เครื่องแช่แข็งประหยัดพลังงาน

Energy Saving For Freezer

ณัฐนันท์ โชตินาวิน
ดลฤดี ต้นหลุบเลา
ธนกิตติ์ เพิ่มพูลโชคคณา

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2555

เครื่องแช่แข็งประหยัดพลังงาน
Energy Saving For Freezer

ณัฐนันท์ โชตินาวิน
ดลฤดี ต้นหลุบเลา
ธนกิตติ์ เพิ่มพูลโชคคณา

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Energy Saving For Freezer

NUTTHANUN CHOTINAVIN
DONRUDEE TONLUBLAO
THANAKITPERM POONCHOKEKANA

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERRING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUE OF TECHNOLOGY LARDKRABANG
ACADEMIC YEAR 2012

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญานิพนธ์

.....

หัวข้อปริญญานิพนธ์	เครื่องแช่แข็งประหยัดพลังงาน Energy Saving For Freezer	
นักศึกษาผู้จัดทำ	ณัฐนันท์ โชตินาวิน	**รหัสนักศึกษา** 52010326
	ดลฤดี ต้นหลุบเลา	**รหัสนักศึกษา** 52010382
	ธนกิตติ์ เพิ่มพูลโชคคณา	**รหัสนักศึกษา** 52010435
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมการวัดคุม	
ปีการศึกษา	2555	

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ.เชื้อ นกอยู่	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ เครื่องแช่แข็งประหยัดพลังงาน
Energy Saving For Freezer
นักศึกษาผู้จัดทำ ณัฐนันท์ โชตินาวิน **รหัสนักศึกษา** 52010326
ดลฤดี ต้นหลุบเลา **รหัสนักศึกษา** 52010382
ธนกิตติ์ เพิ่มพูลโชคคณา **รหัสนักศึกษา** 52010435
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.เชื้อ นกอยู่
ปีการศึกษา 2555

บทคัดย่อ

โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อ ศึกษาการใช้พลังงานในการแช่แข็ง โดยการนำเอาระบบทำความเย็นไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการแช่เยือกแข็งอาหาร เพื่อใช้ในการถนอมอาหารให้สามารถเก็บไว้ได้นาน โดยการศึกษาทฤษฎีการทำความเย็น ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน ความดัน อุณหภูมิ ตลอดจนปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาวิเคราะห์หารูปแบบการถ่ายเทความร้อนในการแช่แข็ง พร้อมทั้งปรับปรุงสภาวะการทำงานของคอมเพรสเซอร์ และคำนวณหาอุณหภูมิทำงานของอีวาโปเรเตอร์ คอนเดนเซอร์ และส่วนประกอบที่เกี่ยวข้องที่เหมาะสมกับระบบ ในการปรับลดการใช้พลังงานของคอมเพรสเซอร์ เพื่อให้เครื่องแช่แข็งนั้นทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Energy Saving For Freezer	
Authors	Miss. Nutthanun	Chotinavin
	Miss. Donrudee	Tonlublao
	Mr. Thanakit	Permpoonchokkana
Thesis Advisor	Asst.Prof. Chuae	Nokyoo
Year	2012	

ABSTRACT

The main objective of this project is to study the energy consumption in the freezer by bringing the cooling system to apply for the frozen food preservation. The cooling theorem, heat transfer, presser, temperature are used to analysis of the heat transfer and improve the operation of the compressor and temperature calculation of evaporator, condenser and other elements to reducing the energy for increasing the efficient of compressor in freezer.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับการเกื้อหนุน ความเอาใจใส่ คำปรึกษา ชี้แนะแนวทาง และช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ เสมอมาจาก ผศ.เชื้อ นกอยู่ อาจารย์ที่ปรึกษา รวมทั้งการเอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ เครื่องมือต่าง ๆ ในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำ สั่งสอนให้ความรู้ คุณงามความดีทุกประการอันเป็นประโยชน์ต่อคณะผู้จัดทำ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือด้านต่างๆ เอื้อเฟื้อให้ยืมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในปริญญานิพนธ์นี้

ขอขอบคุณพี่จุ๋ม พี่หนุ่ม และ เพื่อนๆ ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมที่คอยช่วยเหลือให้คำปรึกษาในด้านการทำงานและเป็นกำลังใจให้เสมอมา

และต้องกราบขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้คณะผู้จัดทำมีวันนี้ก็คือบิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดู สนับสนุน คณะผู้จัดทำมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจในการเรียน การทำงาน และการใช้ชีวิต เอาใจใส่เสมอมา ในทุก ๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ

คุณค่า และประโยชน์ คุณงามความดีทุกประการ อันพึงบังเกิดจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ คณะผู้จัดทำปริญญานิพนธ์ขอมอบแด่ พระคุณบิดา มารดา คณะครู อาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน อันเป็นที่มาแห่งกำลังใจ กำลังความรู้ สติปัญญา และปัจจัยทั้งปวง ที่ช่วยประคับประคองให้ ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....V

สารบัญรูป.....VI

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์.....1

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์.....1

1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....2

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....2

บทที่ 2 ทฤษฎี.....3

2.1 การทำความเย็น.....3

2.2 ระบบการทำความเย็นแบบอัดไอ.....3

2.3 อุปกรณ์ในระบบการทำความเย็นแบบอัดไอ.....4

2.3.1 คอมเพรสเซอร์.....5

2.3.1.1 คอมเพรสเซอร์แบบเปิด.....5

2.3.1.2 คอมเพรสเซอร์แบบกึ่งปิด.....6

2.3.1.3 คอมเพรสเซอร์แบบหุ้มปิด.....6

2.3.1.4 คอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบ.....7

2.3.1.5 คอมเพรสเซอร์แบบสกรู.....7

2.3.1.6 คอมเพรสเซอร์แบบก้นหอยหรือแบบสโครล์.....8

2.3.2 คอนเดนเซอร์.....8

2.3.2.1 คอนเดนเซอร์ระบายความร้อนด้วยอากาศ.....8

2.3.2.2 คอนเดนเซอร์การระบายความร้อนด้วยน้ำ.....9

2.3.2.3 คอนเดนเซอร์การระบายด้วยน้ำและอากาศ.....10

2.3.2.4 คอนเดนเซอร์ชนิดท่อและครีบ.....11

2.3.2.5 คอนเดนเซอร์ชนิดเปลือกและท่อ.....11

2.3.3 อีวาโปเรเตอร์.....11

2.3.3.1 อีวาโปเรเตอร์แบบท่อเปลือย.....12

2.3.3.2 อีวาโปรเรเตอร์แบบแผ่น.....12

2.3.3.3 อีวาโปรเรเตอร์แบบครีบ.....13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3.3.4 อีวาโปเรเตอแบบซิลเลอร์....13
2.3.3.5 อีวาโปเรเตอร์ชนิดแห้ง....13
2.3.3.6 อีวาโปเรเตอร์ชนิดเปียก....14
2.3.4 วาล์วควบคุมการไหล....15
2.3.4.1 ท่อรูเล็กหรือท่อแคพิเลอรี....15
2.3.4.2 วาล์วขยายตัวอัตโนมัติ....16
2.3.4.3 วาล์วขยายตัวเทอร์โมสแตติก....16
2.3.4.4 วาล์วลูกลอยด้านความดันต่ำ....17
2.3.4.5 วาล์วลูกลอยด้านความดันสูง....18
2.3.5 อุปกรณ์เสริม....19
2.3.5.1 รีซีฟเวอร์....19
2.3.5.2 แอคคิวมูเลเตอร์....19
2.3.5.3 ฟิลเตอร์ไดรเออร์....20
2.3.5.4 วาล์วบริการ....20
2.3.6 สารทำความเย็น....21
2.3.6.1 การเลือกใช้สารทำความเย็น....21
2.3.6.2 การจำแนกสารทำความเย็นตามระดับความปลอดภัย....22
2.3.7 ความสามารถของการทำความเย็นทางทฤษฎี....24
2.3.7.1 ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร....24
2.4 การทำงานของระบบการทำความเย็นแบบอัดไอ....25
2.4.1 ระบบทำความเย็นแบบอัดไอ....25
2.4.2 วัฏจักรของการทำความเย็น....26
2.4.3 การทำงานของระบบทำความเย็น....26
2.5 การวิเคราะห์กระบวนการทำความเย็นแบบอัดไอ....27
2.5.1 คอมเพรสเซอร์....29
2.5.2 คอนเดนเซอร์....30
2.5.3 อุปกรณ์ควบคุมความดัน....30
2.5.4 อีวาโปเรเตอร์....30
2.5.5 ประสิทธิภาพการทำความเย็น....30
2.5.6 ความสามารถในการทำความเย็น....31
2.5.7 อัตราการไหลเชิงปริมาตรของสารทำความเย็น....31
2.5.8 ความสามารถของคอมเพรสเซอร์....31
2.6 การถ่ายเทความร้อน....31
2.6.1 การถ่ายเทความร้อนโดยการนำ....31
2.6.2 การถ่ายเทความร้อนโดยการพา....32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.6.3 การแผ่รังสีความร้อน 32
2.7 อินเวอร์เตอร์....33
2.7.1 โครงสร้างของอินเวอร์เตอร์....33
2.7.2 หลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์....33
2.7.2.1 อินเวอร์เตอร์ประยุกต์ใช้งานร่วมกับระบบควบคุมมอเตอร์....34
2.7.2.2 วิธีการสร้างไฟฟ้ากระแสสลับ 34
2.7.2.3 การกำหนดช่วงความถี่ใช้งาน....35
2.7.2.4 วิธีปรับแรงดัน....35
2.7.3 การควบคุมมอเตอร์....36
2.7.3.1 การสตาร์ท....36
2.7.3.2 การเร่งความเร็ว....36
2.7.3.3 การลดความเร็ว....37
2.7.3.4 การหยุด....37
2.7.4 ประโยชน์ของอินเวอร์เตอร์....37
2.8 การแช่เยือกแข็ง....37
2.8.1 วัตถุประสงค์ของการแช่แข็งอาหาร....38
2.8.2 กระบวนการแช่แข็ง....38
2.8.3 วิธีการแช่เยือกแข็งอาหาร....39
2.8.3.1 เครื่องแช่เยือกแข็งแบบแผ่น....39
2.8.3.2 เครื่องแช่เยือกแข็งแบบฟลูอิไดซ์เบด....40
2.8.3.3 เครื่องแช่เยือกแข็งแบบอุโมงค์....41
2.8.3.4 เครื่องแช่เยือกแข็งแบบสายพานวน....41
2.8.3.5 การแช่เยือกแข็งแบบจุ่ม....42
2.8.3.6 การแช่เยือกแข็งด้วยสารไครโอเจน....42
2.8.4 การเกิดผลึกน้ำแข็ง....43
2.8.5 อัตราการแช่เยือกแข็ง....45
2.8.6 การสูญเสียของเหลว....45
2.9 การประมาณเวลาการแช่เยือกแข็ง (Freezing time)....46
2.9.1 สมการของแพลงค์....46

บทที่ 3 การออกแบบ....50
3.1 กล่าวนำ....50
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง....50
3.2.1 คอมเพรสเซอร์ 51
3.2.2 อีวาโปเรเตอร์....52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2.2.1 ช่องแช่แข็ง....52
3.2.2.2 Freeze Place....52
3.2.3 คอนเดนเซอร์ (Condenser) 53
3.2.4 วาล์วควบคุมการไหล....53
3.2.5 สารทำความเย็น....54
3.2.6 การออกแบบขนาดท่อ....54
3.3 ความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน....55
3.3.1 อันตรายที่เกิดจากสารทำความเย็น....55
3.3.2 อันตรายที่เกิดจากถังความดัน....56
3.3.3 อันตรายที่เกิดจากการใช้ไฟฟ้า....57
3.4 เครื่องมือบริการ....58
3.4.1 เกจแมนิโฟลด์....58
3.4.2 เครื่องปั๊มสุญญากาศ....58
3.4.3 วาล์วบริการ....59
3.4.4 เครื่องมือวัดทางไฟฟ้า....59
3.4.4.1 มัลติมิเตอร์....59
3.4.4.2 เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า....60
3.4.4.3 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ 60
3.5 การออกแบบวิธีประหยัดพลังงานของเครื่องทำน้ำแข็ง....61
3.5.1 การลดอุณหภูมิทำงานของคอนเดนเซอร์....61
3.5.2 การเพิ่มอุณหภูมิทำงานของอีวาโปเรเตอร์....62

บทที่ 4 การทดลอง....64
4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง....64
4.2 ลำดับขั้นตอนเตรียมการทดลอง....64
4.3 การปรับความถี่ แบ่งออกเป็น 4 กรณี....64
4.4 การทดลองกรณีที่ 1....65
4.4.1 ขั้นตอนการทดลอง....65
4.4.2 ผลการทดลอง....68
4.5 การทดลองกรณีที่ 2....69
4.5.1 ขั้นตอนการทดลอง....69
4.5.2 ผลการทดลอง....70
4.6 การทดลองกรณีที่ 3....71
4.6.1 ขั้นตอนการทดลอง....71
4.6.2 ผลการทดลอง....72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.7 การทดลองกรณีที่ 4 77
4.7.1 ขั้นตอนการทดลอง 77
4.7.2 ผลการทดลอง 78
4.8 การทดลองกรณีที่ 5 81
4.8.1 ขั้นตอนการทดลอง 81
4.8.2 ผลการทดลอง 81

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและเสนอแนะ 83
5.1 สรุปผลงาน 83
5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา 83

บรรณานุกรม 84

ภาคผนวก 85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุปกรณ์การทำงาน ขั้นตอนการทำงาน อุณหภูมิ ความดัน และสถานะของสารทำความเย็น.....5

2.2 การจำแนกสารทำความเย็นตามการจัดระดับความปลอดภัยของสารทำความเย็นบางชนิด.....23

2.3 การควบคุมรูปคลื่นของอินเวอร์เตอร์.....36

3.1 แสดงผลของกระแสไฟฟ้าที่ผ่านร่างกาย.....57

4.1 เวลาในการทดลองเมื่อไม่ได้ตั้งค่าการตัดการทำงานของคอมเพรสเซอร์.....58

4.2 เวลาในการทดลองเมื่อตั้งค่าการตัดการทำงานของคอมเพรสเซอร์ เมื่ออุณหภูมิลงถึง -20 ° C ความถี่ที่ 50Hz.....70

4.3 ปรับความถี่ที่ 50 Hz.....72

4.4 ปรับความถี่ที่ 45 Hz.....73

4.5 ปรับความถี่ที่ 40 Hz.....74

4.6 ปรับความถี่ที่ 35 Hz.....75

4.7 ความถี่ที่ 50 Hz ยังไม่ได้ทำการปรับลดความถี่.....78

4.8 ปรับความถี่ตามความหนาของน้ำแข็งที่เพิ่มขึ้น.....79

4.9 การทดลองแช่เนื้อหมู 2kg ที่ความถี่ที่ 50 Hz.....81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงวงจรการทำงานของระบบทำความเย็นแบบอัดไอ	3
2.2	ลักษณะของอุปกรณ์ที่สำคัญในระบบการทำความเย็นแบบอัด	4
2.3	คอมเพรสเซอร์แบบเปิด	6
2.4	คอมเพรสเซอร์แบบกึ่งปิด	6
2.5	คอมเพรสเซอร์แบบหุ้มปิด	7
2.6	คอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบ	7
2.7	คอมเพรสเซอร์แบบสกรู	7
2.8	คอมเพรสเซอร์แบบก้นหอยหรือแบบสโครล์	8
2.9	คอนเดนเซอร์ระบายความร้อนด้วยอากาศ แบบใช้พัดลม	8
2.10	คอนเดนเซอร์ระบายความร้อนด้วยอากาศ แบบแผงร้อน	9
2.11	คอนเดนเซอร์ระบายความร้อนด้วยอากาศ แบบแผ่นโลหะ	9
2.12	คอนเดนเซอร์การระบายความร้อนด้วยน้ำ แบบท่อบรรจุในถังโลหะโลหะ	10
2.13	คอนเดนเซอร์การระบายความร้อนด้วยน้ำ แบบท่อสอดอยู่ในท่อ	10
2.14	คอนเดนเซอร์การระบายด้วยน้ำและอากาศ	11
2.15	คอนเดนเซอร์ชนิดเปลือกและท่อ	11
2.16	อีวาโปเรเตอร์แบบท่อเปลือย	12
2.17	อีวาโปเรเตอร์แบบแผ่น	12
2.18	อีวาโปเรเตอร์แบบครีบ	13
2.19	อีวาโปเรเตอร์แบบชิลเลอร์	13
2.20	อีวาโปเรเตอร์ชนิดแห้ง	14
2.21	อีวาโปเรเตอร์ชนิดเปียก	14
2.22	ท่อแคพิเลอรี	15
2.23	รูปหน้าตัดของวาล์วขยายตัวอัตโนมัติ	16
2.24	วาล์วขยายตัวเทอร์โมสแตติก	17
2.25	หน้าตัดวาล์วขยายตัวเทอร์โมสแตติก	17
2.26	รูปหน้าตัดแสดงส่วนประกอบวาล์วลูกลอยด้านความดันต่ำ	18
2.27	รูปหน้าตัดแสดงส่วนประกอบวาล์วลูกลอยด้านความดันสูง	18
2.28	รีซีฟเวอร์	19
2.29	แอคคิวมูเลเตอร์	19
2.30	ฟิลเตอร์ไดรเออร์	20
2.31	วาล์วบริการ	20
2.32	อุปกรณ์หลักในระบบทำความเย็นแบบอัดไอ	26
2.33	แผนภาพมอลเลียร์	27
2.34	แผนภาพความดัน – เอนทัลปี ของระบบการทำความเย็นแบบอัดไอ	28
2.35	โครงสร้างของอินเวอร์เตอร์	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.36	วิธีการสร้างไฟฟ้ากระแสสลับ	34
2.37	จังหวะการเกิดไฟฟ้ากระแสสลับ	34
2.38	กระบวนการแช่แข็ง	39
2.39	(ก) แช่เยือกแข็งแบบแผ่น (ข) ลักษณะการแช่แข็งแบบก้อนสี่เหลี่ยม	40
2.40	เครื่องแช่เยือกแข็งแบบฟลูอิไดซ์เบด	40
2.41	เครื่องแช่เยือกแข็งแบบอุโมงค์	41
2.42	วิธีการแช่เยือกแข็งแบบสายพานวน	41
2.43	เครื่องแช่เยือกแข็งแบบจุ่ม	42
2.44	(ก) โครงสร้างของเครื่องแช่แข็งแบบไครโอจินิก (ข) เครื่องแช่แข็งแบบไครโอจินิก	43
2.45	(ก) กระบวนการเกิดผลึกน้ำแข็ง (ข) เกิดผลึกน้ำแข็งของการแช่แข็งอย่างเร็วและช้า	44
2.46	การสูญเสียของเหลวของการแช่แข็งอย่างเร็วและช้า	45
2.47	สมมติฐานในการหาเวลาในการแช่แข็งโดยอาศัยสมการของแพลงค์	46
3.1	ระบบทำความเย็นชนิดอัดไอ	50
3.2	ชุดอุปกรณ์ในการทดลอง	51
3.3	คอมเพรสเซอร์แบบหุ้มปิด	51
3.4	อีวาโปเรเตอร์	52
3.5	Freeze Place	52
3.6	คอนเดนเซอร์ระบายความร้อนด้วยอากาศแบบใช้พัดลม	53
3.7	วาล์วขยายตัวเทอร์โมสแตติก	53
3.8	สารทำความเย็น R134a	54
3.9	แสดงท่อสารทำความเป็นเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบ	54
3.10	เกจแมนิโฟลด์	58
3.11	เครื่องปั๊มสุญญากาศ	58
3.12	วาล์วบริการแบบหัวศร	59
3.13	มัลติมิเตอร์	60
3.14	เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า	60
3.15	เทอร์โมดิจิตอล Dixell XR06CX	61
3.16	แผนภาพความดัน-เอนทาลปีเมื่อลดอุณหภูมิทำงานของคอนเดนเซอร์	62
3.17	แผนภาพความดัน-เอนทาลปีเมื่อเพิ่มอุณหภูมิทำงานของอีวาโปเรเตอร์	63
4.1	(ก) บีกเกอร์ 1000 cc. (ข) น้ำในซองน้ำแข็ง	65
4.2	อุณหภูมิของน้ำโดยเครื่องเทอร์โมดิจิตอล	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.3	เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า	66
4.4	เกจแมนิโฟลด์ โดยวัดที่จุด 1 และ 3 ของวัฏจักร	66
4.5	ใช้เวอร์เนียวัดความหนาของแต่ละด้าน	67
4.6	เทอร์โมดิจิตอล	69
4.7	ปรับความถี่ที่อินเวอร์เตอร์	71
4.8	กราฟแสดงค่าพลังงานที่ใช้ในแต่ละช่วงความถี่ที่ปรับลดลง	76
4.9	กราฟแสดงค่าพลังงานที่ใช้ในการทดลองปรับความถี่ตามความหนาของน้ำแข็งที่เพิ่มขึ้น	80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่1
บทนำ

1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์

เนื่องจากสภาพอากาศของโลกปัจจุบัน มีอุณหภูมิค่อนข้างสูงทำให้สภาพร่างกายของคนเราเกิดภาวะเสี่ยง อีกทั้งยังทำให้อาหารที่เรารับประทานกันอยู่ทุกวันนั้นเสียได้ง่ายและมีระยะเวลาการเก็บรักษาที่สั้นลง ดังนั้นในการดำรงชีวิตของคนเราจึงมีการสรรหาสิ่งอำนวยความสะดวกที่ช่วยบรรเทาความร้อนและภาวะเสี่ยงจากสภาพอากาศที่เป็นอยู่ตามธรรมชาติ จึงได้มีการคิดค้นกรรมวิธีต่างๆที่จะช่วยในการลดอุณหภูมิ โดยมีน้ำซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นอีกอย่างหนึ่งในชีวิตประจำวัน เราจึงอาศัยน้ำมาเป็นตัวช่วยในการดับความร้อนและการถนอมอาหารซึ่ง ปัจจุบันน้ำแข็งมีความ สำคัญต่อคนเรามากไม่ว่าจะเป็นการบริโภค การแช่แข็งในชีวิตประจำวัน ซึ่งการทำความเย็นเป็นกระบวนการดึงความร้อนออกจากวัตถุหรืออากาศ เพื่อรักษาให้มีอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศแวดล้อมภายนอก ระบบทำความเย็นมีหลากหลายประเภทซึ่งจะเน้นที่การทำความเย็นโดยระบบทำความเย็นแบบอัดไอเนื่องจากมีการใช้งานอย่างแพร่หลาย ซึ่งจะออกแบบและสร้างเครื่องแช่แข็งโดยใช้อุปกรณ์ที่มีในท้องตลาด และสามารถทดลองหาวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำความเย็นและลดพลังงานในเครื่องแช่แข็งมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการแช่แข็งและอาหารแช่เยือกแข็งที่ประหยัดพลังงาน พัฒนารูปแบบและกลไกในการทำงานของเครื่องแช่แข็ง เพื่อต่อยอดเทคโนโลยีทางด้านการออกแบบเครื่องจักร ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตสำหรับอุตสาหกรรมการแช่แข็งอาหาร

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. เพื่อศึกษาการแช่แข็งและอาหารแช่เยือกแข็งที่ประหยัดพลังงาน
2. เพื่อศึกษาเกี่ยวกับอุณหพลศาสตร์
3. มีความรู้ความเข้าใจในเรื่องการประหยัดพลังงาน
4. พัฒนารูปแบบและกลไกในการทำงานของเครื่องแช่แข็ง เพื่อต่อยอดเทคโนโลยีทางด้านการออกแบบเครื่องจักรเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตสำหรับอุตสาหกรรมการแช่แข็งอาหาร
5. สามารถออกแบบและสร้างเครื่องแช่แข็งอาหารได้

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

ในปริญญานิพนธ์นี้จะเป็นการออกแบบและสร้างเครื่องแช่แข็งโดยใช้อุปกรณ์ที่มีในท้องตลาด และสามารถทดลองหาวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำความเย็นและลดพลังงานในเครื่องแช่แข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1.ศึกษาทฤษฎีการเกิดของน้ำแข็งและคุณสมบัติของน้ำเพื่อหาพฤติกรรมของน้ำเมื่อเกินน้ำแข็ง

2. ศึกษาระบบการทำงานของเครื่องทำความเย็นและเทอร์โมไดนามิกส์

3. ทำการออกแบบเครื่องแช่แข็งโดยใช้อุปกรณ์ที่มีขายตามท้องตลาด

4. ทำการออกแบบชุดวัดค่าข้อมูล เช่น อุณหภูมิ กระแส พลังงานของเครื่องทำน้ำแข็ง

5. ทำการปรับปรุงเครื่องทำน้ำแข็งด้วยการติดวาล์วควบคุมการไหล

6. ทำการนำน้ำมาทดลองแช่เยือกแข็ง

7. เปรียบเทียบพลังงานและอุณหภูมิที่ใช้ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

8. วิเคราะห์การทดสอบที่เสร็จสิ้นทั้งในด้านประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องและความคุ้มทุนในเชิงเศรษฐศาสตร์พร้อมการประเมินผล

9. สรุปและเขียนรายงานผลการทดสอบ

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. เครื่องแช่แข็งอัตโนมัติที่ทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ได้ผลผลิตออกมาคุณภาพดี ปลอดภัย และประหยัดพลังงาน

2. โอกาสในการส่งเข้าประกวดนวัตกรรมระดับชาติ

3. สามารถเพิ่มประสิทธิภาพและปริมาณการผลิตให้กับภาคอุตสาหกรรมการการแช่แข็งและถนอมอาหารด้วยการวิจัยและพัฒนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

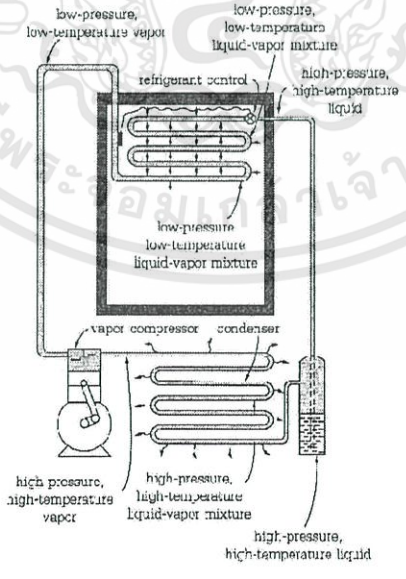
2.1 การทำความเย็น

กระบวนการทำความเย็น (Refrigeration) หมายถึง กระบวนการถ่ายเทความร้อนออกจากบริเวณที่ต้องการทำความเย็น การทำงานจะเป็นแบบวัฏจักรซึ่งจะเรียกว่า วัฏจักรการทำความเย็น (Refrigeration Cycle) โดยส่วนใหญ่นั้นเป็นระบบทำความเย็นชนิดอัดไอ ซึ่งจะใช้สารทำความเย็นเป็นตัวกลางในการทำงาน โดยจะระเหยเปลี่ยนสถานะจากของเหลวไปเป็นไอ และควบแน่นเป็นของเหลวสลับกัน อีกทั้งถูกอัดให้มีความดันสูงขึ้นในขณะที่มีสถานะเป็นไอ โดยมีอุปกรณ์ทำงานอย่างเป็นระบบเรียกว่า ระบบทำความเย็นชนิดอัดไอ

