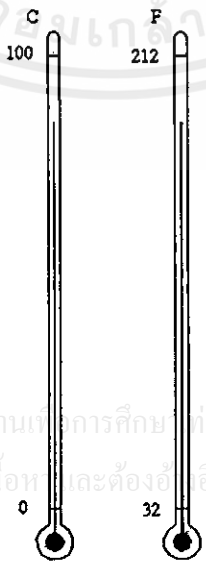
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 การถ่ายเทความร้อนของวัตถุที่มีอุณหภูมิต่างกัน

3.1.4 สเกลอุณหภูมิ (Temperature Scales)

สเกลอุณหภูมิที่ใช้ในระบบ SI คือ องศาเซลเซียส (°C) ซึ่งถูกกำหนดโดย A. Celsius นักดาราศาสตร์ชาวสวีเดน (ค.ศ.1701-1744) ส่วนสเกลอุณหภูมิที่ใช้ในระบบอังกฤษคือ องศาฟาเรนไฮต์ (°F) ซึ่งถูกกำหนดโดย G.Fahrenheit นักประดิษฐ์ชาวเยอรมัน (ค.ศ.1686-1736) [19] สเกลอุณหภูมิมักถูกอ้างอิงกับจุดอ้างอิงหลักสองจุดคือ จุดน้ำแข็ง (Ice Point) และจุดไอน้ำ (Steam Point) ของน้ำ โดยในสเกลองศาเซลเซียสมีการกำหนดให้จุดน้ำแข็งและจุดไอน้ำมีระดับอุณหภูมิเป็น 0 °C และ 100 °C ตามลำดับ ในขณะที่สเกลองศาฟาเรนไฮต์ กำหนดให้เป็น 32 °F และ 212 °F ตามลำดับ



รูปที่ 3.5 การเปรียบเทียบสเกลอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.5 คุณสมบัติของของไหล (Properties of Fluid)

คุณสมบัติพื้นฐานของของไหลได้แก่ น้ำหนักจำเพาะ, ความหนาแน่น, ความถ่วงจำเพาะ และปริมาตรจำเพาะ ซึ่งของไหลดังกล่าวคือของไหลที่มีสถานะเป็นของเหลว (Liquids) และก๊าซ (Gases) ทั้งที่อยู่ในสภาพหยุดนิ่งและกำลังเคลื่อนที่ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้ [10]

1. น้ำหนักจำเพาะ (Specific Weight) คือ น้ำหนักต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร คำนวณได้จากสมการ

$$\gamma = \frac{w}{v} \qquad (3.1)$$

2. ความหนาแน่น (Mass Density) คือ มวลต่อหน่วยปริมาตร คำนวณได้จากสมการ

$$\rho = \frac{m}{V} \qquad (3.2)$$

3. ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) คือ อัตราส่วนของน้ำหนักของวัตถุต่อน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากัน คำนวณได้จากสมการ

$$s = \frac{w}{w_w} = \frac{\gamma}{\gamma_w} = \frac{\rho}{\rho_w} \qquad (3.3)$$

4. ปริมาตรจำเพาะ (Specific Volume) คือปริมาตรสารต่อหนึ่งหน่วยมวล คำนวณได้จากสมการ

$$V_s = \frac{v}{m} = \frac{1}{\rho} \qquad (3.4)$$

3.1.6 การไหล

ในระบบเครื่องทำความเย็น สารทำความเย็นในระบบไหลผ่านอุปกรณ์ต่าง ๆ ลักษณะการไหลมีความแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับการออกแบบ ซึ่งมีทั้งสารทำความเย็นที่มีสถานะเป็นก๊าซ ของผสมและของเหลวอัดตัว ประเภทการไหลลักษณะต่าง ๆ ของสารทำความเย็นมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบสามารถแบ่งประเภทของการไหลได้ดังต่อไปนี้คือ [13]

1. การไหลแบบคงที่ (Steady Flow) เป็นการไหล ซึ่งความเร็วและอัตราการไหลคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา
2. การไหลแบบไม่คงที่ (Unsteady Flow) เป็นลักษณะการไหลซึ่งความเร็วของของไหลเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสาร... ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น... เนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การไหลแบบสม่ำเสมอ (Uniform Flow) เป็นลักษณะการไหลที่ความเร็วและอัตราการไหลคงที่สม่ำเสมอเท่ากันทุกหน้าตัดของการไหล
4. การไหลแบบไม่สม่ำเสมอ (Non-Uniform Flow) เป็นลักษณะการไหลที่ความเร็วและอัตราการไหลเปลี่ยนแปลงไปตามระยะทางการไหล
5. การไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow) เป็นการไหลซึ่งอนุภาคของของไหลเคลื่อนที่อย่างเป็นระเบียบ การไหลเช่นนี้ มักเกิดขึ้นในกรณีที่ของไหลมีความเร็วของการไหลต่ำและของไหลมีค่าความหนืดสูง
6. การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) เป็นลักษณะการไหลที่อนุภาคของของไหลมีทิศทางและความเร็วไม่แน่นอนในขณะเคลื่อนที่ไป

3.1.7 สารสูญเสียภายในท่อ

ระบบเครื่องทำความเย็นโดยทั่วไปใช้ท่อเป็นเส้นทางการไหลของสารทำความเย็นภายในระบบ การสูญเสียที่เกิดขึ้นภายในท่อนั้นเกิดจากแรงเสียดทานในการไหลส่งผลทำให้เกิดความดันลดในระบบ ส่งผลให้ต้องจ่ายกำลังงานแก่เครื่องอัดมากขึ้นเพื่อที่จะเอาชนะการสูญเสียดังกล่าวซึ่งลักษณะการสูญเสียจากการไหลสามารถแบ่งออกได้ดังนี้ คือ [19]

1. การสูญเสียหลัก (Major Losses)

การสูญเสียหลักมีสาเหตุเนื่องมาจากแรงเสียดทานอันเนื่องมาจากความหนืดของของไหลและแรงเสียดทานระหว่างของไหลกับผนังท่อซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$h_f = f\frac{Lv^2}{D2g} \qquad (3.5)$$

2. การสูญเสียรอง (Minor Losses)

การสูญเสียรองมีสาเหตุเนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดและความเร็วของการไหลซึ่งมีสาเหตุมาจาก สิ่งต่าง ๆ ดังนี้คือ

2.1 การสูญเสียที่ทางเข้าท่อ (Entrance Losses) ค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียตรงบริเวณทางเข้าจะขึ้นอยู่กับลักษณะรูปร่างของการต่อเชื่อม

2.2 การสูญเสียพลังงานที่ทางออกของท่อ (Exit Losses) ของไหลจากทางเข้าสู่ถังเก็บ มีค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียเท่ากับ 1 เสมอ ไม่ว่ารูปร่างลักษณะการเชื่อมต่อระหว่างท่อกับถังเก็บจะเป็นเช่นไร

เอกสารนี้ใช้เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การสูญเสียที่ข้อขยายในรูปแบบต่าง ๆ ตัวอย่างเช่นพื้นที่หน้าตัดเพิ่มขึ้นทันทีหรือพื้นที่หน้าตัดค่อย ๆ เพิ่มขึ้น

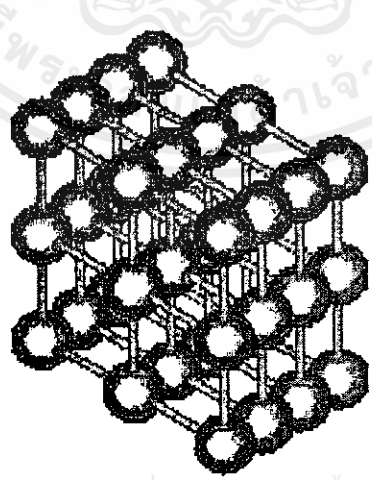
2.4 การสูญเสียที่ข้อลดในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ในกรณีที่พื้นที่หน้าตัดลดลงทันที หรือในส่วนของข้อต่อท่อ เป็นต้น

3.2 คุณสมบัติของสารบริสุทธิ์

ในระบบเครื่องทำความเย็นมีการใช้สารทำความเย็นเป็นสารตัวกลางในการถ่ายโอนและเปลี่ยนรูปพลังงานความร้อนดังนั้นในการออกแบบระบบจึงมีความจำเป็นต้องทราบถึงคุณสมบัติและการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของสารทำงานเพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์การทำงานของระบบเครื่องทำความเย็น สารบริสุทธิ์ (Pure Substances) คือสารที่เป็นเนื้อเดียวกันและมีองค์ประกอบทางเคมีคงที่และเหมือนกันในทุก ๆ สถานะ ซึ่งสถานะของสารบริสุทธิ์ สามารถแบ่งได้เป็น 3 ลักษณะคือ ของแข็ง, ของเหลว และไอ โดยสารในแต่ละสถานะมีลักษณะดังนี้

3.2.1 ของแข็ง (Solid)

ของแข็ง เป็นสถานะที่สารมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลสูงสุด โดยโมเลกุลของสารที่เป็นของแข็งมีการจัดเรียงตัวในรูปแบบที่แน่นอน ดังแสดงในรูปที่ 3.6 โดยโมเลกุลไม่มีการเคลื่อนที่แต่มีการสั่นอยู่ในตำแหน่งที่แน่นอน ความเร็วในการสั่นของโมเลกุลจะมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นถึงระดับหนึ่ง ทำให้ความเร็วในการสั่นของโมเลกุลมากขึ้น จนกระทั่งสามารถเอาชนะแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลได้ทำให้โมเลกุลของของแข็งเกิดการแยกออกจากกันซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของกระบวนการหลอมเหลว (Melting Process) นั่นคือการเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว

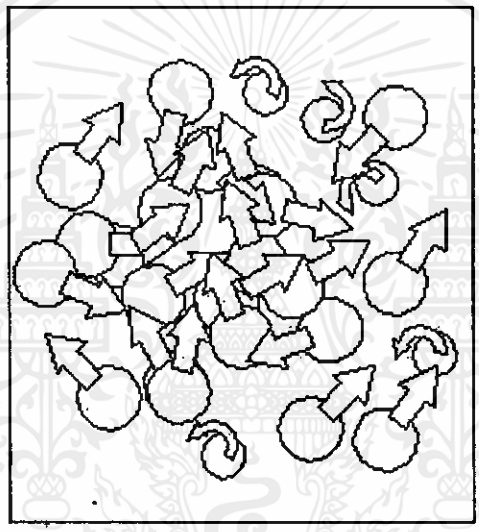


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.6 โมเลกุลของสารที่เป็นของแข็ง

3.2.2 ของเหลว (Liquid)

ของเหลว เป็นสถานะสารที่มีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลน้อยรองจากของแข็ง โดยที่สารในสถานะของเหลวมีระยะห่างระหว่างโมเลกุลที่ไม่คงที่ เนื่องจากโมเลกุลของสารมีการเคลื่อนที่ตลอดเวลา ดังแสดงในรูปที่ 3.7 ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวทำให้รูปร่างของของเหลวเปลี่ยนแปลงไปตามรูปร่างของภาชนะที่บรรจุ สำหรับระยะห่างโมเลกุลในของเหลวโดยส่วนใหญ่มากกว่าระยะห่างระหว่างโมเลกุลของแข็งในสารชนิดเดียวกัน ซึ่งหมายความว่าสารจำพวกนี้เกิดการขยายตัว คือมีปริมาตรเพิ่มขึ้นเมื่อเกิดการหลอมตัวเป็นของเหลว สารบางชนิด เช่น น้ำ มีลักษณะตรงกันข้ามกันคือ ระยะห่างระหว่างโมเลกุลในของแข็งมากกว่าระยะห่างระหว่างโมเลกุลของของเหลว ซึ่งสารจำพวกนี้จะเกิดการหดตัว คือมีปริมาตรลดลงเมื่อเกิดขบวนการหลอมเหลวเป็นของเหลว



รูปที่ 3.7 โมเลกุลของสารที่เป็นของเหลว

3.2.3 ไอ (Vapor)

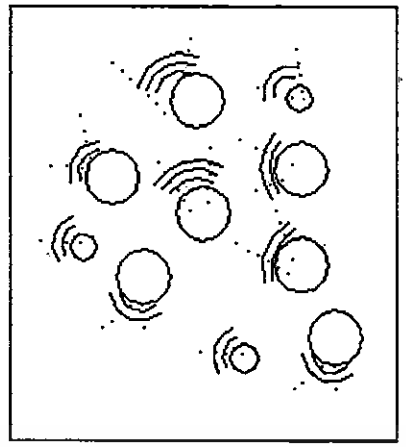
ไอ เป็นสถานะที่สารมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลน้อยที่สุดและมีระยะห่างระหว่างโมเลกุลมากที่สุด แต่ละโมเลกุลมีการเคลื่อนที่แบบไร้ทิศทาง ดังแสดงในรูปที่ 3.8 ซึ่งทำให้ปริมาตรของไอเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาตรของภาชนะที่บรรจุโมเลกุลของสารในสถานะที่เป็นก๊าซมีพลังงานสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับสารในสถานะที่เป็นของแข็งกับของเหลว ดังนั้นสารบริสุทธิ์ในสถานะไอสามารถปล่อยพลังงานออกมาเป็นปริมาณมากในระหว่างกระบวนการกลั่นตัว (Condensing Process) เป็นของเหลว การเปรียบเทียบขนาดของแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลและระดับพลังงานของโมเลกุลในสารที่มีสถานะต่าง ๆ ดังนี้

ขนาดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล ของแข็ง > ของเหลว > ไอ

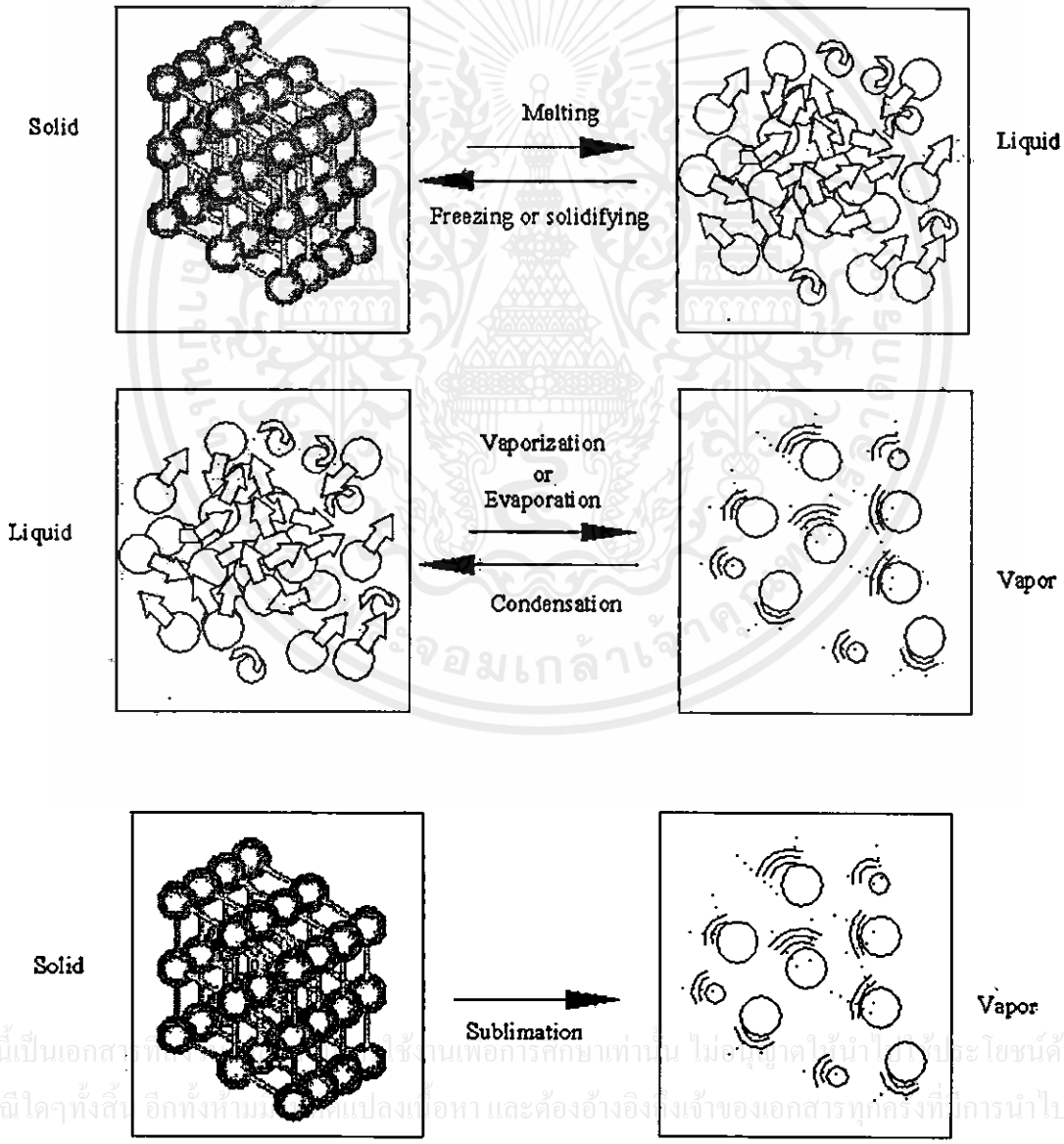
ระดับพลังงานของโมเลกุล ของแข็ง < ของเหลว < ไอ

การเรียกชื่อการเปลี่ยนแปลงสถานะของสารที่เกี่ยวข้องกับทั้ง 3 สถานะ ดังแสดงในรูปที่ 3.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 โมเลกุลของสารที่เป็นของไอ



77988

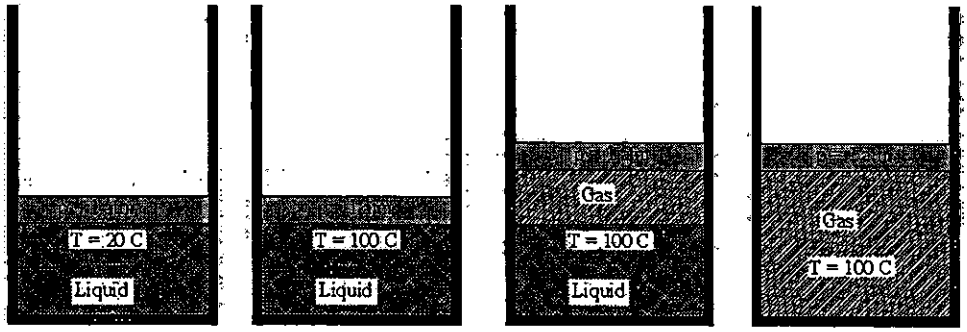
รูปที่ 3.9 ขบวนการเปลี่ยนแปลงสถานะของสารใน 3 สถานะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 กระบวนการเปลี่ยนแปลงสถานะของสารบริสุทธิ์ (Phase-Change Processes of Pure Substance)

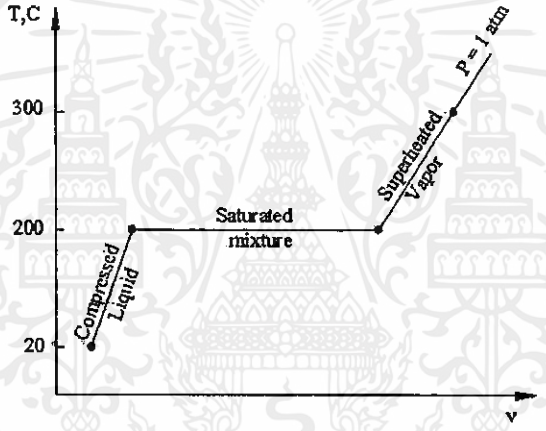
ในระบบเครื่องทำความเย็น ขบวนการเปลี่ยนแปลงสถานะของสารทำความเย็นในระบบมีการเปลี่ยนแปลงสถานะระหว่างสารทำความเย็นที่มีสถานะของเหลวกับไอ เพื่อความเข้าใจง่ายขึ้น สารทำงานที่ใช้เป็นตัวอย่างในการศึกษาขบวนการเปลี่ยนแปลงสถานะ ได้แก่น้ำซึ่งเป็นสารที่มีความคุ้นเคยดี ส่วนสารชนิดอื่น ๆ เช่นสารทำความเย็นก็จะมีการเปลี่ยนแปลงสถานะในลักษณะที่คล้ายคลึงกับน้ำ ดังนั้นจึงสามารถใช้แนวความคิดที่ได้จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสถานะของน้ำ ในการทำความเข้าใจขบวนการเปลี่ยนแปลงสถานะของสารทำงานชนิดอื่นได้ เริ่มต้นด้วยการพิจารณาน้ำที่อยู่ภายใต้ความดัน 1 บรรยากาศ และมีอุณหภูมิน้อยกว่า 100 °C ที่บรรจุอยู่ภายในกระบอกสูบที่ไม่มีแรงเสียดทานระหว่างผิวลูกสูบกับผนังกระบอกสูบ เมื่อมีการให้ความร้อนแก่น้ำที่อยู่ในสภาวะดังกล่าว ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงสถานะของน้ำตามกระบวนการความดันคงที่ ดังนี้คือ เมื่อมีการให้ความร้อนแก่น้ำที่อยู่ในสถานะของเหลวอัดตัวตามกระบวนการความดันคงที่จนกระทั่งเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 100 °C น้ำที่สภาวะนี้จะมีสถานะเป็นของเหลวที่อยู่ในสภาพพร้อมที่จะกลายเป็นไอได้ทันทีที่ได้รับความร้อนเพิ่ม ของเหลวสภาวะนี้เรียกว่าของเหลวอิ่มตัว (Saturated Liquid) เมื่อมีการให้ความร้อนแก่น้ำที่มีสถานะเป็นของเหลวอิ่มตัวเพิ่มขึ้น สังเกตเห็นว่าน้ำในสถานะของเหลวดังกล่าวเริ่มมีการระเหยเป็นไอ เมื่อมีไอน้ำหยดแรกเกิดขึ้นภายในระบบจะประกอบด้วยน้ำ 2 สถานะคือสถานะของเหลวและไอ น้ำในลักษณะนี้เรียกว่าของผสมระหว่างของเหลวกับไอ และเมื่อมีการถ่ายโอนความร้อนให้แก่ระบบเพิ่มขึ้นในระหว่างนี้สังเกตเห็นว่าน้ำที่อยู่ในสถานะของเหลวมีปริมาณลดลง ในขณะที่ปริมาณของไอเพิ่มขึ้นและในระหว่างที่น้ำมีการเปลี่ยนแปลงสถานะพบว่าอุณหภูมิและความดันในระบบคงที่แต่ปริมาตรมีการเพิ่มขึ้นอย่างมาก เนื่องจากน้ำมีการขยายตัวระหว่างกระบวนการระเหยเป็นไอ เมื่อของเหลวหยดสุดท้ายเกิดการระเหยเป็นไอ เรียกไอน้ำที่อยู่ในภาชนะว่า เป็นไออิ่มตัว (Saturated Vapor) ซึ่งไอน้ำที่อยู่ในสภาวะนี้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นของเหลวได้ทันทีเมื่อมีการสูญเสียความร้อนออกจากระบบ ถ้ามีการถ่ายโอนความร้อนให้แก่ไอน้ำที่มีสถานะเป็นไออิ่มตัว อุณหภูมิภายในระบบสูงขึ้นเหนือสภาวะอิ่มตัวและปริมาตรจำเพาะมีการเพิ่มขึ้นอย่างมาก ไอน้ำที่มีสภาวะเหนือจุดอิ่มตัวขึ้นไปนี้เรียกว่าเป็นไอร้อนยิ่งยวด ลักษณะการเปลี่ยนแปลงสถานะของสารบริสุทธิ์ดังกล่าวมีลักษณะเหมือนกับการรับความร้อนของสารทำความเย็นในเครื่องระเหย และการระบายความร้อนออกจากสารทำความเย็นในเครื่องควบแน่นในระบบเครื่องทำความเย็น (Superheated Vapor) กระบวนการเปลี่ยนแปลงสถานะดังแสดงในรูปที่ 3.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 ไอน้ำที่อยู่ในสถานะของเหลวอิ่มตัว, ไออิ่มตัวและไอร้อนยิ่งยวด

กระบวนการเปลี่ยนแปลงสถานะของน้ำภายใต้ความดัน 1 บรรยากาศ สามารถแสดงบนแผนภาพอุณหภูมิปริมาตรจำเพาะ (T-v Diagram) ดังแสดงในรูปที่ 3.11



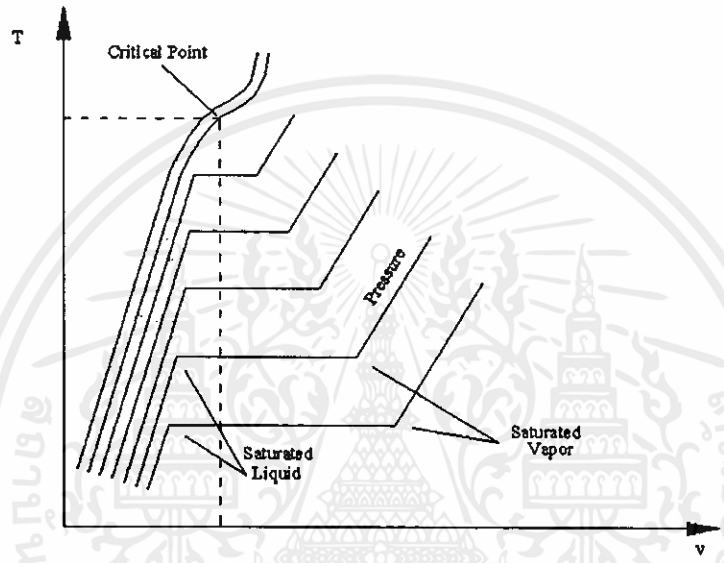
รูปที่ 3.11 กระบวนการเปลี่ยนแปลงสถานะของน้ำภายใต้ความดันบรรยากาศ

3.4 อุณหภูมิอิ่มตัวและความดันอิ่มตัว (Saturation Temperature And Saturation Pressure)

อุณหภูมิอิ่มตัว (Saturation Temperature) คืออุณหภูมิที่สารเกิดการระเหยเป็นไอ (หรือเดือด) ภายใต้ความดันที่กำหนดในทำนองเดียวกันความหมายของความดันอิ่มตัว (Saturation Pressure) คือความดันที่สารเกิดการระเหยเป็นไอที่อุณหภูมิที่กำหนดตัวอย่าง เช่น น้ำที่อยู่ภายใต้ความดัน 1 บรรยากาศ มีอุณหภูมิอิ่มตัวที่ 100 °C หรือน้ำที่มีอุณหภูมิ 100 °C มีความดันอิ่มตัวเท่ากับ 1 บรรยากาศ อุณหภูมิอิ่มตัวของสารบริสุทธิ์นั้นขึ้นกับความดัน เนื่องจากการระเหยคือการเกิดเป็นฟองไอแล้วสามารถลอยหลุดหนีจากผิวของเหลวได้ ดังนั้นถ้าสารบริสุทธิ์อยู่ภายใต้ความดันสูงขึ้น คืออยู่ในสภาวะที่มีแรงกดระบบมากขึ้นสารย่อมต้องการพลังงานที่จะใช้ในการเอาชนะแรงดันเพื่อให้ลอยหลุดหนีจากผิวของของเหลวมากขึ้น นั่นคือถ้าความดันเหนือสารบริสุทธิ์สูงขึ้นทำให้อุณหภูมิอิ่มตัวหรืออุณหภูมิที่เกิดการระเหยสูงขึ้นด้วย ดังแสดงในรูปที่ 3.12 คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์ระหว่างความดันอิ่มตัวและอุณหภูมิอิ่มตัวของน้ำ การเปลี่ยนแปลงความดันของระบบนอกจากจะเกิดขึ้นจากผลของการใช้เครื่องมือควบคุมความดันแล้ว ปัจจัยที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความดันของระบบคือ ความดันบรรยากาศ ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าบริเวณที่ยิ่งอยู่สูงจากระดับน้ำทะเลมาก ยิ่งมีความดันบรรยากาศต่ำลงเนื่องจากความเบาบางของอากาศ ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิอิ่มตัวของสารบริสุทธิ์ชนิดเดียวกันในบริเวณที่อยู่ที่ระดับความสูงจากน้ำทะเลต่างกัน พบว่าสารบริสุทธิ์ที่อยู่ระดับสูงมากขึ้นจะมีอุณหภูมิอิ่มตัวน้อยลง ดังตัวอย่างข้อมูลอุณหภูมิอิ่มตัวของน้ำที่ระดับความสูงต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.1 [12]



รูปที่ 3.12 อุณหภูมิอิ่มตัวของสารบริสุทธิ์เปลี่ยนแปลงเมื่อความดันเหนือสารบริสุทธิ์สูงขึ้น

ตารางที่ 3.1 ค่าความดันบรรยากาศและอุณหภูมิอิ่มตัวของน้ำที่ระดับความสูงต่าง ๆ

ระดับความสูงจากน้ำทะเล (m)	ความดันบรรยากาศ (kpa)	อุณหภูมิ (°C)
0	101.33	100.0
2,000	79.50	93.2
5,000	54.05	83.0
20,000	5.53	34.5

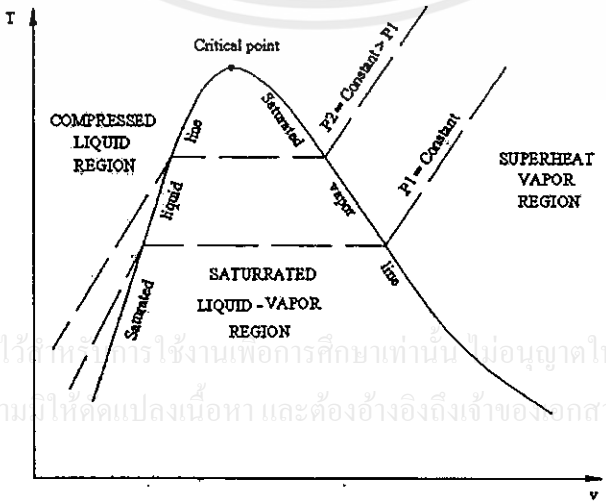
3.5 แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงสถานะ

แผนภาพการเปลี่ยนแปลงสถานะ เป็นเครื่องมือที่มีความสำคัญอย่างหนึ่งที่ช่วยให้สามารถทำความเข้าใจในการเปลี่ยนแปลงสถานะของสารบริสุทธิ์ได้ง่ายขึ้น แผนภาพดังกล่าวมี 2 รูปแบบ คือ แผนภาพอุณหภูมิ-ปริมาตรจำเพาะ (T-v Diagram) แผนภาพความดัน-ปริมาตรจำเพาะ (P-v Diagram)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.1 แผนภาพอุณหภูมิ-ปริมาตรจำเพาะ (T-v Diagram)

กระบวนการเปลี่ยนแปลงสถานะของน้ำที่ความดันอื่น ๆ นั้นสามารถเขียนแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับปริมาตรจำเพาะของกระบวนการได้ดังแสดงในรูปที่ 3.13 จากแผนภาพเห็นได้ว่าลักษณะของเส้นทางกระบวนการ (Process Part) ของการเปลี่ยนแปลงสถานะที่ความดันอื่น ๆ มีลักษณะคล้ายกันกับการเปลี่ยนแปลงสถานะที่ความดัน 1 บรรยากาศ เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงสถานะที่ความดันสูง นอกจากจะพบว่าอุณหภูมิอิ่มตัวมีค่าสูงขึ้นแล้ว ยังพบว่าค่าปริมาตรจำเพาะของของเหลวอิ่มตัวมีค่ามากขึ้นในขณะที่ปริมาตรจำเพาะของไออิ่มตัวมีค่าน้อยลง ดังนั้นเมื่อความดันสูงขึ้น ทำให้เส้นทางของกระบวนการที่เชื่อมระหว่างจุดของเหลวอิ่มตัวกับไออิ่มตัวยิ่งสั้นลง และมีลักษณะเป็นจุดเมื่อความดันสูงขึ้นเป็น 22.09 kpa. ซึ่งจุดดังกล่าวเรียกว่า จุดวิกฤติ (Critical Point) โดยที่จุดวิกฤตนี้สารที่มีสถานะเป็นของเหลวอิ่มตัวและไออิ่มตัวมีคุณสมบัติเหมือนกัน สำหรับสารต่างชนิดกันจะมีสภาวะจุดวิกฤตที่แตกต่างกันออกไป สำหรับการให้ความร้อนแก่สารที่ความดันเหนือความดันวิกฤติขึ้นไปไม่พบการเปลี่ยนแปลงสถานะ โดยสังเกตเห็นได้เฉพาะปริมาตรจำเพาะของสารเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และตลอดกระบวนการมีเพียงสถานะเดียวเท่านั้น ซึ่งไม่สามารถระบุได้ว่าสารนั้นเป็นของเหลวหรือไอ โดยทั่วไปเรียกสารที่มีความดันสูงกว่าความดันวิกฤติว่าเป็นของไหล เมื่อเชื่อมสภาวะของของเหลวอิ่มตัวที่ระดับความดันต่าง ๆ เข้าด้วยกันได้เส้นซึ่งเรียกว่าเส้นของเหลวอิ่มตัว (Saturated Liquid Line) เช่นเดียวกันเมื่อเชื่อมสภาวะของไออิ่มตัวที่ระดับความดันต่าง ๆ เข้าด้วยกัน เกิดเป็นเส้นไออิ่มตัว (Saturated Vapor Line) โดยเส้นของสารอิ่มตัวทั้งสองมาบรรจบกันที่จุดวิกฤติ ดังแสดงในรูปที่ 3.13 ด้านซ้ายของเส้นของเหลวอิ่มตัวเป็นบริเวณที่แสดงสภาวะของสารที่มีสถานะของเหลวอัดตัว (Compressed Liquid Region) ด้านขวาของเส้นไออิ่มตัวเป็นบริเวณของไอร้อนยิ่งยวด (Superheated Vapor Region) ส่วนที่อยู่ภายในโดมเป็นบริเวณของเหลวผสม (Saturated liquid - Vapor Mixture Region)

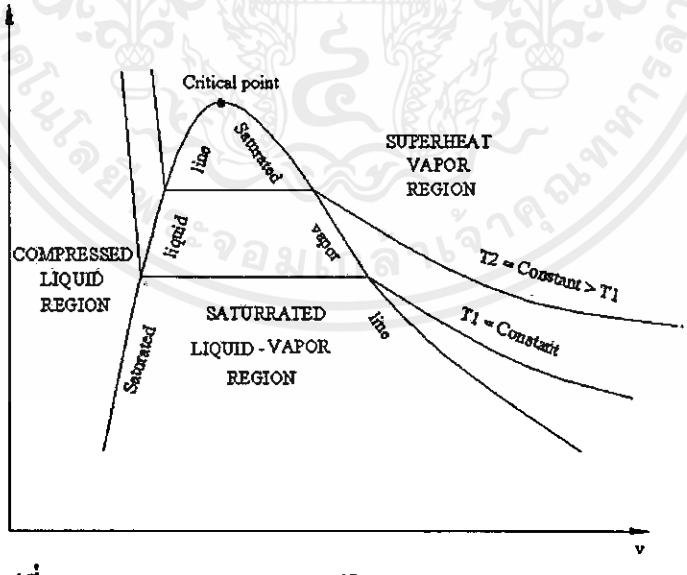


รูปที่ 3.13 แผนภาพอุณหภูมิ-ปริมาตรจำเพาะ (T-v Diagram)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 แผนภาพความดัน - ปริมาตรจำเพาะ (P-v Diagram)

แผนภาพความดัน-ปริมาตรจำเพาะแสดงบริเวณของสถานะและการเปลี่ยนแปลงสถานะของสารบริสุทธิ์ตามกระบวนการอุณหภูมิคงที่ หลักการควบคุมในการเปลี่ยนแปลงภายในระบบให้เป็นกระบวนการที่มีอุณหภูมิคงที่นั้น สามารถอธิบายได้ดังแสดงในรูปที่ 3.14 ยกตัวอย่างเช่น กระบวนการเปลี่ยนแปลงสถานะของน้ำภายในกระบอกสูบ เริ่มต้นด้วยการพิจารณาเมื่อน้ำอยู่ในสถานะเป็นของเหลวอัดตัวที่ความดัน 1 Mpa. และมีอุณหภูมิอยู่ที่ 150 °C จากนั้นลดความดันของระบบด้วยการนำเอาชิ้นวัตถุที่อยู่เหนือลูกสูบออก ผลที่ได้จากการลดน้ำหนักเหนือลูกสูบทำให้น้ำภายในเกิดการขยายตัวเล็กน้อยส่งผลให้อุณหภูมิภายในระบบลดลงเล็กน้อยเนื่องจากมีการสูญเสียพลังงานในรูปของงานที่ออกจากระบบ ในระหว่างนี้หากมีการถ่ายโอนความร้อนเข้าสู่ระบบ ทำให้ระบบสามารถปรับอุณหภูมิให้เท่ากับอุณหภูมิในสภาวะที่เริ่มต้น และถ้าหากมีการลดน้ำหนักเหนือลูกสูบพร้อมกับให้ความร้อนในลักษณะนี้ตลอดการพิจารณา สามารถพิจารณาได้ว่าอุณหภูมิของระบบคงที่ตลอดกระบวนการ และเมื่อความดันลดถึง 475.8 kpa. (ซึ่งเป็นความดันอิ่มตัวที่อุณหภูมิ 150 °C) สังเกตเห็นว่าน้ำเริ่มเกิดการระเหยเป็นไอตลอดช่วงของการระเหย ทั้งอุณหภูมิและความดันในระบบคงที่ (ในระหว่างกระบวนการระเหยมีการรักษาความดันในระบบให้คงที่ด้วยการไม่นำเอาวัตถุออก) ส่วนปริมาตรจำเพาะจะเพิ่มจนกระทั่งเมื่อน้ำมีสถานะเป็นไออิ่มตัว ถ้ามีการลดความดันต่อไปอีกทำให้ปริมาตรจำเพาะของน้ำเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง หากทำการทดลองที่อุณหภูมิอื่น ๆ จะได้เส้นทางกระบวนการมีลักษณะคล้ายคลึงกัน



รูปที่ 3.14 แผนภาพความดัน - ปริมาตรจำเพาะ (P-v Diagram)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 ตารางแสดงคุณสมบัติของสาร

ในการศึกษานั้นใช้น้ำเป็นสารตัวอย่างโดยที่สามารถนำแนวความคิดที่ได้จากการศึกษาการใช้ตารางน้ำในการทำความเข้าใจการใช้ตารางสารทำความเย็นหรือสารบริสุทธิ์อื่น ๆ เนื่องจากมีการเสนอข้อมูลในทิศทางเดียวกัน ตารางแสดงคุณสมบัติของน้ำสามารถพิจารณาได้ 3 ตาราง

คือ ตารางของน้ำอิ่มตัว (Saturated Water) ตารางน้ำของเหลวอัดตัว (Compressed Liquid) และตารางไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (Superheated Water) ส่วนคุณสมบัติที่แสดงในตารางมีข้อมูลของอุณหภูมิ (Temperature, T) ความดัน (Pressure, P) ปริมาตรจำเพาะ (Specific Volume, v) พลังงานภายในจำเพาะ (Specific Internal Energy, u) เอนทัลปีจำเพาะ (Specific Enthalpy, h) และเอนโทรปีจำเพาะ (Specific Entropy, s)

3.6.1 ตารางแสดงคุณสมบัติของน้ำอิ่มตัว (Saturate Water Table)

ความหมายของน้ำอิ่มตัวในที่นี้หมายถึงน้ำอิ่มตัว 3 สถานะ คือ ของเหลวอิ่มตัว, ไออิ่มตัว และของผสม (ของเหลว-ไออิ่มตัว) โดยสามารถอธิบายรายละเอียดแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนที่เป็นของเหลวอิ่มตัว และรายละเอียดของ ของผสม (ของเหลว-ไออิ่มตัว) ของเหลวอิ่มตัวและไออิ่มตัว คุณสมบัติของน้ำที่เป็นของเหลวอิ่มตัวและไออิ่มตัวแสดงตัวอย่างดังตารางที่ 3.2 [12] โดยความหมายของสัญลักษณ์กำกับล่าง (Subscript) มีดังนี้

ตารางที่ 3.2 แสดงคุณสมบัติของน้ำที่เป็นของเหลวอิ่มตัวและไออิ่มตัว

Sat. Temp.	Sat. Press	Specific Volume (m^3/kg)		Specific Internal Energy (kJ/kg)		
(°C)	(Mpa)	Sat. liquid	Sat. Vapor	Sat. Liquid	Evap.	Sat. Vapor
T	(P_{sat})	v_f	v_g	u_f	u_{fg}	u_g
100	0.10135	0.001044	1.6729	418.94	2087.6	2506.5
105	0.12082	0.001048	1.4194	440.02	2072.3	2512.4
110	0.14327	0.001052	1.2102	461.14	2057.0	2518.1

"f" หมายถึง คุณสมบัติของของเหลวอิ่มตัว

"g" หมายถึง คุณสมบัติของไออิ่มตัว

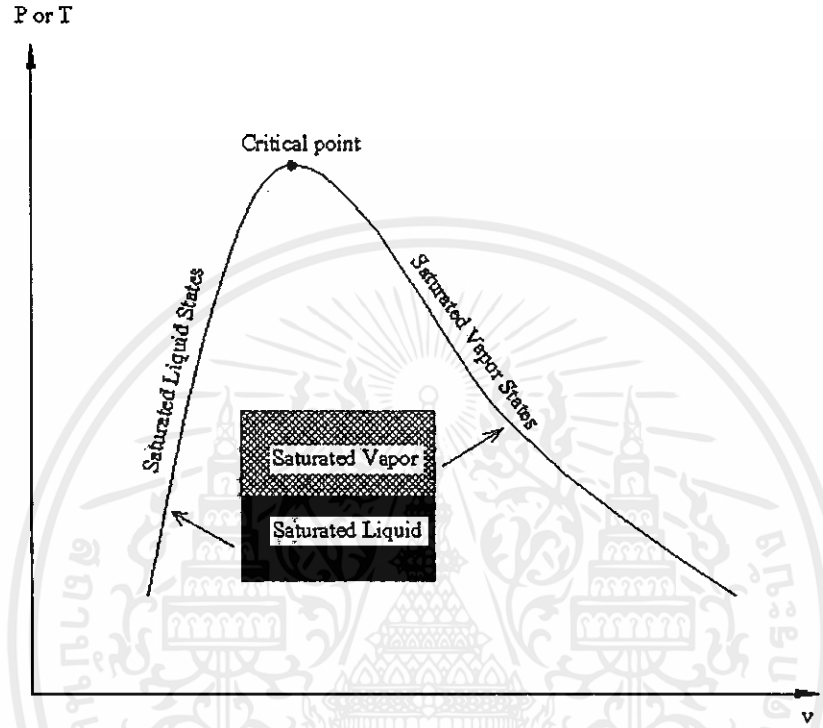
"fg" หมายถึง คุณสมบัติที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างกระบวนการ การระเหยหรือเป็นผลต่างระหว่างคุณสมบัติของ ของเหลวอิ่มตัวกับไออิ่มตัว

3.7 สารบริสุทธิ์ที่มีสถานะเป็นของผสม ของเหลว-ไอ (Saturate Liquid-Vapor Mixture or Saturate Mixture)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระหว่างกระบวนการระเหยภายในระบบประกอบด้วยสารทำงานใน 2 สถานะ คือ สถานะของเหลวและสถานะไอซึ่งสารทำงานในลักษณะดังกล่าวเรียกว่า ของผสม (ของเหลว-ไอ) (Saturate Liquid-Vapor Mixture or Saturate Mixture) เมื่อพิจารณาจากแผนภาพแสดงสถานะของสารทำงานในบริเวณที่แสดงสถานะของผสมอิ่มตัวได้แก่บริเวณในโดม หรือบริเวณที่อยู่ระหว่าง

เส้นของเหลวอิ่มตัวและเส้นไออิ่มตัว ในการวิเคราะห์คุณสมบัติของของผสมอิ่มตัวต้องทราบสัดส่วนของปริมาณไอในของผสม จึงได้มีการกำหนดคุณสมบัติที่เรียกว่าคุณภาพไอหรือค่าความแห้งของไอ (Quality or Dryness Fraction, x) ขึ้น โดยที่คุณภาพไอคือสัดส่วนของมวลไอต่อมวลทั้งหมดของสารทำงานภายในระบบ



รูปที่ 3.15 สารบริสุทธิ์ที่มีสถานะเป็นของผสม ของเหลว-ไอ

3.8 สารบริสุทธิ์ที่มีสถานะเป็นไอร้อนยวดยิ่ง (Superheated Vapor)

สารบริสุทธิ์ที่มีสถานะเป็นไอร้อนยิ่งยวด คือสารที่มีคุณสมบัติดังนี้ คือ

1. อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิอิ่มตัวที่ความดันกำหนด ($T > T_{sat}$)
2. มีความดันต่ำกว่าความดันอิ่มตัวที่อุณหภูมิกำหนด ($P < P_{sat}$)

3.9 สารบริสุทธิ์ที่มีสถานะเป็นของเหลวอัดตัว (Compressed Liquid)

สำหรับคุณสมบัติของสารบริสุทธิ์ที่มีสถานะเป็นของเหลวอัดตัว สามารถสรุปได้ดังนี้

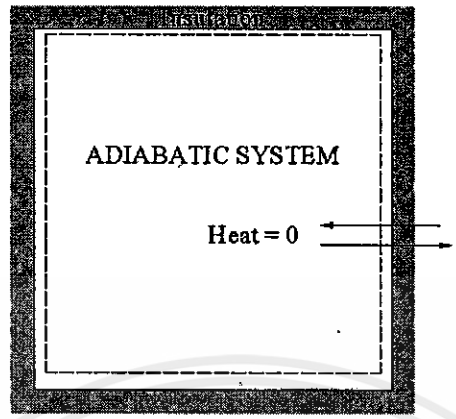
1. มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอิ่มตัวที่ความดันที่กำหนด ($T < T_{sat}$)
2. มีความดันสูงกว่าความดันอิ่มตัวที่อุณหภูมิที่กำหนด ($P > P_{sat}$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.10 ความร้อน (Heat)

ความร้อน คือพลังงานที่สามารถถ่ายโอนได้เมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิ โดยการถ่ายโอนความร้อนมีทิศทางจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ ส่วนกระบวนการที่

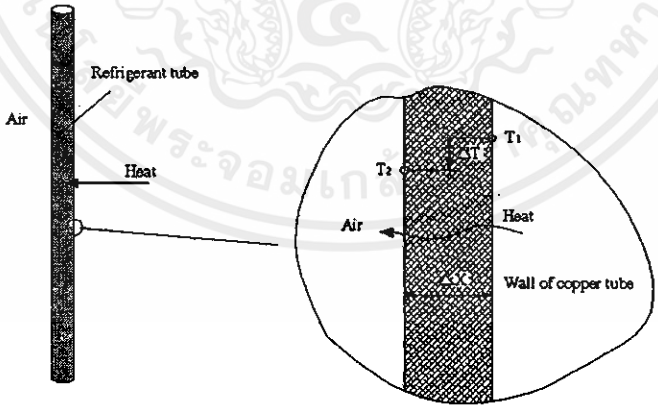
ไม่มีการถ่ายเทความร้อนออกจากระบบเรียกว่ากระบวนการ Adiabatic ดังแสดงในรูปที่ 3.16 คือมีการหุ้มฉนวนอย่างดีจนไม่มีการถ่ายเทความร้อน ซึ่งการถ่ายเทความร้อนทั้งหมด มี 3 แบบ คือ



รูปที่ 3.16 กระบวนการ Adiabatic

3.10.1 การนำความร้อน (Conduction)

การนำความร้อน เป็นกระบวนการที่ความร้อนเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าภายในตัวกลางเดียวกันหรือตัวกลางที่อยู่ติดกัน ซึ่งการถ่ายเทความร้อนเกิดจากผลของการเคลื่อนที่ของโมเลกุลภายในตัวกลาง การนำความร้อนนั้นสามารถเกิดขึ้นได้ในตัวกลางที่มีสถานะทั้ง 3 สถานะคือ ของแข็ง, ของเหลวและก๊าซ ซึ่งตัวกลางแต่ละชนิดมีค่าการนำความร้อนที่แตกต่างกัน

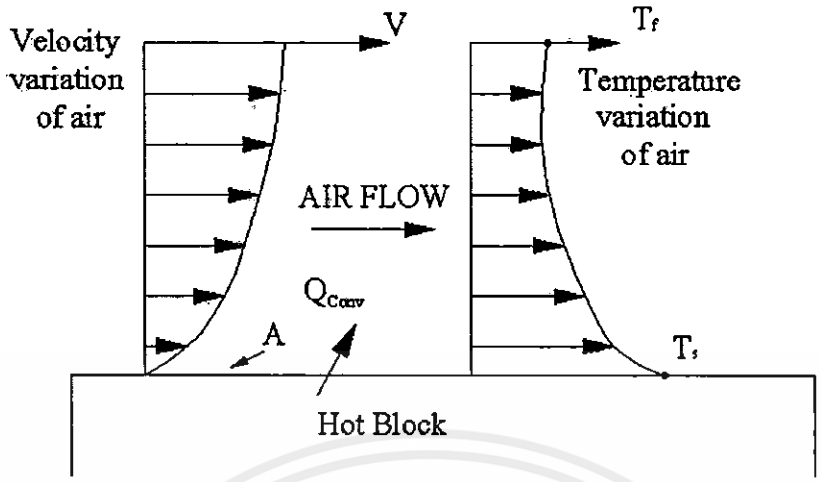


รูปที่ 3.17 แสดงการนำความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

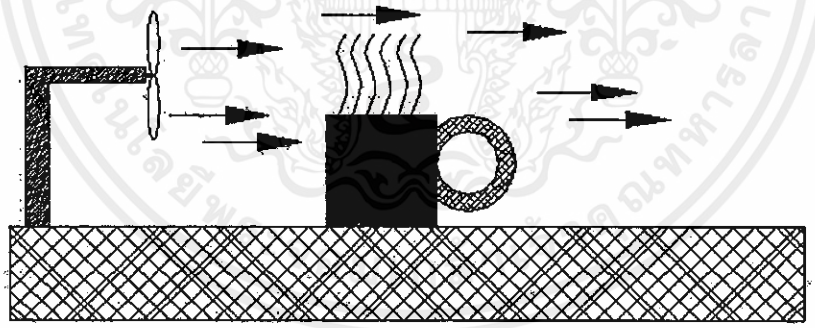
3.10.2 การพาความร้อน (Convection)

การพาความร้อน เป็นการถ่ายโอนความร้อนระหว่างผิวของของแข็งกับของไหลที่มีการเคลื่อนที่ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าการพาความร้อนนั้นเกิดขึ้นมาจากผลของการนำความร้อนรวมกับการเคลื่อนที่ของของไหล การพาความร้อนสามารถแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ



รูปที่ 3.18 แสดงการพาความร้อน

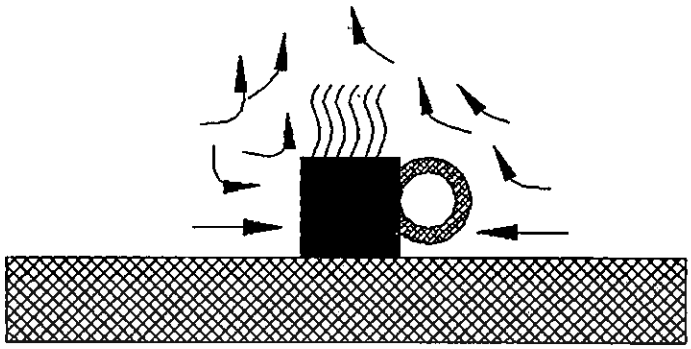
1. การพาความร้อนแบบบังคับ (Forced Convection) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงภายนอกบังคับให้ของไหลเคลื่อนที่ผ่านผิววัตถุที่ร้อนกว่าหรือที่เย็นกว่า เช่น การใช้พัดลมเป่าอากาศให้เกิดการเคลื่อนที่ผ่านแก้วน้ำร้อนดังแสดงในรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 แสดงการพาความร้อนแบบบังคับ

2. การพาความร้อนแบบอิสระ (Free Convection) เกิดขึ้นได้เมื่อของไหลเกิดการเคลื่อนที่เนื่องมาจากแรงลอยตัว (Buoyancy Force) ในของไหลและแรงลอยตัวที่เกิดจากความแตกต่างของความหนาแน่นของของไหลอันเป็นผลมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิในชั้นของไหล ตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 3.20 โดยที่ความร้อนจากถ้วยกาแฟทำให้อากาศมีความหนาแน่นต่ำลง (เบา) จึงทำให้เกิดการเคลื่อนที่ขึ้นด้านบน ขณะเดียวกันอากาศที่เย็นกว่า (มีความหนาแน่นสูงกว่าหรือหนักกว่าจะเคลื่อนที่มาแทนที่) สัมประสิทธิ์การพาความร้อนจะได้จากการทดลอง

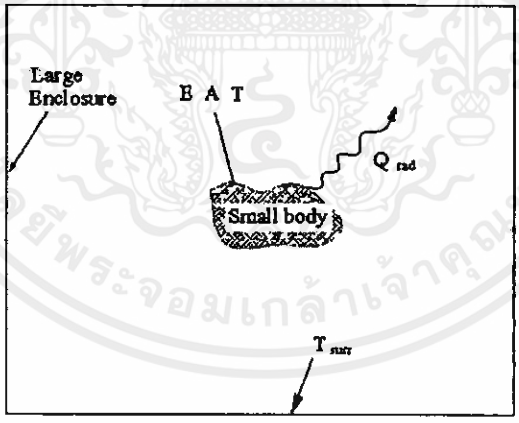
ปัจจัยที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนมีหลายอย่าง เช่น รูปร่างของวัตถุ ลักษณะการไหลของของไหลและคุณสมบัติของของไหลเป็นต้น



รูปที่ 3.20 แสดงการพาความร้อนแบบอิสระ

3.10.3 การแผ่รังสี

การแผ่รังสีความร้อน เป็นการถ่ายโอนความร้อนโดยไม่ต้องอาศัยตัวกลาง ความร้อนจากการแผ่รังสีมีลักษณะการเคลื่อนที่ในรูปของเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้า การแผ่รังสีความร้อนสามารถเกิดได้ดีในบริเวณที่เป็นสุญญากาศ เช่น การถ่ายเทความร้อนจากดวงอาทิตย์มายังโลก



รูปที่ 3.21 แสดงการแผ่รังสี

3.11 เครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศทางทฤษฎี

จากประสบการณ์เป็นที่ทราบว่าความร้อนมีทิศทางการไหลจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ ผ่านกระบวนการถ่ายโอนความร้อนที่สามารถเกิดขึ้นได้โดยธรรมชาติ โดยปราศจากความต้องการความช่วยเหลือจากอุปกรณ์ใด ๆ แต่การถ่ายเทความร้อนจากแหล่งที่มีอุณหภูมิต่ำไปยังแหล่งที่มีอุณหภูมิสูงนั้นต้องมีอุปกรณ์ช่วย เช่น การปรับอากาศภายในบ้าน ซึ่งเป็นบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ โดยต้องเอาความร้อนไปทิ้งนอกบ้านซึ่งเป็นบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำเป็นต้องมีเครื่องปรับอากาศเป็นอุปกรณ์ช่วย เป็นต้น เครื่องปรับอากาศหรือเครื่องทำความเย็นเป็นอุปกรณ์ที่ทำงานเป็นวัฏจักร ของไหลทำงานที่ถูกใช้ในระบบเรียกว่าสารทำความเย็น ซึ่งระบบเครื่องทำความเย็นหรือระบบปรับอากาศที่นิยมใช้ในปัจจุบันเป็นวัฏจักรการทำงานที่เรียกว่าแบบอัดไอ (Vapor - Compression Refrigeration Cycle) ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก ๆ คือ เครื่องอัด (Compressor) เครื่องควบแน่น (Condenser) วาล์วขยายตัว (Expansion Valve) และเครื่องระเหย (Evaporator) การทำงานเริ่มจากสารทำความเย็นไหลเข้าเครื่องอัดในสถานะไอ และถูกอัดจนกระทั่งมีความดันเท่ากับความดันในเครื่องควบแน่น ไอออกจากเครื่องอัดที่อุณหภูมิค่อนข้างสูงและเย็นตัวลงพร้อมทั้งเกิดกระบวนการควบแน่นขณะที่ไหลผ่านท่อขดภายในเครื่องควบแน่นโดยการถ่ายโอนความร้อนไปยังสิ่งแวดล้อม จากนั้นสารทำความเย็นในสถานะของเหลวไหลผ่านวาล์วขยาย (Expansion Valve) ซึ่งมีผลให้ความดันและอุณหภูมิของสารทำความเย็นลดลงอย่างมากเนื่องจากผลของขบวนการ Throttling ต่อจากนั้น สารทำความเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำไหลเข้าสู่เครื่องระเหย สารทำความเย็นเกิดการระเหยโดยการรับความร้อนจากบริเวณที่ต้องการทำความเย็น วัฏจักรการทำงานครบรอบอย่างสมบูรณ์เมื่อสารทำความเย็นไหลออกจากเครื่องระเหยและไหลเข้าเครื่องอัดอีกครั้ง

3.11.1 วัฏจักรการทำความเย็นชนิดอัดไอแบบอุดมคติ

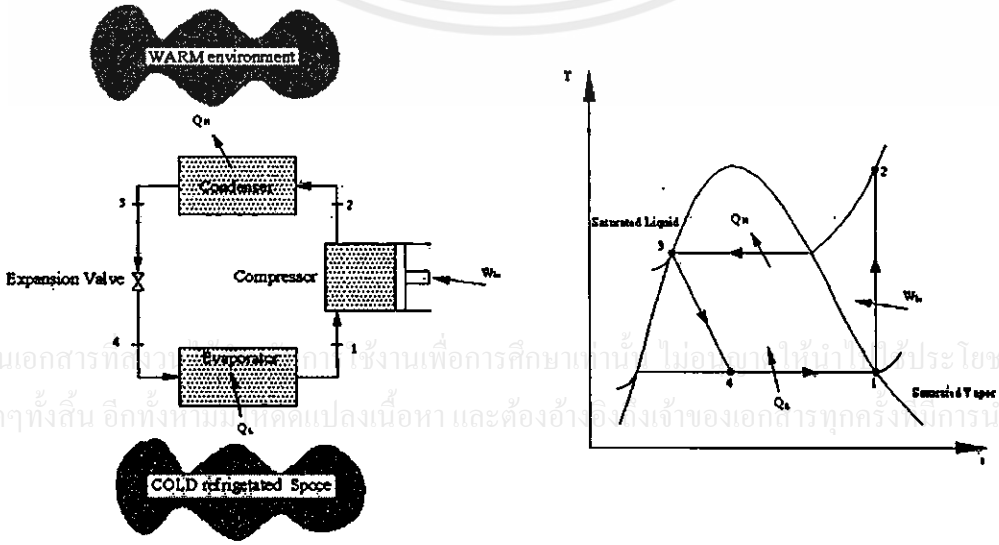
วัฏจักรการทำความเย็นชนิดอัดไอแบบอุดมคติ ใช้เป็นต้นแบบสำหรับเครื่องทำความเย็นเครื่องปรับอากาศและปั๊มความร้อน ประกอบไปด้วยกระบวนการต่าง ๆ ดังนี้คือ

กระบวนการ 1- 2 การอัดตัวแบบไอเซนโทรปิกในเครื่องอัด

กระบวนการ 2 - 3 การคายความร้อนโดยความดันคงที่ในเครื่องควบแน่น

กระบวนการ 3 - 4 การขยายตัวในอุปกรณ์ Throttling

กระบวนการ 4 - 1 การรับความร้อนโดยความดันคงที่ที่เครื่องระเหย

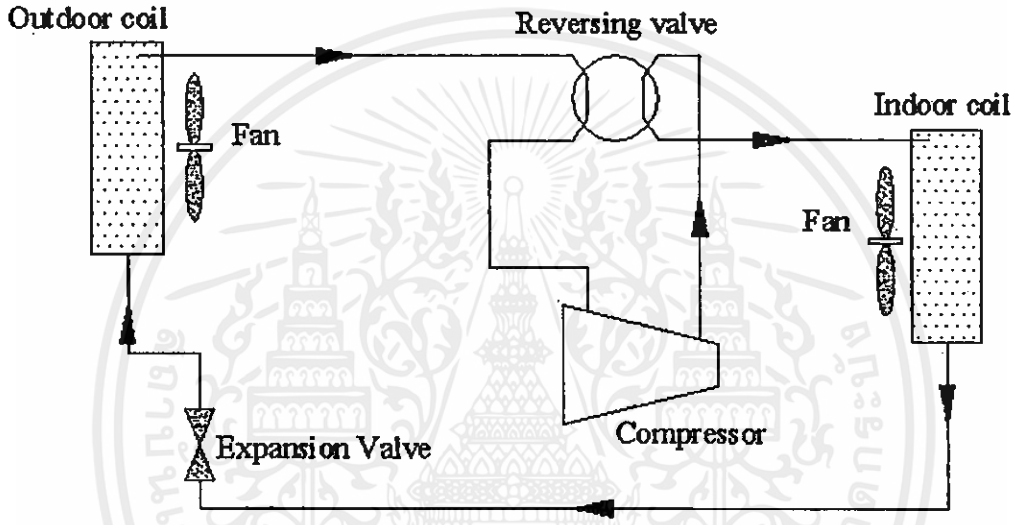


รูปที่ 3.22 แผนภาพแสดงการทำงานของวัฏจักรการทำความเย็นชนิดอัดไอแบบอุดมคติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.11.2 ปั๊มความร้อน (Heat Pump)

ปั๊มความร้อน เป็นอุปกรณ์อีกอุปกรณ์หนึ่งที่ใช้สำหรับถ่ายโอนความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง วัฏจักรการทำงานดังแสดงในรูปที่ 3.23 เครื่องปรับอากาศและปั๊มความร้อนมีวัฏจักรการทำงานแบบเดียวกันแต่แตกต่างกันที่วัตถุประสงค์การนำไปใช้งาน วัตถุประสงค์ของเครื่องปรับอากาศคือ รักษาอุณหภูมิภายในบ้านให้มีอุณหภูมิต่ำในฤดูร้อนโดยการกำจัดความร้อนออก ส่วนวัตถุประสงค์ของปั๊มความร้อนคือการรักษาอุณหภูมิภายในบ้านให้มีอุณหภูมิสูงในฤดูหนาวโดยดูดความร้อนจากภายนอก



รูปที่ 3.23 แผนภาพแสดงการทำงานของปั๊มความร้อน

3.11.3 หน่วยของการทำความเย็น

หน่วยที่ใช้ในการวัดอัตราการทำความเย็นใช้หน่วยที่เรียกว่า ตันของการทำความเย็น (Ton of Refrigeration) หนึ่งตันของการทำความเย็นหมายถึงปริมาณความร้อนที่ทำให้น้ำแข็งบริสุทธิ์ 1 ตัน (2000 ปอนด์) ที่อุณหภูมิ 32 °F กลายเป็นน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิ 32 °F ภายในเวลา 24 ชั่วโมง [9]

จาก $Q = mL$ (3.6)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.11.4 การคำนวณค่าต่าง ๆ สำหรับระบบทำความเย็นแบบอัดขั้นเดียว

สำหรับเครื่องอัดมีสมการที่ใช้หากำลังงานดังนี้ [12]

$$W_c = m_l(h_3 - h_2) \qquad (3.7)$$

เมื่อ W_c คือ กำลังงานที่ใช้ของเครื่องอัด (Btu/min)

m_l คือ ปริมาณสารทำความเย็นที่ไหลผ่านเครื่องอัด (lb/min)

h_2 คือ เอนทาลปีของสารทำความเย็นก่อนเข้าเครื่องอัด (Btu/lb)

h_3 คือ เอนทาลปีของสารทำความเย็นที่ออกจากเครื่องอัด (Btu/lb)

สำหรับเครื่องควบแน่นมีสมการที่ใช้หาปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทออกดังนี้

$$Q_{cond} = m_h (h_4 - h_3) \qquad (3.8)$$

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

m_h คือ ปริมาณสารทำความเย็นที่ไหลผ่านเครื่องควบแน่น (lb/min)

h_3 คือ เอนทาลปีของสารทำความเย็นก่อนเข้าเครื่องควบแน่น (Btu/lb)

h_4 คือ เอนทาลปีของสารทำความเย็นที่ออกจากเครื่องควบแน่น (Btu/lb)

สำหรับเครื่องระเหยมีสมการที่ใช้หาค่าการทำความเย็นดังนี้ดังนี้

$$Q_{eva} = m_l(h_2 - h_1) \qquad (3.9)$$

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

m_l คือ ปริมาณสารทำความเย็นที่ไหลผ่านเครื่องระเหย (lb/min)

h_1 คือ เอนทาลปีของสารทำความเย็นก่อนเข้าเครื่องระเหย (Btu/lb)

h_2 คือ เอนทาลปีของสารทำความเย็นที่ออกจากเครื่องระเหย (Btu/lb)

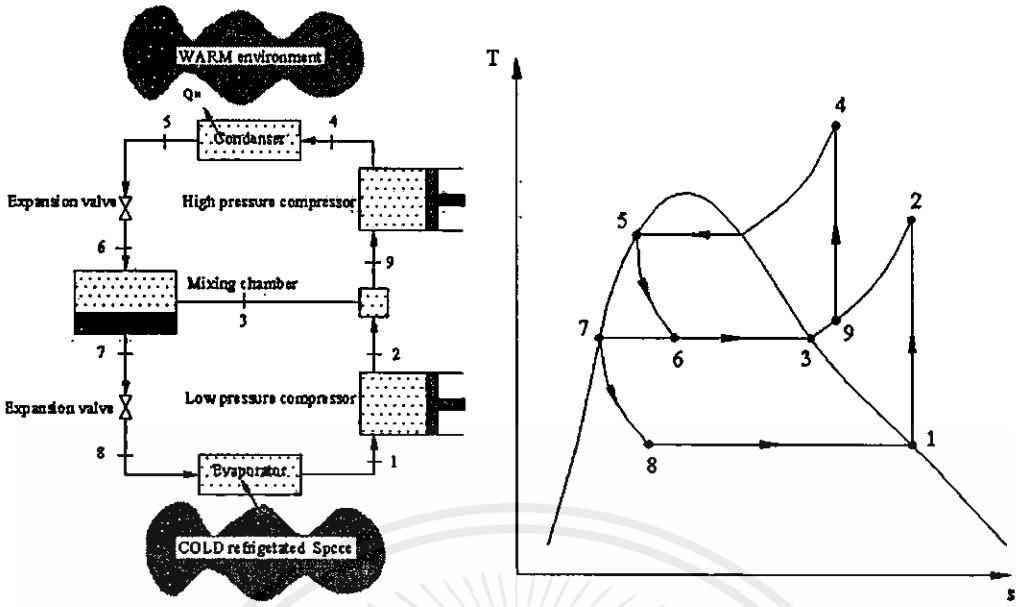
สมรรถนะของระบบทำความเย็น คือ

$$COP = Q_{eva} / W_c \qquad (3.10)$$

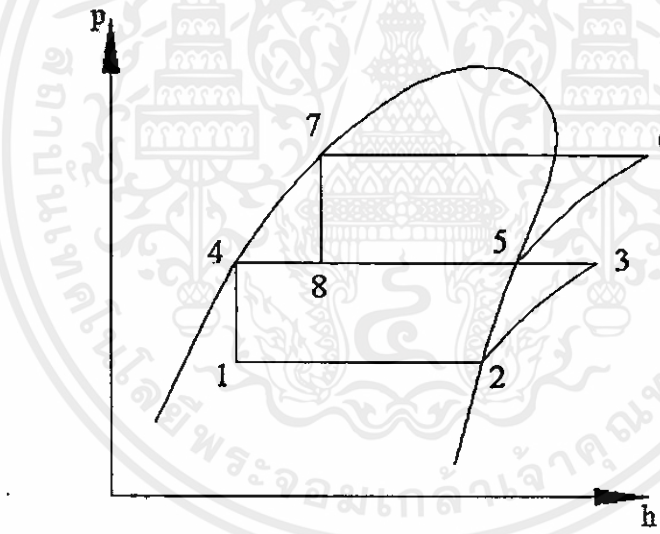
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(หมายเหตุ:1 kW = 56.867 Btu/min1 kJ/kg = 0.4299 Btu/lb 1 kg/s = 132.3 lb/min)

3.11.5 ระบบการทำความเย็นแบบอัดสองขั้น



รูปที่ 3.24 ภาพแสดงระบบการอัดไอแบบอัดสองขั้น



รูปที่ 3.25 P-h Diagram ของระบบการอัดไอแบบสองขั้น

การทำงานเบื้องต้นของระบบทำความเย็นแบบอัดสองขั้นการทำงานเริ่มจากสารทำความเย็นที่มีสถานะเป็นของผสมไหลเข้าสู่ เครื่องระเหย (ที่สภาวะ 1) เพื่อรับความร้อนจากผลิตภัณฑ์ที่ต้องการทำความเย็น จากนั้นไอของสารทำความเย็นจะถูก เครื่องอัดของวัฏจักรความดันต่ำดูดแล้วอัดเข้าสู่หอผสม ในขณะนั้นมีสารทำความเย็นสถานะเป็นของเหลวซึ่งไหลมาจากเครื่องควบแน่น จะไหลผ่านวาล์วขยาย เพื่อลดความดันจนมีความดันเท่ากับความดันในหอผสม ซึ่งมีความดันอยู่ระหว่างความดันของเครื่องอัดทั้งสองตัว ในระหว่างกระบวนการนี้จะมีของเหลวบางส่วนระเหยกลายเป็นไออิ่มตัว (ที่สภาวะ 5) เมื่อไปผสมกับไอร้อนยวดยิ่งที่มาจาก เครื่องอัดที่วัฏจักรความดันต่ำ (ที่สภาวะ 3) จากนั้นไอผสมนี้จะถูกดูดโดย เครื่องอัดของวัฏจักรความดันสูง

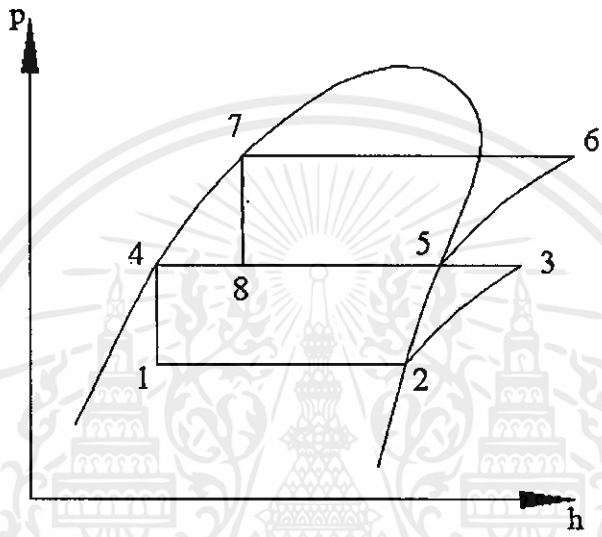
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อไประบายความร้อนที่เครื่องควบแน่น ส่วนสารทำความเย็นที่เป็นของเหลวอิ่มตัวในหอผสมจะไหลผ่านวาล์วขยาย (ที่สภาวะ4)