2.2 ระบบการทำความเย็นแบบอัดไอ

ระบบการทำความเย็นแบบอัดไอ (Vapor compression) เป็นระบบที่ทำให้เกิดความเย็นขึ้นได้โดยอาศัยการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆร่วมกันและได้ออกแบบและถูกสร้างขึ้นโดยใช้หลักการเทอร์โมไดนามิกส์ดังนี้

- ของไหลดูดความร้อนได้ขณะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ
- ความร้อนจะไหลจากที่อุณหภูมิสูงไปอุณหภูมิต่ำ
- การเลือกโลหะที่ใช้ทำอีวาโปเรเตอร์จะต้องมีค่านำความร้อนสูง
- พลังงานความร้อนและในพลังงานในรูปแบบอื่น สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ ตามกฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์

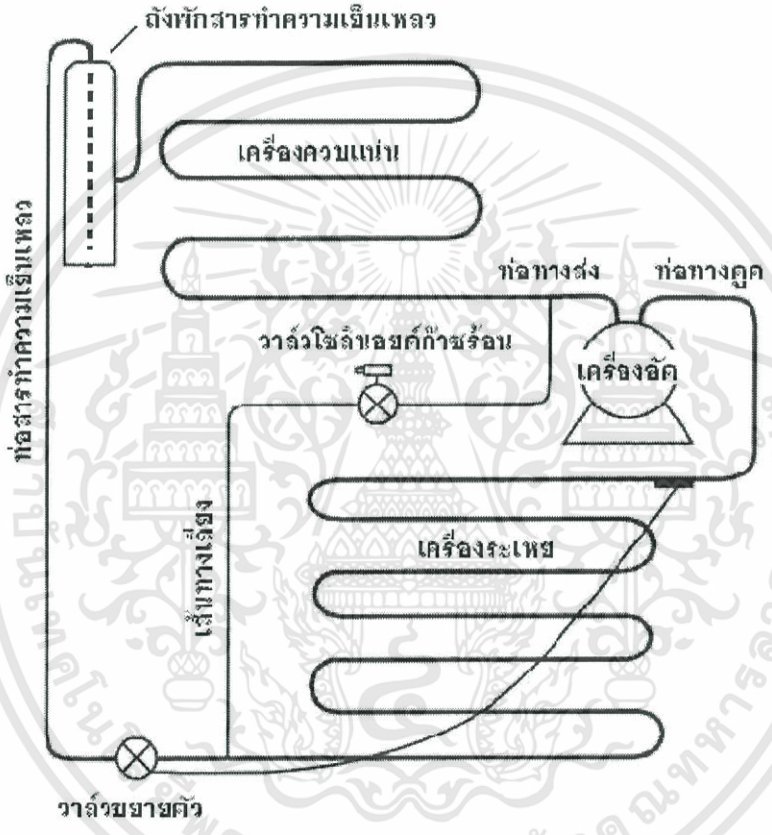


รูปที่ 2.1 แสดงวงจรการทำงานของระบบทำความเย็นแบบอัดไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 อุปกรณ์ในระบบการทำความเย็นแบบอัดไอ

ระบบการทำความเย็นแบบอัดไอประกอบด้วย เครื่องอัด(คอมเพรสเซอร์) เครื่องควบแน่น (คอนเดนเซอร์) อุปกรณ์ลดความดัน(เอ็กซ์แปนชั่นวาล์ว) และเครื่องระเหย(อีวาโปเรเตอร์) ดังรูปที่2.2 นอกจากนี้ระบบยังจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ต่างๆ เพิ่มเติมอีกเพื่อช่วยให้ระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นได้แก่ แอคคิวมูเลเตอร์ รีซีฟเวอร์ วาล์วบริการ ฟิลเตอร์ไดรเออร์ ดังแสดงในตารางที่2.1 ซึ่งได้แสดงความสัมพันธ์และลักษณะการทำงานของอุปกรณ์เหล่านี้บางชนิดเทียบกับความดันอุณหภูมิ และสภาวะของสารทำความเย็น



รูปที่ 2.2 ลักษณะของอุปกรณ์ที่สำคัญในระบบการทำความเย็นแบบอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุปกรณ์การทำงาน ขั้นตอนการทำงานอุณหภูมิ ความดัน และสถานะของสารทำความเย็น

อุปกรณ์	ลักษณะขั้นตอนการทำงาน	อุณหภูมิ	ความดัน	สถานะของสารทำความเย็น
คอมเพรสเซอร์	อัดสารทำความเย็นให้มีความดันสูง	ต่ำ⟶ สูง	ต่ำ⟶ สูง	ไอ
คอนเดนเซอร์	คายความร้อนสู่บรรยากาศ	สูง	สูง	ไอ⟶ของเหลว
วาล์วควบคุมการไหล	ลดความดันสารทำความเย็น	สูง⟶ ต่ำ	สูง⟶ ต่ำ	ของเหลว⟶ (ของเหลว+ไอ)
อีวาโปเรเตอร์	ดึงความร้อนออกจากระบบ	ต่ำ	ต่ำ	(ของเหลว+ไอ)⟶ ไอ
ถังพักสารทำความเย็นทางส่ง *	แยกและพักสารทำความเย็นที่ควบแน่น	สูง	สูง	ไอ+ของเหลว
รีซีฟเวอร์ *	สะสมและแยกสารทำความเย็นเหลวออกจากไอ	ต่ำ	ต่ำ	ของเหลว+ไอ

หมายเหตุ : * ถังพักสารทำความเย็นทางส่งมักติดตั้งในระบบขนาดปานกลางขึ้นไป ส่วนที่เก็บสารทำความเย็นทางดูดมักติดตั้งในระบบขนาดเล็ก เช่น ตู้เย็นที่ใช้ตามบ้านอย่างไรก็ดีในระบบขนาดใหญ่จะมีทั้งถังพักสารทำความเย็นทางส่งและถังพักสารทำความเย็นทางดูด (คือที่เก็บสารทำความเย็นทางดูดในระบบขนาดเล็ก)

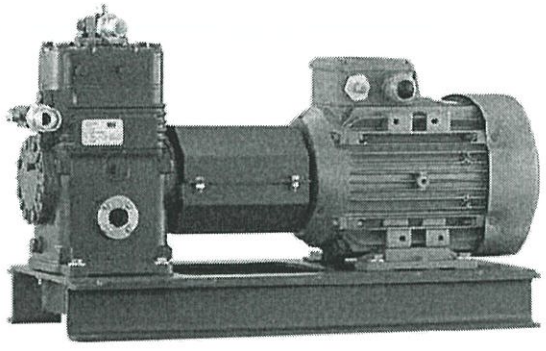
2.3.1 คอมเพรสเซอร์

คอมเพรสเซอร์ (Compressors) เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญที่สุดของระบบการทำความเย็นทำหน้าที่ดูดอัดสารทำความเย็นที่มีสถานะเป็นไอ โดยดูดไอที่มีอุณหภูมิต่ำจากอีวาโปเรเตอร์ แล้วอัดให้มีความดันสูงและอุณหภูมิสูงจนถึงจุดที่ไอสามารถควบแน่นเป็นของเหลวในคอนเดนเซอร์ได้ซึ่งมีอยู่หลายแบบดังนี้

2.3.1.1 คอมเพรสเซอร์แบบเปิด

คอมเพรสเซอร์แบบเปิด(Open type Compressor) คือคอมเพรสเซอร์แบบที่ตัวขับซึ่งอาจเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าหรือเครื่องยนต์และตัวคอมเพรสเซอร์ถูกแยกเป็นอิสระต่อกันกำลังขับจะถูกส่งผ่านสายพานหรือต่อกับเพลาโดยตรงแต่เนื่องจากต้องมีอุปกรณ์ป้องกันการรั่วที่เพลาซึ่งเป็นข้อเสียที่หลังจากใช้งานไปแล้วอาจเกิดการรั่วของน้ำยาหรือน้ำมันหล่อลื่นได้รวมทั้งขณะทำงานอาจมีเสียงดัง และเปลืองเนื้อที่ในการติดตั้งมาก แต่มีข้อดีคือ เมื่อมีปัญหาสามารถแยกเฉพาะส่วนของตัวขับ หรือคอมเพรสเซอร์ที่เสียมาซ่อมได้

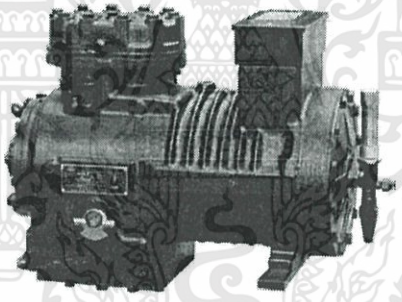
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 คอมเพรสเซอร์แบบเปิด

2.3.1.2 คอมเพรสเซอร์แบบกึ่งปิด

คอมเพรสเซอร์แบบกึ่งปิด(Semi- Hermetic Compressor)คือแบบที่ตัวคอมเพรสเซอร์และตัวขับจะถูกประกอบอยู่ในโครงสร้างเดียวกัน โดยใช้สลักเกลียวเป็นตัวยึด เมื่อเกิดการเสียหายสามารถถอดออกมาตรวจซ่อมได้โดยโครงสร้างไม่เสียหายและเนื่องจากไม่มีการต่อแกนเพลาออกมาภายนอกจึงไม่ต้องมีอุปกรณ์ป้องกันการรั่วที่เพลา

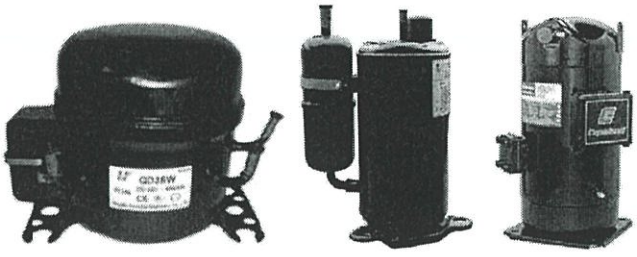


รูปที่ 2.4 คอมเพรสเซอร์แบบกึ่งปิด

2.3.1.3 คอมเพรสเซอร์แบบหุ้มปิด

คอมเพรสเซอร์แบบหุ้มปิด (Hermetic Compressor) คือแบบที่ตัวคอมเพรสเซอร์และตัวขับจะถูกประกอบอยู่ในโครงสร้างเดียวกัน และถูกเชื่อมปิดสนิท ซึ่งมีข้อดีคือการป้องกันการรั่วได้ดี มีขนาดเล็ก ทำงานได้เงียบ มีการสั่นสะเทือนน้อย จึงนิยมใช้กับเครื่องทำความเย็นที่บ้าน แต่มีข้อเสียคือไม่สามารถแยกตัวขับและคอมเพรสเซอร์ส่วนที่เสียออกมาซ่อมได้

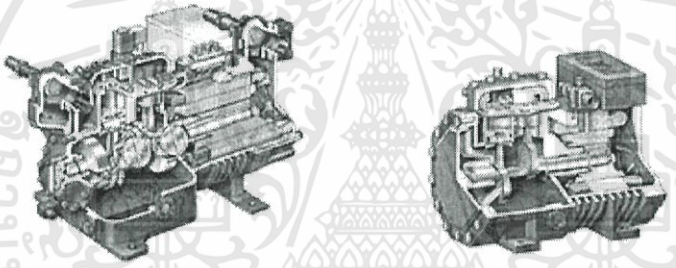
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 คอมเพรสเซอร์แบบหุ้มปิด

2.3.1.4 คอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบ

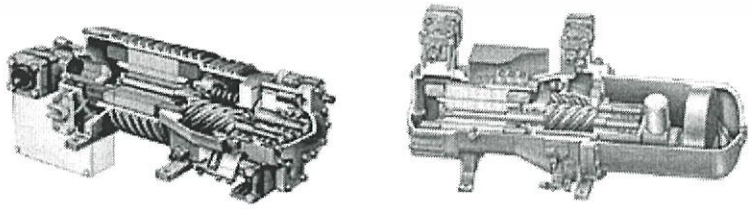
คอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบ (Reciprocating Type) อาศัยการทำงานของเพลาข้อเหวี่ยง (Crank Shaft) ขับลูกสูบให้เกิดการดูดอัด มีใช้กับเครื่องทำความเย็นขนาดเล็กต่ำกว่า 1 แรงม้า จนถึงมีขนาดใหญ่มากกว่า 100 แรงม้า เป็นแบบที่นิยมใช้มากที่สุดในปัจจุบัน



รูปที่ 2.6 คอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบ

2.3.1.5 คอมเพรสเซอร์แบบสกรู

คอมเพรสเซอร์แบบสกรู (Screw Type) ทำงานโดยอาศัยสกรู 2 ตัว คือสกรูตัวเมีย และสกรูตัวผู้ โดยสกรูตัวเมียจะอาศัยช่องเกลียวเป็นช่องเก็บน้ำยา ส่วนสกรูตัวผู้จะใช้สันเกลียวรีดน้ำยาออกตามแกนของสกรูทั้งสอง และเนื่องจากต้องใช้น้ำมันหล่อลื่นทำหน้าที่ป้องกันการรั่วระหว่างช่องว่างของเกลียวทั้งสองขณะทำงานจึงมีน้ำมันหล่อลื่นไหลไปกับน้ำยาจำนวนมากที่ทางออกของคอมเพรสเซอร์แบบสกรูจึงต้องติดอุปกรณ์แยกน้ำมัน

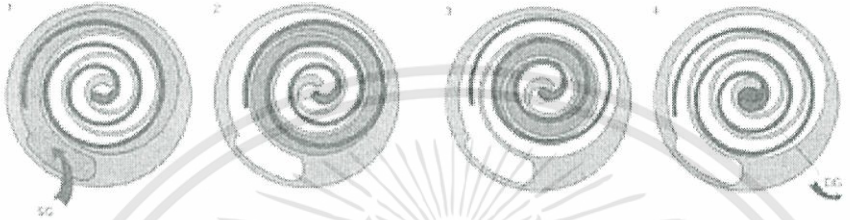


รูปที่ 2.7 คอมเพรสเซอร์แบบสกรู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.6 คอมเพรสเซอร์แบบก้นหอยหรือแบบสโครล์

คอมเพรสเซอร์แบบก้นหอยหรือแบบสโครล์ (Scroll Type) การทำงานจะประกอบไปด้วยชิ้นส่วนสำคัญ2 ส่วน คือส่วนที่มีลักษณะเป็นก้นหอยอยู่กับที่และส่วนที่เคลื่อนที่ ซึ่งจะเคลื่อนที่ในลักษณะเยื้องศูนย์ โดยไม่มีการเคลื่อนที่ในลักษณะหมุนรอบแกน โดยความดันจะเพิ่มจากภายนอกและถูกอัดมากสุดเมื่ออยู่ที่แกนกลาง ลักษณะคลื่นไหวเทียบได้กับพายุทอร์นาโด ปัจจุบันนำมาใช้กับระบบปรับอากาศที่ใช้ในที่พักอาศัย ในสำนักงาน รวมทั้งระบบปรับอากาศในรถยนต์ เนื่องจากการทำงานมีการเคลื่อนไหวน้อย ไม่ต้องใช้ลิ้นทางดูด ทางส่ง จึงทำงานได้เรียบและเงียบกว่า



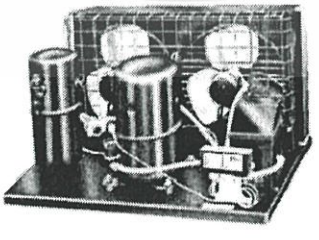
รูปที่ 2.8 คอมเพรสเซอร์แบบก้นหอยหรือแบบสโครล์

2.3.2 คอนเดนเซอร์

คอนเดนเซอร์ (Condenser) เป็นอุปกรณ์ที่ทำให้สารทำความเย็นกลั่นตัวเปลี่ยนสถานะจากไอกลายเป็นของเหลว โดยรับสารทำความเย็นสถานะไอที่มีความดันและอุณหภูมิสูงจากคอมเพรสเซอร์เข้ามาแล้วระบายความร้อนกลั่นตัวเป็นของเหลว แบ่งตามลักษณะการระบายความร้อนได้ดังนี้ คอนเดนเซอร์ระบายความร้อนด้วยอากาศ คอนเดนเซอร์ระบายความร้อนด้วยน้ำ และคอนเดนเซอร์ระบายความร้อนด้วยน้ำและอากาศ

2.3.2.1 คอนเดนเซอร์ระบายความร้อนด้วยอากาศ

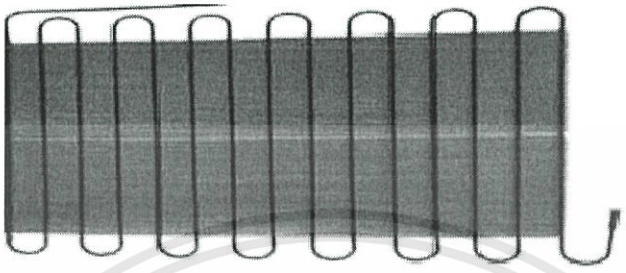
- แบบใช้พัดลม (Fan condenser) ลักษณะคอนเดนเซอร์เป็นท่อทองแดงขดไปมาสอดอัดแน่นอยู่ในแผ่นครีบโลหะบาง ๆ และระบายความร้อนด้วยมอเตอร์พัดลมอยู่ในที่เดียวกันซึ่งเรียกว่า คอนเดนซิ่งยูนิต ส่วนใหญ่ใช้กับเครื่องทำความเย็นอุตสาหกรรม เครื่องปรับอากาศและห้องเย็น ซึ่งจะระบายความร้อนได้ดีพอสมควรและง่ายต่อการบำรุงรักษา



รูปที่ 2.9 คอนเดนเซอร์ระบายความร้อนด้วยอากาศ แบบใช้พัดลม

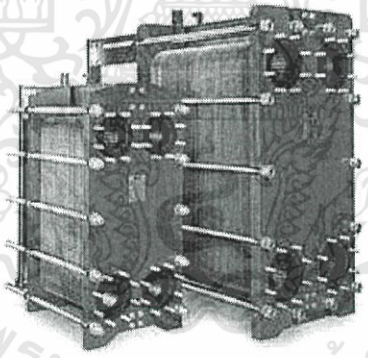
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แบบแผงร้อน (Static condenser) ลักษณะคอนเดนเซอร์ทำด้วยขดท่อโลหะดัดโค้งขนานไปมาและมีลวดเหล็กเชื่อมพาดขดท่อโลหะ ส่วนใหญ่จะใช้กับตู้เย็น ตู้แช่ ตู้ทำน้ำเย็น การติดตั้งแผงร้อนจะติดตั้งบริเวณที่ระบายความร้อนได้ดี เช่นด้านหลังของตู้เย็น ด้านบนของตู้แช่



รูปที่ 2.10 คอนเดนเซอร์ระบายความร้อนด้วยอากาศ แบบแผงร้อน

- แบบแผ่นโลหะ (Plate condenser) ลักษณะคอนเดนเซอร์ทำด้วยขดท่อทองแดงหรือท่อเหล็กดัดโค้งให้ขนานไปมาและมีแผ่นโลหะวางทาบเชื่อมติดกับขดท่อทองแดงหรือเหล็ก การสร้างและการบำรุงรักษาจึงง่ายกว่า2แบบแรก ข้อเสียคือขนาดคอนเดนเซอร์ใหญ่ ขณะที่อีวาโปเรเตอร์ที่ให้ความเย็นน้อยทำให้เปลืองเนื้อและที่มีน้ำหนักมาก



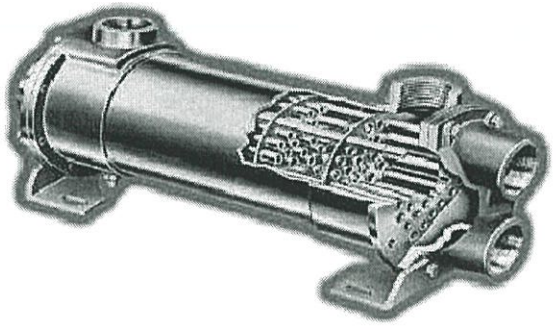
รูปที่ 2.11 คอนเดนเซอร์ระบายความร้อนด้วยอากาศ แบบแผ่นโลหะ

2.3.2.2 คอนเดนเซอร์การระบายความร้อนด้วยน้ำ

ส่วนใหญ่ใช้กับเครื่องเย็นทางการค้า เช่น ห้องเย็น เครื่องปรับอากาศขนาดใหญ่โดยทั่วไปแบ่งเป็น 2 แบบ คือ

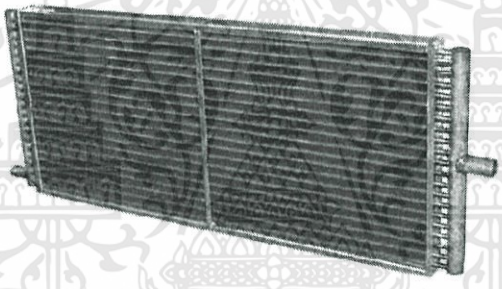
- แบบท่อบรรจุในถังโลหะโลหะ (Shell and tube) ลักษณะจะเป็นแบบขดท่อทองแดงขนานไปมาบรรจุอยู่ภายในถังโลหะและมีท่อน้ำเย็นผ่านเข้าไปสำหรับระบายความร้อนเพื่อให้สารทำความเย็นกลั่นตัวเป็นของเหลว ตัวถังโลหะเป็นรูปทรงกระบอก ทำด้วยเหล็กเหนียว มีฝาปิดหัวท้ายทำให้สามารถบำรุงรักษาได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 คอนเดนเซอร์การระบายความร้อนด้วยน้ำ แบบท่อบรรจุในถังโลหะโลหะ

- แบบท่อสอดอยู่ในท่อ (Tube within a tube) ลักษณะจะเป็นแบบท่อน้ำเย็นท่อเล็กสอดอยู่ในท่อสารทำความเย็นท่อใหญ่ซึ่งเป็นท่อที่รับมาจากคอมเพรสเซอร์ โดยมีท่อน้ำเย็นจะเป็นตัวระบายความร้อนให้สารทำความเย็นกลั่นตัวเป็นของเหลว การออกแบบจะให้สารทำความเย็นวิ่งสวนทางกับน้ำที่ใช้ในระบบ ซึ่งเรียกว่า แบบไหลสวนทาง

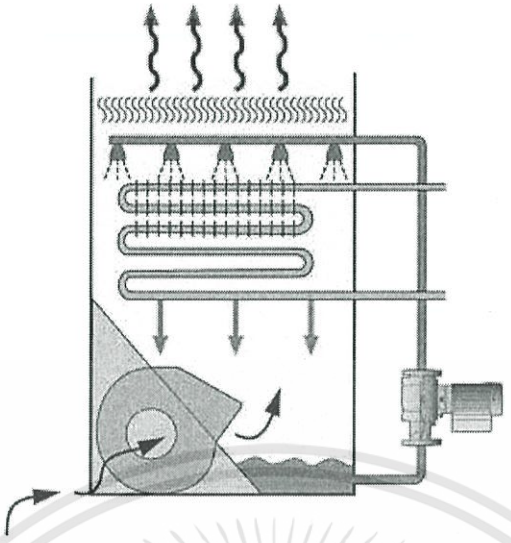


รูปที่ 2.13 คอนเดนเซอร์การระบายความร้อนด้วยน้ำ แบบท่อสอดอยู่ในท่อ

2.3.2.3 คอนเดนเซอร์การระบายด้วยน้ำและอากาศ

คอนเดนเซอร์แบบนี้ใช้วิธีการระบายความร้อนแบบผสม คือคอนเดนเซอร์ระบายความร้อนด้วยการใช้ปั๊มดูดน้ำจากถังที่อยู่ส่วนล่างผ่านขึ้นไปบนสเปรย์หัวฉีดและฉีดน้ำลงมาเป็นฝอยๆผ่านคอนเดนเซอร์ทำให้น้ำที่ตกลงมามีอุณหภูมิสูงขึ้นเล็กน้อยบางส่วนอาจระเหยได้เล็กน้อย และระบายความร้อนด้วยอากาศซึ่งถูกดูดจากส่วนล่างออกทางด้านบนของคอนเดนเซอร์ซึ่งอากาศที่ผ่านการระบายความร้อนแล้วก็จะมีอุณหภูมิสูงขึ้นเล็กน้อยด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 คอนเดนเซอร์การระบายด้วยน้ำและอากาศ

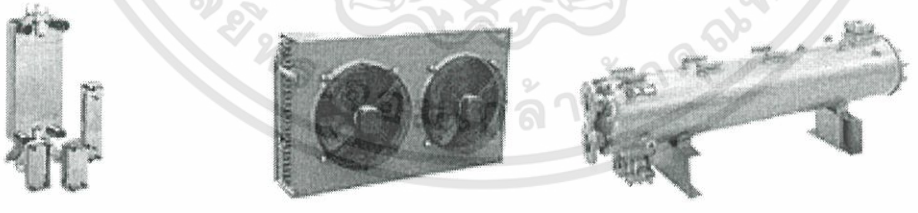
การจำแนกตามลักษณะโครงสร้าง แบ่งคอนเดนเซอร์ออกเป็น 2 ชนิดคือ

2.3.2.4 คอนเดนเซอร์ชนิดท่อและครีบ

เป็นคอนเดนเซอร์ชนิดใช้อากาศระบายความร้อนทำจากท่อทองแดงรูปตัวยู มีแผ่นอะลูมิเนียมบางอัดเป็นครีบช่วยเพิ่มพื้นที่ในการระบายความร้อน

2.3.2.5 คอนเดนเซอร์ชนิดเปลือกและท่อ

เป็นคอนเดนเซอร์ชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ ประกอบด้วยเปลือกนอกและท่อเล็กสอดอยู่ภายใน



รูปที่ 2.15 คอนเดนเซอร์ชนิดเปลือกและท่อ

2.3.3 อีวาโปเรเตอร์

อีวาโปเรเตอร์ (Evaporator) หรือเครื่องระเหยเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญของระบบทำความเย็น ทำหน้าที่ดูดรับปริมาณความร้อนจากในบริเวณที่ต้องการ โดยจะอาศัยการทำความเย็นเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นไอที่อุณหภูมิและความดันต่ำ โดยดูดรับปริมาณความร้อนโดนรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอาไว้ ทำให้บริเวณที่ต้องการทำความเย็นนั้นมีอุณหภูมิลดลง การสร้างอีวาโปเรเตอร์โดยทั่วไปใช้โลหะ เช่น ทองแดง หรือ อะลูมิเนียม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของงานที่ใช้ สถานที่ที่ติดตั้ง และสิ่งของที่จะนำมาเป็นโหลด การแบ่งชนิดของอีวาโปเรเตอร์ แบ่งตามโครงสร้าง อาจแบ่งได้เป็นย่อยๆ ได้ดังนี้

2.3.3.1 อีวาโปเรเตอร์แบบท่อเปลือย

อีวาโปเรเตอร์แบบท่อเปลือย (Evaporator tube) มีท่อกลมกลวงทำด้วยโลหะ อาจเป็นเหล็ก ทองแดง หรืออะลูมิเนียม เหมาะสำหรับใช้กับห้องเย็น ถังน้ำเย็น บางแบบอาจจะมีโลหะพาดระหว่างท่อ บางแบบอาจไม่มี

รูปที่ 2.16 อีวาโปเรเตอร์แบบท่อเปลือย

2.3.3.2 อีวาโปเรเตอร์แบบแผ่น

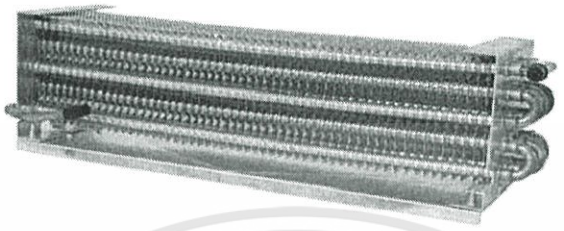
อีวาโปเรเตอร์แบบแผ่น (Evaporator Plate) ทำด้วยอะลูมิเนียมอัดอยู่เป็นแผงเหมาะสำหรับแผงตู้เย็นสามารถที่จะใส่ของที่แช่เย็นได้ บางครั้งเรียกว่าฟรีสเซอร์ ใช้กันอย่างกว้างขวางในตู้เย็นภายในบ้าน เพราะทำความสะอาดง่าย

รูปที่ 2.17 อีวาโปเรเตอร์แบบแผ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3.3 อีวาโปเรเตอร์แบบครีบ

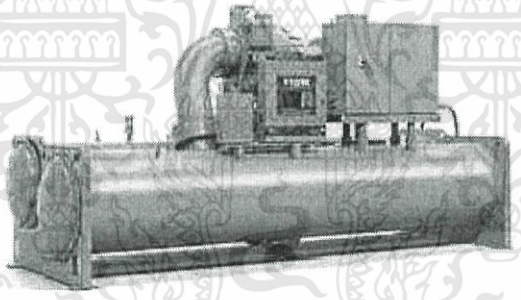
อีวาโปเรเตอร์แบบครีบ(Evaporator Fined tube)มีลักษณะท่อทองแดงหรืออะลูมิเนียมขดขนานไปมาและมีครีบโลหะหรืออะลูมิเนียมพาดยึดติดกับท่อและมีกล่องทำด้วยเหล็กหุ้มด้านข้าง ด้านล่างและด้านบนเพื่อยึดโครง ลักษณะแบบนี้เหมาะสำหรับเครื่องปรับอากาศ



รูปที่ 2.18 อีวาโปเรเตอร์แบบครีบ

2.3.3.4 อีวาโปเรเตอร์แบบชิลเลอร์

อีวาโปเรเตอร์แบบชิลเลอร์ (Evaporator Chiller)ถูกออกแบบสร้างใช้กับเครื่องปรับอากาศที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งใช้คู่กับระบบเครื่องเย็นแบบชีลเลอร์ จะมีท่อน้ำต่อผ่านเข้าไปและน้ำจะวิ่งอยู่ภายในตัวอีวาโปเรเตอร์ เพื่อนำความเย็นออกไปยังห้องทำความเย็น



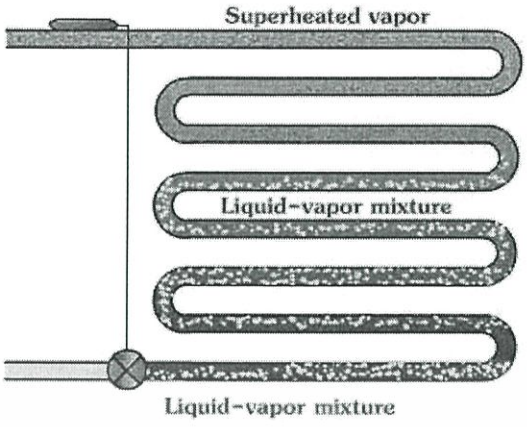
รูปที่ 2.19 อีวาโปเรเตอร์แบบชิลเลอร์

การแบ่งอีวาโปเรเตอร์จะแบ่งตามลักษณะการทำงานมีดังนี้

2.3.3.5 อีวาโปเรเตอร์ชนิดแห้ง

อีวาโปเรเตอร์ชนิดแห้ง (Dry type or Direct shell) หรือแบบกึ่งท่วม เป็นชนิดที่สารทำความเย็นที่ฉีดเข้ามาในท่ออีวาโปเรเตอร์แล้วจะระเหยกลายเป็นไอจนหมดและจะไหลออกไปทางท่อทางดูด สารทำความเย็นที่เป็นของเหลวจะผ่านได้โดยตรง ไม่มีการแยกของเหลวกับไอ นิยมใช้กับเครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศทั่วไป ข้อดีคือออกแบบง่าย ราคาถูก ใช้สารทำความเย็นน้อย

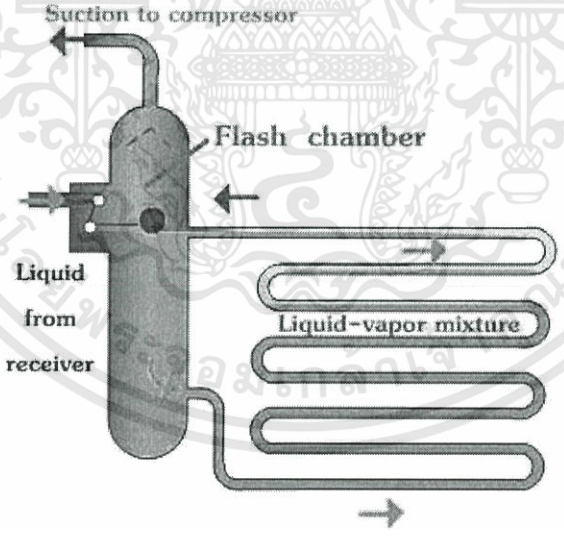
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 อีวาโปเรเตอร์ชนิดแห้ง

2.3.3.6 อีวาโปเรเตอร์ชนิดเปียก

อีวาโปเรเตอร์ชนิดเปียก(Flooded Evaporator) หรือแบบท่วมหมดเป็นชนิดที่สารทำความเย็นที่ฉีดเข้ามาในท่ออีวาโปเรเตอร์แล้วจะระเหยกลายเป็นไอไม่หมดจะมีสถานะเป็นของเหลวอยู่ส่วนหนึ่ง เพื่อให้พื้นผิวของอีวาโปเรเตอร์เปียกเป็นการช่วยระบายความร้อนได้ดีขึ้น โดยมีแอคคิวมูเลเตอร์เป็นตัวดักของเหลวให้ระเหยกลายเป็นไอก่อนที่จะออกไปยังท่อทางดูด และคอมเพรสเซอร์ต่อไป



รูปที่ 2.21 อีวาโปเรเตอร์ชนิดเปียก

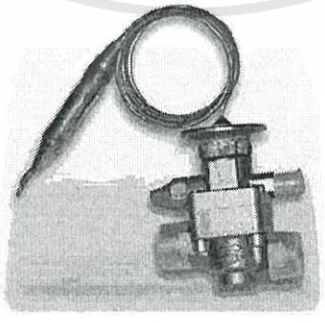
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 วาล์วควบคุมการไหล

วาล์วควบคุมการไหล (Expansion Valve) ทำหน้าที่ในการลดความดันของสารทำความเย็นเพื่อให้สารทำความเย็นมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิของพื้นที่ที่ต้องการทำความเย็นซึ่งเป็นผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากพื้นที่ที่ต้องการทำความเย็นสู่สารทำความเย็นได้ และยังทำหน้าที่ในการควบคุมการไหลของสารทำความเย็นทำให้อุปกรณ์ประเภทนี้มี 2 หน้าที่คือ ควบคุมสารทำความเย็นเหลวให้ไหลเข้าสู่อีวาโปเรเตอร์อย่างเหมาะสมและปรับลดความดันและคงสภาพความดันให้ได้ตามที่กำหนดในอีวาโปเรเตอร์ อุปกรณ์ที่สามารถทำงานในลักษณะดังกล่าวที่นิยมใช้งานในกลไกการควบคุมความเย็นมีด้วยกัน ดังนี้

2.3.4.1 ท่อรูเล็กหรือท่อแคพิเลอรี

ท่อแคพิเลอรี(CAP)ใช้งานกับตู้เย็น ตู้แช่ ตามบ้านและเครื่องทำความเย็นเชิงพาณิชย์ขนาดเล็กลักษณะของท่อแคพิเลอรีมีรูปร่างเป็นท่อรูเล็กที่มีขนาดยาวเพื่อทำหน้าที่ในการลดความดันด้วยการลดอัตราการไหลของสารทำความเย็นตลอดความยาวของท่อ สำหรับขนาดของท่อมีด้วยกันหลายขนาดทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของสารทำความเย็น ขนาดเครื่องทำความเย็น และความยาวของท่อเอง ลักษณะการไหลของสารทำความเย็นในท่อแคพิเลอรี เริ่มจากสารทำความเย็นเหลวความดันสูงจากท่อส่งสารทำความเย็นเหลวที่ผ่านตัวกรองและตัวลดความชื้นในท่อส่งสารทำความเย็นเหลวไหลเข้าท่อและเนื่องจากรูท่อมีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับขนาดท่อส่งสารทำความเย็นเหลว ทำให้ความดันของสารทำความเย็นเหลวลดลง โดยในช่วงแรกๆ ประมาณสองในสามของความยาวท่อแคพิเลอรีสารทำความเย็นยังมีสภาวะเป็นของเหลวอยู่ จะเริ่มกลายเป็นไอเมื่อผ่านระยะนี้ไปแล้ว และเมื่อถึงปลายท่อ สารทำความเย็นจะมีส่วนผสมของไอในสารทำความเย็นเหลวประมาณ 10% ถึง 20% ซึ่งจากผลของการกลายเป็นไอทำให้ปริมาตรของสารทำความเย็นเพิ่มขึ้น และในขณะที่เครื่องอัดยังคงทำงานอยู่สารทำความเย็นที่เริ่มเข้าสู่อีวาโปเรเตอร์ จะกลายเป็นไอเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งกลายเป็นไออิ่มตัวโดยสมบูรณ์เมื่อผ่านอีวาโปเรเตอร์ การควบคุมการไหลด้วยท่อแคพิเลอรีจะไม่ใช้งานร่วมกับวาล์วกันการไหลย้อนกลับหรือวาล์วควบคุมทิศทาง ดังนั้นระหว่างที่วัฏจักรหยุดการทำงานจะเกิดการปรับสมดุลระหว่างด้านความดันสูงและด้านความดันต่ำให้มีความดันเท่ากัน ซึ่งในสภาวะที่ด้านความดันสูงและด้านความดันต่ำมีความดันเท่ากันนี้ทำให้คอมเพรสเซอร์เริ่มต้นทำงานใหม่ง่ายขึ้นเนื่องจากไม่มีความดันมาต้านการทำงานขณะเริ่มทำงานซึ่งเป็นสภาวะที่ระบบมีความเสียดทานสูงอยู่แล้ว

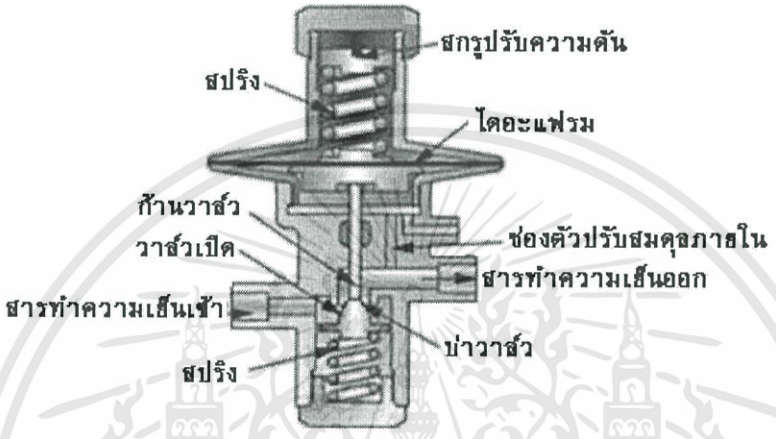


รูปที่ 2.22 ท่อแคพิเลอรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4.2 วาล์วขยายตัวอัตโนมัติ

วาล์วขยายตัวอัตโนมัติ (AEV) เป็นอุปกรณ์ควบคุมการไหลของสารทำความเย็นในระบบการทำความเย็นแบบแห้ง สำหรับรูปหน้าตัดของวาล์ว โดยตัววาล์วออกแบบเพื่อควบคุมการไหลของสารทำความเย็นเหลวที่เข้าสู่อีวาโปเรเตอร์รวมทั้งเพื่อคงความดันในอีวาโปเรเตอร์ให้ต่ำในขณะที่คอมเพรสเซอร์กำลังทำงานวาล์วขยายตัวอัตโนมัติอาจใช้ได้เฉพาะกับการควบคุมการทำงานของมอเตอร์ที่ใช้อุณหภูมิเป็นดัชนีควบคุม

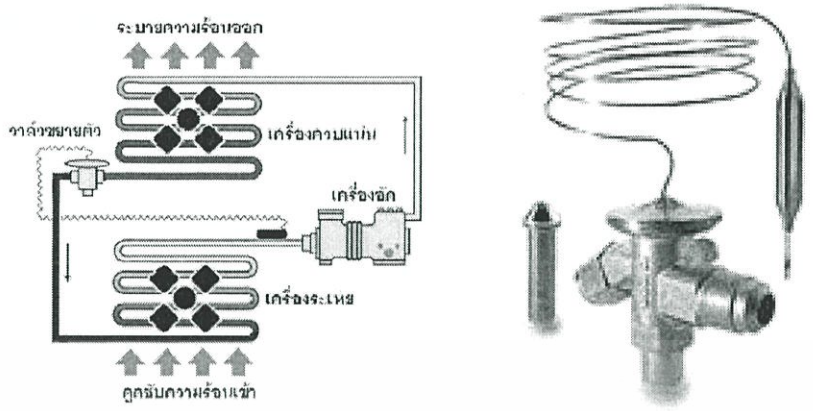


รูปที่ 2.23 รูปหน้าตัดของวาล์วขยายตัวอัตโนมัติ

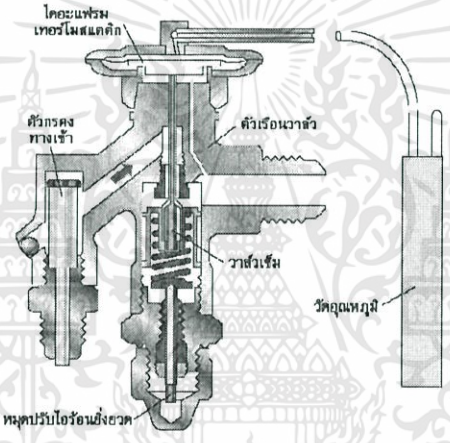
2.3.4.3 วาล์วขยายตัวเทอร์โมสแตติก

วาล์วขยายตัวเทอร์โมสแตติก (TEV) เป็นวาล์วขยายตัวที่อาศัยการควบคุมอุณหภูมิที่ทางออกของอีวาโปเรเตอร์ ด้วยการติดตั้งกระเปาะตรวจจับอุณหภูมิบริเวณท่อทางออกของอีวาโปเรเตอร์แล้วส่งสัญญาณผลของการวัดไปตามท่อรูเล็กที่เป็นท่อนำสู่ตัววาล์วดังแสดงในรูปที่2.24 สำหรับลักษณะของวาล์วดังแสดงในรูปที่5.27 ซึ่งเป็นชนิดควบคุมการปิด–เปิดวาล์วด้วยแผ่นไดอะแฟรมตามสัญญาณที่ได้รับจากการตรวจจับอุณหภูมิบริเวณท่อทางออกของอีวาโปเรเตอร์ในลักษณะที่ถ้าอุณหภูมิกระเปาะตรวจจับเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความดันด้านบนแผ่นไดอะแฟรมเพิ่มขึ้นและดันก้านวาล์วให้วาล์วเปิด ทำให้สารทำความเย็นเหลวไหลเข้าสู่อีวาโปเรเตอร์ ซึ่งเป็นผลให้อุณหภูมิกระเปาะตรวจจับลดต่ำลง ทำให้ความดันด้านบนแผ่นไดอะแฟรมค่อยๆ ลดลง ส่งผลให้สปริงดันก้านวาล์วให้วาล์วค่อยๆ ปิดลง ทำให้สารทำความเย็นเหลวมีอัตราการไหลลดลงและหยุดไหลเมื่อวาล์วปิดสนิทจนกว่าอุณหภูมิกระเปาะตรวจจับจะเพิ่มขึ้นอีกครั้ง ในระหว่างที่เครื่องอัดหยุดเดินเครื่องจะไม่มีการไหลเกิดขึ้นในระบบ นอกเหนือจากการควบคุมการปิด–เปิดวาล์วที่ช่วยให้สารทำความเย็นเหลวเข้าสู่อีวาโปเรเตอร์อย่างรวดเร็วและการทำความเย็นเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.24 วาล์วขยายตัวเทอร์โมสแตติก

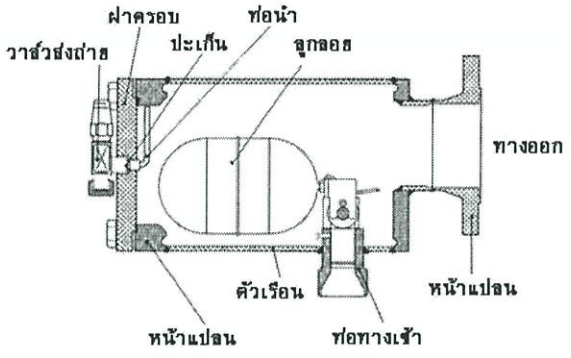


รูปที่ 2.25 หน้าตัดวาล์วขยายตัวเทอร์โมสแตติก

2.3.4.4 วาล์วลูกลอยด้านความดันต่ำ

วาล์วลูกลอยด้านความดันต่ำ (LSF) ซึ่งระดับของสารทำความเย็นถูกควบคุมด้วยวาล์วลูกลอยลักษณะการทำงานเริ่มจากในขณะที่สารทำความเย็นระเหยส่งผลให้ระดับสารทำความเย็นเหลวลดลงทำให้วาล์วที่ต่ออยู่กับก้านลูกลอยเปิดและระบบเกิดการเสียสมดุลซึ่งจะส่งสัญญาณผ่านทางวาล์วส่งถ่ายทำให้สารทำความเย็นเหลวจากด้านความดันสูงไหลเข้าสู่อีวาโปเรเตอร์ทดแทนปริมาณสารทำความเย็นที่ระเหยไป ส่งผลให้ระดับสารทำความเย็นเหลวเพิ่มขึ้น

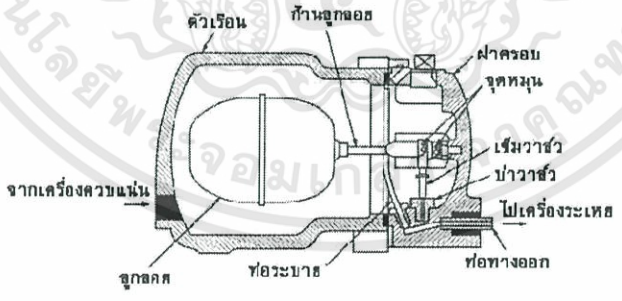
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.26 รูปหน้าตัดแสดงส่วนประกอบวาล์วลูกลอยด้านความดันต่ำ

2.3.4.5 วาล์วลูกลอยด้านความดันสูง

วาล์วลูกลอยด้านความดันสูง (HSF) ทำหน้าที่ในการวัดระดับสารทำความเย็นเหลวในห้องลูกลอยให้คงที่การติดตั้งวาล์วลูกลอยด้านความดันสูงติดตั้งเชื่อมต่อกับคอนเดนเซอร์ด้านความดันสูง ลักษณะการทำงานเมื่อภาระการทำความเย็นสูงขึ้น ปริมาณสารทำความเย็นที่ระเหยและที่ควบแน่นเพิ่มขึ้นตามไปด้วยเป็นผลให้ระดับสารทำความเย็นเหลวในห้องลูกลอยสูงขึ้นและทำให้ลูกลอยลอยสูงขึ้นถึงระดับที่สามารถเปิดวาล์วเข็มได้ ทำให้สารทำความเย็นเหลวไหลเข้าสู่ด้านความดันต่ำหรือ อีวาโปเรเตอร์เมื่อสารทำความเย็นไหลออกทำให้ลูกลอยลดระดับลง และเมื่อถึงระดับที่กำหนดวาล์วจะปิดซึ่งจะทำให้ต้องตรวจสอบปริมาณสารทำความเย็นในระบบอย่างระมัดระวังให้อีวาโปเรเตอร์ได้รับปริมาณสารทำความเย็นอย่างถูกต้อง เนื่องจากหากสารทำความเย็นมีมากเกินไปจะท่วมอีวาโปเรเตอร์และเป็นสาเหตุให้เกิดน้ำแข็งเกาะในท่อทางดูดและเนื่องจากวาล์วลูกลอยด้านความดันสูงมีการจำกัดปริมาณสารทำความเย็นให้คงที่บนด้านความดันสูงเท่านั้นทำให้ต้องเก็บสะสมสารทำความเย็นไว้ทางด้านความดันต่ำจึงทำให้เหมาะสมในการใช้งานกับอีวาโปเรเตอร์แบบเปียก



รูปที่ 2.27 รูปหน้าตัดแสดงส่วนประกอบวาล์วลูกลอยด้านความดันสูง

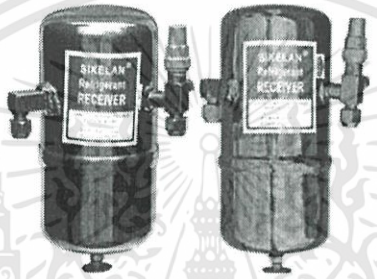
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5 อุปกรณ์เสริม

นอกจากอุปกรณ์ดังกล่าวแล้วยังมีอุปกรณ์ที่สำคัญที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำความเย็นดังนี้

2.3.5.1 รีซีฟเวอร์

รีซีฟเวอร์ (Receiver Tank) ทำหน้าที่พักสารทำความเย็นเหลวที่ควบแน่นจากคอนเดนเซอร์และส่งไปยังตัวควบคุมสารทำความเย็นและอีวาโปเรเตอร์ต่อไป รวมทั้งใช้เพื่อสำรองสารทำความเย็นไม่ให้มีปริมาณน้อยกว่าระดับวิกฤตของระบบ นอกจากนี้ส่วนใหญ่ถังพักสารทำความเย็นเหลวมักติดตั้งวาล์วบริการไว้ด้วย ควรติดตั้งตำแหน่งทางออกของคอนเดนเซอร์เพื่อให้ระบบในการทำงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น



รูปที่ 2.28 รีซีฟเวอร์

2.3.5.2 แอคคิวมูเลเตอร์

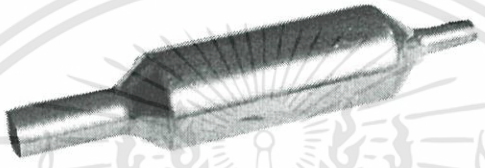
แอคคิวมูเลเตอร์(Accumulator)เป็นตัวกรองและตัวลดความชื้นด้านความดันต่ำซึ่งบางระบบมีติดตั้งในคอมเพรสเซอร์ที่ต่อกับท่อทางดูด แต่ในบางระบบอาจติดตั้งแยกออกมา ลักษณะของตัวกรองและตัวลดความชื้นควรมีลักษณะที่ต้านทานต่อการไหลของไอสารทำความเย็นต่ำมีค่าความดันลดคร่อมต่ำ

รูปที่ 2.29 แอคคิวมูเลเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5.3 ฟิลเตอร์ไดรเออร์

การติดตั้งฟิลเตอร์ไดรเออร์ (Filter Drier) เพื่อป้องกันไม่ให้สิ่งสกปรกต่างๆ และความชื้นเข้าสู่อุปกรณ์ควบคุมการไหลของสารทำความเย็นหรือให้มีน้อยที่สุดเนื่องจากทำให้อุปกรณ์ควบคุมการไหลทำงานได้ไม่ดีโดยเฉพาะความชื้นอาจแข็งตัวอยู่ภายในได้นอกจากนี้ความชื้นเมื่อรวมตัวเข้ากับน้ำมันหล่อลื่นและก่อตัวเป็นตระกรันและกรดสามารถทำความเสียหายกับอุปกรณ์อื่นๆในระบบได้โดยเฉพาะชุดคอมเพรสเซอร์และมอเตอร์สำหรับลักษณะของตัวกรองและตัวลดความชื้นมักมีช่องกระจกเพื่อใช้ดูระดับสารทำความเย็นด้วย แต่จะมีในตัวกรองและตัวลดความชื้นบางแบบไม่มีในทุกแบบ ช่องกระจกของตัวกรองและตัวลดความชื้นบางแบบอาจสามารถเปลี่ยนสีหากมีความชื้นอยู่ภายในมากเกินกำหนดได้ด้วย



รูปที่ 2.30 ฟิลเตอร์ไดรเออร์

2.3.5.4 วาล์วบริการ

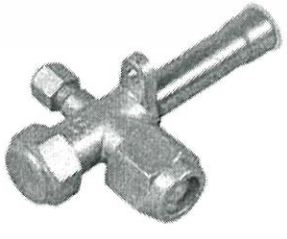
ในระบบส่วนใหญ่จะมีวาล์วบริการ (Service valve) เพื่อใช้ในการเชื่อมต่อมาตรวัดกับระบบในการตรวจสอบความดัน และการเพิ่มหรือถ่ายสารทำความเย็นเข้า–ออกระบบ

1) วาล์วบริการด้านทางดูดของคอมเพรสเซอร์

วาล์วชนิดนี้ถือเป็นวาล์วที่ใช้ในการเชื่อมต่อกับเครื่องอัด ณ ข้อต่อ (Union) ด้านทางเข้าของคอมเพรสเซอร์ปกติหากยังไม่ได้ใช้งานจะมีฝาครอบขันปิดช่องและก้านวาล์วไว้ ในปัจจุบันระบบการทำความเย็นรุ่นใหม่ๆ ไม่ค่อยมีการติดตั้งวาล์วบริการ ให้ใช้วาล์วแซดเดิล (Saddle valve) แทน

2) วาล์วบริการด้านทางส่งของคอมเพรสเซอร์

วาล์วชนิดนี้เป็นวาล์วที่ใช้สำหรับปิดกั้นระหว่างคอมเพรสเซอร์กับคอนเดนเซอร์เมื่อต้องการซ่อมบำรุงระบบ เนื่องจากหากปิดวาล์วสามารถถอดคอมเพรสเซอร์ออกมาได้โดยที่สารทำความเย็นไม่รั่วไหลออกมา นอกจากนี้ยังเป็นวาล์วสำหรับต่อกับมาตรวัดความดันสูงได้อีกด้วย



รูปที่ 2.31 วาล์วบริการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.6 สารทำความเย็น

สารทำความเย็น(Refrigerants) คือสารที่ใช้เป็นตัวกลางในการทำความเย็นด้วยการดูดซับความร้อนจากวัตถุหรือสารอื่นๆ สำหรับในระบบการทำความเย็นแบบอัดไอที่ทำการทดลองนี้ สารทำความเย็นหมายถึงของไหลทำงานของวัฏจักรในฐานะเป็นตัวกลางในการดูดซับความร้อนด้วยกระบวนการกลายเป็นไอที่ความดันต่ำและอุณหภูมิต่ำ และคายความร้อนทิ้งด้วยกระบวนการควบแน่นที่ความดันสูงและอุณหภูมิสูง ตามลำดับสลับกันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของสารทำความเย็นและสภาวะการใช้งาน

2.3.6.1 การเลือกใช้สารทำความเย็น

R-12 Dichloridefluoromethane (CC12 F2)