สำหรับวัฏจักร 1 >> 2 >> 3 >> 4 เรียกว่าวัฏจักรความดันต่ำและวัฏจักร 5 >> 6 >> 7 >> 8 เรียกว่าวัฏจักรความดันสูง ดังแสดงดังในรูปที่ 3.25

3.11.6 การคำนวณค่าต่าง ๆ สำหรับระบบทำความเย็นแบบอัดสองขั้น

การคำนวณสำหรับระบบทำความเย็นแบบอัดสองขั้นโดยใช้สมการดังต่อไปนี้ [12]



รูปที่ 3.26 แสดงวัฏจักรทำความเย็นแบบอัดสองขั้น

การหาค่าคุณภาพไอ

$$x_8 = (h_8 - h_4)/(h_5 - h_4) \qquad (3.11)$$

$$m_i = m_l (x_8 / (1 - x_8)) \qquad (3.12)$$

การหาอัตราการไหลของสารทำความเย็นสถานะไอที่ไหลออกจากวาล์วขยายวัฏจักรความดันสูงและไม่ได้ผ่านไปสู่เครื่องระเหย ในที่นี้ขอเรียกว่า"ไอฝาก"

เมื่อ m_i คือ อัตราการไหลของสารทำความเย็นที่ไหลผ่านเครื่องระเหย

การหาอัตราการไหลของสารทำความเย็นที่มีสถานะเป็นของเหลวบางส่วนไหลผ่านวาล์วขยายแต่ไม่ได้ไหลไปที่เครื่องระเหย

เอกสารนี้ใช้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกที่ที่มีการนำไปใช้

$$m_{mixing} = m_l (h_3 - h_5) / (h_5 - h_8) \qquad (3.13)$$

ดังนั้นปริมาณสารทำความเย็นที่ไหลผ่านเครื่องควบแน่นจึงมีค่าเท่ากับ

$$m_h = m_l + m_i + m_{mixing} \qquad (3.14)$$

เครื่องระเหยมีสมการที่ใช้หาค่าการทำความเย็นดังนี้

$$q_{eva} = h_2 - h_1 \qquad (3.15)$$

เครื่องควบแน่นมีสมการที่ใช้หาปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทออกดังนี้

$$q_{cond} = h_6 - h_7 \qquad (3.16)$$

เครื่องอัดที่วัฏจักรความดันต่ำมีสมการที่ใช้หากำลังงานดังนี้

$$w_l = h_3 - h_2 \qquad (3.17)$$

เครื่องอัดที่วัฏจักรความดันสูงมีสมการที่ใช้หากำลังงานดังนี้

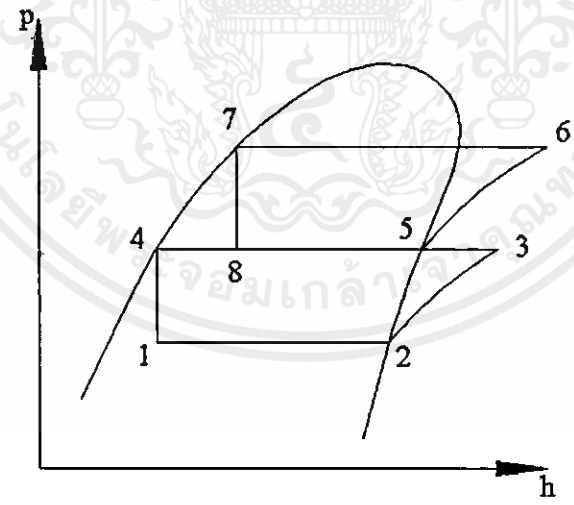
$$w_h = h_6 - h_5 \qquad (3.18)$$

ดังนั้นสมรรถนะของระบบทำความเย็นแบบอัดสองขั้นคือ

$$COP = q_{eva} / (w_l + w_h(m_h/m_l)) \qquad (3.19)$$

3.11.7 การเปรียบเทียบสมรรถนะระบบทำความเย็นแบบอัดขั้นเดียวและสองขั้น

สำหรับระบบทำความเย็นแบบอัดสองขั้น



รูปที่ 3.27 แสดงวัฏจักรทำความเย็นแบบอัดสองขั้น

กำหนดสภาวะการทำงานของระบบดังนี้ คือ

1. กำหนดการทำงานด้านความดันสูงที่ 180 psia
2. กำหนดการทำงานด้านความดันต่ำที่ 20 psia
3. หอผสม ทำงานที่ความดัน 60 psia
4. สารทำความเย็น R-12

เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ภาระของระบบคือ 1310 Btu/hr

โดยมีสมมุติฐานดังนี้คือ

1. สารทำความเย็นออกจากเครื่องระเหยที่สภาวะไออิ่มตัว
2. สารทำความเย็นออกจากเครื่องควบแน่น ที่สภาวะของเหลวอิ่มตัว
3. เครื่องอัด อัดไอสารทำความเย็นแบบ Isentropic
4. ระบบทำงานที่สภาวะ Steady
5. เครื่องผสม อยู่ในสภาวะ Adiabatic

จากตารางคุณสมบัติของสารทำความเย็น R-12 สามารถเปิดค่า Enthalpy ณ สภาวะการทำงานได้ดังนี้ คือ

$h_1 = 19.202$ Btu/lb $\quad h_5 = 82.299$ Btu/lb

$h_2 = 76.396$ Btu/lb $\quad h_6 = 90.673$ Btu/lb

$h_3 = 84.524$ Btu/lb $\quad h_7 = 36.863$ Btu/lb

$h_4 = 19.202$ Btu/lb $\quad h_8 = 36.863$ Btu/lb

$X_8 = (h_8 - h_4)/(h_5 - h_4) = 0.2799$

$m_1(h_2 - h_1) = 1310/60$

$m_1 = 1310 /(60 \times (76.396 - 19.202)) = 0.38174$ lb/min

$m_i = x_8 RF / (1 - x_8) = 0.14838$ lb/min

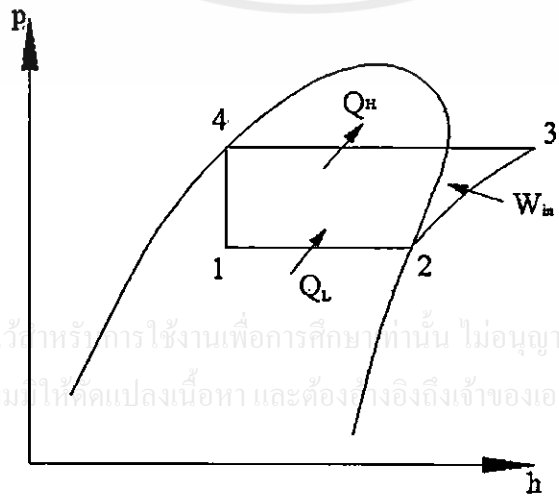
$m_{mixing} = m_1 (h_3 - h_5)/(h_5 - h_8) = 0.01869$ lb/min

$m_h = m_1 + m_i + m_{mixing} = 0.54881$ lb/min

COP (coefficient of performance) ของระบบ

$COP = (h_2 - h_1) / ((h_3 - h_2) + (m_h / m_1)(h_6 - h_5)) = 2.836$

สำหรับระบบทำความเย็นแบบอัดขั้นเดียว



รูปที่ 3.28 P-h Diagram ของระบบการอัดไอแบบขั้นเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดสภาวะการทำงานของระบบโดยที่มีความดันสูงสุดและต่ำสุดเท่ากับระบบแบบอัดสองขั้น คือ

1. กำหนดการทำงานด้านความดันสูงที่ 180 psia
2. กำหนดการทำงานด้านความดันต่ำที่ 20 psia
3. สารทำความเย็น R-12

จากตารางคุณสมบัติ ของสารทำความเย็น R-12 สามารถเปิดค่า Enthalpy ณ สภาวะการทำงาน ได้ดังนี้ คือ

h_1= 36.863 Btu/lb h_3 = 93.255 Btu/lb

h_2 = 76.396 Btu/lb h_4 = 36.863 Btu/lb

ผลการทำความเย็นที่เครื่องระเหยและงานที่ใช้ขับเครื่องอัด ดังนี้คือ

$q_{eva} = h_2 - h_1 = 39.533$ Btu/lb

$w_c = w_1 = h_3 - h_2 = 16.859$ Btu/lb

$COP = q_{eva}/w_c = 2.3449$

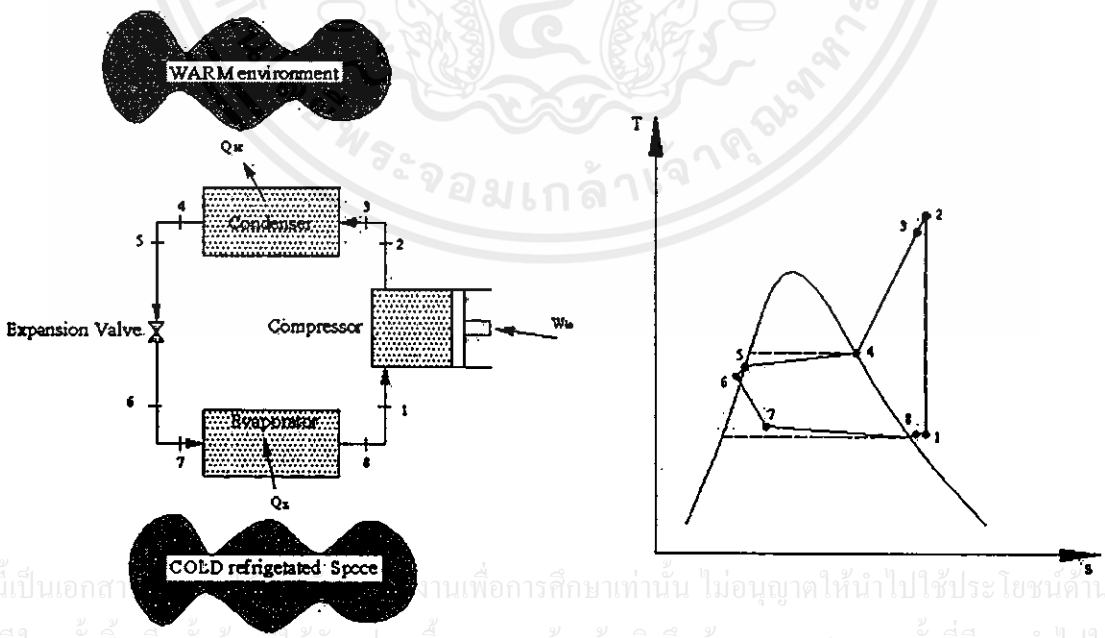
การคำนวณข้างต้นเป็นการคำนวณเพื่อเปรียบเทียบค่า COP (Coefficient of Performance) ของวัฏจักรการทำงานแบบอัดสองขั้น (COP=2.836) กับแบบอัดขั้นเดียว (COP=2.3449) ซึ่งจากผลการคำนวณเห็นได้ชัดเจนว่า ค่า COP ของการอัดแบบสองขั้นมีค่ามากกว่าระบบการอัดแบบขั้นเดียวถึง 20.94 เปอร์เซ็นต์ การทำงานที่ความดันต่ำ คือความดันที่ เครื่องระเหยที่ 20 psia นั้น อุณหภูมิมีค่าเท่ากับ –22.4 องศาเซลเซียส ซึ่งเหมาะสำหรับการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่ต้องใช้อุณหภูมิต่ำ

3.12 วัฏจักรการทำความเย็นชนิดอัดไอทางปฏิบัติ

วัฏจักรการทำความเย็นชนิดอัดไอทางปฏิบัติมีการทำงานที่แตกต่างจากวัฏจักรในอุดมคติหลายประการซึ่งเป็นผลเนื่องมาจาก การต้านทานการไหลภายในท่อระบบ การถ่ายโอนความร้อนระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อม เป็นต้น การทำงานของวัฏจักรการทำความเย็นในทางอุดมคตินั้น สารทำความเย็นที่ออกจากเครื่องระเหยเข้าสู่เครื่องอัดอยู่สภาวะไออิ่มตัวพอดี ซึ่งลักษณะดังกล่าวนั้นไม่สามารถเกิดขึ้นได้จริงในทางปฏิบัติ เนื่องจากในการทำงานจริงไม่สามารถควบคุมให้สารทำความเย็นเกิดสภาวะดังกล่าวได้อย่างแม่นยำ ดังนั้นระบบเครื่องทำความเย็นจริงในทางปฏิบัตินั้น ต้องถูกออกแบบให้สารทำความเย็นอยู่ในสถานะไอร้อนยวดยิ่งเล็กน้อยที่สภาวะทางเข้าของเครื่องอัด การออกแบบเผื่อไว้เช่นนี้เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าสารทำความเย็นที่ไหลเข้าสู่เครื่องอัดมีการระเหยเป็นไออย่างสมบูรณ์ นอกจากนี้ในทางปฏิบัติยังพบว่าท่อที่เชื่อมต่อระหว่างเครื่องระเหยและเครื่องอัดมีความยาวมาก อันเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความดันตกเนื่องจากความต้านทานการไหลภายในท่อ รวมทั้งมีการถ่ายโอนความร้อนจากสิ่งแวดล้อมไปยังสารทำความเย็นในระบบ

เอกสารนี้ต้องไม่ใช้เพื่อการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

เป็นปริมาณมาก ผลของการที่สารทำความเย็นถูกทำให้อยู่ในสภาวะไอร้อนยิ่งยวด รวมทั้งสภาวะความดันตกที่เกิดขึ้นภายในเครื่องระเหยและท่อระบบเป็นผลให้ปริมาตรจำเพาะของสารทำความเย็นเพิ่มขึ้นซึ่งมีผลทำให้ต้องป้อนกำลังงานให้กับเครื่องอัดเพิ่มมากขึ้น ในส่วนของกระบวนการอัดที่เครื่องอัดมีลักษณะเป็นกระบวนการไอเซนโทรปิก คือมีค่าเอนโทรปีคงที่ แต่กระบวนการอัดจริงในทางปฏิบัตินั้นมีความด้านทานในการไหลซึ่งส่งผลให้มีค่าเอนโทรปีสูงขึ้น นอกจากนี้ผลของการถ่ายเทความร้อนก็ส่งผลต่อค่าเอนโทรปี้ คือถ้ามีการถ่ายโอนความร้อนเข้าสู่ระบบระหว่างกระบวนการอัดมีผลให้ค่าเอนโทรปีมีค่าสูงขึ้น ในทางตรงข้ามกันถ้ามีการถ่ายโอนความร้อนออกจากระบบก็จะทำให้ค่าเอนโทรปีมีค่าลดลง ซึ่งมีผลทำให้งานที่ป้อนให้กับเครื่องอัดมีค่าลดลง ดังนั้นในการออกแบบควรให้มีการถ่ายโอนความร้อนออกจากระบบในระหว่างกระบวนการอัด ส่วนสารทำความเย็นที่ออกจากเครื่องควบแน่นในสถานะที่เป็นของเหลวอิ่มตัวที่มีความดันเท่ากับความดันที่ออกจากเครื่องอัดแต่ในทางปฏิบัตินั้นไม่สามารถหลีกเลี่ยงความดันลดที่เกิดขึ้นภายในเครื่องควบแน่นได้ และการที่ควบคุมให้สารทำความเย็นที่ออกจากเครื่องควบแน่นอยู่ในสถานะอิ่มตัวได้อย่างแม่นยำพอดี และไม่ต้องการให้สารทำความเย็นที่ควบแน่นไม่สมบูรณ์ผ่านวาล์วขยาย เนื่องจากส่งผลให้อัตราการไหลของสารทำความเย็นโดยมวลลดลง ดังนั้นในการออกแบบเพื่อให้มั่นใจว่าสารทำความเย็นที่ออกจากเครื่องควบแน่นมีการควบแน่นอย่างสมบูรณ์ จึงต้องออกแบบให้สารทำความเย็นอยู่ในสถานะเป็นของเหลวอัดตัวก่อนที่เข้าสู่วาล์วขยาย โดยให้มีการถ่ายเทความร้อนออกจากระบบให้มากขึ้น ซึ่งมีผลดีก็คือ สารทำความเย็นที่จะไหลต่อไปยังเครื่องระเหยมีปริมาณค่า Enthalpy ต่ำและทำให้สามารถรับความร้อนจากบริเวณที่ต้องทำความเย็นมากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.29 แผนภาพแสดงวัฏจักรการทำความเย็นชนิดอัดไอทางปฏิบัติ

3.13 สัมประสิทธิ์สมรรถนะ Coefficient of Performance, COP

ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องทำความเย็นถูกแสดงอยู่ในเทอมของค่า สัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of Performance, COP) ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้ คือ [12]

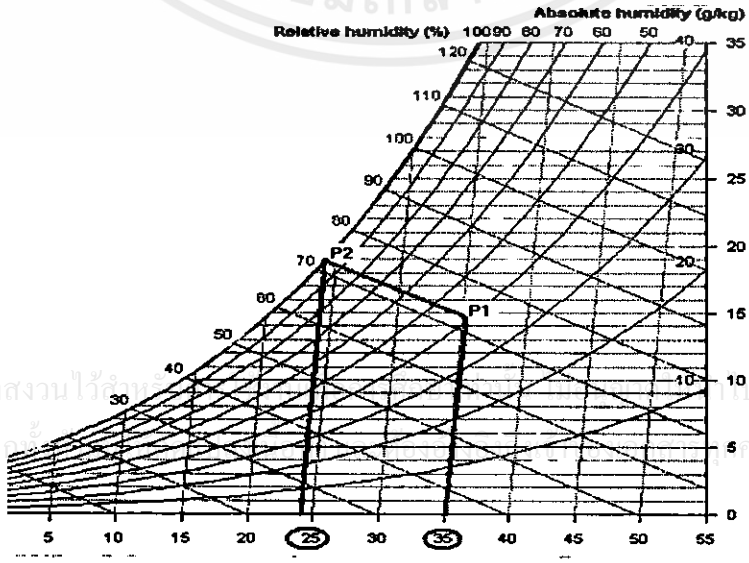
COP (เครื่องทำความเย็น) = สิ่งที่ปรารถนาจะได้ออกมา/สิ่งที่จำเป็นต้องป้อนเข้าไป
= ผลของการทำความเย็น/งานที่ต้องป้อนให้กับอุปกรณ์

COP (ปั๊มความร้อน) = สิ่งที่ปรารถนาจะได้ออกมา/สิ่งที่ต้องป้อนเข้าไป
= ผลของการทำความร้อน/งานที่ต้องป้อนให้กับอุปกรณ์

ปั๊มความร้อนและเครื่องทำความเย็นมีส่วนประกอบหลักที่เหมือนกัน ดังนั้นไม่คุ้มค่าทางเศรษฐ์ศาสตร์ที่จะมี 2 ระบบ แยกกันในอาคารหรือบ้าน เราสามารถทำปั๊มความร้อนเพื่อทำหน้าที่เป็นปั๊มความร้อนเพื่อให้ความอบอุ่นในช่วงฤดูหนาว และทำหน้าที่เป็นเครื่องปรับอากาศ เพื่อให้ความเย็นแก่บ้านในช่วงฤดูร้อนได้โดยใช้วาล์วย้อนกลับ (ReversingValve) ติดตั้งในวัฏจักร ซึ่งวาล์วย้อนกลับนี้ทำให้เครื่องควบแน่นของปั๊มความร้อน (ส่วนที่อยู่ในบ้าน) ทำหน้าที่เป็นเครื่องระเหยของเครื่องปรับอากาศ และเครื่องระเหยของปั๊มความร้อน (ส่วนที่อยู่นอกบ้าน) จะทำหน้าที่เป็นเครื่องควบแน่นของเครื่องปรับอากาศในช่วงฤดูร้อน

3.14 แผนภูมิ Psychometric

สภาวะของอากาศในบรรยากาศทั่วไปนั้นมีความแตกต่างกันในแต่ละภูมิประเทศการที่จะทราบถึงคุณสมบัติของสภาวะอากาศดังกล่าวสามารถพิจารณาได้จากแผนภูมิ Psychometric Chart นอกจากนี้แผนภูมิ Psychometric Chart ยังเป็นตัวช่วยที่จะทำให้มองเห็นภาพของกระบวนการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของอากาศ เพื่อนำไปสู่การออกแบบเครื่องปรับอากาศและเครื่องทำความเย็นได้อย่างถูกต้อง รูปร่างพื้นฐานโดยทั่วไปของ Psychometric Chart ดังแสดงในรูปที่ 3.30 ซึ่งมีส่วนประกอบหลักดังนี้คือ



รูปที่ 3.30 แผนภูมิ Psychometric

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.14.1 อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry Bulb Temperature)

อุณหภูมิกระเปาะแห้งคือ อุณหภูมิที่อ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์แบบธรรมดาซึ่งถูกแสดงไว้ในแนวแกนนอนด้านล่าง จุดมุ่งหมายในการวัดอุณหภูมินี้ เป็นการวัดถึงความร้อนสัมผัส โดยที่การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกระเปาะแห้งแสดงถึง การเปลี่ยนแปลงความร้อนสัมผัสที่เกิดขึ้น

3.14.2 อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet Bulb Temperature)

อุณหภูมิกระเปาะเปียก เป็นค่าอุณหภูมิต่ำสุดที่สามารถบันทึกได้โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ชนิดธรรมดาที่กระเปาะถูกห่อหุ้มด้วยสำลีชุบน้ำ แล้วทำการหมุนเทอร์โมมิเตอร์ไปมาในกระแสอากาศ จุดประสงค์ในการทำเช่นนี้เนื่องจาก เมื่ออากาศที่ยังไม่อิ่มตัวเคลื่อนที่ผ่านกระเปาะเปียกของเทอร์โมมิเตอร์ น้ำจะเกิดการระเหยตัวจากพื้นผิวเปียกของกระเปาะ ในลักษณะความร้อนแฝงที่ไอน้ำได้รับซึ่งจะส่งผลให้อุณหภูมิกระเปาะเปียกที่เทอร์โมมิเตอร์อ่านได้มีค่าต่ำลง

3.14.3 อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (DP)

อุณหภูมิจุดน้ำค้าง เป็นอุณหภูมิที่ความชื้นในอากาศเริ่มมีการควบแน่นเกิดขึ้นเมื่ออากาศถูกทำให้เย็นตัวลง เป็นจุดที่อยู่ตลอดบนเส้นอิ่มตัวซึ่งอุณหภูมิกระเปาะเปียก, อุณหภูมิกระเปาะแห้ง และอุณหภูมิจุดน้ำค้างจะเป็นจุดเดียวกัน

3.14.4 ความชื้นจำเพาะ (W)

ความชื้นจำเพาะ เป็นปริมาณไอน้ำที่มีอยู่จริงของอากาศ ซึ่งถูกแสดงไว้ทางด้านขวามือในแนวแกนตั้งของ แผนภูมิ Psychometric Chart

3.14.5 ความชื้นสัมพัทธ์ (RH)

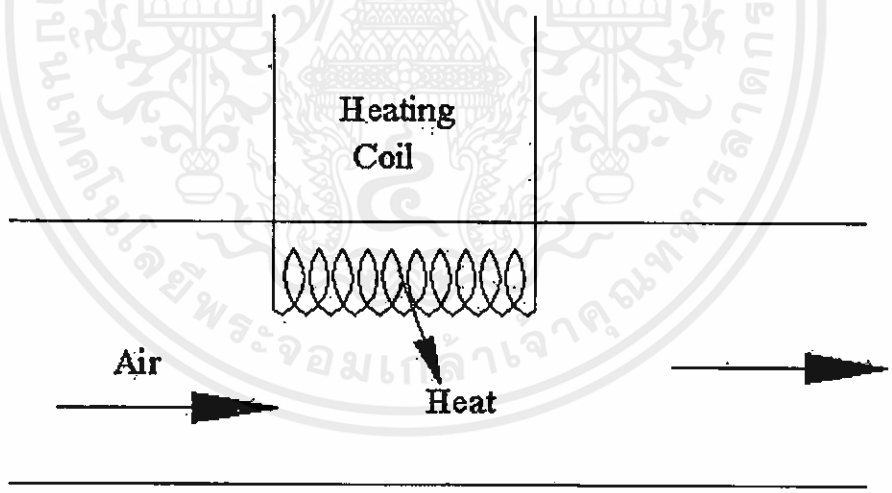
ความชื้นสัมพัทธ์ คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาณความชื้นที่มีอยู่จริงในอากาศกับปริมาณความชื้นที่สามารถมีได้มากที่สุดในอากาศที่อุณหภูมิเดียวกัน

3.15 กระบวนการปรับอากาศ

การรักษาบริเวณที่อยู่อาศัยและสิ่งอำนวยความสะดวกในอุตสาหกรรมให้มีอุณหภูมิและความชื้นให้ได้ตามความต้องการนั้นต้องอาศัยกระบวนการที่เรียกว่ากระบวนการปรับอากาศ ซึ่งประกอบไปด้วยการให้ความร้อนอย่างง่าย (Simple Heating) การทำความเย็นอย่างง่าย (Simple Cooling) การเพิ่มความชื้น (Humidifying) การลดความชื้น (Dehumidifying) แต่การที่จะทำให้อากาศอยู่ในสภาวะที่มีอุณหภูมิและระดับความชื้นตามที่ต้องการนั้นอาจต้องใช้กระบวนการสองกระบวนการหรือมากกว่า ซึ่งกระบวนการทั้งหมดสามารถแสดงได้โดยใช้ Psychometrics Chart

3.15.1 การให้ความร้อนและการทำความเย็นอย่างง่าย (Simple Heating and Simple Cooling)

ระบบให้ความร้อนภายในบ้านเรือนที่เรียกว่าปั๊มความร้อนมีหลักการคือให้ความร้อนแก่อากาศโดยการหมุนเวียนอากาศผ่านท่อหรือคอยล์ที่มีแก๊สร้อน ในระหว่างกระบวนการนี้ปริมาณความชื้นในอากาศคงที่เพราะไม่มีการเติมความชื้นหรือลดความชื้นออกจากอากาศ นั่นหมายความว่า ค่าความชื้นจำเพาะของอากาศมีค่าคงที่ ในระหว่างกระบวนการให้ความร้อนหรือการทำความเย็นที่ปราศจากการเพิ่มความชื้นหรือการลดความชื้นนั้น กระบวนการจะดำเนินไปในทิศทางที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกระเปาะแห้งตามแนวเส้นทางของค่าความชื้นจำเพาะคงที่ บนแผนภูมิ Psychometrics ซึ่งปรากฏเป็นเส้นแนวนอนบนแผนภูมิ ส่วนค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศจะลดลงในระหว่างกระบวนการให้ความร้อนแม้ว่าความชื้นจำเพาะจะคงที่ก็ตาม ที่เป็นเช่นนี้เพราะความชื้นสัมพัทธ์คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาณความชื้นกับความจุของความชื้นที่มีได้มากที่สุดในอากาศที่อุณหภูมิเดียวกัน และความจุความชื้นจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ กระบวนการทำความเย็นที่ความชื้นจำเพาะคงที่ก็เหมือนกัน แต่แตกต่างกันที่อุณหภูมิกระเปาะแห้งจะลดลงและ ความชื้นสัมพัทธ์จะเพิ่มขึ้นในระหว่างกระบวนการ



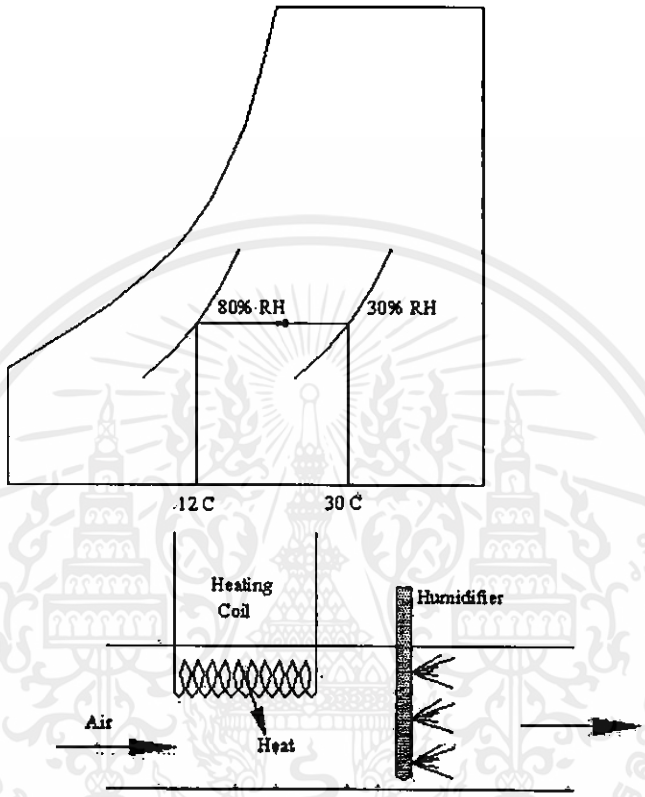
รูปที่ 3.31 การให้ความร้อนและการทำความเย็นอย่างง่าย

3.15.2 การให้ความร้อนพร้อมด้วยการเพิ่มความชื้น (Heating and Humidifying)

ในการแก้ปัญหาสภาวะอากาศที่มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำเกินไป เนื่องมาจากกระบวนการให้ความร้อนอย่างง่ายนั้น สามารถทำได้โดยการเพิ่มความชื้นให้กับอากาศที่ถูกให้ความร้อนนั้นได้โดยการผ่านอากาศเข้าสู่ส่วนให้ความร้อนก่อน และหลังจากนั้นจึงผ่านเข้าสู่ส่วนเพิ่มความชื้น วิธีการเพิ่มความชื้นโดยการป้อนเข้าไปในลักษณะไอร้อนนั้น อากาศจะมีความชื้นเพิ่มขึ้นและใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะเดียวกันอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นด้วย แต่ถ้ากระบวนการเพิ่มความชื้นกระทำโดยการฉีดพ่นน้ำเข้าสู่กระแสอากาศแทน ส่วนหนึ่งของความร้อนแฝงที่ใช้ในการระเหยน้ำจะได้จากอากาศซึ่งจะมีผลทำให้อากาศหลังจากผ่านการให้ความร้อนแล้วมีอุณหภูมิลดลง ในกรณีนี้อากาศควรถูกให้ความร้อนสูงกว่าที่ต้องการเพื่อเป็นการชดเชยอุณหภูมิที่จะลดลงในกระบวนการเพิ่มความชื้น

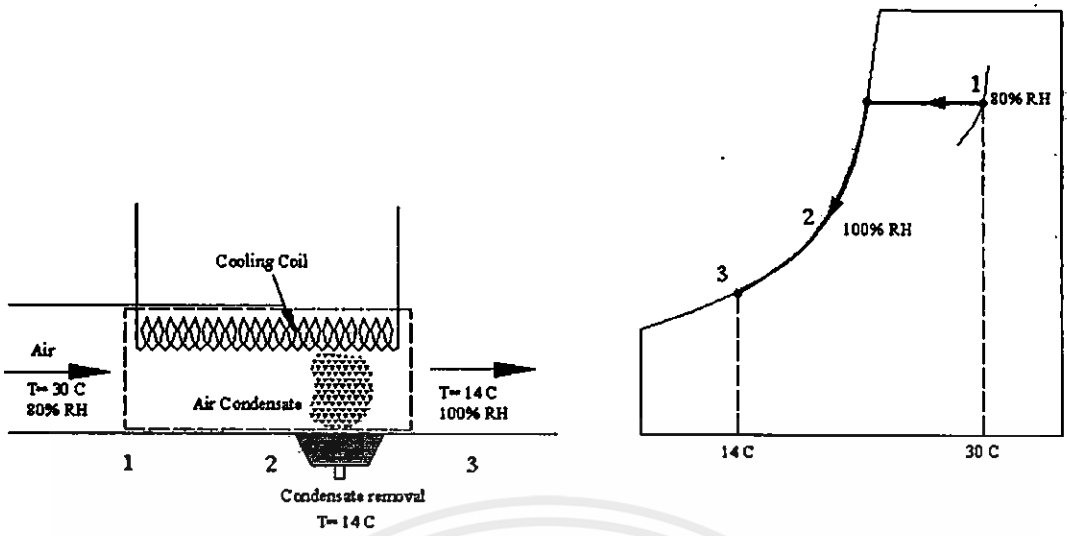


รูปที่ 3.32 การให้ความร้อนพร้อมด้วยการเพิ่มความชื้น

3.15.3 การทำความเย็นพร้อมด้วยการลดความชื้น (Cooling and Dehumidifying)

ความชื้นจำเพาะของอากาศคงที่ในระหว่างกระบวนการทำความเย็นอย่างง่ายแต่ความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น ถ้าอากาศมีความชื้นสัมพัทธ์สูงมากเกินไปกว่าระดับที่ต้องการ ความชื้นบางส่วนมีความจำเป็นต้องถูกกำจัดออกไปจากอากาศ ซึ่งสามารถทำได้โดยลดอุณหภูมิอากาศนั้นให้เย็นตัวลงต่ำกว่าจุดน้ำค้าง กระบวนการที่เกิดขึ้นคือ อากาศที่ร้อนชื้นไหลเข้าสู่ส่วนที่มีการทำความเย็นขณะที่อากาศร้อนชื้นไหลผ่านท่อขดที่เย็นอุณหภูมิของอากาศจะลดลง แต่ความชื้นสัมพัทธ์จะเพิ่มขึ้น โดยที่ความชื้นจำเพาะคงที่ถ้าส่วนทำความเย็น ณ ตำแหน่งนี้มีความยาวเพียงพออากาศจะเข้าสู่จุดน้ำค้าง ถ้ามีการทำให้อากาศเย็นตัวมากขึ้น ก็จะมีผลทำให้เกิดการควบแน่นของความชื้นส่วนหนึ่งในอากาศ อากาศจะอยู่ในสภาพอิ่มตัวในระหว่างตลอดทั้งกระบวนการควบแน่น และจะดำเนินไปตามแนวเส้นที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 100 เปอร์เซ็นต์ ไอน้ำที่ควบแน่นออกจากอากาศในระหว่างกระบวนการนี้จะถูกกำจัดออกไปจากส่วนทำความเย็น ดังแสดงในรูปที่ 3.33

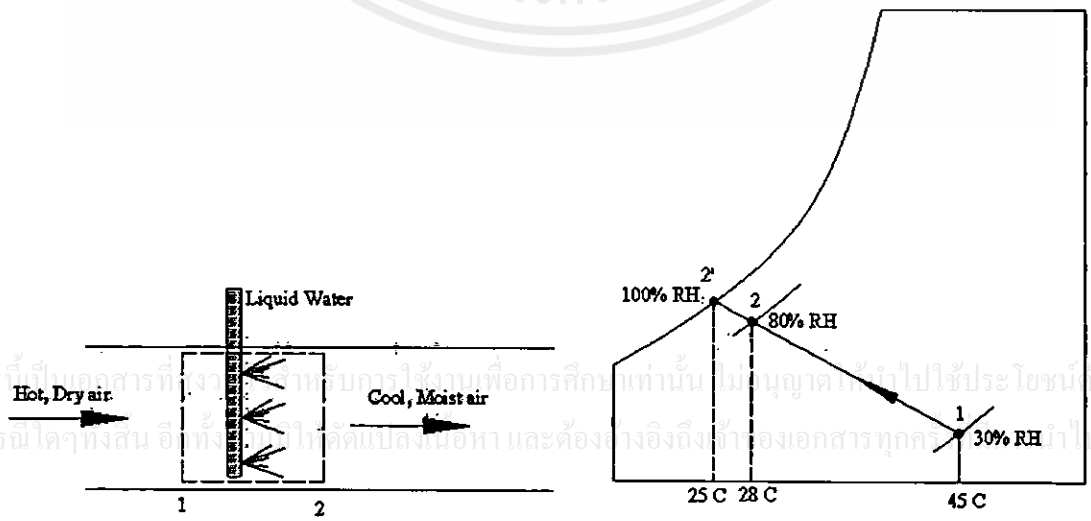
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.33 การทำความเย็นพร้อมด้วยการลดความชื้น

3.15.4 การทำความเย็นโดยวิธีการระเหย

ระบบการทำความเย็นด้วยวิธีการระเหย เหมาะสำหรับสภาวะอากาศที่ร้อนและแห้ง เช่น ทะเลทราย ซึ่งจะมีหลักการดังนี้คือ ขณะที่น้ำเกิดการระเหยความร้อนแฝงในการระเหยของน้ำจะได้รับจากน้ำและอากาศที่อยู่โดยรอบซึ่ง ผลที่ตามมาก็คือทั้งน้ำและอากาศมีอุณหภูมิลดลงระหว่างกระบวนการนี้ ดังแสดงในรูปที่ 3.34 กล่าวคืออากาศร้อนและแห้งไหลเข้าสู่เครื่องทำความเย็นโดยการระเหยซึ่งทำได้โดยการฉีดพ่นน้ำอยู่ในสถานะของเหลว น้ำส่วนหนึ่งเกิดการระเหยในระหว่างกระบวนการนี้โดยการดูดรับความร้อนจากกระแสของอากาศผลที่ตามมาก็คืออุณหภูมิของกระแสอากาศลดลงและมีความชื้นเพิ่มขึ้น ข้อจำกัดของกระบวนการนี้ก็คือเมื่อความชื้นของอากาศถึงจุดอิ่มตัวจะไม่มีการระเหยของน้ำการทำความเย็นก็ไม่เกิดขึ้น

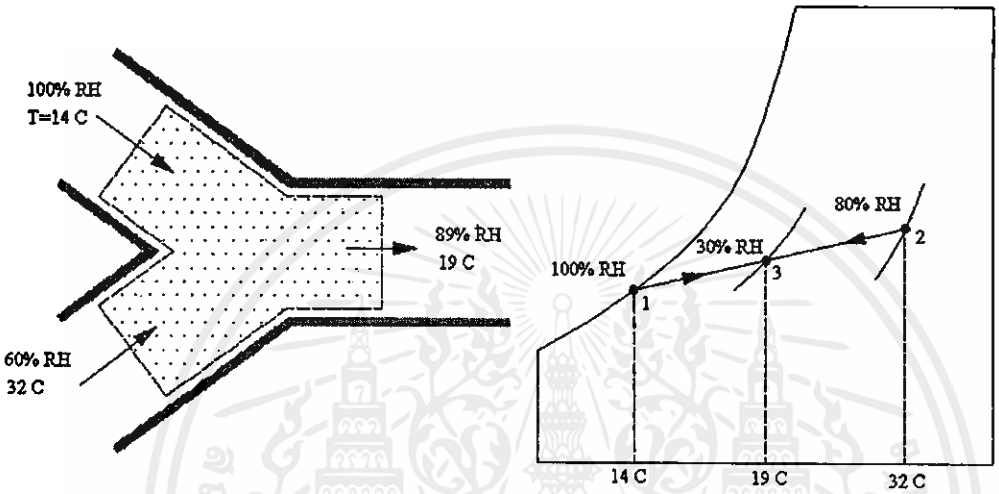


รูปที่ 3.34 การทำความเย็นโดยวิธีการระเหย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.15.5 การผสมอากาศ

ในระบบปรับอากาศต้องมีการปล่อยอากาศบางส่วนทิ้งไปและนำอากาศใหม่เข้ามาแทนที่ เพื่อเป็นการรักษาความบริสุทธิ์ของอากาศภายในบริเวณที่ต้องการปรับอากาศเอาไว้ ซึ่งจะเกิดการผสมระหว่างอากาศใหม่กับอากาศเก่าซึ่งทำให้สภาวะอากาศภายในห้องเปลี่ยนแปลงไป สามารถพิจารณาได้จากแผนภูมิ Psychometrics ดังแสดงในรูปที่ 3.35



รูปที่ 3.35 การผสมอากาศ

3.15.6 ความรู้สึกสบายของมนุษย์ และการปรับอากาศ

มนุษย์ต้องการความรู้สึกสบาย กล่าวคือมนุษย์ต้องการอยู่ในสภาวะอากาศสิ่งแวดล้อมที่ไม่ร้อนหรือไม่เย็นและไม่ชื้นหรือแห้งเกินไป แต่ความรู้สึกสบายนั้นไม่ได้มาโดยง่าย เนื่องจากความต้องการที่ไม่สอดคล้องกับสภาวะของอากาศบริเวณรอบ ๆ ดังนั้นความรู้สึกสบายนี้จะได้มาก็ต้องต่อสู้กับปัจจัยต่าง ๆ ที่เป็นสาเหตุของความรู้สึกไม่สบายเช่น การที่อุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไป และมีความชื้นสูงหรือต่ำเกินไป ทำอย่างไรที่ช่วยให้มนุษย์รู้สึกสบาย มนุษย์สามารถเปลี่ยนแปลงสภาวะอากาศในบริเวณที่มีขอบเขตจำกัด เช่น บ้านหรือสถานที่ทำงาน ในอดีตมนุษย์สามารถทำได้บางส่วน เช่น การสุมไฟเพื่อให้ความอบอุ่นในบ้าน แต่ในปัจจุบันระบบปรับอากาศสามารถให้ความร้อน ความเย็น เพิ่มความชื้น ลดความชื้น ทำความสะอาด กำจัดกลิ่น ซึ่งกล่าวได้ว่าการปรับอากาศสามารถตอบสนองความต้องการของมนุษย์ได้อย่างมาก การออกแบบเครื่องทำความเย็นหรือระบบปรับอากาศนั้นเพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์ ดังนั้นจึงต้องเข้าใจลักษณะทางร่างกายของมนุษย์ ดังนี้คือร่างกายของมนุษย์สามารถถูกมองได้เหมือนกับเครื่องจักรที่มีการป้อนพลังงานเข้าซึ่งก็คืออาหาร และทำนองเดียวกันกับเครื่องจักรที่ร่างกายมนุษย์มีความจำเป็นต้องปล่อยความร้อนที่เปล่าประโยชน์สู่สิ่งแวดล้อม ถ้าร่างกายทำงานต่อเนื่อง อัตราการเกิดความร้อนขึ้นอยู่กับระดับกิจกรรมที่ทำ เช่น วัยรุ่นผู้ชายจะสูญเสียพลังงานโดยเฉลี่ย 87 W ในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอนหลับ 115 W ขณะพักผ่อนหรือทำงานในสำนักงาน และ 440 W ขณะทำงานหนัก ส่วนผู้หญิงมีการสูญเสียน้อยกว่าประมาณ 15 % ร่างกายของมนุษย์จะรู้สึกสบายในสภาวะแวดล้อมที่สามารถปลดปล่อยความร้อนที่เปล่าประโยชน์ได้อย่างสะดวกสบาย การถ่ายโอนความร้อนจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความแตกต่างของอุณหภูมิกล่าวคือในสภาวะที่หนาวเย็นร่างกายสูญเสียความร้อนออกมากกว่าที่สร้างขึ้นจึงทำให้ไม่ค่อยรู้สึกสบายตัวเท่าใดนัก ดังนั้นร่างกายจะพยายามลดพลังงานที่ไม่เพียงพอนี้ให้น้อยสุด โดยการลดการหมุนเวียนของเลือดที่อยู่ใกล้ผิวหนังซึ่งมีผลทำให้ผิวรู้สึกซีดซึ่งวิธีการนี้ทำให้อุณหภูมิผิวลดต่ำลงซึ่งมีค่าประมาณ 34 °C และจะลดอัตราการถ่ายโอนความร้อนด้วยอุณหภูมิผิวที่ลดต่ำลงเป็นสาเหตุที่ให้รู้สึกไม่สบายตัวเช่น มือจะรู้สึกเย็นมากเมื่ออุณหภูมิลดลงเหลือ 10 °C มนุษย์สามารถที่จะลดการสูญเสียความร้อนจากร่างกายโดยการสวมเสื้อหรือห่มผ้าหนา ๆ หรือการเพิ่มอัตราการเกิดความร้อนด้วยการออกกำลังกาย ในสภาวะแวดล้อมที่ร้อนมนุษย์พบปัญหาที่ตรงข้ามกัน เหมือนว่าไม่สามารถที่จะปลดปล่อยความร้อนออกจากร่างกายได้ดีเพียงพอ ดังนั้นจึงต้องสวมเสื้อผ้าที่เบาบาง เพื่อที่จะสามารถระบายความร้อนออกได้ง่าย และเรามักจะลดระดับของกิจกรรมให้น้อยลงเพื่อลดอัตราการเกิดความร้อนภายในร่างกาย นอกจากนี้มักที่จะชอบเปิดพัดลมอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ทดแทนชั้นอากาศที่อบอุ่นกว่าที่เกิดขึ้นรอบ ๆ ร่างกายเนื่องมาจากความร้อนภายในร่างกายที่ปล่อยออกมา ถ้าทำงานเบา ๆ หรือเดินช้า ๆ ครึ่งหนึ่งของความร้อนที่ถูกปล่อยออกมาโดยการหายใจในรูปของความร้อนแฝง ขณะที่อีกครึ่งหนึ่งถูกปล่อยออกมาโดยกลไกการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนในรูปของความร้อนสัมผัส ส่วนการพักผ่อนหรือทำงานในสำนักงาน ความร้อนส่วนใหญ่ประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ จะถูกปล่อยออกมาในรูปของความร้อนสัมผัส แต่ถ้าทำงานหนัก ความร้อนส่วนใหญ่ประมาณ 60 % จะถูกปล่อยออกมาในรูปของความร้อนแฝงร่างกายจะช่วยกำจัดความร้อนโดยมีเหงื่อออกมามาก ๆ ในขณะที่เหงื่อเกิดการระเหยเหงื่อจะดูดซึมความร้อนแฝงจากร่างกายและทำให้ร่างกายเย็นลง แต่การระบายความร้อนด้วยเหงื่อไม่ช่วยได้มากนักถ้าความชื้นสัมพัทธ์ของสภาวะแวดล้อมมีค่าใกล้เคียง 100 % ปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อความรู้สึกที่สบายของมนุษย์ก็คือ การถ่ายโอนความร้อนโดยการแผ่รังสีระหว่างร่างกายและพื้นผิวที่อยู่รอบ ๆ เช่น ผนังและหน้าต่าง รังสีดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ผ่านห้วงอากาศโดยการแผ่รังสี มนุษย์รู้สึกอบอุ่นเมื่อยืนอยู่หน้าไฟ แม้ว่าอากาศระหว่างมนุษย์และไฟจะค่อนข้างเย็นก็ตาม ในทำนองเดียวกันจะมีความรู้สึกเย็นถึงแม้ว่าจะอยู่ภายใต้ห้องที่อบอุ่น ถ้าเพดานหรือพื้นผิวของกำแพงมีอุณหภูมิค่อนข้างต่ำมาก ๆ ที่เกิดลักษณะเช่นนี้เนื่องจากเกิดการถ่ายโอนความร้อนโดยตรงระหว่างร่างกายกับพื้นผิวที่อยู่รอบ ๆ โดยการแผ่รังสี ความรู้สึกสบายของร่างกายมนุษย์มักขึ้นอยู่กับปัจจัยหลัก 3 ประการ คือ อุณหภูมิ (กระเปาะแห้ง) ความชื้นสัมพัทธ์และการเคลื่อนไหวของอากาศ อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมเป็นปัจจัยหลักที่สำคัญสุดของความรู้สึกสบาย คนส่วนใหญ่มีความรู้สึกที่สบายถ้าหากอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมอยู่ระหว่าง 22-27 °C ส่วนความชื้นสัมพัทธ์มีผลต่อปริมาณความร้อนของร่างกายที่สามารถระเหยออกไปได้โดยการระบายความชื้นสัมพัทธ์ซึ่งจะใช้ในการวัดความสามารถของอากาศในการดูดซึมความชื้นกล่าวคือถ้าหาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อากาศมีความชื้นสัมพัทธ์สูง ส่งผลให้การคายความร้อนออกจากร่างกายโดยการระบายได้ลำบาก แต่หากอากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำมีผลในทางตรงกันข้ามคือทำให้การคายความร้อนเกิดขึ้นได้เร็ว มนุษย์ส่วนใหญ่ชอบอากาศ ที่มีความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 40-60 % การเคลื่อนที่ของอากาศก็มีบทบาทสำคัญต่อความรู้สึกสบายของร่างกาย เนื่องจากการเคลื่อนไหวของอากาศเป็นการกำจัดเอาอากาศอบอุ่นและมีความชื้นที่เกิดขึ้นรอบ ๆ ร่างกายออก และแทนที่ด้วยอากาศใหม่ที่บริสุทธิ์ ดังนั้นการเคลื่อนไหวของอากาศจึงเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการคายความร้อนออกโดยกลไกการพาความร้อนและการระเหย การเคลื่อนไหวของอากาศควร มีความเร็วพอที่จะกำจัดความร้อนและความชื้นออกจากบริเวณร่างกาย แต่ก็ไม่ควรที่จะรุนแรงเกินไป ความเร็วลมที่พอเหมาะ คือ ประมาณ 15 m/minute นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่น ๆ เช่น ความสะอาด กลิ่น และผลของการแผ่รังสี เป็นต้น

3.16 เครื่องอัด (Compressor)

เครื่องอัด เป็นอุปกรณ์หลักในระบบเครื่องทำความเย็นซึ่งทำหน้าที่ในการดูดอัดสารทำความเย็นในสถานะของก๊าซ วิศวกรรมแห่งประเทศไทยให้ความหมายของเครื่องอัดไว้ว่า "เครื่องอัดคืออุปกรณ์ที่เพิ่มความดันสารทำความเย็นที่อยู่ในสภานะที่เป็นไอ" [18] เครื่องอัดมีหน้าที่ดูดสารทำความเย็นที่เป็นไอร้อนยิ่งยวดด้านความดันต่ำจากเครื่องระเหยผ่านเข้ามาทางท่อด้านดูดของเครื่องอัด แล้วอัดไอนี้ให้มีความดันสูงขึ้นซึ่งทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นด้วยแล้วส่งไปยังเครื่องควบแน่นโดยผ่านทางท่อด้านอัดเพื่อไปควบแน่นเป็นของเหลวในเครื่องควบแน่นด้วยการระบายความร้อนออกจากสารทำความเย็นอีกทีหนึ่ง ซึ่งเห็นได้ว่าเครื่องอัดเป็นอุปกรณ์ที่แบ่งความดันระหว่างด้านความดันสูงและด้านความดันต่ำ สารทำความเย็นถูกดูดเข้ามาในเครื่องอัดในสถานะไอความดันต่ำ และอัดส่งจากเครื่องอัดให้มีสถานะเป็นไอที่ความดันสูง

3.16.1 การเลือกเครื่องอัด

ในการเลือกเครื่องอัดเพื่อนำไปใช้ให้เหมาะสมกับงานที่ออกแบบไว้จำเป็นต้องพิจารณาสิ่งต่าง ๆ ดังต่อนี้ คือ [11]

1. ความหมายของชื่อรุ่นและความหมายที่อยู่บน Name Plate ซึ่งมีสัญลักษณ์ที่เป็นตัวเลขและเป็นตัวอักษรซึ่งมีความหมายดังนี้ตัวอย่างต่อไปนี้ คือ

ตัวอย่าง RH 207 V HA_T

R	หมายถึง	ชื่อรุ่น
H	หมายถึง	แสดงถึงการใช้งาน/ชนิดของสารทำความเย็น (H คือ R22)
207	หมายถึง	ปริมาตรการอัดต่อการหมุน 1 รอบ หน่วยเป็นซีซีต่อรอบ (207 คือ ปริมาตรการอัดต่อ 1 รอบ เท่ากับ 207×0.1 เท่ากับ 20.7 ซีซี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

V หมายถึง ระบบแหล่งจ่ายไฟที่ใช้ (V คือ แรงดันไฟฟ้า 220-240 V ความถี่ 50 Hz)

HA หมายถึง รหัสแสดงลักษณะของส่วนประกอบรูปร่างภายนอก (ใช้เป็นรหัสภายในบริษัท)

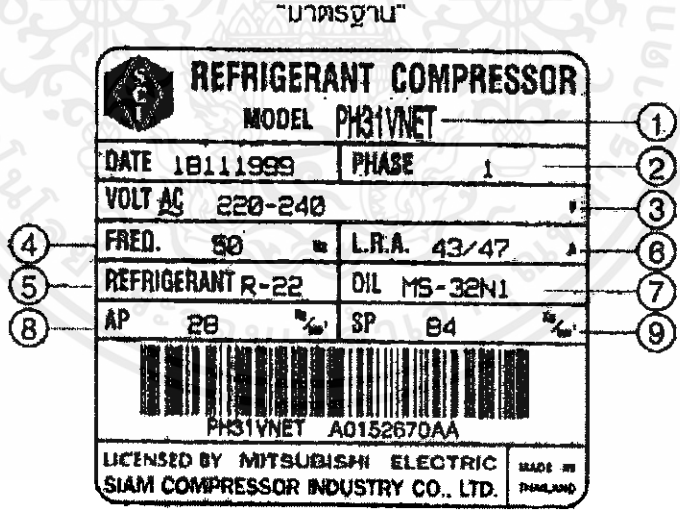
_ หมายถึง ชนิดของน้ำมัน

T หมายถึง ประเทศที่ผลิต (T ประเทศไทย)

ตัวอย่าง Name Plate ที่ติดอยู่บนตัวเครื่องดังแสดงในรูปที่ 3.36 ประกอบด้วยรายละเอียดดังต่อไปนี้ คือ

1. ชื่อรุ่นเครื่องอัด
2. จำนวนเฟสของระบบแหล่งจ่ายไฟฟ้า
3. แรงดันของระบบแหล่งจ่ายไฟฟ้า
4. ความถี่
5. ชนิดของสารทำความเย็น
6. กระแสขณะที่มอเตอร์ล็อค
7. ชนิดของน้ำมันที่ใช้ในการทดสอบเครื่องอัด
8. ความดันที่ใช้ทดสอบความแข็งแรงของเปลือกเครื่องอัด

"มาตรฐาน"



รูปที่ 3.36 ตัว Name Plate ที่ติดบนตัวเครื่องอัด

3.16.2 การนำเครื่องอัดไปใช้งาน

การเลือกเครื่องอัดต้องให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ โดยต้องมีการพิจารณาถึงอุณหภูมิใช้งาน อุณหภูมิที่เครื่องควบแน่น อุณหภูมิที่เครื่องระเหย ปริมาณของสารทำความเย็น สภาวะของสิ่งแวดล้อมและลักษณะที่จะนำไปใช้งาน คือใช้สำหรับเครื่องปรับอากาศ เครื่องทำความเย็น ห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เย็นหรือใช้กับ Heat Pump เป็นต้น เนื่องจากการเลือกใช้งานที่ไม่เหมาะสมจะส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานและประสิทธิภาพของระบบ

3.16.3 กำลังขับที่กำหนด (Rate Output)

โดยทั่วไปใน Catalogue ของเครื่องอัดมีการกำหนดค่าของกำลังขับของตัวเครื่องอัดเป็นวัตต์หรือแรงม้าซึ่งค่าที่แสดงดังกล่าวเป็นเพียงค่าความสามารถของเครื่องอัดค่าหนึ่งเท่านั้น แต่ในการเปรียบเทียบหรือการเลือกแล้วนั้นควรใช้ค่าความสามารถในการทำความเย็นที่เป็นมาตรฐานมีความถูกต้องมากที่สุด เครื่องอัดที่ใช้สำหรับเครื่องทำความเย็นที่เป็นแบบปิดผนึกนั้นมีโครงสร้างที่ทำให้ตัวมอเตอร์สามารถระบายความร้อนได้ด้วยสารทำความเย็นที่ไหลเวียนอยู่ในระบบ ดังนั้นการรักษาภาระของการใช้งานอาจเลือกใช้เกินกว่าค่าที่กำหนดหรือต่ำกว่าที่กำหนดได้โดยไม่เกิดความเสียหาย เนื่องจากเครื่องอัดแบบปิดผนึกสามารถทำงานในสภาวะที่ภาระเกินกว่าที่กำหนดได้ถึงประมาณ 20-30 เปอร์เซ็นต์จากกำลังขับที่กำหนด แต่อย่างไรก็ตามจะต้องมีการตรวจสอบการระบายความร้อนและระบบตัวป้องกันต่าง ๆ ของเครื่องอัดโดยที่เครื่องอัดจะต้องทำงานที่อุณหภูมิเหมาะสม

3.16.4 ความสามารถในการทำความเย็นและความสามารถในการทำความร้อน

ค่าความสามารถในการทำความเย็นเป็นค่าที่เป็นมาตรฐาน สำหรับใช้ในการตัดสินใจเพื่อเลือกขนาดของเครื่องอัด สำหรับค่าความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องอัดที่กำหนดนั้นจะทำงานอยู่ที่สภาวะมาตรฐานของการทดสอบสำหรับการใช้งาน ส่วนของการทำความร้อน (Heat Pump) สำหรับเครื่องอัดที่เป็นชนิดลูกสูบ ค่าความสามารถในการทำความร้อนสามารถคำนวณได้โดยใช้ "ความสามารถในการทำความเย็น + ค่าพลังงานที่มอเตอร์เครื่องอัดรับไป" แต่สำหรับเครื่องอัดแบบโรตารีมีลักษณะพิเศษคือที่ตัวเครื่องอัดมีการถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีออกไปจำนวนมากดังนั้นความสามารถในการทำความร้อนจะน้อยกว่าเครื่องอัดแบบลูกสูบ [11]

ตารางที่ 3.3 ตัวอย่างมาตรฐานการทดสอบของเครื่องอัด

รายละเอียด	R-22	R-407C	R-410A
อุณหภูมิเครื่องควบแน่น (°C)	54.4	54.4	54.4
อุณหภูมิเครื่องระเหย (°C)	7.2	7.2	7.2
อุณหภูมิก๊าซเข้าเครื่องอัด (°C)	35.0	35.0	35.0
อุณหภูมิสารทำความเย็นเหลวก่อนเข้าวาล์วขยาย (°C)	46.1	41.4	45.9
อุณหภูมิโดยรอบ (°C)	35	35	35
การระบายความร้อนของเครื่องอัด	ระบายความร้อนด้วยอากาศ		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.16.5 แรงดันของแหล่งจ่ายไฟฟ้า

มอเตอร์สำหรับเครื่องอัดโดยทั่วไปถูกออกแบบเพื่อใช้สำหรับแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำหรับในประเทศและต่างประเทศ โดยมีช่วงแรงดันไฟฟ้าที่สามารถทำงานได้กว้างเพียงพอโดยอยู่ในช่วง ± 10 เปอร์เซ็นต์ ของแรงดันไฟฟ้าที่กำหนดไว้ สำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ และตัวป้องกันต่าง ๆ จะมีมาตรฐานของแต่ละบริษัทผู้ผลิต

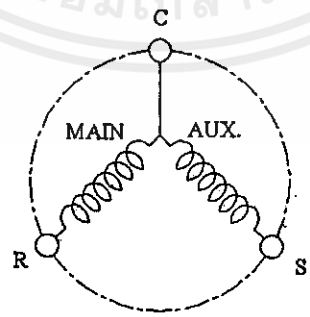
3.16.6 ข้อกำหนดสำหรับการใช้งานในย่านอุณหภูมิสูง

เครื่องอัดถูกออกแบบให้ภายในเปลือกมีความดันและอุณหภูมิสูงดังนั้นการที่นำไปใช้ในเขตที่มีอุณหภูมิสูงทำให้มีผลต่ออุณหภูมิขดลวดมอเตอร์สูงเกินไปและจะส่งผลเสียต่อเครื่องอัดได้ ซึ่งในกรณีนี้ต้องทำการลดอุณหภูมิของไอสารทำความเย็นทางด้านอัดของเครื่องอัดให้ลดลงอยู่ภายใต้ข้อกำหนดของแต่ละบริษัทผู้ผลิตหรือถ้าจำเป็นต้องการเลือกนำไปใช้ในเขตที่มีอุณหภูมิสูงก็ต้องเลือกเครื่องอัดที่มีการออกแบบมาเป็นพิเศษ

3.16.7 วงจรไฟฟ้าและการต่อวงจร

ระบบไฟฟ้าแบบ 1 เฟสการต่อวงจรไฟฟ้านั้นสามารถต่อได้หลายวิธี เพื่อให้ได้ขนาดของแรงบิดที่ต้องการขณะสตาร์ท ส่วนกระแสไฟฟ้าขณะสตาร์ทจะต้องมีขอบเขตไม่เกินค่าที่กำหนด นอกจากนี้ต้องเลือกวิธีการป้องกันมอเตอร์โดยคำนึงถึงขนาดและชนิดให้เหมาะสมกับข้อกำหนดต่าง ๆ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วตัวป้องกันมอเตอร์ที่ใช้สำหรับมอเตอร์เฟสเดียวจะเป็นแบบที่รีเซทโดยอัตโนมัติ ตัวอย่างการต่อวงจรต่อไปนี้ [11]

สัญลักษณ์ที่ขั้วไฟฟ้าของมอเตอร์ซึ่งเป็นสัญลักษณ์ที่เป็นสากลคือ C, S และ R โดยที่มีความหมายดังแสดงในรูปที่ 3.37



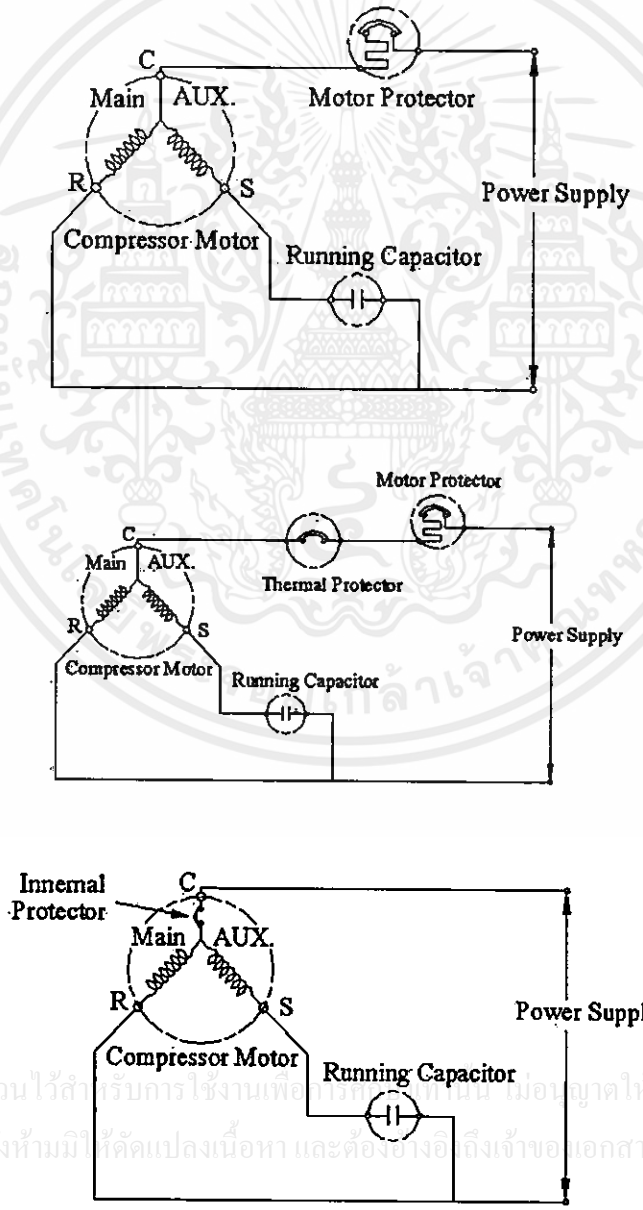
รูปที่ 3.37 สัญลักษณ์ขั้วไฟฟ้าของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอเตอร์ที่ใช้สำหรับเครื่องอัดมีหลายรูปแบบดังนั้นวงจรไฟฟ้าที่ใช้ก็จะแตกต่างกันไป ดังตัวอย่างต่อไปนี้

1. มอเตอร์แบบ PSC (Permanent Split Capacitor)

มอเตอร์แบบนี้ใช้สำหรับเครื่องอัดที่ใช้งานทั่วไปวงจรการต่อไฟฟ้าไม่ยุ่งยากและมีความน่าเชื่อถือสูงแต่ขนาดแรงบิดขณะสตาร์ทไม่สูงมากนัก ดังนั้นจะต้องระมัดระวังเรื่องความสมดุลของความดันด้านต่ำและความดันด้านสูงขณะสตาร์ทและการตกของระดับแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย วงจร PSC แบบมีตัวป้องกันแบบภายใน วิธีนี้มอเตอร์เครื่องอัดจะมีตัวป้องกันมอเตอร์ติดอยู่ที่ตัวโดยตรงซึ่งสามารถทำหน้าที่ตัดวงจรไฟฟ้าเมื่อมีสิ่งผิดปกติเกิดขึ้นดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องติดตั้งตัวป้องกันมอเตอร์ภายนอกเพิ่มเติมอีก ตัวป้องกันมอเตอร์จะสามารถรีเซทตัวเองได้อย่างอัตโนมัติ ดังนั้นขณะที่มีปัญหาเกิดขึ้นควรตรวจสอบค่าความต้านทานที่ขั้วไฟฟ้าของมอเตอร์เครื่องอัด เมื่อขดลวดมีอุณหภูมิต่ำลงแล้วเท่านั้นเนื่องจากตัวป้องกันมอเตอร์ยังไม่ต่อวงจรกลับเป็นปกติขณะที่อุณหภูมิยังคงสูงอยู่

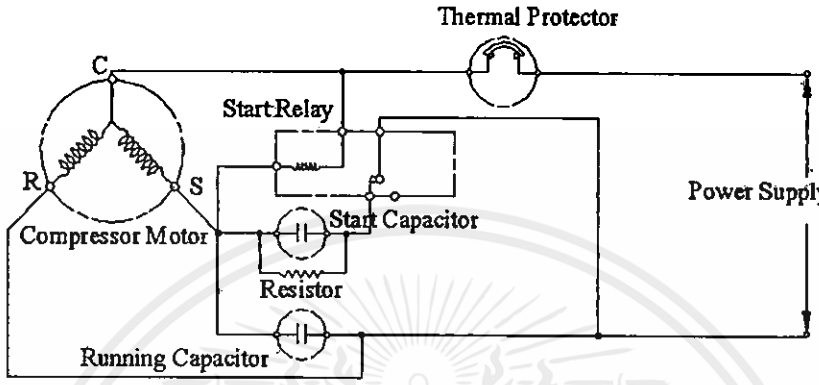


รูปที่ 3.38 วงจรมอเตอร์แบบ PSC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. มอเตอร์แบบ CSR (Capacitor Start and Run)

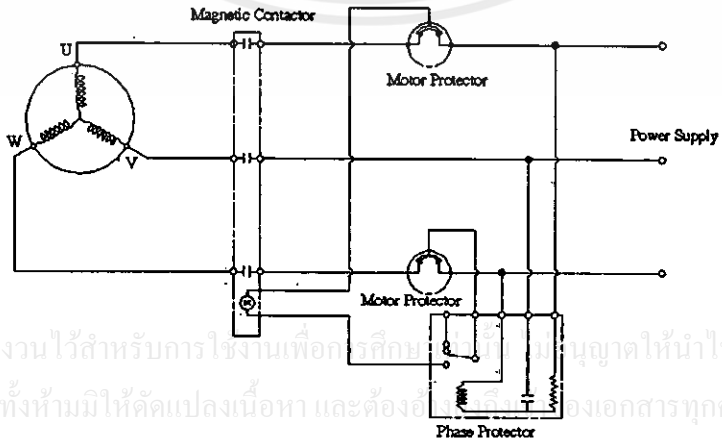
มอเตอร์ชนิดนี้ใช้เก็บประจุในขณะสตาร์ทเพื่อให้มีแรงบิดขณะสตาร์ทสูง และเนื่องจากมีการต่อตัวเก็บประจุเข้าไปในวงจรทำให้มอเตอร์ขณะที่ทำการเริ่มสตาร์ทมีค่า Power Factor ดีและมีประสิทธิภาพสูงสำหรับการต่อวงจรแบบ CSR แสดงดังในรูปที่ 3.39



รูปที่ 3.39 วงจรมอเตอร์แบบ CSR

3. มอเตอร์แบบ IR (Induction Run)

มอเตอร์สำหรับเครื่องอัดที่ใช้กับมอเตอร์ 3 เฟส เป็นมอเตอร์แบบเหนี่ยวนำ Rotor เป็นแบบกรงกระรอกซึ่งมีแรงบิดขณะสตาร์ทสูงดังนั้นมอเตอร์แบบนี้จึงไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ช่วยสตาร์ทเพิ่มเติม สำหรับการต่อวงจรไฟฟ้าพร้อมอุปกรณ์ป้องกันการหมุนกลับของมอเตอร์แบบโรตารี่ สำหรับการป้องกันมอเตอร์โดยใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ เช่นตัวป้องกันกระแสเกิน (Over Current Relay) ตัวป้องกันความดันเกิน (High Pressure Switch) เป็นต้น ควรต่อวงจรแบบรีเซทใหม่ด้วยมือ ดังนั้นวงจรควบคุมจะต้องเป็นแบบ Self Holding

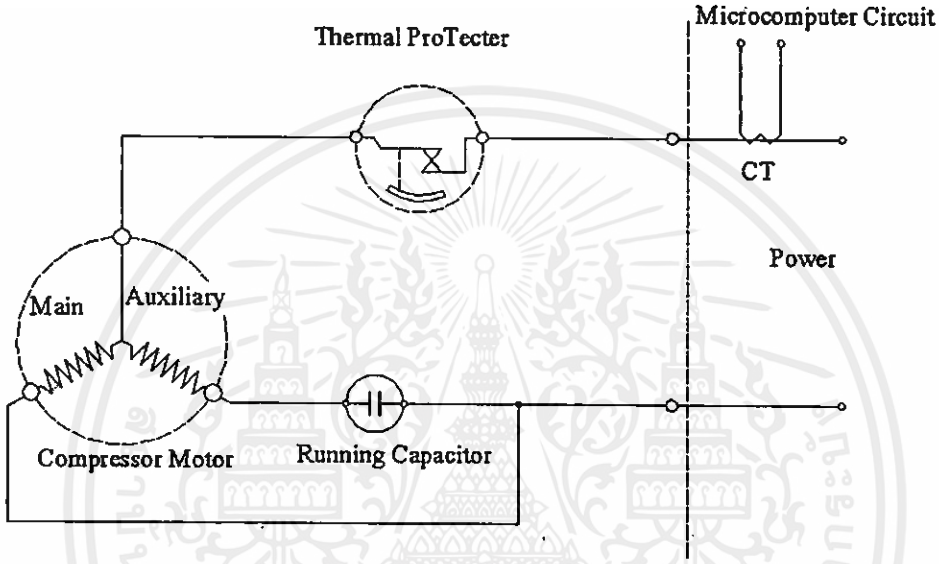


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.40 วงจรมอเตอร์แบบ IR

4. การต่อแบบอื่น ๆ

ปัจจุบันไมโครคอมพิวเตอร์เข้ามามีบทบาทกับระบบเครื่องทำความเย็นเพื่อประโยชน์ในการควบคุมอย่างมีประสิทธิภาพ ตัวอย่างการต่อวงจรป้องกันโดยใช้อุปกรณ์ไมโครคอมพิวเตอร์ควบคุมแสดงดังในรูปที่ 3.41 การเลือกอุปกรณ์ตัวตัดต่อวงจรไฟฟ้าสำหรับเครื่องอัดควรให้มีขนาดที่เหมาะสมและทนต่อขนาดกระแสไฟฟ้าของเครื่องอัด ไม่ให้หน้าสัมผัสของอุปกรณ์ตัดต่อวงจร ไฟฟ้าหลอมละลายหรือหน้าสัมผัส สัมผัสกันอย่างไม่มีเสถียรภาพ