ไดคลอโรไดฟลูออโรมีเธน มีคุณสมบัติ ไม่มีสี และไม่มีกลิ่นที่ความเข้มข้นต่ำกว่า 20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ในความเข้มข้นที่มากขึ้น จะมีกลิ่นคล้ายกับคาร์บอนเตตระคลอไรด์ นอกจากยังไม่เป็นพิษไม่กัดกร่อน ไม่ติดไฟ และมีจุดเดือดที่ –21.7 °F (-29 °C) ที่ความดันบรรยากาศ รหัสสีของ R-12 คือ สีขาว

R-22 Monochlorodifluoromethane (CHClF2)

โมโนคลอโรไดฟลูออโรมีเธน คือ สารทำความเย็นสังเคราะห์ที่ถูกพัฒนาขึ้นสำหรับระบบทำความเย็นที่ต้องการอุณหภูมิอีวาโปเรเตอร์ต่ำๆ โดยสามารถใช้กับตู้เย็นภายในครัวเรือนและระบบปรับอากาศ R-22 มีคุณสมบัติไม่เป็นพิษ ไม่กัดกร่อน ไม่ติดไฟ และมีจุดเดือดเท่ากับ –41°F ที่ความดันบรรยากาศR-22 สามารถใช้ได้กับคอมเพรสเซอร์ชนิด โรตารี่ ลูกสูบ ก้นหอย หรือชนิดหอยโข่ง โดยR-22 นั้นมักจะมีน้ำหรือความชื้นผสมอยู่ด้วยจำนวนหนึ่งดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ฟิลเตอร์ไดรเออร์ ในระบบเพื่อขจัดน้ำออกจากสารทำ ความเย็นรหัสสีของ R-22 คือสีเขียว

R-502 Refrigerant (CHClF2/CClF2CF3)

R-502 คือ สารผสมระหว่าง R-22 และ R-115 ในสัดส่วน 48.8 : 51.2 สารทำความเย็นชนิดนี้เป็นสารทำความเย็นผสมซึ่งมีจุดเดือดที่คงที่สูงสุดและจุดเดือดที่คงที่ต่ำสุด แต่จะแสดงพฤติกรรมเป็นสารผสมเนื้อเดียว โดยที่ R-502 มีคุณสมบัติไม่กัดกร่อน ไม่ติดไฟ ไม่เป็นพิษในการใช้งาน และมีจุดเดือดเท่ากับ -50 °F ที่ความดันบรรยากาศ สารทำความเย็นชนิดนี้สามารถใช้ได้กับคอมเพรสเซอร์ชนิดลูกสูบเท่านั้น โดยส่วนใหญ่แล้วจะนำไปใช้กับอุปกรณ์ที่เกี่ยวกับการแช่แข็งอาหาร เช่นโรงงานแช่แข็ง และแปรรูปอาหารทะเลรหัสสีสำหรับ R-502 คือสีม่วงอ่อน

R-134a Tetrafluoroethane (CH2FCF3) เตตระฟลูอโรอีเธน

R-134a มีความคล้ายคลังกับ R-22 มากแต่จะแตกต่างกันที่ R-134a ไม่เป็นอันตรายต่อชั้นโอโซนจึงสามารถใช้แทน R-22 ได้ มีคุณสมบัติคือ ไม่กัดกร่อน ไม่ติดไฟ และไม่เป็นพิษ มีจุดเดือดเท่ากับ -15 °F ที่ความดันบรรยากาศ โดยทั่วไปจะใช้ในระบบทำความเย็นที่มีอุณหภูมิปานกลาง หรือระบบปรับอากาศ เช่น ระบบปรับอากาศในอาคาร รถยนต์ หรือตู้เย็นรหัสสีสำหรับ R-143a คือสีฟ้าอ่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R-717 Ammonia (NH3) แอมโมเนีย

R-717 เป็นสารทำความเย็นที่ใช้กันทั่วไปในอุตสาหกรรม มีจุดเดือดเท่ากับ –28 °F ที่ความดันบรรยากาศด้วยคุณสมบัตินี้ทำ ให้ R-717 มักถูกนำไปใช้กันมากในระบบทำ ความเย็นที่ต้องการอุณหภูมิต่ำกว่า 0°C โดยที่ความดันในอีวาโปเรเตอร์ไม่ต้องต่ำกว่าความดันบรรยากาศ คุณสมบัติโดยทั่วไปของ R-717 คือ เป็นก๊าซไม่มีสี มีกลิ่นฉุน มีความเป็นพิษทำลายระบบประสาท หากสัมผัสกับผิวหนังโดยตรงจะทำให้เกิดแผลไหม้และมีความสามารถในการติดไฟได้เล็กน้อยรหัสสี สำหรับ R-717 คือสีเงิน

R-125 Pentafluoroethane (CHCF5) เพนตะฟลูออโรอีเธน

R-125 คือสารผสมที่ถูกใช้ในอุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิปานกลาง ซึ่งมีจุดเดือด เท่ากับ –55.3 °F ที่ความดันบรรยากาศ คุณสมบัติของ R-125 คือไม่เป็นพิษ ไม่ติดไฟ และไม่กัดกร่อน นอกจากนี้ R-125 สามารถนำไปใช้แทน R-502 ได้อีกด้วยสารทำความเย็นทั้งหมดที่กล่าวมาต่างมีลักษณะเฉพาะตัว ดังนั้นจึงมีความสำคัญมากในการเลือกใช้ให้ตรงกับความต้องการหากมีการใช้งานผิดประเภท แล้วสามารถทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลงได้ หรืออาจเกิดปัญหาเกี่ยวกับอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบ

2.3.6.2 การจำแนกสารทำความเย็นตามระดับความปลอดภัย

นอกจากการแบ่งประเภทสารทำความเย็นตามองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติของสารทำความเย็น ได้มีการจำแนกและแบ่งกลุ่มสารทำความเย็นออกตามระดับความปลอดภัย โดยแบ่งตามความเป็นพิษ และความสามารถในการติดไฟของสารทำความเย็น ซึ่งมีหลักการจำแนกตามข้อกำหนดของ ASHRAE (American Society of Heating Refrigeration and Air-Conditioning Engineering) ดังนี้

- ความเป็นพิษ

ได้จำแนกสารทำความเย็นตามความเป็นพิษออกเป็น 2 ระดับ คือ ระดับชั้น A และ B
ชั้น A คือสารทำความเย็นที่มีระดับความเป็นพิษต่ำ และไม่ระบุระดับของความเป็นพิษ
ชั้น B คือสารทำความเย็นที่มีระดับความเป็นพิษสูง และมีการระบุระดับของความเป็นพิษ

การกำหนดระดับใช้ค่าความเข้มข้นของสารทำความเย็นที่ 400 ppm (ส่วนในล้านส่วน)หรือน้อยกว่าเป็นมาตรฐานในการตรวจสอบความเป็นพิษ

- ความสามารถในการติดไฟ

ได้จำแนกสารทำความเย็นตามความสามารถในการติดไฟออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มเลข 1 กลุ่มเลข 2 และกลุ่มเลข 3

กลุ่มเลข 1 คือสารทำความเย็นที่ไม่ติดไฟ

กลุ่มเลข 2 คือสารทำความเย็นที่มีความสามารถในการติดไฟได้ต่ำ

กลุ่มเลข 3 คือสารทำความเย็นที่มีความสามารถในการติดไฟได้สูง

สำหรับการจัดระดับความปลอดภัยเป็นการนำระดับความเป็นพิษและความสามารถในการติดไฟของสารทำความเย็นมารวมกัน เช่น ระดับความปลอดภัย A1 หมายถึงสารทำความเย็นชนิดนี้มีระดับความเป็นพิษต่ำและไม่ติดไฟ เป็นต้น ตารางที่ 2.2 แสดงการจำแนกสารทำความเย็นตามการจัดระดับความปลอดภัยของสารทำความเย็นบางชนิดที่นิยมใช้งานในอดีตและปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่2.2การจำแนกสารทำความเย็นตามการจัดระดับความปลอดภัยของสารทำความเย็นบางชนิด

ชนิดสารทำความเย็น	ระดับความปลอดภัย	ชนิดสารทำความเย็น	ระดับความปลอดภัย	ชนิดสารทำความเย็น	ระดับความปลอดภัย
R-11	A1	R-134a	A1	R-407C	A1
R-12	A1	R-143a	A2	R-410A	A1
R-22	A1	R-152a	A2	R-500	A1
R-32	A2	R-245ca	A2	R-502	A1
R-123	A1	R-290	A3	R-507	A1
R-124	A1	R-401A	A1	R-717	B2
R-125	A1	R-406A	A2	R-744	A1

- สมบัติของสารทำความเย็นที่พึงประสงค์

ในการพัฒนาสารทำความเย็นขึ้นมาในแต่ละชนิด มักอาศัยเกณฑ์สมบัติต่างๆ ของสารทำความเย็นที่พึงประสงค์เป็นแนวทางในการพัฒนา ซึ่งควรมีลักษณะของสารทำความเย็นดังนี้

1) มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะการทำลายโอโซน และการทำให้โลกร้อน

2) ไม่ติดไฟหรือไม่มีการระเบิด ทั้งในสภาวะของเหลว ก๊าซ หรือเมื่อผสมกับน้ำมันหล่อลื่น

3) มีความเป็นพิษต่ำ หรือไม่เป็นพิษ หรือไม่มีอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต

4) เมื่อเกิดการรั่วไหล ไม่ทำปฏิกิริยากับอาหารและน้ำดื่มจนทำให้รส กลิ่น สีเปลี่ยนแปลงหรือเป็นอันตราย

5) ไม่ทำปฏิกิริยาหรือกัดกร่อนวัสดุและอุปกรณ์ในระบบ เช่น ยาง พลาสติก เหล็ก ทองเหลือง ทองแดง อะลูมิเนียม เป็นต้น

6) มีโครงสร้างทางเคมีที่มีเสถียรภาพ สามารถทำงานภายใต้ความดันและอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงภายในระบบได้โดยไม่เปลี่ยนสภาพ

7) มีค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอสูง ทำให้อัตราการไหลของสารทำความเย็นในระบบต่ำ อุปกรณ์มีขนาดเล็กลง น้ำหนักเบาและใช้พลังงานลดลง

8) มีความหนาแน่นสูง ทำให้อุปกรณ์มีขนาดเล็กลง น้ำหนักเบาและใช้พลังงานลดลง

9) จุดเดือด จุดหลอมเหลว และจุดแข็งตัวต่ำ

10) รวมตัวกับน้ำมันหล่อลื่นได้ดี สามารถพาน้ำมันหล่อลื่นกลับสู่เครื่องอัดได้

11) มีค่าความต้านทานไฟฟ้าสูง ทำให้ไม่เกิดไฟฟ้าลัดวงจรผ่านสารทำความเย็นขณะทำงานโดยเฉพาะเมื่อใช้กับคอมเพรสเซอร์แบบหุ้มปิด

12) มีค่าความดันขณะควบแน่นต่ำ ทำให้ลดน้ำหนักอุปกรณ์จากความหนาที่ลดลง รวมทั้งลดการเกิดการรั่วไหลของสารทำความเย็น และลดอันตรายจากสาเหตุที่มาจากความดันสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.7 ความสามารถของการทำความเย็นทางทฤษฎี

ความสามารถของการทำความเย็นทางทฤษฎีของคอมเพรสเซอร์ใดๆ จะขึ้นกับสภาพการทำงานของระบบ และความสามารถของระบบคำนวณได้จากอัตราการไหลเชิงมวลของสารทำความเย็นต่อหน่วยเวลา และค่าการทำความเย็นต่อหน่วยมวลของสารทำความเย็นที่หมุนเวียน อัตราการไหลเชิงมวลที่ได้ของเครื่องอัดจะเท่ากับมวลของไอสารความเย็นที่เครื่องอัดดูดเข้ามาต่อหน่วยเวลา ถ้าสมมติว่าคอมเพรสเซอร์มีประสิทธิภาพ 100% และกระบอกสูบของคอมเพรสเซอร์บรรจุไอสารทำความเย็นอย่างสมบูรณ์ ปริมาตรไอสารทำความเย็นที่เข้ามาในกระบอกสูบคอมเพรสเซอร์และถูกอัดต่อหน่วยเวลาจะเท่ากับปริมาตรที่ลูกสูบเคลื่อนที่ ทั้งนี้จำนวนมวลของสารทำความเย็นที่เทียบเท่าอัตราการไหลเชิงปริมาตรของไอสารความเย็นในกระบอกสูบต่อเวลา สามารถคำนวณได้จากผลคูณระหว่างปริมาตรที่ลูกสูบเคลื่อนที่กับความหนาแน่นของไอสารทำความเย็นที่เข้ามาในคอมเพรสเซอร์ และเนื่องจากปริมาตรจำเพาะเป็นส่วนกลับของความหนาแน่น เพราะฉะนั้นอัตราการไหลเชิงมวลจะเท่ากับปริมาตรที่ลูกสูบเคลื่อนที่หารด้วยปริมาตรจำเพาะของไอสารทำความเย็นที่ถูกอัดเข้ามาในเครื่องอัด ดังนี้

$$m = V_p / v \qquad (2.1)$$

เมื่อ m = อัตราการไหลเชิงมวล, kg/s

V_p = ปริมาตรที่ลูกสูบเคลื่อนที่, L/s (ลิตรต่อวินาที)

v = ปริมาตรจำเพาะของไอสารทำความเย็น, L/kg

2.3.7.1 ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร

ในทางทฤษฎีถ้าเครื่องอัดไม่มีปริมาตรที่ว่างเหนือลูกสูบ และไม่มีความสูญเสียใดๆเครื่องอัดจะดูดไอสารทำความเย็นเข้ามาในกระบอกสูบในแต่ละช่วงชักเท่ากับการเคลื่อนที่ของลูกสูบ แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถทำได้ เนื่องจากไม่สามารถสร้างเครื่องอัดโดยปราศจากปริมาตรที่ว่างเหนือลูกสูบและฝาสูบได้และยังมีความสูญเสียความดันในขณะที่ไอสารไหลผ่านในท่อผ่านวาล์วทางเข้าและวาล์วทางออกอีกด้วยการที่มีปริมาตรที่ว่างเหนือลูกสูบในตำแหน่งศูนย์ตายบน (Top dead center) จะมีไอสารทำความเย็นจำนวนหนึ่งเหลืออยู่ในปริมาตรที่ว่างเหนือลูกสูบและไม่ถูกขับออกมาทางวาล์วทางออก ไอสารทำความเย็นจำนวนนี้จะมีความดันและอุณหภูมิสูง และในจังหวะที่ลูกสูบเคลื่อนที่ลงไอสารทำความเย็นนี้จะเกิดการขยายตัว จนกระทั่งความดันลดลงต่ำกว่าความดันด้านทางเข้า วาล์วทางเข้าจึงจะเปิดและดูดไอสารทำความเย็นเข้ามาในกระบอกสูบ ทำให้ไอสารทำความเย็นที่เข้ามาในกระบอกสูบมีปริมาตรน้อยกว่าปริมาตรที่ลูกสูบเคลื่อนที่ดังนั้น ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร จึงหมายถึง อัตราส่วนปริมาตรไอสารทำความเย็นที่เข้าไปในกระบอกสูบของเครื่องอัดในแต่ละช่วงชักต่อปริมาตรที่ลูกสูบเคลื่อนที่ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\eta_{vol} = \frac{V_a}{V_d} \quad (2.2)$$

เมื่อ η_{vol} = ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร(Volumetric efficiency)

V_a = ปริมาตรไอสารทำความเย็นที่เข้ามาในกระบอกสูบจริง

V_d = ปริมาตรที่ลูกสูบเคลื่อนที่

หรือ

$$V_a = V_d \times \eta_{vol} \quad (2.3)$$

ดังนั้น ความสามารถของการทำความเย็นที่ได้= ความสามารถของการทำความเย็นทางทฤษฎี x ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร

2.4 การทำงานของระบบการทำความเย็นแบบอัดไอ

หลักการทำความเย็นเป็นกระบวนการถ่ายเทความร้อนออกจากพื้นที่หนึ่ง ซึ่งต้องการทำความเย็นโดยความร้อนจะถูกส่งผ่านสารทำความเย็น จากนั้นสารทำความเย็นจะถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศภายนอกพื้นที่ สารทำความเย็นจะเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยกระบวนการอัดสารทำความเย็นให้เป็นไอ กระบวนการควบแน่น กระบวนการขยายตัวและกระบวนการระเหย ซึ่งกระบวนการเหล่านี้จะเกิดตามส่วนต่าง ๆ ของระบบ

การทำความเย็น (Refrigeration) คือกระบวนการถ่ายเทความร้อนออกจากพื้นที่หรือ วัตถุที่ต้องการทำความเย็น หรือเป็นกระบวนการลดอุณหภูมิ และรักษาอุณหภูมิของพื้นที่หรือวัตถุ ที่ต้องการทำความเย็นให้ต่ำกว่าอุณหภูมิรอบๆ

2.4.1 ระบบทำความเย็นแบบอัดไอ

ระบบทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศที่ใช้ในปัจจุบันเป็นระบบการทำความเย็นแบบอัดไอ สารทำความเย็นจะไหลเวียนภายในระบบปิดอยู่ตลอดเวลา ในระบบทำความเย็นแบบอัดไอประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลักคือคอมเพรสเซอร์ คอนเดนเซอร์ อีวาโปเรเตอร์ และอุปกรณ์ควบคุมการไหล ซึ่งอุปกรณ์แต่ละส่วนมีหน้าที่ดังนี้

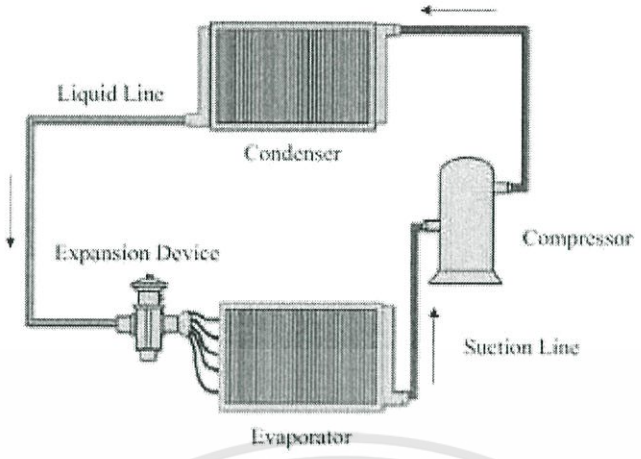
คอมเพรสเซอร์ (Compressor) ทำหน้าที่ ดูดสารทำความเย็นให้ไหลเวียนภายในระบบพร้อมกับอัดไอสารทำความเย็นที่มีความดันต่ำให้เป็นไอสารทำความเย็นที่มีความดันสูงและอุณหภูมิสูง

คอนเดนเซอร์ (Condenser) ทำหน้าที่ระบายความร้อนให้กับไอสารทำความเย็นที่มีอุณหภูมิสูง ออกสู่อากาศภายนอกระบบ เมื่อไอสารทำความเย็นได้รับการระบายความร้อนจะเกิดการควบแน่นเป็นสารทำความเย็นเหลว

อีวาโปเรเตอร์ (Evaporator) ทำหน้าที่ดูดความร้อนจากพื้นที่ หรือวัตถุที่ต้องการทำความเย็นไปใช้ในการเดือดกลายเป็นไอของสารทำความเย็น

เอ็กซ์แปนชั่นวาล์ว (Expansion Valve) ทำหน้าที่ควบคุมการไหลของสารทำความเย็นที่ไหลเข้าอีวาโปเรเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.32 อุปกรณ์หลักในระบบทำความเย็นแบบอัดไอ

2.4.2 วัฏจักรของการทำความเย็น

ในระบบทำความเย็นแบบอัดไอน้ำยาทำความเย็นจะไหลเวียนผ่านส่วนต่าง ๆ ของระบบอยู่ตลอดเวลา ในแต่ละรอบน้ำยาจะต้องผ่าน กระบวนการต่อไปนี้ คือ

การขยายตัว(Expansion) เกิดที่เอ็กซ์แปนชั่นวาล์ว
การกลายเป็นไอ(Vaporization) เกิดที่อีวาโปเรเตอร์
การอัดไอ(Compression) เกิดที่คอมเพรสเซอร์
การควบแน่น (Condensation) เกิดที่คอนเดนเซอร์

2.4.3 การทำงานของระบบทำความเย็น

ระบบทำความเย็นจะทำความเย็นได้ เมื่อสารทำความเย็นในระบบมีการไหลเวียน โดยใช้คอมเพรสเซอร์ซึ่งเปรียบเสมือนเครื่องสูบที่สูบสารทำความเย็นให้ไหลเวียนอยู่ตลอดเวลาที่ระบบทำงาน สารทำความเย็นที่ไหลเข้าอุปกรณ์ควบคุมการไหล จะอยู่ในสถานะของเหลวที่มีความดันสูง อุณหภูมิสูงอุปกรณ์ควบคุมการไหลจะลดความดันของสารทำความเย็นลง ทำให้จุดเดือดของสารทำความเย็นลดต่ำลง สารทำความเย็นที่ออกจากอุปกรณ์ควบคุมการไหล จะไหลเข้าอีวาโปเรเตอร์เป็นละอองสารทำความเย็น โดยสารทำความเย็นจะมีจุดเดือดต่ำกว่าอุณหภูมิของวัตถุที่แช่อยู่ในห้องทำความเย็น ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากวัตถุที่แช่ไปให้สารทำความเย็นๆ เกิดการเดือดกลายเป็นไอโดยที่อุณหภูมิและความดันของสารทำความเย็นคงที่ ความร้อนที่ใช้ในการเดือดกลายเป็นไอคือ ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ สารทำความเย็นที่ออกจากอีวาโปเรเตอร์จะอยู่ในสถานะไอที่ความดันต่ำ อุณหภูมิต่ำจะถูกส่งผ่านทางท่อดูด เข้าคอมเพรสเซอร์ขณะที่ผ่านท่อดูดไอของสารทำความเย็นจะได้รับความร้อนจากอากาศรอบๆ ทำให้ไอสารทำความเย็นมีอุณหภูมิสูงขึ้นแต่ความดันยังคงที่ ความร้อนช่วงนี้คือความร้อนยิ่งยวด สารทำความเย็นที่เข้าคอมเพรสเซอร์จะอยู่ในสถานะไอที่ความดันต่ำ อุณหภูมิต่ำ จากนั้น คอมเพรสเซอร์จะอัดไอสารทำความเย็นให้มีปริมาตรลดลง ทำให้ความดันและอุณหภูมิสูงขึ้นโดยอุณหภูมิของ ไอจะสูงกว่าอุณหภูมิไออิ่มตัว ไอน้ำที่ออกจากคอมเพรสเซอร์จะมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศรอบๆทำให้เกิดการระบายความร้อนให้กับอากาศขณะถูกส่งผ่านท่อจ่ายไปยังคอนเดนเซอร์ทำให้อุณหภูมิของไอสารทำความเย็นลดลงเท่ากับอุณหภูมิไอน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิ่มตัว แต่ยังคงสูงกว่าอุณหภูมิของอากาศรอบคอนเดนเซอร์ไอน้ำที่เข้าคอนเดนเซอร์จะมีความดันสูงอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิอิ่มตัวแต่สูงกว่าอุณหภูมิของอากาศรอบๆคอนเดนเซอร์ ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อน จากไอน้ำให้กับอากาศรอบๆ คอนเดนเซอร์ผ่านพื้นผิวคอนเดนเซอร์ ไอน้ำเกิดการควบแน่นเป็นของเหลว โดยที่ความดันและอุณหภูมิยังคงที่ ความร้อนที่ถ่ายเทให้กับอากาศคือความร้อนแฝงของการควบแน่น สารทำความเย็นที่ออกจากคอนเดนเซอร์จะอยู่ในสถานะของเหลวอุณหภูมิสูงความดันสูงจะไหลเข้าถังรับสารทำความเย็น ภายในถังรับสารทำความเย็นจะประกอบด้วยสารทำความเย็นที่อยู่ในสถานะของเหลวกับสารทำความเย็นที่อยู่ในสถานะไอซึ่งยังไม่ควบแน่นลอยอยู่ด้านบนสารทำความเย็นเหลวจะถูกปล่อยออกจากถังรับสารทำความเย็นส่งผ่านทางท่อของเหลวเข้าอุปกรณ์

2.5 การวิเคราะห์กระบวนการทำความเย็นแบบอัดไอ

กระบวนการทำความเย็นแบบอัดไอ(vapor compression-refrigeration cycle) มีการทำงานเบื้องต้นซึ่งประกอบด้วย 4 กระบวนการหลักคือกระบวนการอัดโดยคอมเพรสเซอร์ กระบวนการควบแน่นโดยคอนเดนเซอร์ กระบวนการขยายตัวโดยเอ็กซ์แปนชั่นวาล์ว และกระบวนการกลายเป็นไอโดยอีวาโปเรเตอร์ กระบวนการทำความเย็นแบบอัดไออีกวิธีหนึ่งคือ การแทนการทำงานของกระบวนการต่างๆ ลงในแผนภาพมอลเลียร์หรือแผนภาพความดัน-เอนทาลปี

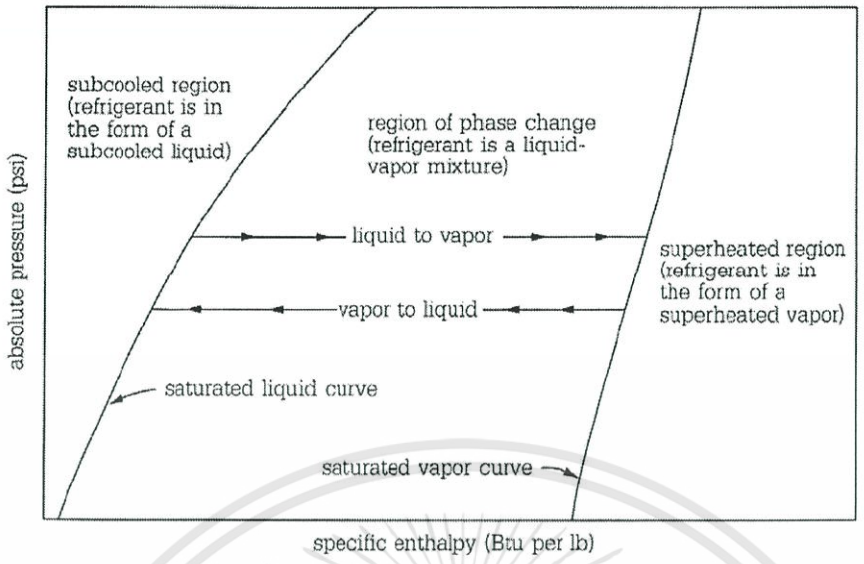
1) การวิเคราะห์แผนภาพมอลเลียร์มีดังนี้

เขตของเหลวเย็นยิ่ง (subcooled region) คือพื้นที่บริเวณด้านซ้ายของเส้นของเหลวอิ่มตัวสารทำความเย็นที่อยู่ในพื้นที่นี้จะมีสภาวะเป็นของเหลวที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดอิ่มตัว เรียกว่าของเหลวเย็นยิ่ง(subcooled liquid)

เขตไอร้อนยวดยิ่ง (superheated region) คือพื้นที่บริเวณด้านขวาของเส้นไออิ่มตัว สารทำความเย็นในพื้นที่นี้จะมีสภาวะเป็นไอที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจุดอิ่มตัว เรียกว่า ไอร้อนยวดยิ่ง หรือไอดง (superheated vapor)