รูปที่ 3.41 วงจรควบคุมโดยไมโครคอมพิวเตอร์

3.16.8 อุปกรณ์ไฟฟ้า

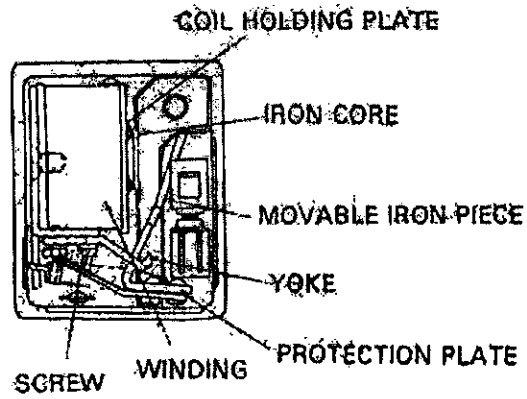
อุปกรณ์ไฟฟ้าที่เป็นส่วนประกอบของเครื่องอัด ได้ถูกออกแบบไว้เพื่อให้มีประสิทธิภาพการทำงานที่ดีและเหมาะสมกับการใช้งานต่าง ๆ สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ ส่วนของอุปกรณ์ไฟฟ้าสำหรับการทำงานและส่วนของอุปกรณ์ไฟฟ้าสำหรับป้องกันดังรายละเอียดต่อไปนี้

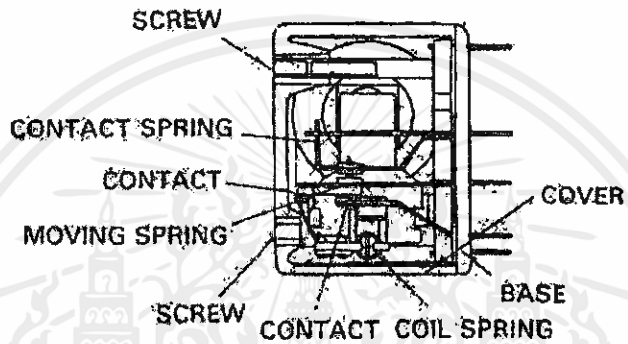
อุปกรณ์ไฟฟ้าสำหรับการทำงาน

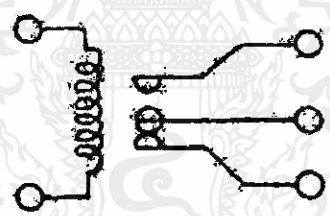
1. สตาร์ทรีเลย์

อุปกรณ์นี้ใช้สำหรับมอเตอร์เครื่องอัดที่ต่อแบบ CSR ซึ่งเป็นระบบไฟฟ้า 1 เฟส รีเลย์แบบนี้ทำงานโดยใช้การเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ขดลวดช่วยของตัวมอเตอร์ ขณะเริ่มทำงานหน้าสัมผัสของตัวรีเลย์จะต่อวงจรสตาร์ทให้ปิดวงจร ขณะที่มอเตอร์เริ่มหมุนและเร่งจนถึงความเร็วปกติ แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมขดลวดช่วยจะเพิ่มมากขึ้นตาม ดังนั้นสตาร์ทรีเลย์ซึ่งต่อคร่อมขนานกับขดลวดช่วยจะถูกกระตุ้นให้เกิดแรงแม่เหล็กไฟฟ้าดูดให้หน้าสัมผัสของตัวรีเลย์แยกออกจากกัน ทำให้วงจรสตาร์ทเปิดวงจรออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้







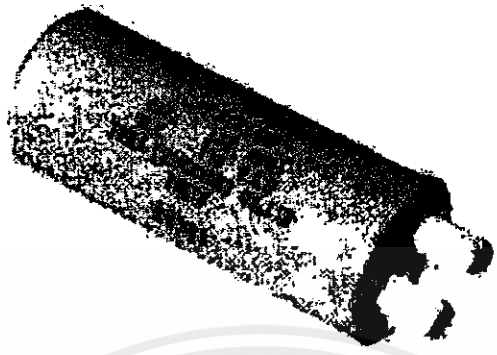
Wiring diagram

รูปที่ 3.42 สตาร์ทรีเลย์

2. สตาร์ทคาปาซิเตอร์

อุปกรณ์นี้ใช้สำหรับต่อเข้ากับวงจรสตาร์ทและถูกต่อให้ทำงานโดยสตาร์ทรีเลย์ในขณะที่มอเตอร์เริ่มสตาร์ทเท่านั้น โดยทั่วไปตัวคาปาซิเตอร์นี้จะมีขนาดใหญ่เมื่อเปรียบเทียบกับค่าของรันคาปาซิเตอร์แต่เนื่องจากสตาร์ทคาปาซิเตอร์ชนิดนี้เป็นแบบที่เรียกว่าอิเล็กโตรไลท์ซึ่งมีขนาดเล็กเมื่อเปรียบเทียบกับค่าการเก็บประจุ จึงไม่สามารถทนต่อการทำงานอย่างต่อเนื่องได้นาน ๆ คาปาซิเตอร์แบบอิเลคโตรไลท์นี้ประกอบด้วยแผ่นอลูมิเนียมบาง ๆ และมีความบริสุทธิ์สูง เป็นขั้วไฟฟ้าและมีแผ่นอลูมิเนียมออกไซด์ทำหน้าที่เป็นฉนวนไฟฟ้ากั้นระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสองขั้วของตัวคาปาซิเตอร์แผ่นอลูมิเนียมและอลูมิเนียมออกไซด์นี้จะพันกั้นรอบ ๆ เป็นรูปทรงกระบอกบรรจุในตัวถัง แล้วเติมด้วยสารอิเลคโตรไลท์ เมื่อเกิดภาวะฉุกเฉินจะมีลิ้นที่ส่งกลิ่นและควัน

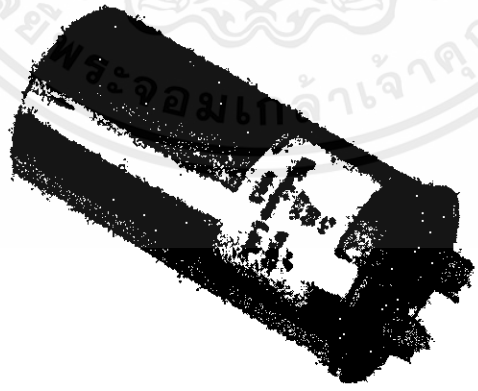
ออกมา ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยจากการลุกติดไฟควรติดตั้งไว้ในตัวถังที่เป็นเหล็ก โดยมีระยะห่างที่ขั้วไฟฟ้าอย่างน้อย 1 เซนติเมตร



รูปที่ 3.43 สตาร์ทคาปาซิเตอร์

3. รันคาปาซิเตอร์

รันคาปาซิเตอร์ใช้ต่อออนุกรมเข้ากับขดลวดช่วยของมอเตอร์ที่ใช้ไฟฟ้า 1 เฟส ทั้งแบบ CSR และ PSC เพื่อปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์และประสิทธิภาพ ตัวคาปาซิเตอร์นี้เป็นแบบที่สามารถทนต่อการทำงานได้ตลอดเวลา ทนต่อแรงดันไฟฟ้า ดังนั้นตัวคาปาซิเตอร์ที่ใช้จึงต้องเป็นแบบ MF ซึ่งเป็นแบบที่สามารถซ่อมตัวเองได้เมื่อเกิดการรั่วของประจุไฟฟ้าขึ้น ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยควรติดตั้งไว้ในตัวถังเหล็กโดยมีระยะห่างที่ขั้วอย่างน้อย 1 เซนติเมตร คาปาซิเตอร์แบบ MF ทำจากฟิล์มพลาสติกซึ่งเคลือบด้วยไอระเหยของโลหะสังกะสี (Metallic Vaporized Zinc Film)



รูปที่ 3.44 รันคาปาซิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ตัวต้านทานบรีดเดอร์

ตัวต้านทานบรีดเดอร์ใช้สำหรับเพิ่มประสิทธิภาพและเพิ่มความเชื่อมั่นของวงจร CSR ให้มากขึ้น กล่าวคือเมื่อภาระไฟฟ้าที่จ่ายเก็บไว้ที่ตัวสตาร์ทคาปาซิเตอร์ได้มีการคายประจุออกมาใน

ทันทีทันใดเพียงครั้งเดียว เมื่อหน้าสัมผัสของสตาร์ทรีเลย์ปิดวงจรจะทำให้เกิดความเสียหายที่หน้าสัมผัสถึงกับละลายเชื่อมติดกันได้ ทำให้การทำงานของวงจรสตาร์ทของเครื่องอัดผิดพลาดไป เพื่อป้องกันเหตุดังกล่าวจึงต้องติดตั้งตัวต้านทานบรีดเดอร์นี้ขนานกับขั้วของสตาร์ทคาปาซิเตอร์เพื่อคายประจุในตัวสตาร์ทคาปาซิเตอร์โดยอัตโนมัติในระหว่างที่เครื่องอัดทำงาน

รูปที่ 3.45 ตัวต้านทานบรีดเดอร์

การออกแบบระบบการทำงานของเครื่องอัดจะต้องสามารถป้องกันสภาวะต่าง ๆ เหล่านี้ได้ คือการทำงานที่สภาวะผิดปกติ ภาระเกิน แรงดันไฟฟ้าผิดปกติ หรือภาวะผิดปกติอื่น ๆ ซึ่งเครื่องอัดควรมีอุปกรณ์ไฟฟ้าที่สามารถตรวจจับได้ ดังเช่นตรวจจับกระแสไฟฟ้าเกิน ตัวตรวจจับอุณหภูมิเกินได้รวดเร็ว รวมถึงสามารถตัดวงจรไฟฟ้าเพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้นได้รวดเร็วเช่นกัน สำหรับเครื่องอัดที่ใช้กับระบบ 3 เฟส จะต้องมีตัวตรวจสอบการลำดับเฟสไฟฟ้าที่ถูกต้องก่อนการทำงานเพื่อป้องกันความเสียหายจากการหมุนกลับทางของตัวมอเตอร์ ซึ่งอุปกรณ์ไฟฟ้าสำหรับป้องกันโดยทั่วไปมีดังนี้

อุปกรณ์ไฟฟ้าสำหรับป้องกัน

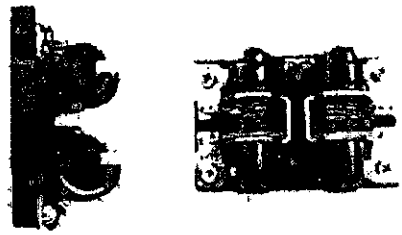
5. ตัวป้องกันกระแสเกิน (OCR)

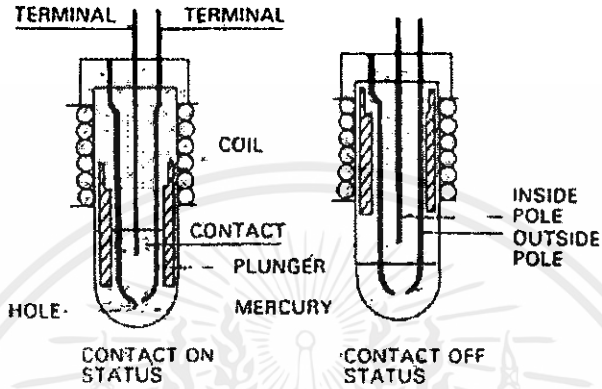
ตัวป้องกันกระแสเกินทำงานโดยใช้แรงสนามแม่เหล็กไฟฟ้าตัดต่อวงจรเมื่อกระแสไฟฟ้าเกินค่าที่กำหนดไว้สำหรับการทำงานที่ปกติ ซึ่งมีโครงสร้างดังนี้

OCR ชนิดบรรจุปรอท

ตามปกติตัวรีเลย์ของ OCR จะไม่ทำงาน โดยจะมีลูกสูบที่จมอยู่ภายในปรอททำให้ระดับปรอทสูงขึ้นพอที่ขั้วไฟฟ้าทั้ง 2 ขั้ว จมอยู่ในปรอท และขั้วทั้งสองสามารถต่อถึงกันโดยผ่านปรอทได้ ซึ่งเป็นสภาวะปิดวงจรเมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดที่พันอยู่รอบ ๆ แกนเกินค่าที่กำหนดไว้ทำให้มีแรงดูดมากพอที่จะดึงลูกสูบขึ้นไปได้ ระดับของปรอทจึงต่ำลงมาทำให้ขั้วทั้ง 2 ไม่จมอยู่ในปรอท ซึ่งเป็นสภาวะเปิดวงจร เมื่อนำตัวป้องกันกระแสไฟฟ้านี้ไปใช้ โดยต่อเข้ากับวงจรควบคุมที่ใช้การรีเซตโดยมือ ซึ่งจำเป็นต้องใช้วงจร Self - Holding เพิ่มเติม การติดตั้งจะต้องติดตั้งในทิศทางที่ถูกต้องเพื่อไม่ให้การทำงานที่ผิดพลาด ตัว OCR นี้ประกอบด้วยสารปรอท ดังนั้นควรระวังเรื่องการเคลื่อนย้ายและการจัดเก็บต้องไม่ให้เกิดการแตกหัก

เอกสารนี้ ... ไม่ว่ากรณีใดๆ ... ไม่ให้ใช้ ... ไม่ให้ใช้





รูปที่ 3.46 OCR ชนิดบรรจุปรอท

6. ตัวป้องกันมอเตอร์แบบติดตั้งอยู่ภายใน

ตัวป้องกันแบบนี้จะถูกติดตั้งไว้ที่ขดลวดมอเตอร์ภายในเครื่องอัด เพื่อตรวจสอบอุณหภูมิและกระแสของมอเตอร์ ในกรณี Lock Rotor พร้อม ๆ กัน โดยใช้ Bi-Metal เป็นตัวตัดต่อวงจร ตัวป้องกันชนิดนี้ปกติใช้กับเครื่องอัดที่มีระบบไฟฟ้าแบบ 1 เฟสเป็นส่วนใหญ่ โดยต่อเข้ากับสายร่วม "C" ซึ่งมีกระแสรวมไหลผ่านและตัวป้องกันนี้รีเซทตัวเองได้โดยอัตโนมัติเมื่ออุณหภูมิลดลง ดังนั้นการที่จะตรวจสอบค่าความต้านทานของขดลวดขณะเกิดปัญหาขึ้นควรตรวจสอบหลังจากที่เครื่องอัดมีอุณหภูมิลดต่ำลงและตัวป้องกันต่อวงจรปกติแล้ว

รูปที่ 3.47 ตัวป้องกันมอเตอร์แบบติดตั้งอยู่ภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ตัวป้องกันอุณหภูมิเกินชนิดติดตั้งภายนอก

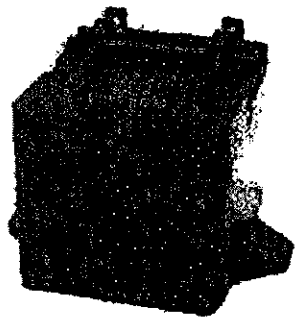
ตัวป้องกันชนิดนี้ติดตั้งไว้ที่ผิวของเครื่องอัดเพื่อตรวจสอบอุณหภูมิและกระแสไฟฟ้าโดยมี Bi-Metal เป็นตัวตัดต่อวงจร ซึ่งตัวป้องกันชนิดนี้มีการตรวจสอบกระแสไฟฟ้าร่วมอยู่ด้วยเพื่อป้องกันมอเตอร์ไหม้ โดยทั่วไปแล้วตัวป้องกันชนิดนี้เป็นแบบรีเซทเองโดยอัตโนมัติ ตัวตัดต่ออุณหภูมิเป็นแบบติดตั้งไว้ภายนอกเพื่อใช้สำหรับการตรวจจับอุณหภูมิที่เกินเท่านั้นโดยติดตั้งไว้ที่ผิวด้านบนของเครื่องอัด

รูปที่ 3.48 ตัวป้องกันอุณหภูมิเกินชนิดติดตั้งภายนอก

8. ตัวป้องกันการต่อแบบสลับเฟส

เครื่องอัดจะถูกออกแบบสำหรับการทำงานด้วยการหมุนทิศทางเดียวเท่านั้น ดังนั้นจึงต้องมีตัวป้องกันสำหรับการต่อสลับเฟส เพื่อป้องกันมอเตอร์เครื่องอัดหมุนกลับทิศทาง เนื่องจากการต่อสายไฟผิดของไฟฟ้า 3 เฟส ตัวป้องกันไฟฟ้าสลับเฟสนี้ ตรวจสอบการต่อลำดับเฟสว่าถูกต้องหรือไม่โดยสามารถตรวจสอบการต่อสายไฟระหว่างตัวป้องกันนี้ไปยังแหล่งจ่ายไฟได้เท่านั้น แต่ไม่สามารถตรวจสอบการต่อสายไฟระหว่างตัวป้องกันนี้ไปยังเครื่องอัดได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องระมัดระวังการต่อสายไฟในช่วงนี้ได้ถูกต้อง สำหรับกระแสไฟฟ้า 3 เฟสแรงดันไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงมุมเฟสที่ต่างกัน 120 องศา ในแต่ละเฟสซึ่งเรียกว่าการหมุนของเฟส การหมุนของมอเตอร์แบบ 3 เฟส จะหมุนไปตามทิศทางการหมุนของเฟสแรงดันไฟฟ้า ดังนั้นตัวป้องกันการต่อสลับเฟสนี้ประกอบไปด้วยวงจรที่ตรวจสอบการหมุนของเฟส โดยจะต่อวงจรเมื่อการต่อวงจรถูกต้องเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตามความผิดพลาดของการทำงานของตัวป้องกันนี้จะเกิดขึ้นได้เมื่อแรงดันไฟฟ้าเกิน ± 10 % ของแรงดันที่กำหนดไว้หรือแรงดันในแต่ละเฟสไม่สมดุลกันเกิน 5 % ซึ่งเป็นสภาวะที่ไม่เหมาะสมกับการทำงานของมอเตอร์เครื่องอัด สำหรับกรณีที่มีการต่อสลับเฟสอาจเกิดการทำงานชั่วขณะหนึ่งเป็นระยะเวลาที่สั้นมาก ๆ ในขณะเริ่มเปิดเครื่องแต่เหตุการณ์นี้เป็นเหตุการณ์ปกติของคุณสมบัติของวงจรไฟฟ้าซึ่งไม่ได้เป็นการทำงานที่ผิดพลาดของตัวป้องกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.49 ตัวป้องกันการต่อแบบสลับเฟส

3.16.9 ยางรองเครื่องอัด

ยางรองมีหน้าที่หลัก 2 หน้าที่คือ หน้าที่แรกลดการสั่นสะเทือนที่เกิดจากการทำงานของตัวเครื่องอัดที่ส่งไปยังตัวถังและอุปกรณ์อื่น ๆ สำหรับหน้าที่ที่สองคือลดและป้องกันการกระแทกระหว่างการขนส่งไม่ให้ส่งผลไปยังตัวเครื่องอัด อย่างไรก็ตามต้องอาศัยการบรรจุที่ดีที่สามารถลดการกระแทกระหว่างการเคลื่อนย้ายด้วย ส่วนอีกกรณีหนึ่งคือสามารถลดการโคลงของเครื่องอัดได้โดยการยึดยางรองด้านบนเครื่องอัดเพื่อเป็นการจำกัดไม่ให้เครื่องอัดเคลื่อนไปมาก ๆ ได้ ทั้งยังเป็นผลให้ท่อต่าง ๆ ไม่ได้รับความเสียหายจากการได้รับการกระแทก หรือการเคลื่อนที่ไปมาของเครื่องอัดในระหว่างการขนส่ง หรือการสตาร์ทและหยุดการทำงานของเครื่องอัด

3.17 สารทำความเย็น

สารทำความเย็นที่ใช้ในเครื่องอัด ต้องเป็นชนิดเดียวกันที่กำหนดไว้ที่ตัวเครื่องอัด ซึ่งทางบริษัทที่ผลิตเครื่องอัดได้กำหนดไว้แล้ว งานวิจัยนี้ใช้สารทำความเย็น R-12 เป็นสารทำความเย็นที่ใช้ในการทดลองเนื่องจากเป็นสารที่มีความปลอดภัย ไม่ติดไฟและไม่จุดระเบิด นอกจากนี้ยังคงสภาพได้ดีไม่เสียหายแม้ว่าจะอยู่ในสภาวะงานหนัก แต่อย่างไรก็ตามถ้า R-12 สัมผัสกับเปลวไฟหรือได้รับความร้อนจากอุปกรณ์ไฟฟ้าก็อาจกลายเป็นสารพิษได้ R-12 ควบแน่นที่ความดันปานกลาง มีจุดเดือดต่ำสามารถใช้ได้ทั้งระบบที่มีอุณหภูมิสูงปานกลางและต่ำ R-12 สามารถรวมตัวกับน้ำมันหล่อลื่นได้โดยที่ไม่ทำให้ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของเครื่องควบแน่น และเครื่องระเหยลดลง

3.18 น้ำมันหล่อลื่น

น้ำมันหล่อลื่นในเครื่องอัดมีหน้าที่หลักคือการหล่อลื่นชิ้นส่วนต่าง ๆ และลดความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเสียดสี นอกจากนี้แล้วจะต้องมีคุณสมบัติอื่น ๆ ดังต่อไปนี้

1. ต้องมีคุณสมบัติที่สามารถรวมตัวกับสารทำความเย็นได้ดี หล่อลื่นได้ดี มีคุณสมบัติสมดุลทางเคมีทั้งในอุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ต้องมีคุณสมบัติที่ไม่ทำลายมอเตอร์ ฉนวนของขดลวดมอเตอร์ ยาง ปะเก็น ไนล่อน และสารอินทรีย์

3. ต้องมีคุณสมบัติที่ทนต่อความร้อนและไม่ก่อให้เกิดคาร์บอนหรือขี้โล้ที่ชิ้นส่วนวาล์ว ปริมาณน้ำมันที่อยู่ภายในเครื่องอัดได้มีการเติมเผื่อไว้มากกว่าที่ใช้งานปกติเนื่องจากปกติขณะทำงานจะมีน้ำมันบางส่วนไหลปนกับสารทำความเย็นออกจากเครื่องอัดไปยังอุปกรณ์อื่น ๆ

ปริมาณน้ำมันที่เติมในเครื่องอัดสำหรับการทำงานควรคำนึงถึงสิ่งต่อไปดังนี้

1. ปริมาณน้ำมันต้องมีระดับความสูงถึงทางดูดของปั๊มจ่ายน้ำมันและมีปริมาณเพียงพอสำหรับการหล่อลื่นชิ้นส่วนเคลื่อนที่ต่าง ๆ

2. น้ำมันที่ออกจากเครื่องอัดเข้าสู่อุปกรณ์ต่าง ๆ เช่นเครื่องระเหย เครื่องควบแน่น และท่อระบบเป็นต้น เนื่องจากน้ำมันกับสารทำความเย็นมีความสามารถในการรวบตัวได้ดีมาก ดังนั้นขณะที่เครื่องอัดทำงานในสภาวะที่ปกติจะมีน้ำมันปะปนอยู่ประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ หรือน้อยกว่าโดยน้ำหนัก หากระบบประกอบด้วย Accumulator จะต้องคำนึงถึงปริมาณน้ำมันที่สะสมใน Accumulator เพิ่มด้วย

3. เมื่อเครื่องอัดหยุดการทำงานเป็นเวลานานจะมีปริมาณสารทำความเย็นเหลวจำนวนมากปนอยู่ในน้ำมัน เมื่อเครื่องอัดสตาร์ทใหม่อีกครั้งหนึ่งเกิดสภาวะที่น้ำมันเป็นฟองจำนวนมากกว่า ดังนั้นต้องเผื่อน้ำมันไว้สำหรับสภาวะเช่นนี้ เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาน้ำมันหล่อลื่นไม่พอ

อย่างไรก็ตามหากมีการออกแบบระบบทำความเย็นมาอย่างสมบูรณ์ถูกต้องแล้ว น้ำมันก็จะสามารถไหลกลับเข้าสู่เครื่องอัดได้เนื่องจากการเกิดเป็นฟองนี้จะหมดหลังจากน้ำมันรวมตัวกันแล้วและไม่เป็นฟอง แต่ถ้าหากการออกแบบระบบไม่ถูกต้องน้ำมันจะเกิดการสะสมที่ด้านความดันต่ำหรือท่อระบบที่มีขนาดใหญ่เกินไปซึ่งเป็นผลให้ความเร็วการไหลของสารทำความเย็นต่ำจะก่อให้เกิดฟองภายหลัง ขบวนการในการเติมน้ำมันจากโรงงานน้ำมันจะถูกดึงความชื้นออกโดยสมบูรณ์ด้วยเครื่องทำความสะอาดน้ำมันก่อนการเติมเข้าเครื่องอัดทุกครั้ง ดังนั้นในการติดตั้งหรือประกอบระบบใหม่จึงไม่ควรเติมน้ำมันได ๆ เพิ่มเติมในเครื่องอัดอีก

3.19 อุณหภูมิของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อเครื่องอัด

อุณหภูมิสารทำความเย็นในอุปกรณ์ของระบบเครื่องทำความเย็นขณะทำงานจะต้องอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามบริษัทผู้ผลิตที่ได้ออกแบบและทำการทดสอบ หากอุณหภูมิของสารทำความเย็นเกินขอบเขตที่กำหนดหรือคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตก็อาจจะก่อให้เกิดความเสียหายหรืออายุการใช้งานของเครื่องอัดลดลงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.19.1 อุณหภูมิของเครื่องควบแน่น

ตามการทำงานปกติ อุณหภูมิเครื่องควบแน่นควรต่ำกว่า 65 C (370 Psig สำหรับ R-22) , (410 Psig สำหรับ R407C) ,(602 psig สำหรับ R410A) [11] แต่อย่างไรก็ตามควรตรวจสอบ

รายละเอียดข้อจำกัดของอุณหภูมิเครื่องควบแน่นของแต่ละรุ่นก่อน ในกรณีที่มีอากาศปนเข้าไปในระบบ, เติมน้ำยาทำความเย็นเกิน, ขนาดความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของเครื่องควบแน่นไม่เพียงพอ เนื่องจากขนาดเล็กเกินไปหรือการระบายความร้อนไม่เพียงพอ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมสูงผิดปกติ หรืออุณหภูมิน้ำหล่อเย็นสูงผิดปกติ เงื่อนไขต่าง ๆ เหล่านี้ล้วนทำให้อุณหภูมิของเครื่องอัดสูงอย่างผิดปกติ ดังนั้นควรพิจารณาสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้ในการแก้ปัญหาตามสาเหตุที่เกิดขึ้น เมื่อความดันของเครื่องควบแน่นสูงมากเกินไปจะก่อให้เกิดปัญหาต่าง ๆ เหล่านี้

1. วาล์วของเครื่องอัดแตกเสียหายและชิ้นส่วนแบริ่งสึกเสียหายหรือร้อนจัด

2. อุณหภูมิก๊าซทางด้านอัด อุณหภูมิมอเตอร์ อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นสูงผิดปกติ ทำให้อายุของเครื่องอัดลดลง

3. อุปกรณ์ป้องกันทำงานตลอดเวลา ซึ่งส่งผลให้ระบบไม่สามารถทำงานอย่างสม่ำเสมอ

4. ทำให้ความดันด้านอัดสูง ประสิทธิภาพของระบบต่ำ อายุการใช้งานสั้น

3.19.2 อุณหภูมิของเครื่องระเหย

ควรควบคุมอุณหภูมิของเครื่องระเหยให้เหมาะสมกับงานที่นำไปใช้โดยต้องให้อยู่ในช่วงที่ผู้ผลิตเครื่องอัดได้กำหนดไว้และตรวจสอบข้อกำหนดต่าง ๆ ที่มีผลต่ออุณหภูมิของเครื่องระเหยให้อยู่ในช่วงที่กำหนดไว้ และถึงแม้ว่าอุณหภูมิของเครื่องระเหยจะอยู่ในช่วงที่กำหนด แต่อุณหภูมิก๊าซด้านอัด และอุณหภูมิของเครื่องอัดอาจเกินค่าที่กำหนดไว้ได้ ดังนั้นควรตรวจสอบสภาวะของทั้งระบบให้อยู่ในช่วงที่กำหนด ซึ่งอุณหภูมิเครื่องระเหยมีผลต่อระบบดังนี้ คือ

1. ถ้าหากอุณหภูมิเครื่องระเหยต่ำเกินไปทำให้ อัตราส่วนการอัดสูง อุณหภูมิสารทำความเย็น อุณหภูมิของขดลวดมอเตอร์ และอุณหภูมิของน้ำมันจะสูง ทำให้อายุการใช้งานของเครื่องอัดต่ำและทำให้อุปกรณ์แบริ่งสึกหรอ ปริมาณการไหลของสารทำความเย็นต่ำทำให้น้ำมันไม่สามารถไหลกลับได้เพียงพอ เป็นผลให้อุปกรณ์แบริ่งเสียหายเนื่องจากการหล่อลื่นไม่เพียงพอ

2. เมื่ออุณหภูมิเครื่องระเหยสูงเกินไป ส่งผลให้เครื่องอัดมีภาระสูงตัวป้องกันกระแสเกินทำงานตัดวงจรบ่อย ทำให้เครื่องอัดมีอายุการใช้งานต่ำเนื่องจากเครื่องอัดทำงานหนักและชิ้นส่วนแตกเสียหาย การสตาร์ทตัวยากและเกิดปัญหาอื่นอีกมากมาย

3.19.3 อัตราส่วนการอัด

อัตราส่วนการอัดของเครื่องอัดที่ใช้งานในสภาวะปกติอยู่ที่ประมาณ 6-8 [11] อัตราส่วนการอัดที่สูงเกินไปส่งผลให้ อุณหภูมิของสารทำความเย็น, อุณหภูมิมอเตอร์ และอุณหภูมิของน้ำมันจะสูงทำให้เครื่องอัดมีอายุการใช้งานลดลงและอุปกรณ์แบริ่งเสียหาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ห้ามนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.19.4 อุณหภูมิของเครื่องอัด

การควบคุมอุณหภูมิของเครื่องอัดเป็นสิ่งที่ต้องระมัดระวังเป็นพิเศษเนื่องจากเมื่ออุณหภูมิเครื่องอัดสูงขึ้นทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบต่ำ สารทำความเย็น, น้ำมันหล่อลื่น และอุปกรณ์ฉนวนของมอเตอร์เสื่อมสภาพลง หากเติมสารทำความเย็นมากเกินไปก็จะส่งผลให้สารทำความเย็นเหลวไหลกลับเข้าเครื่องอัด ซึ่งสามารถตรวจสอบได้โดยสังเกตอุณหภูมิของเครื่องอัดจะต่ำผิดปกติ เมื่ออุณหภูมิเครื่องอัดมีการเปลี่ยนแปลงไม่ว่าเกิดจากการไม่ระบายความร้อน, อุณหภูมิโดยรอบและอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ เช่นเดียวกับอุณหภูมิด้านดูดของเครื่องอัดที่สูงขึ้น จึงควรตรวจสอบอุณหภูมิต่าง ๆ ให้ได้ตามข้อกำหนดของบริษัทผู้ผลิต อุณหภูมิของเครื่องอัดมีผลมาจากสิ่งต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. อุณหภูมิด้านอัด เพื่อให้ระบบมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ควรให้อุณหภูมิก๊าซทางด้านดูดของเครื่องอัดต่ำสุดเท่าที่ทำได้ และอุณหภูมิด้านอัดต่ำโดยที่ไม่ให้เกิดสารทำความเย็นเหลวเข้าเครื่องอัดและไม่มีการอัดของเหลวเกิดขึ้น ขีดจำกัดของอุณหภูมิด้านอัดของเครื่องอัดโดยทั่วไปไม่ควรเกิน 120 °C และเพื่อป้องกันสารทำความเย็นเหลวไหลกลับเข้าเครื่องอัด อุณหภูมิของสารทำความเย็นของเครื่องอัดไม่ควรต่ำกว่าอุณหภูมิต่ำสุดที่กำหนดไว้จากบริษัทผู้ผลิตเช่นกัน อุณหภูมิอุณหภูมิก๊าซด้านอัดควรวัดด้วยเทอร์โมคัปเปิลที่ผิวท่อด้านอัดโดยควรห่างจากเครื่องอัดประมาณ 12 เซนติเมตร และหุ้มด้วยฉนวนความร้อน อุณหภูมิด้านอัดที่สูงเกินไปส่งผลให้ สารทำความเย็นและฉนวนไฟฟ้าของมอเตอร์เสื่อมสภาพลง และน้ำมันแปรสภาพเป็นขี้โล้ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อชิ้นส่วนวาล์วและเกิดการอุดตันที่วาล์วขยายและตัวกรองได้ ทำให้มอเตอร์ไหม้เนื่องจากอุณหภูมิสะสมสูง ทำให้ชิ้นส่วนเคลื่อนที่ต่าง ๆ สึกหรอหรือติดขัด เนื่องจากน้ำมันหล่อลื่นมีอุณหภูมิสูง เมื่ออุณหภูมิด้านอัดต่ำเกินไป ส่งผลทำให้สารทำความเย็นเหลวเข้าเครื่องอัดและเกิดการอัดสารทำความเย็นเหลวซึ่งจะส่งผลให้ชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่และวาล์วเสียหาย

2. อุณหภูมิก๊าซด้านดูด มีผลกระทบต่อชิ้นส่วนของเครื่องอัดเป็นอย่างมาก และยังส่งผลต่อความสามารถในการทำความเย็นและอายุการทำงานด้วย ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมอุณหภูมิด้านดูดอย่างเพียงพอ การออกแบบระบบต้องให้มีการควบคุมอุณหภูมิด้านดูดเพื่อไม่ให้เกิดสารทำความเย็นเหลวไหลกลับเข้าเครื่องอัดได้ โดยสารทำความเย็นจะต้องมีสถานะเป็นไอร้อนยิ่งยวดมากกว่า 0 องศาเซลเซียส สำหรับค่าต่ำสุด สำหรับค่าต่ำสุดหรือสูงสุดนั้นถูกกำหนดโดยอุณหภูมิทางด้านอัด การปรับอุณหภูมิท่อทางด้านดูดให้มีค่าไอร้อนยิ่งยวดให้พอดีนั้น อุณหภูมิที่ทางเข้าเครื่องอัดกับทางออกเครื่องระเหยนั้นควรห่างกันประมาณ 5-10 °C ถ้าหากอุณหภูมิด้านดูดสูงเกินไป จะเกิดจากขนาดเครื่องระเหยใหญ่เกินไป ขนาดวาล์วขยายมีค่าที่ทำให้เกิดความดันลดมากเกินไป ซึ่งจะส่งผลให้อัตราการไหลของสารทำความเย็นน้อย การหุ้มฉนวนที่ท่อระบบไม่ดี ตัวกรองสารทำความเย็นเกิดการอุดตัน, ระบบเกิดการรั่ว, เติมสารทำความเย็นน้อยเกินไป ถ้าหากอุณหภูมิก๊าซทางด้านดูดมีอุณหภูมิต่ำเกินไป มีผลเนื่องมาจากขนาดของเครื่องระเหยมีพื้นที่ในการระบายความร้อนไม่เพียงพอ ซึ่งทำให้สารทำความเย็นระเหยไม่หมด ทำให้สารทำความเย็นที่เหลือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไหลกลับเข้าเครื่องอัดได้ ขนาดของวาล์วขยายที่ออกแบบเกิดความดันลดน้อยจึงส่งผลให้ปริมาณสารทำความเย็นมีอัตราการไหลมากเกินไป

3. อุณหภูมิเปลือกเครื่องอัด อุณหภูมิของเครื่องอัดมีผลกระทบต่ออายุการใช้งานของเครื่องอัดเป็นอย่างมาก ดังนั้นจำเป็นต้องควบคุมให้อุณหภูมิเครื่องอัดมีค่าอยู่ในช่วงที่กำหนด ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องอัดและการออกแบบของแต่ละบริษัทผู้ผลิต อุณหภูมิเปลือกเครื่องอัดมีค่าสูงเกินไป มีผลมาจากการถ่ายเทความร้อนที่เครื่องควบแน่นไม่เพียงพอ ซึ่งอาจจะต้องพิจารณาจากพื้นที่และปริมาณลมของเครื่องควบแน่น ในกรณีที่มีอากาศหรือก๊าซอื่น ๆ ที่ไม่สามารถกลั่นตัวได้เข้าไปในระบบจะก่อให้เกิดอุณหภูมิและความดันของเครื่องอัดสูงขึ้น ซึ่งส่งผลกระทบให้อุณหภูมิเครื่องอัดสูงไปด้วย ในกรณีที่อุณหภูมิก๊าซทางด้านดูดสูงเกินไป จะทำให้การระบายความร้อนที่เครื่องอัดลดลงเนื่องจากสารทำความเย็นไม่เพียงพอส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิเครื่องอัดทำให้มีค่าสูงขึ้น เนื่องจากแรงดันไฟฟ้ามีค่านอกช่วงประมาณ ±10% ของแรงดันปกติ ซึ่งส่งผลกระทบให้มอเตอร์มีอุณหภูมิสูง สำหรับในกรณีของเครื่องอัดแบบ 3 เฟส หากมีแรงดันในแต่ละเฟสมีค่าไม่สมดุลกันทำให้อุณหภูมิมอเตอร์สูงเกินกว่าปกติ ซึ่งส่งผลให้เปลือกมอเตอร์มีอุณหภูมิสูงเกินไปด้วย อุปกรณ์วาล์ว 4 ทิศทางเกิดความเสียหายในกรณีที่เป็น Heat Pump และ Cooling ในตัวเดียวกันซึ่งส่งผลให้อุณหภูมิที่เปลือกสูงผิดปกติได้ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมสูงผิดปกติ พัดลมระบายความร้อนเสียหาย ก็ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิเปลือกเครื่องอัดทั้งสิ้น

อุณหภูมิที่เปลือกเครื่องอัดมีอุณหภูมิต่ำเกินไป เกิดจากพื้นที่การแลกเปลี่ยนความร้อนที่เครื่องระเหยน้อยเกินไปทำให้สารทำความเย็นเกิดการระเหยไม่หมดส่งผลให้สารทำความเย็นที่มีสถานะเป็นของเหลวไหลเข้าไประเหยภายในตัวเครื่องอัด ซึ่งจะส่งผลให้อุณหภูมิเครื่องอัดมีค่าต่ำ การตรวจสอบอุณหภูมิของเปลือกเครื่องอัดมีวิธีการตรวจสอบโดยการวัดอุณหภูมิก๊าซทางด้านอัดต้องมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิเปลือกเครื่องอัดประมาณ 10 องศาเซลเซียส

4. อุณหภูมิของขดลวดมอเตอร์เครื่องอัด ข้อจำกัดของอุณหภูมิขดลวดมอเตอร์เครื่องอัดขึ้นอยู่กับชนิดของฉนวนมอเตอร์ หากฉนวนมอเตอร์เป็นชนิด E สามารถทนอุณหภูมิทำงานได้ 120 องศาเซลเซียสหรือต่ำกว่า แต่ถ้าเป็นช่วงระยะเวลาสั้น ๆ สามารถทนได้ถึง 130 องศาเซลเซียส สำหรับการทดสอบระบบป้องกัน เช่นการ Lock Rotor ขีดจำกัดของอุณหภูมิจะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับเครื่องอัดแต่ละรุ่น วิธีการวัดอุณหภูมิขดลวดมอเตอร์โดยวิธีการวัดความต้านทาน เป็นวิธีที่ง่าย และได้ค่าที่ถูกต้องแม่นยำที่สุดในการวัดอุณหภูมิของมอเตอร์ที่อยู่ภายในตัวถังที่ปิดผนึกการวัดจะต้องให้เครื่องอัดอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิคงที่ก่อนการทำงานจนกระทั่งอุณหภูมิของเครื่องอัดและอุปกรณ์ภายในมีอุณหภูมิเท่ากับสภาพสิ่งแวดล้อมนั้น โดยปกติทั่วไปต้องทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง ในห้องที่มีอุณหภูมิคงที่ จากนั้นวัดอุณหภูมิของเปลือก และค่าความต้านทานของมอเตอร์ทั้งหมดและบันทึกค่าไว้เพื่อเป็นค่าเปรียบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดค่าความต้านทานของมอเตอร์ควรใช้บริดจ์โอห์มมิเตอร์สำหรับการวัดโดยวัดที่ขั้วไฟฟ้าด้านบนเครื่องอัด การคำนวณหาอุณหภูมิของขดลวดคำนวณด้วยสมการ (21) โดยใช้ค่าความต้านทานก่อนการทำงาน และหลังการทำงาน ดังสมการต่อไปนี้ [11]

$$T_2 = \frac{R_2}{R_1}(234.5 + T_1) - 234.5 \qquad (3.20)$$

5. อุณหภูมิโดยรอบเครื่องอัด ควรให้เครื่องอัดทำงานในสภาวะแวดล้อมอุณหภูมิต่ำกว่า 46°C เครื่องอัดอาจมีอุณหภูมิที่สูงผิดปกติได้แม้ว่าอุณหภูมิโดยรอบมีค่าต่ำถ้าหากเครื่องอัดถูกปิดกั้นอย่างมิดชิดไม่สามารถแผ่ความร้อนออกได้เพียงพอ ดังนั้นควรตรวจสอบและรักษาอุณหภูมิของเครื่องอัดและมอเตอร์ให้ต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้

6. การป้องกันมอเตอร์เครื่องอัด ในกรณีที่เกิดสภาวะผิดปกติหรือเกิดสภาวะการทำงานที่เกินขอบเขตที่กำหนด ในขณะที่ทำงานหรือขณะสตาร์ทจะต้องตัดแหล่งจ่ายไฟ โดยตัวป้องกันมอเตอร์แม้ว่าเครื่องอัดจะมีตัวป้องกันอยู่แล้วก็ตาม เพราะบางสภาวะของระบบที่เกิดสิ่งผิดปกติก็ไม่สามารถที่จะป้องกันมอเตอร์ได้

3.20 ข้อจำกัดการเติมสารทำความเย็นสำหรับเครื่องอัด

ปริมาณสารทำความเย็นสำหรับเครื่องอัดได้ถูกกำหนดไว้ตามข้อกำหนดของบริษัทผู้ผลิต ข้อควรระมัดระวังในการเติมสารทำความเย็นนั้นควรให้มีปริมาณน้อยที่สุดเท่าที่ทำได้เพื่อป้องกันไม่ให้สารทำความเย็นเหลวไหลกลับเข้าเครื่องอัด เพราะเป็นสาเหตุของความเสียหายที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนวาล์วและชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่เนื่องจากการอัดของเหลวได้ การลดปริมาณสารทำความเย็นให้น้อยลงทำให้เกิดความเชื่อมั่นในการทำงานของเครื่องอัด และยังปรับปรุงประสิทธิภาพการปิดเปิดการทำงานของเครื่องอัดด้วย แต่ต้องไม่เติมสารทำความเย็นน้อยจนกระทบต่อความสามารถในการทำความเย็นของระบบได้

3.21 การป้องกันสารทำความเย็นเหลวเข้าเครื่องอัด

ควรมีการติดตั้งตาแมวมองดูการไหลของสารทำความเย็นที่ท่อด้านดูดเพื่อสังเกตการไหลของสารทำความเย็นถ้าสังเกตเห็นว่าน้ำยาวิ่งเป็นสายสีขาวอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งเป็นการแสดงถึงการไหลของสารทำความเย็นเหลวเข้าเครื่องอัดซึ่งมีผลกระทบต่อสิ่งต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.21.1 เครื่องอัดเกิดการอัดสารทำความเย็นเหลว

เครื่องอัดเกิดการอัดสารทำความเย็นเหลว เป็นเหตุให้ชิ้นส่วนวาล์วและปะเก็นเสียหาย ทำให้ประสิทธิภาพการอัดลดลง นอกจากนี้อาจทำให้แบริ่งเสียหายและเครื่องอัดเกิดการ Lock ได้

3.21.2 อัตราการไหลของสารทำความเย็นในระบบมากขึ้น

อัตราการไหลของสารทำความเย็นในระบบมากขึ้นทำให้ปริมาณน้ำมันสำหรับการหล่อลื่นเครื่องอัดลดลงเนื่องจากน้ำมันลื่นบางส่วนผสมรวมตัวไปกับสารทำความเย็น

3.21.3 ปริมาณน้ำมันหล่อลื่นเจือจางลง

ปริมาณน้ำมันหล่อลื่นเจือจางลงเนื่องจากมีสารทำความเย็นเหลวเข้าไปผสม ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพการหล่อลื่นลดลง ชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่เกิดการสึกหรอเสียหายหรืออาจทำให้เครื่องอัดเกิดการ Lock ได้

3.21.4 เครื่องอัดมีเสียงดังและสั่นผิดปกติ

เครื่องอัดทำงานหนักขึ้นส่งผลให้เกิดเสียงดังและเกิดอาการสั่น อีกทั้งเพื่อป้องกันการเกิดสารทำความเย็นเหลวเข้าไปในเครื่องอัด จึงต้องควบคุมการเติมสารทำความเย็นไม่ให้มากเกินไป นอกจากนี้อาจจะต้องเพิ่มเติมขนาดของ Accumulator ที่เหมาะสมไว้โดยติดตั้งที่ท่อทางด้านดูดของระบบในกรณีที่เติมสารทำความเย็นปริมาณมากกว่าที่กำหนด

3.22 การป้องกันไม่ให้เกิดการรวมตัวของน้ำมันกับสารทำความเย็นเหลว

เมื่อเครื่องอัดหยุดการทำงานเป็นเวลานานอาจมีสารทำความเย็นเหลวเข้ามารวมตัวกับน้ำมันที่อยู่ภายในตัวเครื่องอัดหากมีการสตาร์ทเครื่องอัดให้ทำงานใหม่อีกครั้งหนึ่งจะทำให้เกิดสภาวะที่มีผลเสียหายดังต่อไปนี้

3.22.1 เกิดการอัดตัวของของเหลวขึ้น

โดยที่เครื่องอัดจะอัดสารทำความเย็นเหลวที่รวมตัวกับน้ำมัน ทำให้ชิ้นส่วนวาล์วและชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่เสียหายได้

3.22.2 น้ำมันถูกพาออกไปจากเครื่องอัด

เมื่อเครื่องอัดทำงาน น้ำมันส่วนหนึ่งถูกพาออกไปจากเครื่องอัดพร้อมกับสารทำความเย็นเป็นจำนวนมากทำให้ประสิทธิภาพในการหล่อลื่นลดลง ชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่สึกหรอเสียหาย และชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่อาจจะ Lockได้

3.22.3 น้ำมันที่ดูดและจ่ายไปยังชิ้นส่วนต่าง ๆ น้อยลง

เนื่องจากน้ำมันหล่อลื่นมีปริมาณสารทำความเย็นเหลวปนอยู่จำนวนมากที่อุณหภูมิต่ำ ๆ น้ำมันกับสารทำความเย็นจะแยกออกไปเป็นชั้น ๆ ทำให้ชิ้นส่วนแบริ่งต่าง ๆ ขัดและ Lock ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.22.4 การอัดของเหลวทำให้เกิดการสั่นและเสียงดังมากขึ้น

เครื่องอัดบางยี่ห้อในท้องตลาดปัจจุบันได้มีการออกแบบให้มีความสามารถในการอัดของเหลวได้ปริมาณหนึ่ง ขณะสภาวะทำงานปกติได้ แต่ถ้าหากมีการอัดสารทำความเย็นเหลว

จำนวนมากก่อให้เกิดผลเสียต่าง ๆ ดังข้างต้น ดังนั้นจึงควรป้องกันไว้โดย เติมสารทำความเย็นปริมาณที่เหมาะสม ติดตั้ง Accumulator เพิ่มเติมเข้ากับระบบ ใส่ Crankcase Heater รอบเครื่องอัด เป็นต้น

3.22.5 ลักษณะเหตุการณ์อัดสารทำความเย็นเหลวของเครื่องอัด

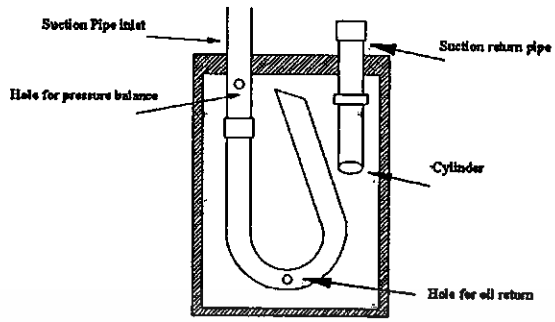
ถ้าหากมีการเติมสารทำความเย็นเหลวมากเกินให้กับระบบสำหรับเครื่องอัดที่มีความสามารถป้องกันความเสียหายจากการอัดสารทำความเย็นเหลวได้จะเกิดเหตุการณ์ดังต่อไปนี้

รูปที่ 3.50 ลักษณะเหตุการณ์อัดสารทำความเย็นเหลวของเครื่องอัด

3.23 Accumulator

Accumulator จะถูกติดตั้งไว้ที่ท่อทางดูดของระบบเพื่อป้องกันสารทำความเย็นเหลวที่เกินจากเครื่องระเหยเข้าไปทำอันตรายแก่เครื่องอัด Accumulator เป็นตัวสะสมสารทำความเย็นเหลวไว้ในถังพักชั่วคราว และให้เฉพาะสารทำความเย็นที่มีสถานะที่เป็นก๊าซเท่านั้นที่ไหลเข้าเครื่องอัด ดังนั้นถังพักต้องมีขนาดใหญ่เพียงพอที่จะควบคุมไม่ให้สารทำความเย็นเหลวไหลเข้าเครื่องอัดโดยทั่วไปขนาดของ Accumulator จะต้องมีขนาดใหญ่เท่ากับ 80 % หรือมากกว่าโดยเปรียบเทียบกับปริมาตรสารทำความ เย็นที่ต้องใช้ในระบบ กรณีทำความร้อน (Heat Pump) หรือ

ระบบทำความเย็นที่ต้องเติมสารทำความเย็นเป็นปริมาณมาก ๆ สำหรับการ ติดตั้ง Accumulator ควรตรวจสอบมาตรฐานที่กำหนดไว้ สำหรับ ตัวอย่าง Accumulator แสดงดังในรูปที่ 3.51



รูปที่ 3.51 Accumulator

ในส่วนของข้อแนะนำสำหรับการออกแบบ Accumulator มีดังนี้ คือ

3.23.1 การสร้างรูสำหรับให้น้ำมันไหลกลับเข้าเครื่องอัด

ดังแสดงในรูปที่ 3.51 ในการออกแบบควรลดอิทธิพลเนื่องจากรัศมีการหักโค้งของท่อต่อความดันให้มีน้อยที่สุด

3.23.2 ในประเทศที่มีสภาพอากาศอุณหภูมิต่ำมาก

ควรเพิ่มขดลวดความร้อนรอบ ๆ Accumulator ทำให้มีประสิทธิภาพในการป้องกันสารทำความเย็นเหลวไหลเข้าเครื่องอัดขณะที่เครื่องอัดเริ่มสตาร์ทได้ดียิ่งขึ้น เครื่องอัดแบบปิดผนึกบางแบบมีโครงสร้างที่สามารถดูดสารทำความเย็นโดยตรงเข้าสู่เครื่องอัด ดังนั้นเครื่องอัดทุกตัวจึงมี Accumulator หรือมัฟเฟอร์ติดตั้งอยู่เพื่อป้องกันสารทำความเย็นเหลวอยู่แล้ว แต่อย่างไรก็ตาม ขนาด Accumulator ดังกล่าวมีขนาดเล็กจึงไม่สามารถป้องกันสารทำความเย็นเหลวเข้าเครื่องอัดได้โดยสมบูรณ์ ดังนั้นจึงควรติดตั้ง Accumulator เพิ่มเติมตรงท่อก๊าซด้านดูด

3.24 ขดลวดความร้อน

สำหรับภูมิประเทศที่มีสภาพอากาศมีอุณหภูมิต่ำมาก ๆ สารทำความเย็นจะรวมตัวสะสมกันในเครื่องอัด ฉะนั้นควรมีการติดตั้งขดลวดความร้อนที่เป็นแบบป้องกันการรั่วของไฟฟ้า โดยพันรอบ ๆ ตัวเครื่องอัดบริเวณด้านล่าง จุดประสงค์ในการใช้ขดลวดความร้อนนี้ก็เพื่อป้องกันผลกระทบ ที่เกิดจากการอัดสารทำความเย็นเหลวโดยการให้ความร้อนบริเวณรอบนอกเข้าไปเพื่อให้สารทำความเย็นเหลวระเหยกลายเป็นไอก่อนการอัด สำหรับขดลวดความร้อนโดยทั่วไปที่นิยมใช้ขึ้นอยู่กับขนาดและการใช้งานของเครื่องอัด โดยมีขนาดอยู่ในช่วงระหว่าง 40-80 วัตต์ และควรใช้งานตามข้อกำหนดที่กำหนดไว้ การทำงานนั้นต้องให้ขดลวดความร้อนทำงานก่อนเครื่องอัดทำงานอย่างน้อย 6 ชั่วโมง และควรระมัดระวังการเกิดเพลิงไหม้ เนื่องจากเครื่องอัดอาจจะมีน้ำมันไหลเปรอะเปื้อนบริเวณขดลวดความร้อน ควรระมัดระวัง เกี่ยวกับการเสื่อมสภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

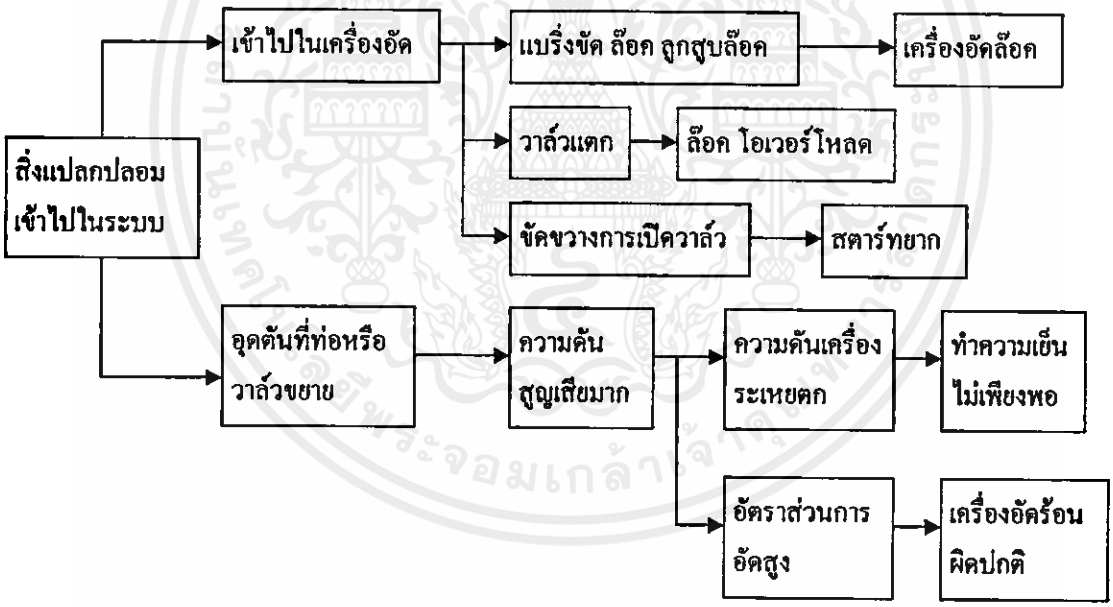
ของฉนวน เนื่องจากการกลั่นตัวของหยดน้ำด้วย ดังนั้นจะต้องตรวจสอบการใช้ขดลวดความร้อนให้เป็นไปตามข้อกำหนด

3.25 ความสะอาดของระบบทำความเย็น

เมื่อมีสิ่งแปลกปลอมเช่น อากาศ ความชื้น และอื่น ๆ เข้าไปอยู่ในระบบทำความเย็นอาจทำให้เกิดสิ่งผิดปกติต่าง ๆ ที่เป็นผลเสียต่อระบบ ไม่ว่าจะเป็นอายุการใช้งาน หรือประสิทธิภาพการทำงานของระบบ ความผิดปกติที่เกิดขึ้นอาจจะมาจาก 2 สาเหตุใหญ่ คือ

3.25.1 ความผิดปกติที่เกิดขึ้นเนื่องจากมีสิ่งแปลกปลอมอื่นเข้าภายในระบบ

การรักษาความสะอาดไม่ให้มีสิ่งแปลกปลอมเข้าไปในระบบ สามารถทำความสะอาดได้สะดวกก่อนหรือขณะทำการประกอบระบบ เนื่องจากสามารถทำความสะอาดหรือกำจัดไปได้โดยง่าย ดังนั้นควรรักษาความสะอาดก่อนทำการประกอบ เพราะถ้าหากขณะทำการประกอบมีสิ่งแปลกปลอมอยู่ในระบบ สิ่งแปลกปลอมเหล่านี้จะเข้าไปอยู่ในเครื่องอัดได้ในขณะเติมสารทำความเย็นครั้งแรกเนื่องจากสารทำความเย็นจะไม่ไหลผ่านกรอง

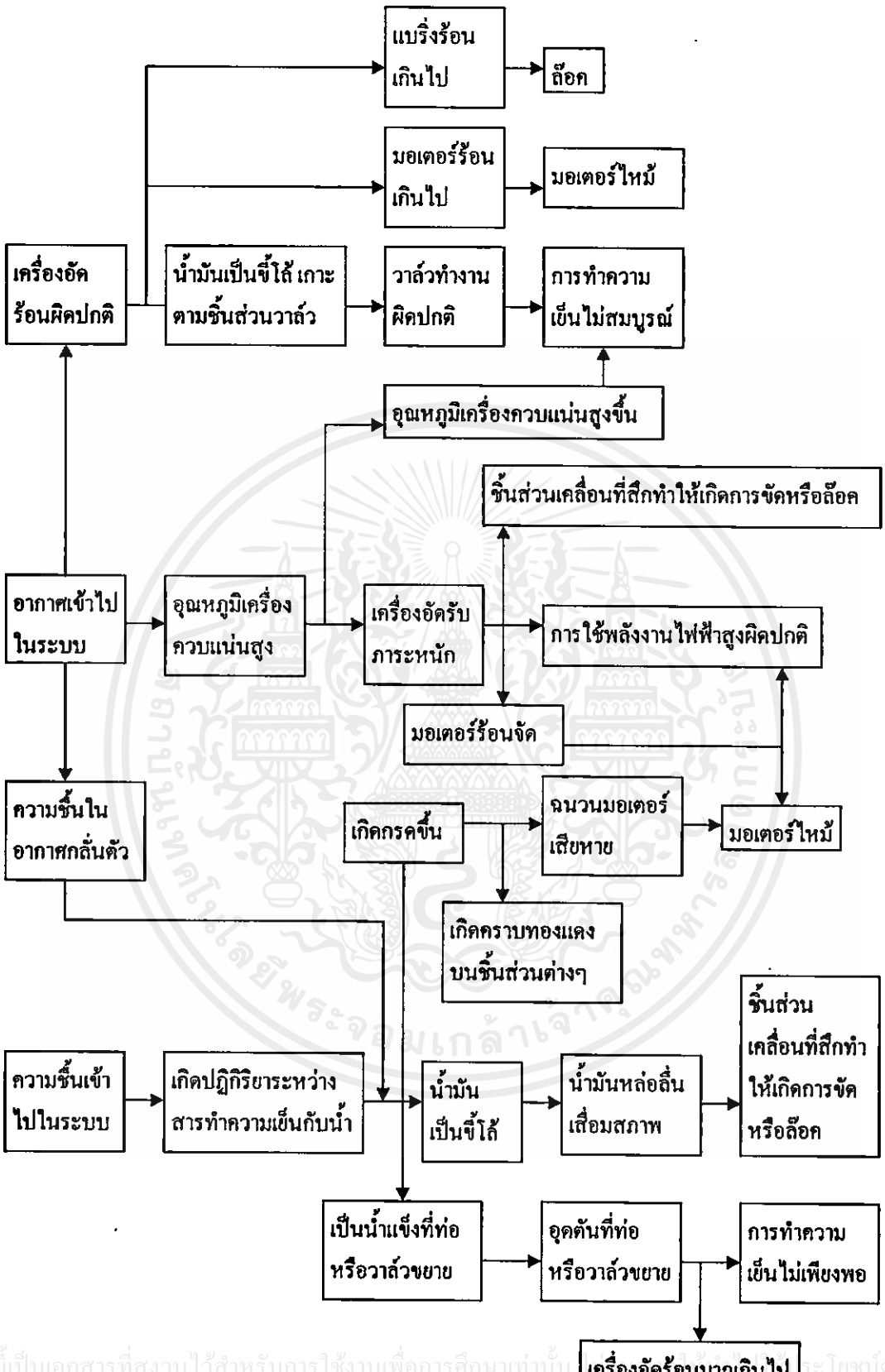


รูปที่ 3.52 ความผิดปกติที่เกิดขึ้นเนื่องจากมีสิ่งแปลกปลอมอื่นเข้าภายในระบบ

3.25.2 ความผิดปกติเนื่องจากมีอากาศ และความชื้นเข้าไปในระบบ

โดยทั่วไปความชื้นในตัวเครื่องอัดจะถูกดูดออกและทำให้แห้งจากโรงงานผลิตเรียบร้อยแล้ว ดังนั้นข้อควรระวังในการควบคุมความชื้นหรือกำจัดความชื้นในชิ้นส่วนประกอบอื่น ๆ ก่อนการประกอบระบบ สำหรับการป้องกันไม่ให้อากาศหรือความชื้นเข้าไปในเครื่องอัด โดยทั่วไปจะใช้ก๊าซไนโตรเจนหรือฟรีออนหรืออากาศแห้งอัดให้มีความดันสูงกว่าความดันบรรยากาศ ซึ่งจะสามารถช่วยไม่ให้ชิ้นส่วนต่าง ๆ เกิดสนิม ดังนั้นในการประกอบควรใช้เวลาให้น้อยที่สุดหลังจากที่ปล่อยก๊าซออกจากตัวเครื่องอัดแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.53 ความผิดปกติเนื่องจากมีอากาศ และความชื้นเข้าไปในระบบ

3.26 แรงดันไฟฟ้า

แหล่งจ่ายไฟฟ้าขณะที่เครื่องอัดทำงานโดยทั่วไปถูกออกแบบให้สามารถทำงานในช่วง ±10% ของแรงดันไฟฟ้าปกติที่บริษัทผู้ผลิตเครื่องอัดได้กำหนดไว้ ดังนั้นการนำไปใช้งานต้องควบคุมการใช้งานในช่วงแรงดันดังกล่าว ส่วนแรงดันไฟฟ้าขณะสตาร์ทหรือแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการสตาร์ทอยู่ที่ประมาณ 80 % ขึ้นไป ขณะสตาร์ทแรงดันไฟฟ้าจะตกลง เนื่องจากกระแสไฟฟ้าขณะทำการสตาร์ท ซึ่งสาเหตุที่กระแสไฟฟ้าตกนั้นไม่ใช่เนื่องจากแหล่งจ่ายไฟอย่างเดียวแต่ยังเกิดจากขนาดและความยาวของสายไฟที่ต่อเข้ากับเครื่องอัดด้วย ดังนั้นจึงควรต่อสายไฟเข้าขั้วเครื่องอัดให้สั้นและไม่ซับซ้อน

3.27 ความถี่ในการเปิดปิดเครื่องอัด

เครื่องอัดโดยทั่วไปถูกออกแบบให้มีความถี่ในการเปิดปิดได้ประมาณ 10 ครั้ง/ชั่วโมง ดังนั้นในการออกแบบการทำงานจะต้องออกแบบการปิดเปิดการใช้งานให้อยู่ในช่วงที่กำหนด มิฉะนั้นอาจทำให้เครื่องอัดเสียหายได้ ในการสตาร์ทใหม่ของเครื่องอัดจะต้องให้ความดันด้านต่ำสมดุลกับความดันด้านสูงก่อนซึ่งโดยทั่วไปใช้เวลาประมาณ 3 นาที เพื่อให้เกิดความสมดุลของความดัน ในช่วงการทำงานก็ต้องให้มีระยะเวลาอย่างน้อย 3 นาที เนื่องจากการทำงานในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ ทำให้น้ำมันไม่สามารถกลับเข้าเครื่องอัดได้ ด้วยเหตุนี้วงรอบการปิดเปิดจึงมีเวลา 6 นาที หรือ 10 รอบ/ชั่วโมง

3.28 ข้อแนะนำในการออกแบบระบบ

การทำงานของระบบทำความเย็นจะมีส่วนก๊าซที่มีความดันสูงอยู่ในระบบ ดังนั้นจะต้องออกแบบวัสดุต่าง ๆ ที่จะนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของระบบให้มีความแข็งแรงเพียงพอ โดยเปรียบเทียบกับมาตรฐานต่าง ๆ ที่กำหนดไว้ในแต่ละประเทศ เช่น มาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก) สำหรับเครื่องทำความเย็นขนาดเล็กกว่า 3 ตัน มาตรฐาน JIS B 8620 กำหนดมาตรฐานความปลอดภัยของอุปกรณ์ระบบทำความเย็นขนาดเล็ก ส่วนข้อแนะนำในการออกแบบอื่นมีดังต่อไปนี้

3.28.1 การเดินท่อเข้าเครื่องอัด

ท่อสำหรับต่อเข้าเครื่องอัดคือส่วนของท่อทางด้านดูดและท่อทางด้านส่งจะต้องออกแบบให้สามารถลดการสั่นสะเทือนจากการทำงานของเครื่องอัดได้ หากการออกแบบไม่เหมาะสมจะส่งผลให้การสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นส่งผ่านตามท่อไปยังชิ้นส่วนอื่น ๆ ของระบบ ทำให้ทั้งระบบเกิดการสั่นสะเทือน ทำให้เกิดเสียงดัง และอาจทำให้ท่อแตกหลังจากใช้งานไปได้ระยะเวลาหนึ่ง จากเหตุผลดังกล่าวในการเดินท่อจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงและพิจารณาหัวข้อ ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

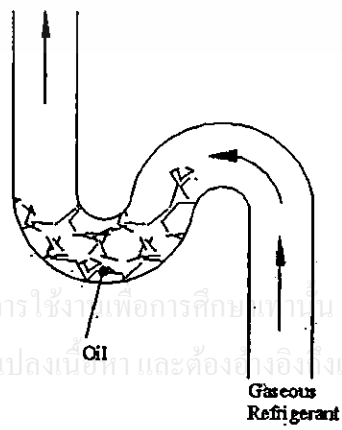
1. ระยะห่างจากท่อ ในการออกแบบควรมีระยะห่างจากท่อกับชิ้นส่วนที่มีการทำงาน เช่น เครื่องอัด พัดลมเครื่องควบแน่น อย่างน้อย 13 มิลลิเมตร และควรห่างจากชิ้นส่วนที่อยู่กับที่อย่างน้อย 10 มิลลิเมตร

2. การสั่นสะเทือนของท่อ ในการออกแบบรูปร่างและความยาวของท่อ ต้องทำให้ท่อสั่นไปมาได้ไม่เกิน 8 มิลลิเมตร ที่ความถี่ 40-70 Hz และเครื่องอัดทำงานในช่วง ±10% ของแรงดันปกติที่กำหนดไว้

3. ความเค้นที่ท่อ ท่อที่ออกแบบต้องไม่ได้รับความเสียหายเมื่อมีการขนส่งหรือจากการสตาร์ทและหยุดเครื่องอัด ในส่วนของความเค้นที่ยอมรับได้ขณะทำการสตาร์ทหรือหยุดการทำงาน ต้องมีค่าน้อยกว่า 3.5 kg/mm^2 และขณะที่เครื่องอัดทำงาน ต้องน้อยกว่า 1.8 kg/mm^2 [11] และการหักโค้ง ท่อต้องไม่เกิดการเสียรูป

3.28.2 การไหลกลับของน้ำมัน

เครื่องอัดที่มาจากบริษัทผู้ผลิตโดยทั่วไปจะถูกเติมน้ำมันปริมาณมากกว่าปริมาณน้ำมันจริงที่เครื่องอัดต้องการใช้ เพื่อสำรองในการติดตั้งที่ต้องเดินท่อเป็นระยะทางไกล ๆ เนื่องจากน้ำมันจำนวนมากจะปนไปกับสารทำความเย็นออกไปขณะเครื่องอัดสตาร์ท ดังนั้นจึงจำเป็นต้องออกแบบการเดินท่อให้น้ำมันสามารถไหลกลับได้สะดวก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อระบบมีการติดตั้ง Accumulator เพิ่มเติม เนื่องจากน้ำมันสะสมอยู่ได้ง่าย นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงการไหลกลับของน้ำมันเป็นอย่างมากในกรณีที่มีการเปิดปิดเครื่องอัดเป็นระยะเวลาสั้น ๆ อยู่ตลอดเวลา เนื่องจากน้ำมันจำนวนมากไม่สามารถไหลกลับเข้าตัวเครื่องอัดได้ ส่วนกรณีที่มีการเดินท่อก๊าซขึ้นสูงมาก ๆ จะต้องทำการติดตั้งท่อดักน้ำมันทุกระยะ 10 เมตร เนื่องจากเมื่อสารทำความเย็นระเหยกลายเป็นก๊าซ น้ำมันจะถูกแยกตัวออกมา และถูกสารทำความเย็นที่เป็นก๊าซนี้พาน้ำมันขึ้นไป แต่ถ้าหากท่อมีขนาดใหญ่หรือความเร็วการไหลของสารทำความเย็นต่ำมาก ๆ ทำให้น้ำมันไม่สามารถขึ้นไปได้หมดและตกลงมาสะสมอยู่ที่ปลายท่อด้านล่าง ดังนั้นวิธีที่จะทำให้น้ำมันที่สะสมอยู่ด้านล่างนี้สามารถไหลขึ้นไปได้ คือการทำที่ดักน้ำมัน เพื่อบังคับให้สารทำความเย็นที่เป็นก๊าซไหลผ่านน้ำมันและพาน้ำมันขึ้นไปด้วยได้ สำหรับการเดินท่อปกติไม่จำเป็นต้องทำที่ดักน้ำมัน ยกเว้นกรณีที่เดินท่อไกลมาก ๆ เนื่องจากที่ดักน้ำมันมีความยาวเทียบเท่ากับท่อที่หัก 90 องศา ซึ่งจะส่งผลกระทบทำให้ความสามารถของการทำความเย็นลดลง

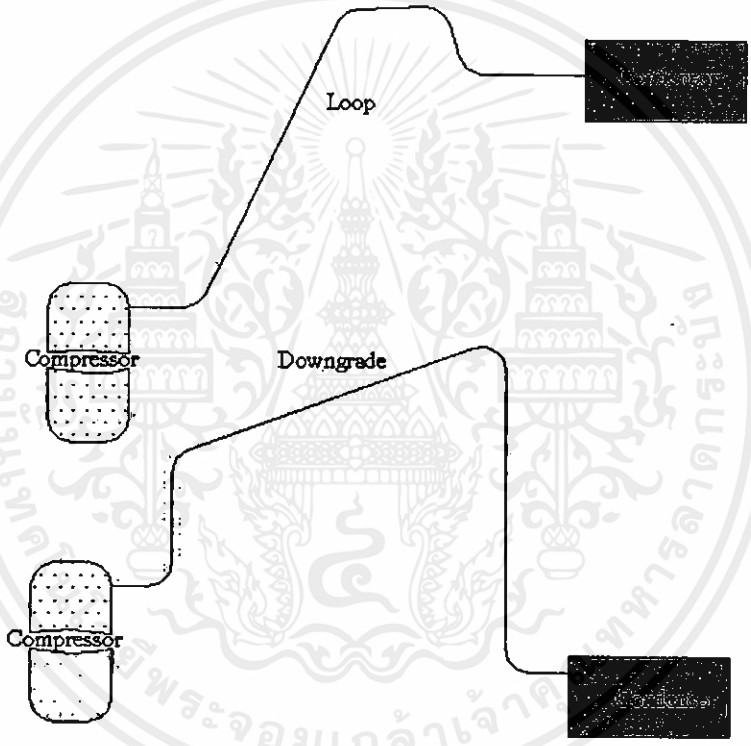


รูปที่ 3.54 ที่ดักน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.28.3 การต่อท่อก๊าซ

การสูญเสียความดันที่ท่อก๊าซด้านอัด ส่งผลให้ต้องใช้พลังงานสูงขึ้นและอุณหภูมิก็จะเพิ่มขึ้นด้วย การต่อท่อจากเครื่องอัดเข้าสู่เครื่องควบแน่นให้ต่อเอียงไปทางด้านเครื่องควบแน่น เพื่อป้องกันไม่ให้สารทำความเย็นและน้ำมันไหลย้อนกลับเข้าเครื่องอัด และเพื่อให้สารทำความเย็นที่มีสถานะเป็นก๊าซมีความเร็วในการไหลเพียงพอที่สามารถพาน้ำมันไหลกลับขึ้นไปได้ ควรเลือกท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เหมาะสมกับเครื่องอัด ส่วนกรณีที่ติดตั้งเครื่องอัดสูงกว่าเครื่องควบแน่นควรเดินท่อป้องกันไม่ให้สารทำความเย็นไหลกลับเข้าเครื่องอัดขณะหยุดทำงาน โดยทำท่อวนขึ้นดังแสดงในรูปที่ 3.55

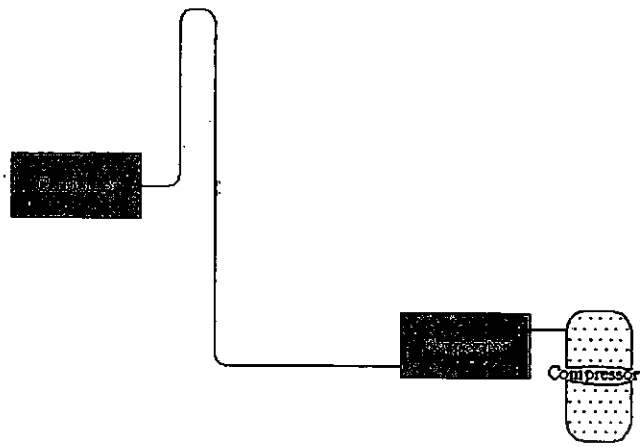


รูปที่ 3.55 การเดินท่อด้านอัด

3.28.4 การต่อท่อสารทำความเย็นเหลว

เนื่องจากน้ำมันสามารถละลายเข้ากับสารทำความเย็นเหลวได้ดี น้ำมันจึงสามารถไหลอยู่ในท่อสารทำความเย็นเหลวได้สะดวกจึงไม่ค่อยมีปัญหาเรื่องการไหลกลับของน้ำมันในท่อสารทำความเย็นเหลว แต่ในกรณีที่สารทำความเย็นเหลวกลายเป็นก๊าซบางส่วนอันเนื่องจากความดันสูญเสียที่เกิดขึ้นหรือรับพลังงานภายนอก ซึ่งมีผลให้ประสิทธิภาพของวาล์วขยายลดลงและส่งผลให้ระบบมีประสิทธิภาพลดลงด้วย กรณีติดตั้งเครื่องควบแน่นสูงกว่าเครื่องอัดสารทำความเย็นเหลวจะไหลผ่านเครื่องระเหยเข้าสู่เครื่องอัดขณะที่ระบบหยุดทำงาน สำหรับระบบที่มีการเดินท่อยาวสามารถป้องกันได้โดยการวนท่อขึ้นดังแสดงในรูปที่ 3.56

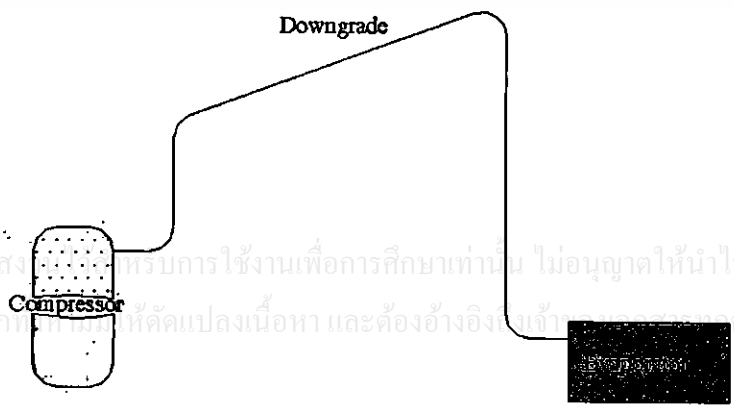
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.56 การเดินท่อสารทำความเย็นเหลว

3.28.5 ท่อด้านดูด

การเดินท่อด้านดูดที่ไม่เหมาะสมส่งผลกระทบต่อเครื่องอัดโดยตรง ดังนั้นการเดินท่อด้านดูดจึงมีความสำคัญมาก สิ่งที่ต้องระมัดระวังเป็นพิเศษคือต้องมีระบบป้องกันการไหลกลับของสารทำความเย็นเหลวหรือน้ำมันจำนวนมากที่มาจากเครื่องระเหยเข้าสู่เครื่องอัด เมื่อระบบมีการเติมสารทำความเย็นจำนวนมากหรือมีอัตราการเปลี่ยนแปลงภาระที่สูง ควรออกแบบติดตั้ง Accumulator เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงภาระทำให้ปริมาณสารทำความเย็นเหลวและน้ำมันไหลเข้าท่อด้านดูดจำนวนมาก ท่อจากเครื่องระเหยที่ต่อไปยังเครื่องอัดควรต่อเอียงเข้าหาเครื่องอัด ดังแสดงในรูปที่ 3.57 เพื่อป้องกันการสะสมของสารทำความเย็นเหลวหรือน้ำมัน ในกรณีระบบหยุดการทำงานจะต้องทำให้สารทำความเย็นเหลวในเครื่องระเหยไม่สามารถไหลเข้าสู่เครื่องอัดได้ โดยทำท่อวนขึ้นที่ทางออกของเครื่องระเหย หลีกเลี่ยงการทำให้เกิดการสะสมของสารทำความเย็นเหลวปริมาณมาก ๆ ดังนั้นจำนวนท่อดักต่าง ๆ จะต้องทำน้อยที่สุด ผลที่เกิดขึ้นกับการเดินท่อที่ไม่เหมาะสมนั้นไม่สามารถบอกถึงประสิทธิภาพการทำความเย็นที่แท้จริงได้ และหากมีจำนวนการหักโค้งมากเกินไปมีผลให้เกิดการต้านทานการไหลของสารทำความเย็นมากขึ้นประสิทธิภาพการทำความเย็นลดลง และส่งผลกระทบต่อเครื่องอัดที่อาจเกิดความเสียหายได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.57 การเดินท่อสารทำความเย็นด้านดูด

3.29 การติดตั้งระบบ

ในการติดตั้งระบบนั้นมีวิธีการในการติดตั้งเครื่องอัดเข้ากับระบบและข้อควรระมัดระวังสิ่งต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

3.29.1 การติดตั้งเครื่องอัด

การติดตั้งเครื่องอัดต้องมีลูกยางหรือสปริงรองรับตามแต่ละผู้ผลิตเครื่องอัดกำหนดไว้เพื่อป้องกันการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจากการทำงาน เครื่องอัดที่มาจากบริษัทผู้ผลิตจะมีการอัดก๊าซไว้เพื่อป้องกันอากาศภายนอกที่จะเข้าไป โดยใช้จุกยางอุดไว้ทั้งทางด้านอัดและด้านดูดของเครื่องอัด การถอดจุกยางออกนั้นต้องถอดจากด้านความดันสูงคือท่อด้านอัดก่อน เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำมันภายในตัวเครื่องอัดพุ่งออกมา และตรวจสอบเสียงก๊าซที่อยู่ภายในตัวเครื่องอัดขณะถอดจุกยางด้วย

3.29.2 วิธีการเชื่อมต่อท่อ

เมื่อปลายท่อของเครื่องอัดถูกเปิดออกเป็นเวลานาน ทำให้อากาศและความชื้นภายนอกเข้าไปในเครื่องอัดได้ ดังนั้นควรทำการเชื่อมต่อท่อภายใน 10 นาทีหลังจากถอดจุกยางออก การเชื่อมต่อท่อเข้ากับเครื่องอัดด้วยการเชื่อมก๊าซ ควรใช้ลวดเชื่อมที่ดี และควรใช้ในโตรเจนเป่าผ่านท่อเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดสะเก็ดแผ่นทองแดงออกไซด์ขึ้นภายในท่อ และควรระมัดระวังไม่ให้สิ่งสกปรก และความชื้นเข้าไปในระบบขณะเชื่อม

3.29.3 การดูดอากาศออกจากระบบ

การดูดอากาศออกจากระบบควรกระทำทันทีหลังจากการเชื่อมต่อและตรวจสอบรอยรั่วเรียบร้อยแล้ว การดูดอากาศออกควรดูดทั้งด้านความดันสูงและด้านความดันต่ำไปพร้อม ๆ กัน หากสามารถทำทั้งสองด้าน ควรดูดอากาศทางด้านความดันสูงออกเป็นเวลานานเพียงพอให้ระดับสุญญากาศถึงตามที่กำหนดไว้ ซึ่งตามมาตรฐานกำหนดไว้อยู่ที่สุญญากาศประมาณ 0.35 มิลิเมตรปรอทหรือต่ำกว่า [19]

3.29.4 การเติมน้ำมัน

เครื่องอัดที่ผลิตจากบริษัทผู้ผลิตทุกตัวนั้นได้ทำการเติมน้ำมันอย่างเพียงพอแล้ว ดังนั้นไม่จำเป็นต้องเติมน้ำมันเพิ่มเติมขณะติดตั้งประกอบระบบ เครื่องอัดที่ได้เติมน้ำมันแล้วให้สังเกตจะมีข้อความ “Oil In” ติดอยู่บนตัวเครื่องอัด

3.29.5 การเติมสารทำความเย็น

การเติมสารทำความเย็นหลังจากทำการดูดอากาศจากระบบเรียบร้อยแล้ว การเติมสารทำความเย็นเหลวควรเติมด้านความดันสูง คือทางด้านอัดของเครื่องอัด เพื่อป้องกันสารทำความเย็นเหลวเข้าไปในตัวเครื่องอัด แล้วไปรวมตัวกับน้ำมันเป็นจำนวนมากซึ่งจะส่งผลให้เครื่องอัดได้รับความเสียหายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.29.6 การต่อสายไฟและอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ

การต่อสายไฟจะต้องให้ถูกต้องตามวงจรไฟฟ้าที่กำหนดตามแต่ละบริษัทผู้ผลิตกำหนด การเดินสายไฟต้องไม่เกิดการเสียดสีกับสิ่งใดสิ่งหนึ่งขณะเกิดการสั่นหรือขณะที่เครื่องอัดทำงาน ควรเผื่อสายไฟไว้ไม่ให้สายไฟตึง หรือมีแรงดึงขณะเกิดการสั่นจากการสตาร์ทหรือการหยุดของเครื่องอัดเพื่อไม่ให้ขั้วสายไฟหลวมหรือหลุดออกจากขั้ว และการเดินสายไฟต้องมีการป้องกันไม่ให้มีน้ำไหลเข้าไปตามสายไฟ อย่าเดินสายไฟไปสัมผัสกับเครื่องอัดและส่วนที่มีอุณหภูมิสูง ซึ่งผลของการเดินสายไฟฟ้าที่ผิดจะเกิดปัญหาดังนี้ คือ หากเป็นไฟ 1 เฟส จะทำให้มอเตอร์ไหม้ สตาร์ทไม่ได้ เป็นต้น ถ้าเป็นระบบไฟ 3 เฟส มอเตอร์จะหมุนกลับทาง เมื่อต่อเฟสสลับกัน 2 เฟส และมอเตอร์ไหม้หากไฟฟ้าหายไปหนึ่งเฟส เครื่องอัดโดยทั่วไปได้มีการออกแบบให้ทำงานได้ในทิศทางหมุนทางเดียว ดังนั้นหากมอเตอร์หมุนกลับทางส่งผลให้ปั๊มไม่สามารถดูดน้ำมันไปหล่อลื่นชิ้นส่วนต่าง ๆ ได้ ส่งผลให้ชิ้นส่วนต่าง ๆ สึกหรอมาก และล็อคได้ ดังนั้นจึงต้องป้องกันและระมัดระวังการต่อสายไฟไม่ให้มอเตอร์หมุนกลับทาง

3.29.7 การทดสอบระบบ

หลังจากที่ได้เติมสารทำความเย็นเรียบร้อยแล้วควรให้เครื่องอัดทำงานอย่างน้อย 3 นาที เพื่อให้น้ำมันหล่อลื่นขึ้นไปหล่อลื่นชิ้นส่วนต่าง ๆ ได้ทั่ว เมื่อได้ปิดเครื่องแล้วควรรอประมาณ 3 นาที ให้ระบบมีความดันที่สมดุลกันทั้งสองด้านก่อน ในกรณีเครื่องอัดที่ใช้ระบบไฟ 3 เฟสตัวป้องกันการสลับเฟสจะป้องกันไม่ให้เครื่องอัดทำงานเมื่อมีการต่อไฟสลับเฟส ในการทดสอบต้องทดลองสลับเฟสที่แหล่งจ่าย ในกรณีเป็นเครื่องอัดระบบไฟ 1 เฟส อาจไม่สามารถสตาร์ทได้ที่แรงดันไฟฟ้าต่ำสุดที่กำหนดไว้หลังจากการเติมสารทำความเย็นเรียบร้อยแล้วเนื่องจากเกิดการอัดของเหลวขึ้น ดังนั้นจึงควรทดสอบการสตาร์ทที่แรงดันไฟฟ้าต่ำสุด หลังจากการทดสอบให้เครื่องอัดทำงานไปได้ครั้งหนึ่ง และขณะทำการทดสอบควรตรวจสอบความผิดปกติอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นด้วย

3.29.8 การตรวจหารอยรั่ว

การตรวจสอบหารอยรั่วก่อนการเดินระบบสามารถลดความเสียหายจากการนำไปใช้งานได้มาก เนื่องจากเมื่อระบบมีการรั่วเกิดขึ้นน้ำมันในเครื่องอัดจะหายออกไปพร้อมกับสารทำความเย็นที่รั่วขณะที่เครื่องอัดทำงาน เมื่อน้ำมันหล่อลื่นไม่เพียงพอทำให้ชิ้นส่วนต่าง ๆ สึกหรอและล็อคได้ ดังนั้นจึงควรตรวจสอบรอยรั่วที่ความดันสูงสุดที่เครื่องอัดทำงานได้ และต้องตรวจสอบการเกิดรีโซแนนท์ และการสั่นของท่อที่เป็นสาเหตุของการเกิดรอยรั่วด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.29.9 ข้อกำหนดอื่น ๆ

ข้อกำหนดอื่น ๆ ของเครื่องอัดตามแต่ละบริษัทผู้ผลิต มีตัวอย่างดังนี้ คือ

1. ต้องนำเครื่องอัดไปใช้งานภายในเวลาตามที่บริษัทผู้ผลิตกำหนด ตัวอย่างเช่น ภายใน 1 ปีนับจากวันที่ผลิต การเก็บเครื่องอัดไว้เป็นเวลานานโดยไม่ใช้งานนั้นทำให้ก๊าซที่เก็บอยู่ภายในรั่วออกมาทีละน้อยจนหมดไปได้

2. ห้ามใช้เครื่องอัดเป็นตัวดูดอากาศ เนื่องจากการใช้เครื่องอัดเป็นตัวดูดอากาศนอกจากทำให้ดูดอากาศอากาศได้ไม่หมด และทำระดับสุญญากาศไม่เพียงพอแล้วยังทำให้เครื่องอัดร้อนและมอเตอร์ไหม้ได้

3. ห้ามนำเครื่องอัดไปอัดอากาศ เพราะเมื่อเครื่องอัดอัดอากาศทำให้ลิ้นวาล์วด้านอัดร้อนจัดและแตกหักเสียหายได้

4. หลีกเลี่ยงการเอียง การคว่ำ กระแทก หรือหล่น จากการเคลื่อนย้าย

3.30 การออกแบบเครื่องระเหย (Evaporator)

เครื่องระเหย เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการดูดรับปริมาณความร้อนจากบริเวณที่ต้องการทำความเย็น ในขณะที่สารทำความเย็นในเครื่องระเหยเกิดการเดือดเปลี่ยนสถานะเป็นก๊าซ จะดูดรับปริมาณความร้อน ผ่านผิวท่อเข้าไปยังสารทำความเย็นในระบบ ทำให้อุณหภูมิโดยรอบลดลง วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยให้ความหมายของเครื่องระเหยไว้ว่า “อุปกรณ์ในระบบทำความเย็น ซึ่งจะทำให้สารทำความเย็นขยายตัวหรือกลายเป็นไอทำให้เกิดความเย็น” [19] จากความต้องการในการใช้งานเพื่อการทำความเย็นที่มีความแตกต่างกันออกไป ดังนั้นการออกแบบและการผลิตจึงมีความแตกต่างกันอย่างกว้างขวาง ทั้งชนิดรูปร่างและการออกแบบ การแบ่งชนิดของเครื่องระเหยจึงมีความแตกต่างกันออกไปหลายอย่างเช่น แบ่งตามลักษณะโครงสร้าง แบ่งตามลักษณะการทำงาน หรือแบ่งตามวิธีการหมุนเวียนของสารหล่อเย็น หรือชนิดของสารหล่อเย็นเป็นต้น แต่โดยทั่วไปเครื่องระเหยแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ เครื่องระเหยแบบแห้งและเครื่องระเหยแบบเปียก แต่ที่นิยมใช้กันทั่วไป จะเป็นเครื่องระเหยแบบแห้ง เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนดีกว่า ดังนั้นจึงขอแสดงรายละเอียดเฉพาะเครื่องระเหยแบบแห้งเท่านั้น เครื่องระเหยแบบแห้ง มีหลักการคือสารทำความเย็นที่ผ่านวาล์วขยายเข้าสู่ เครื่องระเหยจะมีความดันต่ำและมีของเหลวบางส่วนระเหยกลายเป็นก๊าซประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ หลังจากที่ไหลผ่านวาล์วขยาย โดยการดูดรับความร้อนจากสารทำความเย็นเหลวที่เหลือ 90 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะส่งผลให้สารทำความเย็นที่เป็นของเหลวมีอุณหภูมิลดต่อลงด้วยและสารทำความเย็นที่เข้าสู่เครื่องระเหยนี้จะมีสถานะเป็นของผสมระหว่างสารทำความเย็นเหลวประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ กับสถานะของก๊าซประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้มีไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะที่สารทำความเย็นไหลผ่านเครื่องระเหย สารทำความเย็นจะเดือดเปลี่ยนสถานะเป็นก๊าซที่ความดันต่ำ ดูดรับเอาปริมาณความร้อนจากอากาศบริเวณรอบ ๆ ปริมาณความร้อนจำนวนนี้เป็นปริมาณความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของสารทำความเย็น จึงไม่ทำให้อุณหภูมิของสารทำความเย็นในเครื่องระเหยมีอุณหภูมิสูงขึ้น จนกว่าสารทำความเย็นเหลวในเครื่องระเหย

เปลี่ยนสถานะเป็นก๊าซหมด ดังนั้นในการออกแบบขนาดของเครื่องระเหยจะต้องให้สารทำความเย็นระเหยหมดพอดีที่ทางออกของเครื่องระเหย ซึ่งถ้าหากสารทำความเย็นระเหยไม่หมด สารทำความเย็นเหลวก็อาจจะไหลเข้าเครื่องอัดได้ แต่ถ้าสารทำความเย็นระเหยหมดก่อน สารทำความเย็นที่มีสถานะเป็นก๊าซก็จะรับปริมาณความร้อนเพิ่ม ทำให้สารทำความเย็นมีอุณหภูมิสูงขึ้น เป็นไอร้อนยิ่งยวดก่อนเข้าเครื่องอัดก็จะทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง เครื่องระเหยแบบแห้งยังสามารถออกแบ่งออก ได้ 2 แบบคือ

1. เครื่องระเหยแบบขดท่อและครีบ

เครื่องระเหยแบบขดท่อและครีบ เป็นที่นิยมใช้ในระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนซึ่งจะมีลักษณะเป็นท่อทองแดงขดไปมาและ มีครีบอลูมิเนียมเป็นตัวเพิ่มพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนความร้อนให้กับสารทำความเย็นในท่อ ซึ่งจะต้องมีมอเตอร์พัดลมช่วยเพิ่มความเร็วลมผ่านขดท่อและครีบ อันเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนของสารทำความเย็นในเครื่องระเหย ลมเย็นที่เป่าผ่านเครื่องระเหยนี้ ก็จะถูกส่งเข้าภายในห้องหรือพื้นที่ที่ต้องการทำความเย็น ส่วนครีบที่นิยมใช้จะเป็นครีบอลูมิเนียม จำนวนครีบขึ้นอยู่กับการออกแบบ ซึ่งอยู่ประมาณ 7-21 ฟิน/นิ้ว ถ้าหากออกแบบให้มีจำนวนครีบมากจะทำให้มีปริมาณพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อนมากขึ้น แต่ก็จะมีปัญหาเรื่องการไหลของอากาศซึ่งตัวครีบจะเป็นตัวต้านทานการไหลของกระแสลม และอาจก่อให้เกิดการอุดตันของสิ่งสกปรกได้ง่ายซึ่งจะเป็นปัญหาต้องดูแลรักษาความสะอาดบ่อย แต่ถ้าออกแบบให้มีจำนวนฟินน้อยก็จะส่งผลต่อพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งก็จะทำให้ระบบมีความสามารถในการทำความเย็นน้อยลง ดังนั้นการออกแบบก็ต้องคำนึงถึงข้อจำกัดดังกล่าว

2. เครื่องระเหยแบบเพลต

เครื่องระเหยแบบเพลตจะไม่มีครีบและมีรูปร่างลักษณะไปตามการใช้งาน เช่น เครื่องระเหยในตู้เย็นก็จะเป็นแบบท่ออะลูมิเนียมขดโดยรอบช่องแช่เย็น เป็นต้น

3.30.1 การกลั่นตัวของไอน้ำที่เครื่องระเหย

การกลั่นตัวของไอน้ำในอากาศเป็นหยดน้ำเกาะที่ท่อและครีบของเครื่องระเหย เนื่องจากเมื่อไอน้ำในอากาศกระทบกับพื้นผิวที่มีอุณหภูมิต่ำ ไอน้ำในอากาศก็จะกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ อุณหภูมิสารทำความเย็นในเครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศขณะทำงานปกติจะมีอุณหภูมิประมาณ –20 ถึง 12 องศาเซลเซียส ดังนั้นเมื่อมีอากาศที่มีความชื้นเป่าผ่านเข้ามา ก็จะเกิดการกลั่นตัวของหยดน้ำ ดังนั้นจึงต้องมีการต่อท่อน้ำทิ้งให้น้ำส่วนนี้ไหลออกภายนอก แต่ถ้าอุณหภูมิภายในห้องทำความเย็นมีอุณหภูมิต่ำมาก ที่ประมาณ -15 ถึง -20 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสารทำความเย็นที่เครื่องระเหยจะต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส ซึ่งจะทำให้ไอน้ำที่เกิดการกลั่นตัวกลายเป็นน้ำแข็งเกาะที่เครื่องระเหย ซึ่งจะทำให้เครื่องระเหยเกิดการอุดตัน อากาศไหลผ่านไม่ได้ ก็จะส่งผลให้สารทำความเย็นไม่มีการแลกเปลี่ยนความร้อน จะส่งผลให้สารทำความเย็นเหลวไหลกลับเข้าเครื่องอัดได้ วิธีแก้ปัญหานี้ก็คือต้องมีการทำ Defrost การทำ Defrost มีวัตถุประสงค์เพื่อ การละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำแข็งที่เกาะที่เครื่องระเหย วิธีการที่นิยมใช้ในเครื่องทำความเย็นและระบบปรับอากาศคือ การตรวจสอบอุณหภูมิที่ท่อเครื่องระเหย ถ้ามีอุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเป็นระยะเวลาที่กำหนดก็จะทำการตัดการทำงานของเครื่องอัด เพื่อไม่ให้เกิดการทำความเย็น โดยที่พัดลมที่เครื่องระเหยยังคงทำงานอยู่เพื่อที่จะทำหน้าที่เป่าลมผ่านละลายน้ำแข็งให้หมด แล้วเครื่องอัดจะเริ่มทำงานอีกครั้งเมื่อถึงเวลาที่กำหนด ส่วนวิธีอื่น ๆ อาจจะทำการ Defrost โดยใช้ขดลวดไฟฟ้าเป็นตัวละลายน้ำแข็ง โดยติดตั้งขดลวดไฟฟ้าไว้ที่ท่อของ เครื่องระเหย โดยการทำ Defrost จะเป็นไปตามช่วงเวลาที่กำหนดซึ่งนิยมใช้กับตู้เย็นภายในบ้าน ส่วนอีกวิธีหนึ่งก็คือ การ Vapor By-Pass ซึ่งระบบนี้จะต้องใช้โซลีนอยด์วาล์วต่อคร่อมระหว่างท่อทางด้านอัดของเครื่องและท่อทางด้านเข้าของเครื่องระเหย เมื่อระบบเครื่องทำความเย็นทำงานปกติและเริ่มมีน้ำแข็งเกาะที่คอยล์ ก็จะจ่ายกระแสไฟให้ลิ้นของโซลีนอยด์เปิด สารทำความเย็นที่มีสถานะเป็นไอร้อนยิ่งยวดก็จะถูกส่งผ่านโซลีนอยด์เข้าไปยังเครื่องระเหย ก๊าซร้อนนี้ก็จะทำให้น้ำแข็ง ที่จับอยู่ที่ผิวของเครื่องระเหยละลาย ในระหว่าง Defrost นี้ เครื่องอัดและพัดลมเครื่องระเหยยังทำงานปกติ วิธีการนี้สามารถละลายน้ำแข็งได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็ว เหมาะสำหรับเครื่องทำความเย็นขนาดใหญ่และทำงานที่อุณหภูมิต่ำ

3.30.2 วงจรขดท่อเครื่องระเหย

วงจรของท่อเครื่องระเหย มีทั้งที่เป็นวงจรเดียวและหลายวงจร ลักษณะที่เป็นวงจรเดียวคือ สารทำความเย็นมีท่อทางเข้าและช่องทางออกเพียงช่องทางเดียว สารทำความเย็นที่ไหลเข้ามาจะผ่านขดท่อทั้งหมด ซึ่งถ้าหากเครื่องระเหยมีขนาดใหญ่จะมีความยาวของคอยล์มาก ปัญหาที่ตามมาคือ เกิดความดันลดเนื่องจากแรงเสียดทานภายในท่อมาก ซึ่งจะส่งผลเสีย ต่อระบบ คือต้องให้กำลังแก่เครื่องอัดมากขึ้น วิธีการแก้ปัญหาคือ แบ่งวงจรคอยล์เป็นหลายวงจร ต่อกันในลักษณะขนาน โดยต้องสมดุลให้ปริมาณสารทำความเย็นไหลเข้าแต่ละวงจรเท่า ๆ กันจึงจะทำให้เครื่องระเหยมีประสิทธิภาพในการทำงานสูง ซึ่งมีวิธีการคือ สารทำความเย็นไหลผ่านหัวจ่ายที่จะแยกสารทำความเย็นเข้าแต่ละวงจร ซึ่งเป็นการอาศัยหลักที่ว่าเมื่อสารทำความเย็นไหลแยกเข้าวงจรต่าง ๆ แล้วค่าการสูญเสียความดันในแต่ละวงจรจะต้องเท่ากัน

3.30.3 ทิศทางการไหลของลม

การกำหนดทิศทางการไหลของลมที่ถูกต้องจะช่วยให้ความสามารถในการทำความเย็นดีขึ้น ดังนั้นในการออกแบบ วงจรที่ถูกต้องนั้นจะต้องจำไว้เสมอว่าสารทำความเย็นเหลวที่มีอุณหภูมิต่ำจะต้องสัมผัสกับลมที่มีอุณหภูมิต่ำด้วยเสมอ เนื่องจากถ้าหากออกแบบผิดกระแสลมที่ออกไปจากเครื่องระเหยก็จะมีอุณหภูมิสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.31 เครื่องควบแน่น (Condenser)

หน้าที่ของเครื่องควบแน่นในระบบเครื่องทำความเย็นและระบบปรับอากาศคือการถ่ายเทความร้อนออกจากสารทำความเย็นในสถานะความดันสูงที่ถูกอัดจากเครื่องอัดทางด้านอัด เพื่อให้

สารทำความเย็นกลั่นตัวเป็นของเหลว โดยที่ความดันและอุณหภูมิยังคงสูงอยู่ วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยได้ให้ความหมายของเครื่องควบแน่นไว้ว่า "อุปกรณ์ควบแน่น คือ อุปกรณ์ที่ให้สารทำความเย็นในสภาพเป็นไอเปลี่ยนสภาพเป็นของเหลวโดยการระบายความร้อนออกจากสารทำความเย็น" [19] ส่วนตัวกลางที่นิยมใช้สำหรับการระบายความร้อนออกจากสารทำความเย็นโดยส่วนใหญ่ คือ อากาศ, น้ำ หรือใช้ทั้งอากาศและน้ำร่วมกัน โดยทั่วไปเครื่องควบแน่นสามารถแบ่งออกได้ 3 ชนิด คือ ชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air-Cooled), ชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water Cooled) และชนิด Evaporative

เครื่องควบแน่นชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศจะใช้อากาศเป็นสารตัวกลางในการระบายความร้อนออกจากสารทำความเย็น โดยใช้พัดลมเป็นตัวสร้างอัตราการไหลให้อากาศไหลผ่าน โดยปกติเครื่องควบแน่นชนิดนี้จะทำจากท่อทองแดง และมีครีบอลูมิเนียมเป็นตัวเพิ่มพื้นที่ผิวในการระบายความร้อน ในทำนองเดียวกันเครื่องควบแน่นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ ก็จะใช้น้ำเป็นสารตัวกลางในการระบายความร้อนออกจากสารทำความเย็น เพื่อให้สารทำความเย็นกลั่นตัวเป็นของเหลว เช่นเดียวกันเครื่องควบแน่นทั้งสองชนิดนี้จะรับความร้อนที่ถ่ายเทออกจากสารทำความเย็นในสถานะของก๊าซ เพื่อกลั่นตัวเป็นของเหลว ซึ่งจะส่งผลให้อากาศหรือน้ำที่ใช้เป็นสารตัวกลางมีอุณหภูมิสูงขึ้น สำหรับเครื่องแน่นชนิด Evaporative จะใช้ทั้งอากาศและน้ำเป็นสารตัวกลางในการหล่อเย็นเพื่อให้สารทำความเย็นกลั่นตัวเป็นของเหลวโดยการฉีดน้ำให้เป็นฝอยผ่านลงบนเครื่องควบแน่น พร้อม ๆ กับการใช้พัดลมดูดหรือเป่าอากาศผ่านเครื่องควบแน่นเพื่อให้น้ำบางส่วนเกิดการระเหยตัวขณะรับความร้อนจากเครื่องควบแน่น

3.31.1 เครื่องควบแน่นชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ

เครื่องควบแน่นชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศมีทั้งแบบที่อากาศหมุนเวียนโดยธรรมชาติและใช้พัดลมเป็นตัวช่วย สำหรับการระบายความร้อนด้วยอากาศแบบหมุนเวียนตามธรรมชาติ ซึ่งปริมาณการหมุนเวียนของอากาศนั้นจะน้อยมาก การออกแบบจำเป็นต้องให้เครื่องควบแน่นที่มีพื้นผิวในการถ่ายเทความร้อนมาก ดังนั้นการใช้วิธีการระบายความร้อนแบบอากาศหมุนเวียนโดยธรรมชาติจึงจำกัดอยู่ที่เครื่องทำความเย็นขนาดเล็กประเภท ตู้เย็น ตู้แช่ที่ใช้ตามบ้านเรือนเท่านั้น สำหรับเครื่องทำความเย็นที่ใช้อากาศเป็นตัวระบายความร้อน จะใช้พัดลมเป็นตัวช่วยในการหมุนเวียนอากาศ ซึ่งทำให้การออกแบบขนาดของเครื่องควบแน่นได้เล็กลง ซึ่งประสิทธิภาพของเครื่องควบแน่นสามารถตรวจสอบได้จากอุณหภูมิสารทำความเย็นเหลวที่ทางออกของเครื่องควบแน่น ซึ่งโดยทั่วไปที่อุณหภูมิอากาศหล่อเย็นที่ 35 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสารทำความเย็นเหลวที่ทางออกเครื่องควบแน่นควรมีค่าของเหลวอัดตัวอยู่ที่ประมาณ 3-15 องศาเซลเซียส โครงสร้างโดยทั่วไปจะประกอบด้วย ท่อทองแดงและครีบอลูมิเนียมเป็นตัวช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการถ่ายเทความร้อน โดยอากาศที่ผ่านเข้ามาบนพื้นผิวเครื่องควบแน่นซึ่งมาจากพัดลม ดังนั้นถ้าหากมีฝุ่นหรือสิ่งสกปรกอื่น ๆ อุดตันที่ครีบของเครื่องควบแน่นจะทำให้ประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การถ่ายเทความร้อนลดลงเนื่องจากอากาศจะผ่านได้ไม่สะดวก ดังนั้นการออกแบบจำนวนฟินก็ต้องคำนึงถึงการอุดตันของเครื่องควบแน่นด้วย ไม่ใช่มีความมุ่งหมายเพื่อใช้ในการเพิ่มพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อนเพียงอย่างเดียว

วงจรการไหลของสารทำความเย็นในเครื่องควบแน่นมีด้วยกันหลายรูปแบบซึ่งจะต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนระหว่างสารทำความเย็นกับอากาศหล่อเย็นอย่างทั่วถึง ส่วนจำนวนวงจรนั้นโดยทั่วไปการออกแบบต้องแบ่งเป็นหลาย ๆ วงจรแล้วแต่ขนาดของเครื่องควบแน่นเนื่องจากถ้าหากระยะทางการไหลของสารทำความเย็นยาวเกินไปจะเกิดแรงเสียดทานเนื่องจากการไหลส่งผลให้เกิดความดันลดในระบบมากขึ้น

3.31.2 หอระบายความเย็น (Cooling Tower)

เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ระบายความร้อนของน้ำหลังจากที่รับความร้อนมาจากเครื่องควบแน่น เพื่อที่จะนำน้ำกลับไปหมุนเวียนใช้อีกครั้งหนึ่ง น้ำที่มีอุณหภูมิสูงหลังจากรับความร้อนออกจากเครื่องควบแน่นแล้วจะถูกส่งไปยังส่วนบนของหอระบายความเย็นเพื่อฉีดให้เป็นฝอยแล้วตกกลับไปยังในถังตอนล่าง ฝอยหรือสเปรย์น้ำบางส่วนจะระเหยตัวไปกับอากาศ ที่หมุนเวียนผ่านหอระบายน้ำเย็น แล้วขณะที่น้ำระเหยตัวเปลี่ยนสถานะเป็นไอต้องการความร้อนแฝง จึงทำให้น้ำส่วนที่เหลือตกกลับในถังมีอุณหภูมิลดต่ำลง สามารถกลับไปหล่อเย็นระบายความร้อนที่เครื่องควบแน่นได้อีก ขณะที่สเปร์น้ำตกสวนทางกับอากาศภายในหอระบายความเย็น จะมีความร้อนสัมผัสบางส่วนถูกถ่ายเทให้อากาศ ทำให้น้ำมีอุณหภูมิลดต่ำลงบ้าง แต่ส่วนใหญ่แล้วผลของความเย็นที่เกิดขึ้นกับน้ำในหอระบายความเย็นทั้งหมดเกิดจากการสเปรย์น้ำบางส่วนระเหยกลายเป็นไอซึ่งต้องการความร้อนแฝง ถึงแม้ว่าน้ำส่วนใหญ่จากหอระบายความเย็นจะสามารถนำกลับมาใช้ได้อีก แต่ก็มีน้ำบางส่วนถูกระเหยตัวไปตลอดเวลาในขณะที่ระบบทำงาน ทำให้ระดับน้ำในถังของหอระบายความเย็นมีระดับลดต่ำลงด้วย จึงจำเป็นต้องเติมน้ำจากแหล่งอื่นเข้ามาตลอดเวลา การออกแบบหอระบายน้ำเย็น สามารถแบ่งออกตามลักษณะของอากาศที่หมุนเวียนได้ 2 แบบ คือ

1. แบบที่ให้อากาศหมุนเวียนตามธรรมชาติ เนื่องจากปริมาณและความเร็วของอากาศที่ผ่านหอระบายความเย็นแบบนี้จะขึ้นอยู่กับความเร็วลมที่พัดผ่านโดยธรรมชาติ ฉะนั้นหอความเย็นแบบที่ใช้อากาศหมุนเวียนแบบธรรมชาติ จำเป็นต้องติดตั้งในบริเวณที่มีลมพัดผ่านได้สะดวก

2. แบบที่ใช้พัดลมช่วยให้อากาศหมุนเวียนผ่าน ซึ่งอาจจะแบ่งออกได้เป็น 2 วิธีคือ แบบใช้ลมดูดผ่านและแบบใช้ลมเป่าผ่าน ซึ่งการแบ่งเป็น 2 แบบนี้ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของพัดลมว่าติดตั้งในตำแหน่งที่ลมดูดผ่าน หรือลมเป่าผ่าน ดังที่ได้ทราบว่าอากาศที่หมุนเวียนผ่านหอระบายความเย็นแบบนี้เกิดจากการทำงานของมอเตอร์พัดลม แต่ในการติดตั้งก็ควรติดตั้งไว้ในตำแหน่งที่อากาศถ่ายเทได้สะดวกเพื่อที่จะให้น้ำส่วนที่ระเหยสามารถกระจายออกไปสู่บรรยากาศได้สะดวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.32 วาล์วขยาย (Expansion Valve)

วาล์วขยาย เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ควบคุมอัตราการไหลของสารทำความเย็นก่อนที่จะผ่านเข้าเครื่องระเหยโดยลดความดันของสารทำความเย็นให้ต่ำลงจนสามารถเดือดเปลี่ยนสถานะเป็นก๊าซได้ที่อุณหภูมิต่ำ ๆ ในเครื่องระเหยและยังทำหน้าที่เป็นตัวแบ่งความดันของระบบเป็น 2 ด้านคือด้านความดันสูงและด้านความดันต่ำอีกด้วย วาล์วขยายมีด้วยกันหลายชนิดแต่ที่นิยมใช้ คือ ท่อ Capillary Tube เป็นท่อที่มีขนาดเล็กมากโดยทั่วไปจะมีขนาดประมาณ 0.028-0.095 นิ้ว การเลือกขนาดต้องให้พอเหมาะกับเครื่องอัดและความดันสารทำความเย็นที่เครื่องระเหยและที่เครื่องควบแน่น เพื่อให้ประสิทธิภาพในการทำความเย็นของระบบที่ดีที่สุด ถ้าขนาดท่อ Capillary Tube มีขนาดเล็กหรือยาวเกินไป อัตราการไหลของสารทำความเย็นที่ไหลจากเครื่องควบแน่นไปยังเครื่องระเหยก็จะผ่านได้น้อยกว่าที่ควรส่งผลให้ความดันและอุณหภูมิในเครื่องควบแน่นสูงขึ้น ความสามารถในการทำความเย็นที่เครื่องระเหยก็ลดลง ในทำนองเดียวกันถ้าเลือกขนาดที่ใหญ่หรือสั้นเกินไปทำให้สารทำความเย็นไหลมากท่วมเครื่องระเหยประสิทธิภาพการทำความเย็นก็ลดลง และสารทำความเย็นเหลวอาจถูกดูดกลับเข้าเครื่องอัดซึ่งจะเป็นอันตรายต่อเครื่องอัดได้ ค่าความดันในเครื่องควบแน่นก็จะลดลงต่ำมาก สารทำความเย็นไม่สามารถกลั่นตัวเป็นของเหลวได้หมดก็ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบเหมือนกัน

จากเหตุผลดังกล่าวการเพิ่มหรือการลดขนาดความยาวของท่อ Capillary Tube จะทำให้ประสิทธิภาพการทำความเย็นของระบบลดลง ดังนั้นการออกแบบกำหนดขนาดและความยาวของท่อ Capillary Tube จึงจำเป็นต้องให้เหมาะสมกับปริมาณความร้อนที่เป็นภาระในระบบเพื่อให้ประสิทธิภาพของระบบดีที่สุด การเติมสารทำความเย็นในระบบที่ใช้ท่อ Capillary Tube เป็นตัวควบคุมอัตราการไหล จะต้องเติมให้มีปริมาณน้อยที่สุดที่พอเหมาะกับขนาดของเครื่องอัด เนื่องจาก ขณะที่ระบบหยุดทำงาน ความดันสารทำความเย็นด้านความดันสูงก็จะไหลกลับทางด้านความดันต่ำจนกระทั่งมีความดันเท่ากัน ถ้าหากเติมสารทำความเย็นมากเกินไปก็อาจมีสารทำความเย็นเหลวไหลกลับเข้าเครื่องอัดได้ ข้อเสียอีกอย่างหนึ่งสำหรับการเติมสารทำความเย็นมากเกินคือส่งผลให้ความดันสารทำความเย็นด้านเครื่องควบแน่นสูง ส่งผลต่ออัตราส่วนการอัดของเครื่องอัดซึ่งจะทำให้เครื่องอัดทำงานหนักขึ้นพลังงานที่ให้กับเครื่องอัดก็จะมากขึ้นตามไปด้วย ส่วนข้อดีของท่อ Capillary Tube คือมีหลักการทำงานง่าย ไม่ยุ่งยาก ราคาถูกและระบบออกตัวได้ง่าย เพราะเมื่อหยุดระบบ ความดันของสารทำความเย็นในระบบของด้านความดันสูงสามารถไหลกลับทางด้านความดันต่ำของระบบได้จนมีความดันที่เท่ากัน

3.33 อุปกรณ์เสริมอื่น ๆ ของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกเหนือจากอุปกรณ์หลักที่สำคัญในระบบเครื่องทำความเย็น เช่น เครื่องอัด, เครื่องควบแน่น, เครื่องระเหย, และวาล์วขยาย ในวงจรการทำความเย็นของระบบยังต้องประกอบด้วยอุปกรณ์เสริมอื่น ๆ ซึ่งบางตัวอาจจะมีความสำคัญและจำเป็นที่จะต้องติดตั้งในบางระบบและไม่จำเป็นเลยสำหรับเครื่องทำความเย็นอีกระบบหนึ่งซึ่งรายละเอียดของอุปกรณ์มีดังนี้

3.33.1 Filter Drier

ตามปกติ Filter ทำด้วยสารซึ่งสามารถให้สารทำความเย็นผ่านได้ แต่จะป้องกันดูดความชื้น ฝุ่นผง หรือสิ่งสกปรกอื่น ๆ ที่ติดมากับสารทำความเย็นในระบบไม่ให้ผ่านไปได้ ซึ่งอาจจะมีตะแกรงทำหน้าที่แทน Filter ตะแกรงกรองนี้ทำด้วยลวดเล็ก ๆ สานเป็นตะแกรง ปิดหัวปิดท้ายของสารดูดความชื้น ซึ่งถ้าตะแกรงกรองนี้อยู่ในตัวเดียวกันกับ Drier แล้วจะเรียกรวม ๆ กันว่า Filter Drier ในส่วนของ Drier หรือสารดูดรับความชื้นโดยทั่วไปจะใช้ Silica Gel, Calcium Sulphate, Alumina Gel เป็นต้น ซึ่งสารดูดรับความชื้นทุกชนิดที่กล่าวมานี้จะมีคุณสมบัติในการดูดความชื้น ตะกอน และกรด ออกจากสารทำความเย็นที่ไหลเวียนอยู่ในระบบ Filter Drier จะติดตั้งอยู่ที่ท่อสารทำความเย็นเหลวก่อนที่จะผ่านวาล์วขยายเพื่อทำหน้าที่ดูดซับความชื้นในระบบที่หลงเหลืออยู่ไม่ให้เข้าไปอุดตันวาล์วขยาย และตำแหน่งที่ติดตั้งจะต้องอยู่ในบริเวณไม่ปะทะด้วยลมร้อนเพราะสารดูดรับความชื้นจะมีประสิทธิภาพในการรับความชื้นได้มากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ แต่ ถ้าการติดตั้งอยู่ในตำแหน่งปะทะลมร้อนประสิทธิภาพการดูดความชื้นก็จะต่ำ

3.33.2 กระจกมองสารทำความเย็น (Sight Glasses)

กระจกมองสารทำความเย็น เป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งในระบบเพื่อใช้สำหรับมองดูสารทำความเย็นภายในระบบว่าปริมาณสารทำความเย็นที่ไหลเวียนในระบบเพียงพอหรือไม่ ซึ่งปกติจะติดตั้งอยู่ตำแหน่งท่อสารทำความเย็นเหลว ซึ่งถ้าปริมาณสารทำความเย็นที่เติมในระบบไม่ขาดและเครื่องควบแน่นมีความสามารถในการถ่ายเทความร้อนให้เป็นสารทำความเย็นเหลวหมด ก็จะเห็นสารทำความเย็นใสวิ่งผ่านกระจก เช่นเดียวกันถ้าปริมาณสารทำความเย็นเหลวในระบบมีปริมาณน้อยหรือความสามารถในการถ่ายเทความร้อนที่เครื่องควบแน่นไม่เพียงพอทำให้สารทำความเย็นควบแน่นเป็นของเหลวไม่หมดก็จะปรากฏเห็นฟองอากาศวิ่งผ่านกระจกซึ่งที่กระจกมองสารทำความเย็นจะมีแถบสีที่แสดงถึงปริมาณความชื้นภายในระบบด้วย

3.33.3 อุปกรณ์แยกน้ำมัน (Oil Separate)

ในขณะที่เครื่องอัดทำงานอัดสารทำความเย็น ก็จะอัดเอาน้ำมันจำนวนเล็กน้อยติดไปในระบบด้วย ซึ่งถ้าเป็นระบบที่มีขนาดไม่เกิน 5 ตัน และเดินท่อระบบไม่เกิน 10 เมตร น้ำมันที่ถูกอัดพร้อมไปกับสารทำความเย็นก็จะถูกดูดกลับมาทางด้านดูดของเครื่องอัดได้โดยไม่มีปัญหาในการทำงานแต่ถ้าระบบที่มีขนาดใหญ่และต้องเดินท่อระบบไกลมาก ๆ ก็จำเป็นจะต้องติดตั้งอุปกรณ์แยกน้ำมันเพื่อป้องกันน้ำมันหล่อลื่นภายในเครื่องอัดมีปริมาณไม่เพียงพอสำหรับการหล่อลื่นชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ การที่มีน้ำมันหล่อลื่นไหลผ่านเข้าไปภายในท่อสารทำความเย็นมีข้อเสียคือน้ำมันที่เข้าไปเคลือบผิวภายในท่อจะกลายเป็นฉนวน ทำให้การถ่ายเทความร้อนผ่านผิวท่อมีประสิทธิภาพลดลง อุปกรณ์แยกน้ำมันจะติดตั้งอยู่ระหว่างเครื่องอัดและเครื่องควบแน่น ซึ่งจะทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าที่แยกน้ำมันหล่อลื่นเครื่องอัดที่ถูกอัดติดมากับสารทำความเย็น แล้วน้ำมันส่วนนี้จะถูกส่งกลับไปยังเครื่องอัดโดยตรง

3.33.4 ท่ออ่อนกันสะเทือน

การทำงานของระบบเครื่องทำความเย็น เครื่องอัดเป็นอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือน ถ้าหากท่อทางเดินสารทำความเย็นเป็นท่อแข็งทั้งหมด การสั่นสะเทือนส่งผลให้เกิดการแตกร้าวตามข้องอและจุดเชื่อมต่อต่าง ๆ เพื่อเป็นการแก้ปัญหาดังกล่าว การออกแบบติดตั้งเครื่องทำความเย็นจึงอาจใช้ท่ออ่อนกันสะเทือน ซึ่งติดตั้งในช่วงท่อด้านอัดและท่อด้านดูดของเครื่องอัด แต่สำหรับเครื่องทำความเย็นขนาดเล็กจะใช้การขดท่อเพื่อช่วยลดการสั่นสะเทือนของเครื่องอัดได้

3.33.5 วาล์วบริการ

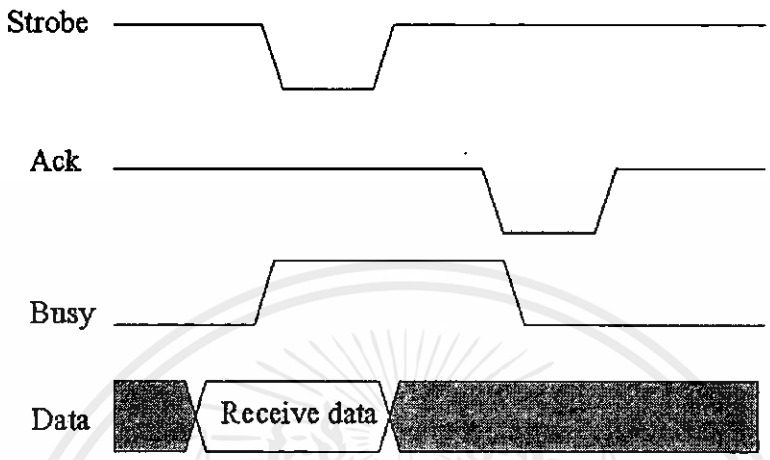
ในการตรวจสอบระบบเพื่อการซ่อมหรือบริการ จะต้องต่อเกจแมนิโฟลด์กับวาล์วบริการนี้ เพื่อวัดความดันในระบบหรือทำสุญญากาศหรือเติมสารทำความเย็นเข้าระบบ

3.34 วิธีการเชื่อมต่อบอร์ดควบคุมกับคอมพิวเตอร์

การเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกกับคอมพิวเตอร์เป็นช่องทางหนึ่งที่สามารถนำอุปกรณ์ภายนอกมาต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อรับส่งข้อมูลกันซึ่งมีหลายรูปแบบตัวอย่างเช่น การขับหลอดไฟแสดงผล การรับข้อมูลดิจิตอลจากสวิทซ์ การรับส่งข้อมูลเพื่อขับโหลดกระแสสูงผ่านรีเลย์ การขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์เป็นต้น การประมวลผลเพื่องานควบคุมนั้น สิ่งแรกที่ต้องมีคือ ส่วนของสัญญาณอินพุตซึ่งอาจจะมาจากตัวตรวจจับต่าง ๆ ผ่านวงจรภาคหน้าเพื่อเปลี่ยนรูปสัญญาณอินพุตให้เหมาะสมกับการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ เมื่อข้อมูลอินพุตถูกส่งเข้าสู่คอมพิวเตอร์แล้ว คอมพิวเตอร์จะทำการประมวลข้อมูลที่ได้มาเหล่านั้นให้อยู่ในรูปที่เหมาะสมก่อนส่งออกไปยังภายนอกผ่านอุปกรณ์เอาต์พุต ซึ่งอาจเป็นการส่งออกไปยังจอภาพ หรือส่งออกไปยังจุดเชื่อมต่ออื่น ๆ เพื่อควบคุมอุปกรณ์เอาต์พุตต่อไป การเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกทั้งส่วนของภาคอินพุตและภาคเอาต์พุต สามารถทำได้หลายวิธีตัวอย่างเช่น เชื่อมต่อผ่านทางการ์ดอินพุตเอาต์พุต เชื่อมต่อผ่านพอร์ตขนาน เชื่อมต่อผ่านพอร์ตอนุกรม หรือต่อผ่านระบบมาตรฐานอื่น ๆ เช่น พอร์ต USB, พอร์ต SCSI หรือพอร์ต GAME เป็นต้น ในที่นี้จะอธิบายถึงลักษณะการเชื่อมต่อที่นิยมใช้ 2 แบบ คือ [22]

1. การเชื่อมต่อผ่านพอร์ตขนาน ลักษณะการถ่ายทอดข้อมูลเป็นแบบขนานซึ่งทำให้อัตราการถ่ายถอดข้อมูลสูงกว่าการถ่ายทอดข้อมูลแบบอนุกรมประมาณ 8-10 เท่า การประมวลข้อมูลส่วนใหญ่จะมีขนาด 8 บิต ดังนั้นพอร์ตขนานจึงสามารถรองรับการถ่ายทอดข้อมูล 8 บิตได้โดยไม่ต้องต่อส่วนเพิ่มเติม รูปแบบการทำงานของพอร์ตขนาน ตัวอย่างเช่น การสั่งพิมพ์งานจากเครื่องคอมพิวเตอร์ไปยังพอร์ตขนาน จะมีสัญญาณที่ใช้งานจริง ดังแสดงในรูปที่ 3.58 เริ่มจากสัญญาณพอร์ต Data ถูกส่งออกไปยังเครื่องพิมพ์พร้อมทั้งส่งสัญญาณ Strobe ออกไปด้วยเพื่อให้

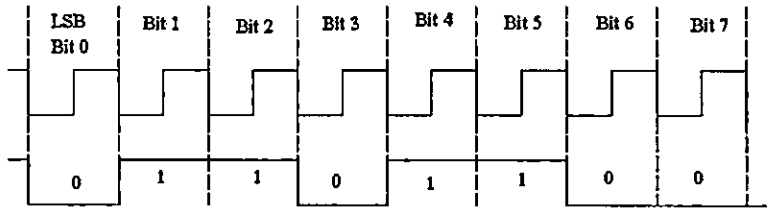
เครื่องพิมพ์รับรู้ว่ามีการส่งข้อมูลใหม่มาที่ขา Data แล้ว จากนั้นคอมพิวเตอร์จะรอการตอบกลับจากเครื่องพิมพ์ นั้นคือเครื่องพิมพ์จะสร้างสัญญาณ Busy เพื่อบอกว่าเครื่องพิมพ์ยังไม่พร้อมที่จะรับข้อมูลใหม่ จนกระทั่งเมื่อเครื่องพิมพ์พร้อม เครื่องพิมพ์จะสร้างสัญญาณ ARK ส่งไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อแจ้งว่าพร้อมที่จะรับข้อมูลใหม่แล้ว



รูปที่ 3.58 ไดอะแกรมเวลาของการส่งข้อมูลไปยังเครื่องพิมพ์

2. การเชื่อมต่อผ่านพอร์ตอนุกรม ในการเคลื่อนย้ายข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยังอุปกรณ์อื่น ๆ แบบอนุกรม เป็นการรับส่งข้อมูลครั้งละ 1 บิต แต่ก็สามารถรับส่งข้อมูลได้คราวละหลาย ๆ บิตได้ หากแต่ต้องมีการตกลงระหว่างตัวส่งและตัวรับว่าจะรับส่งข้อมูลคราวละกี่บิต ตัวรับจะต้องรอข้อมูลมาให้ครบทุกบิตเสียก่อนจึงจะทำการประมวลผล ส่งผลให้การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมอาจมีความเร็วต่ำกว่าแบบขนาน ในด้านจำนวนสายสัญญาณการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมจะใช้จำนวนสายที่น้อยกว่ามาก ซึ่งอย่างน้อยสุดใช้เพียง 2-3 เส้นเท่านั้น การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมสามารถใช้สายสัญญาณที่มีความยาวมากกว่าแบบขนาน ทำให้ระยะทางในการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมสามารถทำได้มากกว่า การสื่อสารแบบอนุกรมนั้นแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือการสื่อสารอนุกรมแบบซิงโครนัสและการสื่อสารแบบอะซิงโครนัส การสื่อสารแบบซิงโครนัสจะมีสัญญาณนาฬิการ่วมอยู่กับการรับและส่งสัญญาณด้วย ตัวอย่างการส่งข้อมูลแบบซิงโครนัสก็คือดีร์บอร์ดของคอมพิวเตอร์ ซึ่งสายเส้นหนึ่งจะเป็นสายของสัญญาณนาฬิกา ส่วนสายอีกเส้นจะเป็นสายของข้อมูล ดังนั้นการติดต่อกันแบบซิงโครนัสจะต้องใช้สายในการเชื่อมต่ออย่างน้อยที่สุด 3 เส้น คือ สัญญาณนาฬิกา ข้อมูล และกราวด์ ดังแสดงในรูปที่ 3.59 ส่วนการสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัสเป็นการรับส่งข้อมูลไปในแบบเดียวกันโดยไม่จำเป็นต้องมีสัญญาณนาฬิการ่วมอยู่ด้วย แต่จะใช้การกำหนดค่าสัญญาณนาฬิกาทั้งภาครับและภาคส่งให้มีค่าเท่ากัน ซึ่งเรียกสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ในการกำหนดค่าให้ภาครับและภาคส่งว่า อัตราการถ่ายทอดข้อมูล หรือ บอดเรต (Baud Rate) มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.59 Timing ของการส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส

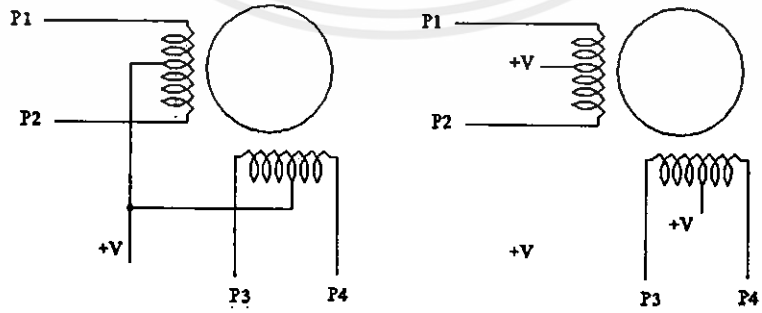
3.34.1 การส่งและอ่านข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรม RS 485

RS-485 ได้รับการออกแบบให้รองรับมาตรฐาน TIA/EIA-485-A [21] ซึ่งมีจุดเด่นที่สำคัญคือ สามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์ได้มากกว่า 2 ตัว (โดยทั่วไปกำหนดอยู่ที่ 32 ตัว) เพื่อทำการสื่อสารข้อมูลร่วมกัน และระยะห่างไกลสุดระหว่างอุปกรณ์ภายในเครือข่ายอยู่ที่ประมาณ 1.2 กิโลเมตร ขึ้นอยู่กับความสามารถของอุปกรณ์ไอซีที่ทำหน้าที่เป็นตัวขับสัญญาณ ด้วยคุณสมบัติ 2 ข้อนี้ ทำให้มีความเหมาะสมกับการนำไปใช้งานในระบบสื่อสารข้อมูลภายในเครือข่ายไมโครคอนโทรลเลอร์ได้เป็นอย่างดี การเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ เข้ากับสายบัสข้อมูลเป็นเครือข่ายประกอบด้วยอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นเพียงตัวส่งหรือสร้างข้อมูล (Generator : G) เท่านั้น ไม่สามารถรับข้อมูลได้ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวรับข้อมูล (Receiver : R) เพียงอย่างเดียว และอุปกรณ์ที่สามารถทำได้ทั้งส่งและรับข้อมูลภายในตัวเดียวกัน เรียกว่า Transceiver อุปกรณ์ทั้งหมดถูกเชื่อมต่อเข้ากับสายไฟฟ้าซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวกลางรับส่งข้อมูล หรือบัสข้อมูล มีจำนวน 2 เส้น ควรเลือกสายไฟฟ้าที่มีชีลด์ห่อหุ้มภายนอกเพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนโดยที่ปลายทั้ง 2 ด้านของบัสข้อมูลถูกต่อคร่อมด้วยตัวความต้านทาน RT (Termination Resistor) เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนภายนอกที่อาจกระโดดเข้ามาที่ปลายสายได้ หากปล่อยลอยทิ้งไว้ ซึ่งค่าของความต้านทานที่มาตรฐานนี้ระบุไว้คือ 50 โอห์ม ข้อมูลดิจิตอลที่ถูกส่งจากตัวส่งข้อมูลลงไปในบัส จะอยู่ในรูปของค่าแตกต่างของแรงดันไฟตรง (DC Voltage Difference) ระหว่างสายสัญญาณทั้งสองเส้น เมื่อต้องการส่งข้อมูลลอจิก 1 อุปกรณ์ภาคขับสัญญาณข้อมูลจะควบคุมให้แรงดันเส้นหนึ่งมากกว่าอีกเส้น ซึ่งตามมาตรฐานระบุขั้นต่ำไว้ที่ 0.2 โวลต์ ส่วนลอจิก 0 ก็จะเป็นตรงกันข้าม

อุปกรณ์ภาคขับสัญญาณข้อมูลที่มีใช้กันทั่วไปได้รับการออกแบบให้สามารถสร้างค่าแตกต่างทางแรงดันได้มากกว่า 0.2 โวลต์ เพื่อให้สามารถใช้งานได้ที่ระยะห่างไกลมาก ๆ ได้ เพราะการรับส่งข้อมูลที่ระยะทางไกล ๆ นั้น จะมีปัญหาเรื่องแรงดันตกเนื่องจากความต้านทานภายในบัสข้อมูล ดังนั้นอุปกรณ์ขับสัญญาณจะต้องมีความสามารถในการจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านบัสเพื่อให้แรงดันที่ปรากฏอยู่ที่ตัวรับข้อมูลนั้น มีค่าอยู่ที่ระดับที่สามารถจำแนกได้ว่าเป็นสัญญาณข้อมูลลอจิก 0 หรือ ลอจิก 1 ซึ่งก็คือ ต้องไม่ต่ำกว่า 0.2 โวลต์ ผู้เขียนเลือกใช้ไอซีเบอร์ SN75176 (Differential Bus Transceiver) เป็นตัวขับสัญญาข้อมูล โดยสามารถจ่ายกระแสได้สูงถึง 60 มิลลิแอมป์ทำให้สามารถใช้กับระยะทางไกลได้

3.35 การทำงานของ Stepper Motor

Stepper Motor เป็นมอเตอร์ที่มีลักษณะการทำงานแตกต่างจากจากมอเตอร์ทั่วไปเพราะจะต้องป้อนสัญญาณเป็นพัลส์ให้แก่ขดลวดของมอเตอร์เป็นจังหวะอย่างเหมาะสม และการหมุนของมอเตอร์ชนิดนี้จะหมุนเป็นจังหวะพัลส์ที่ป้อนมา ไม่หมุนต่อเนื่องเหมือนมอเตอร์ทั่วไป ทำให้ผู้ควบคุมสามารถเลือกตำแหน่งที่ต้องการให้มอเตอร์หยุดหมุนได้ จังหวะการหมุนของ Stepper Motor เรียกว่า Step ความละเอียดของมอเตอร์กำหนดเป็นองศาที่หมุนไปในหนึ่ง Step หากมอเตอร์มีองศาต่อ Step มาก หมายความว่ามอเตอร์ตัวนี้มีความละเอียดของการหมุนต่ำ ตัวอย่างเช่น การหมุน 1 รอบเท่ากับ 360 องศา หากมอเตอร์มี Step การหมุนเท่ากับ 7.5 องศาต่อ Step มอเตอร์ตัวนี้มีความละเอียดของการหมุนเท่ากับ 48 ตำแหน่ง แต่ถ้ามี Step การหมุนเท่ากับ 1.8 องศาต่อ Step จะมีความละเอียดของการหมุนเท่ากับ 200 ตำแหน่ง จะเห็นได้ว่ามอเตอร์ตัวหลังมีความละเอียดสูงกว่ามอเตอร์ตัวแรกมาก ทำให้การนำไปใช้งานที่ต้องการกำหนดตำแหน่งได้ดีกว่าและแม่นยำกว่า ถ้านำมาผนวกกับวงจรขับแบบ Haft Step ความละเอียดของการหมุนจะเพิ่มขึ้นไปสองเท่า ทำให้มีความละเอียดของการหมุนกลายเป็น 400 ตำแหน่ง Stepper Motor ที่มีการผลิตและจำหน่ายอยู่ทั่วไป มีตั้งแต่ขนาดแรงดันต่ำ 3 V ไปจนถึง 24 V ส่วนขนาดกระแสมีตั้งแต่ไม่กี่สิบมิลลิแอมป์อันเป็น Stepper Motor ตัวเล็ก ไปจนถึงเป็นสิบแอมป์ ซึ่งขนาดมอเตอร์ก็จะใหญ่โตขึ้นตามลำดับ Stepper Motor ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง จนในปัจจุบัน Stepper Motor ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุด และหาได้ง่าย คือ Stepper Motor แบบ Uni –Polar Stepper Motor มีลักษณะการพันขดลวดของมอเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 3.60 Stepper Motor แบบนี้มีการพันขดลวด 2 ขด บนแต่ละขดลวดของขั้วแม่เหล็กของ Stator แต่ละขดลวดแบ่งเป็น 2 เฟส รวมมอเตอร์ทั้งตัวมีทั้งหมด 4 เฟส คือ เฟส 1, 2,3 และ 4 มีการต่อสายออกมาจากขดลวดแต่ละขดเพื่อจ่ายไฟเลี้ยงทำให้ Stepper Motor แบบนี้มีทั้งแบบ 5 สาย และ 6 สาย จะเป็นการนำเอาขดลวดทั้งสองมาต่อรวมกันเป็นสายเดียว



รูปที่ 3.60 โครงสร้างพื้นฐานของ Step Motor ชนิด ยูนิโพล่าร์แบบ 5 และ 6 สาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.35.1 การกระตุ้นและควบคุมการหมุนของ Stepper Motor

การกระตุ้นและควบคุมการหมุนของ Stepper Motor ให้เคลื่อนที่ไปแต่ละ Step ทำได้โดยการจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังขดลวดแต่ละขดบน Stator ซึ่งต้องป้อนเป็นซีเควนเชียลในรูปแบบที่ถูกต้องด้วย สามารถแบ่งได้เป็น 3 รูปแบบดังต่อไปนี้

1. Full Step 1 Phase เป็นการกระตุ้นที่มีรูปแบบที่ง่ายสุดโดยทำการกระตุ้นทีละขดในเวลาที่ไล่เรียงถัดกันไป เช่น เริ่มต้นที่ขดที่ 1, 2, 3, 4, แล้ววนกลับมาขดที่ 1 วนไปเรื่อย ๆ หรือเริ่มที่ขดที่ 1 แล้วย้อนไปยังขดที่ 4, 3, 2, แล้วกลับมาที่ขด 1 อีกครั้ง ซึ่งทำให้ทิศทางการหมุนสวนกัน ในการกระตุ้นแบบนี้จะมีขดลวดเพียงขดเดียวในเวลาหนึ่งที่ถูกกระตุ้นเท่านั้นวงจรแบบนี้มีราคาถูกและง่าย ขั้นตอนการทำงานแสดงดังในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 แสดงการกระตุ้นแบบ Full Step 1 Phase

Step ที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	ทำงาน	-	-	-
2	-	ทำงาน	-	-
3	-	-	ทำงาน	-
4	-	-	-	ทำงาน

2. Full Step 2 Phase เป็นการกระตุ้นที่มีลักษณะคล้ายแบบ 1 เฟส แต่การกระตุ้นแบบนี้จะกระทำการกระตุ้นโดยจ่ายกำลังไฟฟ้าไปที่ 2 ขดลวด ที่อยู่ใกล้กันในเวลาเดียวกันและเรียงถัดกันไปเช่นเดียวกับแบบที่ 1 ดัง ตัวอย่างเช่น ขดลวดชุดแรกที่ถูกกระตุ้นจะเป็นขดที่ 1 และ2 ตามด้วยการกระตุ้นขดที่ 2 และ 3 ต่อไปเป็นขดที่ 3 และ 4 ถัดไปเป็นขดที่ 4 และ 1 แล้วกลับมาที่ขด 1 และ 2 วนตามลำดับเช่นนี้ หากต้องการทิศทางการหมุนที่สวนกลับทางกัน ให้เริ่มกระตุ้นที่ขดขวด 1 และ 4 ถัดไปเป็นขดลวด 4 และ 3 ถัดไปเป็นขดลวด 3 และ 2 ถัดไปเป็นขดลวด 2 และ 1 แล้วกลับไปที่ขดที่ 1 และ 4 การกระตุ้นแบบนี้จะสามารถเพิ่มแรงบิดได้ดีกว่าแบบที่ 1 ตัวโรเตอร์จะเคลื่อนที่ด้วยแรงดึงอย่างเต็มแรงจาก 2 ขดลวดที่ถูกกระตุ้นพร้อมกัน และต่อไปเป็นแรงดึงจากอีก 2 ขดลวดถัดไป สำหรับข้อเสียคือ กระกระตุ้นแบบนี้ต้องใช้กำลังไฟฟ้ามากขึ้นขั้นตอนการทำงานต่าง ๆ แสดงดังในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 แสดงการกระตุ้นแบบ Full Step 2 Phase

Step ที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	ทำงาน	ทำงาน	-	-
2	-	ทำงาน	ทำงาน	-
3	-	-	ทำงาน	ทำงาน
4	ทำงาน	-	-	ทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Haft Step เป็นการกระตุ้นผสมผสานระหว่างแบบที่ 1 และแบบที่ 2 เพื่อเพิ่มจำนวน Step ต่อรอบอีกเท่าตัว ในระบบนี้จะทำการกระตุ้นขดลวดเรียงกันไปเป็นลำดับดังนี้ เริ่มจากขดลวดที่ 1, 1 และ 2, 2, 2 และ 3, 3, 3 และ 4, 4, 4 และ 1 แล้ววนกลับมายังขดลวดที่ 1 แรงบิดที่ได้จากการกระตุ้นแบบนี้จะเพิ่มขึ้นมากอีก เพราะช่วง Step มีช่วงสั้นลงแต่ละ Step เกิดแรงดึงจากขดลวด 2 ขดที่ถูกกระตุ้นพร้อมกัน ความถูกต้องของตำแหน่งมีเพิ่มขึ้นแต่ต้องพึงระวังไว้อย่างหนึ่งว่าเมื่อกระตุ้นให้ทำงานในรูปแบบนี้จะต้องทำการหมุนถึง 2 Step จึงจะได้เท่ากับ 1 Step ของการควบคุมใน 2 แบบแรก สำหรับแหล่งจ่ายกำลังไฟต้องใช้ขนาดเท่ากับแบบ 2 เฟส เป็นอย่างน้อยจึงจะเพียงพอ ขั้นตอนทำงานแสดงในดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 แสดงการกระตุ้นแบบ Haft Step