เขตเปลี่ยนสถานะ (phase change region) คือพื้นที่ระหว่างเส้นของเหลวอิ่มตัว และเส้นไออิ่มตัว สารทำความเย็นในพื้นที่นี้จะมีสภาวะผสมระหว่างของเหลวและไอ (liquid-vapor mixture) หรือเป็นเขตเปลี่ยนสถานะคือการเปลี่ยนแปลงจากด้านซ้ายไปขวาเป็นการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นไอตามกระบวนการกลายเป็นไอ (vaporization) และการเปลี่ยนแปลงจากด้านขวาไปซ้ายเป็นการเปลี่ยนสถานะจากไอเป็นของเหลวตามกระบวนการควบแน่น (condensation)จุดที่เชื่อมต่อระหว่างเส้นของเหลวอิ่มตัวและเส้นไออิ่มตัวคือจุดวิกฤต (critical point) ซึ่งเป็นจุดที่สารทำความเย็นจะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวอิ่มตัวไปเป็นไอร้อนยวดยิ่ง หรือจากไอร้อนยวดยิ่งไปเป็นของเหลวอิ่มตัวได้ทันทีโดยไม่ต้องผ่านช่วง liquid-vapor mixture

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.33 แผนภาพมอลเลียร์ (Mollier Diagram)

2) การวิเคราะห์แผนภูมิความดัน – เอนทัลปี ดังนี้

แผนภาพความดัน – เอนทัลปี ถือเป็นแผนภูมิที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบระบบการทำความเย็น เริ่มตั้งแต่การหาขนาดของกำลังงานเชิงกลที่จำเป็นในการทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนให้ได้ตามปริมาณที่ต้องการ ซึ่งถือเป็นสิ่งที่สำคัญของระบบที่จะทำให้สามารถถ่ายเทความร้อนออกจากห้องหรือบริเวณที่ต้องการทำความเย็นนั้นได้ตามที่ต้องการ พื้นที่ในแผนภาพความดัน–เอนทัลปี แสดงถึงสถานะของสารซึ่งในการทำความเย็นว่ามีสถานะเป็นของเหลวอิ่มตัว ของผสมระหว่างของเหลวกับไอ ไออิ่มตัว หรือไอร้อนยิ่งยวด

การวิเคราะห์วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอโดยใช้แผนภาพความดัน–เอนทัลปี ดังรูปที่ 2.34 จากแผนภาพจะเห็นว่า มีกระบวนการ 3 ใน 4 กระบวนการเป็นเส้นตรง และปริมาณความร้อนที่ถูกถ่ายโอนภายในคอนเดนเซอร์และอีวาโปเรเตอร์นั้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความยาวของเส้นของกระบวนการ

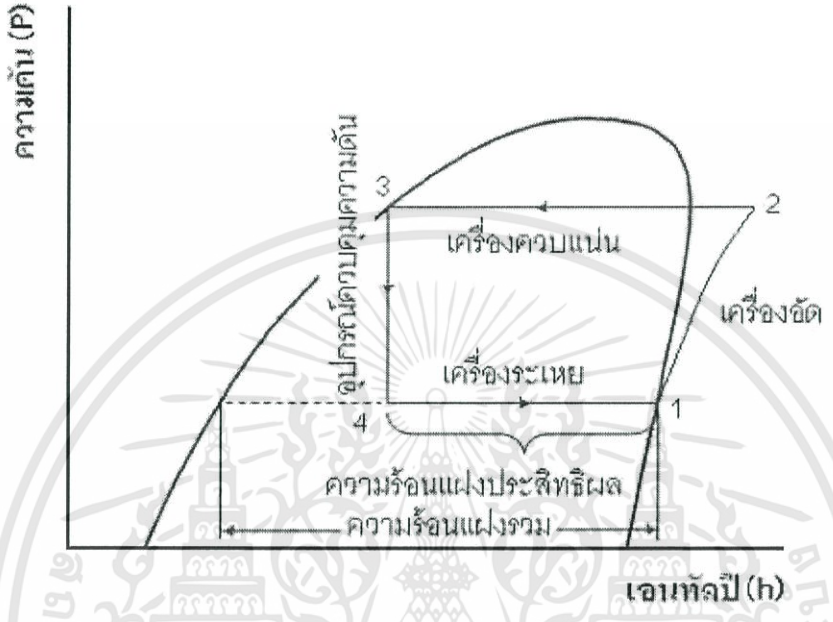
กระบวนการอัดไอ 1-2 ในทางอุดมคติไออิ่มตัวของสารทำความเย็นจะถูกอัดตัวแบบ Isentropic เพื่อให้อุณหภูมิ ความดัน และเอนทัลปีเพิ่มขึ้น แต่ในทางปฏิบัติจะเป็นกระบวนการ Polytropic เนื่องจากเป็นกระบวนการที่ย้อนกลับไม่ได้ สาเหตุหลัก คือ เกิดความร้อนจากแรงเสียดทานของอุปกรณ์ภายในคอมเพรสเซอร์และ การเกิดไอร้อนยวดยิ่งของสารทำความเย็นก่อนเข้าสู่คอมเพรสเซอร์

กระบวนการควบแน่น 2-3 ไอของสารความทำความเย็นจะคายความร้อนออก และถูกควบแน่นเป็นของเหลว ซึ่งในทางอุดมคติจะเป็นกระบวนการความดันคงที่ แต่ความเป็นจริงความดันและอุณหภูมิจะลดลงตามระยะทาง (Pressure drop) ของคอนเดนเซอร์ สารทำความเย็นจะไหลเป็นสองสถานะ จนอุณหภูมิลดลงถึงสถานะของเหลวอิ่มตัว

กระบวนการลดความดัน 3-4 เมื่อสารทำความเย็นเหลวไหลผ่านเอ็กซ์แปนชั่นวาล์ว ความดันและอุณหภูมิจะลดต่ำลงและเปลี่ยนสถานะเป็นสารผสมเป็นกระบวนการเอนทัลปีคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการระเหย 4-1 สารทำความเย็นสถานะของผสมจะดูดกลืนความร้อนเข้ามา และเปลี่ยนสถานะเป็นไออิ่มตัว ในทางอุดมคติจะเป็นกระบวนการความดันคงที่ แต่ความเป็นจริงความดันจะลดลงตามระยะทางของอีวาโปเรเตอร์เช่นเดียวกับคอนเดนเซอร์ และสุดท้ายจะถูกเพิ่มอุณหภูมิจนถึงสถานะไอร้อนยวดยิ่งก่อนเข้าสู่คอมเพรสเซอร์ต่อไป



รูปที่ 2.34 แผนภาพความดัน – เอนทัลปี ของระบบการทำความเย็นแบบอัดไอ (แสดงเส้นทางของกระบวนการในระบบ)

การวิเคราะห์กระบวนการต่างๆที่เกิดในกระบวนการทำความเย็นแบบอัดไอนั้น จะใช้แผนภาพความดัน – เอนทัลปี จากรูปที่ 2.34 โดยคำนวณจากอุปกรณ์ต่างๆดังต่อไปนี้

2.5.1 คอมเพรสเซอร์ (Compressor)

ทำหน้าที่ดูดและอัดสารทำความเย็น พลังงานที่ใช้ในการอัดสารทำความเย็น 1 กก. สามารถหาได้ดังนี้

$$W_c = h_1 - h_2 \qquad (2.4)$$

โดยที่ W_c = งานที่ให้แก่คอมเพรสเซอร์ (kJ/kg)

h_1 = เอนทาลปีของสารทำความเย็นที่เข้าคอมเพรสเซอร์ (kJ/kg)

h_2 = เอนทาลปีของสารทำความเย็นที่ออกจากคอมเพรสเซอร์ (kJ/kg)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 คอนเดนเซอร์ (Condenser)

ความร้อนที่คายออกจากคอมเพรสเซอร์หาได้ดังนี้

$$Q_c = h_3 - h_2 \quad (2.5)$$

โดยที่ Q_c = ความร้อนที่ไอของสารทำความเย็นออกจากไอร้อน (kJ/kg)
h_2 = เอนทาลปีของสารทำความเย็นที่เข้าคอนเดนเซอร์ (kJ/kg)
h_3 = เอนทาลปีของสารทำความเย็นที่ออกจากคอนเดนเซอร์ (kJ/kg)

2.5.3 อุปกรณ์ควบคุมความดัน (Expansion Valve)

กระบวนการขยายตัวผ่านอุปกรณ์ควบคุมความดัน เป็นกระบวนการเอนทัลปีที่คงที่ จะไม่มีงานหรือการถ่ายเทความร้อน

$$h_4 = h_3 \quad (2.6)$$

2.5.4 อีวาโปเรเตอร์ (Evaporator)

ความร้อนที่สารทำความเย็น 1 กก. ดูดเอาไว้ขณะที่สารทำความเย็นไหลผ่านอีวาโปเรเตอร์หาได้ดังนี้

$$Q_E = h_1 - h_3 \quad (2.7)$$

โดยที่ Q_E = ความร้อนที่สารทำความเย็นดูดไว้ในอีวาโปเรเตอร์(kJ/kg)
h_1 = เอนทาลปีของสารทำความเย็นที่เข้าคอมเพรสเซอร์(kJ/kg)
h_3 = เอนทาลปีของสารทำความเย็นที่ออกจากอีวาโปเรเตอร์ (kJ/kg)

2.5.5 ประสิทธิภาพการทำความเย็น (Coefficient of Performance : COP)

$$COP = \frac{Q_E}{W_c} \quad (2.8)$$

โดยที่ Q_E = ความร้อนที่สารทำความเย็นดูดไว้ในอีวาโปเรเตอร์ (kJ/kg)
W_c = งานที่ให้แก่คอมเพรสเซอร์ (kJ/kg)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.6 ความสามารถในการทำความเย็น

$$Q_L = \dot{m}(h_1 - h_3) \quad (2.9)$$

โดยที่ Q_L = ความสามารถในการทำความเย็น (kW)
$\dot{m}$ = อัตราไหลของสารทำความเย็น (kg/s)
h_1 = เอนทาลปีของสารทำความเย็นที่เข้าคอมเพรสเซอร์ (kJ/kg)
h_3 = เอนทาลปีของสารทำความเย็นที่ออกจากอีวาโปเรเตอร์ (kJ/kg)

2.5.7 อัตราการไหลเชิงปริมาตรของสารทำความเย็น

$$\dot{m} = \frac{V_{pt}}{v} \quad (2.10)$$

โดยที่ $\dot{m}$ = อัตราไหลเชิงมวลของสารทำความเย็น (kg/s)
V_{pt} = อัตราไหลเชิงปริมาตรของสารทำความเย็น (m^3/s)
v = ปริมาตรจำเพาะของไอสารทำความเย็นที่หมุนเวียน

2.5.8. ความสามารถของคอมเพรสเซอร์ (Compressor Capacity)

$$W_{comp} = \dot{m}(h_2 - h_1) \quad (2.11)$$

โดยที่ W_{comp} = ความสามารถในการทำความเย็น (kJ/s หรือ kW)
h_1 = เอนทาลปีของสารทำความเย็นที่เข้าคอมเพรสเซอร์ (kJ/kg)
h_2 = เอนทาลปีของสารทำความเย็นที่ออกจากคอมเพรสเซอร์ (kJ/kg)

2.6 การถ่ายเทความร้อน

การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) จากวัตถุหนึ่งซึ่งร้อนกว่าไปยังวัตถุหนึ่งซึ่งเย็นกว่า หรือจากส่วนของวัตถุที่ร้อนกว่าไปสู่ส่วนของวัตถุที่เย็นกว่าหรือจากที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่ที่ต่ำ จะมีการถ่ายเทความร้อนได้ 3 วิธีด้วยกัน

2.6.1 การถ่ายเทความร้อนโดยการนำ

การถ่ายเทความร้อนโดยการนำ (conduction) เป็นการถ่ายเทความร้อนจากที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่อุณหภูมิต่ำ โดยความร้อนเคลื่อนที่ไปตามเนื้อวัตถุ แต่เนื้อวัตถุที่เป็นตัวกลางไม่ได้เคลื่อนที่แต่อย่างใด เช่น เมื่อเผาปลายข้างหนึ่งของแท่งโลหะที่ปลายข้างนั้นจะสั่นสะเทือนหรือเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น โมเลกุลของโลหะที่ปลายข้างนั้นจะสั่นสะเทือนหรือเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น โมเลกุลนี้จะไปชนกับโมเลกุลที่อยู่ใกล้เคียงอื่นๆ ทำให้โมเลกุลข้างเคียงสั่นสะเทือนหรือเคลื่อนที่เร็วขึ้นด้วย เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะเช่นนี้ต่อเนื่องกันไป โดยวิธีนี้ความร้อนสามารถถูกส่งไปยังอีกปลายข้างหนึ่งได้ สารต่างๆจะมีความสามรถในการนำความร้อนได้ดีและเร็วไม่เท่ากัน สารที่สามารถนำความร้อนได้ดีและเร็ว เรียกว่า ตัวนำความร้อน ได้แก่ พวกโลหะต่างๆเช่น เงิน (เป็นตัวนำความร้อนที่ดีที่สุด) ทองแดง อะลูมิเนียม เหล็ก ส่วนสารที่นำความร้อนไม่ดีหรือช้า เรียกว่า ฉนวนความร้อน ได้แก่ พวกอโลหะต่างๆ เช่น กระเบื้อง แก้ว ไม้ อากาศ และในจำนวนสารทั้ง 3 สถานะ คือ ของแข็ง ของเหลว และ ก๊าซ ก๊าซจะเป็นตัวนำความร้อนที่ไม่ดีที่สุด

2.6.2 การถ่ายเทความร้อนโดยการพา

การถ่ายเทความร้อนโดยการพา(convection)คือการถ่ายเทความร้อนจากอุณหภูมิสูงไปอุณหภูมิต่ำโดยมีวัตถุหรือตัวกลางที่ได้รับความร้อนเป็นตัวพาเอาความร้อนนั้นไป การพาความร้อนจะเกิดได้เฉพาะวัตถุพวกของเหลวและก๊าซเท่านั้นพวกของแข็งจะไม่เกิดการพาความร้อนเช่นกา ต้มน้ำ น้ำตอนล่างที่อยู่ใกล้กับเตาไฟได้รับความร้อนแล้วขยายตัวจึงมีความหนาแน่นน้อย จะลอยขึ้นตอนบน ส่วนที่เย็นซึ่งหนักกว่าจะจมลงมาแทนที่ ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของน้ำเป็นกระแสวนเวียนจนทั่วทั้งกาน้ำจึงร้อนทั่วถึงทั้งหมด เมื่อเอามือไปอังไอน้ำที่พ่นออกมาจากกาต้มน้ำจะรู้สึกร้อน เพราะว่าความร้อนจากน้ำในกาได้ติดมากับไอน้ำ เมื่อกระทบมือจึงรู้สึกร้อน ลมช่วยพาความร้อนออกจากร่างกาย ทำให้ร้อนน้อยลงหรือเย็น การใช้น้ำไหลวนเวียนในเครื่องยนต์ เพื่อพาความร้อนจากเครื่องยนต์ออกมาที่หม้อน้ำแล้วใช้พัดลมช่วยพาความร้อนออกไปอีกครั้ง

2.6.3 การแผ่รังสีความร้อน

การแผ่รังสีความร้อน(radiation)เป็นการถ่ายเทความร้อนจากที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่ที่มีอุณหภูมิต่ำโดยไม่ต้องอาศัยตัวกลางและในการเคลื่อนที่ผ่านไปนั้นจะไม่ทำให้วัตถุตัวกลางที่มีความร้อนผ่านไปร้อนขึ้นด้วย เช่น เอามือไปอังข้างเตารีด จะรู้สึกว่าร้อน ความร้อนไม่ได้เกิดจากการนำความร้อน เพราะว่าอากาศเป็นตัวนำความร้อนที่ไม่ดี และก็ไม่ได้เกิดจากการพาความร้อนเพราะว่าอากาศร้อนจะลอยสูงขึ้นในแนวดิ่งแต่ความร้อนที่ได้รับนี้เกิดจากการแผ่รังสีความร้อน

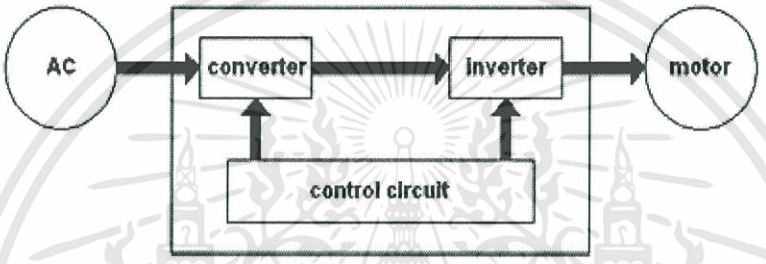
เนื่องจากการทำความเย็น คือการทำให้อุณหภูมิลดต่ำลงด้วยวิธีการถ่ายเทความร้อนจากวัตถุหรือบริเวณที่ต้องการจึงต้องทำการศึกษาการถ่ายเทความร้อนเพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าพลังงานที่ใช้ในระบบทำความเย็น การถ่ายเทความร้อนเป็นการศึกษาถึงอัตราการถ่ายเทพลังงานในรูปของความร้อนในระบบซึ่งอาจเกิดขึ้นระหว่างระบบสองระบบหรือระหว่างระบบหนึ่งและสิ่งแวดล้อมเมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิ โดยที่ไม่มีการเปลี่ยนรูปพลังงานความร้อนไปเป็นพลังงานรูปแบบอื่น เมื่อเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิในระบบ จะทำให้พลังงานในรูปของความร้อนถ่ายเทจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า หรืออาจกล่าวได้ว่าอาจเกิดความลาดเอียงของอุณหภูมิขึ้นในระบบซึ่งหาได้จากค่าการกระจายตัวของอุณหภูมิซึ่ง สามารถหาอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่และสามารถคำนวณหาภาระการทำความเย็นที่เกิดจากการถ่ายเทความร้อนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 อินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์ (Inverter) คืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อไปควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า ทำให้อุปกรณ์ต่างๆ เช่น มอเตอร์ หรือ อุปกรณ์ที่ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ สามารถใช้ได้กับไฟฟ้ากระแสตรง โดยควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้าที่ปรับเปลี่ยนความเร็วรอบให้เหมาะสมกับสภาวะของโหลด โดยวิธีการปรับแรงดันและความถี่ไฟฟ้าให้เหมาะสมกับมอเตอร์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของมอเตอร์ในกระบวนการต่างๆที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาโดยสามารถประหยัดพลังงานของมอเตอร์อันเนื่องมาจากความเร็วรอบที่ลดลงในแต่ละช่วงเวลา

2.7.1 โครงสร้างของอินเวอร์เตอร์



รูปที่ 2.35 โครงสร้างของอินเวอร์เตอร์

จากรูปแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ จ่ายไฟฟ้ากระแสสลับไปยังคอนเวอร์เตอร์ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับจากแหล่งจ่ายไฟที่ความถี่ 50 Hz ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง แล้วนำไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้ต่อเป็นอินพุตเข้าไปในวงจรอินเวอร์เตอร์ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่สามารถเลือกความถี่ได้เพื่อไปควบคุมมอเตอร์ให้มีความเร็วตามต้องการ

2.7.2 หลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์ (Inverter) จะแปลงไฟกระแสสลับจากแหล่งจ่ายไฟทั่วไปที่มีแรงดันและความถี่คงที่ ให้เป็นไฟกระแสตรงโดยวงจรคอนเวอร์เตอร์ จากนั้นไฟกระแสตรงจะถูกแปลงเป็นไฟกระแสสลับที่สามารถปรับขนาดแรงดันและความถี่ได้โดยวงจรอินเวอร์เตอร์ วงจรทั้งสองนี้จะเป็นวงจรหลักที่ทำหน้าที่แปลงรูปคลื่น และผ่านพลังงานของอินเวอร์เตอร์ ขณะที่เข้าสู่สถานะการทำงานแล้วชุดอินเวอร์เตอร์จะสั่งให้มอเตอร์ทำงานมากขึ้น โดยการเพิ่มความถี่หรือปรับเปลี่ยนคาบวัฏจักรของสัญญาณ และขณะเตรียมพร้อมหรืออุณหภูมิคงที่ระบบอินเวอร์เตอร์จะลดการทำงานของมอเตอร์ลง แต่ไม่หยุดการทำงานของมอเตอร์ ซึ่งจะช่วยลดกำลังงานที่ใช้ผลจากการทำงานของระบบอินเวอร์เตอร์ มีผลต่อการควบคุมอุณหภูมิโดยตรงภายในห้องต่อมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ ทำให้ไมโครคอมพิวเตอร์สั่งการเปลี่ยนความถี่ของไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์คอมเพรสเซอร์อยู่ตลอดเวลา มีผลทำให้ความเร็วรอบของมอเตอร์ลดลง ส่งผลให้ปริมาตรการดูดน้ำยาลดลง การกินไฟของมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ก็จะลดลงตามไปด้วย ทำให้สามารถประหยัดไฟฟ้าได้ แม้ว่ามอเตอร์จะทำงานอยู่ก็ตามแต่ก็เป็นการทำงานตามคำสั่งของไมโครคอมพิวเตอร์ที่ควบคุมความถี่ของไฟฟ้าเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2.1 อินเวอร์เตอร์ประยุกต์ใช้งานร่วมกับระบบควบคุมมอเตอร์

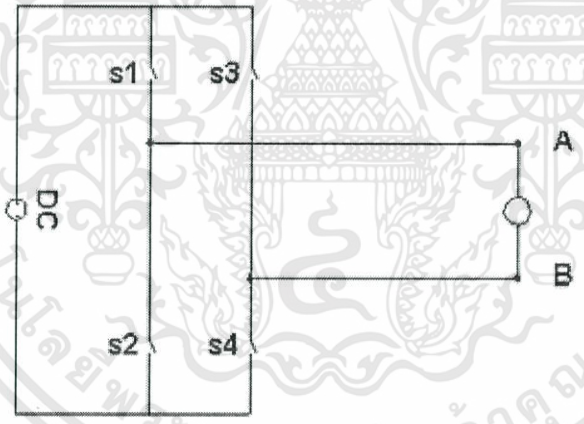
มอเตอร์ (Motor) เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ ใช้ในการแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล โดยนำพลังงานที่ได้นี้ไปขับเคลื่อนเครื่องจักรอื่นๆต่อไป โดยความเร็วของมอเตอร์สามารถกำหนดได้ สามารถหาได้จากสูตร

$$N = \left[\frac{120f}{P}\right] * (1 - S) \qquad (2.12)$$

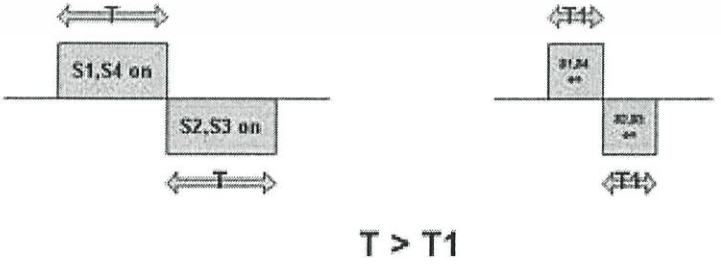
ถ้าความถี่ของแหล่งจ่ายไฟเปลี่ยนแปลงไป จะมีผลทำให้มอเตอร์มีความเร็วเปลี่ยนแปลงด้วย แต่เมื่อทำการเปลี่ยนความถี่ โดยให้แรงดันคงที่ จะมีผลทำให้เกิดฟลักส์แม่เหล็กเพิ่มมากขึ้นจนอิ่มตัวซึ่งอาจทำให้มอเตอร์ร้อนจนเกิดความเสียหายได้จึงต้องทำการเปลี่ยนแรงดันควบคู่ไปกับความถี่ การเปลี่ยนแปลงความถี่ของแหล่งจ่ายไฟทำได้โดยการเปลี่ยนความถี่โดยใช้อินเวอร์เตอร์

2.7.2.2 วิธีการสร้างไฟฟ้ากระแสสลับ

สวิตซ์ 4 ตัว s1 s2 s3 และ s4 ซึ่งต่ออยู่กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง และโหลดจะปิด-เปิดสลับกันเป็นจังหวะ เพื่อสร้างกระแสสลับจ่ายให้กับหลอดไฟ ดังรูปที่ 2.35 และรูปที่ 2.36



รูปที่ 2.36 วิธีการสร้างไฟฟ้ากระแสสลับ



รูปที่ 2.37 จังหวะการเกิดไฟฟ้ากระแสสลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อปิดสวิตช์ S1 และ S4 ทำให้เกิดกระแสไหลในทิศทางจากจุด A ไปยังจุด B
- เมื่อปิดสวิตช์ S2 และ S3 ทำให้เกิดกระแสไหลในทิศทางจากจุด B ไปยังจุด A

ดังนั้นถ้าเปิด-ปิดสวิตช์ S1 และ S4 สลับกับสวิตช์ S2 และ S3 จะทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสสลับและถ้ามีการควบคุมเวลาในการเปิด-ปิดสวิตช์ที่ต่างกัน ก็จะได้ไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความถี่แตกต่างกัน

2.7.2.3 การกำหนดช่วงความถี่ใช้งาน

การกำหนดช่วงความถี่ใช้งานคือการกำหนดความถี่ต่ำสุด หรือ ความถี่สูงสุดที่อินเวอร์เตอร์จะให้แก่มอเตอร์ ซึ่งความถี่ที่ตั้งจะเป็นตัวกำหนดความเร็วต่ำสุด หรือ สูงสุดของมอเตอร์ พารามิเตอร์ที่น่าสนใจ มีดังนี้

1) ความถี่ต่ำสุดของอินเวอร์เตอร์ (Minimum Motor Frequency) ใช้กำหนดความเร็วต่ำสุดที่มอเตอร์จะหมุนได้ โดยทั่วไปไม่ควรตั้งต่ำกว่า 10 Hz เนื่องจากจะทำให้มอเตอร์แรงบิดตกไม่มีกำลัง

2) ความถี่สูงสุดของอินเวอร์เตอร์ (Maximum Motor Frequency) ใช้กำหนดความเร็วสูงสุดที่มอเตอร์จะหมุนได้ หากกำหนดมากกว่า 50 Hz จะมีผลให้แรงบิดของมอเตอร์ตกลงอย่างรวดเร็ว แต่มอเตอร์ ก็จะมีความเร็วที่สูงขึ้น

3) ช่วงเวลาขอบขาขึ้น (Ramp-Up Time) เป็นการกำหนดระยะเวลาที่มอเตอร์จะใช้ในการเข้าสู่ความเร็วที่กำหนด หากตั้งค่าน้อยเกินไปจะมีผลทำให้กระแสช่วงออกตัวของมอเตอร์มีค่าสูง ซึ่งหากโหลดที่ให้มีกำลังวัตต์มากที่สุดในโรงงานจะมีผลต่อค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุด แต่หากปรับค่ามากเกินไปจะมีผลทำให้มอเตอร์ออกตัวช้า หรือ ออกตัวไม่ได้

4) ช่วงเวลาขอบขาลง (Ramp-Down Time) เป็นการกำหนดระยะเวลาที่มอเตอร์ใช้ในการเปลี่ยนจากความเร็วสูงสุดเข้าสู่การหยุดให้แรงดัน โดยปกติการหยุดการทำงานของอินเวอร์เตอร์จะมีลักษณะค่อยลดแรงดันจากค่าสูงสุดทีละเล็กน้อยจนกระทั่งไม่มีแรงดันซึ่งจะมีผลต่อเวลาในการหยุดของมอเตอร์ และปริมาณแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนกลับเข้าสู่อินเวอร์เตอร์ ดังนั้น ในกรณีที่มอเตอร์มีขนาดใหญ่หากปรับค่านี้น้อยเกินไปอาจมีผลทำให้อินเวอร์เตอร์ไม่ทำงานอันเนื่องจากแรงดันไฟฟ้าป้อนกลับ