Step ที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	ทำงาน	-	-	-
2	ทำงาน	ทำงาน	-	-
3	-	ทำงาน	-	-
4	-	ทำงาน	ทำงาน	-
5	-	-	ทำงาน	-
6	-	-	ทำงาน	ทำงาน
7	-	-	-	ทำงาน
8	ทำงาน	-	-	ทำงาน

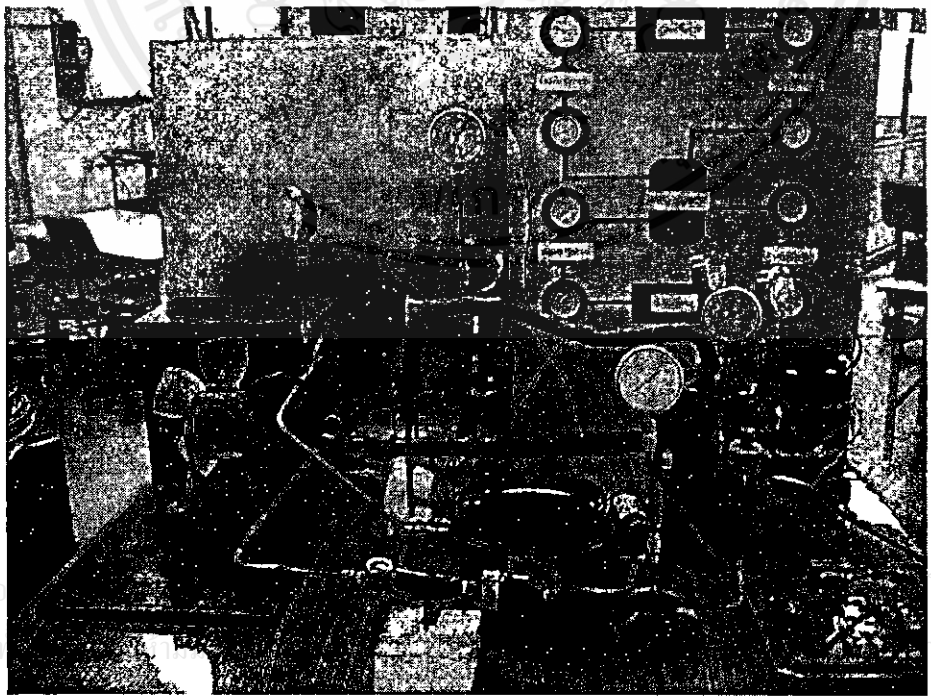
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การออกแบบระบบและวิธีการทดลอง

4.1 บทนำ

จุดประสงค์หลักของงานวิจัยนี้คือ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการทำงานและออกแบบระบบเครื่องทำความเย็นระบบอัดสองขั้นให้สามารถทำงานที่อุณหภูมิต่ำด้วยประสิทธิภาพสูง โดยมุ่งเน้นไปที่การควบคุมความดันทำงานของสารทำความเย็นที่อุปกรณ์ต่าง ๆ อย่างเหมาะสม ควบคู่ไปกับการควบคุมอัตราการไหลของสารทำความเย็นของทั้งสองวัฏจักรให้มีความสัมพันธ์กัน พอดีกับภาระที่เกิดขึ้นในระบบ ส่วนการควบคุมอัตราการไหลของสารทำความเย็นในระบบนั้นได้ทำการทดลองเพื่อหาสมการในการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อควบคุม Electronic Expansion Valve ให้สามารถทำงานโดยอัตโนมัติ ควบคู่ไปกับการควบคุมความเร็วรอบการทำงานของเครื่องอัดโดยใช้ Inverter เป็นตัวปรับความถี่ ในส่วนอุปกรณ์หลักอื่น ๆ ที่ต้องให้ความสำคัญในการออกแบบเป็นพิเศษประกอบไปด้วย เครื่องระเหย, เครื่องควบแน่น, หอผสม, และเครื่องอัด ในส่วนของการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบนั้นอาศัยมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 1235-2537 ตู้เย็นพาณิชย์) ข้อมูลที่ทำการวัดเพื่อใช้ในการวิเคราะห์การทำงานของระบบประกอบไปด้วย ความดัน, อุณหภูมิ, ณ จุดต่าง ๆ และกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับระบบ



รูปที่ 4.1 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอ... โยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ... รนำไปใช้

4.2 อุปกรณ์และการออกแบบระบบเครื่องทำความเย็น

4.2.1 เครื่องระเหย

การออกแบบเครื่องระเหย ต้องคำนึงถึงสิ่งต่อไปนี้คือ

1. วงจรท่อสารทำความเย็น จำนวนแถวและขนาดของท่อที่ใช้ในการออกแบบนั้นต้องคำนึงถึงความดันลดที่เกิดขึ้น พื้นที่ผิวเพียงพอต่อการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อน

2. จำนวนครีบ จำนวนครีบที่ออกแบบส่งผลต่อประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสารทำความเย็นกับสิ่งที่ต้องทำความเย็น ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนจะเพิ่มขึ้นถ้าจำนวนครีบมากถึงค่าหนึ่งผลเนื่องจากพื้นที่ผิวที่เพิ่มขึ้น แต่จำนวนครีบที่เพิ่มขึ้นก็มีผลเสียเนื่องจากจะเป็นตัวกั้นกระแสลมที่ไหลผ่านและเกิดการอุดตันได้ง่ายเมื่อใช้งานไปได้ระยะเวลาหนึ่ง และถ้าใช้ในงานที่มีอุณหภูมิต่ำการอุดตันที่เกิดจากคอยล์เป็นน้ำแข็งก็จะสูงขึ้น

3. ทิศทางการไหลของลม การไหลของลมที่ผ่านเครื่องระเหยมีผลต่อการแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นอย่างมาก การออกแบบทิศทางการไหลของลมนั้นต้องให้กระแสลมเย็นสัมผัสกับสารทำความเย็นอุณหภูมิต่ำเพื่อให้ลมที่ผ่านคอยล์ออกไปมีอุณหภูมิต่ำ

4. วัสดุที่ใช้ ในส่วนของท่อสารทำความเย็นโดยส่วนใหญ่ทำจากทองแดง ส่วนครีบทำจากอลูมิเนียม ซึ่งการออกแบบนั้นคำนึงถึงสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและราคาของวัสดุ ค่าสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อนของวัสดุที่ใช้มีค่ามากประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนสูง

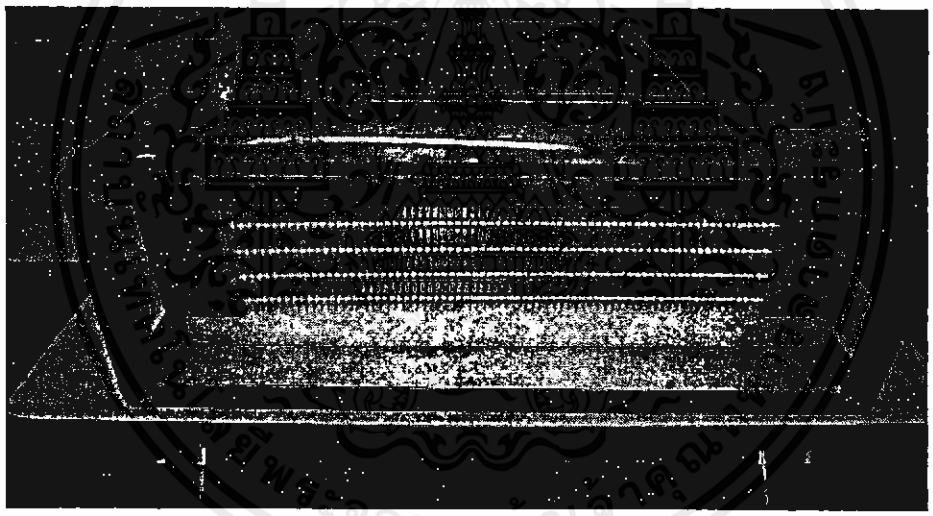
5. ชนิดพัดลมที่ใช้หมุนเวียนอากาศผ่านคอยล์นั้นต้องคำนึงถึงปริมาณลม ระยะการกระจายลม รวมถึงเสียงดังที่เกิดจากการทำงานต้องเกิดขึ้นน้อยที่สุด

สำหรับงานวิจัยนี้เลือกเครื่องระเหยแบบชดท่อและครีบ (Fined-Tube Coil) และใช้พัดลมเป็นตัวช่วยในการเพิ่มความเร็วลมที่ไหลผ่านชดท่อและครีบ ท่อสารทำความเย็นเป็นท่อทองแดง ครีบทำจากอะลูมิเนียม จำนวนครีบ 7 ครีบ/นิ้ว การออกแบบจำนวนครีบนั้นพิจารณาจากอุณหภูมิการใช้งานซึ่งงานที่ใช้อุณหภูมิต่ำควรเลือกจำนวนครีบน้อย ๆ เนื่องจากการใช้งานที่อุณหภูมิต่ำนั้นมักมีน้ำแข็งเกาะที่ตัวคอยล์ซึ่งเป็นตัวปิดกั้นกระแสลมที่ไหลทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนลดลง ปริมาณลมปานกลางโดยทั่วไปมีค่าประมาณ 500-800 ft/min ในส่วนของทิศทางลมนั้นได้ออกแบบให้สารทำความเย็นเหลวที่มีอุณหภูมิต่ำสัมผัสกับลมที่มีอุณหภูมิต่ำ เนื่องจากจะช่วยให้ลมออกมีอุณหภูมิต่ำกว่า ส่วนชนิดของพัดลมใช้แบบทรงกระรอก ซึ่งให้ความดันสูงดันอากาศผ่านได้ดี

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดการออกแบบเครื่องระเหย

รายการ	รายละเอียด
ชนิดพัดลม	Centrifugal
มอเตอร์พัดลม	220 โวลท์ 50 Hz
จำนวน FIN	7 Fin / Niches
ชนิดของ FIN	Corrugate Fin
พื้นที่คอยล์	0.105 sq.m
ขนาดท่อทองแดง	3/8 INCHES
ชนิดของท่อทองแดง	Plain Tube
จำนวนวงจร	1 วงจร
จำนวนแถว	4 แถว



รูปที่ 4.2 แสดงเครื่องระเหย

4.2.2 เครื่องควบแน่น

เครื่องควบแน่น เป็นอุปกรณ์ใช้สำหรับระบายความร้อนเพื่อให้ไอสารทำความเย็นควบแน่นเป็นของเหลว สำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้เครื่องควบแน่นชนิดที่ระบายความร้อนด้วยอากาศ จำนวนวงจรท่อสารทำความเย็น 1 วงจร 5 แถว ความสามารถในการระบายความร้อนของเครื่องควบแน่นคำนวณจาก

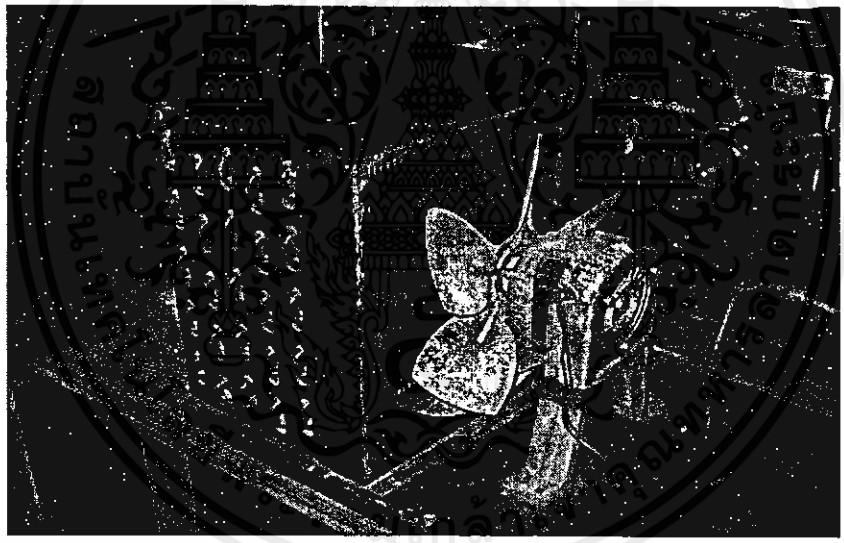
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาระเครื่องควบแน่น = ความสามารถเครื่องอัด x ตัวประกอบการถ่ายเทความร้อน

ภาระเครื่องควบแน่น = 1296 x 1.5 = 1944 Btu/hr

ตารางที่ 4.2 รายละเอียดการออกแบบเครื่องควบแน่น

รายการ	รายละเอียด
ชนิดพัดลม	Propeller 6 Inch
มอเตอร์พัดลม	220 โวลท์ 50 Hz
จำนวน FIN	7 Fin / Niches
ชนิดของ FIN	Corrugate Fin
พื้นที่คอยล์	0.08 sq.m
ขนาดท่อทองแดง	3/8 Inches
ชนิดของท่อทองแดง	Plain Tube
จำนวนวงจร	1 วงจร
จำนวนแถว	5 แถว



รูปที่ 4.3 แสดงเครื่องควบแน่น

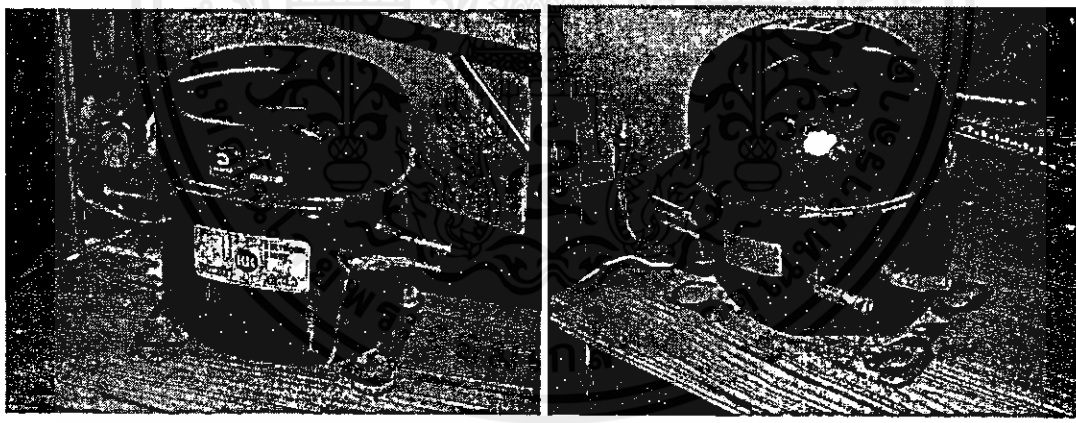
4.2.3 เครื่องอัด

เครื่องอัด สำหรับงานวิจัยนี้ใช้ชนิด Hermetic แบบลูกสูบ ซึ่งเป็นชนิดที่มีมอเตอร์ และเครื่องอัด อยู่ภายในตัวเรือนที่เชื่อมปิดมิดชิดที่เลือกใช้ชนิดนี้เพราะ พื้นที่ติดตั้งน้อย น้ำหนักเบา ทำงานเสียงไม่ดัง ซึ่งเหมาะสำหรับเครื่องทำความเย็นชนิด ตู้เย็น ตู้แช่ ซึ่งในระบบนี้จะต้องใช้สองตัว คือ Model: AE3430Y, Displacement: 8.86 cm^3/r, Nominal Capacity: 2593 Btu/hr และ Model: AE 2415 AK Displacement: 16.08 cm^3/r, Nominal Capacity: 1296 Btu/hr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 รายละเอียดการออกแบบเครื่องอัด

รายการ	รายละเอียด
Model AE3430Y	Capacity 2,593 Btu
	Displacement 8.86 cm^3/r
Model AE 2415AK	Capacity 3,480 Btu
	Displacement 16.08 cm^3/r
โครงสร้าง	แบบปิดผนึก (Hermetic)
สารทำความเย็น	R-12
แรงดันของระบบแหล่งจ่ายไฟฟ้า	220 โวลท์
จำนวนเฟสของระบบแหล่งจ่ายไฟฟ้า	1 เฟส
ความถี่	50 Hz
กระแสขณะที่มอเตอร์ล็อค	7 A
ความดันในการผลิตที่ใช้ทดสอบ	25 kg/cm^2
ความดันที่ใช้ทดสอบความแข็งแรงของเปลือก Compressor	80 kg/cm^2

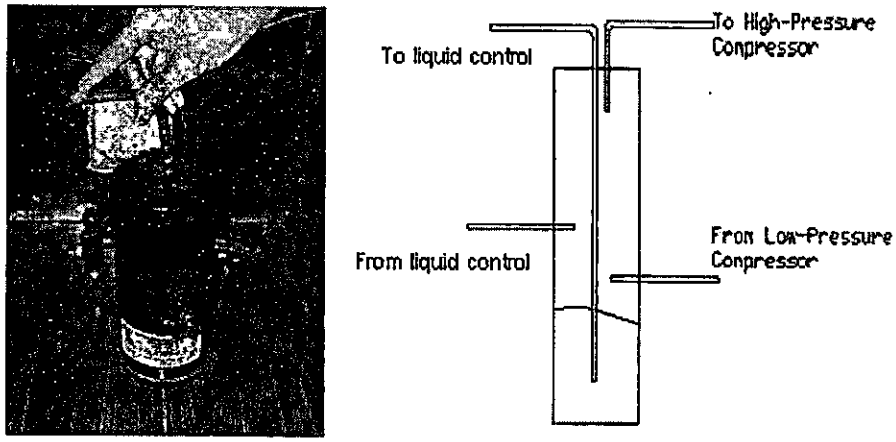


รูปที่ 4.4 แสดงเครื่องอัด

4.2.4 หอผสม

หอผสม เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับถ่ายเทความร้อนจากวัฏจักรความดันต่ำสู่วัฏจักรความดันสูง ตามที่ออกแบบไว้มีลักษณะทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว สูง 12 นิ้ว ซึ่งการออกแบบนั้นให้มีพื้นที่สำหรับสารทำความเย็นในสถานะก๊าซ 1 ใน 3 ของพื้นที่ทั้งหมด มีลักษณะแสดงดังรูปที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



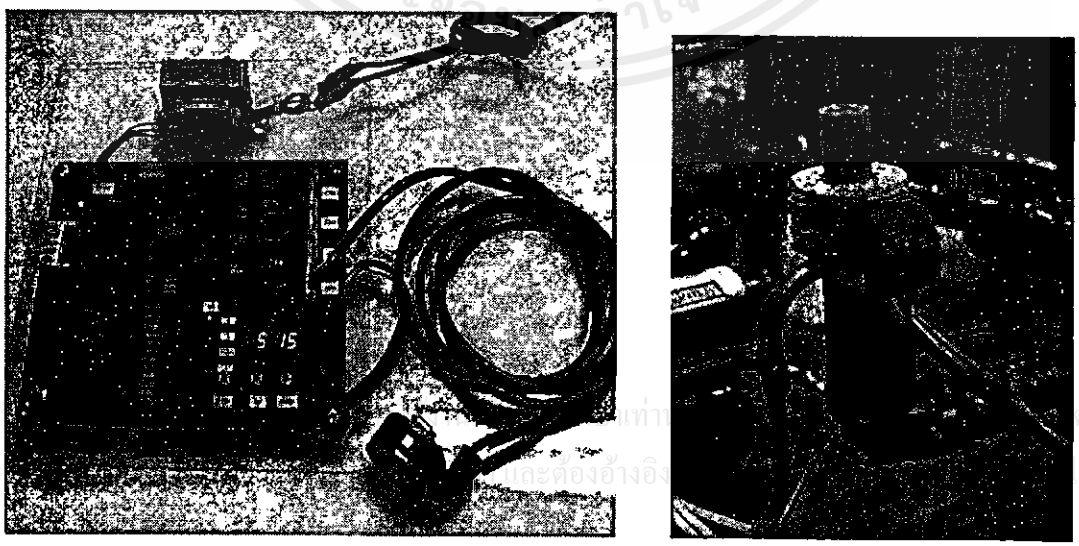
รูปที่ 4.5 แสดงหอผสม

ตารางที่ 4.4 รายละเอียดการออกแบบหอผสม

รายการ	รายละเอียด
เส้นผ่านศูนย์กลาง	4 Inches
ความสูง	12 Inches
วัสดุ	เหล็ก

4.2.5 วาล์วขยาย

ในการออกแบบนั้นใช้วาล์วชนิด Electronic Expansion Valve เนื่องจากมีคุณสมบัติดังนี้ คือ ง่ายต่อการออกแบบการควบคุม ใช้พลังงานไฟฟ้าในการควบคุมน้อย และตอบสนองในการทำงานรวดเร็ว



รูปที่ 4.6 แสดงวาล์วขยายชนิด Electronic Expansion Valve

ตารางที่ 4.5 รายละเอียดการออกแบบ Electronic Expansion Valve

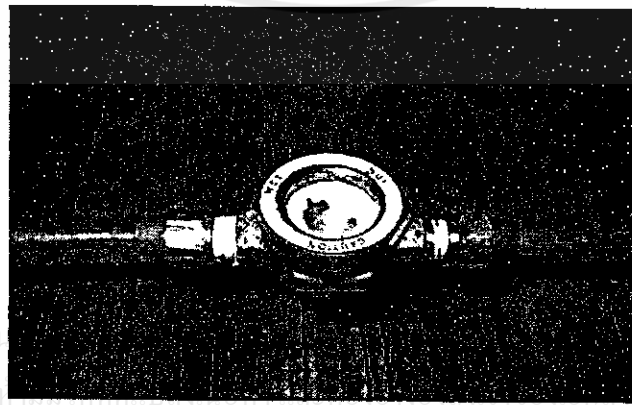
รายการ	รายละเอียด
ยี่ห้อ	SAGINOMIYA
ชื่อรุ่น	DKV - 13
ขนาดท่อต่อ (เส้นผ่านศูนย์กลาง)	1.4 mm
ความสามารถการทำความเย็น	0-12000 Btu/hr
ความดัน	0-23 Mpa
น้ำหนัก	0.09 kg
แรงดัน	24 โวลท์
กระแส	130 mA/ph
ระยะการควบคุม	0-480 Step

4.2.6 กระจกมองสารทำความเย็น

ใช้สำหรับสังเกตสารทำความเย็นที่ไหลภายในระบบว่ามีความชื้นและการไหลของสารทำความเย็นเต็มท่อหรือไม่ สำหรับในงานวิจัยติดตั้งสองตำแหน่งโดยติดตั้งก่อนตำแหน่งวาล์วขยายทั้งสองตัว

ตารางที่ 4.6 รายละเอียดการออกแบบกระจกมองสารทำความเย็น

รายการ	รายละเอียด
เส้นผ่านศูนย์กลาง	4 Inches
ความสูง	12 Inches
วัสดุ	เหล็ก



รูปที่ 4.7 แสดงกระจกมองสารทำความเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้ง ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.7 กรอง

มีหน้าที่ดูดความชื้นและกรองสิ่งสกปรกที่อยู่ภายในระบบ ซึ่งสิ่งสกปรกที่อยู่ในระบบจะส่งผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องอัด และจะทำให้วาล์วขยายเกิดการอุดตันได้ ซึ่งระบบนี้ใช้จำนวนสองตัว ติดตั้งที่ตำแหน่งก่อนวาล์วขยายทั้งสองตัว

ตารางที่ 4.7 รายละเอียดการออกแบบกรอง

รายการ	รายละเอียด
เส้นผ่านศูนย์กลาง	4 Inches
ความสูง	12 Inches
วัสดุ	เหล็ก

รูปที่ 4.8 แสดงกรอง

4.2.8 สารทำความเย็น

ชื่อตามมาตรฐาน ASHRAE R-12 ชื่อทางเคมี CCl_2F_2 จุดเดือดที่ความดันบรรยากาศ -29.8 °C คุณสมบัติสามารถละลายในน้ำมันได้ดีทุกสถานะ รหัสถังบรรจุน้ำยาสีขาว นิยมใช้สำหรับตู้เย็น เครื่องปรับอากาศรถยนต์ เป็นต้น

4.2.9 ท่อสารทำความเย็น

ในงานวิจัยนี้ใช้ท่อทองแดงซึ่งประกอบด้วยท่อต่าง ๆ ในระบบดังต่อไปนี้คือ

ท่อทางดูด โดยปกติท่อทางดูดต้องมีความระมัดระวังในการออกแบบมากกว่าท่อสารทำความเย็นในตำแหน่งอื่นเนื่องจาก การออกแบบขนาดของท่อทางดูดเล็กเกินไป ส่งผลให้เกิดความดันลดของสารทำความเย็นในท่อดูด ถ้าหากการออกแบบมีขนาดใหญ่เกินไปทำให้ความเร็วของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการใช้

สารทำความเย็นลดลงไม่สามารถนำน้ำมันหล่อลื่นไหลกลับเครื่องอัดได้ ในงานวิจัยนี้ออกแบบท่อทางดูดมีขนาด 3/8 นิ้ว

ท่อทางด้านอัด ขนาดท่อทางด้านอัดการออกแบบมีลักษณะคล้ายกับท่อทางดูด สิ่งที่เป็นตัวลดประสิทธิภาพและความสามารถของระบบคือความดันตกคร่อม จากการออกแบบท่อทางด้านอัดมีขนาด 3/8 นิ้ว

ท่อสารทำความเย็นเหลว เป็นเส้นทางการไหลของสารทำความเย็นเหลวก่อนไหลผ่านวาล์วขยาย ปัญหาส่วนใหญ่ที่พบคือการกลายเป็นไอของสารทำความเย็นก่อนที่สารทำความเย็นจะไหลผ่านวาล์วขยาย ในงานวิจัยนี้ออกแบบท่อของเหลวมีขนาด 1/4 นิ้ว

4.3 อุปกรณ์และการออกแบบระบบควบคุมการทำงาน

การควบคุมความดันและอัตราการไหลของสารทำความเย็นในเครื่องทำความเย็นระบบอัดสองขั้นผ่าน Electronic Expansion Valve โดยมีวิธีการดังนี้คือ ในส่วนของวัฏจักรความดันต่ำใช้อุณหภูมิของสารทำความเย็นที่ตำแหน่งท่อทางเข้าเครื่องระเหย และตำแหน่งท่อทางออกเครื่องระเหยเป็นตัวควบคุม Electronic Expansion Valve ซึ่งภายใต้สมมุติฐานที่ว่า การถ่ายเทความร้อนของสารทำความเย็นภายในเครื่องระเหย เป็นการแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีลักษณะเป็นความร้อนแฝง ซึ่งทำให้อุณหภูมิของสารทำความเย็นคงที่ ดังนั้นความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างตำแหน่งทางเข้าและตำแหน่งทางออกของเครื่องระเหยสามารถกำหนดเป็นค่าความร้อนยิ่งยวดก่อนที่สารทำความเย็นจะเข้าเครื่องอัดได้ ในส่วนของวัฏจักรความดันสูงนั้นต้องการควบคุมการทำงานของระบบให้มีความสอดคล้องกับวัฏจักรความดันต่ำอย่างเหมาะสม ดังนั้นการควบคุมการทำงานของ Electronic Expansion Valve จะใช้ตำแหน่ง ของ Electronic Expansion Valve ของวัฏจักรความดันต่ำเป็นตัวอ้างอิง ในส่วนของการควบคุมการทำงานของ Electronic Expansion Valve ของทั้งสองวัฏจักรนั้นทำการควบคุมผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะแสดงรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

ในส่วนของการควบคุมการทำงานของวัฏจักรความดันสูงโดยใช้ Electronic Expansion Valve เพียงอย่างเดียวนั้น ไม่สามารถควบคุมให้เกิดประสิทธิภาพการทำงานที่สูงได้เนื่องจากการควบคุมอัตราการไหลของสารทำความเย็นโดยใช้ Electronic Expansion Valve เพียงอย่างเดียวโดยที่เครื่องอัดยังทำงานด้วยความเร็วรอบคงที่สูงสุดนั้นจะไม่สามารถลดพลังงานที่ใช้ให้ประหยัดสูงสุดได้ การวิจัยจึงนำ Inverter มาควบคุมความเร็วรอบของเครื่องอัดให้ทำงานที่ให้ความประหยัดที่สุด

4.3.1 วิธีการเชื่อมต่อบอร์ดควบคุมกับคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเชื่อมต่อรับส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์กับบอร์ดผ่านพอร์ตอนุกรม RS 485 ซึ่งมีจุดเด่นที่สำคัญคือ สามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์ได้มากกว่า 2 ตัว (โดยทั่วไปกำหนดอยู่ที่ 32 ตัว) เพื่อทำการสื่อสารข้อมูลร่วมกันและระยะห่างไกลสุดระหว่างอุปกรณ์ภายในเครือข่ายอยู่ที่ประมาณ 1.2 กิโลเมตร ขึ้นอยู่กับความสามารถของอุปกรณ์ไอซีที่ทำหน้าที่เป็นตัวขับสัญญาณ ด้วย

คุณสมบัติ 2 ข้อนี้ทำให้มีความเหมาะสมกับการนำไปใช้งานในระบบสื่อสารข้อมูลภายในเครือข่ายไมโครคอนโทรลเลอร์ได้เป็นอย่างดี

4.3.2 ชุดแปลงสัญญาณ USB เป็นสัญญาณ RS485 มีคุณสมบัติดังนี้ คือ

1. สามารถใช้ได้กับ USB 1.1 และ USB 2.0

2. Data rate 1 Mbps (สามารถใช้งานได้ตั้งแต่ Baud Rate 300 BPS ถึง 128 K หรือมากกว่า

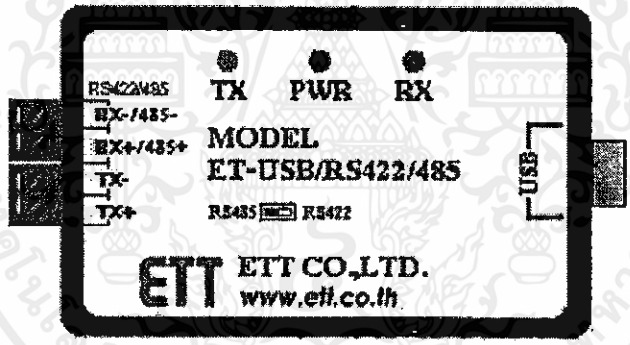
3. USB Connector เป็นแบบ Type B, RS485 Connector เป็นแบบ Plug Type Terminal Block พร้อม SW เลือก Mode RS485

4. 384 Byte Receive Buffer/128 Byte Transmit Buffer ส่งผ่านข้อมูลด้วยความเร็วสูง

5. ใช้ไฟเลี้ยงจาก USB Port ได้โดยตรงไม่ต้องต่อเพิ่มภายนอก

6. แสดงสถานะทำงานด้วย LED 3 สี คือ การรับ (RX) สีเขียว การส่ง (TX) สีเหลือง และ Power (PWR) สีแดง

7. Driver Support Windows 98/98SE/2000/ME/XP



รูปที่ 4.9 แสดง ET-USB/RS485 Module

4.4 การต่อใช้งาน USB เข้ากับ Port USB ของ ET-USB/RS485 มีวิธีการดังนี้ คือ

4.4.1 เสียบสาย USB เข้ากับ Port USB

เสียบสาย USB เข้ากับ Port USB ของคอมพิวเตอร์และ Port USB ของ ET-USB/RS485 สังเกตไฟแสดงสถานะ PWR ติดสว่าง

สาย USB USB Port คอมพิวเตอร์ ET-USB Model

รูปที่ 4.10 แสดง Port การเชื่อมต่อ สาย USB กับคอมพิวเตอร์

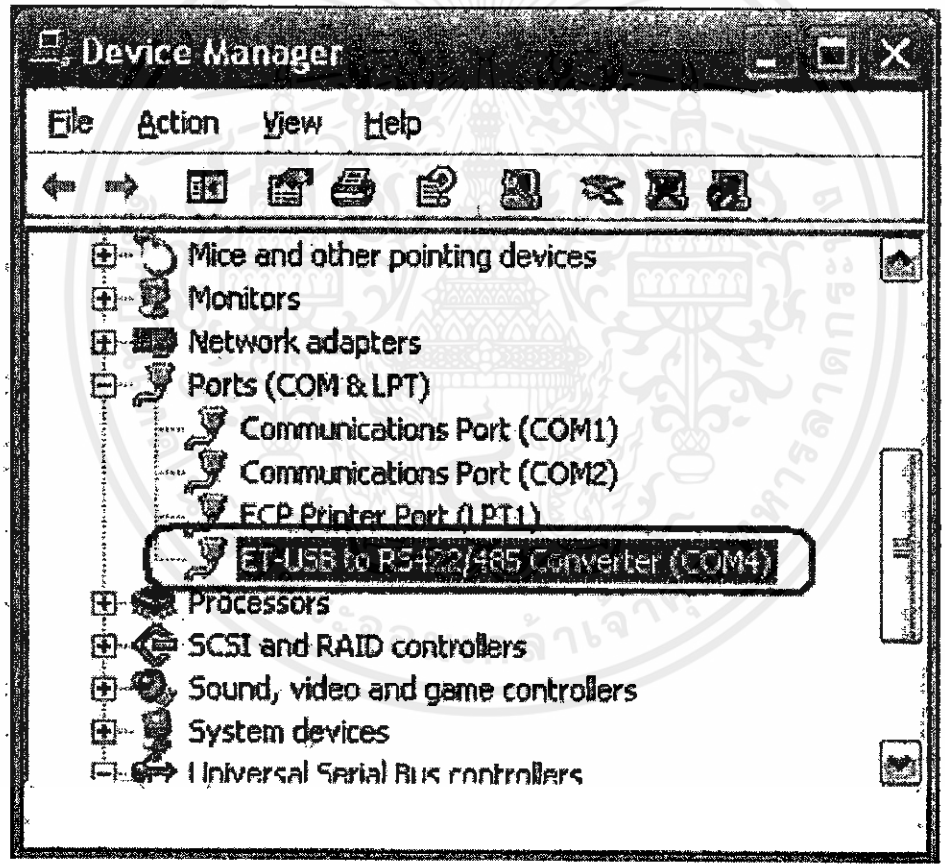
4.4.2 ติดตั้ง Driver

สำหรับ ET-USB/RS485 เมื่อติดตั้ง Driver เรียบร้อยแล้วไฟแสดงสถานะ PWR จะติดสว่างแสดงว่าพร้อมใช้งาน

4.5 การตั้งค่ารับส่งข้อมูล

มีวิธีการดังนี้ คือ

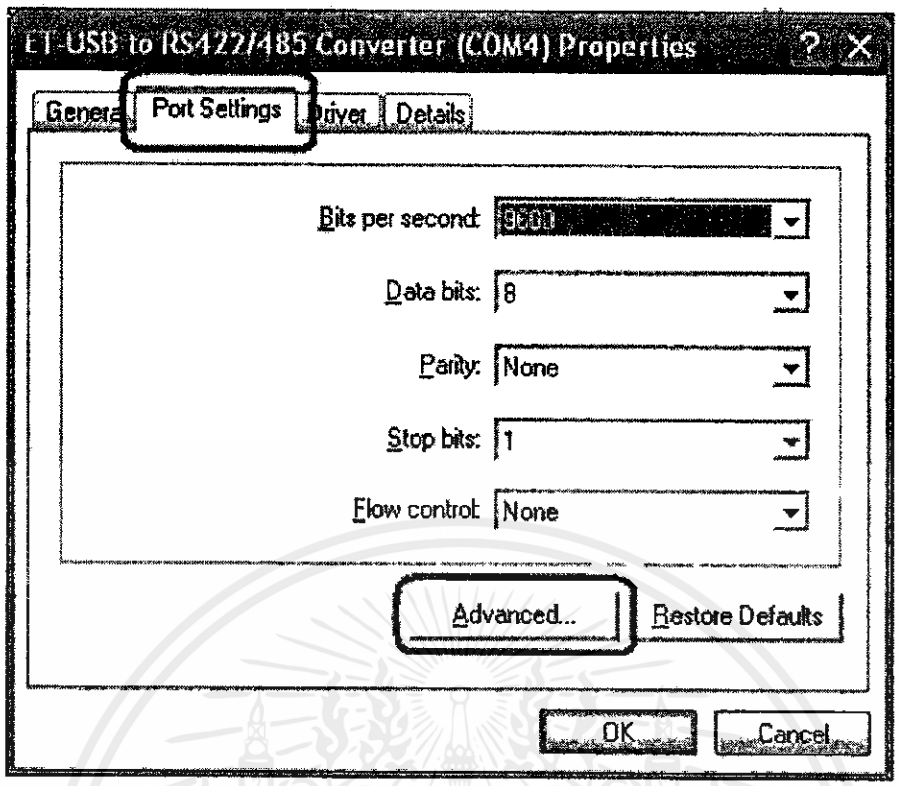
1. การตั้งค่ารับส่งข้อมูล ให้ไปที่ Control Panel > System เลือกแทบ Device Manager แล้วดับเบิลคลิกไปที่ ET-USB to RS422/485 Converter (COM4) หมายเลข Com Port อาจมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งขึ้นอยู่กับคอมพิวเตอร์แต่ละเครื่อง ซึ่ง Com Port จะกำหนดเองอัตโนมัติโดย Windows และสามารถเปลี่ยนได้แต่ต้องไม่ซ้ำกับ Port ที่มีการใช้งานอยู่แล้ว



รูปที่ 4.11 แสดงการตั้งค่ารับส่งข้อมูล

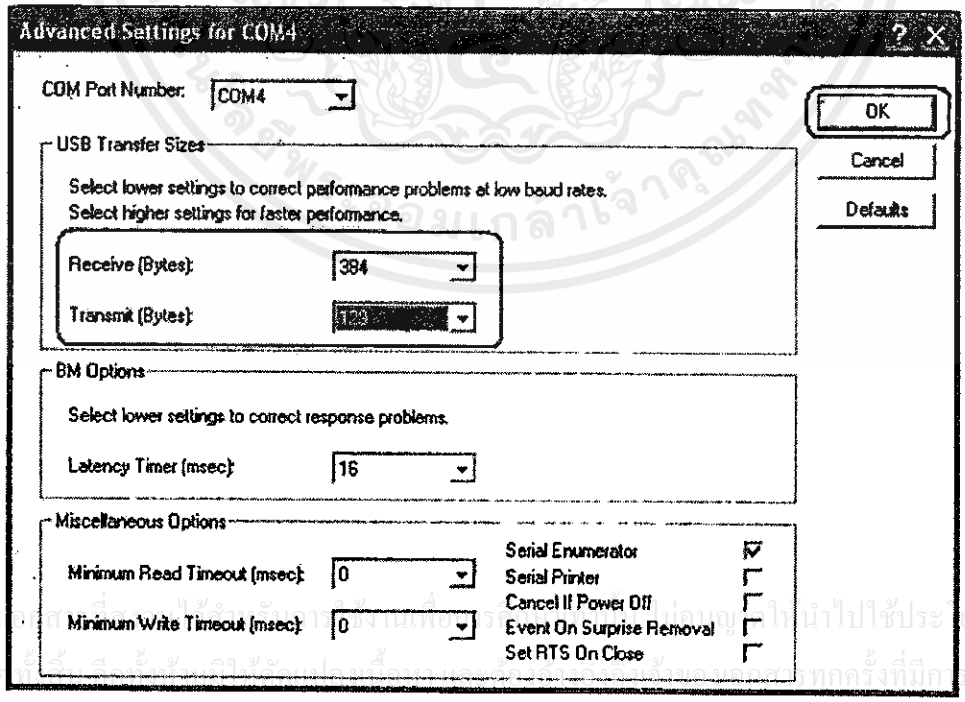
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เลือกแท็ป Port Setting แล้วเลือก Advanced..... เพื่อตั้งค่าการรับส่ง



รูปที่ 4.12 แสดงการเลือก Port Settings

3. กำหนดค่า Receive (Bytes) = 384 และ Transmit (Bytes) = 128 แล้วคลิก Ok



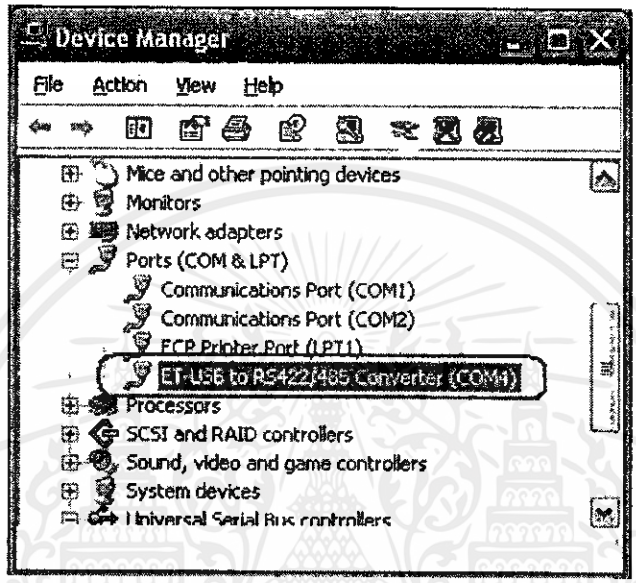
รูปที่ 4.13 แสดงการกำหนดค่า Receive

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การเปลี่ยนหมายเลข Com Port

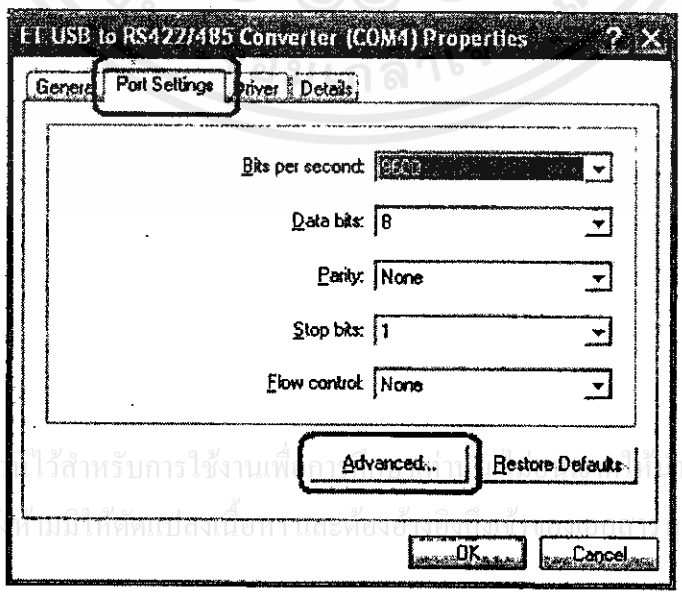
มีวิธีการดังนี้ คือ

1. ไปที่ Control Panel > System เลือกแทบ Device Manager แล้วดับเบิลคลิกไปที่ ET-USB to RS422/485 Converter (COM4) หมายเลข COM Port อาจมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งขึ้นอยู่กับคอมพิวเตอร์แต่ละเครื่อง จะปรากฏไดอะล็อกดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 แสดงการเปลี่ยน Com Port

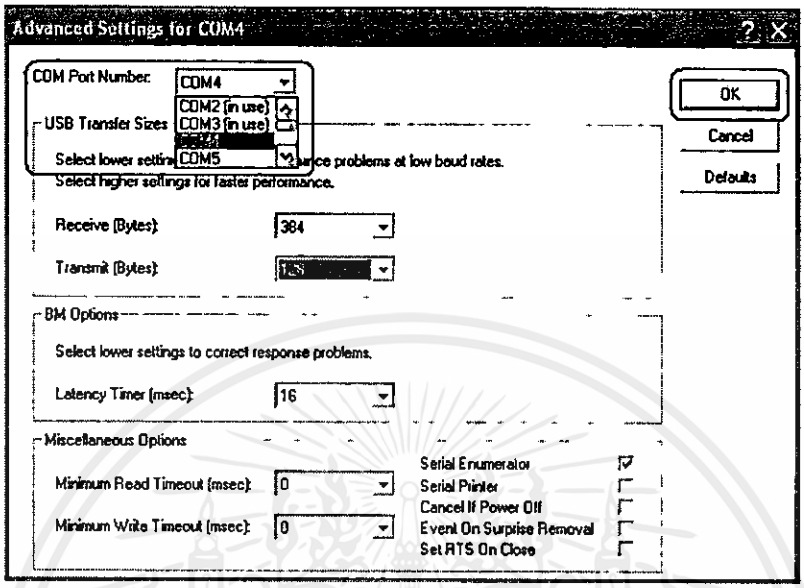
2. เลือกที่ Port Setting > Advanced...



รูปที่ 4.15 แสดงการเลือก Port settings

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การเลือกเปลี่ยน Port โดย Port ที่จะเปลี่ยนต้องยังไม่มีการใช้งานอยู่หรือใช้แบบที่ Driver กำหนดให้ก็ได้ จากนั้นก็คลิก OK เพื่อยืนยันอีกครั้ง ซึ่ง Port ที่ถูกใช้แล้วจะมีข้อความว่า (In Sue) ต่อท้าย Com Port

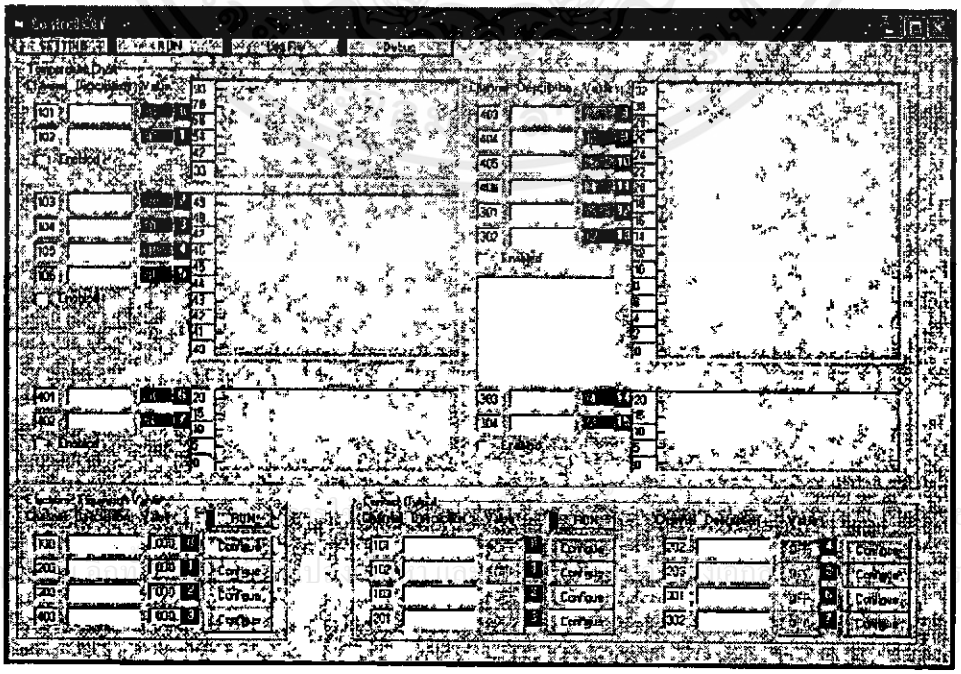


รูปที่ 4.16 แสดงการเปลี่ยน Port

4.7 โปรแกรมควบคุม Electronic Expansion Valve และวิธีการใช้งาน

มีรายละเอียดดังนี้คือ

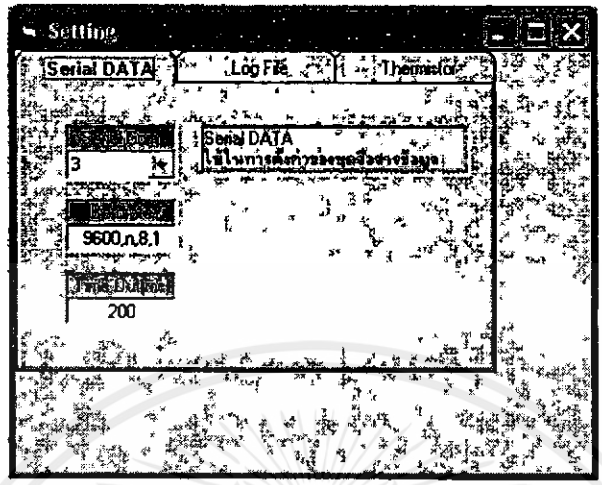
1. ในการเริ่มขั้นตอนการใช้งานโปรแกรมให้ ดับเบิลคลิกที่ Icon Control EXV .exe จะปรากฏหน้าต่างขึ้นมา ดังแสดงในรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 โปรแกรมควบคุม Electronic Expansion Valve

เอกสารนี้เป็น... ชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด... นำไปใช้

2. เริ่มต้นตั้งค่าโปรแกรมโดยให้คลิกที่ Setting จะปรากฏหน้าต่างสำหรับตั้งโปรแกรม ดังแสดงในรูปที่ 4.18 โดยมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 4.18 แสดงการกำหนดค่า Serial DATA

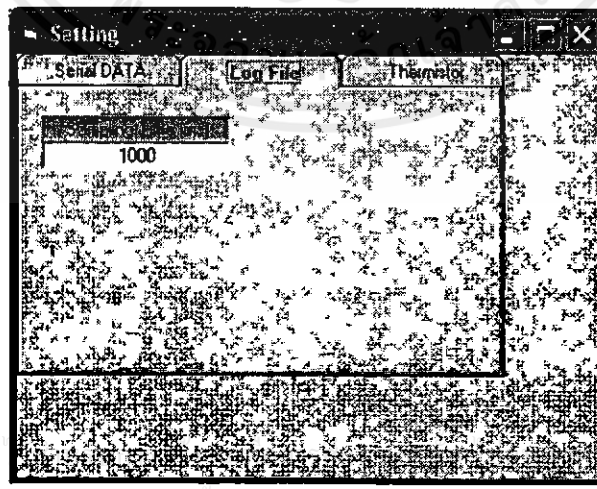
Serial DATA คือ หน้าต่างสำหรับตั้งค่าการสื่อสารระหว่างโปรแกรมกับชุดอ่านอุณหภูมิ และควบคุมการทำงานของ Electronic Expansion Valve โดย

ช่อง Serial com คือ หมายเลข Port สื่อสารที่ใช้

ช่อง Bordrate คือ ค่า Port สื่อสารโดยทั่วไปที่ใช้คือ 9600, n, 8, 1

ช่อง Time Out (ms) คือ ช่วงเวลาที่ให้ตัวโปรแกรมกับชุดอ่านอุณหภูมิสื่อสารกัน

3. คลิกที่ Log File จะปรากฏหน้าต่างดังแสดงในรูปที่ 4.19 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

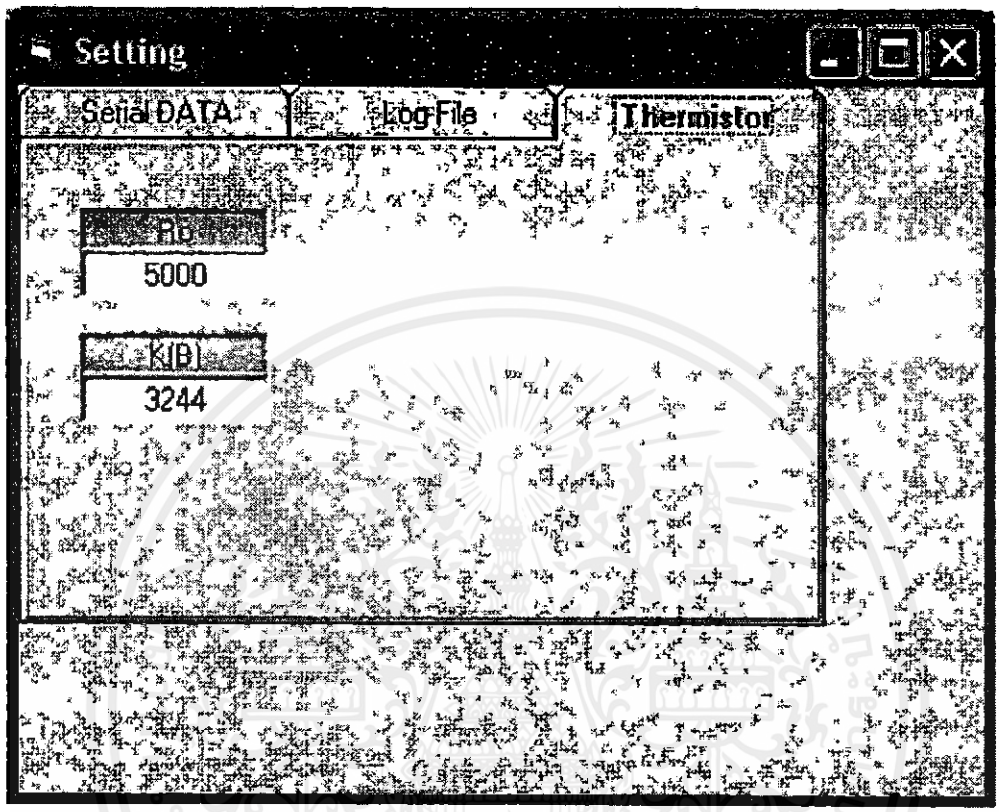


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.19 แสดงการกำหนดค่า Log File

ช่อง Sampling Time (ms) คือ ช่วงเวลาสำหรับเก็บข้อมูลลงใน Long file.dat

4. คลิกที่ Thermistor จะปรากฏหน้าต่างดังแสดงดังในรูปที่ 4.20 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.20 แสดงการกำหนดค่า Thermistor

ช่อง Ro คือ ค่า Specification ของเซนเซอร์ Thermistor ที่ใช้

5. ส่วนของ Temperature chart แบ่งออกเป็นส่วนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

ช่อง Channel คือ ส่วนที่ไว้ใส่ตำแหน่งของเซนเซอร์ที่จะทำการวัดค่าอุณหภูมิ โดยตำแหน่งที่จะใส่เป็นตัวเลข 3 หลัก ซึ่ง หลักร้อย เป็นค่า ID ของชุดอ่านอุณหภูมิ หลักสิบและหลักหน่วยเป็นตำแหน่งของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ ตัวอย่างเช่น "101" 01 หมายถึง ชุดอ่านอุณหภูมิของ ID 1 เป็นต้น

ช่อง Description คือ ส่วนสำหรับให้ผู้ใช้งานอธิบายรายละเอียดของเซนเซอร์ตัวนั้น ๆ

ช่อง Value คือ ส่วนแสดงอุณหภูมิที่อ่านค่าได้ของเซนเซอร์

ช่อง Enable คือ ส่วนที่ไว้สำหรับเลือกให้แสดงค่าอุณหภูมิในรูปแบบของกราฟหรือไม่

ช่อง กราฟ คือ ส่วนที่ไว้แสดงค่าอุณหภูมิเป็นเส้นกราฟ

6. ส่วน Electronic Expansion Valve แบ่งเป็นส่วนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่อง Channel คือ ส่วนที่ไว้สำหรับใส่ตำแหน่งของ Electronic Expansion Valve โดยค่าที่ใส่เป็นเลขสามหลักโดยมีความหมายดังนี้ คือ หลักร้อย เป็นค่า ID ของชุดอ่านอุณหภูมิ ส่วนตัวเลขหลักสิบและหลักหน่วย เป็นค่าตำแหน่งของ Electronic Expansion Valve

ช่อง Description คือ ส่วนที่ผู้ใช้งานไว้สำหรับอธิบายรายละเอียดของ Electronic Expansion Valve ตัวนั้น

ช่อง Charnel คือ ส่วนแสดงค่า ตำแหน่ง Step Electronic Expansion Valve

การเลือกรูปแบบการควบคุม Electronic Expansion Valve สามารถเลือกการควบคุมการทำงานได้ 3 รูปแบบ ดังนี้คือ

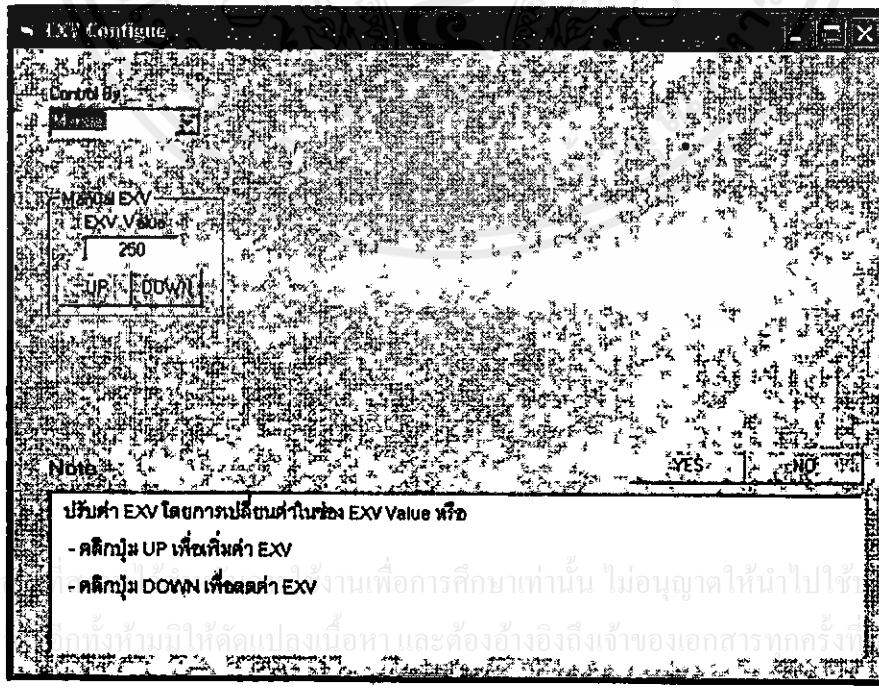
ช่อง Manual คือ เป็นการควบคุมโดยกำหนดค่าตำแหน่ง Step Electronic Expansion Valve โดยผู้ใช้

ช่อง Auto by EXV คือ เป็นการควบคุม Electronic Expansion Valve อัตโนมัติ โดยอาศัยตำแหน่ง Step Electronic Expansion Valve ตัวอื่นเป็นตำแหน่งอ้างอิง

ช่อง Auto by Temp คือ เป็นการควบคุมตำแหน่ง Step Electronic Expansion Valve อัตโนมัติ โดยอาศัยการคำนวณจากค่าอุณหภูมิ

7. การเลือกวิธีการควบคุม Electronic Expansion Valve แบบ Manual มีวิธีการดังนี้

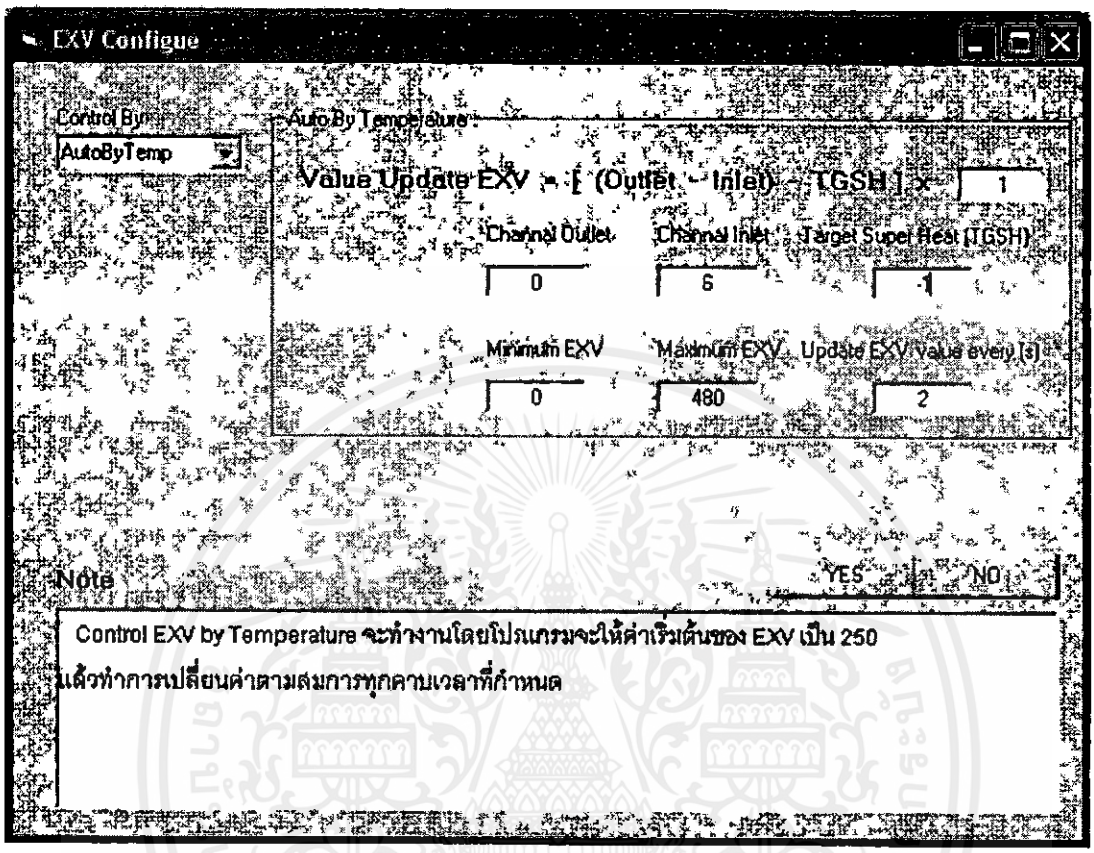
คลิกที่ช่อง Control By > Manual จะปรากฏหน้าต่างดังแสดงในรูปที่รูป 4.21 จากนั้นให้ใส่ค่า Step Electronic Expansion Valve ที่ต้องการ หรือใช้ปุ่ม UP เพื่อเพิ่มค่าและ ปุ่ม Downเพื่อลดค่า แล้วกดปุ่ม Yes เพื่อยืนยัน หรือปุ่ม No เพื่อยกเลิก



รูปที่ 4.21 แสดงการควบคุม Electronic Expansion Valve แบบ Manual

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. การเลือกวิธีการควบคุม Electronic Expansion Valve แบบ Auto by Temp มีวิธีการดังนี้



รูปที่ 4.22 แสดงการควบคุม Electronic Expansion Valve แบบ Auto by Temp

คลิกที่ช่อง Control By > Auto by Temp จะปรากฏหน้าต่างดังรูปที่ 4.22 จากนั้นให้ใส่ค่าต่างๆ ในช่องต่อไปนี้

ช่อง Channel outlet คือ ตำแหน่งของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิที่ทำการวัด ณ ตำแหน่งทางออกของเครื่องระเหยของวัฏจักรความดันต่ำในระบบเครื่องทำความเย็น

ช่อง Channel inlet คือ ตำแหน่งของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิที่ทำการวัด ณ ตำแหน่งทางเข้าของเครื่องระเหยของวัฏจักรความดันต่ำในระบบเครื่องทำความเย็น

ช่อง Target Super Heat (TGSH) คือ ค่าความร้อนยิ่งยวดที่ตำแหน่งทางออกของเครื่องระเหยของวัฏจักรความดันต่ำของระบบเครื่องทำความเย็นที่ผู้ทำการทดลองเป็นคนกำหนด

ช่อง Minimum EXV คือ ค่าตำแหน่ง Step Electronic Expansion Valve ต่ำสุดที่กำหนดโดยผู้ทำการทดลอง

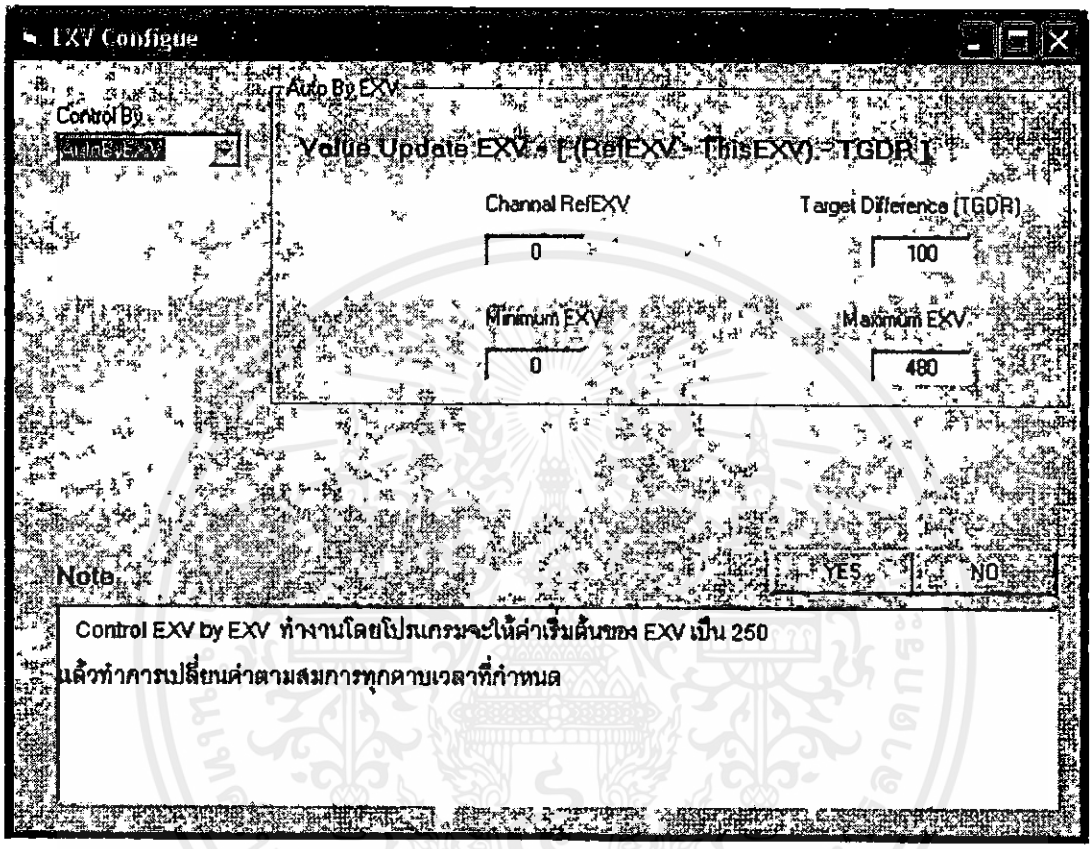
ช่อง Maximum EXV คือ ค่าตำแหน่ง Step Electronic Expansion Valve สูงสุดที่กำหนดโดยผู้ทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่อง Update EXV value every (s) คือ ค่าคาบเวลาในการเปลี่ยนแปลง Step Electronic Expansion Valve

เมื่อใส่ค่าต่าง ๆ เรียบร้อยแล้วให้กดปุ่ม Yes เพื่อยืนยัน หรือปุ่ม No เพื่อยกเลิก

9. การเลือกวิธีการควบคุม Electronic Expansion Valve แบบ Auto by EXV มีวิธีการดังนี้



รูปที่ 4.23 แสดงการควบคุม Electronic Expansion Valve แบบ Auto by EXV

คลิกที่ช่อง Control By > Auto by EXV จะปรากฏหน้าต่างดังรูป 4.23 จากนั้นให้ใส่ค่าต่าง ๆ ในช่องต่อไปนี้

ช่อง Channel RfrEXV คือ ตำแหน่งของ Electronic Expansion Valve ตัวอ้างอิงในการคำนวณเพื่อควบคุม Electronic Expansion Valve ของวัฏจักรความดันสูงของระบบทำความเย็น

ช่อง Target Difference (TGDR) คือ ค่าผลต่างระหว่างค่า Step Electronic Expansion Valve ตัวอ้างอิงกับ Step Electronic Expansion Valve ของวัฏจักรความดันสูงของระบบทำความเย็น กำหนดโดยผู้ทำการทดลอง

เอกสารนี้ใช้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น

ช่อง Minimum EXV คือ ค่าตำแหน่ง Step Electronic Expansion Valve ต่ำสุดที่กำหนดโดยผู้ทำการทดลอง

ช่อง Maximum EXV คือ ค่าตำแหน่ง Step Electronic Expansion Valve สูงสุดที่กำหนดโดยผู้ทำการทดลอง

จากที่ใส่ค่าต่าง ๆ เรียบร้อยแล้วให้กดปุ่ม Yes เพื่อยืนยัน หรือปุ่ม No เพื่อยกเลิก

4.8 การการกระตุ้นการทำงานของ Electronic Expansion Valve

ในการออกแบบเพื่อกระตุ้นการขับ Electronic Expansion Valve นั้นเป็นแบบ Full Step 2 Phase การกระตุ้นแบบนี้ทำการกระตุ้นโดยจ่ายกำลังไฟฟ้าไปที่ 2 ขดลวดที่อยู่ใกล้กันในเวลาเดียวกันและเรียงถัดกันไป ดังตัวอย่างเช่นขดลวดชุดแรกที่ถูกกระตุ้นเป็นขดที่ 1 และ 2 ตามด้วยการกระตุ้นขดที่ 2 และ 3 ต่อไปเป็นขดที่ 3 และ 4 ถัดไปเป็นขดที่ 4 และ 1 แล้วกลับมาที่ขด 1 และ 2 วนตามลำดับเช่นนี้ การกระตุ้นแบบนี้จะสามารถเพิ่มแรงบิดได้ดี โรเตอร์จะเคลื่อนที่ด้วยแรงดึงอย่างเต็มแรงจาก 2 ขดลวดที่ถูกกระตุ้นพร้อมกัน และต่อไปเป็นแรงดึงจากอีก 2 ขดลวดถัดไป สำหรับข้อเสียคือ กระกระตุ้นแบบนี้ต้องใช้กำลังไฟฟ้ามากขึ้น ขั้นตอนการทำงาน ดังแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 การการกระตุ้นการทำงานของ Electronic Expansion Valve

Step ที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	ทำงาน	ทำงาน	-	-
2	-	ทำงาน	ทำงาน	-
3	-	-	ทำงาน	ทำงาน
4	ทำงาน	-	-	ทำงาน

4.9 เครื่องมือวัดและอุปกรณ์ในการทดสอบ

4.9.1 หัววัดอุณหภูมิ

เป็นตัวรับรู้อุณหภูมิที่สามารถสอดใส่เข้าไปในสิ่งทดสอบหรือสำหรับวัดอุณหภูมิโดยรอบ สำหรับการทดสอบและสำหรับวัดอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ในระบบเครื่องทำความเย็นเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ อุณหภูมิที่วัดสามารถบันทึกได้และเครื่องวัดอุณหภูมิสามารถวัดได้ละเอียดถึง ±0.3 เคลวิล

4.9.2 เครื่องวัดและบันทึกความชื้นสัมพัทธ์

ใช้วัด ณ จุดที่เป็นตัวแทนที่มีความแม่นเทียบเท่าเครื่องวัดที่อ่านเป็นจุดน้ำค้าง มีความละเอียดในการอ่านค่าถึง ±0.3 เคลวิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9.3 มาตรวัดวัตต์ - ชั่วโมง

มาตรวัดวัตต์ - ชั่วโมง สามารถอ่านค่าได้มีความละเอียด 0.01 กิโลวัตต์-ชั่วโมง และมีความแม่นในการวัด ± ร้อยละ 1 ใช้สำหรับวัดพลังงานที่จ่ายให้แต่ละอุปกรณ์ในระบบ