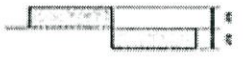
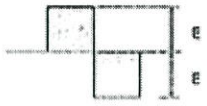
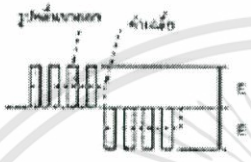
2.7.2.4 วิธีปรับแรงดัน

การใช้อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์ นอกจากการแปรความถี่เพื่อปรับความร็วมอเตอร์แล้วยังต้องแปรขนาดแรงดันตามความถี่ที่เปลี่ยนไป เพื่อรักษาอัตราส่วน V/f ให้คงที่ การแปรขนาดแรงดันของอินเวอร์เตอร์มีหลายวิธี วิธีที่นิยมใช้กันมากในอินเวอร์เตอร์ใช้งานทั่วไปคือวิธีการแบ่งรูปคลื่นของแรงดันขาออกที่ป้อนให้มอเตอร์การแปรรูปคลื่นแรงดันมีหลายวิธี

- วิธีแปรขนาดแรงดันของไฟตรง (PAM)
- วิธีแปรความกว้างของพัลส์ที่ใช้เปิด-ปิดทรานซิสเตอร์ (PWM)
- วิธีแปรความกว้างของพัลส์ให้แรงดันเฉลี่ยมีรูปคลื่นเป็นรูปซายน์ (PWM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 การควบคุมรูปคลื่นของอินเวอร์เตอร์

วิธีควบคุม	ความถี่ต่ำ (แรงดันต่ำ)	ความถี่สูง (แรงดันสูง)	จุดเด่น
วิธี PAM PULSE AMPLITUDE MODULATION			- เสียงมอเตอร์เบา - ประสิทธิภาพดี - ควบคุมขนาดแรงดันที่คอนเวอร์เตอร์ - ผลตอบช้า
วิธี PWM PULSE WIDTH MODULATION			- ส่วนอินเวอร์เตอร์สามารถควบคุมความถี่และแรงดันได้ทั้งหมด - ได้ยินเสียงความถี่สูงจากมอเตอร์
วิธี PWM ที่ให้แรงดัน เป็นรูปซายน์			- เดินมอเตอร์ได้เรียบที่ความเร็วต่ำ - อาร์โมนิคความถี่ต่ำมีขนาดเล็ก - ได้ยินเสียงความถี่สูงจากมอเตอร์

2.7.3 การควบคุมมอเตอร์

2.7.3.1 การสตาร์ท

เมื่อให้ความถี่แก่อินเวอร์เตอร์ด้วยความถี่สตาร์ทมอเตอร์ก็จะผลิตแรงบิด จากนั้นอินเวอร์เตอร์จะค่อย ๆ เพิ่มความถี่ขึ้นไป ถ้าแรงบิดของมอเตอร์สูงกว่าแรงบิดของโหลดมอเตอร์จึงเริ่มหมุน

2.7.3.2 การเร่งความเร็ว

หลังจากสตาร์ทอินเวอร์เตอร์และมอเตอร์แล้ว ความถี่ขาออกจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงความถี่ที่ต้องการ ช่วงเวลาในการเพิ่มความถี่นี้คือเวลาการเร่งความเร็ว และเมื่อความถี่ขาออกเท่ากับความถี่ที่ต้องการ การเร่งความเร็วก็จบ อินเวอร์เตอร์จะเข้าสู่การทำงานในช่วงเวลาการเดินเครื่อง ด้วยความเร็วคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.3.3. การลดความเร็ว

ตั้งความถี่ให้ต่ำกว่าความถี่ขาออก อินเวอร์เตอร์จะลดความถี่ลงมาเรื่อย ๆ ตามช่วงเวลาการลดความเร็วที่ได้ตั้งไว้ ในขณะลดความถี่ความเร็วรอบของมอเตอร์จะมีค่ามากกว่าความถี่ขาออกของอินเวอร์เตอร์มอเตอร์จะทำงานเหมือนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าผลิตไฟจ่ายกลับไปให้อินเวอร์เตอร์ ทำให้แรงดันไฟตรงมีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นภายในอินเวอร์เตอร์จะมีวงจรที่ทำหน้าที่รับพลังงานที่เกิดจากการผลิตไฟจ่ายกลับไปให้อินเวอร์เตอร์ ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดการหยุดมอเตอร์ วงจรนี้เรียกว่าวงจรหยุดคืนพลังงาน ในช่วงการลดความเร็วจะทำงานในลักษณะนี้หลายๆครั้งถ้าพลังงานมีค่าน้อยอัตราการใช้งานวงจรหยุดก็จะต่ำ

2.7.3.4 การหยุด

อินเวอร์เตอร์จะลดความถี่ลงจนถึงระดับหนึ่ง และจะผลิตไฟตรงเข้าไปในมอเตอร์เพื่อหยุดการทำงาน จนมอเตอร์หยุด เรียกว่า การหยุดด้วยไฟตรง

2.7.4 ประโยชน์ของอินเวอร์เตอร์

1) ใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับสำรองหรือแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับแบบไม่ขาดตอน เมื่อแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับหลักเกิดขัดข้องเรียกว่า UPS ซึ่งใช้เป็นระบบไฟฟ้าสำรองสำหรับอุปกรณ์ที่สำคัญ ๆ เช่น คอมพิวเตอร์ เมื่อแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับหลักเกิดขัดข้องจะทำงานต่ออุปกรณ์เข้ากับอินเวอร์เตอร์จ่ายไฟกระแสสลับให้แทนโดยแปลงจากแบตเตอรี่ซึ่งประจุไว้ขณะที่มีแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับหลัก

2) ใช้ควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสสลับด้วยความถี่ซึ่งความเร็วรอบจะแปรค่าตามความถี่ โดยการเปลี่ยนความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับความเร็วของมอเตอร์เปลี่ยนแปลงตามมอเตอร์ในการควบคุมต้องการแรงบิดคงที่ต้องรักษาให้อัตราส่วนของแรงดันต่อความถี่ที่จ่ายเข้ามอเตอร์คงที่ด้วย

3) ใช้แปลงไฟฟ้าจากระบบส่งกำลังไฟฟ้าแรงสูงชนิดกระแสตรง ให้เป็นชนิดกระแสสลับสำหรับใช้ในยานพาหนะ

4) ใช้ในการควบคุมการชุบและหลอมโลหะที่ใช้ความถี่สูง

5) ช่วยลดกำลังไฟที่ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ประหยังพลังงาน

2.8 การแช่เยือกแข็ง

การแช่เยือกแข็ง (freezing) เป็นกรรมวิธีการแปรรูปอาหารเพื่อถนอมอาหาร ด้วยการลดอุณหภูมิของอาหารให้ต่ำกว่า -18°C เป็นการใช้อุณหภูมิต่ำเพื่อยับยั้งการเพิ่มจำนวน ผลิตภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็งต้องเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่า-18°Cตลอดเวลาเพื่อรักษาคุณภาพป้องกันการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์และป้องกันการเกิดผลึกใหม่ของน้ำแข็งซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการเสื่อมคุณภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.1 วัตถุประสงค์ของการแช่แข็งอาหาร

1) เพื่อการถนอมอาหาร การแช่เยือกแข็ง เปลี่ยนสถานะของโมเลกุลของน้ำในอาหารให้เป็นน้ำแข็ง ถึงแม้การแช่แข็งอาหาร จะไม่ทำให้น้ำทั้งหมดกลายเป็นน้ำแข็ง แต่น้ำในอาหารที่ผ่านการแช่เยือกแข็งจะมีความเข้มข้นสูง ทำให้อาหารแช่เยือกแข็ง มีค่า water activity ต่ำ การแช่แข็งเป็นการการลดอุณหภูมิของอาหารให้ต่ำลงเพื่อ

- เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เช่น แบคทีเรีย ยีสต์ รา พยาธิ ที่เป็นสาเหตุของการเสื่อมเสีย และจุลินทรีย์ก่อโรค ที่เป็นอันตรายในอาหาร

- เพื่อยับยั้งปฏิกิริยาชีวเคมีของอาหารเช่นการหายใจของผัก ผลไม้ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์และปฏิกิริยาทางเคมีที่เป็นสาเหตุของการเสื่อมคุณภาพ

2) เพื่อเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็ง พัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ได้ไม่จำกัดรูปแบบ มีทั้งผลิตภัณฑ์แบบการแช่เยือกแข็งอย่างรวดเร็ว (IQF) ที่ใช้เป็นวัตถุดิบพร้อมปรุง ซึ่งสะดวกในการใช้ และยังพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์พร้อมรับประทานรูปแบบใหม่ๆ หรือได้ไม่จำกัด ทำให้กระจายสินค้าได้กว้างขวาง ช่วยเพิ่มมูลค่าจากวัตถุดิบพื้นฐาน เช่นเนื้อสัตว์ ผัก ผลไม้ สัตว์น้ำ อาหารทะเล

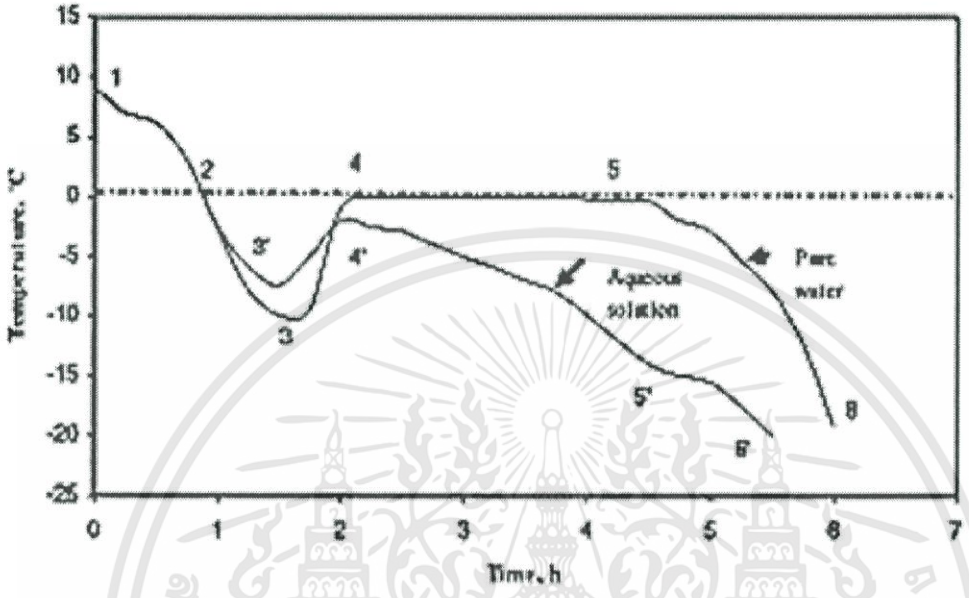
2.8.2 กระบวนการแช่แข็ง

เมื่อผลิตภัณฑ์อาหารถูกนำเข้าไปในสภาวะแช่แข็ง จะเริ่มกระบวนการสูญเสียความร้อนของอาหารเนื่องจากความร้อนภายในถูกนำออกจากอาหารสู่บรรยากาศภายนอก ที่บริเวณผิวของอาหารจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เร็วมากเมื่อเปรียบเทียบกับส่วนที่อยู่ภายในของชิ้นอาหาร การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์วัดได้ที่ศูนย์กลางของความร้อนจากการละลายของสารละลายและจนกระทั่งน้ำกลายเป็นน้ำแข็งใน รูปที่ 2.38 จุดที่ศูนย์กลางของความร้อนเย็นช้ามากซึ่งจะอยู่ตรงกลางของชิ้นอาหาร Freezing curve ของน้ำบริสุทธิ์ คือจุด 1-2-3-4-5-6 เมื่อความร้อนถูกนำออกไปจากน้ำอุณหภูมิก็เริ่มลดต่ำลงจนต่ำลงกว่าจุดเยือกแข็ง การนำความร้อนออกมาจากผลิตภัณฑ์อย่างรวดเร็วจึงเป็นสาเหตุให้เกิดผลึกในชิ้นอาหาร หลังจากนั้นอุณหภูมิจะคงที่ซึ่งตรงจุดนี้ที่เรียกว่าความร้อนแฝง เมื่อน้ำกลายเป็นน้ำแข็งทั้งหมด การนำความร้อนออกมาจากผลิตภัณฑ์อย่างรวดเร็วอีกจะทำให้เกิดการลดลงของอุณหภูมิ

เส้นกราฟ 1-2-3'-4'-5'-6' ใน รูปที่ 2.38 คือ Freezing curve ของผลิตภัณฑ์อาหาร สำหรับการแช่แข็งของผลิตภัณฑ์อาหาร อุณหภูมิภายในอาหารจะเป็นตัวตัดสินการหาจุดเยือกแข็งเมื่อความร้อนถูกเอาออก ในช่วงแรก (1-2) อุณหภูมิจะลดลงมาต่ำถึงจุดเยือกแข็ง และจะต่ำกว่า 0°c ตลอดเวลา จนกระทั่งมาถึงช่วงที่ 2 การนำความร้อนออกมาจากผลิตภัณฑ์อย่างรวดเร็วจะทำให้อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง (2-3') ช่วงนี้เรียกว่า super cooling temperature และที่เวลา 10°c ต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง super cooling temperature จะค่อนข้างมีอุณหภูมิสูงกว่าน้ำบริสุทธิ์เล็กน้อยเพราะว่าตัวทำละลายจะทำให้เกิดการเกิดผลึกจะช้ากว่า เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำบริสุทธิ์ เมื่อถึงช่วงที่ 3 (3'-4') การเกิดผลึกของน้ำจะเริ่มขึ้นและเนื่องจากการปล่อยความร้อนแฝงของการเกิดผลึก อุณหภูมิของมวลทั้งหมดจะมีการเพิ่มขึ้นกว่าจุดเยือกแข็งเล็กน้อย อุณหภูมินี้ที่เพิ่มขึ้นจะต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำบริสุทธิ์เล็กน้อยเนื่องจากการมีสารละลายต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของผลิตภัณฑ์ ในช่วงที่ 4 (4'-5') อุณหภูมิของอาหารเริ่มลดต่ำลงเมื่อเกิดการการนำความร้อนออกมาจากผลิตภัณฑ์อย่างรวดเร็ว อาหารซึ่งประกอบด้วยสารละลาย จะมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นมากว่าน้ำและจะกลายเป็นผลึกน้ำแข็ง การเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของสารละลายจะกดจุดเยือกแข็งของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาหารและด้วยเหตุนี้เส้นกราฟจึงไม่นิ่งไปตามแนวนอน ที่อุณหภูมิที่แน่นอน ซึ่งเรียกกันว่า eutectic point สารละลายตกผลึกหมด จนกระทั่งในช่วงที่ 5 (5'-6') อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ลดต่ำลงไปไปทางอุณหภูมิปานกลางของการแช่แข็ง



รูปที่ 2.38 กระบวนการแช่แข็ง

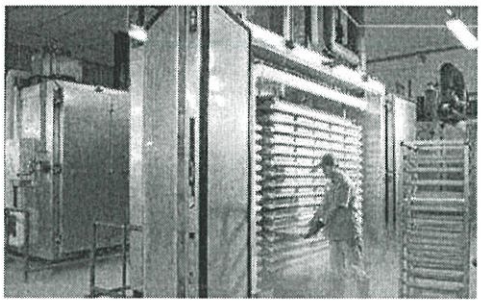
2.8.3 วิธีการแช่แข็งอาหาร

วิธีการแช่แข็งอาหารมีหลายวิธี ดังต่อไปนี้

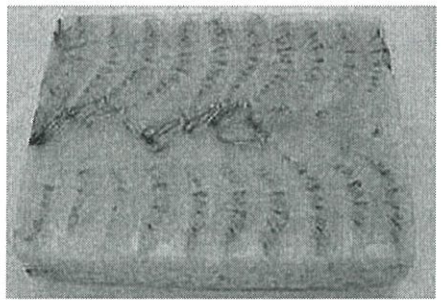
2.8.3.1 เครื่องแช่แข็งแบบแผ่น

เครื่องแช่แข็งแบบแผ่น (plate freezer) เป็นเครื่องแช่แข็งที่ใช้เพื่อการแช่แข็งแบบก้อนสี่เหลี่ยม ซึ่งหลักทำงานของเครื่องแช่แข็งชนิดนี้ คือ การวางอาหารแนบระหว่างแผ่นโลหะเย็นจัด ซึ่งมีสารทำความเย็นไหลเวียนอยู่ภายใน โดยใช้ไฮดรอลิกทำให้แผ่นโลหะเย็นเคลื่อนที่บีบแนบกับอาหารเกิดการถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อนจากแผ่นโลหะไปยังอาหารใช้กับอาหารที่มีขนาดและรูปร่างสม่ำเสมอ เป็นแผ่นหรือบรรจุในถาดโลหะ อาจมีการเติมน้ำ หรือสารละลาย เช่น น้ำเชื่อม น้ำเกลือ อาหารแช่เยือกแข็งที่ได้มีลักษณะเป็นก้อนสี่เหลี่ยมใช้เพื่อแช่แข็งผัก ผลไม้ และ อาหารทะเลแช่เยือกแข็ง เช่น กุ้ง ปลา ปลาหมึกชูริมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

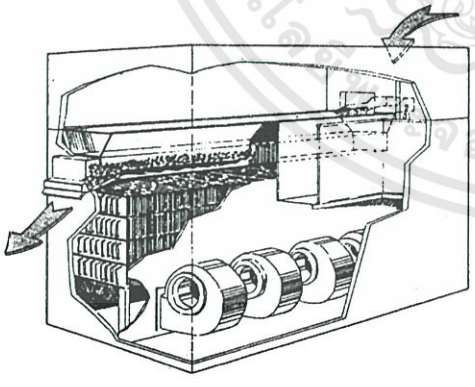


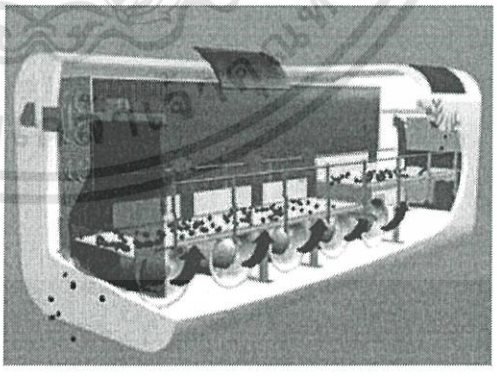
(ข)

รูปที่ 2.39 (ก) เครื่องแช่แข็งแบบแผ่น
(ข) ลักษณะการแช่แข็งแบบก้อนสี่เหลี่ยม

2.8.3.2 เครื่องแช่แข็งแบบฟลูอิไดซ์เบด

เครื่องแช่แข็งแบบฟลูอิไดซ์เบด (fluidized bed freezer) คือ เครื่องแช่แข็งที่ใช้ลมเย็นจัด ความเร็วสูง เป่าให้ชิ้นวัสดุลอยตัวเป็นอิสระ คลุกเคล้าและสัมผัสกับลมเย็นจัดอย่างสม่ำเสมอ ทำให้อุณหภูมิของอาหารลดลงอย่างรวดเร็ว เหมาะกับอาหารที่เป็นเม็ดเล็ก มีรูปทรงและขนาดสม่ำเสมอ เช่น เมล็ดถั่ว ผัก ผลไม้ขนาดเล็ก เช่น สตอรเบอรี่ บลูเบอรรี่ หรือผลไม้ ที่หั่นเป็นเต๋าชิ้นเล็ก เช่น แครอท ผลิตภัณฑ์อาหารแช่แข็งที่ได้เป็นแบบอาหารแช่แข็งซึ่งผ่านกระบวนการแช่แข็งอย่างรวดเร็ว (IQF) อาหารแต่ละชิ้นสัมผัสกับตัวกลางความเย็นโดยตรง การเกิดผลึกน้ำแข็งได้ผลึกขนาดเล็กในชิ้นของอาหาร ทำให้อาหารมีคุณภาพดี อาหารแช่แข็งมีลักษณะแยกจากกันเป็นชิ้นๆ ไม่เกาะกันเป็นก้อน อาหารที่นิยมแช่แข็งแบบการแช่แข็งอย่างรวดเร็วได้แก่ กุ้ง เนื้อสัตว์ ผัก ผลไม้ ที่หั่นเป็นชิ้น หรือ ที่มีขนาดเล็ก



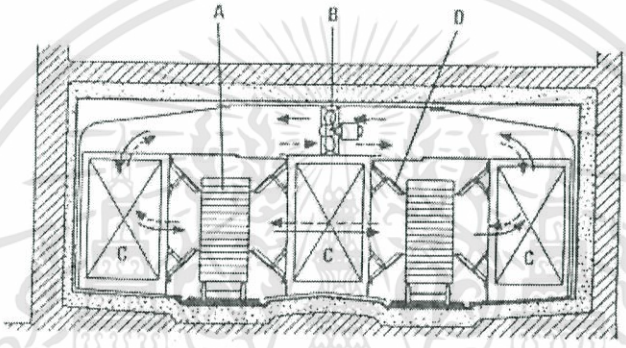


รูปที่ 2.40 เครื่องแช่แข็งแบบฟลูอิไดซ์เบด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.3.3 เครื่องแช่แข็งแบบอุโมงค์

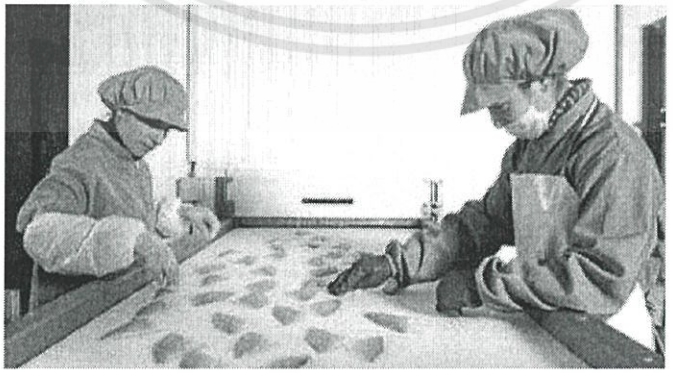
การแช่แข็งแบบอุโมงค์ (tunnel freezer) ต้องบรรจุผลิตภัณฑ์ลงในถาดแล้วนำถาดผ่านเข้าไปในอุโมงค์ที่มีลมเย็นพ่นอยู่ โดยใช้ลมเย็นที่มีอุณหภูมิ -29°C ถึง -45°C พัดผ่านอาหารด้วยความเร็วสูงมากประมาณ 2,000-3,000 ฟุตต่อนาที เป่าลงมาในทิศทางตรงกันข้ามกับการเคลื่อนที่ของอาหาร ทำให้เกิดการเยือกแข็งอย่างรวดเร็วขึ้น กระบวนการแช่แข็งมักเป็นระบบต่อเนื่อง ผลิตภัณฑ์อาจวางซ้อนกันเป็นชั้นๆ บนรถเข็นหรือรถยก แล้วเลื่อนเข้าไปวางในช่องอุโมงค์ลม หรืออาจใช้ราวแขวนซากของสัตว์ผ่านเข้าไปก็ได้ เหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่มีระยะเวลาแช่แข็งนานและต้องการปริมาณการแช่แข็งครั้งละมากๆ การแช่แข็งด้วยวิธีนี้ผักและผลไม้ควรมีการบรรจุภาชนะหรือหีบห่อให้เรียบร้อยก่อน เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำหรือความชื้นในผลิตภัณฑ์มากเกินไป ซึ่งทำให้อาหารมีการสูญเสียน้ำหนักหรือแห้งลง



รูปที่ 2.41 เครื่องแช่แข็งแบบอุโมงค์

2.8.3.4 เครื่องแช่แข็งแบบสายพานวน

เครื่องแช่แข็งแบบสายพานวน(spiral freezer) เป็นเครื่องแช่แข็งที่ใช้เพื่อแช่แข็งอาหาร จัดอยู่ในกลุ่มเครื่องแช่แข็งที่ใช้การพ่นลมเย็นจัดระบบต่อเนื่อง โดยอาหารจะเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องด้วยสายพานซึ่งขดวนเป็นเกลียวเข้าไปในเครื่องแช่แข็ง เมื่ออุณหภูมิใจกลางของอาหารต่ำกว่า -18 °C อาหารก็เคลื่อนที่ออกมา เครื่องแช่แข็งแบบสายพานเกลียวประหยัดพื้นที่ในการติดตั้ง นิยมใช้ในการผลิตอาหารแช่แข็งแบบรวดเร็ว (IQF) เช่น เนื้อสัตว์ กุ้ง อาหารทะเล ผัก ผลไม้

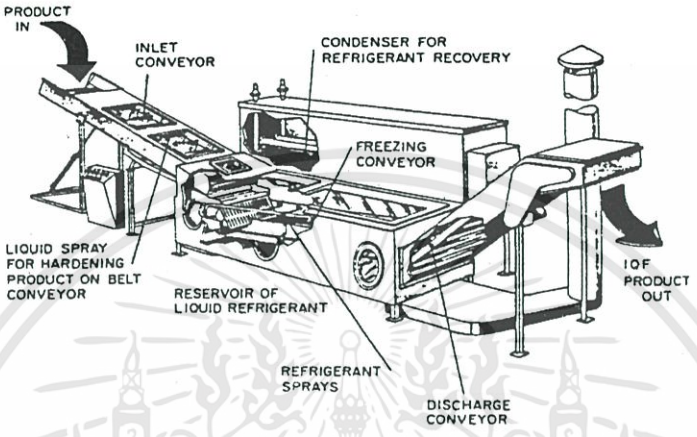


รูปที่ 2.42 วิธีการแช่แข็งแบบสายพานวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.3.5 การแช่แข็งแบบจุ่ม

การแช่แข็งแบบจุ่ม(immersion freezing) คือ การแช่แข็งวิธีหนึ่งโดยนำอาหารจุ่มในของเหลวที่เย็นจัด เพื่อให้อุณหภูมิของอาหารลดลงต่ำกว่า-18°C การแช่แข็งแบบจุ่มมีสมบัติคือ มีจุดเยือกแข็งต่ำอยู่ในสภาวะของเหลวที่อุณหภูมิต่ำมาก ความหนืดต่ำเพื่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้ดี ไม่เป็นพิษ ไม่มีกลิ่น ไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของอาหาร



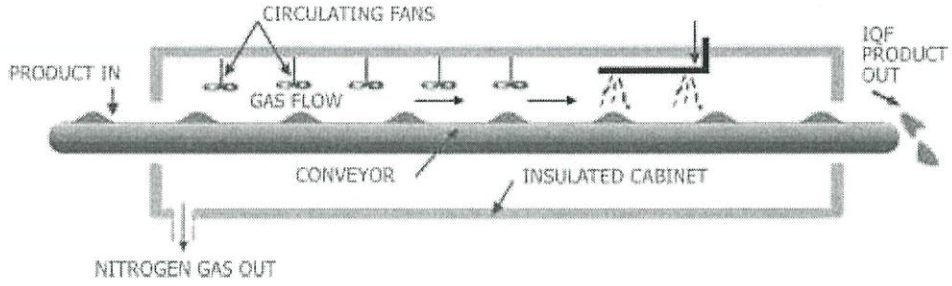
รูปที่ 2.43 เครื่องแช่แข็งแบบจุ่ม

2.8.3.6 การแช่แข็งด้วยสารไครโอเจน

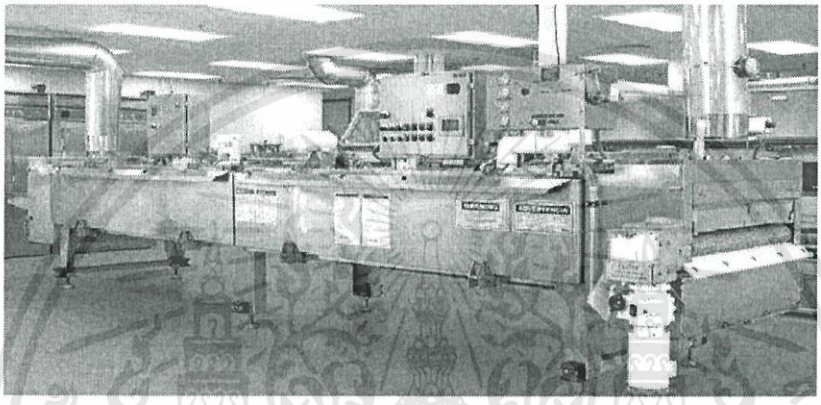
การแช่แข็งด้วยสารไครโอเจน (cryogenic freezing) คือ การแช่เยือกแข็งโดยการใช้สารไครโอเจนซึ่งเป็นของเหลวที่มีจุดเดือดต่ำมาก เมื่อสัมผัสกับอาหารจะเดือดและดึงความร้อนแฝงออกจากอาหารเพื่อการเปลี่ยนสถานะ ทำให้อุณหภูมิอาหารลดลงอย่างรวดเร็ว ทำให้น้ำในอาหารเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นน้ำแข็ง เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กสม่ำเสมอกระจายทั่วไป ทำให้อาหารแช่แข็งมีคุณภาพดี การแช่แข็งแบบไครโอเจนเป็นการแช่แข็งอย่างรวดเร็วมากผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้เป็นแบบการแช่แข็งอย่างรวดเร็ว (IQF) การแช่แข็งแข็งอาหารด้วยวิธีนี้ทำได้โดยการจุ่มลงอาหารลงสารไครโอเจน หรือ พ่นสารไครโอเจนลงบนผิวหน้าของอาหารโดยตรง

สารไครโอเจนที่นิยมใช้ในการแช่แข็งอาหารได้แก่ไนโตรเจนเหลว คาร์บอนไดออกไซด์เหลว อาหารที่ใช้วิธีการแช่แข็งด้วยสารไครโอเจน คือ อาหารทะเลแช่แข็ง เนื้อสัตว์แช่แข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



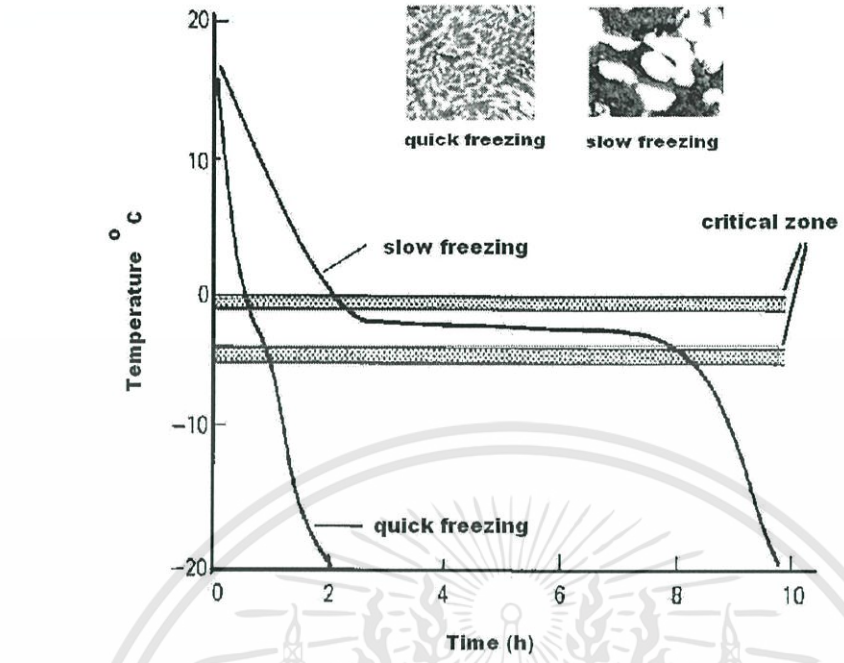
(ข)

รูปที่ 2.44 (ก) โครงสร้างของเครื่องแช่แข็งแบบไครโอจินิก
(ข) เครื่องแช่แข็งแบบไครโอจินิก

2.8.4 การเกิดผลึกน้ำแข็ง

การเกิดผลึกน้ำแข็ง เป็นการเปลี่ยนสถานะของน้ำจากของเหลวเป็นของแข็ง การเกิดผลึกน้ำแข็งในการแช่แข็งอาหารขึ้นอยู่กับอัตราการแช่แข็ง และมีผลต่อคุณภาพของอาหารแช่แข็งที่ได้ การแช่แข็งอย่างเร็วทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กกระจายทั่วชิ้นอาหาร อาหารแช่แข็งมีคุณภาพดี เมื่อนำมาละลายน้ำแข็งจะสูญเสียของเหลวน้อย ส่วนการแช่แข็งอย่างช้าทำให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่ เมื่อนำมาละลายจะสูญเสียของเหลวมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

(ข)

รูปที่ 2.45 (ก) กระบวนการเกิดผลึกน้ำแข็ง
(ข) การเกิดผลึกน้ำแข็งของการแช่แข็งอย่างเร็วและช้า

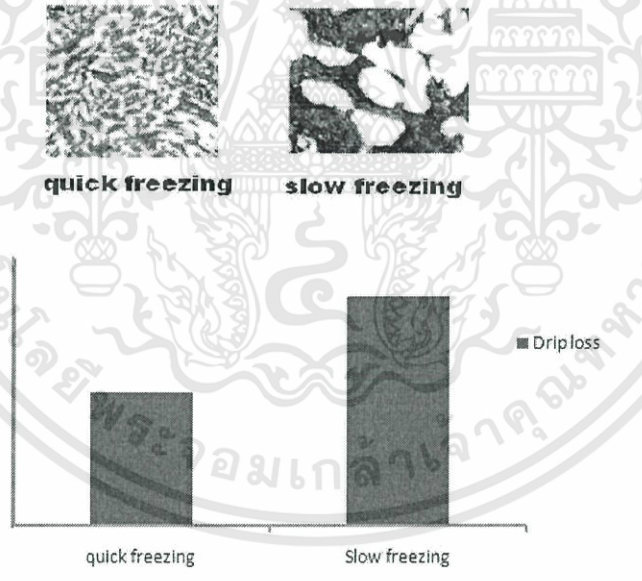
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.5 อัตราการแช่แข็ง

อัตราการแช่แข็ง หมายถึง ผลต่างของอุณหภูมิก่อนการแช่แข็งและอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์หลังการแช่แข็งหารด้วยระยะเวลาที่ใช้ในการแช่แข็ง อัตราการแช่แข็งมีผลกับการเกิดผลึกน้ำแข็งต่อคุณภาพของอาหารแช่แข็งที่ได้ในการแช่แข็งอาหาร ขึ้นอยู่กับการแช่แข็งอย่างเร็วทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็ก กระจายทั่วชิ้นอาหาร อาหารแช่แข็งมีคุณภาพดี เมื่อนำมาละลายน้ำแข็งจะสูญเสียของเหลวน้อย ส่วนการแช่แข็งอย่างช้าทำให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่ เมื่อนำมาละลายจะสูญเสียของเหลวมาก

2.8.6 การสูญเสียของเหลว

การสูญเสียของเหลว หมายถึง การทำให้สูญเสียน้ำหนักของอาหารแช่แข็งเมื่อนำมาละลาย เกิดจากการแช่แข็งอย่างช้า มีอัตราแช่แข็งต่ำ ทำให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่ ทำลายเซลล์อาหาร เมื่อนำอาหารแช่แข็งมาละลายทำให้อาหารสูญเสียน้ำ ของแข็งที่ละลายในน้ำทำให้อาหารสูญเสียคุณภาพอาหารด้านต่างๆ เช่น เนื้อสัมผัส รสชาติ คุณค่าทางโภชนาการ การเกิดการสูญเสียของเหลวมักเกิดกับอาหารสดเช่น อาหารทะเลแช่แข็ง ผัก ผลไม้เนื้อสัตว์ การสูญเสียของเหลวอาจเกิดขึ้นเนื่องจากการเกิดผลึกน้ำแข็งใหม่ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างการเก็บรักษาและการจัดจำหน่ายอาหารแช่แข็ง



รูปที่ 2.46 การสูญเสียของเหลวของการแช่แข็งอย่างเร็วและช้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 การประมาณเวลาการแช่แข็ง (Freezing time)

อัตราการแช่แข็งมีอิทธิพลต่อเวลาการแช่แข็ง และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถอธิบายได้ถึงความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายใน และอุณหภูมิภายนอกของผลิตภัณฑ์หารด้วย**เวลาการแช่แข็ง** (°C/s) ซึ่งสามารถแสดงอัตราส่วนระหว่างอุณหภูมิที่ผิวอาหารกับอุณหภูมิตรงกลางชิ้นอาหาร และเวลาที่ผ่านไประหว่างอุณหภูมิที่ผิวที่ 0°C และอุณหภูมิที่กึ่งกลางที่ 5°C ต่ำกว่าอุณหภูมิภายในของผลึกน้ำแข็งที่ศูนย์กลางการระบายความร้อน

การประมาณอัตราการแช่แข็ง เป็นหลักการหลักของการแช่แข็งของการประกอบผลิตภัณฑ์อาหารแช่แข็งต่างๆ **เวลาการแช่แข็ง**สามารถใช้ตัดสินว่าต้องใช้ความเย็นเท่าไหร่ในกระบวนการการแช่แข็ง หลักการการสกัดกั้นความร้อน เวลาที่ใช้ลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ให้ต่ำถึงอุณหภูมิที่จุดเยือกแข็งภายในที่ใช้ในการประมาณค่าเหล่านี้ เนื่องจากการแช่แข็งความร้อนจะถูกนำออกจากภายในชิ้นอาหารสู่ภายนอกของชิ้นอาหาร และถูกพาความร้อนไปโดยการแช่เยือกแข็งปานกลาง ปัจจัยที่ส่งอิทธิพลต่อกระบวนการนี้ได้แก่ การนำพาความร้อน ความหนาของชิ้นอาหาร ความหนาแน่น พื้นที่ผิวของชิ้นอาหาร ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์และอุณหภูมิของการแช่แข็ง และความต้านทานความร้อนของชั้นผิวล้อมรอบผลิตภัณฑ์

เวลาที่ใช้ในการแช่แข็งสามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ช่วงคือ

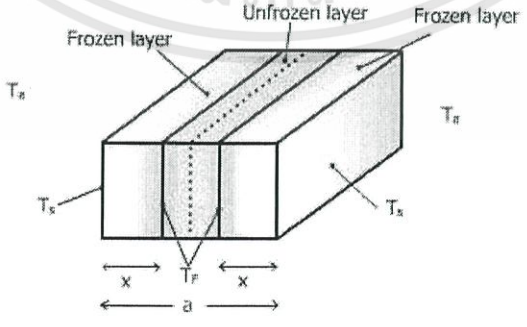
1) Pre-cooling time เป็นช่วงที่ใช้ความร้อนสัมผัสในการลดอุณหภูมิอาหารลงไปจนถึงจุดเยือกแข็ง

2) Freezing time เป็นช่วงที่ใช้ในการเปลี่ยนสถานะน้ำในอาหารให้แข็งตัวด้วยความร้อนแฝง

3) Sub-cooling time เป็นช่วงที่ลดอุณหภูมิของอาหารลงไปด้วยการขจัดความร้อนสัมผัสจนถึงอุณหภูมิใจกลางอาหาร -10 °C ถึง -18 °C

2.9.1 สมการของแพลงค์

สมการของแพลงค์ เป็นสมการที่มีการใช้กันมาอย่างยาวนานและยังเป็นที่นิยม โดยแพลงค์(1913)เป็นผู้เผยแพร่ ในสมการนี้ตั้งอยู่ในสมมติฐานที่ว่าการถ่ายโอนความร้อนภายในชิ้นอาหารเกิดจากการนำความร้อนแต่เพียงอย่างเดียว สมบัติทางกายภาพของชิ้นอาหารมีค่าคงที่ตลอดการแช่แข็ง ไม่คิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของน้ำในอาหาร ชิ้นอาหารมีอุณหภูมิจุดเยือกแข็งเท่ากันตลอดทั้งชิ้น



รูปที่ 2.47 สมมติฐานในการหาเวลาในการแช่แข็งโดยอาศัยสมการของแพลงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.47 เราจะเห็นว่าลักษณะของถ่ายโอนความร้อนในชิ้นอาหารแบบแผ่นนี้มี 2 แบบด้วยกัน คือ

1) การถ่ายโอนความร้อนแบบพาความร้อนโดยอาศัยลมเย็นไปยังผิวหน้าของอาหาร โดยอาศัยสมการของนิวตันคือ

$$q = hA(T_a - T_s) \tag{2.13}$$

2) การถ่ายโอนความร้อนแบบนำความร้อนจากผิวหน้าของอาหารไปยังใจกลางของชิ้นอาหาร สมการที่ใช้คือ

$$q = kA\frac{T_s - T_F}{\Delta x} \tag{2.14}$$

การคำนวณจะตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่าแหล่งลมเย็นสัมผัสกับชิ้นอาหารทุกทิศทุกทาง ดังนั้นระยะทางที่อาหารจะเกิดการแข็งตัวก็คือ ระยะที่สั้นที่สุดอันได้แก่ครึ่งหนึ่งของความหนาของตัวชิ้นอาหาร ระยะเวลาในการแช่แข็งจะคิดเฉพาะช่วงที่ใช้ความร้อนแฝงในการปลี่ยนสถานะของน้ำในอาหารให้เปลี่ยนไปเป็นน้ำแข็งเท่านั้น โดยที่ไม่ได้คิดช่วงลดอุณหภูมิลงมาก่อนหน้านั้น ซึ่งเป็นจุดบอดสำคัญของสมการของแพลงค์

เมื่อรวมสมการที่ 2.13 และ 2.14 เข้าด้วยกันจะได้

$$\frac{q}{a} = \frac{T_F - T_a}{\frac{1}{h} + \frac{\Delta x}{k}} \tag{2.15}$$

เทอมทางขวาของสมการคือ ผลรวมของค่าความต้านทานในการถ่ายโอนความร้อนซึ่งได้จากการพาความร้อนที่ผิวหน้า และการนำความร้อนภายในชั้นอาหารแช่แข็ง

อัตราเร็วในการแช่แข็งสามารถคำนวณจากปริมาณความร้อนแฝงคือ

$$q = mL \tag{2.16}$$

ในสมการที่ (2.16) แปลงมวล (m) ของน้ำแข็งที่ค่อยๆแข็งตัวได้คือ

$$q = \rho L\frac{dx}{dt} \tag{2.17}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความร้อนแฝงมีค่าเท่ากับระยะทางที่น้ำแข็งค่อยๆแข็งตัวจากผิวนอกเข้าสู่ใจกลางชิ้นอาหาร (dx) ต่อเวลา(dt)

$$mL = \rho L \frac{dx}{dt} \tag{2.18}$$

จากนั้นแทนค่า $\frac{q}{a}$ ด้วยเทอมทางขวาของสมการลงในสมการที่(2.15)จะได้

$$\rho L \frac{dx}{dt} = \frac{(T_F - T_a)}{\frac{1}{h} + \frac{\Delta x}{k}} \tag{2.19}$$

พลังงานความร้อนแฝงที่ใช้ในการเปลี่ยนสถานะ มีค่าเท่ากับปริมาณความร้อนที่ต้องดึงออกจากชิ้นอาหารโดยอาศัยลมเย็นก็คือ เทอมทางขวาของสมการ

จากนั้นทำการย้ายข้างสมการ เอา dt ไปอีกด้านหนึ่ง แล้วทำการอินทิกรัลจำกัดเขตตามลำดับ

$$\int_0^{t_F} dt = \int_0^{a/2} \frac{\rho L}{T_F - T_a} \left[\frac{1}{h} + \frac{x}{k}\right] dx \tag{2.20}$$

เทอมทางขวาของสมการอินทิกรัล dt ตั้งแต่เวลา 0 จนถึงเวลาที่ชิ้นอาหารแข็งตัวทั้งหมด t_F ส่วนเทอมทางซ้ายของสมการอินทิกรัลระยะทางที่น้ำแข็งเริ่มแข็งตัว dx โดยเริ่มตั้งแต่ 0 จนถึงระยะทางครึ่งหนึ่งของความหนาชิ้นอาหาร a ก็จะได้

$$\int_0^{t_f} dt = \frac{\rho L}{T_F - T_a} \int_0^{a/2} \left[\frac{1}{h} + \frac{x}{k}\right] dx$$

$$t_{f-0} = \frac{\rho L}{T_F - T_a} \left[\frac{1}{h}\int_0^{a/2} dx + \frac{1}{k}\int_0^{a/2} x\, dx\right]$$

$$t_F = \frac{\rho L}{T_F - T_a} \left[\frac{a}{2h} + \frac{a^2}{8k}\right] \tag{2.21}$$

โดยสมการที่ 2.21 นี้ใช้กับอาหารที่เป็นแผ่น(slab) ส่วนสมการทั่วไปคือ

$$t_F = \frac{\rho L}{T_F - T_a} \left[\frac{Pa}{h} + \frac{Ra^2}{k}\right] \tag{2.22}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย t_F = เวลาในการแช่แข็ง (s)

ρ = ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ (kg/m^3)

L = ความร้อนแฝงของการหลอมเหลว (J/kg)

T_F = อุณหภูมิภายในของชิ้นอาหาร (°K)

T_a = อุณหภูมิของ freezing medium (°K)

a = ความหนาของชิ้นอาหาร หรือเส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกลมและทรงกระบอก (m)

h = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผิว (W/m^2K)

k = สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอาหารแช่แข็ง (W/m.K)

P และ R = ค่าคงที่ที่เกี่ยวเนื่องกับรูปทรงทางเลขาคณิต

สี่เหลี่ยมชิ้นบาง ; $P = 1/2, R = 1/8$

เป็นทรงกระบอกยาวมาก ; $P = 1/4, R = 1/16$

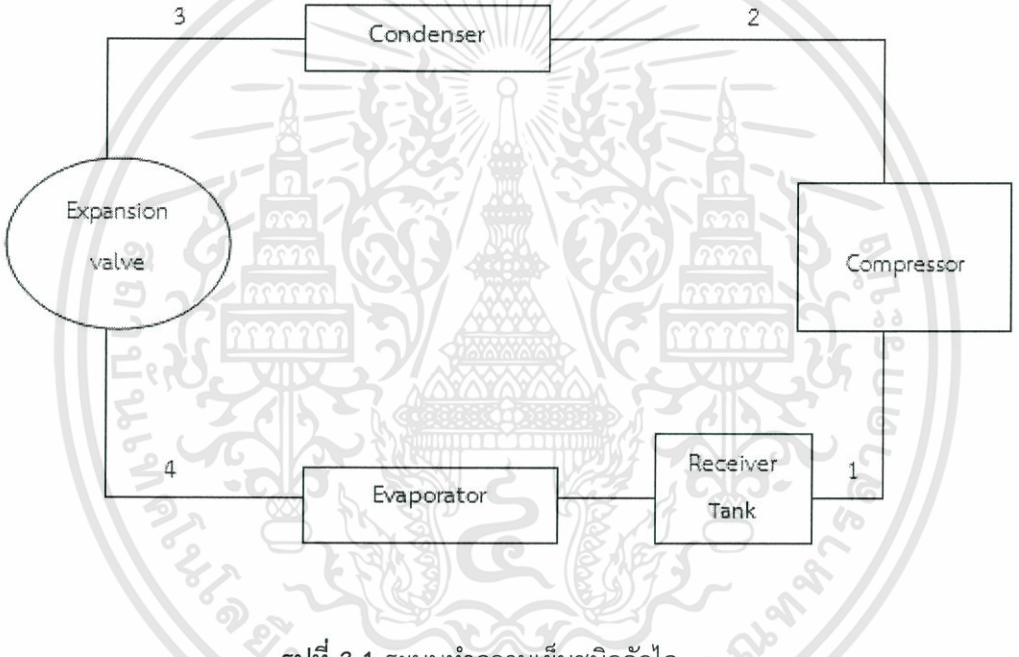
เป็นทรงกลมหรือลูกบาศก์ (cube) ; $P = 1/6, R = 1/24$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบ

3.1 กล่าวนำ

ในการออกแบบเครื่องทำน้ำแข็งนั้นทางคณะผู้จัดทำได้ออกแบบโดยใช้หลักการของเทอร์โม-ไดนามิกส์ และระบบทำความเย็นชนิดอัดไอ โดยมีอุปกรณ์ทำงานหลักอยู่ 4 ส่วนหลัก คือ คอมเพรสเซอร์(Compressor) คอนเดนเซอร์(Condenser) อีวาโปเรเตอร์(Evaporator) เอ็กซ์แปนชั่นวาล์ว(Expansion valve) และอุปกรณ์เสริมคือ รีซีฟเวอร์(Receiver Tank) แอคคิวมูเลเตอร์(Accumulator) ฟิลเตอร์ไดรเออร์(Filter Drier) วาล์วบริการ(Service valve) โดยที่อุปกรณ์เหล่านี้หาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาดสามารถนำมาสร้างเครื่องแช่แข็งได้

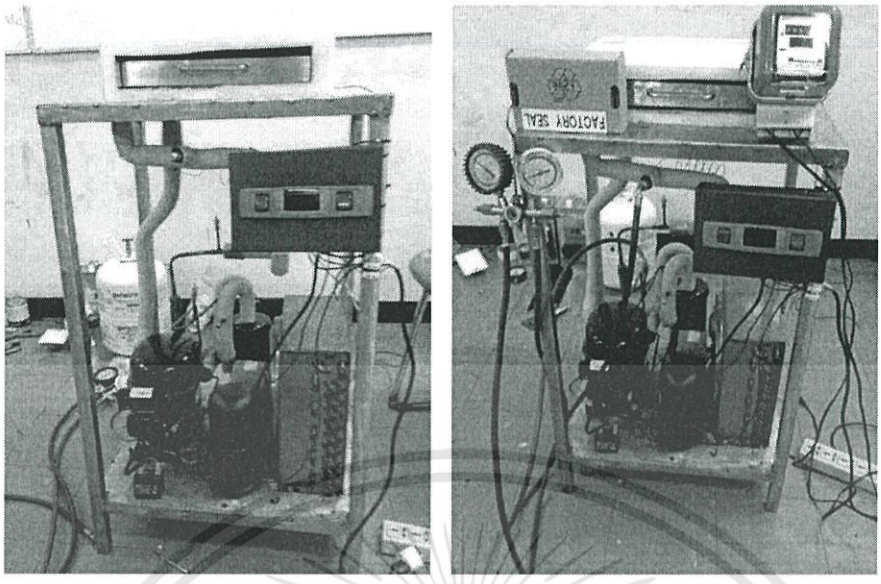


รูปที่ 3.1 ระบบทำความเย็นชนิดอัดไอ

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

การทดลองคณะผู้จัดทำได้ออกแบบเครื่องแช่แข็งขนาดเล็กขึ้นซึ่งมีการปรับปรุงมาจากเครื่องทำน้ำแข็งขนาดเล็กโดยออกแบบให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 ชุดอุปกรณ์ในการทดลอง

3.2.1 คอมเพรสเซอร์ (Compressor)

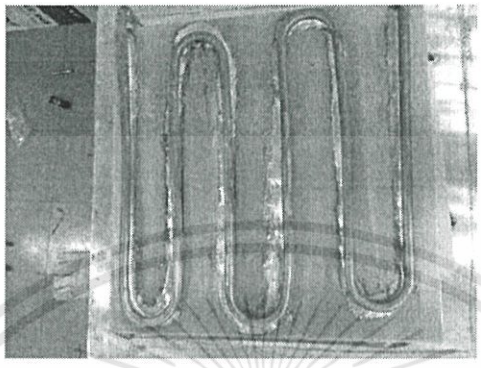
คอมเพรสเซอร์ทำหน้าที่อัดไอของสารทำความเย็นที่มีความดันต่ำให้มีความดันสูง เรียกว่าระบบการอัดไอ ในการออกแบบเครื่องแช่แข็งจะใช้แบบหุ้มปิด(Hermetic Compressor) ชนิดลูกสูบ ที่ถูกสร้างขึ้นมาให้กับอุปกรณ์ต้นกำลังที่อยู่ในเปลือกหุ้มสนิทเดียวกัน และแกนโรเตอร์ของมอเตอร์เป็นชิ้นเดียวกับเพลาข้อเหวี่ยงเป็นอินดักชันมอเตอร์ชนิด 2 ขั้วใช้แหล่งจ่าย 220 V 50 Hz กระแส 0.58 A และมีความเร็วรอบที่ 2,850 rpm คณะผู้จัดทำได้เลือกใช้คอมเพรสเซอร์ยี่ห้อ กุล ธร รุ่น AE2413Y ซึ่งเป็นคอมเพรสเซอร์ที่ใช้ในการทำอุณหภูมิต่ำ และสามารถใช้กับสารทำความเย็น R134A ซึ่งเป็นสารทำความเย็นที่หาซื้อได้ง่าย และมีคุณสมบัติไม่ติดไฟ ทำให้มีความปลอดภัยในการใช้งาน

รูปที่ 3.3 คอมเพรสเซอร์แบบหุ้มปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 อีวาโปเรเตอร์ (Evaporator)

คณะผู้จัดทำได้ออกแบบอีวาโปเรเตอร์ให้มีลักษณะขดไปขดมาโดยพันอยู่รอบช่องแช่แข็ง โดยใช้ท่อทองแดงขนาด 3/8 ในการพันรอบช่องแช่แข็งโดยทำการบัดกรีท่อทองแดงให้ติดกับช่องแช่แข็งด้วยตะกั่วเพื่อให้แนบสนิทกันช่วยให้การดูดความร้อนออกจากระบบทำได้ดียิ่งขึ้น



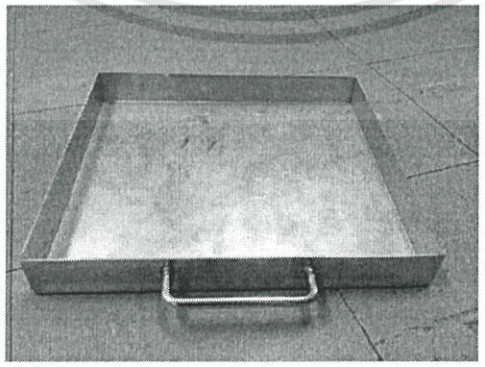
รูปที่ 3.4 อีวาโปเรเตอร์

3.2.2.1 ช่องแช่แข็ง

คณะผู้จัดทำได้ออกแบบช่องแช่แข็งขึ้นมาโดยเลือกใช้แสตนเลส 304 มาทำ เพราะแสตนเลส 304 มีคุณสมบัติไม่เป็นสนิมและมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการแช่อาหาร ซึ่งการออกแบบนั้นจะออกแบบให้มีลักษณะเป็นกล่องขนาด 30x30x5 cm โดยมีช่องไว้สำหรับใส่ Freeze Place อยู่ด้านข้างเพื่อให้มีหน้าตัดให้รับความเย็นมากที่สุดเพื่อช่วยให้การถ่ายเทความร้อนออกจากช่องแช่แข็งมีประสิทธิภาพที่สุด