4.9.4 มาตรวัดความดัน

ใช้สำหรับวัดความดันของสารทำความเย็น ณ จุดต่าง ๆ ในระบบเครื่องทำความเย็น เพื่อวิเคราะห์การทำงานของระบบและความดันลดที่เกิดขึ้นในอุปกรณ์ เพื่อเป็นข้อมูลในการออกแบบระบบให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4.10 วิธีการทดสอบ

ในการทดสอบและกำหนดสภาวะในการทดสอบโดยอาศัย มาตรฐานอุตสาหกรรม (THAI INDUSTRIAL STANDART) มอก. 455-2537 ตู้เย็นสำหรับใช้ในบ้าน (HOUSEHOLD REFRIGERATORS) ซึ่งความหมายของตู้เย็น คือตู้กรุฉนวนความร้อนที่มีอุปกรณ์และปริมาตรเหมาะสมสำหรับใช้ในบ้าน มีเครื่องทำความเย็นโดยพลังงานไฟฟ้า มีช่องเก็บอาหารตั้งแต่หนึ่งช่องขึ้นไป โดยอย่างน้อยต้องมีห้องแช่เย็นช่องหนึ่ง จะมีช่องอุณหภูมิต่ำหรือไม่ก็ได้ [18]

4.10.1 ช่องเก็บอาหารสามารถแบ่งออกได้ดังนี้ คือ

1. ช่องแช่เย็น หมายถึง ช่องสำหรับเก็บอาหารที่ไม่ต้องแช่แข็ง
2. ช่องแช่เย็นจัด หมายถึง ช่องที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าช่องแช่แข็ง
3. ช่องอุณหภูมิต่ำ หมายถึง ช่องทำน้ำแข็งและห้องแช่แข็ง ตู้เย็นแต่ละตู้อาจมีช่องอุณหภูมิต่ำหลายช่อง ช่องเดียว หรือไม่มีเลยก็ได้
4. ช่องทำน้ำแข็ง หมายถึง ช่องสำหรับทำและเก็บน้ำแข็ง

4.10.2 ชีดความสามารถตามชีดความสามารถในการทำงาน ณ อุณหภูมิโดยรอบแบ่งออกเป็น 4 ชั้นภูมิอากาศ คือ [18]

1. ชั้นภูมิอากาศ SN (ชั้นอุณหภูมิเลยเขตอบอุ่น) คือ ตู้เย็นสำหรับใช้งาน ณ อุณหภูมิโดยรอบ +10 ถึง +32 องศาเซลเซียส
2. ชั้นอุณหภูมิอากาศ N (ชั้นภูมิอากาศเขตอบอุ่น) คือ ตู้เย็นสำหรับใช้งาน ณ อุณหภูมิโดยรอบ +16 ถึง +32 องศาเซลเซียส
3. ชั้นภูมิอากาศ ST (ชั้นภูมิอากาศใกล้เขตร้อน) คือ ตู้เย็นสำหรับใช้งาน ณ อุณหภูมิโดยรอบ +18 ถึง +43 องศาเซลเซียส
4. ชั้นอุณหภูมิ T (ชั้นอุณหภูมิเขตร้อน) คือ ตู้เย็นสำหรับใช้งาน ณ อุณหภูมิโดยรอบ +18 ถึง +43 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.10.3 ช่องแช่ตู้เย็นแบ่งตามอุณหภูมิเก็บอาหารออกเป็น 3 ประเภท คือ [18]

1. ประเภทหนึ่งดาว คือ ช่องแช่แข็งที่มีอุณหภูมิตั้งแต่ – 6 องศาเซลเซียสลงไป

2. ประเภทสองดาว คือ ช่องแช่แข็ง ที่มีอุณหภูมิตั้งแต่ -12 องศาเซลเซียสลงไป

3. ประเภทสามดาว คือ ช่องแช่แข็งที่มีอุณหภูมิตั้งแต่ -18 องศาเซลเซียส

4.10.4 การควบคุมสภาวะการทดสอบที่เสถียร [18]

1. ในกรณีการทำงานเป็นรอบของระบบทำความเย็น รวมถึงเวลาการขจัดฝ้าน้ำแข็งโดยอัตโนมัติ (ถ้ามี) เมื่ออุณหภูมิสิ่งทดสอบ มีความแปรผันไม่เกิน ±0.5 เคลวิน และไม่มีแนวโน้มที่จะเคลื่อนไปจากอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดช่วงเวลา 24 ชั่วโมง

2. ในกรณีทำงานต่อเนื่อง ของระบบทำความเย็นที่ไม่มีการขจัดฝ้าน้ำแข็งโดยอัตโนมัติ หมายถึง ภาวะที่อุณหภูมิของสิ่งทดสอบ มีความแปรผันไม่เกิน ±0.5 เคลวิน ตลอดช่วง 18 ชั่วโมง

4.10.5 การทดสอบการใช้พลังงาน [18]

1. ตู้เย็นชั้นภูมิอากาศ SN ชั้นอุณหภูมิ N และชั้นภูมิอากาศ ST ทดสอบที่อุณหภูมิ +25 องศาเซลเซียส

2. ตู้เย็นชั้นภูมิอากาศ T ทดสอบที่อุณหภูมิ +32 องศาเซลเซียส

3. อุณหภูมิที่กำหนดในการทดสอบจะต้องรักษาให้คงที่ภายใน ±0.5 เคลวิน ทั้งในระหว่างที่ตู้เย็นเข้าสู่สภาวะทำงานที่เสถียรและระหว่างการทดสอบ

4. ความชื้นหากมิได้กำหนดไว้เป็นอย่างอื่น ต้องรักษาความชื้นสัมพัทธ์ไว้ระหว่างร้อยละ 45 ถึง 75

6. การวัดอัตราร้อยละของเวลาทำงาน เมื่อตู้เย็นทำงานภายใต้สภาวะการทำงานเป็นรอบ โดยวัดอัตราร้อยละของเวลาทำงานระหว่างช่วงเวลาการทดสอบอย่างน้อย 24 ชั่วโมง โดยใช้เวลาที่ทำงานพร้อมกับระบบทำความเย็น โดยมีรีเลย์ซึ่งต่ออนุกรมกับวงจรไฟฟ้าระบบทำความเย็น เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน รีเลย์ก็จะกระตุ้นให้นาฬิกาทำการวัดเวลาตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดการทำงาน ช่วงเวลาการทำงาน คือผลต่างของเวลาสิ้นสุดกับเวลาเริ่มต้น การวัดเวลาการทำงานอีกวิธีหนึ่ง หาได้จากกราฟระหว่างกระแสไฟฟ้าหรือกำลังไฟฟ้าที่บันทึกโดยมาตรกระแสไฟฟ้าหรือมาตรกำลังไฟฟ้ากับช่วงเวลาทำงาน

7. ช่วงเวลาที่ใช้ทดสอบ ช่วงเวลาที่ใช้ทดสอบต้องไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง หลังจากถึงสภาวะการทำงานที่เสถียร สำหรับตู้เย็นที่ทำงานเป็นรอบและไม่มีระบบขจัดฝ้าน้ำแข็งโดยอัตโนมัติ ช่วงเวลาทดสอบจะต้องประกอบด้วยจำนวนรอบควบคุมเป็นจำนวนเต็ม สำหรับตู้เย็นที่มีระบบขจัดฝ้าน้ำแข็งโดยอัตโนมัติ ช่วงเวลาการทดสอบอย่างน้อย 24 ชั่วโมงและมีรอบการขจัดฝ้าน้ำแข็งเป็นจำนวนเต็ม ถ้าการขจัดน้ำแข็งเริ่มรอบแรก แต่ไม่ครบรอบภายในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง ให้ดำเนินการทดสอบต่อไปจนสิ้นสุดการขจัดฝ้ารอบนั้น ถ้าไม่เกิดรอบการขจัดฝ้าน้ำแข็งในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง ให้ขยายช่วงเวลาทดสอบเป็น 48 ชั่วโมงไม่ต้องเอาการขจัดฝ้าน้ำแข็งมาเกี่ยวข้องกับการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. การรายงานผล ค่าพลังงานที่ใช้ให้คำนวณจากค่าที่วัดได้ในช่วงเวลา 24 ชั่วโมงพอดี แสดงค่าเป็นกิโลวัตต์ชั่วโมงต่อ 24 ชั่วโมง ทศนิยม 2 ตำแหน่ง

4.10.6 การทดสอบความสามารถทำน้ำแข็ง [18]

1. วิธีการทดสอบ หลังจากทำตู้เย็นให้มีสภาวะทำงานที่เสถียรแล้ว ใส่น้ำลงในถาดทำน้ำแข็งถึงระดับห่างจากขอบบนสุด 5 มิลลิเมตรติดตั้งตัววัดอุณหภูมิในถาดน้ำแข็งถาดละอย่างน้อย 1 ตัว แล้วนำถาดน้ำแข็งเข้าไปในช่องทำน้ำแข็งหรือช่องแช่แข็ง อุณหภูมิของน้ำที่ใส่ในถาดทำน้ำแข็งขณะนำเข้าช่องทำน้ำแข็งให้เป็นดังนี้ +20 ± 1 องศาเซลเซียส สำหรับชั้นอุณหภูมิอากาศ SN และชั้นภูมิอากาศ N +30± 1 องศาเซลเซียส สำหรับชั้นอุณหภูมิอากาศ ST และชั้นภูมิอากาศ T ของถาดน้ำแข็งที่สัมผัสกับเครื่องระเหยต้องทำให้เปียกเพื่อสัมผัสให้ดี ตรวจสอบถาดน้ำแข็งหลังจากเครื่องวัดอุณหภูมิในถาดอ่านค่าได้ -2.2 องศาเซลเซียส บันทึกเอาไว้ ถ้าความสามารถทำน้ำแข็งครั้งแรกน้อยกว่าร้อยละ 90 ของค่าที่กำหนด ให้ทดสอบใหม่อีกสองครั้ง ผลการทดสอบใหม่ทั้งสองครั้งต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 ของค่าที่กำหนด

2. การรายงานผล ให้รายงานปริมาณน้ำแข็งเป็นกิโลกรัมที่ทำได้ในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง หรือระยะเวลาเป็นชั่วโมงและนาทีที่ใช้ทำน้ำในถาดทำน้ำแข็ง หรือให้เปลี่ยนค่าความสามารถทำน้ำแข็งเป็นมวลของน้ำแข็งที่ทำได้เป็นกิโลกรัมต่อ 24 ชั่วโมง โดยการคำนวณเทียบสัดส่วน

4.11 รายละเอียดการทดสอบ

1. เปรียบเทียบความสามารถในการทำความเย็นที่อุณหภูมิเครื่องระเหยต่าง ๆ ของระบบเครื่องทำความเย็นแบบอัดขั้นเดียวกับอัดสองขั้น

2. เปรียบเทียบความสามารถในการทำความเย็นที่อุณหภูมิเครื่องควบแน่นต่าง ๆ ของระบบเครื่องทำความเย็นแบบอัดขั้นเดียวกับอัดสองขั้น

3. อัตราการไหลของสารทำความเย็นที่ผ่านระบบที่อุณหภูมิเครื่องระเหยต่าง ๆ ของระบบเครื่องทำความเย็นแบบอัดขั้นเดียวกับอัดสองขั้น

4.เปรียบเทียบกำลังงานของเครื่องที่ความสามารถในการทำความเย็นของระบบเครื่องทำความเย็นแบบอัดขั้นเดียวกับอัดสองขั้น

5. เปรียบเทียบค่า COP ที่ความสามารถในการทำความเย็นของระบบเครื่องทำความเย็นแบบอัดขั้นเดียวกับอัดสองขั้น

6. แสดงถึงอุณหภูมิด้านอัดของเครื่องอัดกับความสามารถในการทำความเย็นของระบบเครื่องทำความเย็นแบบอัดขั้นเดียวกับอัดสองขั้น

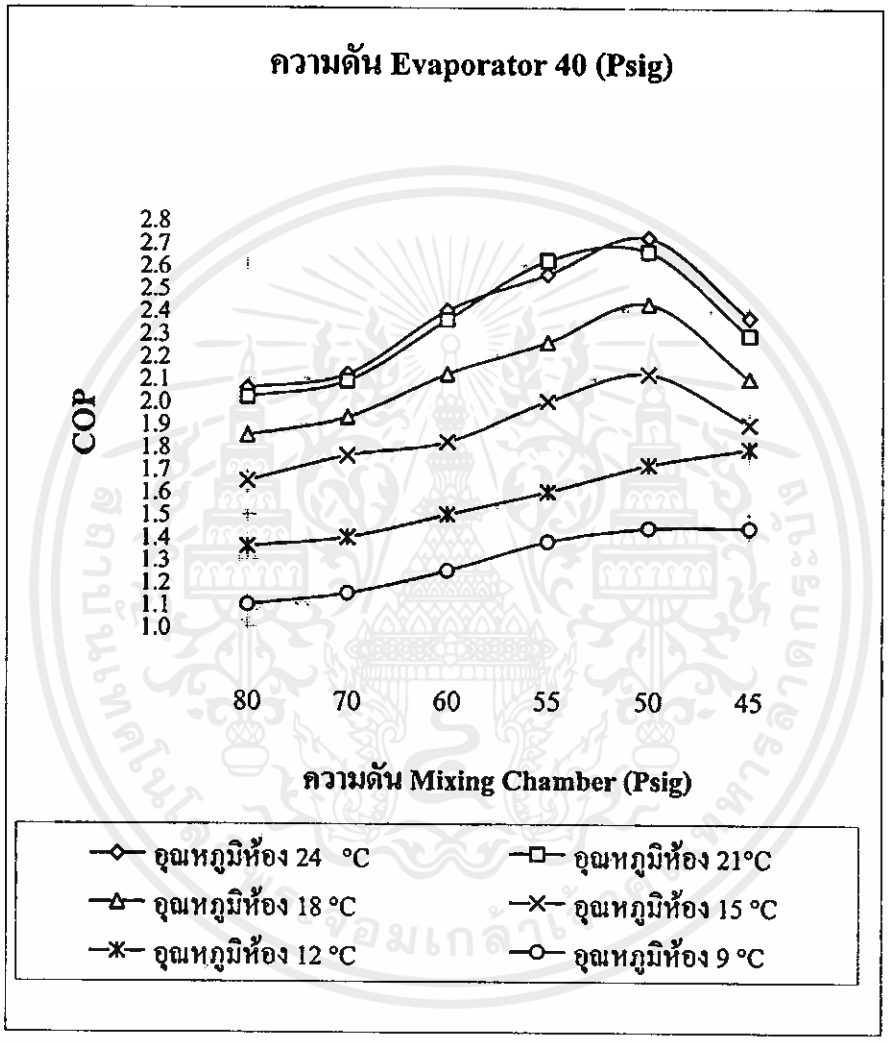
7. อัตราส่วนการอัดของเครื่องอัดที่มีความสัมพันธ์กับความสามารถในการทำความเย็นของระบบเครื่องทำความเย็นแบบอัดขั้นเดียวกับอัดสองขั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

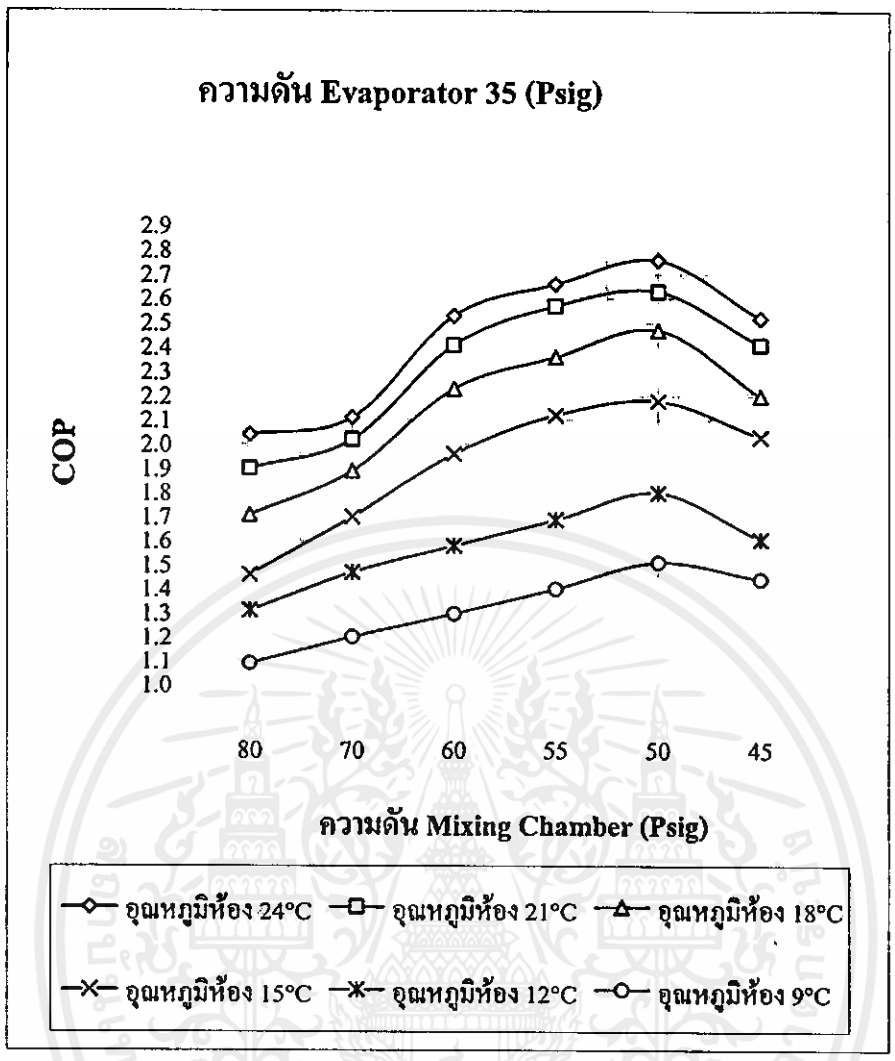
สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 ผลการทดลองและการวิเคราะห์



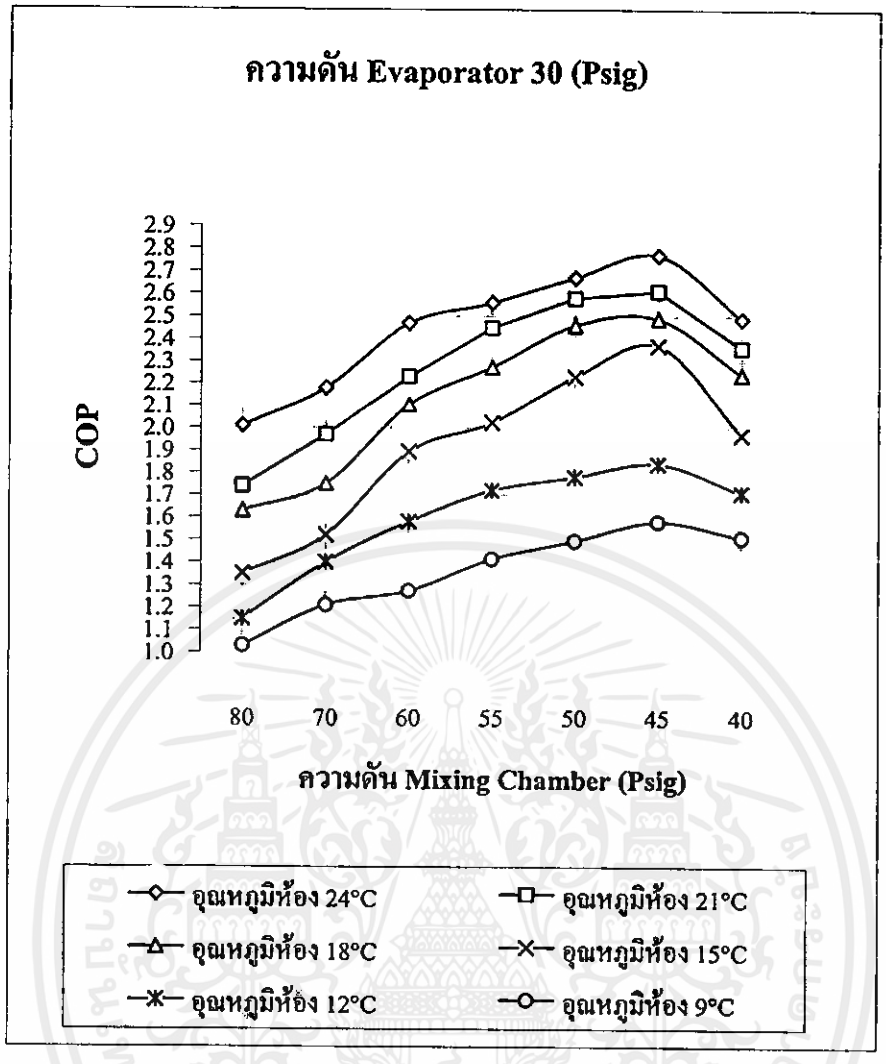
รูปที่ 5.1 กราฟแสดงผลการทดลองระบบอัดสองขั้นโดยควบคุมความดันด้าน Suction ของวัฏจักรความดันต่ำที่ 40 Psig

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



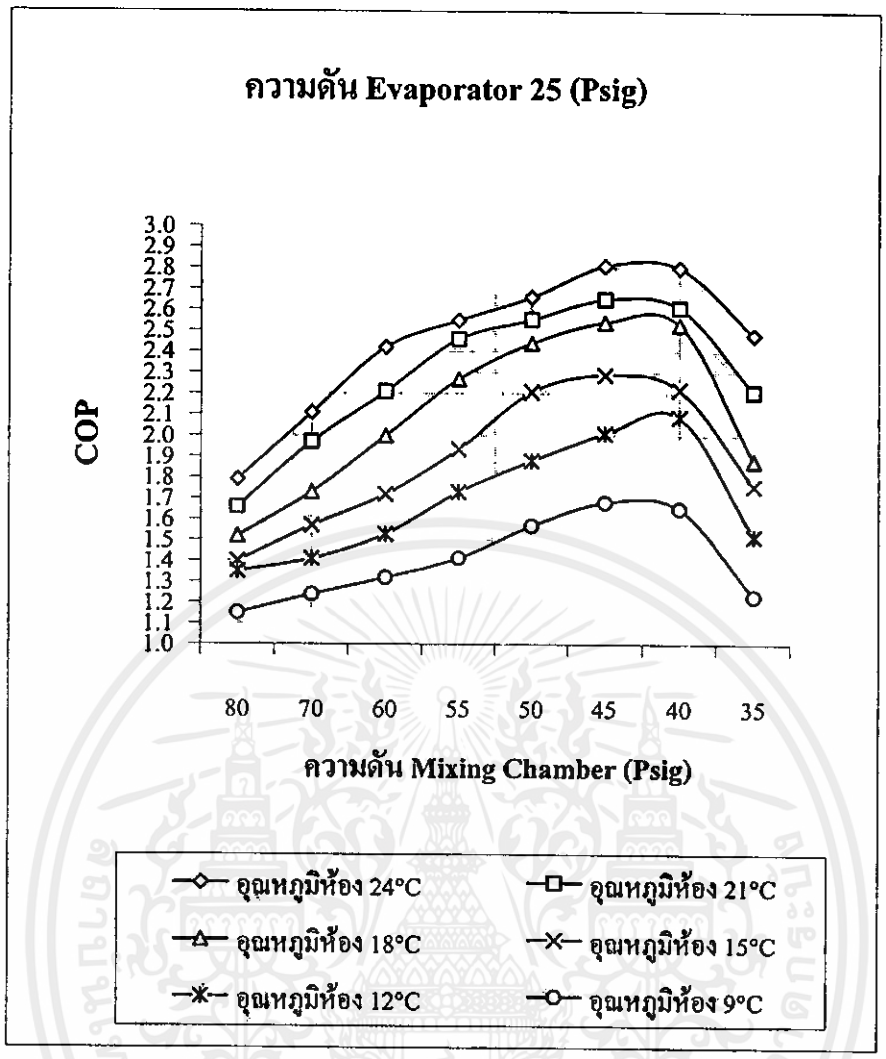
รูปที่ 5.2 กราฟแสดงผลการทดลองระบบอัดสองขั้นโดยควบคุมความดันด้าน Suction ของวัฏจักร ความดันต่ำที่ 35 Psig

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



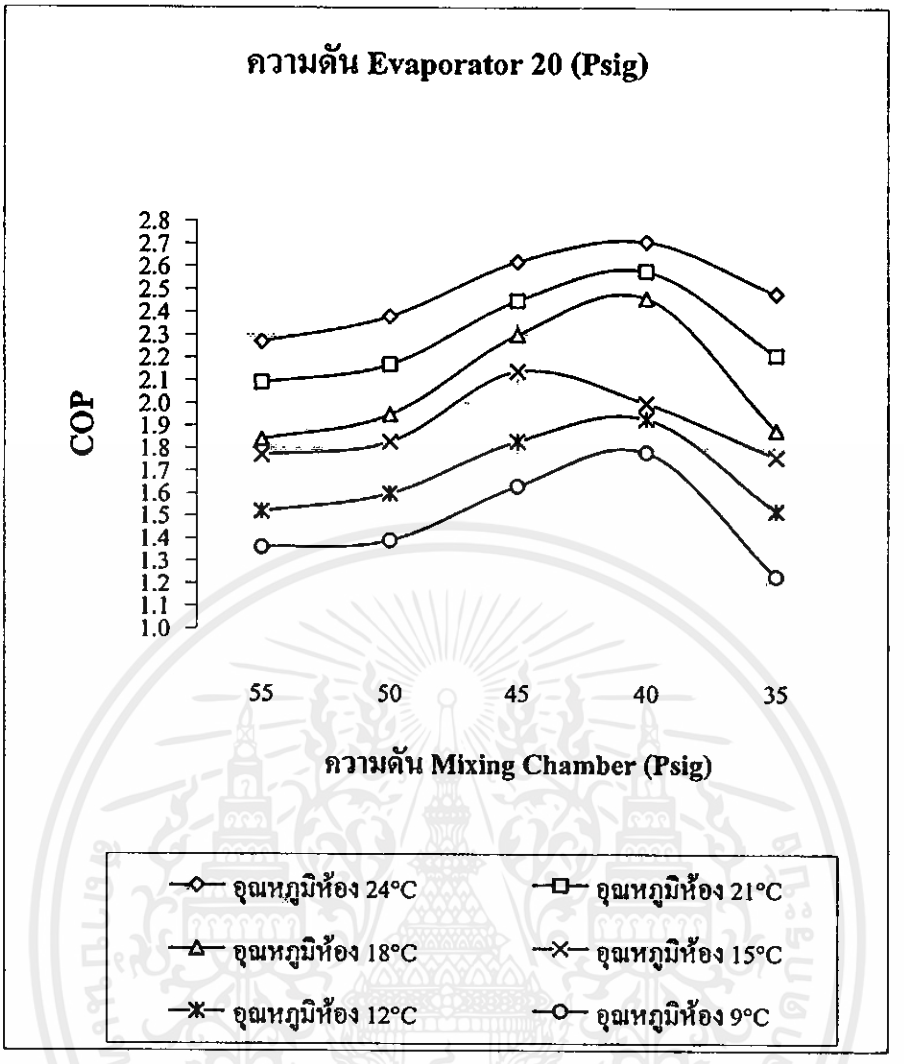
รูปที่ 5.3 กราฟแสดงผลการทดลองระบบอัดสองขั้นโดยควบคุมความดันด้าน Suction ของวัฏจักรความดันต่ำที่ 30 Psig

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



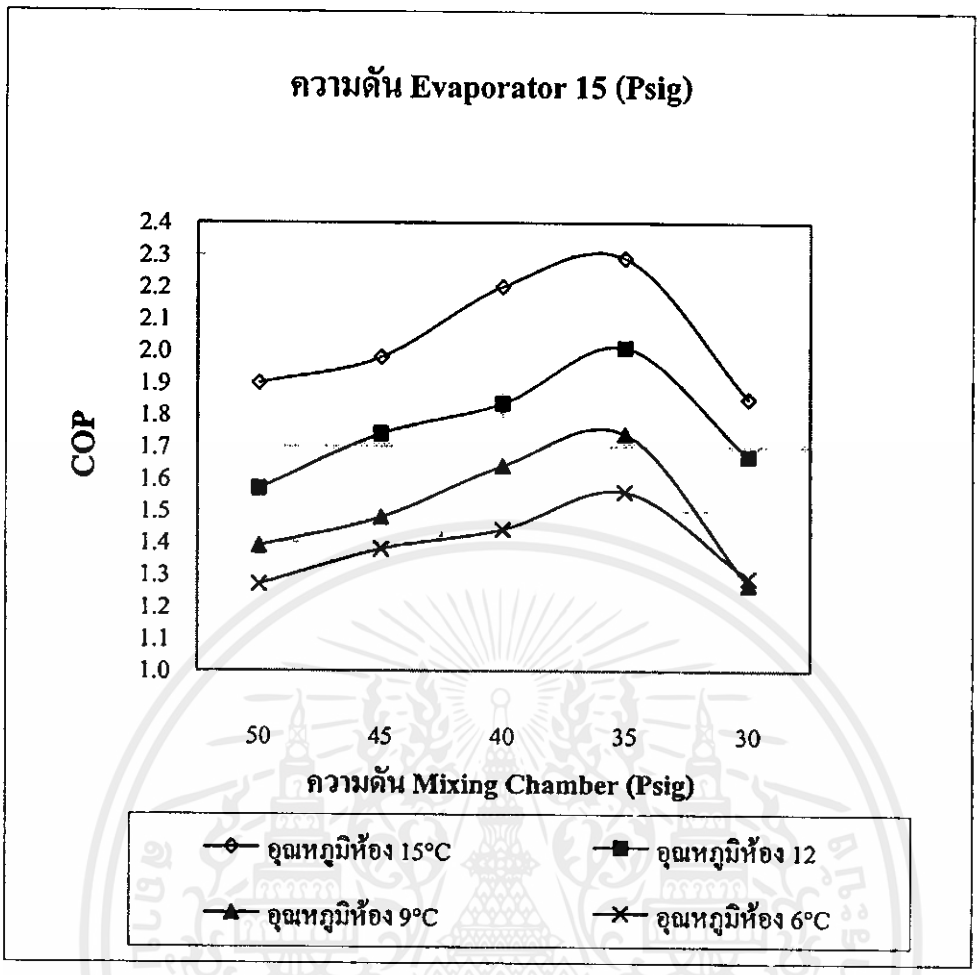
รูปที่ 5.4 กราฟแสดงผลการทดลองระบบอัดสองขั้นโดยควบคุมความดันด้าน Suction ของวัฏจักรความดันต่ำที่ 25 Psig

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



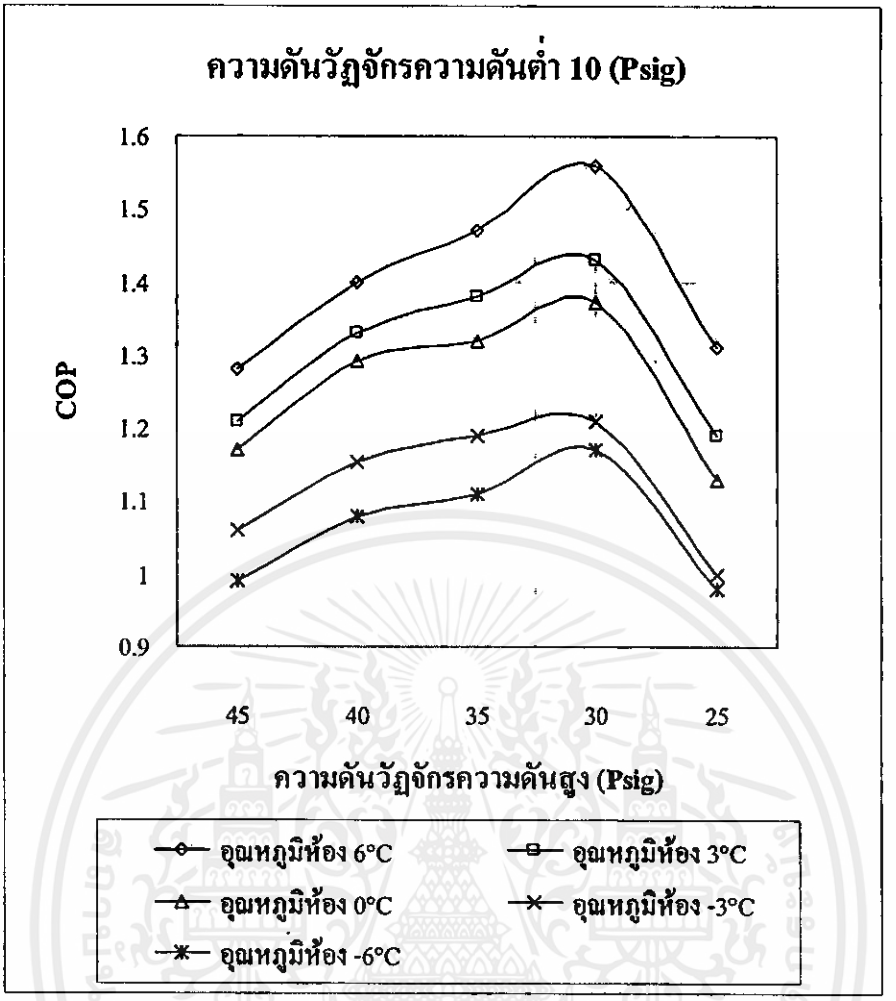
รูปที่ 5.5 กราฟแสดงผลการทดลองระบบอัดสองขั้นโดยควบคุมความดันด้าน Suction ของวัฏจักรความดันต่ำที่ 20 Psig

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



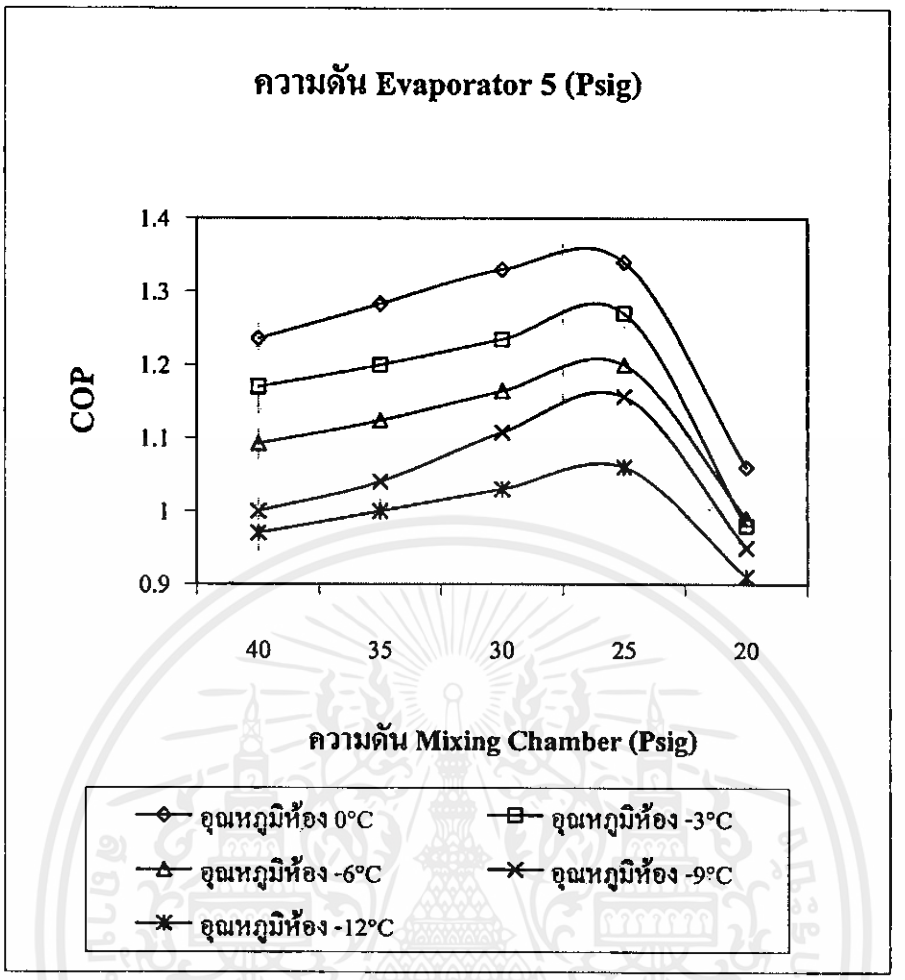
รูปที่ 5.6 กราฟแสดงผลการทดลองระบบอัดสองขั้นโดยควบคุมความดันด้าน Suction ของวัฏจักรความดันต่ำที่ 15 Psig

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



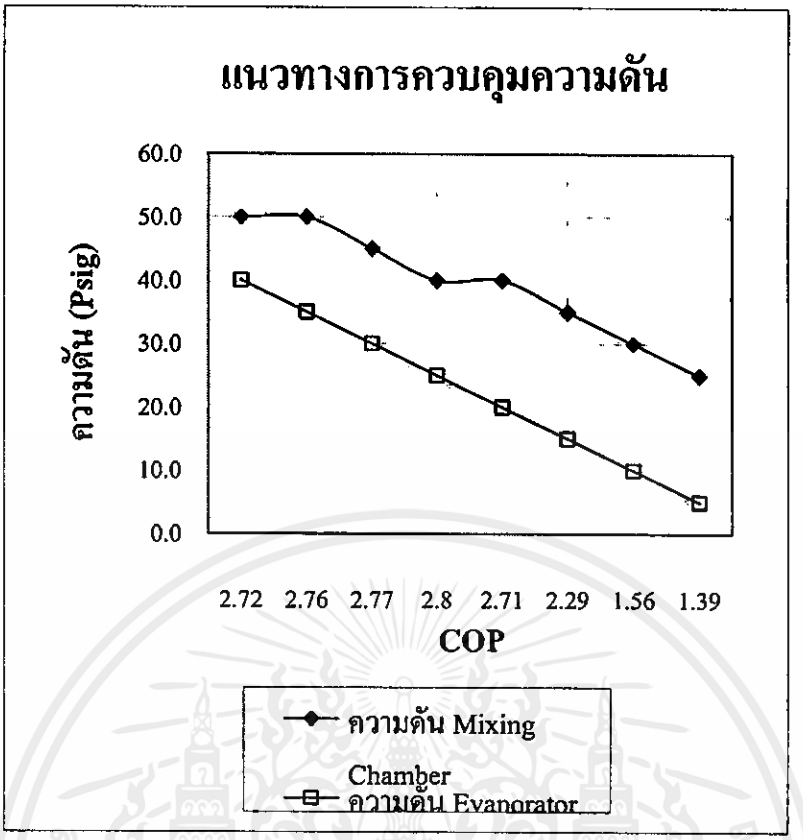
รูปที่ 5.7 กราฟแสดงผลการทดลองระบบอัดสองขั้นโดยควบคุมความดันด้าน Suction ของวัฏจักรความดันต่ำที่ 10 Psig

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 กราฟแสดงผลการทดลองระบบอัดสองขั้น โดยควบคุมความดันด้าน Suction ของวัฏจักรความดันต่ำที่ 5 Psig

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.9 กราฟแสดงการควบคุมความดันด้าน Suction ของทั้งสองวัฏจักรที่เหมาะสม

จากผลการทดลองที่แสดงในรูปที่ 5.1 ถึงรูปที่ 5.8 แสดงถึงการควบคุมความดันด้าน Suction ของวัฏจักรความดันสูงให้เหมาะสมกับความดันด้าน Suction ของวัฏจักรความดันต่ำ จากกราฟแสดงผลการทดลองจะเห็นว่า เมื่อความดันด้าน Suction ของวัฏจักรความดันต่ำเปลี่ยนแปลงจะต้องควบคุมความดันด้าน Suction ของวัฏจักรความดันสูงให้เปลี่ยนแปลงตามด้วย จึงจะได้ค่าประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งแนวทางในการควบคุมความดันด้าน Suction ของทั้งสองวัฏจักรแสดงดังรูปที่ 5.9

ในการควบคุมระบบการทำความเย็นแบบอัดสองขั้นให้มีประสิทธิภาพสูงทุก ๆ ภาระที่เปลี่ยนแปลงนั้นจำเป็นต้องควบคุมความดันด้าน Suction ของวัฏจักรความดันสูงให้มีความสอดคล้องกับด้าน Suction ของวัฏจักรความดันต่ำ จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าเมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิห้องที่ค่าต่าง ๆ ค่าประสิทธิภาพของระบบมีค่าสูงสุดที่ค่าความดันด้าน Suction วัฏจักรความดันสูงที่เหมาะสมค่าหนึ่งดังแสดงในรูปที่ 5.9 ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้ คือ

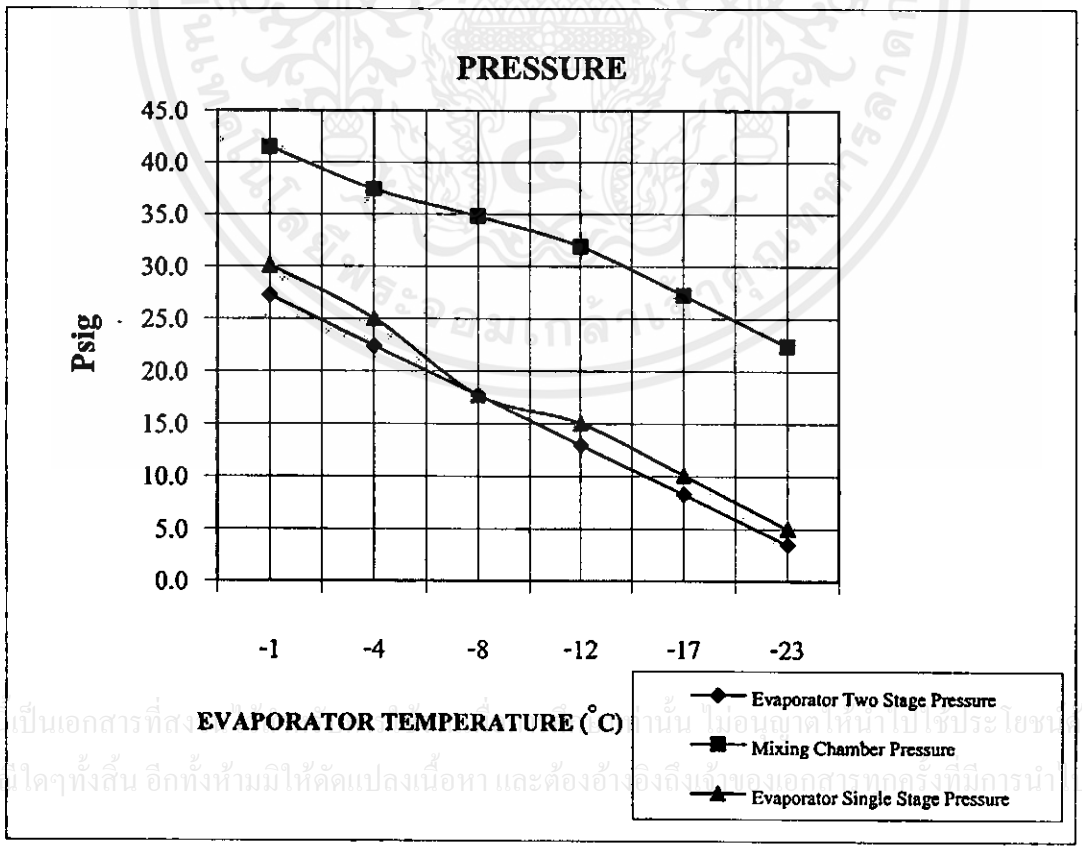
1. การควบคุมความดันด้าน Suction ของวัฏจักรความดันสูงที่ค่าสูงกว่าค่าที่เหมาะสมทำให้ประสิทธิภาพของระบบต่ำลงเนื่องจาก การควบคุมความดันด้าน Suction ให้มีค่าสูงนั้นต้องเปิดวาล์วขยายให้มากขึ้นเพื่อลดความดันสูญเสียที่เกิดขึ้น ทำให้อัตราการไหลที่ผ่านวาล์วขยายไม่สัมพันธ์กับอัตราการไหลของเครื่องอัดทำให้สารทำความเย็นเหลวที่เข้าเครื่องระเหยกลายเป็นไอไม่หมดทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนที่เครื่องระเหยลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อีกทั้งเป็นผลมาจากข้อจำกัดของเครื่องควบแน่นเนื่องจากในการถ่ายเทความร้อนให้สารทำความเย็นควบแน่นกลายเป็นของเหลวนั้นจำเป็นต้องอาศัยอุณหภูมิและความดัน Saturated การควบคุมความดันที่หอผสมให้สูงขึ้นนั้นสามารถทำได้โดยการเปิดวาล์วขยายให้เพิ่มขึ้นซึ่งเป็นผลให้ความดันด้านเครื่องควบแน่นลดลงด้วย เมื่อความดันลดลงอุณหภูมิ Saturated ก็จะลดลงด้วย ส่งผลให้สารทำความเย็นควบแน่นไม่หมดหรือไม่มีค่าของเหลวอัดตัว

2. การควบคุมความดันด้าน Suction ของวัฏจักรความดันสูงที่ค่าต่ำกว่าค่าที่เหมาะสมนั้นทำให้ประสิทธิภาพของระบบต่ำลง เนื่องจากการควบคุมความดันด้าน Suction ให้มีค่าต่ำนั้น ทำได้โดยเปิดวาล์วขยายให้แคบลงเพื่อเพิ่มความดันสูญเสียให้มากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้อัตราการไหลของสารทำความเย็นวัฏจักรความดันสูงลดลง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่ออัตราการไหลของวัฏจักรความดันต่ำ ทำให้สารทำความเย็นเหลวเข้าสู่วัฏจักรความดันต่ำไม่เพียงพอ อัตราการไหลลดลง ความสามารถในการทำความเย็นลดลง ประสิทธิภาพของระบบก็จะลดลง

ค่าความดันที่เหมะสมจากการทดลองที่ทำให้ได้ค่าประสิทธิภาพสูงนั้น มีประโยชน์เพื่อเป็นแนวทางในการควบคุมระบบโดยอัตโนมัติ โดยการควบคุมอัตราการเปิดของวาล์วขยายของทั้งสองวัฏจักรให้มีความดันที่เหมาะสมโดยใช้ Electronics Expansion Valve เป็นตัวควบคุม ซึ่งจะส่งผลให้อัตราการไหลและกำลังงานที่จ่ายให้กับเครื่องอัดของทั้งสองวัฏจักรมีอัตราส่วนที่เหมาะสม



รูปที่ 5.10 กราฟแสดงการควบคุมความดันด้าน Suction

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองรูปที่ 5.10 แสดงการควบคุมความดันด้าน Suction ของแต่ละระบบโดยใช้สมการในการควบคุมดังนี้คือ ในส่วนของวัฏจักรความดันต่ำของระบบ Two Stage และระบบ Single Stage ใช้สมการในการควบคุมสมการเดียวกัน คือ สมการ

$$\text{Value update EXV} = [(\text{outlet} - \text{inlet}) - \text{TGSH}] \times 1 \qquad (5.1)$$

เมื่อ Value update EXV คือ ค่า Step EXV ที่เปลี่ยนแปลง

Outlet คือ อุณหภูมิสารทำความเย็นทางออกเครื่องระเหย

Inlet คือ อุณหภูมิสารทำความเย็นก่อนเข้าเครื่องระเหย

TGSH คือ ค่าไอร้อนยิ่งยวดที่ทางออกเครื่องระเหย

ในส่วนของการควบคุมความดันด้าน Suction ของเครื่องระเหยวัฏจักรความดันสูง หรือความดันที่หอผสม โดยใช้สมการในการควบคุม คือ

$$\text{Value update EXV} = [(\text{RefEXV} - \text{ThisEXV}) - \text{TGDR}] \qquad (5.2)$$

เมื่อ Value update EXV คือ ค่า Step EXV ที่เปลี่ยนแปลง

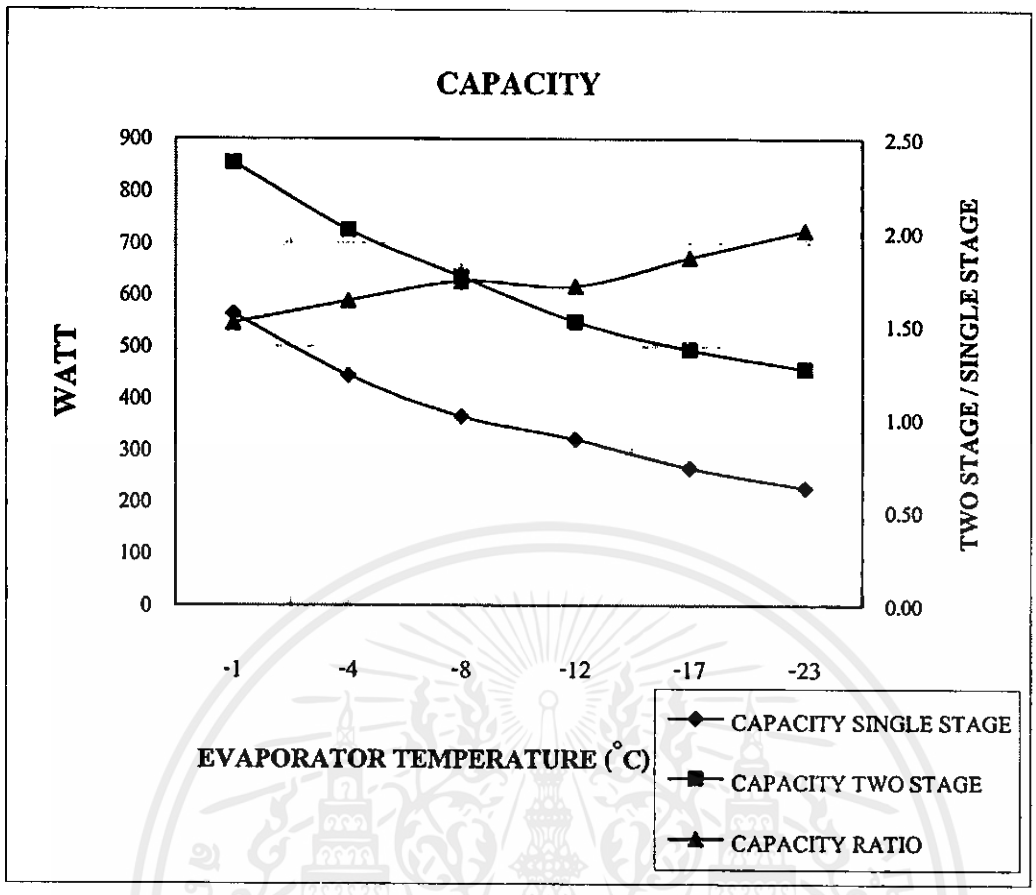
RefEXV คือ ค่า Step EXV ที่ใช้อ้างอิง

ThisEXV คือ ค่า Step EXV ตำแหน่งปัจจุบัน

TGSH คือ ค่าความแตกต่างของ STEP EXV กับตัวที่ใช้อ้างอิง

จากผลการทดลองเห็นได้ว่าสามารถควบคุมความดันด้าน Suction ของวัฏจักรความดันสูงให้มีความสอดคล้องกับความดันด้าน Suction ของวัฏจักรความดันต่ำ ตามผลการทดลองที่แสดงในรูปที่ 5.9 ซึ่งเป็นผลการทดลองที่ผู้ทำการทดลองเป็นผู้กำหนดตำแหน่ง Step EXV ให้ได้ค่าความดันตามที่ต้องการ

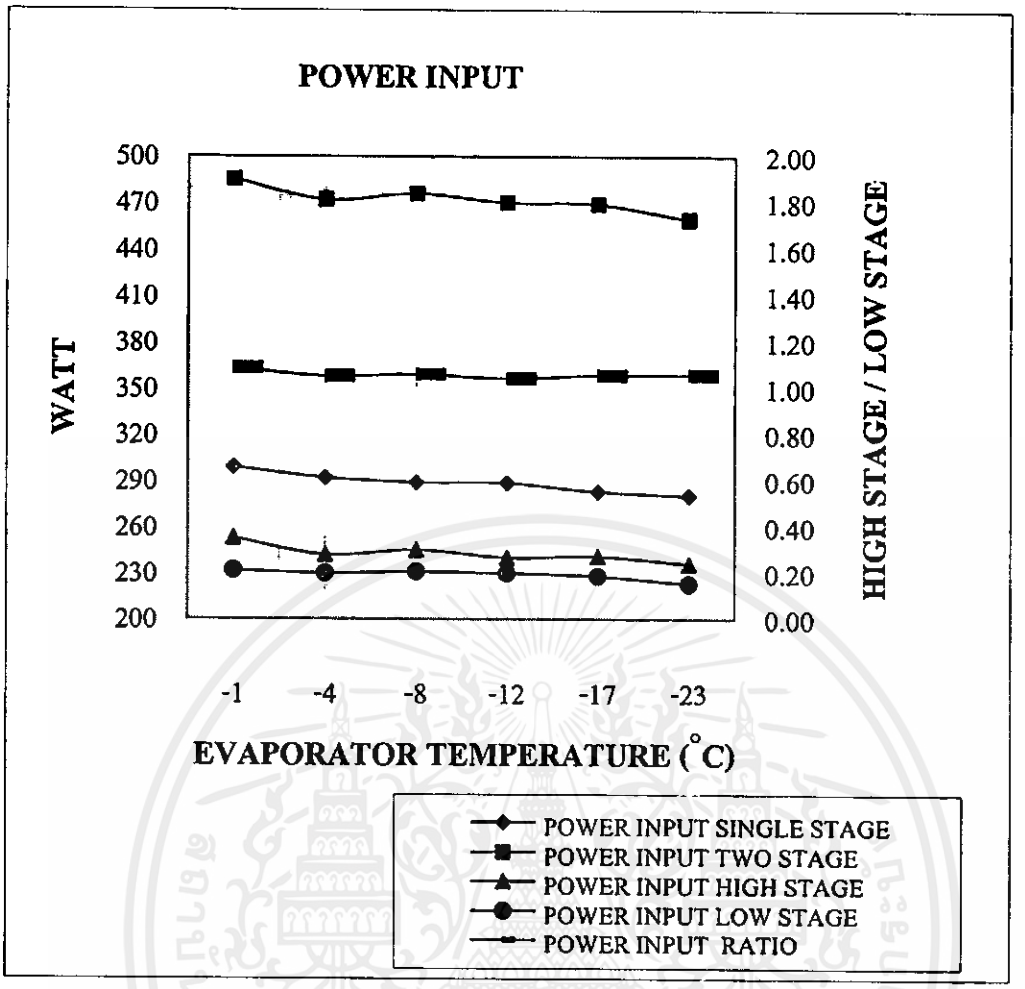
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.11 แสดงการเปรียบเทียบความสามารถในการทำความเย็นระหว่างระบบ Single Stage กับระบบ Two Stage

ผลการทดลองรูปที่ 5.11 เปรียบเทียบความสามารถในการทำความเย็นระหว่างระบบ Single Stage กับระบบ Two Stage ที่อุณหภูมิเครื่องระเหยตั้งแต่ -1°C ถึง -23 °C พบว่าเมื่ออุณหภูมิเครื่องระเหยลดลง ค่าความสามารถในการทำความเย็นของทั้งสองระบบมีแนวโน้มลดลงตามลำดับ ค่าความสามารถในการทำความเย็นของระบบ Two Stage มีค่าสูงกว่าระบบ Single Stage ทุก ๆ อุณหภูมิเครื่องระเหย โดยมีอัตราส่วนความสามารถในการทำความเย็นเพิ่มขึ้นประมาณ 100 เปอร์เซ็นต์ เมื่ออุณหภูมิเครื่องระเหยลดลงที่ -23 °C

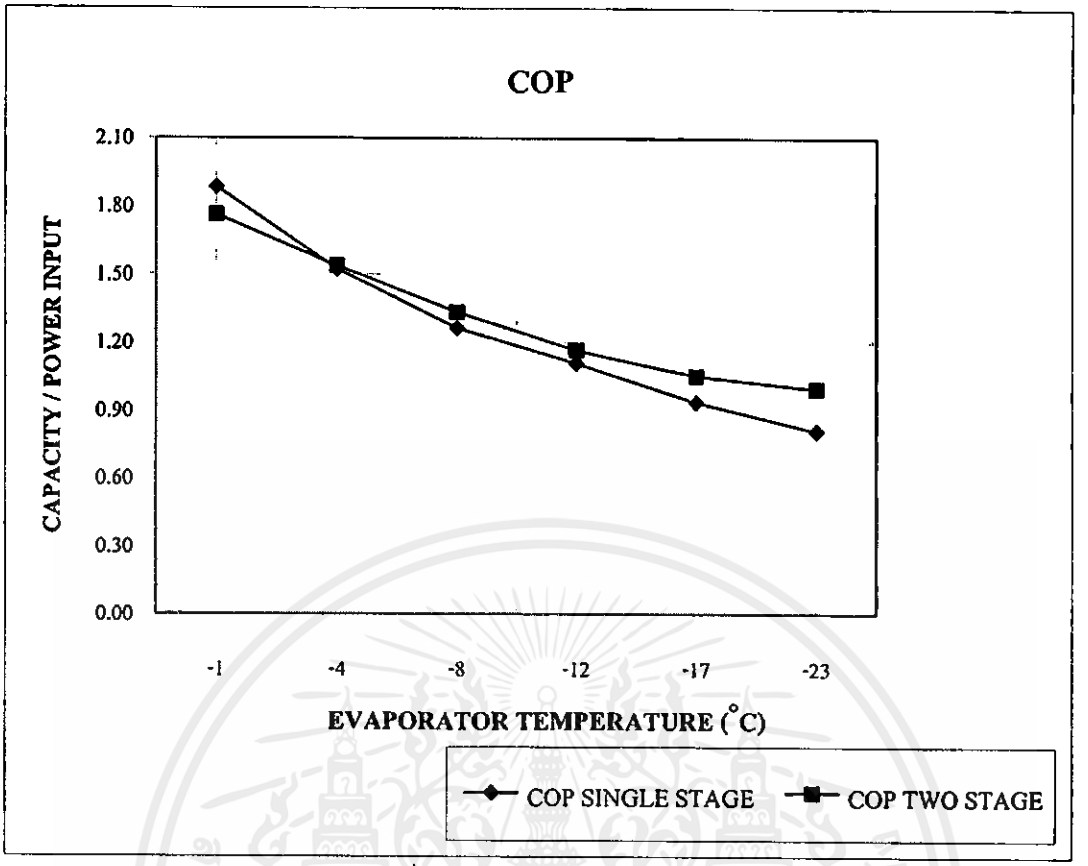
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.12 แสดงการเปรียบเทียบพลังงานที่จ่ายให้กับเครื่องอัด

ผลการทดลองรูปที่ 5.12 แสดงการเปรียบเทียบพลังงานที่จ่ายให้กับเครื่องอัด พบว่าพลังงานที่จ่ายให้กับเครื่องอัดแต่ละตัวมีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิเครื่องระเหยลดลง พลังงานที่จ่ายให้กับระบบ Two Stage มีค่าสูงสุดเนื่องจากต้องจ่ายพลังงานให้กับเครื่องอัดถึงสองตัว อัตราส่วนพลังงานเฉลี่ยที่จ่ายให้กับเครื่องอัดวัฏจักรความดันสูงต่อวัฏจักรความดันต่ำเฉลี่ยมีค่าประมาณ 1.09 เท่า ส่วนเครื่องอัดที่ใช้กับวัฏจักรความดันต่ำเมื่อนำไปใช้กับระบบ Single Stage พบว่าพลังงานที่จ่ายให้กับเครื่องอัดเพิ่มขึ้นเฉลี่ยประมาณ 26 เปอร์เซ็นต์

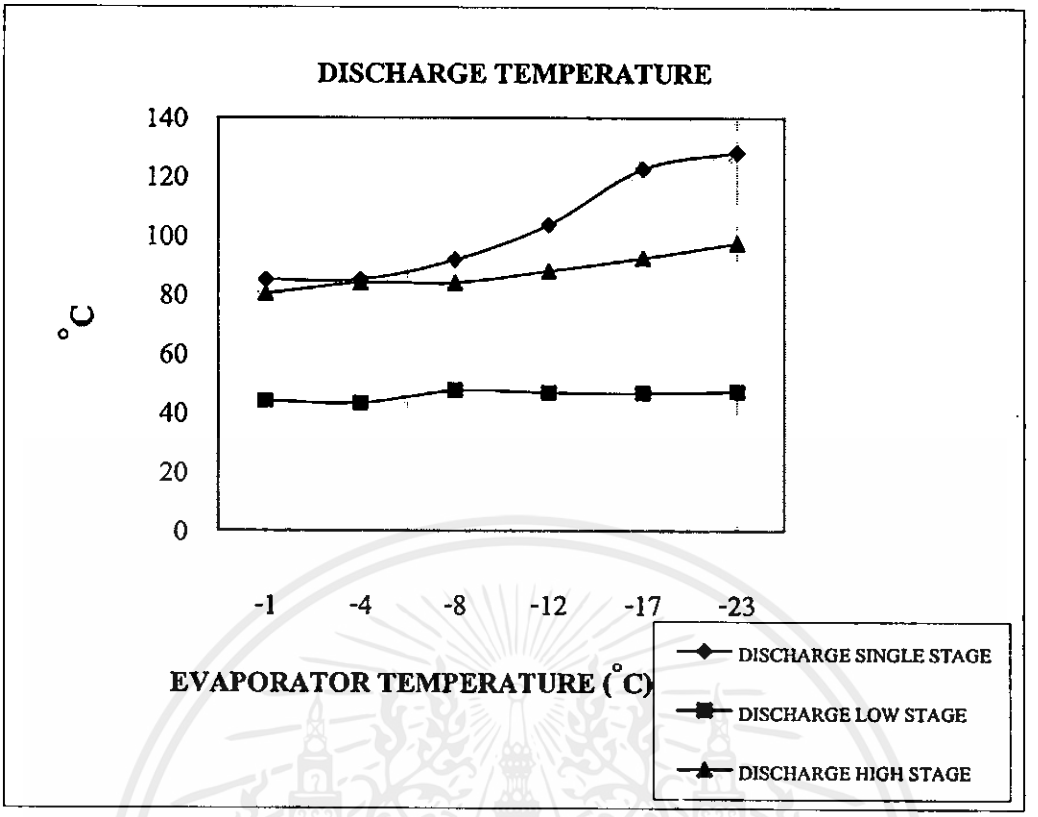
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.13 แสดงการเปรียบเทียบค่า COP ระหว่างระบบ Single Stage กับระบบ Two Stage

ผลการทดลองรูปที่ 5.13 แสดงการเปรียบเทียบค่า COP ระหว่างระบบ Single Stage กับระบบ Two Stage พบว่าเมื่ออุณหภูมิเครื่องระเหยของทั้งสองระบบมีค่าลดลงค่า COP ของทั้งสองระบบก็มีแนวโน้มลดลงด้วย ส่วนค่า COP ของระบบ Two Stage มีค่าสูงกว่าระบบ Single Stage ที่อุณหภูมิเครื่องระเหยต่ำกว่า -8 °C และมีแนวโน้มความแตกต่างเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเครื่องระเหยลดต่ำลง และที่อุณหภูมิเครื่องระเหยที่ -23 °C ค่า COP ของระบบ Two Stage มีค่ามากกว่าระบบ Single Stage ประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์

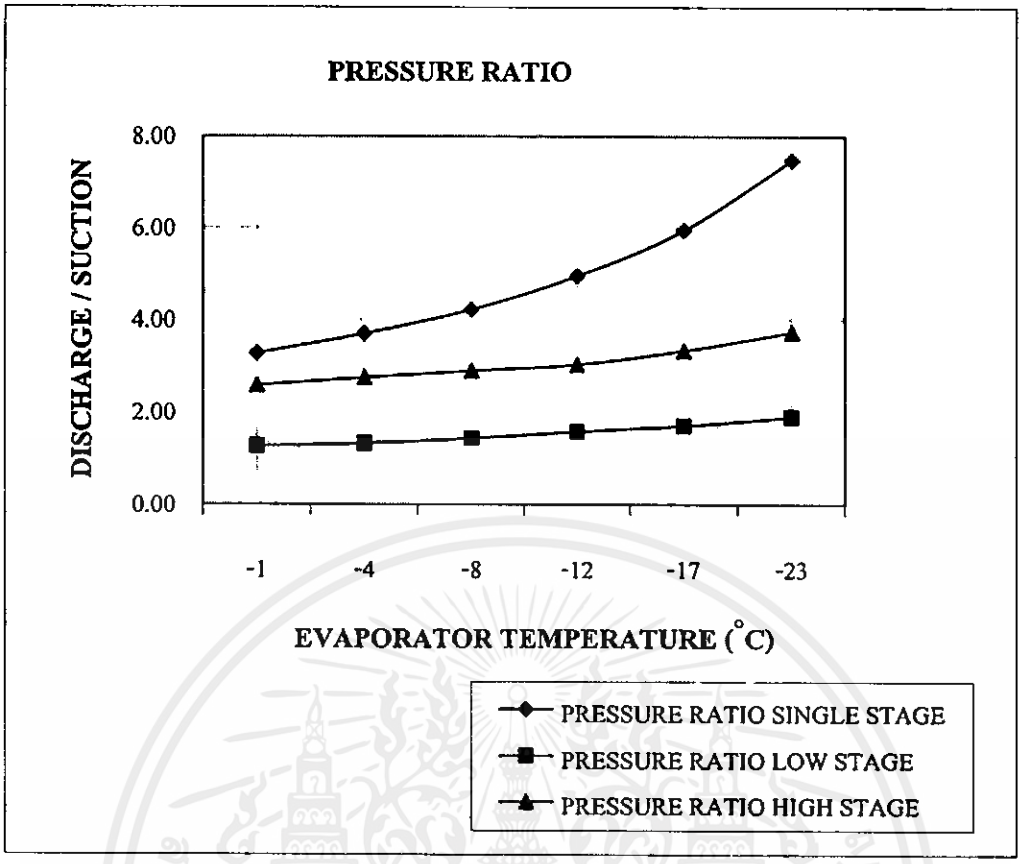
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.14 แสดงอุณหภูมิด้าน Discharge ของเครื่องอัด

ผลการทดลองรูปที่ 5.14 อุณหภูมิด้าน Discharge ของเครื่องอัดวัฏจักรความดันต่ำของระบบ Two Stage เปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่ออุณหภูมิเครื่องระเหยเปลี่ยนแปลง ซึ่งมีอุณหภูมิอยู่ช่วงระหว่าง 44-47 °C ในส่วนของอุณหภูมิด้าน Discharge ของเครื่องอัดวัฏจักรความดันสูงของระบบ Two Stage มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นชัดเจนเมื่ออุณหภูมิเครื่องระเหยต่ำกว่า -8 °C และมีค่าประมาณ 98 °C ที่อุณหภูมิเครื่องระเหย -23 °C ในส่วนของอุณหภูมิด้าน Discharge ของเครื่องอัดระบบ Single Stage มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นชัดเจนเมื่ออุณหภูมิเครื่องระเหยต่ำกว่า -8 °C เช่นเดียวกับเครื่องอัดวัฏจักรความดันสูงของระบบ Two Stage แต่มีอุณหภูมิสูงกว่าที่อุณหภูมิเครื่องระเหยเดียวกัน และที่อุณหภูมิเครื่องระเหย -23 °C มีค่าประมาณ 128 °C

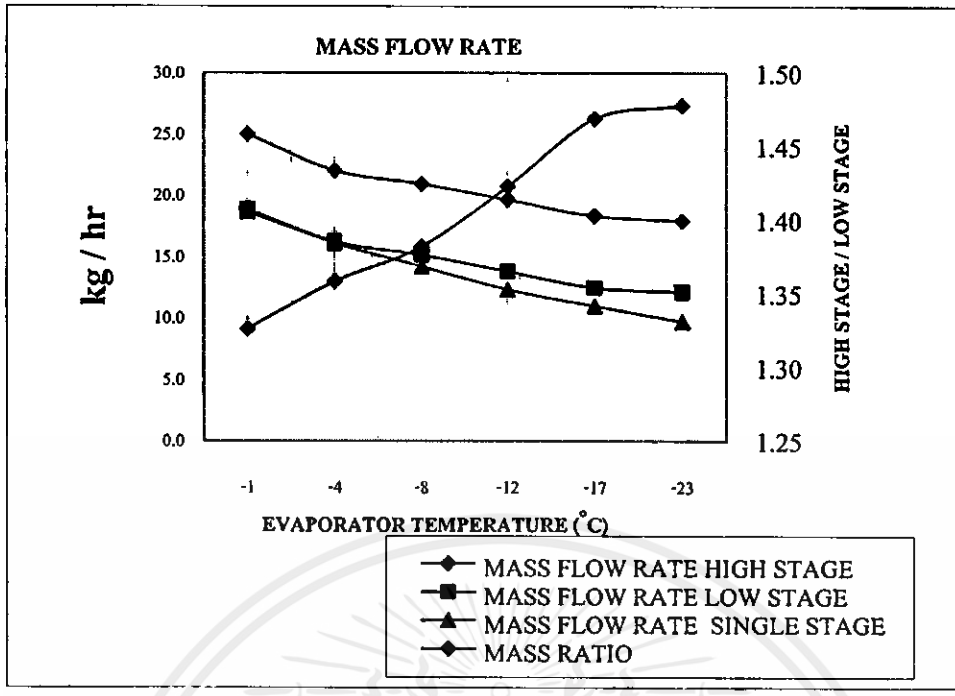
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.15 แสดงอัตราส่วนการอัดของเครื่องอัด

ผลการทดลองรูปที่ 5.15 อัตราส่วนการอัดของเครื่องอัด การควบคุมความดันทำงานของสารทำความเย็นเพื่อให้ได้ค่าเหมาะสมนั้นส่งผลกระทบต่ออัตราส่วนการอัด จากกราฟจะเห็นว่าอัตราส่วนการอัดของเครื่องอัดแต่ละตัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเครื่องระเหยลดลง อัตราส่วนการอัดของเครื่องอัดวัฏจักรความดันต่ำของระบบ Two Stage มีค่าต่ำสุดซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 1.5 -2 ซึ่งมีผลมาจากการควบคุมความดันที่หอผสมให้ลดลงตามการเปลี่ยนแปลงความดันที่เครื่องระเหย ในส่วนอัตราส่วนการอัดของเครื่องอัดวัฏจักรความดันสูงระบบ Two Stage มีค่ามากกว่าอัตราส่วนการอัดของเครื่องอัดวัฏจักรความดันต่ำของระบบ Two Stage ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 2-4 เป็นผลมาจากการควบคุมความดันที่หอผสมให้ลดลงตามการเปลี่ยนแปลงความดันที่เครื่องระเหยแต่ความดันที่เครื่องควบแน่นยังคงที่จึงส่งผลให้อัตราส่วนการอัดมีค่าสูง ในส่วนของเครื่องอัดของระบบ Single Stage มีอัตราส่วนการอัดสูงที่สุด โดยมีอัตราส่วนการอัดเท่ากับ 8 ที่อุณหภูมิเครื่องระเหยประมาณ -23 °C

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.16 อัตราการไหลของสารทำความเย็น

ผลการทดลองรูปที่ 5.16 อัตราการไหลของสารทำความเย็น จากผลการทดลองจะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิของเครื่องระเหยลดลงอัตราการไหลของสารทำความเย็นมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากเมื่อต้องการควบคุมอุณหภูมิที่เครื่องระเหยต่ำลงทำได้โดยการเพิ่มความดันสูญเสียที่ Electronic Expansion Valve ให้เพิ่มขึ้นซึ่งส่งผลให้อัตราการไหลของสารทำความเย็นลดลง อัตราส่วนอัตราการไหลของสารทำความเย็นระหว่างวัฏจักรความดันสูงกับวัฏจักรความดันต่ำของระบบ Two Stage มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเครื่องระเหยลดลง โดยมีอัตราส่วนอยู่ระหว่าง 1.3-1.4 เท่า ส่วนอัตราการไหลของระบบ Single Stage เมื่อเปรียบเทียบกับวัฏจักรความดันต่ำซึ่งใช้เครื่องอัดตัวเดียวกันพบว่า ความแตกต่างของอัตราการไหลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเครื่องระเหยต่ำกว่า -8 °C และที่อุณหภูมิเครื่องระเหย -23 °C อัตราการไหลของวัฏจักรความดันต่ำมีค่าสูงกว่าระบบ Single Stage ประมาณ 24 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.1 สรุปผลการทดลอง

1. อัตราการไหลของสารทำความเย็น

การควบคุมอัตราการไหลของสารทำความเย็นในระบบให้สอดคล้องกับความสามารถของเครื่องอัดและความสามารถของเครื่องระเหยมีผลต่อประสิทธิภาพในการทำความเย็น เนื่องจากถ้าอัตราการไหลที่เข้าสู่เครื่องระเหยมากกว่าความสามารถของเครื่องอัดหรือความสามารถของเครื่องระเหยส่งผลให้สารทำความเย็นเหลวไม่สามารถระเหยในเครื่องระเหยได้หมด ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนที่เครื่องระเหยลดลง ส่วนสารทำความเย็นเหลวส่วนที่เหลือเข้าไประเหยในท่อทางดูดและเครื่องอัดซึ่งเป็นผลเสียต่อระบบ

ในการควบคุมอัตราการไหลของระบบ Two Stage วัฏจักรความดันต่ำกับวัฏจักรความดันสูงมีอุณหภูมิการทำงานที่เครื่องระเหยที่ต่างกัน ความสามารถรับความร้อนต่อหน่วยมวลที่เครื่องระเหยวัฏจักรความดันสูงมีค่าน้อยกว่าที่เครื่องระเหยวัฏจักรความดันต่ำ ดังนั้นอัตราการไหลของวัฏจักรความดันสูงจึงมีค่ามากกว่ากว่าวัฏจักรความดันต่ำโดยมีอัตราส่วนเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิที่เครื่องระเหยลดลง

ในส่วนระบบ Single Stage ซึ่งใช้เครื่องอัดตัวเดียวกันกับเครื่องอัดวัฏจักรความดันต่ำของระบบ Two Stage เมื่อเปรียบเทียบอัตราการไหลที่อุณหภูมิเครื่องระเหยเดียวกันพบว่า อัตราการไหลของเครื่องอัดระบบ Single Stage มีอัตราการไหลน้อยกว่าที่อุณหภูมิเครื่องระเหยต่ำกว่า -8 °C เป็นผลมาจากการทำงานที่มีอัตราส่วนการอัดต่างกันเพิ่มขึ้น

2. ความสามารถในการทำความเย็น

ค่าความสามารถในการทำความเย็นที่อุณหภูมิเครื่องระเหยเดียวกันของระบบ Two Stage มีค่ามากกว่าระบบ Single Stage โดยที่ใช้เครื่องระเหยและเครื่องอัดตัวเดียวกัน ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากอุณหภูมิและความดันสารทำความเย็นในเครื่องควบแน่นหรือสารทำความเย็นก่อนที่จะผ่าน Electronic Expansion Valve เข้าสู่เครื่องระเหย ของระบบ Two Stage มีค่าความสามารถในการรับความร้อนต่อหน่วยมวลสูงกว่า อีกทั้งยังทำงานที่อัตราส่วนการอัดที่ต่ำกว่าทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องอัดดีกว่าด้วย

3. กำลังงานที่จ่ายให้เครื่องอัด

กำลังงานที่จ่ายให้กับเครื่องอัดวัฏจักรความดันสูงมีค่าสูงกว่าเครื่องอัดวัฏจักรความดันต่ำ เนื่องมาจากอัตราการไหลและอัตราส่วนการอัดของวัฏจักรความดันสูงที่มีค่าสูงกว่าวัฏจักรความดันต่ำ จึงส่งผลให้ต้องใช้กำลังงานมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนกำลังงานที่จ่ายให้เครื่องอัดวัฏจักรความดันต่ำของระบบ Two Stage ที่อุณหภูมิเครื่องระเหยเดียวกันมีค่ามากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับกำลังงานที่จ่ายให้กับเครื่องอัดระบบ Single Stage เป็นผลเนื่องมาจากเครื่องอัดระบบ Single Stage ทำงานที่อัตราส่วนการอัดที่สูงกว่า

4. สัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP)

ค่า COP ของระบบ Two Stage เมื่อเปรียบเทียบกับระบบ Single Stage พบว่าที่อุณหภูมิเครื่องระเหยต่ำกว่า -8 °C ค่า COP ของระบบ Two Stage มีค่าสูงกว่าที่อุณหภูมิเครื่องระเหยเดียวกัน เนื่องจากที่อุณหภูมิเครื่องระเหยต่ำกว่า – 8 °C ประสิทธิภาพของระบบ Single Stage ลดลงเนื่องจากอัตราส่วนการอัดที่มีค่าสูง

5. อุณหภูมิด้าน Discharge ของเครื่องอัด

อุณหภูมิด้าน Discharge ของเครื่องอัดมีผลต่ออายุการใช้งาน เนื่องจากทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบต่ำ สารทำความเย็น, น้ำมันหล่อลื่น และอุปกรณ์ฉนวนของมอเตอร์เสื่อมสภาพลง จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิด้าน Discharge ของเครื่องอัดระบบ Single Stage มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนที่อุณหภูมิเครื่องระเหย ต่ำกว่า -8 °C และมีค่าอุณหภูมิด้าน Discharge สูงกว่าเครื่องอัดทั้งสองตัวของระบบ Two Stage ที่อุณหภูมิเครื่องระเหยเดียวกัน ส่วนอุณหภูมิด้าน Discharge ของเครื่องอัดวัฏจักรความดันต่ำของระบบ Two Stage มีค่าต่ำสุด และเปลี่ยนแปลงน้อยเมื่ออุณหภูมิเครื่องระเหยลดลง

5.1.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากเครื่องอัดระบบ Two Stage มีการทำงานที่ความดันด้าน Suction ต่างกัน ดังนั้นจึงมีปัญหาเรื่องน้ำมันหล่อลื่นที่ถูกอัดปะปนไปกับสารทำความเย็นในระบบ ซึ่งตอนที่น้ำมันมันไหลกลับเข้าทางด้าน Suction ของเครื่องอัดแต่ละตัวนั้นไม่สามารถควบคุมได้ ซึ่งจะส่งผลให้ปริมาณน้ำมันหล่อลื่นในเครื่องอัดขาดหรือเกิน ส่งผลเสียต่อระบบ ดังนั้นข้อเสนอแนะในการทำวิจัยต่อไป คือหาวิธีการจัดการกับปริมาณน้ำมันหล่อลื่นในเครื่องอัดแต่ละตัวให้มีปริมาณการไหลกลับที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] Ahmed Ouadha, Mohammed En-nacer, Lahouari, Omar lmine, "Exergy Analysis of a Two-Stage Refrigeration Cycle Using Two Natural Substitutes of HCFC22"

[2] Anthony Esposito, 2000, "Fluid Power With Applications" Prentice- Hall International (UK) limited, London.

[3] Carrier, 1965 "Handbook of Air Conditioning System Design"McGraw-hill Book Company, Newyork.

[4] Fumitake Unezaki, Youichi Anzai, Takashi Ikeda, Fumio Matsuoka, "Energy Saving Refrigeration System for Supermarket"

[5] Inropera, Frank P. "Heat Tranfer" McGraw- Hill, New yourk, 1989.

[6] J.Y.M. Cheung, A.S. Kamal , "Fuzzy Logic Control of Refrigeration Flow"

[7] Murat Hosoz, "Performance Comparison of Single-Stage and Cascade Refrigeration System Using R134a as the Working Fluid"

[8] Norman C Harris, 1983, "Modern Air Conditioning Practice" McGraw-Hill Intarnational Book Company.

[9] Richard C. Jordan and Gayle B. Priester "Refrigeration and Air Conditioning" Prentice-Hall of India Privatr Limited New Delhi, 1973.

[10] Robert W. Fox, Alan T. Mcdonald, 1998 "Introduction to Fluid mechanics" John Wiley & Sons,INC.

[11] Siam compressor industry CO., LTD, 2005, "Technical Manual" Mitsubishi Electric.

[12] Yunus A. Cengel and Michael A. Boles, 1994, "Thermodynamics an engineering approach" McGraw-Hill Intarnational Book Company.

[13] กีรติ ลีวัจกุล, " Hydrauics" บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน)

[14] พงษ์เจต พรหมวงศ์, 2542, "การถ่ายเทความร้อน" ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[15] พูนพงศ์ สวาสดิพันธ์, อำไพศักดิ์ ทีบุญมา, ชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์ "เรื่องการเพิ่มสมรรถนะของระบบปรับอากาศโดยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนลิขวิดอินเตอร์คูลเลอร์" Me nett 20 th

[16] มอก. 1235-2537, 2537, "ตู้เย็นพานิชย์ Commercial Refrigerated Cabinets" สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.

[17] มอก. 455-2537, 2537, "ตู้เย็นสำหรับใช้ในบ้าน Household Refrigerator" สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[18] วิจิตร บุญยธโรกุล, 2533, "ตู้เย็น-ห้องเย็น" คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

[19] สมศักดิ์ สุโมตยกุล, 2521, "เครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศ" บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด.

[20] สายสุนีย์ พุทธาคุณเจริญ, 2540, "ชลศาสตร์" ภาควิชา วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร.

[21] อรรถพล บุญยะโภคา, วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล, ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล, "พอร์ตอนุกรม" บริษัท อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด.

[22] อรรถพล บุญยะโภคา, ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล, "พอร์ตขนาน" บริษัท อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

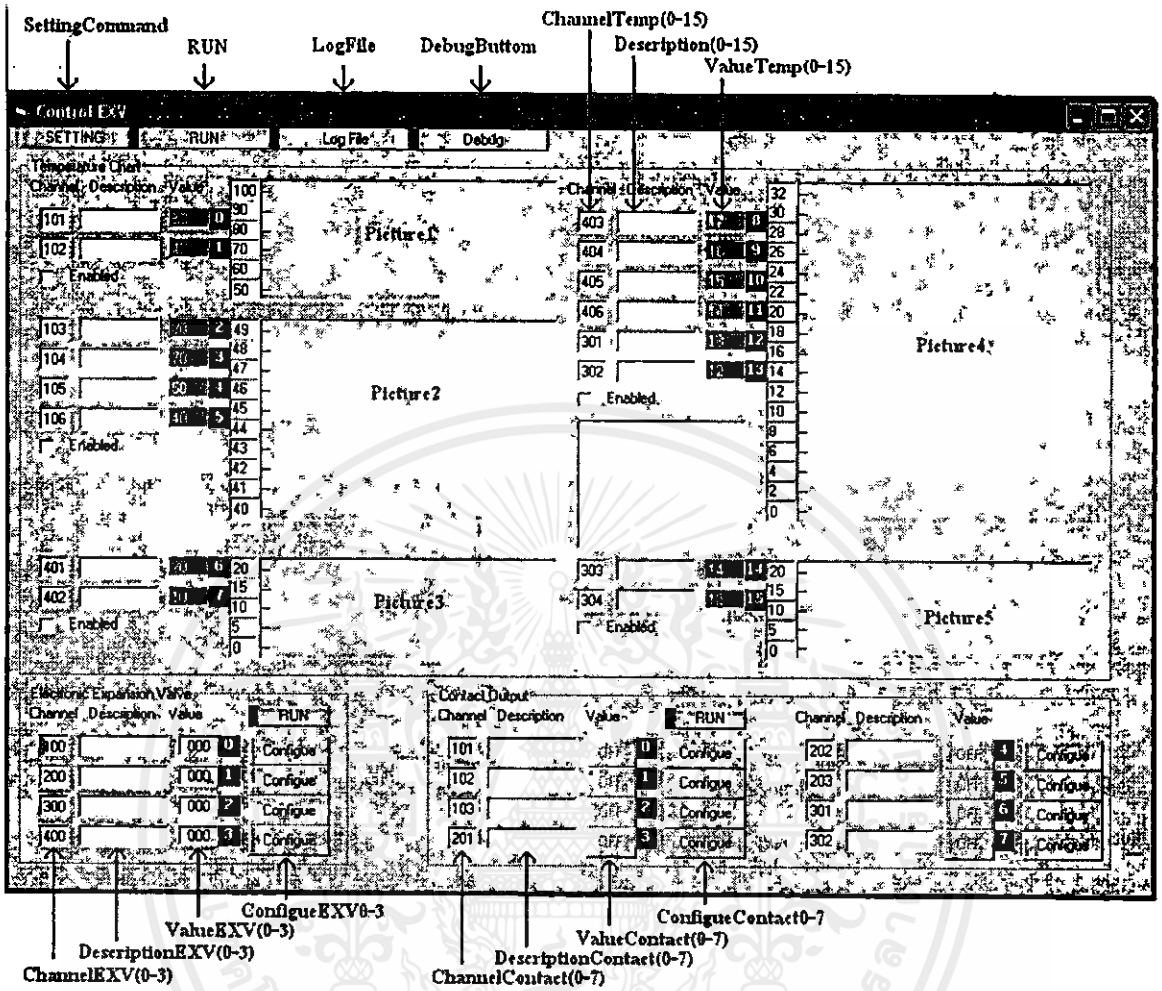
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของ ELECTRONIC EXPANSION VALVE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MAIN FORM เป็นหน้าหลักในการทำงานของโปรแกรม



'//// Start Program/////

```
Function FindTemperature(Chn As Integer, ByteHigh As Integer, ByteLow As Integer)
Dim I, j, BufferID, BufferChn, R0, K As Integer
Dim VrefUp, VrefLo, Vtemp, Rx, Temp, BufferLog As Double
Dim Vsupply, Rbias, TempUp, TempLo As Integer
    Vsupply = 5
    R0 = Val(Setting.ThermistorR0.Text)
    K = Val(Setting.ThermistorK.Text)
    If NowID Mod 2 > 0 Then
        Rbias = 10000
        VrefUp = 4.17
        VrefLo = 1.56
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        TempUp = 50
        TempLo = -10
    Else
        Rbias = 1000
        VrefUp = 3.33
        VrefLo = 1.56
        TempUp = 120
        TempLo = 50
    End If

    For I = 0 To 15
        BufferID = Val(ChannelTemp(i).Text) \ 100
        BufferChn = Val(ChannelTemp(i)) Mod 100
        'DebugForm.DebugText.Text = DebugForm.DebugText.Text + " " + Str(BufferID) +
" " + Str(BufferChn)
        If (BufferID = NowID) And (BufferChn = Chn) Then
            If (ByteHigh < 0) Then
              Vtemp = 0
            ElseIf (ByteHigh > 3) Then
              Vtemp = 1020
            Else
              Vtemp = ByteHigh * 255 + ByteLow
            End If
            Vtemp = Vtemp * ((VrefUp – VrefLo) / 1023)
            Vtemp = Vtemp + VrefLo
            Rx = ((Vsupply * Rbias) / Vtemp) – Rbias
            'Rx = Rx / 5000
            Temp = (Log(Rx) – Log(R0)) / Log(2.718282)
            Temp = (Temp / K) + (1 / 298.15)
            Temp = 1 / Temp
            Temp = Temp – 273.15
            If Temp > TempUp Then
                Temp = TempUp
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            ElseIf Temp < TempLo Then
                Temp = TempLo
            End If
            ValueTemp(i).Caption = Temp
            'DebugForm.DebugText.Text = DebugForm.DebugText.Text + " " + I + Temp +
" " + CR_LF
        End If
    Next i

End Function

Function FindData(DataFromSerial As String)
Dim I, j As Integer
Dim Index As Integer
Dim BufferChr As String
Dim Bufferbyte1 As Integer
    ResultFindData = "False"
      j = 18
    If Len(DataFromSerial) < j Then
        GoTo finishfunction
    End If

    If Len(DataFromSerial) = j Then
        Bufferbyte1 = 0
        For Index = 1 To j
          BufferChr = Mid(DataFromSerial, Index, 1)
          Bufferbyte(Index) = Asc(BufferChr)
          Bufferbyte1 = Bufferbyte1 + Bufferbyte(Index)
        Next Index
        Bufferbyte1 = Bufferbyte1 - Bufferbyte(j)
        Bufferbyte1 = Not Bufferbyte1
        Bufferbyte1 = Bufferbyte1 And 255
        If (Bufferbyte(j) = Bufferbyte1) And (Bufferbyte(1) = NowID) Then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            If Bufferbyte(2) = 2 Then
                ReceiveDataType = "Data"
            ElseIf Bufferbyte(2) = 4 Then
                ReceiveDataType = "Ack"
            Else
                ReceiveDataType = "Unknow Data"
            End If
            ResultFindData = "True"
            'DebugForm.DebugText.Text = DebugForm.DebugText.Text + " " + "Condition
01" + CR_LF
            GoTo finishfunction
        Else
            GoTo finishfunction
        End If
    End If

    'Bufferbyte(1) = Val(DataList0(Idnow * 6))

    For I = 0 To Len(DataFromSerial) - j
        Bufferbyte1 = 0
        For Index = 1 To j
            BufferChr = Mid(DataFromSerial, Index + I, 1)
            Bufferbyte(Index) = Asc(BufferChr)
            Bufferbyte1 = Bufferbyte1 + Bufferbyte(Index)
        Next Index
        Bufferbyte1 = Bufferbyte1 - Bufferbyte(j)
        Bufferbyte1 = Not Bufferbyte1
        Bufferbyte1 = Bufferbyte1 And 255
        If Bufferbyte(j) = Bufferbyte1 And (Bufferbyte(1) = NowID) Then
            If Bufferbyte(2) = 2 Then
                ReceiveDataType = "Data"
            ElseIf Bufferbyte(2) = 4 Then
                ReceiveDataType = "Ack"
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            Else
                ReceiveDataType = "Unknow Data"
            End If
            ResultFindData = "True"
            If (I + 1 + j) > Len(BufferLastSerial) Then
              BufferLastSerial = ""
            Else
              BufferLastSerial = Mid(BufferLastSerial, I + 1 + j, Len(BufferLastSerial) – (I +
j))
            End If
            GoTo finishfunction
          End If
      Next i

finishfunction:

End Function

Function LoadConfigue()
   ConfigueForm.ControlEXVType.Text = ValControlEXVType(IndexEXV)
  ConfigueForm.ValueEXVManual.Text = ValEXV(IndexEXV)

   'ConfigueForm.ValueMulEXVByEXV.Text = ValMulEXVByEXV(IndexEXV)
   ConfigueForm.ValueChannalRefEXV.Text = ValChannalRefEXV(IndexEXV)
   ConfigueForm.ValueTGDR.Text = ValTGDR(IndexEXV)
   ConfigueForm.ValueMinEXVByEXV = ValMinEXVByEXV(IndexEXV)
   ConfigueForm.ValueMaxEXVByEXV = ValMaxEXVByEXV(IndexEXV)
   'ConfigueForm.ValueUpdateEXVByEXV = ValUpdateEXV(IndexEXV)

   ConfigueForm.ValueMulEXVByTemp.Text = ValMulEXVByTemp(IndexEXV)
   ConfigueForm.ValueChannalOutlet.Text = ValChannalOutlet(IndexEXV)
   ConfigueForm.ValueChannalInlet.Text = ValChannalInlet(IndexEXV)
   ConfigueForm.ValueTGSH.Text = ValTGSH(IndexEXV)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    ConfigueForm.ValueMinEXVByTemp = ValMinEXVByTemp(IndexEXV)
    ConfigueForm.ValueMaxEXVByTemp = ValMaxEXVByTemp(IndexEXV)
    ConfigueForm.ValueUpdateEXVByTemp = ValUpdateEXV(IndexEXV)

End Function

Function LoadConfigueContact()
    ContactForm.ValueControlContactType = ValControlContactType(IndexIO)

    ContactForm.ValueChannalIO = ValChannalIO(IndexIO)
    ContactForm.ValueStatusRefIOON = ValStatusRefIOON(IndexIO)
    ContactForm.ValueStatusRefIOOFF = ValStatusRefIOOFF(IndexIO)

    ContactForm.ValueChannalTemp = ValChannalTemp(IndexIO)
    ContactForm.ValueLowerStatus = ValLowerStatus(IndexIO)
    ContactForm.ValueUpperStatus = ValUpperStatus(IndexIO)
    ContactForm.ValueLowerTemp = ValLowerTemp(IndexIO)
    ContactForm.ValueUpperTemp = ValUpperTemp(IndexIO)

End Function

Function LoadSetting()
        Setting.Comport = ValueComport
        Setting.Bordrate = ValueSettingport
        Setting.ValTimeOut = ValueTimeOut

End Function

Function SendDataSerial(ID As Integer, TypeData As String)
Dim DataSendBuffer(12) As Integer
Dim DataSend As String
Dim SendBuffer As Integer
Dim I, j As Integer
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
DataSendBuffer(1) = ID
If TypeData = "Request" Then
    'Find data type
    DataSendBuffer(2) = 1
    'Find SPARE
    For I = 3 To 10 Step 1
      DataSendBuffer(i) = 0
    Next i
ElseIf TypeData = "Command" Then
    'Find data type
    DataSendBuffer(2) = 3
    'Find EXV channel
    For I = 0 To 3 Step 1
      If Val(ChannelEXV(i).Text) \ 100 = ID Then
          DataSendBuffer(3) = Val(ValueEXV(i).Caption) \ 100
          DataSendBuffer(4) = Val(ValueEXV(i).Caption) Mod 100
      End If
    Next i
    'Find IO channel
    For I = 0 To 7 Step 1
      If Val(ChannelContact(i).Text) \ 100 = ID Then
          j = Val(ChannelContact(i).Text) Mod 100
          If (j > 0) And (j <= 3) Then
              If ValueContact(i).Caption = "ON" Then
                  DataSendBuffer(j + 4) = 1
              Else
                  DataSendBuffer(j + 4) = 0
              End If
          End If
      End If
    Next i
    'Find SPARE
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        For I = 8 To 10 Step 1
            DataSendBuffer(i) = 0
        Next i

    Else
        GoTo EndSendSerial
    End If

    'Find Check SUM
    SendBuffer = 0
    For I = 1 To 10 Step 1
        SendBuffer = SendBuffer + DataSendBuffer(i)
    Next i
    SendBuffer = Not SendBuffer
    SendBuffer = SendBuffer And 255
    DataSendBuffer(11) = SendBuffer
    DebugForm.DebugText.Text = DebugForm.DebugText.Text + CR_LF
    DataSend = ""
    For I = 1 To 11 Step 1
        DataSend = DataSend + Chr(DataSendBuffer(i))
        DebugForm.DebugText.Text = DebugForm.DebugText.Text + " " +
Hex(DataSendBuffer(i))
        MSComm1.Output = Chr(DataSendBuffer(i))

    Next i
    DebugForm.DebugText.Text = DebugForm.DebugText.Text + CR_LF          'Debug
    'MSComm1.Output = DataSend
    MSComm1.Rthreshold = 1
    TimerTimeOUT.Interval = ValueTimeOut
EndSendSerial:
End Function
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub CheckLogFile_Click()
Dim fnum As Integer
    On Error GoTo NoFile
    fnum = FreeFile
    Open App.Path & "\Logfile.dat" For Append As fnum
      Print #fnum, "Date"; Spc(1); "Time"; Spc(1); "Temp(1)"; Spc(1); "Temp(2)"; Spc(1);
"Temp(3)"; ; Spc(1); "Temp(4)"; Spc(1); "Temp(5)"; Spc(1); "Temp(6)"; Spc(1); "Temp(7)";
Spc(1); "Temp(8)"; Spc(4); "Temp(9)"; Spc(1); "Temp(10)"; Spc(1); "Temp(11)"; Spc(4);
"Temp(12)"; Spc(1); "Temp(13)"; Spc(1); "Temp(14)"; Spc(4); "Temp(15)"; Spc(1);
"Temp(16)"; Spc(1); "EXV(1)"; Spc(1); "EXV(2)"; Spc(1); "EXV(3)"; Spc(1); "EXV(4)";
Spc(1); "Contact(1)"; Spc(1); "Contact(2)"; Spc(1); "Contact(3)"; Spc(1); "Contact(4)"; Spc(1);
"Contact(5)"; Spc(1); "Contact(6)"; Spc(1); "Contact(7)"; Spc(1); "Contact(8)"
    Close fnum
NoFile:
End Sub

Private Sub ContactRunButtom_Click()
  If LabelContactRun.BackColor = QBColor(2) Then
    ContactRunButtom.Caption = "RUN"
    LabelContactRun.BackColor = QBColor(4)
    MainForm.TimerControlContact.Enabled = False
  Else
    ContactRunButtom.Caption = "STOP"
    LabelContactRun.BackColor = QBColor(2)
    MainForm.TimerControlContact.Interval = 100
    MainForm.TimerControlContact.Enabled = True
  End If
End Sub

Private Sub EXVRunButtom_Click()
Dim I As Integer
  If LabelEXVRun.BackColor = QBColor(2) Then
    EXVRunButtom.Caption = "RUN"
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    LabelEXVRun.BackColor = QBColor(4)
    MainForm.TimerControlEXV.Enabled = False
  Else
    EXVRunButtom.Caption = "STOP"
    LabelEXVRun.BackColor = QBColor(2)
    For I = 0 To 3
      If ValUpdateEXV(i) > MaxUpdateEXV Then
          MaxUpdateEXV = ValUpdateEXV(i)
      End If
      If ValControlEXVType(i) <> "Manual" Then
          ValEXV(i) = 250
          MainForm.ValueEXV(i).Caption = Str(ValEXV(i))
      End If
    Next i
    MainForm.TimerControlEXV.Interval = 1000
    MainForm.TimerControlEXV.Enabled = True
  End If
End Sub

Private Sub Form_Load()
Dim fnum As Integer
Dim I As Integer
Dim Tempt
  CR_LF = Chr$(13) + Chr$(10)
  On Error GoTo NoFile
  fnum = FreeFile
  Open App.Path & "\config.dat" For Input As fnum
  For I = 0 To 3
      Input #fnum, ValControlEXVType(i)
      Input #fnum, ValEXV(i)
      Input #fnum, ValChannalRefEXV(i)
      Input #fnum, ValTGDR(i)
      Input #fnum, ValMinEXVByEXV(i)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        Input #fnum, ValMaxEXVByEXV(i)
        Input #fnum, ValUpdateEXV(i)
        Input #fnum, ValMulEXVByTemp(i)
        Input #fnum, ValChannalOutlet(i)
        Input #fnum, ValChannalInlet(i)
        Input #fnum, ValTGSH(i)
        Input #fnum, ValMinEXVByTemp(i)
        Input #fnum, ValMaxEXVByTemp(i)
    Next i
    For I = 0 To 7
        Input #fnum, ValControlContactType(i)
        Input #fnum, ValChannalIO(i)
        Input #fnum, ValStatusRefIOON(i)
        Input #fnum, ValStatusRefIOOFF(i)
        Input #fnum, ValChannalTemp(i)
        Input #fnum, ValLowerStatus(i)
        Input #fnum, ValUpperStatus(i)
        Input #fnum, ValLowerTemp(i)
        Input #fnum, ValUpperTemp(i)
        Input #fnum, ValContact(i)
    Next i

        Input #fnum, ValueComport
        Input #fnum, ValueSettingport
        Input #fnum, ValueTimeOut
        Input #fnum, ValueSamplingTime

    For I = 1 To 5
        Input #fnum, ValueUpperPicture(i)
        Input #fnum, ValueLowerPicture(i)
    Next i

    For I = 0 To 15
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        Input #fnum, ValueChannelTemp(i)
    Next i

    For I = 0 To 3
        Input #fnum, ValueChannelEXV(i)
    Next i

    For I = 0 To 7
        Input #fnum, ValueChannelContact(i)
    Next i

    Close fnum
NoFile:

    For I = 0 To 15
        ChannelTemp(i).Text = ValueChannelTemp(i)
    Next i
    For I = 0 To 3
        ChannelEXV(i).Text = ValueChannelEXV(i)
    Next i
    For I = 0 To 7
        ChannelContact(i).Text = ValueChannelContact(i)
    Next i
    For I = 0 To 7
      ValueContact(i).Caption = "OFF"
      If ValControlContactType(i) = "Manual" Then
        MainForm.ValueContact(i).Enabled = True
      Else
        MainForm.ValueContact(i).Enabled = False
      End If
    Next i

    'Graph
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Temp = 150
    'Picture1
UpperPicture1.Text = ValueUpperPicture(1)
LowerPicture1.Text = ValueLowerPicture(1)
Tempt = (ValueUpperPicture(1) – ValueLowerPicture(1)) / 5
For I = 1 To 4 Step 1
    ScalePicture1(i).Caption = ValueUpperPicture(1) – Tempt * i
Next i
Picture1.DrawWidth = 1
Picture1.ScaleHeight = (ValueUpperPicture(1) – ValueLowerPicture(1)) * 10
TempPicture1 = Picture1.ScaleHeight / 6
Picture1.Line (1, TempPicture1 * 0.5)-(100, TempPicture1 * 0.5)
Picture1.Line (1, TempPicture1 * 1.5)-(100, TempPicture1 * 1.5)
Picture1.Line (1, TempPicture1 * 2.5)-(100, TempPicture1 * 2.5)
Picture1.Line (1, TempPicture1 * 3.5)-(100, TempPicture1 * 3.5)
Picture1.Line (1, TempPicture1 * 4.5)-(100, TempPicture1 * 4.5)
Picture1.Line (1, TempPicture1 * 5.5)-(100, TempPicture1 * 5.5)
ScaleYPicture1 = (Picture1.ScaleHeight – TempPicture1) / (ValueUpperPicture(1) –
ValueLowerPicture(1))

    'Picuture2
UpperPicture2.Text = ValueUpperPicture(2)
LowerPicture2.Text = ValueLowerPicture(2)
Tempt = (ValueUpperPicture(2) – ValueLowerPicture(2)) / 9
For I = 1 To 8 Step 1
    ScalePicture2(i).Caption = ValueUpperPicture(2) – Tempt * i
Next i
Picture2.DrawWidth = 1
Picture2.ScaleHeight = (ValueUpperPicture(2) – ValueLowerPicture(2)) * 20
TempPicture2 = Picture2.ScaleHeight / 10
For I = 0 To 9 Step 1
    Picture2.Line (1, TempPicture2 * (I + 0.5))-(100, TempPicture2 * (I + 0.5))
Next i
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
ScaleYPicture2 = (Picture2.ScaleHeight – TempPicture2) / (ValueUpperPicture(2) –
ValueLowerPicture(2))

    'Picuture3
UpperPicture3.Text = ValueUpperPicture(3)
LowerPicture3.Text = ValueLowerPicture(3)
Tempt = (ValueUpperPicture(3) – ValueLowerPicture(3)) / 4
For I = 1 To 3 Step 1
  ScalePicture3(i).Caption = ValueUpperPicture(3) – Tempt * i
Next i
Picture3.DrawWidth = 1
Picture3.ScaleHeight = (ValueUpperPicture(3) – ValueLowerPicture(3)) * 10
TempPicture3 = Picture3.ScaleHeight / 5
For I = 0 To 4 Step 1
  Picture3.Line (1, TempPicture3 * (I + 0.5))-(100, TempPicture3 * (I + 0.5))
Next i
ScaleYPicture3 = (Picture3.ScaleHeight – TempPicture3) / (ValueUpperPicture(3) –
ValueLowerPicture(3))

    'Picuture4
UpperPicture4.Text = ValueUpperPicture(4)
LowerPicture4.Text = ValueLowerPicture(4)
Tempt = (ValueUpperPicture(4) – ValueLowerPicture(4)) / 16
For I = 1 To 15 Step 1
  ScalePicture4(i).Caption = ValueUpperPicture(4) – Tempt * i
Next i
Picture4.DrawWidth = 1
Picture4.ScaleHeight = (ValueUpperPicture(4) – ValueLowerPicture(4)) * 100
TempPicture4 = Picture4.ScaleHeight / 17
For I = 0 To 16 Step 1
  Picture4.Line (1, TempPicture4 * (I + 0.5))-(100, TempPicture4 * (I + 0.5))
Next i
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    ScaleYPicture4 = (Picture4.ScaleHeight – TempPicture4) / (ValueUpperPicture(4) –
ValueLowerPicture(4))


      'Picuture5
    UpperPicture5.Text = ValueUpperPicture(5)
    LowerPicture5.Text = ValueLowerPicture(5)
    Tempt = (ValueUpperPicture(5) – ValueLowerPicture(5)) / 4
    For I = 1 To 3 Step 1
      ScalePicture5(i).Caption = ValueUpperPicture(5) – Tempt * i
    Next i
    Picture5.DrawWidth = 1
    Picture5.ScaleHeight = (ValueUpperPicture(5) – ValueLowerPicture(5)) * 10
    TempPicture5 = Picture5.ScaleHeight / 5
    For I = 0 To 4 Step 1
      Picture5.Line (1, TempPicture5 * (I + 0.5))-(100, TempPicture5 * (I + 0.5))
    Next i
    ScaleYPicture5 = (Picture5.ScaleHeight – TempPicture5) / (ValueUpperPicture(5) –
ValueLowerPicture(5))
    'Status Lamp
    LabelRUN.BackColor = QBColor(4)
    LabelLogFile.BackColor = QBColor(4)
    LabelDebug.BackColor = QBColor(4)
    LabelEXVRun.BackColor = QBColor(4)
    LabelContactRun.BackColor = QBColor(4)
    'Timer
    Timer1.Enabled = True
    TimerTimeOUT.Enabled = False
    TimerTimeOUT.Interval = 0
    TimerLogFile.Enabled = False
    TimerLogFile.Interval = 0

End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub Form_Unload(Cancel As Integer)
Dim fnum As Integer
Dim I As Integer

  For I = 0 To 15
      ValueChannelTemp(i) = ChannelTemp(i).Text
  Next i
  For I = 0 To 3
      ValueChannelEXV(i) = ChannelEXV(i).Text
  Next i
  For I = 0 To 7
      ValueChannelContact(i) = ChannelContact(i).Text
  Next i

  On Error GoTo NoFile
  fnum = FreeFile
  Open App.Path & "\config.dat" For Output As fnum
  For I = 0 To 3
      Write #fnum, ValControlEXVType(i)
      Write #fnum, ValEXV(i)
      Write #fnum, ValChannalRefEXV(i)
      Write #fnum, ValTGDR(i)
      Write #fnum, ValMinEXVByEXV(i)
      Write #fnum, ValMaxEXVByEXV(i)
      Write #fnum, ValUpdateEXV(i)
      Write #fnum, ValMulEXVByTemp(i)
      Write #fnum, ValChannalOutlet(i)
      Write #fnum, ValChannalInlet(i)
      Write #fnum, ValTGSH(i)
      Write #fnum, ValMinEXVByTemp(i)
      Write #fnum, ValMaxEXVByTemp(i)

  Next i
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
For I = 0 To 7
    Write #fnum, ValControlContactType(i)
    Write #fnum, ValChannalIO(i)
    Write #fnum, ValStatusReflOON(i)
    Write #fnum, ValStatusReflOOFF(i)
    Write #fnum, ValChannalTemp(i)
    Write #fnum, ValLowerStatus(i)
    Write #fnum, ValUpperStatus(i)
    Write #fnum, ValLowerTemp(i)
    Write #fnum, ValUpperTemp(i)
    Write #fnum, ValContact(i)

Next i

  Write #fnum, ValueComport
  Write #fnum, ValueSettingport
  Write #fnum, ValueTimeOut
  Write #fnum, ValueSamplingTime

For I = 1 To 5
    Write #fnum, ValueUpperPicture(i)
    Write #fnum, ValueLowerPicture(i)
Next i

For I = 0 To 15
    Write #fnum, ValueChannelTemp(i)
Next i
For I = 0 To 3
    Write #fnum, ValueChannelEXV(i)
Next i
For I = 0 To 7
    Write #fnum, ValueChannelContact(i)
Next i
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Close fnum

NoFile:

End Sub

Private Sub MSComm1_OnComm()
Dim Buffer, BufferChr As String
Dim BufferIndex As Integer
'Dim Bufferbyte(100) As Integer
    Select Case MSComm1.CommEvent
        Case comEvReceive
        'BufferSerial = Trim(MSComm1.Input)
        Buffer = Trim(MSComm1.Input)

        For BufferIndex = 1 To Len(Buffer)
          BufferChr = Mid(Buffer, BufferIndex, 1)
          Bufferbyte(BufferIndex) = Asc(BufferChr)
          DebugForm.DebugText.Text = DebugForm.DebugText.Text + " " +
Str(Bufferbyte(BufferIndex))
          'DebugForm.DebugText.Text = DebugForm.DebugText.Text + " " +
Hex(Bufferbyte(BufferIndex))
          'DataSerial.Text = DataSerial.Text + " " + Hex(Bufferbyte(BufferIndex))
        Next BufferIndex
       '+ CR_LF

        BufferLastSerial = BufferLastSerial + Buffer
        If Len(BufferLastSerial) > 50 Then
          BufferLastSerial = Mid(BufferLastSerial, Len(BufferLastSerial) - 49, 50)
        End If

        SP = FindData(BufferLastSerial)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
If ResultFindData <> "True" Then
    GoTo finishloop
End If
DebugForm.DebugText.Text = DebugForm.DebugText.Text + " " + ResultFindData

If ReceiveDataType = "Data" Then
        SP = FindTemperature(1, Bufferbyte(3), Bufferbyte(4))
        SP = FindTemperature(2, Bufferbyte(5), Bufferbyte(6))
        SP = FindTemperature(3, Bufferbyte(7), Bufferbyte(8))
        SP = FindTemperature(4, Bufferbyte(9), Bufferbyte(10))
        SP = FindTemperature(5, Bufferbyte(11), Bufferbyte(12))
        SP = FindTemperature(6, Bufferbyte(13), Bufferbyte(14))

        SP = SendDataSerial(NowID, "Command")
ElseIf ReceiveDataType = "Ack" Then
    'If NowID <= 7 Then
    '    NowID = NowID + 1
    'Else
    '    NowID = 1
    'End If
    'SP = SendDataSerial(NowID, "Request")
    'MSComm1.Output = Chr(0)
End If


End Select

finishloop:
End Sub

Private Sub LogFile_Click()
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    If LabelLogFile.BackColor = QBColor(2) Then
        LogFile.Caption = "LogFile"
        LabelLogFile.BackColor = QBColor(4)
        TimerLogFile.Enabled = False
    Else
        LogFile.Caption = "Stop LogFile"
        LabelLogFile.BackColor = QBColor(2)
        TimerLogFile.Enabled = True
        TimerLogFile.Interval = ValueSamplingTime
    End If
End Sub

Private Sub RUN_Click()
    If LabelRUN.BackColor = QBColor(2) Then
        MSComm1.PortOpen = False
        RUN.Caption = "RUN"
        LabelRUN.BackColor = QBColor(4)
        MSComm1.Rthreshold = 0          'Disable receive data
        TimerTimeOUT.Enabled = False
    Else
        Comport = Val(Setting.Comport.Text)
        valueport = Setting.Bordrate.Text
        MSComm1.Settings = ValueSettingport
        MSComm1.CommPort = ValueComport
        MSComm1.Rthreshold = 1
        MSComm1.PortOpen = True
        RUN.Caption = "STOP"
        LabelRUN.BackColor = QBColor(2)
        MSComm1.Rthreshold = 1          'Disable receive data
        TimerTimeOUT.Enabled = True
        TimerTimeOUT.Interval = 0
        'Send First Request
        NowID = 1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        SP = SendDataSerial(NowID, "Request")


    End If
End Sub
Private Sub DebugButtom_Click()
        If LabelDebug.BackColor = QBColor(2) Then
        DebugButtom.Caption = "Debug"
        LabelDebug.BackColor = QBColor(4)
        DebugForm.Enabled = False
        DebugForm.Visible = False
    Else
        DebugButtom.Caption = "Stop Debug"
        LabelDebug.BackColor = QBColor(2)
        DebugForm.Enabled = True
        DebugForm.Visible = True
    End If
End Sub

Private Sub SettingCommand_Click()
    SP = LoadSetting()
    Setting.Enabled = True
    Setting.Visible = True
End Sub

Private Sub TimerControlContact_Timer()
Dim I As Integer

    For I = 0 To 7
            If ValControlContactType(i) = "Manual" Then
                'Do not thing
            ElseIf ValControlContactType(i) = "AutoByTemp" Then
                If Val(ValueTemp(ValChannalTemp(i))) > ValUpperTemp(i) Then
                    ValueContact(i).Caption = ValUpperStatus(i)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            ElseIf Val(ValueTemp(ValChannalTemp(i))) < ValLowerTemp(i) Then
                ValueContact(i).Caption = ValLowerStatus(i)
            End If
        ElseIf ValControlContactType(i) = "AutoByI/O" Then
            If ValueContact(ValChannalIO(i)).Caption = "ON" Then
                ValueContact(i).Caption = ValStatusRefIOON(i)
            Else
                ValueContact(i).Caption = ValStatusRefIOOFF(i)
            End If

        End If
    Next i

End Sub

Private Sub TimerControlEXV_Timer()
Dim I As Integer
Dim BufferRefEXV, BufferThisEXV, BufferCalculateEXV As Integer
  If BufferUpdateEXV < MaxUpdateEXV Then
      BufferUpdateEXV = BufferUpdateEXV + 1
  Else
      BufferUpdateEXV = 0
  End If

  For I = 0 To 3
      If ValControlEXVType(i) = "AutoByEXV" Then
          BufferRefEXV = Val(ValueEXV(ValChannalRefEXV(i)))
          BufferThisEXV = Val(ValueEXV(i))
          BufferCalculateEXV = ((BufferRefEXV – BufferThisEXV) – ValTGDR(i))
          BufferCalculateEXV = BufferThisEXV + BufferCalculateEXV
          If BufferCalculateEXV < ValMinEXVByEXV(i) Then
              BufferCalculateEXV = ValMinEXVByEXV(i)
          ElseIf BufferCalculateEXV > ValMaxEXVByEXV(i) Then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                BufferCalculateEXV = ValMaxEXVByEXV(i)
            End If
            ValueEXV(i) = Str(BufferCalculateEXV)

        ElseIf ValControlEXVType(i) = "AutoByTemp" Then
            If ((BufferUpdateEXV Mod ValUpdateEXV(i)) = 0) And (BufferUpdateEXV >=
ValUpdateEXV(i)) Then
                BufferThisEXV = Val(ValueEXV(i))
                BufferCalculateEXV = ((Val(ValueTemp(ValChannalOutlet(i))) –
Val(ValueTemp(ValChannalInlet(i)))) – ValTGSH(i)) * ValMulEXVByTemp(i)
                BufferCalculateEXV = BufferThisEXV + BufferCalculateEXV
                If BufferCalculateEXV < ValMinEXVByTemp(i) Then
                    BufferCalculateEXV = ValMinEXVByTemp(i)
                ElseIf BufferCalculateEXV > ValMaxEXVByTemp(i) Then
                    BufferCalculateEXV = ValMaxEXVByTemp(i)
                End If
                ValueEXV(i) = Str(BufferCalculateEXV)
            End If
        End If

    Next i

    'For I = 0 To 3
    '    If ValControlEXVType(i) = "Manual" Then
    '        'Do not thing
    '    ElseIf ValControlEXVType(i) = "AutoByTemp" Then
    '        BufferThisEXV = Val(ValueEXV(i))
    '        BufferCalculateEXV = ((Val(ValueTemp(ValChannalOutlet(i))) –
Val(ValueTemp(ValChannalInlet(i)))) – ValTGSH(i)) * ValMulEXVByTemp(i)
    '        BufferCalculateEXV = BufferThisEXV + BufferCalculateEXV
    '        If BufferCalculateEXV < ValMinEXVByTemp(i) Then
    '            BufferCalculateEXV = ValMinEXVByTemp(i)
    '        ElseIf BufferCalculateEXV > ValMaxEXVByTemp(i) Then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
'                   BufferCalculateEXV = ValMaxEXVByTemp(i)
'               End If
'               ValueEXV(i) = Str(BufferCalculateEXV)
'           ElseIf ValControlEXVType(i) = "AutoByEXV" Then
'               BufferRefEXV = Val(ValueEXV(ValChannalRefEXV(i)))
'               BufferThisEXV = Val(ValueEXV(i))
'               BufferCalculateEXV = ((BufferRefEXV - BufferThisEXV) - ValTGDR(i))
'               BufferCalculateEXV = BufferThisEXV + BufferCalculateEXV
'               If BufferCalculateEXV < ValMinEXVByEXV(i) Then
'                   BufferCalculateEXV = ValMinEXVByEXV(i)
'               ElseIf BufferCalculateEXV > ValMaxEXVByEXV(i) Then
'                   BufferCalculateEXV = ValMaxEXVByEXV(i)
'               End If
'               ValueEXV(i) = Str(BufferCalculateEXV)
'           End If
'   Next i

EndTimerControlEXV:
End Sub

Private Sub TimerLogFile_Timer()
Dim BufferDate, BufferTime
   'Log File
   If LogFile.Caption = "Stop LogFile" Then
   'If CheckLogFile.Value = 1 Then
      BufferDate = Date
      BufferTime = Time
      On Error GoTo NoFile
      fnum = FreeFile
      Open App.Path & "\Logfile.dat" For Append As fnum
      'Open App.Path & "\Logfile " + Str(BufferDate) + " " + Str(BufferTime) + ".dat" For
Append As fnum
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        Print #fnum, Now; Spc(1); ValueTemp(0); Spc(1); ValueTemp(1); Spc(1);
ValueTemp(2); Spc(1); ValueTemp(3); Spc(1); ValueTemp(4); Spc(1); ValueTemp(5); Spc(1);
ValueTemp(6); Spc(1); ValueTemp(7); Spc(1); ValueTemp(8); Spc(1); ValueTemp(9); Spc(1);
ValueTemp(10); Spc(1); ValueTemp(11); Spc(1); ValueTemp(12); Spc(1); ValueTemp(13);
Spc(1); ValueTemp(14); Spc(1); ValueTemp(15); Spc(1); ValueEXV(0); Spc(1); ValueEXV(1);
Spc(1); ValueEXV(2); Spc(1); ValueEXV(3); Spc(1); ValueContact(0).Caption; Spc(1);
ValueContact(1).Caption; Spc(1); ValueContact(2).Caption; Spc(1); ValueContact(3).Caption;
Spc(1); ValueContact(4).Caption; Spc(1); ValueContact(5).Caption; Spc(1);
ValueContact(6).Caption; Spc(1); ValueContact(7).Caption
    Close fnum
NoFile:

  End If
End Sub

Private Sub TimerTimeOUT_Timer()
    If NowID <= 7 Then
        NowID = NowID + 1
    Else
        NowID = 1
    End If
    SP = SendDataSerial(NowID, "Request")
End Sub

Private Sub LowerPicture1_LostFocus()
Dim Tempt, i
  ValueLowerPicture(1) = LowerPicture1
  Picture1.ScaleHeight = (ValueUpperPicture(1) - ValueLowerPicture(1)) * 10
  Tempt = (UpperPicture1 - LowerPicture1) / 5
  For I = 1 To 4 Step 1
    ScalePicture1(i).Caption = UpperPicture1 - Tempt * i
  Next i
  ScaleYPicture1 = (Picture1.ScaleHeight - TempPicture1) / (UpperPicture1 - LowerPicture1)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
End Sub

Private Sub UpperPicture1_LostFocus()
Dim Tempt, i
   ValueUpperPicture(1) = UpperPicture1
   Picture1.ScaleHeight = (ValueUpperPicture(1) – ValueLowerPicture(1)) * 10
   Tempt = (UpperPicture1 – LowerPicture1) / 5
   For I = 1 To 4 Step 1
      ScalePicture1(i).Caption = UpperPicture1 – Tempt * i
   Next i
   ScaleYPicture1 = (Picture1.ScaleHeight – TempPicture1) / (UpperPicture1 – LowerPicture1)

End Sub

Private Sub LowerPicture2_LostFocus()
Dim Tempt, i
   ValueLowerPicture(2) = LowerPicture2
   Picture2.ScaleHeight = (ValueUpperPicture(2) – ValueLowerPicture(2)) * 20
   Tempt = (UpperPicture2 – LowerPicture2) / 9
   For I = 1 To 8 Step 1
      ScalePicture2(i).Caption = UpperPicture2 – Tempt * i
   Next i
   ScaleYPicture2 = (Picture2.ScaleHeight – TempPicture2) / (UpperPicture2 – LowerPicture2)

End Sub

Private Sub UpperPicture2_LostFocus()
Dim Tempt, i
   ValueUpperPicture(2) = UpperPicture2
   Picture2.ScaleHeight = (ValueUpperPicture(2) – ValueLowerPicture(2)) * 20
   Tempt = (UpperPicture2 – LowerPicture2) / 9
   For I = 1 To 8 Step 1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    ScalePicture2(i).Caption = UpperPicture2 – Tempt * i
  Next i
  ScaleYPicture2 = (Picture2.ScaleHeight – TempPicture2) / (UpperPicture2 – LowerPicture2)

End Sub

Private Sub LowerPicture3_LostFocus()
Dim Tempt, i
  ValueLowerPicture(3) = LowerPicture3
  Picture3.ScaleHeight = (ValueUpperPicture(3) – ValueLowerPicture(3)) * 10
  Tempt = (UpperPicture3 – LowerPicture3) / 4
  For I = 1 To 3 Step 1
    ScalePicture3(i).Caption = UpperPicture3 – Tempt * i
  Next i
  ScaleYPicture3 = (Picture3.ScaleHeight – TempPicture3) / (UpperPicture3 – LowerPicture3)

End Sub

Private Sub UpperPicture3_LostFocus()
Dim Tempt, i
  ValueUpperPicture(3) = UpperPicture3
  Picture3.ScaleHeight = (ValueUpperPicture(3) – ValueLowerPicture(3)) * 10
  Tempt = (UpperPicture3 – LowerPicture3) / 4
  For I = 1 To 3 Step 1
    ScalePicture3(i).Caption = UpperPicture3 – Tempt * i
  Next i
  ScaleYPicture3 = (Picture3.ScaleHeight – TempPicture3) / (UpperPicture3 – LowerPicture3)

End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub LowerPicture4_LostFocus()
Dim Tempt, i
  ValueLowerPicture(4) = LowerPicture4
```

```
    Picture4.ScaleHeight = (ValueUpperPicture(4) – ValueLowerPicture(4)) * 100
    Tempt = (UpperPicture4 – LowerPicture4) / 16
    For I = 1 To 15 Step 1
       ScalePicture4(i).Caption = UpperPicture4 – Tempt * i
    Next i
    ScaleYPicture4 = (Picture4.ScaleHeight – TempPicture4) / (UpperPicture4 – LowerPicture4)

End Sub

Private Sub UpperPicture4_LostFocus()
Dim Tempt, i
    ValueUpperPicture(4) = UpperPicture4
    Picture4.ScaleHeight = (ValueUpperPicture(4) – ValueLowerPicture(4)) * 100
    Tempt = (UpperPicture4 – LowerPicture4) / 16
    For I = 1 To 15 Step 1
       ScalePicture4(i).Caption = UpperPicture4 – Tempt * i
    Next i
    ScaleYPicture4 = (Picture4.ScaleHeight – TempPicture4) / (UpperPicture4 – LowerPicture4)

End Sub

Private Sub LowerPicture5_LostFocus()
Dim Tempt, i
    ValueLowerPicture(5) = LowerPicture5
    Picture5.ScaleHeight = (ValueUpperPicture(5) – ValueLowerPicture(5)) * 10
    Tempt = (UpperPicture5 – LowerPicture4) / 4
    For I = 1 To 3 Step 1
       ScalePicture5(i).Caption = UpperPicture5 – Tempt * i
    Next i
    ScaleYPicture5 = (Picture5.ScaleHeight – TempPicture5) / (UpperPicture5 – LowerPicture5)

End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub UpperPicture5_LostFocus()
Dim Tempt, i
   ValueUpperPicture(5) = UpperPicture5
   Picture5.ScaleHeight = (ValueUpperPicture(5) – ValueLowerPicture(5)) * 10
   Tempt = (UpperPicture5 – LowerPicture5) / 4
   For I = 1 To 3 Step 1
      ScalePicture5(i).Caption = UpperPicture5 – Tempt * i
   Next i
   ScaleYPicture5 = (Picture5.ScaleHeight – TempPicture5) / (UpperPicture5 – LowerPicture5)

End Sub

Private Sub Timer1_Timer()
Dim fnum As Integer


Dim I, j
   'Update X position of graph
   If (Temp < Picture1.Width) Then
      Temp = Temp + 3
   Else
      Temp = 153
   End If

   'Uudate graph Picture1
   If EnabledPicture(1).Value = 1 Then
      For I = 0 To 1 Step 1
         Picture1YlastPosition(i) = Picture1Yposition(i)
         If (Val(ValueTemp(i).Caption) <= ValueUpperPicture(1)) Or
(Val(ValueTemp(i).Caption) >= ValueLowerPicture(1)) Then
         Picture1Yposition(i) = ((ValueUpperPicture(1) – ValueTemp(i).Caption) *
ScaleYPicture1) + (TempPicture1 * 0.5)
         Else
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            Picture1Yposition(i) = 0
        End If
    Next i
    Picture1.DrawWidth = 1
    For I = 0 To Picture1.ScaleHeight Step 1
        If Picture1.Point(Temp + 6, i) <> -1 Then
            Picture1.Pset (Temp + 6, i), (Picture1.BackColor)
        End If
        Picture1.Pset (Temp + 9, i), (RGB(150, 150, 150))
    Next i
    For I = 0 To 1 Step 1
        If Temp < 155 Or Picture1YlastPosition(i) = 0 Then
            Picture1YlastPosition(i) = Picture1Yposition(i)
        End If
        Picture1.Line (Temp – 3, Picture1YlastPosition(i))-(Temp, Picture1Yposition(i)),
ValueTemp(i).BackColor
        'Picture1.Pset (Temp, Picture1Yposition(i)), (ValueTemp(i).BackColor)
    Next i
  End If
  'Uudate graph Picture2
  If EnabledPicture(2).Value = 1 Then
    For I = 2 To 5 Step 1
        Picture2YlastPosition(I – 2) = Picture2Yposition(I – 2)
        If (Val(ValueTemp(i).Caption) <= ValueUpperPicture(2)) Or
(Val(ValueTemp(i).Caption) >= ValueLowerPicture(2)) Then
        Picture2Yposition(I – 2) = ((ValueUpperPicture(2) – ValueTemp(i).Caption) *
ScaleYPicture2) + (TempPicture2 * 0.5)
        Else
            Picture2Yposition(I – 2) = 0
        End If
    Next i
    Picture2.DrawWidth = 1
    For I = 0 To Picture2.ScaleHeight Step 1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        If Picture2.Point(Temp + 6, i) <> -1 Then
            Picture2.Pset (Temp + 6, i), (Picture2.BackColor)
        End If
        Picture2.Pset (Temp + 9, i), (RGB(150, 150, 150))
      Next i
      For I = 0 To 3 Step 1
        If Temp < 155 Or Picture2YlastPosition(i) = 0 Then
          Picture2YlastPosition(i) = Picture2Yposition(i)
        End If
        Picture2.Line (Temp – 3, Picture2YlastPosition(i))-(Temp, Picture2Yposition(i)),
ValueTemp(I + 2).BackColor
        'Picture2.Pset (Temp, Picture2Yposition(i)), (ValueTemp(I + 2).BackColor)
      Next i
    End If
    'Uudate graph Picture3
    If EnabledPicture(3).Value = 1 Then
      For I = 6 To 7 Step 1
        j = I – 6
        Picture3YlastPosition(j) = Picture3Yposition(j)
        If (Val(ValueTemp(i).Caption) <= ValueUpperPicture(3)) Or
(Val(ValueTemp(i).Caption) >= ValueLowerPicture(3)) Then
          Picture3Yposition(I – 6) = (ValueUpperPicture(3) – ValueTemp(i).Caption) *
ScaleYPicture3 + (TempPicture3 * 0.5)
        Else
          Picture3Yposition(I – 6) = 0
        End If
      Next i
      Picture3.DrawWidth = 1
      For I = 0 To Picture3.ScaleHeight Step 1
        If Picture3.Point(Temp + 6, i) <> -1 Then
          Picture3.Pset (Temp + 6, i), (Picture3.BackColor)
        End If
        Picture3.Pset (Temp + 9, i), (RGB(150, 150, 150))
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Next i
    For I = 0 To 1 Step 1
      If Temp < 155 Or Picture3YlastPosition(i) = 0 Then
        Picture3YlastPosition(i) = Picture3Yposition(i)
      End If
      Picture3.Line (Temp – 3, Picture3YlastPosition(i))-(Temp, Picture3Yposition(i)),
ValueTemp(I + 6).BackColor
      'Picture3.Pset (Temp, Picture3Yposition(i)), (ValueTemp(I + 6).BackColor)
    Next i
  End If
  'Uudate graph Picture4
  If EnabledPicture(4).Value = 1 Then
    For I = 8 To 13 Step 1
      Picture4YlastPosition(I – 8) = Picture4Yposition(I – 8)
      If (Val(ValueTemp(i).Caption) <= ValueUpperPicture(4)) Or
(Val(ValueTemp(i).Caption) >= ValueLowerPicture(4)) Then
        Picture4Yposition(I – 8) = (ValueUpperPicture(4) – ValueTemp(i).Caption) *
ScaleYPicture4 + (TempPicture4 * 0.5)
      Else
        Picture4Yposition(I – 8) = 0
      End If
    Next i
    Picture4.DrawWidth = 1
    For I = 0 To Picture4.ScaleHeight Step 1
      If Picture4.Point(Temp + 6, i) <> -1 Then
        Picture4.Pset (Temp + 6, i), (Picture4.BackColor)
      End If
      Picture4.Pset (Temp + 9, i), (RGB(150, 150, 150))
    Next i
    For I = 0 To 5 Step 1
      If Temp < 155 Or Picture4YlastPosition(i) = 0 Then
        Picture4YlastPosition(i) = Picture4Yposition(i)
      End If
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        Picture4.Line (Temp – 3, Picture4YlastPosition(i))-(Temp, Picture4Yposition(i)),
ValueTemp(I + 8).BackColor
        'Picture4.Pset (Temp, Picture4Yposition(i)), (ValueTemp(I + 8).BackColor)
      Next i
    End If
    'Uudate graph Picture5
    If EnabledPicture(5).Value = 1 Then
      For I = 14 To 15 Step 1
        Picture5YlastPosition(I – 14) = Picture5Yposition(I – 14)
        If (Val(ValueTemp(i).Caption) <= ValueUpperPicture(5)) Or
(Val(ValueTemp(i).Caption) >= ValueLowerPicture(5)) Then
          Picture5Yposition(I – 14) = (ValueUpperPicture(5) – ValueTemp(i).Caption) *
ScaleYPicture5 + (TempPicture5 * 0.5)
        Else
          Picture5Yposition(I – 14) = 0
        End If
      Next i
      Picture5.DrawWidth = 1
      For I = 0 To Picture5.ScaleHeight Step 1
        If Picture5.Point(Temp + 6, i) <> -1 Then
          Picture5.Pset (Temp + 6, i), (Picture5.BackColor)
        End If
        Picture5.Pset (Temp + 9, i), (RGB(150, 150, 150))
      Next i
      For I = 0 To 1 Step 1
        If Temp < 155 Or Picture5YlastPosition(i) = 0 Then
          Picture5YlastPosition(i) = Picture5Yposition(i)
        End If
        Picture5.Line (Temp – 3, Picture5YlastPosition(i))-(Temp, Picture5Yposition(i)),
ValueTemp(I + 14).BackColor
        'Picture5.Pset (Temp, Picture5Yposition(i)), (ValueTemp(I + 14).BackColor)
      Next i
    End If
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
End Sub

Private Sub ConfigueEXV0_Click()
    IndexEXV = 0
    LoadConfigue
    ConfigueForm.Show
End Sub

Private Sub ConfigueEXV1_Click()
    IndexEXV = 1
    LoadConfigue
    ConfigueForm.Show
End Sub
Private Sub ConfigueEXV2_Click()
    IndexEXV = 2
    LoadConfigue
    ConfigueForm.Show
End Sub
Private Sub ConfigueEXV3_Click()
    IndexEXV = 3
    LoadConfigue
    ConfigueForm.Show
End Sub
Private Sub ConfigueContact0_Click()
    IndexIO = 0
    LoadConfigueContact
    ContactForm.Show
End Sub
Private Sub ConfigueContact1_Click()
    IndexIO = 1
    LoadConfigueContact
    ContactForm.Show
```

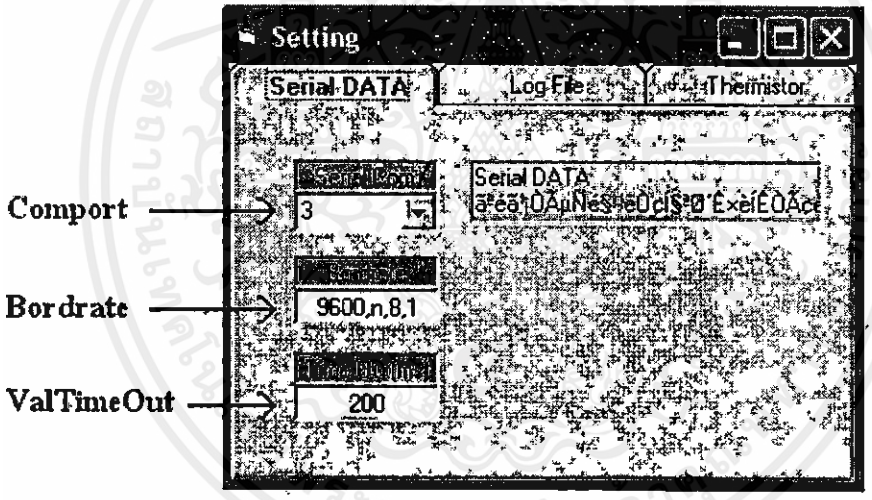
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

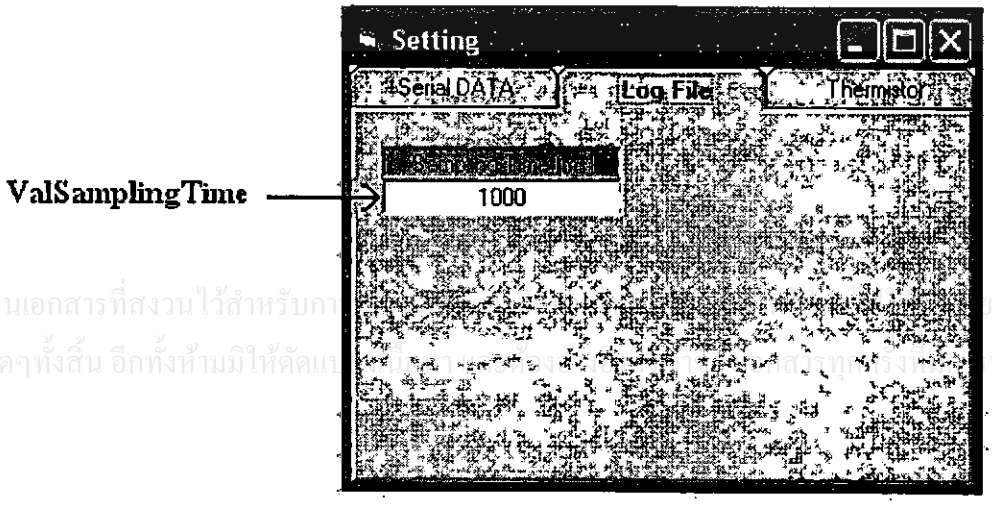
```
End Sub
Private Sub ConfigueContact2_Click()
   IndexIO = 2
   LoadConfigueContact
   ContactForm.Show
End Sub
Private Sub ConfigueContact3_Click()
   IndexIO = 3
   LoadConfigueContact
   ContactForm.Show
End Sub
Private Sub ConfigueContact4_Click()
   IndexIO = 4
   LoadConfigueContact
   ContactForm.Show
End Sub
Private Sub ConfigueContact5_Click()
   IndexIO = 5
   LoadConfigueContact
   ContactForm.Show
End Sub
Private Sub ConfigueContact6_Click()
   IndexIO = 6
   LoadConfigueContact
   ContactForm.Show
End Sub
Private Sub ConfigueContact7_Click()
   IndexIO = 7
   LoadConfigueContact
   ContactForm.Show
End Sub

Private Sub ValueContact_Click(Index As Integer)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

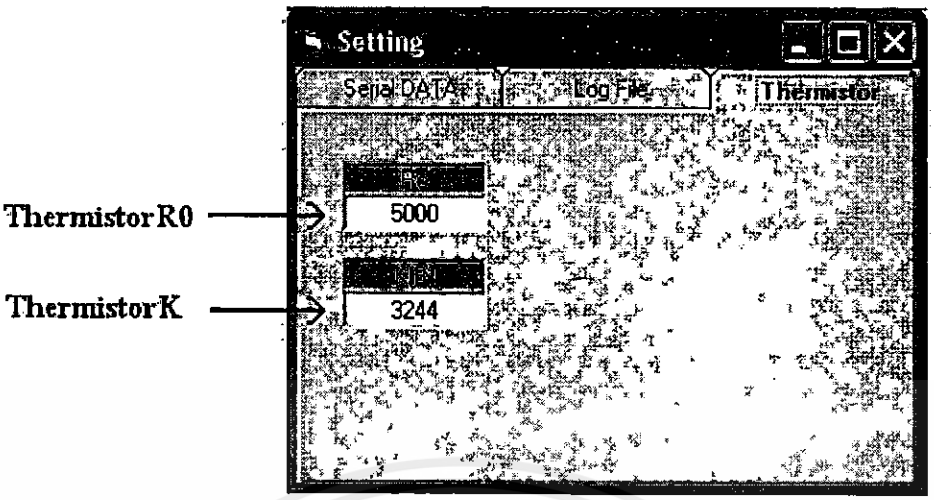
```
If ValContact(Index) = "ON" Then
    ValContact(Index) = "OFF"
    ValueContact(Index).Caption = ValContact(Index)
Else
    ValContact(Index) = "ON"
    ValueContact(Index).Caption = ValContact(Index)
End If

End Sub

'//// END. /////
```

SETTING FORM





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




```
'//// Start Program/////
Private Sub Form_Load()
   Comport = ValueComport
   Bordrate = ValueSettingport
   ValTimeOut = ValueTimeOut
   ValSamplingTime = ValueSamplingTime
End Sub

Private Sub Form_Unload(Cancel As Integer)
   ValueComport = Comport
   ValueSettingport = Bordrate
   ValueTimeOut = Val(ValTimeOut.Text)
   ValueSamplingTime = Val(ValSamplingTime.Text)
End Sub
'//// END. /////
```

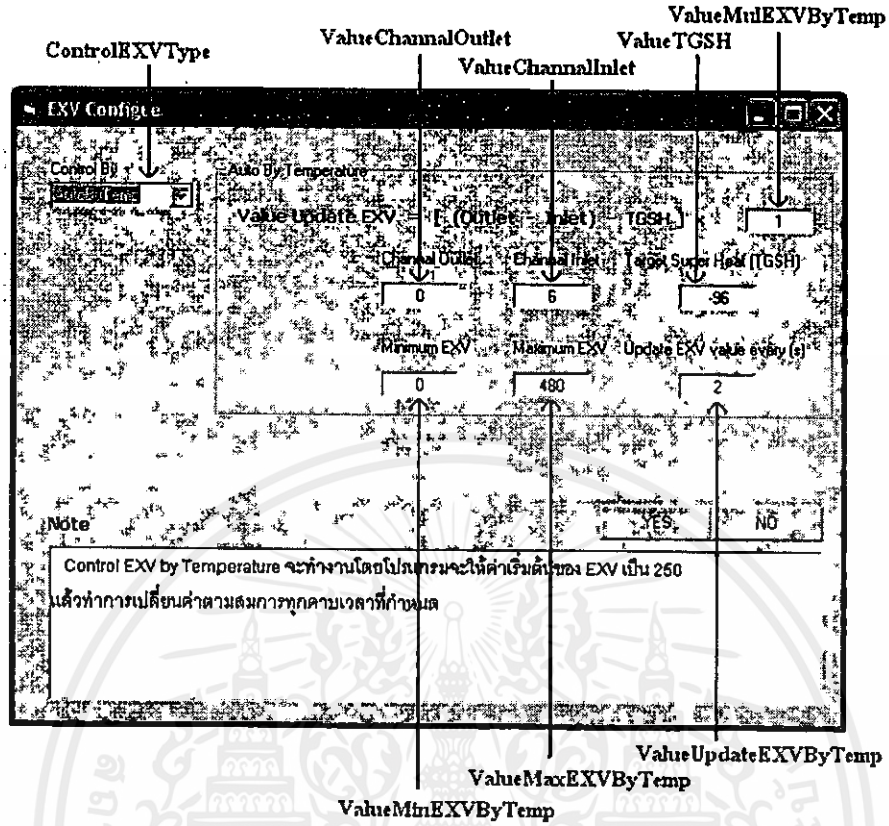
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

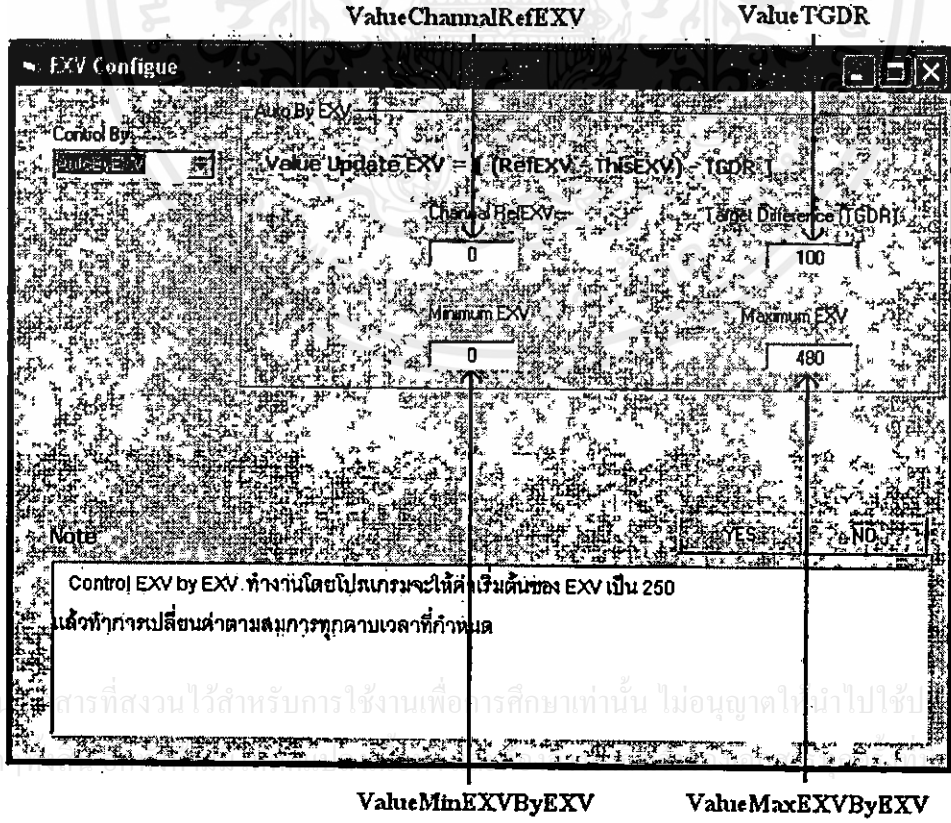
DEBUG FORM

```
'//// Start Program/////
Private Sub DebugText_Change()
    If Len(DebugText.Text) > 800 Then
       DebugText.Text = ""
    End If
End Sub

Private Sub Form_Unload(Cancel As Integer)
    MainForm.DebugButtom.Caption = "Debug"
    MainForm.LabelDebug.BackColor = QBColor(4)
    DebugForm.Enabled = False
    DebugForm.Visible = False
End Sub
'//// END. /////
```

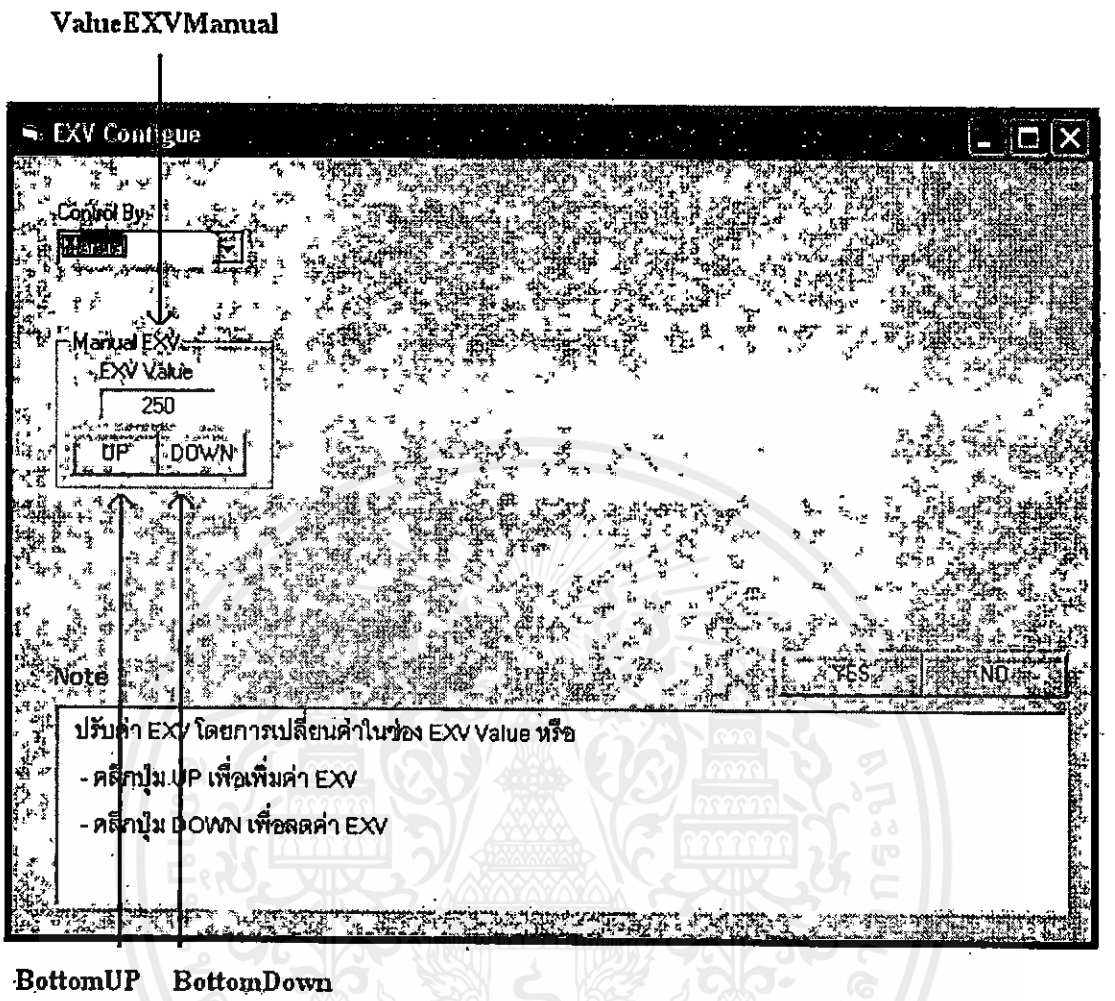
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONFIGUE FORM





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น การนำไปใช้




```
'//// Start Program/////

Dim CR_LF As String

Function ReViewForm()

   EXVConfigueNote.BackColor = QBColor(15)

    If ControlEXVType.Text = "Manual" Then

      FrameManualEXV.Visible = True

      FrameAutoByTemp.Visible = False

      FrameAutoByEXV.Visible = False

      EXVConfigueNote.Caption = "

   ElseIf ControlEXVType.Text = "AutoByTemp" Then

      FrameManualEXV.Visible = False

      FrameAutoByTemp.Visible = True
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        FrameAutoByEXV.Visible = False
        EXVConfigueNote.Caption = "   Control EXV by Temperature
    Else
        FrameManualEXV.Visible = False
        FrameAutoByTemp.Visible = False
        FrameAutoByEXV.Visible = True
        EXVConfigueNote.Caption = "   Control EXV by EXV
    End If
End Function

Private Sub BottomNO_Click()
    ConfigueForm.Hide
End Sub

Private Sub BottomYES_Click()
    ValControlEXVType(IndexEXV) = ControlEXVType.Text
    ValEXV(IndexEXV) = ValueEXVManual.Text

    ValChannalRefEXV(IndexEXV) = ValueChannalRefEXV.Text
    ValTGDR(IndexEXV) = ValueTGDR.Text
    ValMinEXVByEXV(IndexEXV) = ValueMinEXVByEXV
    ValMaxEXVByEXV(IndexEXV) = ValueMaxEXVByEXV

    ValMulEXVByTemp(IndexEXV) = ValueMulEXVByTemp.Text
    ValChannalOutlet(IndexEXV) = ValueChannalOutlet.Text
    ValChannalInlet(IndexEXV) = ValueChannalInlet.Text
    ValTGSH(IndexEXV) = ValueTGSH.Text
    ValMinEXVByTemp(IndexEXV) = ValueMinEXVByTemp
    ValMaxEXVByTemp(IndexEXV) = ValueMaxEXVByTemp
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    If ValControlEXVType(IndexEXV) = "AutoByTemp" Then
        ValUpdateEXV(IndexEXV) = ValueUpdateEXVByTemp
        If ValUpdateEXV(IndexEXV) > MaxUpdateEXV Then
```

```
            MaxUpdateEXV = ValUpdateEXV(IndexEXV)
        End If
    End If

    If ValControlEXVType(IndexEXV) = "Manual" Then
        MainForm.ValueEXV(IndexEXV).Caption = ValueEXVManual.Text
    Else
        ValEXV(IndexEXV) = 250
        MainForm.ValueEXV(IndexEXV).Caption = Str(ValEXV(IndexEXV))
        'MainForm.TimerControlEXV.Interval = ValUpdateEXV(IndexEXV) * 1000
        'If (MainForm.TimerControlEXV.Enabled = False) And
(ValControlEXVType(IndexEXV) = "AutoByEXV") Then
        '     MainForm.TimerControlEXV.Interval = 100
        'End If
        'MainForm.TimerControlEXV.Interval = 1000
        'MainForm.TimerControlEXV.Enabled = True
    End If

    ConfigueForm.Hide
End Sub

Private Sub Form_Activate()
    CR_LF = Chr$(13) + Chr$(10)
    ReViewForm

End Sub

Private Sub Form_Load()
CR_LF = Chr$(13) + Chr$(10)
End Sub

Private Sub ControlEXVType_Click()
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    ReViewForm
End Sub

Private Sub BottomDown_Click()
    If ValueEXVManual.Text > 0 Then
        ValueEXVManual.Text = ValueEXVManual.Text - 1
    Else
        ValueEXVManual.Text = 0
    End If
End Sub

Private Sub BottomUP_Click()
    If ValueEXVManual.Text < 480 Then
        ValueEXVManual.Text = ValueEXVManual.Text + 1
    Else
        ValueEXVManual.Text = 480
    End If
End Sub

Private Sub ValueChannalRefEXV_Click()
    EXVConfigueNote.Caption = "Channal Refference EXV " + CR_LF + "    0 - 3 "
    EXVConfigueNote.BackColor = QBColor(10)
End Sub

Private Sub ValueChannalRefEXV_LostFocus()
    If Val(ValueChannalRefEXV.Text) > 3 Or Val(ValueChannalRefEXV.Text) < 0 Then
        ValueChannalRefEXV.Text = 0
    End If
    EXVConfigueNote.BackColor = QBColor(15)
    EXVConfigueNote.Caption = "   Control EXV by EXV
End Sub

Private Sub ValueMaxEXVByEXV_Click()
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

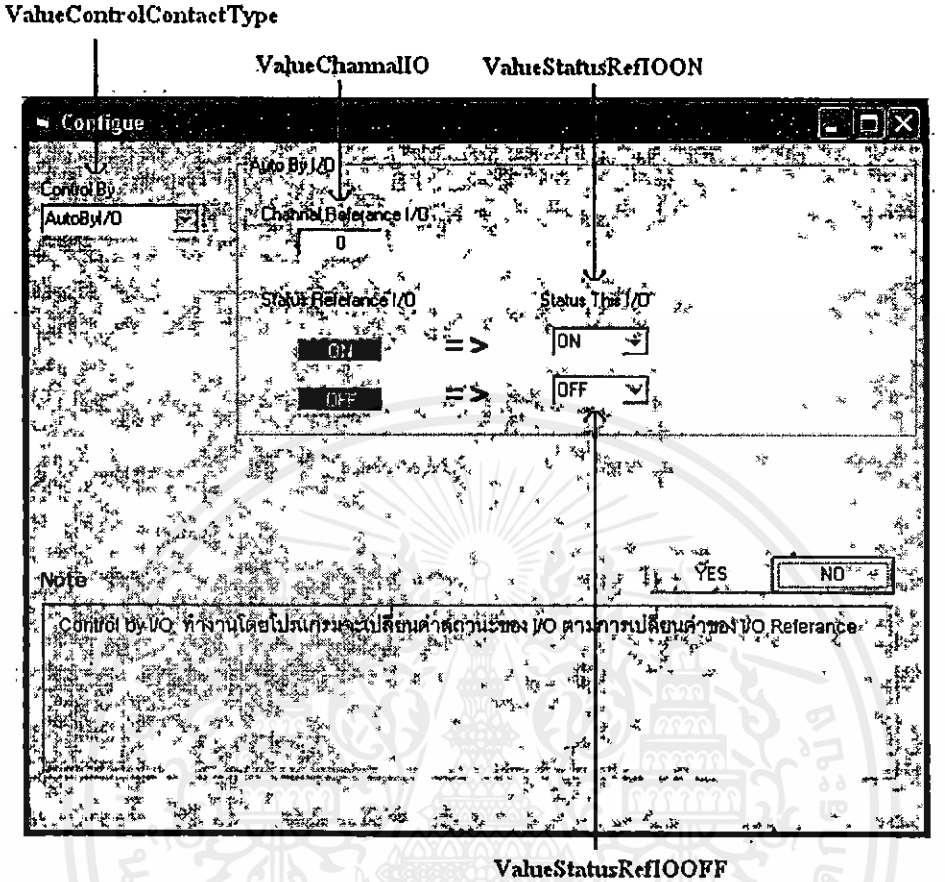
```
    EXVConfigueNote.Caption = "Maximum EXV " + CR_LF
    EXVConfigueNote.BackColor = QBColor(10)
End Sub

Private Sub ValueMaxEXVByEXV_LostFocus()
    If Val(ValueMaxEXVByEXV.Text) < 0 Then
        ValueMaxEXVByEXV.Text = 0
    End If
    EXVConfigueNote.BackColor = QBColor(15)
    EXVConfigueNote.Caption = "   Control EXV by EXV

End Sub

Private Sub ValueMinEXVByEXV_Click()
    EXVConfigueNote.Caption = "Minimum EXV " + CR_LF + "    ãÊè¤èÒ _EXV
_¹éÍÂÊØ´·Õèµé Í§¡ÒÃãËéà»Ô´(ãÊè¤èÒÁÒ¡¡ÇèÒ 0) "
    EXVConfigueNote.BackColor = QBColor(10)
End Sub .

Private Sub ValueMinEXVByEXV_LostFocus()
    If Val(ValueMinEXVByEXV.Text) < 0 Then
        ValueMinEXVByEXV.Text = 0
    End If
    EXVConfigueNote.BackColor = QBColor(15)
    EXVConfigueNote.Caption = "   Control EXV by EXV

End Sub
```

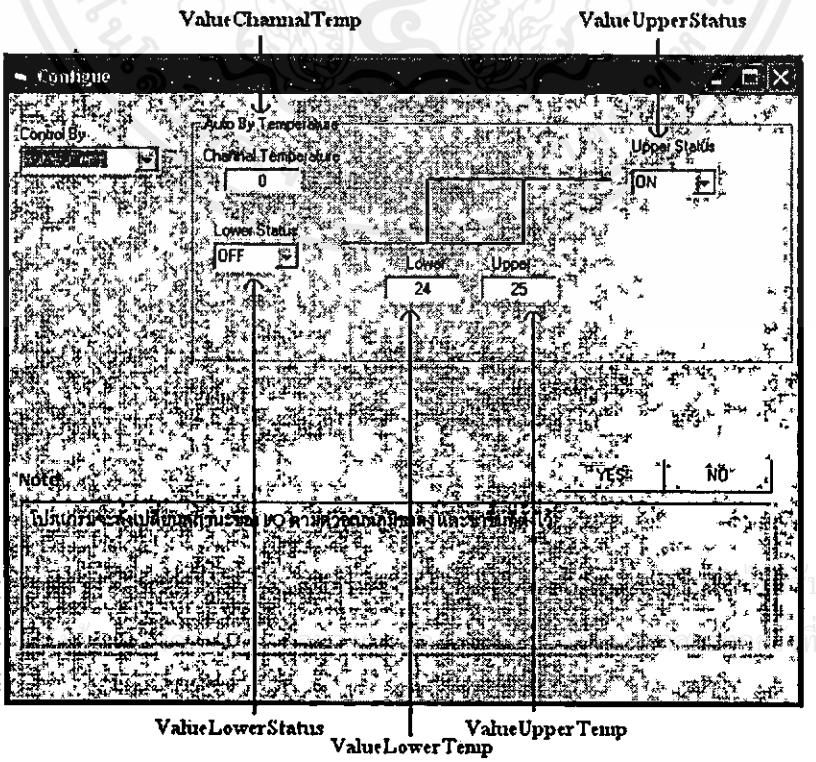
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

'//// END. /////

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONTACT FORM





เอกสารนี้เป็นเอกสาร ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ที่มีการนำไปใช้

```
'//// Start Program/////

Dim CR_LF As String
Function ReViewContactForm()
    If ValueControlContactType.Text = "Manual" Then
      FrameAutoByTemp.Visible = False
      FrameAutoByIO.Visible = False
      ContactConfigueNote.Caption = "
   ElseIf ValueControlContactType.Text = "AutoByTemp" Then
      FrameAutoByTemp.Visible = True
      FrameAutoByIO.Visible = False
      ContactConfigueNote.Caption
   Else
      FrameAutoByTemp.Visible = False
      FrameAutoByIO.Visible = True
      ContactConfigueNote.Caption = "   Control by I/O
I/O Referance"
    End If
End Function

Private Sub BottomNO_Click()
   ContactForm.Hide
End Sub

Private Sub BottomYES_Click()
   ValControlContactType(IndexIO) = ContactForm.ValueControlContactType

   ValChannalIO(IndexIO) = ContactForm.ValueChannalIO
   ValStatusRefIOON(IndexIO) = ContactForm.ValueStatusRefIOON
   ValStatusRefIOOFF(IndexIO) = ContactForm.ValueStatusRefIOOFF

   ValChannalTemp(IndexIO) = ContactForm.ValueChannalTemp
   ValLowerStatus(IndexIO) = ContactForm.ValueLowerStatus
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    ValUpperStatus(IndexIO) = ContactForm.ValueUpperStatus
    ValLowerTemp(IndexIO) = ContactForm.ValueLowerTemp
    ValUpperTemp(IndexIO) = ContactForm.ValueUpperTemp

    If ValueControlContactType.Text = "Manual" Then
        MainForm.ValueContact(IndexIO).Enabled = True
    Else
        MainForm.ValueContact(IndexIO).Enabled = False
        'MainForm.TimerControlContact.Enabled = True
    End If
    MainForm.ValueContact(IndexIO).Caption = "OFF"
    ContactForm.Hide
End Sub

Private Sub Form_Activate()
    CR_LF = Chr$(13) + Chr$(10)
    ReViewContactForm

End Sub

Private Sub Form_Load()
    CR_LF = Chr$(13) + Chr$(10)
End Sub


Private Sub ValueChannalIO_LostFocus()
    If ValueChannalIO.Text > 7 Or ValueChannalIO.Text < 0 Then
        ValueChannalIO.Text = 0
    End If
End Sub

Private Sub ValueChannalTemp_LostFocus()
    If ValueChannalTemp.Text > 15 Or ValueChannalTemp.Text < 0 Then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    ValueChannalTemp.Text = 0
  End If
End Sub

Private Sub ValueControlContactType_Click()
  ReViewContactForm
End Sub
                                        '//// END. /////
```

MODULE1

```
                                        '//// Start Program////
Global CR_LF As String
Global Temp
Global TempPicture1, TempPicture2, TempPicture3, TempPicture4, TempPicture5
Global ScaleYPicture1, ScaleYPicture2, ScaleYPicture3, ScaleYPicture4, ScaleYPicture5
Global IndexEXV As Integer

Global ValControlEXVType(4) As String
Global ValMulEXVByEXV(4), ValChannalRefEXV(4), ValTGDR(4), ValMinEXVByEXV(4),
ValMaxEXVByEXV(4), ValUpdateEXV(4) As Integer
Global ValMulEXVByTemp(4), ValChannalOutlet(4), ValChannalInlet(4), ValTGSH(4),
ValMinEXVByTemp(4), ValMaxEXVByTemp(4) As Integer
Global IndexIO As Integer
Global ValContact(8) As String
Global ValControlContactType(8) As String
Global ValChannalIO(8) As Integer
Global ValStatusRefIOON(8), ValStatusRefIOOFF(8) As String
Global ValChannalTemp(8), ValLowerTemp(8), ValUpperTemp(8) As Integer
Global ValLowerStatus(8), ValUpperStatus(8) As String
'Senddata
Global ValueComport As Integer
Global ValueSettingport As String
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Global ValueTimeOut As Integer
Global ValueSamplingTime As Integer
Global NowID As Integer
'ReceiveData
Global ReceiveDataType As String
Global BufferLastSerial As String
Global ResultFindData As String
Global Bufferbyte(50) As Integer
'Control EXV
Global ValEXV(4) As Integer
Global BufferUpdateEXV As Integer
Global MaxUpdateEXV As Integer
'Grap
Global Picture1YPosition(2)
Global Picture1YLastPosition(2)
Global Picture2YPosition(4)
Global Picture2YLastPosition(4)
Global Picture3YPosition(2)
Global Picture3YLastPosition(2)
Global Picture4YPosition(6)
Global Picture4YLastPosition(6)
Global Picture5YPosition(2)
Global Picture5YLastPosition(2)
Global ValueUpperPicture(5)
Global ValueLowerPicture(5)
'Data
Global ValueChannelTemp(16)
Global ValueChannelEXV(4)
Global ValueChannelContact(8)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
'//// END. ////
```

ภาคผนวก ข.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ME NETT 20th

SURANAREE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

EXTENDED ABSTRACT

วันที่ 18-20 ตุลาคม 2549
ณ แม่นครินทร์ โกลเด้น วัลเล่ย์ โฮเต็ล แอนด์ รีสอร์ท
เขาใหญ่ อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 20
18-20 ตุลาคม 2549 จังหวัดนครราชสีมา

TSF040

ระบบการทำความเย็นแบบอัดสองขั้น

Multistage Compression Refrigeration system

ภูไท ฤทธิ์ธาร[1*] ธวัชชัย นาคพิพัฒน์[2]

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถ.ฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทร 66(2)326-9987 โทรสาร 66(2)326-9053 *อีเมล์ s6060403@kmitl.ac.th

[2] สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถ.ฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทร 66(2)326-9987 โทรสาร 66(2)326-9053 อีเมล์ kntawatc@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

ระบบการทำความเย็นแบบอัดไอเป็นวัฏจักรทำความเย็นที่นิยมใช้กันมากที่สุดเพราะเป็นระบบที่ง่าย ราคาไม่แพง ไม่เสียหายง่าย และไม่ต้องบำรุงรักษามากนักแต่อย่างไรก็ตามวัฏจักรการทำความเย็นแบบธรรมดาอาจจะไม่เหมาะสมกับงานในอุตสาหกรรมประเภทที่ต้องการทำความเย็นที่อุณหภูมิต่ำมาก เนื่องจากช่วงความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างในเครื่องควบแน่นและเครื่องระเหยมีค่ากว้างเกินไปทำให้ วัฏจักรแบบอัดไอขั้นเดียวไม่เหมาะสมในการใช้งานในเชิงปฏิบัติ เนื่องจากถ้าช่วงความแตกต่างของอุณหภูมิยิ่งสูงมากเท่าใดช่วงความแตกต่างของความดันก็มีค่าสูงขึ้นซึ่งทำให้ประสิทธิภาพของระบบต่ำเนื่องจากอัตราส่วนการอัดที่มีค่าสูง วิธีหนึ่งที่จะแก้ปัญหานี้คือการใช้กระบวนการทำความเย็นแบบหลายขั้น คือใช้วัฏจักรทำความเย็นมากกว่าหนึ่งวัฏจักรทำงานในลักษณะอนุกรมแต่ละวัฏจักรเชื่อมต่อกันโดยหอผสมเป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างวัฏจักร ระบบเช่นนี้เรียกว่าระบบการทำความเย็นแบบอัดหลายขั้นโดยโครงงานนี้ได้ทำการออกแบบระบบการทำความเย็นแบบอัดสองขั้น และทดลองหาประสิทธิภาพการทำงานของระบบที่สภาวะการทำงานต่างๆ ในการควบคุมการทำงานของระบบให้มีประสิทธิภาพสูงทุกๆ สภาวะการทำงาน ประกอบด้วยการควบคุมความดันที่หอผสม อัตราการไหลของสารทำความเย็น และพลังงานที่ให้กับเครื่องอัดของทั้งสองวัฏจักรให้มีอัตราส่วนที่เหมาะสมสามารถทำให้ระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงกว่าวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดขั้นเดียว

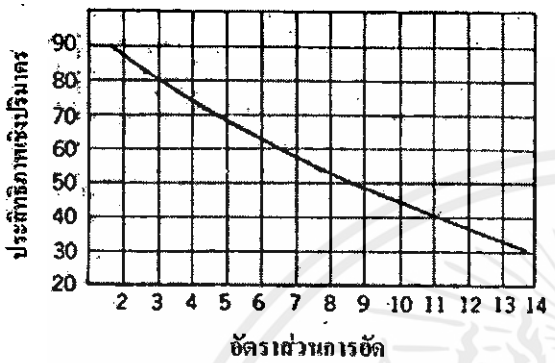
Abstract

The simple vapor-compression refrigeration is the most widely used refrigeration cycle. The ordinary vapor-compression refrigeration is simple, inexpensive, reliable, and practically low maintenance. However, some industrial applications require moderately or very low temperatures. Cause to take too large temperature different between condenser and evaporator. A large temperature range also means a large pressure range in the cycle and low performance form high pressure ratio. One way of dealing with such situation is to perform the refrigeration process in many stages, that is, to have two or more refrigeration cycle which operates in series. In This research were design two stages refrigeration cycle and experiment parameter were changed to find out control the condition for higher performance. Under manual control two stages can maintain a proper ratio by control mixing chamber's pressure, refrigerant flow rate, and power in put to compressors. The system can operate on higher performance then single stage system

1. บทนำ

ระบบเครื่องทำความเย็นที่นิยมใช้กันในปัจจุบันเป็นระบบที่มีการอัดเพียงขั้นเดียว ซึ่งไม่เหมาะกับอุตสาหกรรมบางประเภทที่ต้องการควบคุมอุณหภูมิต่ำ ตัวอย่างเช่น การแช่แข็งอาหารประเภทเนื้อสดที่ต้องการเก็บรักษาที่อุณหภูมิประมาณ -20 องศาเซลเซียส ซึ่งจะต้องการควบคุมความดันด้านความดันต่ำของระบบเครื่องทำความเย็นอยู่ที่ประมาณ 4 Psig ซึ่งการทำงานที่สภาวะดังกล่าวทำให้อัตราส่วนการอัดของเครื่องอัดมีค่าสูง อัตราส่วนการอัดที่มีค่าสูงจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพเชิงปริมาตรของตัวเครื่องอัด ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบต่ำ วิธีการหนึ่งที่จะแก้ปัญหานี้ได้ก็คือใช้การอัดเป็นขั้นๆ โดยใช้วัฏจักรการทำความเย็นสองวัฏจักรต่อกันในลักษณะอนุกรม แต่ละ วัฏจักรถูกต่อเชื่อมด้วยหอผสม หอผสมทำหน้าที่เป็นตัวแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่าง เครื่องระเหยของวัฏจักรความดันสูง และเครื่องควบแน่นของวัฏจักรความดันต่ำ ซึ่งจะต้องหาวิธีการควบคุมความดันที่หอผสม อัตราการไหลของสารทำความเย็น และกำลังงานที่ให้กับเครื่องอัดของแต่ละวัฏจักรให้สามารถทำงานสอดคล้องกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อที่จะให้ระบบสามารถทำงานที่ประสิทธิภาพสูงทุกๆ สภาวะการทำงานของระบบ เช่น เมื่อภาระที่จ่ายให้กับระบบเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิที่เครื่องระเหยจะเปลี่ยนแปลง หรืออุณหภูมิของอากาศที่ระบายความร้อนเครื่องควบแน่นเปลี่ยนแปลง ระบบจะต้อง

ทำงานได้ที่ประสิทธิภาพสูง อีกทั้งสภาวะการทำงานดังกล่าวที่เปลี่ยนแปลง ระบบจะต้องทำงานได้อย่างปลอดภัย คือ จะต้องไม่เกิดสภาวะที่ตัวเครื่องอัดมีอุณหภูมิสูงเกินกำหนด ในสภาวะการทำงานที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากสารทำความเย็นที่ไหลกลับเข้าเครื่องอัดทางด้านดูดมีสถานะเป็นไอร้อนยิ่งยวดมากเกินไปทำให้ไม่สามารถรับความร้อนจากตัวเครื่องอัดได้เพียงพอ หรือ จะต้องไม่เกิดสภาวะที่เครื่องอัดอัดของเหลวในกรณีที่การทำงานที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ เนื่องจากสารทำความเย็นไหลเข้าเครื่องอัดทางด้านดูดมีสถานะเป็นของเหลว เป็นต้น

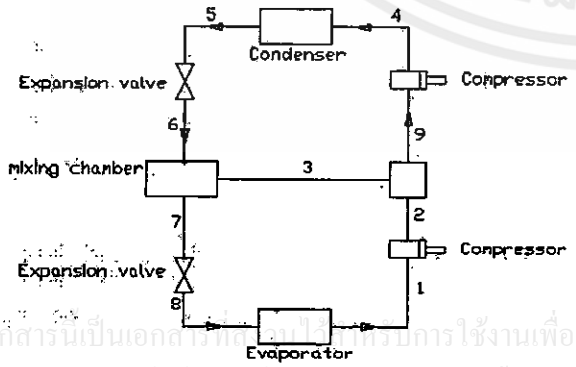


รูปที่ 1 แสดงอัตราส่วนการอัดที่มีผลต่อประสิทธิภาพเชิงปริมาตร
ที่มา: [1] Richard C. Jordan and Gayle B. Priester "Refrigeration and Air Conditioning"

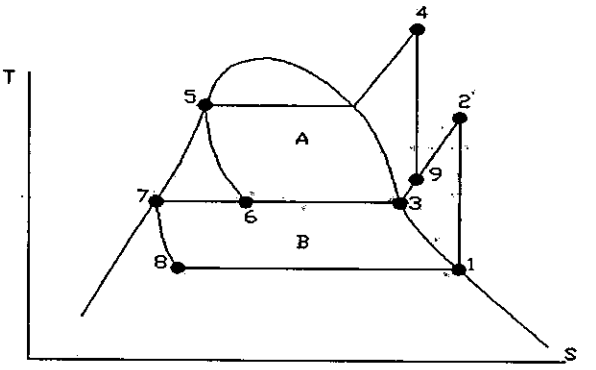
2. ทฤษฎี

2.1 ระบบทำความเย็นแบบอัดสองขั้น

การทำงานเริ่มจากสารทำความเย็นที่ออกจาก เครื่องควบแน่น มีสถานะเป็นของเหลวไหลผ่าน วาล์วขยาย เพื่อลดความดันจนมีความดันเท่ากับความดันใน หอผสม ซึ่งมีความดันเท่ากับความดันระหว่างเครื่องอัด ทั้งสองตัว ในระหว่างกระบวนการนี้จะมีของเหลวบางส่วนจะระเหยกลายเป็นไออิ่มตัว (สภาวะ 3) ไปผสมกับไอร้อนยวดยิ่ง ที่มาจากเครื่องอัด ความดันต่ำ (สภาวะ 2) จากนั้นไอผสมนี้จะถูกดูดโดย เครื่องอัด ความดันสูง (สภาวะ 9) ส่วนสารทำความเย็นที่เป็นของเหลวอิ่มตัวใน หอผสม จะไหลผ่าน วาล์วขยาย (สภาวะ 8) เข้าสู่ เครื่องระเหย เพื่อรับความร้อนจากผลิตภัณฑ์ ที่ต้องการทำความเย็น



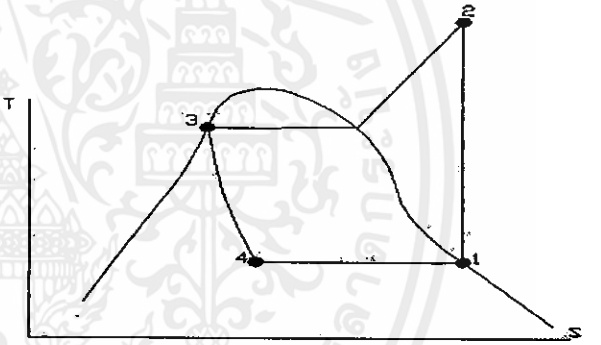
รูปที่ 2 การทำงานของระบบ



รูปที่ 3 T-S Diagram ของระบบทำความเย็นแบบอัดสองขั้น

2.2 ระบบการทำความเย็นแบบอัดขั้นเดียว

การทำงานเริ่มจากสารทำความเย็นที่มีสถานะเป็นของเหลว (สภาวะ3) ไหลผ่านวาล์วขยาย เพื่อลดความดันเข้าสู่เครื่องระเหย (สภาวะ 4) จากนั้น เครื่องอัด จะดูดสารทำความเย็นในสถานะไออิ่มตัว (สภาวะ 1) เพื่อเข้าสู่กระบวนการอัดสารทำความเย็นเข้าไประบายความร้อนที่เครื่องควบแน่น อีกครั้งหนึ่ง



รูปที่ 4 T-S Diagram แสดงความดันทำงานที่สภาวะต่างๆ ของระบบทำความเย็นชนิดอัดขั้นเดียว

3. สมการที่ใช้ในการคำนวณ

อัตราการรับความร้อนที่เครื่องระเหย (Q_L)

$$\dot{Q}_L = \dot{m}(h_e - h_i) \quad (1)$$

อัตราการถ่ายเทความร้อนที่เครื่องควบแน่น (Q_H)

$$\dot{Q}_H = \dot{m}(h_e - h_i) \quad (2)$$

พลังงานที่จ่ายให้กับเครื่องอัด (W_{in})

$$\dot{W}_{in} = \dot{m}(h_e - h_i) \quad (3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP)

$$COP = \frac{Q_L}{W_{net'in}} \quad (4)$$

4. การออกแบบระบบการทำความเย็นแบบอัดสองขั้น

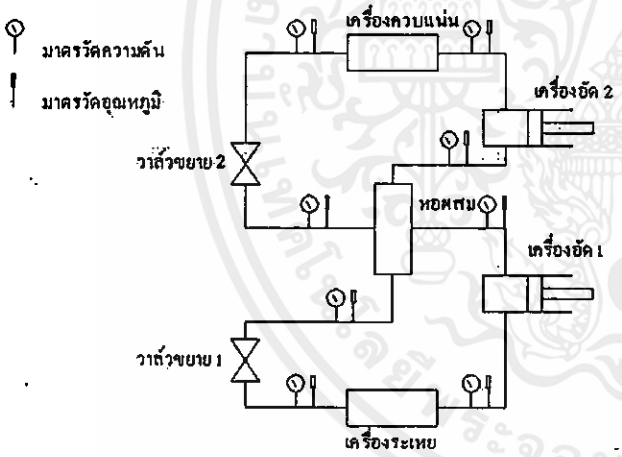
ในการออกแบบระบบอัดไอให้มีประสิทธิภาพสูงนั้นจะต้องคำนึงถึงสภาวะการทำงานของระบบเป็นสำคัญ ซึ่งวัฏจักรการทำงานจริงของระบบจะมีความแตกต่างจากวัฏจักรทางทฤษฎี เนื่องจากสภาวะการทำงานที่ผันกลับไม่ได้ในอุปกรณ์หลายส่วน ซึ่งสาเหตุหลัก ๆ เนื่องมาจากความต้านทานภายในท่อ การถ่ายโอนความร้อนระหว่างระบบและสิ่งแวดล้อม ข้อจำกัดการทำงานของอุปกรณ์ก็เป็นสาเหตุหนึ่งที่ต้องควบคุมให้วัฏจักรการทำงานจริงของระบบมีความแตกต่างจากวัฏจักรทางทฤษฎี ตำแหน่งที่วัฏจักรการทำงานจริงมีความแตกต่างจากวัฏจักรทางทฤษฎีและส่งผลกระทบต่อระบบ ได้แก่ ตำแหน่งที่สารความเย็นออกจากเครื่องระเหยและเข้าเครื่องอัดเราไม่สามารถควบคุมสารความเย็นให้อยู่ในสถานะไออิ่มตัวได้อย่างแม่นยำ ดังนั้นจำเป็นต้องออกแบบเผื่อให้สารความเย็นอยู่ในสถานะไอร้อนยิ่งยวดเล็กน้อยที่สภาวะทางเข้าเครื่องอัด เพื่อให้มั่นใจว่าสารความเย็นที่ไหลเข้าสู่เครื่องอัดมีการระเหยอย่างสมบูรณ์เพราะถ้ามีของเหลวเข้าสู่เครื่องอัดจะทำให้เกิดความเสียหายได้ แต่การทำให้สารความเย็นที่เข้าเครื่องอัดอยู่ในสถานะไอร้อนยิ่งยวดก็มีผลเสียหลายประการ ดังนี้ อุณหภูมิของแก๊สทางออกจากเครื่องอัดสูงขึ้น ซึ่งในทางปฏิบัติจะต้องระวังไม่ให้สูงมากเกินไป เพราะจะทำให้ต้องใช้เครื่องอัดที่มีขนาดใหญ่ไม่เป็นการประหยัด ปริมาตรจำเพาะของไอสารความเย็นก่อนเข้าเครื่องอัดมีค่าสูงขึ้น ทำให้อัตราการไหลโดยมวลลดลง ความสามารถในการทำความเย็นก็จะลดลง ถ้ากระบวนการกลายเป็นไอร้อนยิ่งยวดเกิดในเครื่องระเหยแทนที่จะเกิดในท่อดูด ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนในเครื่องระเหยลดลง เพราะสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อนของไอแห้งต่ำกว่าของเหลว งานที่ให้กับเครื่องอัดเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพของการควบแน่นลดลงเพราะเมื่อสารทำความเย็นอยู่ในสถานะไอร้อนยิ่งยวดก่อนเข้าเครื่องอัด เมื่อถูกอัดจะมีอุณหภูมิสูงกว่าสารความเย็นที่ถูกอัดในสถานะไออิ่มตัว แต่ความดันยังเท่าเดิมสารความเย็นต้องคายความร้อนให้สารหล่อเย็นเพิ่มขึ้นเพื่อควบแน่นเป็นของเหลว ท่อที่เชื่อมต่อระหว่างเครื่องระเหยและเครื่องอัดมีความยาวมาก อันเป็นสาเหตุทำให้มีความดันลดเนื่องจากความต้านทานการไหลภายในท่อ รวมทั้งมีการถ่ายโอนความร้อนจากสิ่งแวดล้อมสู่สารความเย็น ซึ่งทำให้สารความเย็นที่ออกจากเครื่องระเหยมีความดันและอุณหภูมิต่ำ ปริมาตรจำเพาะสูงขึ้นค่าการทำความเย็นลดลง กระบวนการอัดของเครื่องอัดทางทฤษฎีมีลักษณะเป็นกระบวนการไอเซนโทรปิกคือมีค่าเอนโทรปีคงที่ แต่กระบวนการอัดจริงจะมีผลที่เกิดจากสภาวะผันกลับไม่ได้ในอุปกรณ์ เนื่องจากความต้านทานการไหลซึ่งทำให้ค่าเอนโทรปีมีค่าเพิ่มสูงขึ้น การสิ้นเปลืองกำลังขับของเครื่องอัดก็จะสูงขึ้นไปด้วย ฉะนั้นในการออกแบบและควบคุมการทำงานของระบบทำความเย็นนั้นจะต้องออกแบบและควบคุมการทำงานของระบบให้วัฏจักรการทำงานมีความใกล้เคียงกับวัฏจักรทางทฤษฎีมากที่สุดเพื่อความประหยัดพลังงานและประสิทธิภาพการทำงานของระบบที่ดีที่สุด

ตารางที่ 1 รายละเอียดการออกแบบ

รายการ	รายละเอียด
เครื่องอัด	
Model AE3430Y	Capacity 2,593 Btu/hr
	Displacement 8.86 cm^3/r
Model AE 2415AK	Capacity 3,480 Btu/hr
	Displacement 16.08 cm^3/r
โครงสร้าง	แบบปิดผนึก (HERMETIC)
สารทำความเย็น	R-12
แรงดันของระบบแหล่งจ่ายไฟฟ้า	220 โวลท์
จำนวนเฟสของระบบแหล่งจ่ายไฟฟ้า	1 เฟส
ความถี่	50 Hz
กระแสขณะที่มอเตอร์ล็อค	7 A
ความดันในการผลิตที่ใช้ทดสอบ	25 kg/cm^2
ความดันที่ใช้ทดสอบความแข็งแรงของเปลือก Compressor	80 kg/cm^2
เครื่องควบแน่น	
ชนิดพัดลม	Propeller 6 inches
มอเตอร์พัดลม	220 โวลท์ 50 Hz
จำนวน FIN	7 fin/ inches
ชนิดของ FIN	Corrugate Fin
พื้นที่คอยล์	0.08 sq.m
ขนาดท่อทองแดง	3/8 INCHES
ชนิดของท่อทองแดง	Plain Tube
จำนวนวงจร	1 วงจร
จำนวนแถว	5 แถว
เครื่องระเหย	
ชนิดพัดลม	Centrifugal
มอเตอร์พัดลม	220 โวลท์ 50 Hz
จำนวน FIN	7 FIN / NICHES
ชนิดของ FIN	Corrugate Fin
พื้นที่คอยล์	0.105 sq.m
ขนาดท่อทองแดง	3/8 INCHES
ชนิดของท่อทองแดง	Plain Tube
จำนวนวงจร	1 วงจร
จำนวนแถว	4 แถว

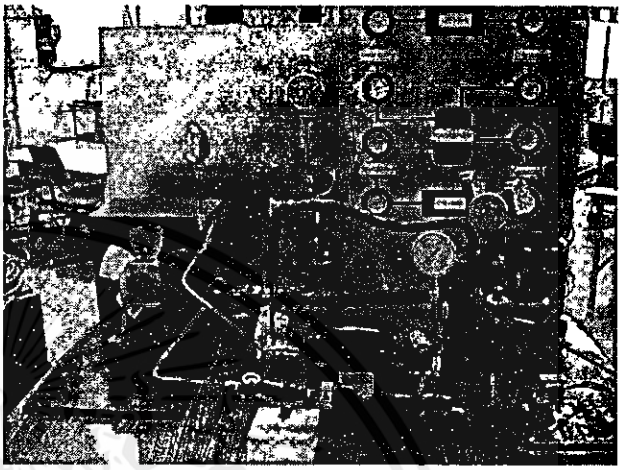
วาล์วขยาย	
ยี่ห้อ	SAGINOMIYA
ชื่อรุ่น	DKV - 13
ขนาดท่อต่อ (เส้นผ่านศูนย์กลาง)	1.4 mm
ความสามารถการทำความเย็น	12000 Btu/hr
ความดัน	0-23 Mpa
น้ำหนัก	0.09 kg
แรงดัน	24 โวลท์
กระแส	130 mA/ph
ระยะการควบคุม	0-480 Step
หอผสม	
เส้นผ่านศูนย์กลาง	4 inches
ความสูง	12 inches
อุปกรณ์เสริม อื่นๆ	
กระจกมองน้ำยา	ขนาด 1/4 inches
Filter-Drier	ขนาด 1/4 inches

5. การทำงานของระบบ



รูปที่ 5 แสดงวงจรการทำงานของระบบ

ในการทำงานที่อุณหภูมิต่ำ -5° F ซึ่งจะแบ่งการทำงานเป็นสองวงจรคือวงจรความดันต่ำและวงจรความดันสูง โดยมี Mixing chamber เป็นตัวเชื่อมระหว่างวงจรทั้งสองและมีหน้าที่เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เมื่อสารทำความเย็นเหลวที่ควบแน่นออกจาก เครื่องควบแน่น จะเข้าวาล์วขยายตัวที่ 2 ทำการลดความดันเท่ากับความดันใน หอผสม และขณะที่ไหลเข้า หอผสม จะทำให้ของเหลวบางส่วนระเหยกลายเป็นไอแยกออกจากหอผสม ในภาวะไอ 100 % จำนวน X kg และผสมกับไอร้อนยิ่งยวดที่มาจาก Compressor ความดันต่ำจำนวน (1-X) kg ไอผสมนี้จะถูกดูดโดย เครื่องอัด ของวงจรความดันสูงตัวที่ 2 จำนวน 1 kg เข้าสู่ เครื่องควบแน่น เพื่อควบแน่นเป็นของเหลวอีกครั้ง ส่วนของเหลวที่แยกจาก หอผสมจะเข้าสู่วาล์วขยายตัวที่ 1 ในวงจรความดันต่ำ ซึ่งมีของเหลวจำนวน (1-X) kg จากนั้นก็เข้าสู่ เครื่องระเหยเพื่อดึงความร้อนจากห้องที่ต้องการทำความเย็นและเข้าสู่เครื่องอัดตัวที่ 1 ของวงจรความดันต่ำต่อไป ในการควบคุมความดันให้ได้สภาวะที่ออกแบบไว้นั้นจะกระทำโดยการปรับวาล์วทั้งสองตัว ให้ได้ตามกำหนด



รูปที่ 6 แสดงชุดทดลองที่ใช้ในการทดสอบ

รูปที่ 7 แสดงห้องวัดความร้อน

6. วิธีการทดลอง

จุดประสงค์ของการทดลองนั้นเพื่อหาประสิทธิภาพของระบบที่อุณหภูมิห้องต่างๆ ตั้งแต่ -15 ถึง 20 องศาเซลเซียส โดยการควบคุมสภาวะการทำงานที่ตำแหน่งต่างๆ เช่น ความดัน อุณหภูมิ ค่าไอร้อนยิ่งยวดที่ทางออกเครื่องระเหย ค่าของเหลวอัดตัวที่ทางออกเครื่องควบแน่น ให้ได้ค่าที่เหมาะสม เพื่อหาประสิทธิภาพการทำงานของระบบ ซึ่งหลักการ คือ เพื่อวัดขีดความสามารถการทำความเย็นโดยตรงในห้องวัดความร้อน โดยชุดเครื่องระเหยจะทำความเย็นจนก่อให้เกิดความสมดุล แล้วเทียบค่าความร้อนสูงสุดที่เกิดขึ้นเป็นค่าความเย็นสูงสุดที่ชุดเครื่องระเหยทำได้ วิธีการควบคุม คือ ให้ระบบทำงานเต็มที่โดยที่ควบคุมอุณหภูมิให้ได้ตามที่กำหนด เมื่อห้องทดสอบอยู่ในสภาวะ

สมดุล ให้ควบคุมสภาวะสมดุลนั้นไปอีก 1 ชั่วโมง โดยบันทึกค่าต่างๆ ทุกๆ 10 นาที รวม 7 ชุด แล้วหาค่าเฉลี่ยเพื่อใช้ในการคำนวณ

สมการที่ใช้ในการคำนวณความสามารถในการทำความเย็นรวมสุทธิของระบบของเครื่องภายในห้องชุดเครื่องระเหย

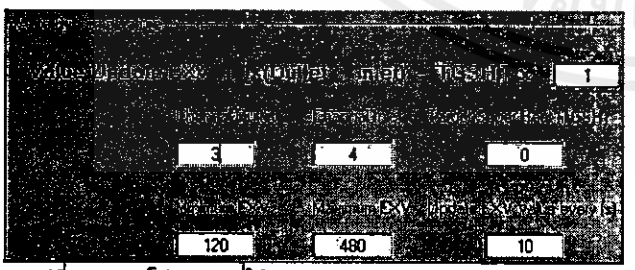
$$Q_L = \Sigma E_r + (h_{w1} - h_{w2})W_r + q_p \quad (5)$$

ตารางที่ 2 รายละเอียดการทดลอง

Suction pressure (Psig) วัฏจักรความดันต่ำ	Suction pressure (Psig) วัฏจักรความดันสูง	อุณหภูมิห้อง (C)
40	80,70,60,55,50,45	(24)-(-20)
35	80,70,60,55,50,45	
30	80,70,60,55,50,45,40	
25	80,70,60,55,50,45,40,35	
20	55,50,45,40,35	
15	55,50,45,40,35,30	
10	50,45,40,35,30,25	
5	45,40,35,30,25,20	

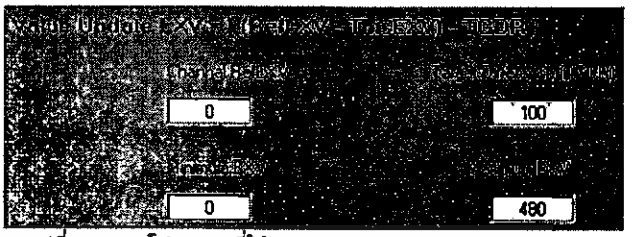
7. การควบคุมการทำงานของระบบ

การควบคุมการทำงานของระบบโดยใช้ Electronic Expansion Valve เพื่อควบคุมอัตราการไหลและความดันของทั้งสองวัฏจักร โดยวัฏจักรความดันต่ำควบคุมโดยอาศัยอุณหภูมิ 2 ตำแหน่ง คือ อุณหภูมิสารทำความเย็นตำแหน่งทางเข้าเครื่องระเหย และตำแหน่งทางออกเครื่องระเหย โดยใช้สมการในการควบคุม ดังแสดงในรูปที่ 8 ซึ่งในการควบคุมนั้น สามารถกำหนดค่า Super Heat ของสารทำความเย็นที่ตำแหน่งทางออกของเครื่องระเหย ตำแหน่งค่าเริ่มต้น ตำแหน่งค่าต่ำสุด ตำแหน่งค่าสูงสุด และเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งที่ได้จากการประมวลผลในแต่ละรอบการทำงานของ Electronic Expansion Valve เพื่อประสิทธิภาพในการควบคุมการทำงานของระบบด้วย



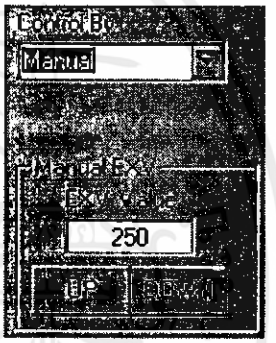
รูปที่ 8. แสดงโปรแกรมที่ใช้ควบคุม Electronic Expansion Valve ของวัฏจักรความดันต่ำ

ในส่วนของวัฏจักรความดันสูง การควบคุมการการทำงานของ Electronic Expansion Valve โดยอาศัย ตำแหน่งอ้างอิงของ Electronic Expansion Valve ของวัฏจักรความดันต่ำ โดยใช้สมการในการควบคุม ดังแสดงในรูปที่ 9 ซึ่งในการควบคุมการทำงาน สามารถกำหนดตำแหน่งค่าต่ำสุด ตำแหน่งค่าสูงสุด และตำแหน่งค่าแตกต่างจากตำแหน่งตัวที่ใช้อ้างอิง



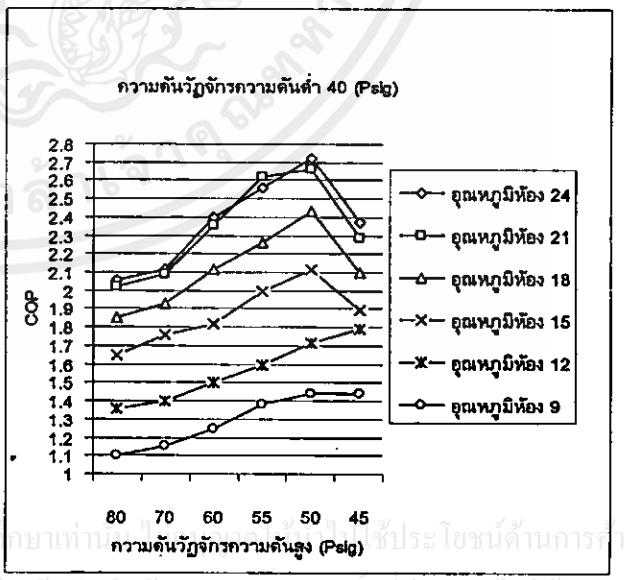
รูปที่ 9. แสดงโปรแกรมที่ใช้ควบคุม Electronic Expansion Valve ของวัฏจักรความดันสูง

ในกรณีที่ต้องการควบคุมการทำงานของระบบนอกเหนือจากตำแหน่งที่ได้จากการประมวลผลโดยใช้แปรมแกรม ก็สามารถใส่ค่าตำแหน่งของ Electronic Expansion Valve ดังแสดงในรูปที่ 10



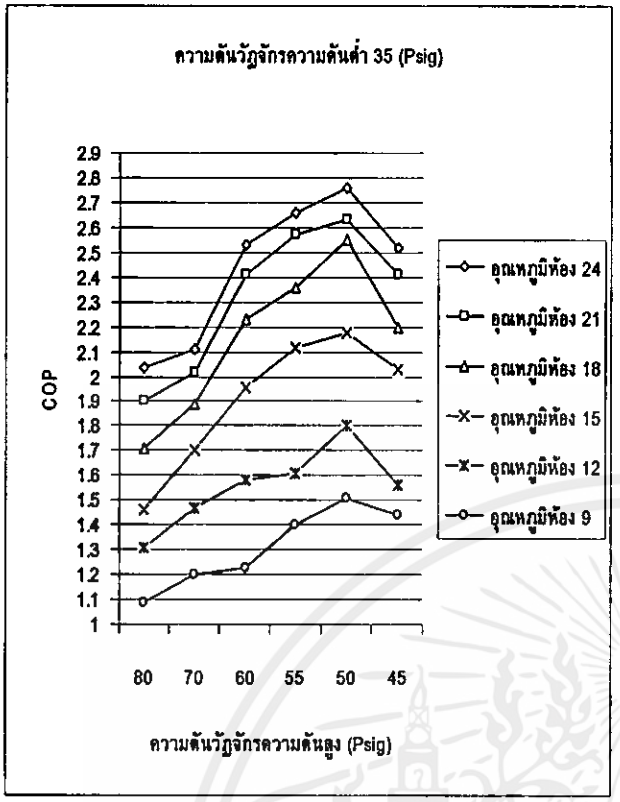
รูปที่ 10 แสดงโปรแกรมการควบคุม Electronic Expansion Valveโดยผู้ทดลอง

8. ผลการทดลอง

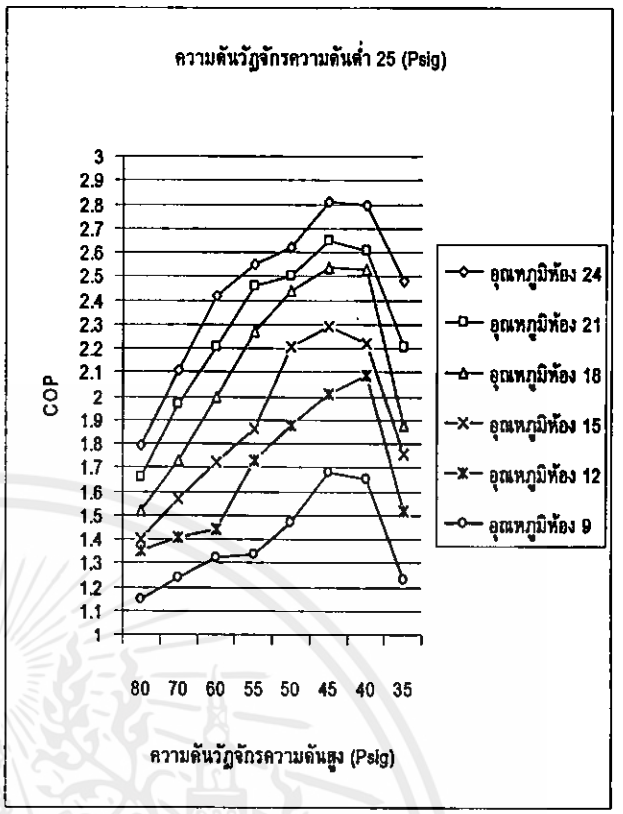


รูปที่ 11 กราฟแสดงผลการทดลองระบบอัดสองขั้นโดยควบคุมความดันด้าน SUCTION ของวัฏจักรความดันต่ำที่ 40 Psig

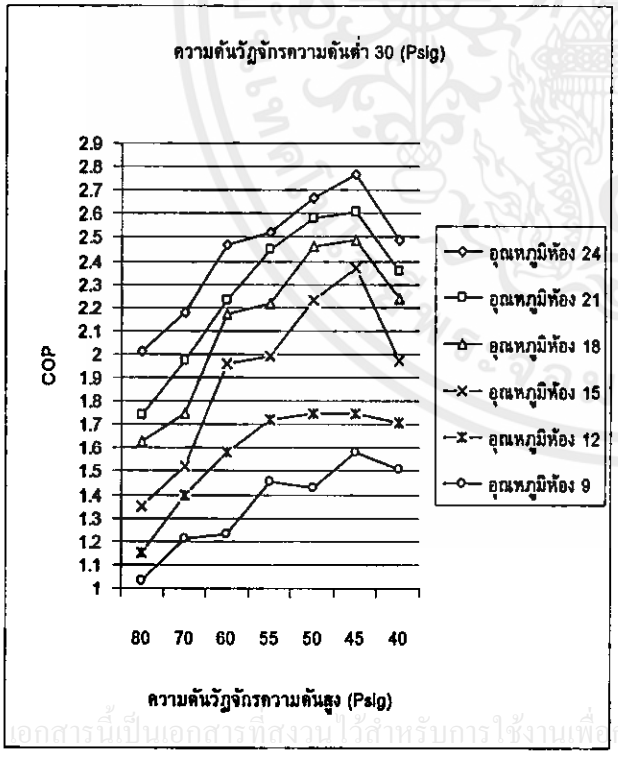
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



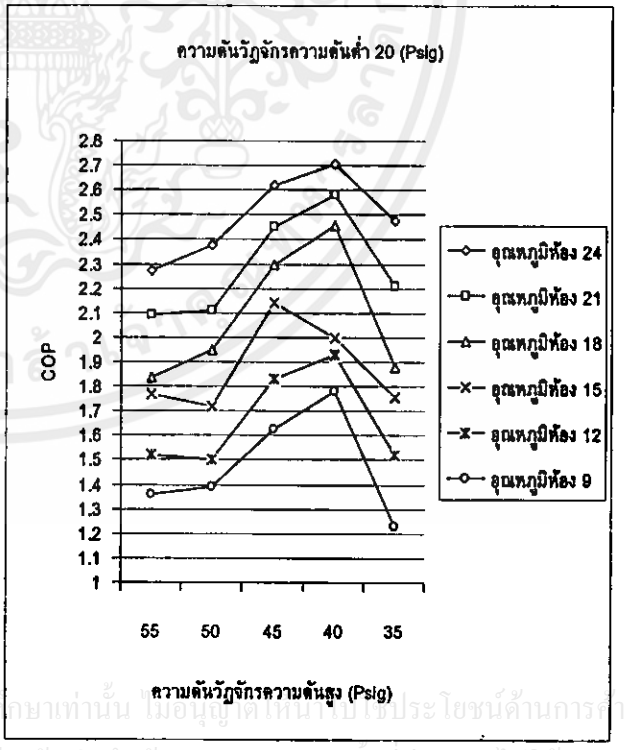
รูปที่ 12 กราฟแสดงผลการทดลองระบบอัดสองขั้นโดยควบคุมความดันด้าน SUCTION ของวัฏจักรความดันต่ำที่ 35 Psig



รูปที่ 14 กราฟแสดงผลการทดลองระบบอัดสองขั้นโดยควบคุมความดันด้าน SUCTION ของวัฏจักรความดันต่ำที่ 25 Psig

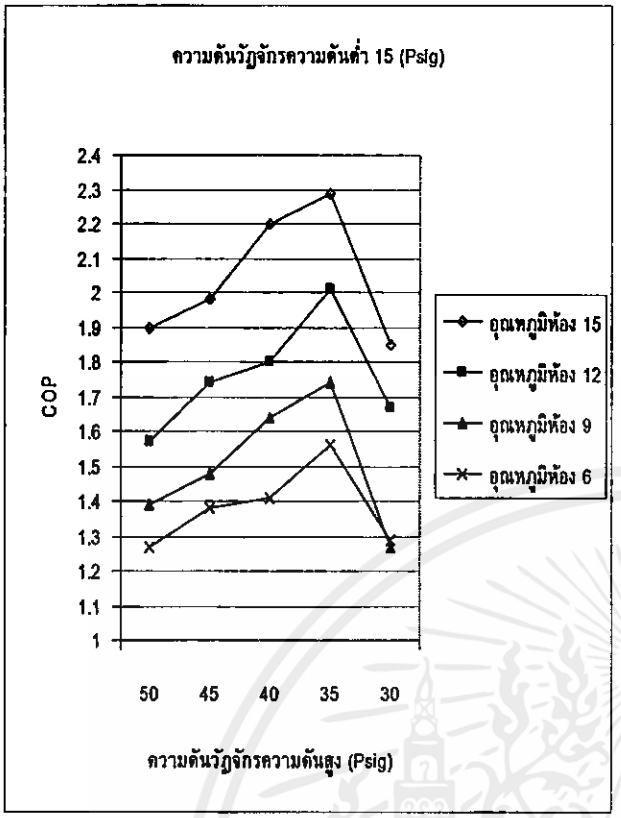


รูปที่ 13 กราฟแสดงผลการทดลองระบบอัดสองขั้นโดยควบคุมความดันด้าน SUCTION ของวัฏจักรความดันต่ำที่ 30 Psig

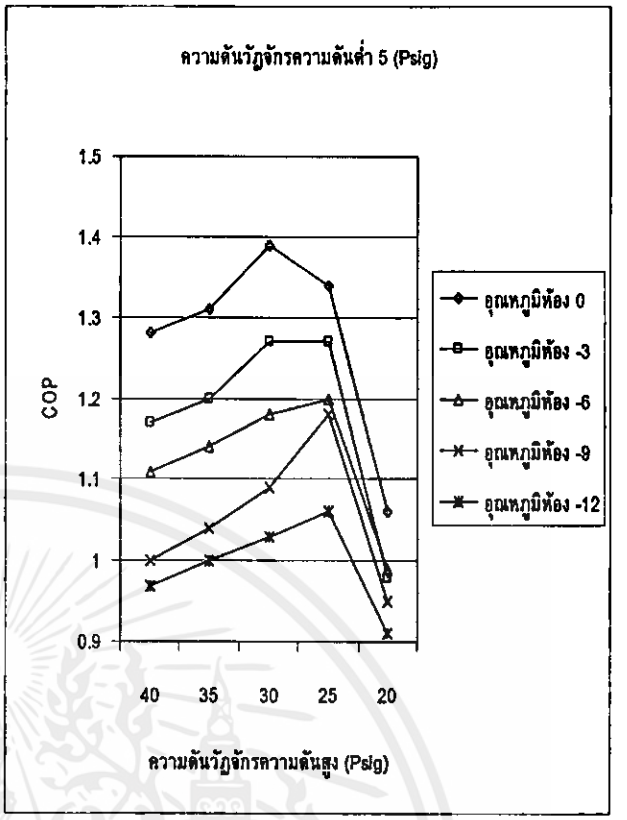


รูปที่ 15 กราฟแสดงผลการทดลองระบบอัดสองขั้นโดยควบคุมความดันด้าน SUCTION ของวัฏจักรความดันต่ำที่ 20 Psig

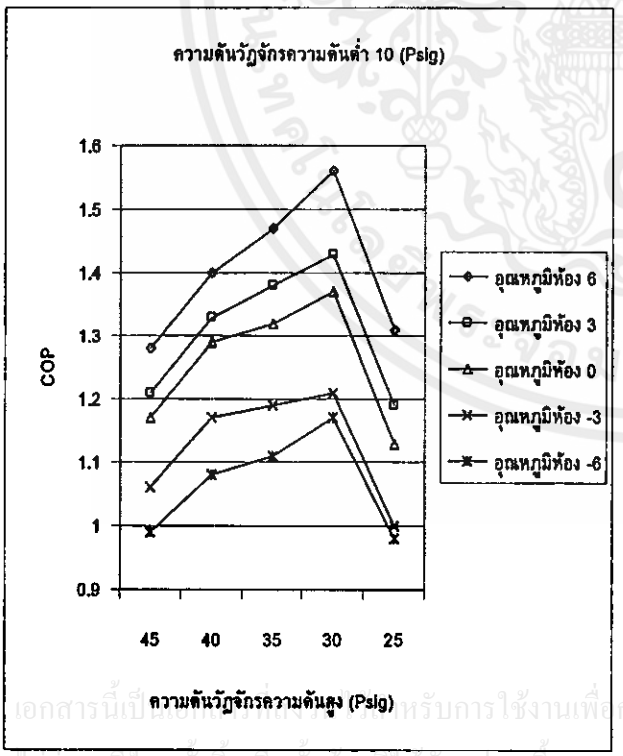
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



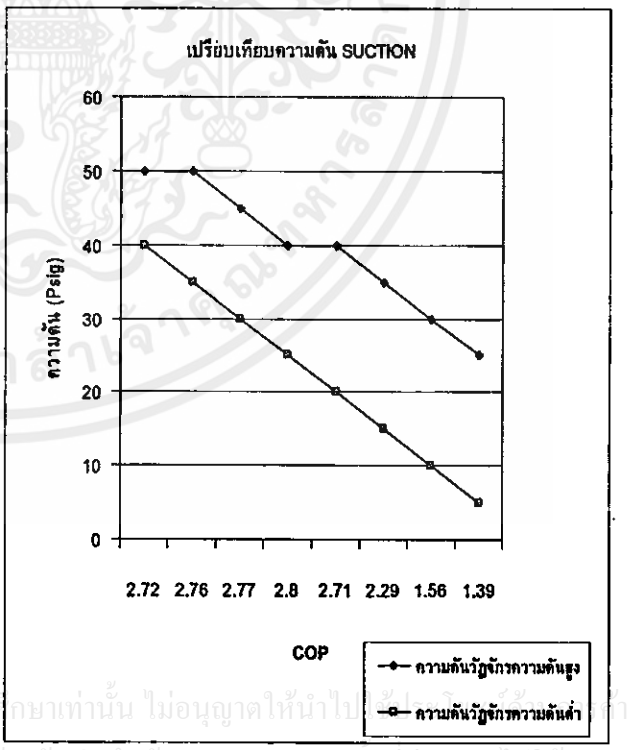
รูปที่ 16 กราฟแสดงผลการทดลองระบบอัดสองขั้นโดยควบคุมความดันด้าน SUCTION ของวัฏจักรความดันต่ำที่ 15 Psig



รูปที่ 18 กราฟแสดงผลการทดลองระบบอัดสองขั้นโดยควบคุมความดันด้าน SUCTION ของวัฏจักรความดันต่ำที่ 5 Psig



รูปที่ 17 กราฟแสดงผลการทดลองระบบอัดสองขั้นโดยควบคุมความดันด้าน SUCTION ของวัฏจักรความดันต่ำที่ 10 Psig



รูปที่ 19 กราฟแสดงการควบคุมความดันด้าน SUCTION ของทั้งสองวัฏจักรที่ค่า COP สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองที่แสดงในรูปที่ 11 ถึงรูปที่ 18 แสดงถึงการควบคุมความดันด้าน SUCTION ของวัฏจักรความดันสูงให้เหมาะสมกับความดันด้าน SUCTION ของวัฏจักรความดันต่ำ จากกราฟแสดงผลการทดลองจะเห็นว่า เมื่อความดันด้าน SUCTION ของวัฏจักรความดันต่ำเปลี่ยนแปลงจะต้องควบคุมความดันด้าน SUCTION ของวัฏจักรความดันสูงให้เปลี่ยนตามด้วยจึงจะได้ค่าประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งแนวทางในการควบคุมความดันด้าน SUCTION ของทั้งสองวัฏจักรแสดงดังรูปที่ 19

9. สรุป

ในการควบคุมระบบการทำความเย็นแบบอัดสองขั้นให้มีประสิทธิภาพสูงทุกๆ อุณหภูมิห้องที่เปลี่ยนแปลงนั้นจำเป็นต้องควบคุมความดันด้าน SUCTION ของวัฏจักรความดันสูงให้มีความสอดคล้องกับ ด้าน SUCTION ของวัฏจักรความดันต่ำ จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าเมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิห้องที่ค่าต่างๆ ค่าประสิทธิภาพของระบบมีค่าสูงสุดที่ค่าความดันด้าน SUCTION วัฏจักรความดันสูงที่เหมาะสมค่าหนึ่งดังแสดงในรูปที่ 19 ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้ คือ

9.1 การควบคุมความดันด้าน SUCTION ของวัฏจักรความดันสูงที่ค่าสูงกว่าค่าที่เหมาะสมทำให้ประสิทธิภาพของระบบต่ำลงเนื่องจาก การควบคุมความดันด้าน SUCTION ให้มีค่าสูงนั้นจะต้องเปิดวาล์วขยายให้มากขึ้นเพื่อลดความดันสูญเสียที่เกิดขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้อัตราการไหลของวัฏจักรความดันสูงเพิ่มขึ้น กำลังงานที่จ่ายให้เครื่องอัดเพิ่มขึ้น ค่าประสิทธิภาพของระบบก็จะลดลง

9.2 การควบคุมความดันด้าน SUCTION ของวัฏจักรความดันสูงที่ค่าต่ำกว่าค่าที่เหมาะสมนั้นทำให้ประสิทธิภาพของระบบต่ำลงเนื่องจากการควบคุมความดันด้าน SUCTION ให้มีค่าต่ำนั้น ทำได้โดยเปิดวาล์วขยายให้แคบลงเพื่อเพิ่มความดันสูญเสียให้มากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้อัตราการไหลของสารทำความเย็นวัฏจักรความดันสูงลดลง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่ออัตราการไหลของวัฏจักรความดันต่ำ ทำให้สารทำความเย็นเหลวเข้าสู่วัฏจักรความดันต่ำไม่เพียงพอ อัตราการไหลลดลง ความสามารถในการทำความเย็นลดลง ประสิทธิภาพของระบบก็จะลดลง

ค่าความดันที่เหมะสมจากการทดลองที่ทำให้ได้ค่าประสิทธิภาพสูงนั้น มีประโยชน์เพื่อเป็นแนวทางในการควบคุมระบบโดยอัตโนมัติ โดยการควบคุมอัตราการเปิดของวาล์วขยายของทั้งสองวัฏจักรให้มีความดันที่เหมาะสมโดยใช้ Electronics Expansion valve เป็นตัวควบคุม ซึ่งจะส่งผลให้อัตราการไหลและกำลังงานที่จ่ายให้กับเครื่องอัดของทั้งสองวัฏจักรมีอัตราส่วนที่เหมาะสม

10. รายการสัญลักษณ์และความหมาย

COP	=	สัมประสิทธิ์สมรรถนะ
E_T	=	พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้ห้องทดสอบความร้อน
h_e	=	เอนทัลปีของสารทำความเย็นจุดทางออกอุปกรณ์
h_i	=	เอนทัลปีของสารทำความเย็นจุดทางเข้าอุปกรณ์
h_{w1}	=	เอนทัลปีของน้ำจุดทางเข้าห้องทดสอบความร้อน
h_{w2}	=	เอนทัลปีของน้ำจุดทางออกห้องทดสอบความร้อน
$\dot{m}$	=	อัตราการไหลสารทำความเย็น
Q_H	=	อัตราการถ่ายเทความร้อนที่เครื่องควบแน่น
Q_L	=	อัตราการถ่ายเทความร้อนที่เครื่องระเหย
q_p	=	ความร้อนสูญเสียผ่านผนังห้องทดสอบความร้อน
W_n	=	พลังงานที่จ่ายให้เครื่องอัด
w_r	=	อัตราการไหลน้ำ

11. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ อาจารย์ ทุกท่าน ในภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สภาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คุณ ภัทธิยา ไชยณรงค์ ร่วมทั้งเพื่อน ๆ ทุกคน ที่ให้คำปรึกษาและช่วยเหลือ เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

[1] Richard C. Jordan and Gayle B. Priester "Refrigeration and Air Conditioning" Prentice-Hall of India Privatr Limited New Delhi, 1973

[2] Carrier, 1965 "Handbook of Air Conditioning System Design" McGraw-hill Book Company, Newyork.

[3] Norman C Harris, 1983, "Modern Air Conditioning Practice" McGraw-Hill International Book Company.

[4] ผศ. วิจิตร บุญยอโรกุล, 2533, "ตู้เย็น-ห้องเย็น" คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

[5] สมศักดิ์ สุโมดยกุล, 2521, "เครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศ" บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นายภูไท ฤทธิ์ธาร เกิดเมื่อวันที่ 22 กุมภาพันธ์ ที่จังหวัดชุมพร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล จากภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2543 ปัจจุบัน ทำงานตำแหน่งวิศวกร บริษัท SAIJO DENKI INTERNATIONAL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้