3.2.2.2 Freeze Place

คณะผู้จัดทำได้ออกแบบ Freeze Place ซึ่งเป็นช่องที่ไว้ใส่อาหารเพื่อทำการแช่แข็งให้มีขนาด 29.8x29.8x3.5 cm ซึ่งทำจากแสตนเลส 304 เหมือนกับช่องแช่แข็ง ซึ่งตัว Freeze Place จะสอดเข้าไปในช่องแช่แข็งในลักษณะเหมือนกับลิ้นชัก ซึ่งตัว Freeze Place จะมีความสูงน้อยกว่าช่องแช่แข็งเพื่อช่วยให้เวลาทำการแช่แข็งเสร็จแล้วจะสามารถดึงออกมาได้ง่าย

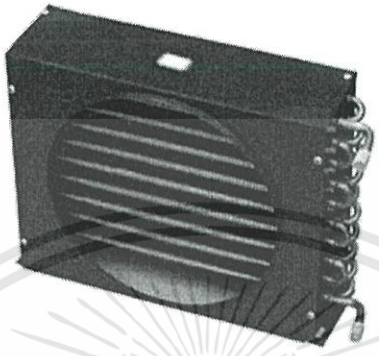


รูปที่ 3.5 Freeze Place

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 คอนเดนเซอร์ (Condenser)

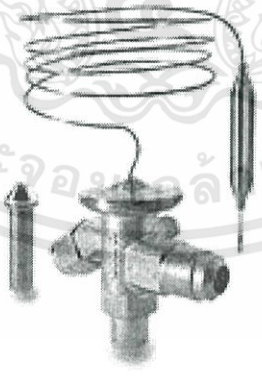
คณะผู้จัดทำได้ออกแบบใช้คอนเดนเซอร์ระบายความร้อนด้วยอากาศแบบใช้พัดลม ซึ่งภายในจะมีท่อสารทำความเย็นขดไปขดมา ด้านหนึ่งจะมีลักษณะเป็นครีบและมีช่องว่างเพื่อให้อากาศสามารถถ่ายเทได้สะดวกอีกด้านหนึ่งจะใช้พัดลมในการดูดความร้อนออกจากคอนเดนเซอร์



รูปที่ 3.6 คอนเดนเซอร์ระบายความร้อนด้วยอากาศแบบใช้พัดลม

3.2.4 วาล์วควบคุมการไหล (Expansion valve)

คณะผู้จัดทำได้เลือกใช้ให้มีขนาดเหมาะสมกับคอมเพรสเซอร์ และช่วงอุณหภูมิที่ต้องการในการทำความเย็น โดยวาล์วควบคุมการไหลซึ่งใช้แบบวาล์วขยายตัวเทอร์โมสแตติก (TEV) ทำหน้าที่เป็นวาล์วขยายตัว ซึ่งอาศัยการควบคุมอุณหภูมิที่ทางออกของอีวาโปเรเตอร์ ด้วยการติดตั้งกระเปาะตรวจจับอุณหภูมิบริเวณท่อทางออกของอีวาโปเรเตอร์ แล้วส่งสัญญาณผลของการวัดไปตามท่อรูเล็กที่เป็นท่อนำสู่ตัววาล์ว



รูปที่ 3.7 วาล์วขยายตัวเทอร์โมสแตติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

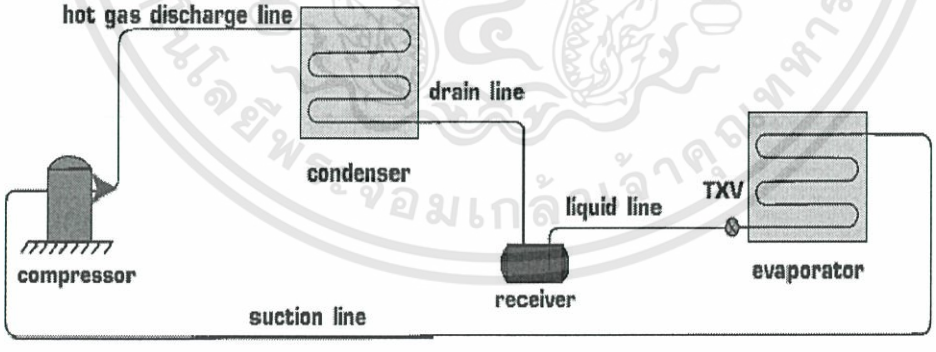
3.2.5 สารทำความเย็น (Refrigent)

สารทำความเย็นที่ใช้ในการทดลองคือ R134a Tetrafluoroethane (CH2FCF3) เหมาะสำหรับในการทำความเย็นคือ สามารถรับปริมาณความร้อนได้จำนวนมาก ระเหยที่อุณหภูมิต่ำ สามารถใช้ซ้ำได้ ไม่กัดกร่อน ไม่ติดไฟ ไม่เป็นพิษ ไม่เป็นอันตรายต่อชั้นโอโซน มีจุดเดือดเท่ากับ -15°F (-26.2°C) ที่ความดันบรรยากาศ โดยสามารถใช้กับคอมเพรสเซอร์ยี่ห้อกุลธร รุ่น AE2413Y ได้เป็นอย่างดีเพราะจะไม่รวมตัวกับน้ำมันหล่อลื่นของคอมเพรสเซอร์

รูปที่ 3.8 สารทำความเย็น R134a

3.2.6 การออกแบบขนาดท่อ

ท่อสารทำความเย็นจะเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ โดยแต่ละช่วงจะมีขนาดและรูปแบบในการติดตั้งแตกต่างกัน ซึ่งสามารถแยกพิจารณาท่อออกเป็นช่วงๆ ได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.9 แสดงท่อสารทำความเย็นที่เชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบขนาดท่อใช้คอมเพรสเซอร์ยี่ห้อกุลธร รุ่น AE2413Y สารทำความเย็น R-134a โดยขนาดท่อช่วงต่างๆ มีดังนี้

1) ท่อสารทำความเย็นด้านส่งจากคอมเพรสเซอร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1/4 นิ้ว
2) ท่อระบายสารทำความเย็นเหลวจากคอนเดนเซอร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1/4 นิ้ว
3) ท่อส่งสารทำความเย็นเหลวจากรีซีฟเวอร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3/8 นิ้ว
4) ท่อส่งสารทำความเย็นด้านดูดจากอีวาโปเรเตอร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3/8 นิ้ว

3.3 ความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน

การปฏิบัติงานทำความเย็นนั้นคือการปฏิบัติที่เกี่ยวข้องกับการติดตั้งและการตรวจซ่อมการบำรุงรักษา รวมถึงการวิเคราะห์ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในระบบ ซึ่งจะเป็นการปฏิบัติที่มีโอกาสที่จะเกิดอันตรายได้จากสาเหตุต่างๆ ทั้งจากปัญหาในระบบไฟฟ้าและระบบเครื่องกล เช่น ปัญหาจากสารทำความเย็น ปัญหาจากกระแสไฟฟ้า ความร้อน ความเย็น สารเคมี หรืออันตรายที่เกิดจากการทำงานของอุปกรณ์และชิ้นส่วนต่างๆในระบบ ดังนั้นผู้ที่เกี่ยวข้องจะต้องทำการศึกษาถึงวิธีที่จะปฏิบัติอย่างถูกต้องปลอดภัย เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นกับเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้งานได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอันตรายต่อผู้ปฏิบัติหรือผู้ใช้งานในระบบทำความเย็น

3.3.1 อันตรายที่เกิดจากสารทำความเย็น

ข้อควรระวังในการปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับสารทำความเย็นมีดังนี้

1) บริเวณปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับสารทำความเย็นจะต้องมีอากาศถ่ายเทได้ดีเพราะอาจจะมีสารทำความเย็นรั่วออกจากระบบ และเนื่องจากคุณสมบัติที่หนักกว่าอากาศทำให้สารทำความเย็นกระจายไปแทนที่อากาศในห้อง ทำให้เกิดการขาดออกซิเจนเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานในบริเวณนั้นๆ

2) ปล่อยสารทำความเย็นออกจากระบบให้หมด ปล่อยไนโตรเจน หรือคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านก่อนใช้แก๊สเชื่อมหรือตัดอุปกรณ์ในระบบ ห้ามเชื่อมอุดรอยรั่วในขณะที่ภายในระบบยังมีสารทำความเย็นอยู่ เนื่องจากเมื่อสารทำความเย็นได้รับความร้อนจะมีอัตราการขยายตัวสูงมากอาจจะทำให้เกิดการระเบิดอย่างรุนแรง หรือเมื่อสารทำความเย็นสัมผัสกับเปลวไฟขณะเชื่อมจะเกิดการเผาไหม้ได้แก๊สพิษที่ไม่มีสีแต่มีกลิ่นฉุนเป็นอันตรายต่อร่างกาย

3) สวมถุงมือและใส่แว่นตาเมื่อปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับสารทำความเย็นเนื่องมาจากการที่สารทำความเย็นทั่วไปมีจุดเดือดที่ต่ำมาก เช่น R-22 ภายใต้ความดันบรรยากาศและสัมผัสกับผิวหนังหรือดวงตา จะทำให้เกิดการเปลี่ยนสถานะเป็นไออย่างรุนแรงและเกิดความเย็นจัด จึงทำให้เกิดการบาดเจ็บเนื่องจากผิวหนังหรือดวงตาถูกลดอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว จะเกิดน้ำแข็งจับบริเวณนั้นเป็นการบาดเจ็บเนื่องจากถูกความเย็นจัด (Frostbite) ซึ่งจะเกิดอาการเจ็บปวดคล้ายถูกไอน้ำหรือน้ำร้อนลวก ซึ่งถ้าเกิดเหตุการณ์ดังกล่าวให้รีบแก้ไขโดยการใช้น้ำจากก๊อกที่สะอาดปล่อยผ่านผิวหนังหรือดวงตาที่ถูกสารทำความเย็นเพื่อปรับอุณหภูมิที่เย็นจัดให้คืนสภาพปกติสวมถุงมือเมื่อจะปฏิบัติงานที่เกี่ยวกับคอมเพรสเซอร์ชนิดปิดหรือกึ่งปิด ที่อาจจะได้รับความเสียหายจากมอเตอร์ไหม้ เนื่องจากสารทำความเย็นที่อยู่ในระบบจะเกิดปฏิกิริยากลายเป็นกรดซึ่งจะทำอันตรายต่อผิวหนังได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ห้ามใช้ท่อหรือสายยางจุ่มในถังเพื่อดูดสารทำความเย็นจากถัง (Siphoning) เพราะอาจจะทำให้สารทำความเย็นเข้าในปากเกิดอันตรายได้

5) ในกรณีของเหลวค้างอยู่ในท่อหรือถูกกักเก็บอยู่ในอุปกรณ์ในช่วงที่ระบบมีอุณหภูมิต่ำ จะต้องระมัดระวังการเกิดอันตรายเนื่องจากการขยายตัวของสารทำความเย็นเหลวคือหลังจากระบบหยุดสร้างความเย็น บริเวณรอบๆมีอุณหภูมิสูงขึ้น ถ้าไม่มีที่ว่างสำหรับการขยายตัวของสารทำความเย็นเหลวจะทำให้เกิดความดันภายในสูงขึ้นจนเกิดการระเบิดอย่างรุนแรงได้

3.3.2 อันตรายที่เกิดจากถังความดัน

ถังความดันที่ใช้เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติงานทำความเย็น ได้แก่ ถังบรรจุสารทำความเย็น ถังแก๊สออกซิเจนสำหรับใช้ในงานเชื่อมถังแก๊สไนโตรเจน หรือคาร์บอนไดออกไซด์สำหรับงานตรวจสอบรอยรั่วหรือทำความสะอาดระบบ หรือใช้ช่วยป้องกันการเกิดออกไซด์ขณะทำการเชื่อม เป็นต้น ถังความดันต่างๆเหล่านี้จะต้องนำไปใช้งานอย่างถูกต้องเพื่อความปลอดภัย ซึ่งได้มีข้อแนะนำทางด้านความปลอดภัยต่างๆดังนี้

1) ห้ามบรรจุสารทำความเย็นเข้าในถังจนเกินกว่า 80% ของปริมาตรถัง เนื่องจากเมื่อได้รับความร้อนสารทำความเย็นจะขยายตัว จึงต้องมีที่ว่างเพื่อรองรับการขยายตัวดังกล่าว ถ้าบรรจุสารทำความเย็นจนเต็มถัง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นสารทำความเย็นจะขยายตัวเกิดความดันภายในสูงขึ้น สามารถทำให้ถังระเบิดเกิดอันตรายได้

2) ถังบรรจุสารทำความเย็นแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ผลิตมาสำหรับการใช้งานเพียงครั้งเดียวไม่สามารถนำกลับมาเติมสารทำความเย็นใช้งานได้ใหม่ โดยถังประเภทนี้จะเขียนบอกไว้ที่ถังว่า Non-Refillable หรือ Disposable และไม่ควรนำถังประเภทนี้มาใช้ถ่ายสารทำความเย็นเพื่อใช้งานใหม่เมื่อสารทำความเย็นหมด ให้เปิดวาล์วที่ถังทิ้งไว้เพื่อระบายแก๊สที่ค้างอยู่ภายในถังทิ้งให้หมดก่อนนำไปทำลายทิ้ง และถังประเภทที่สามารถนำกลับไปบรรจุสารทำความเย็นเพื่อใช้งานใหม่ (Refillable) ซึ่งเป็นถังที่มีโครงสร้างแข็งแรงใช้โลหะที่มีความหนามากกว่า เมื่อใช้หมดแล้วสามารถนำกลับมาหมุนเวียนใช้งานใหม่ได้

3) อย่าตั้งถังบรรจุสารทำความเย็นไว้กลางแดดจัด หรือในสถานที่ที่มีอุณหภูมิสูงเกินกว่า 125°F (52°C) เพราะอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้เกิดความดันภายในถังสูงมากขึ้นจนตัวถังระเบิดได้

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

5) ถังบรรจุไนโตรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งใช้สำหรับการตรวจสอบรอยรั่วหรือใช้เป่าทำความสะอาดภายในระบบ ซึ่งถูกบรรจุด้วยความดันสูงมากประมาณ 2,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ในการติดตั้งถังเพื่อใช้งาน หรือเมื่อต้องการที่จะเคลื่อนย้ายจะต้องมีโซ่เหล็กรัดถังให้แน่นและมีฝาครอบวาล์ว (Protective Cap) เพื่อป้องกันการกระแทกตัววาล์วเพราะเมื่อถังล้มและวาล์วถูกกระแทกเสียหายแก๊สความดันสูงจะพุ่งออกจากถังเกิดแรงผลักขึ้น ทำให้ถังพุ่งชนเกิดอันตรายได้ นอกจากนี้ในการปล่อยแก๊สไปใช้งาน จะต้องปล่อยผ่านวาล์วควบคุมความดัน (Pressure Regulator) เสมอ เพื่อจะควบคุมความดันเข้าในระบบไม่เกิน 150 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และให้รีบปิดวาล์วควบคุมที่ถังทันทีเมื่อได้ความดันตามต้องการแล้ว เพื่อป้องกันอันตรายจากวาล์วควบคุมรั่ว ทำให้ความดันสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในถังเข้าไปในระบบท่อสารทำความเย็นหรืออุปกรณ์ต่างๆในระบบทำความเย็น โดยเฉพาะอย่างยิ่งคอมเพรสเซอร์จะไม่สามารถรับความดันสูงที่เกิดขึ้นจึงอาจเกิดการระเบิดได้

6) กรณีที่ใช้ออกซิเจน สายหรือท่อแก๊สที่ใช้นั้นจะต้องสะอาดและปราศจากน้ำมันหรือวัสดุที่เป็นไข เพื่อป้องกันการระเบิดเนื่องจากการติดไฟ เพราะออกซิเจนเป็นแก๊สที่ช่วยให้ไฟติดจะต้องระมัดระวังเป็นพิเศษและห้ามใช้ออกซิเจนอัดแทนไนโตรเจนสำหรับทดสอบรอยรั่วโดยเด็ดขาด

3.3.3 อันตรายที่เกิดจากการใช้ไฟฟ้า

ข้อควรรู้เกี่ยวกับอันตรายที่เกิดจากกระแสไฟฟ้ามีดังนี้

ผลของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านร่างกายที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจากร่างกายสัมผัสถูกสายไฟทั้งสองเส้น หรืออาจสัมผัสถูกวัตถุที่มีกระแสไฟฟ้ารั่วอยู่ ในขณะที่ร่างกายส่วนอื่นสัมผัสกับพื้นดิน โดยกระแสไฟฟ้าจะสามารถผ่านร่างกายสู่ดินครบวงจรทำให้เกิดอันตรายได้ ความต้านทานของร่างกายจะแตกต่างกันตามสภาพของผิวหนัง เช่น ผิวแห้งจะมีค่าความต้านทานประมาณ 200,000 – 700,000 โอห์ม แต่ถ้ามีความชื้นหรือเหงื่อออกเพียงเล็กน้อยความต้านทานจะลดลงเหลือเพียง 80 – 1,000 โอห์ม เท่านั้น อันตรายที่เกิดจากไฟฟ้าดูดหรือกระแสไฟรั่ว ขึ้นอยู่กับปริมาณของกระแสไฟที่ไหลผ่านในร่างกายดังนี้

ตารางที่ 3.1 แสดงผลของกระแสไฟฟ้าที่ผ่านร่างกาย

จำนวนกระแสไฟฟ้า มิลลิแอมแปร์	อาการหรืออันตรายที่เกิดขึ้น
0 - 0.5	ไม่เกิดอาการใดๆ
0.5 - 2	กล้ามเนื้อกระตุกเล็กน้อย ไม่ถึงขั้นอันตราย
2 - 10	กล้ามเนื้อกระตุกมากขึ้น เกิดอาการเกร็ง
10 - 50	กล้ามเนื้อกระตุกรุนแรง อาจทำให้ล้มฟาดหรือตกจากที่สูง ไม่สามารถดิ้นหลุดอาจเกิดบาดแผลไหม้พองได้
50 - 100	กล้ามเนื้อกระตุกอย่างรุนแรง ระบบการหายใจขัดข้อง
100 - 200	หัวใจหยุดเต้น เสียชีวิต
มากกว่า 200	เกิดบาดแผลไหม้อย่างรุนแรง หยุดการหายใจ เสียชีวิต

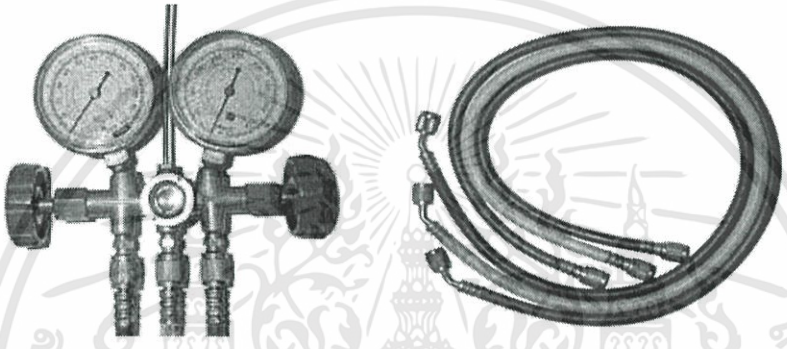
วิธีป้องกันอันตรายจากไฟรั่ว เนื่องจากกระแสไฟฟ้านั้นจะไหลไปในเส้นทางที่มีความต้านทานน้อยที่สุด ดังนั้นเพื่อป้องกันอันตรายจากกระแสไฟฟ้ารั่วผ่านร่างกาย จึงต้องป้องกันโดยการต่อสายดิน (Ground) เพื่อเป็นทางให้กระแสไฟฟ้าที่รั่วมาที่โครงของเครื่องมือหรืออุปกรณ์ไหลผ่านลงดินตามสายดินที่ต่อไว้แทนที่จะไหลผ่านร่างกาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 เครื่องมือบริการ

3.4.1 เกจแมนิโฟลด์ (Gauge manifold)

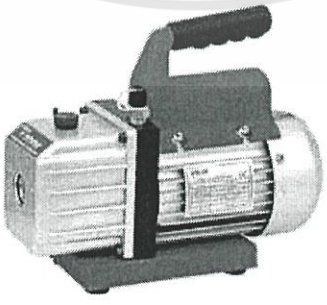
เกจแมนิโฟลด์เป็นอุปกรณ์ที่มีหน้าที่ในการวัดความดันด้านความดันสูงและด้านความดันต่ำ และยังมีหน้าที่ในการทำงานในการบริการระบบ เช่น ทำสุญญากาศ เติมน้ำยา เช็คการรั่วของระบบ ในชุดเกจแมนิโฟลด์ จะมีเกจวัด 2 ด้าน สายสีน้ำเงินเป็นเกจวัดความดันต่ำ เกจด้านนี้เป็นเกจแบบรวม คือวัดได้ทั้งค่าความดันต่ำและค่าสุญญากาศ สายสีแดงเป็นเกจวัดความดันสูง เกจด้านนี้จะวัดได้เฉพาะค่าความดัน วัดค่าสุญญากาศไม่ได้ สายสีเหลือง ใช้สำหรับงานบริการต่างๆ เช่น การถ่ายสารทำความเย็น หรือ งานบรรจุสารทำความเย็น สายเกจแมนิโฟลด์ โดยทั่วไปมักจะใช้ 3 สี



รูปที่ 3.10 เกจแมนิโฟลด์

3.4.2 เครื่องปั๊มสุญญากาศ (Vacuum Pump)

เครื่องปั๊มสุญญากาศ คือ เครื่องมือที่ใช้ดูดอากาศและความชื้นออกจากระบบผ่านเกจแมนิโฟลด์และวาล์วบริการที่ติดตั้งในระบบ การทำสุญญากาศในระบบ คือ การใช้เครื่องทำสุญญากาศดูดอากาศและความชื้นออกจากระบบ เพื่อให้ภายในระบบเกิดพื้นที่ว่างที่จะใช้บรรจุสารทำความเย็นและเพื่อจะไม่ให้มีอากาศและความชื้นปะปนอยู่ในระบบ ดังนั้นหลังจากเครื่องทำความเย็นถูกประกอบขึ้นใหม่มีการตรวจซ่อมหรือติดตั้งใหม่ซึ่งการปฏิบัติดังกล่าวมีโอกาสที่จะทำให้อากาศและความชื้นเข้าไปในระบบได้นั้น จึงต้องมีการทำสุญญากาศทุกครั้งก่อนเติมสารทำความเย็นเข้าในระบบ

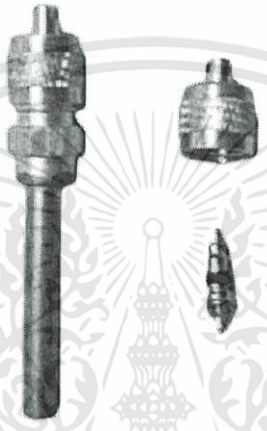


รูปที่ 3.11 เครื่องปั๊มสุญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 วาล์วบริการ (Service valve)

วาล์วบริการ คือ อุปกรณ์ที่ติดตั้งในระบบทำความเย็นประกอบด้วยวาล์วบริการด้านความดันต่ำ ติดตั้งอยู่ด้านความดันต่ำของระบบ เช่น ติดตั้งที่ทางเข้าคอมเพรสเซอร์หรือติดตั้งอยู่กับท่อสารทำความเย็นทางด้านดูดที่ออกจากอีวาโปเรเตอร์ และวาล์วบริการด้านความดันสูง ซึ่งจะติดตั้งอยู่ทางด้านความดันสูงของระบบ เช่น ติดตั้งที่ทางออกของคอมเพรสเซอร์ หรือติดตั้งอยู่กับท่อสารทำความเย็นเหลวที่คอนเดนเซอร์ ในทางปฏิบัติงานเพื่อการบริการและตรวจวิเคราะห์ปัญหาในระบบทำความเย็น จะใช้เกจแมนิโฟลด์ต่อเข้ากับวาล์วบริการของระบบทำความเย็น



รูปที่ 3.12 วาล์วบริการแบบหัวศร

3.4.4 เครื่องมือวัดทางไฟฟ้า

ระบบไฟฟ้าในเครื่องทำความเย็นทั่วไปนั้นแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของวงจรกำลัง และวงจรควบคุม ปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้ามีโอกาสเกิดขึ้นได้ทั้ง 2 ส่วนในวงจร การที่แก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นจำเป็นต้องอาศัยเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าช่วยในการตรวจสอบและวิเคราะห์ผลเพื่อทำการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นต่อไป

3.4.4.1 มัลติมิเตอร์

มัลติมิเตอร์ (Multimeters) คือ เครื่องมือวัดทางไฟฟ้าที่สามารถวัดปริมาณไฟฟ้าได้หลายปริมาณ แต่วัดได้ทีละปริมาณ โดยสามารถตั้งเป็นโวลท์มิเตอร์ แอมป์มิเตอร์ หรือ โอห์มมิเตอร์ และเลือกไฟฟ้ากระแสตรง (DC) หรือไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.13 มัลติมิเตอร์

3.4.4.2 เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า

เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า (Watt-Hour-Meter)ใช้สำหรับวัดปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในช่วงระยะเวลาใดเวลาหนึ่ง หลักการทำงานคือ มีขดลวดเหนี่ยวนำสองขด เมื่อมีกระแสไหลผ่านขดลวดทำให้เกิดกระแสไหลวนในขดลวด และมีเส้นแรงแม่เหล็กไหลผ่านจะเกิดแรงบิดขึ้น ทำให้จานหมุนตามกฎมือขวาของเฟรมมิ่ง จากนั้นจานจะไปหมุนล้อตัวเลขที่แสดงค่าพลังงาน และสามารถวัดไฟกระแสสลับได้ หน่วยที่ได้จะเป็น W.h หรือ Unit (1 Unit=1000 W)

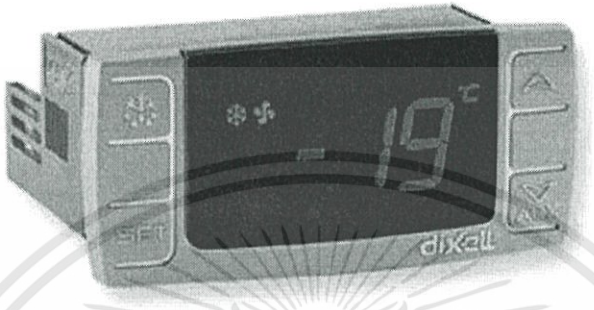
รูปที่ 3.14 เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า

3.4.4.3 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ

ในการทำเครื่องทำความเย็นมักออกแบบให้มีขีดความสามารถในการทำความเย็นมากกว่าที่ต้องการจริงๆ จึงเลือกใช้ เทอร์โมดิจิตอล Dixell XR06CX ลักษณะการทำงานใช้กระเปาะตรวจจับ (Sensing bulb) ในการตรวจวัดอุณหภูมิที่ท่อทางออกของอีวาโปเรเตอร์ แล้วส่งสัญญาณไปควบคุมการทำงานของวาล์วควบคุมการไหลด้วยการต่อเชื่อมกระเปาะกับวาล์วผ่านทางท่อแคพิวเลอรี ซึ่งระบบมักไม่ได้ทำงานอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นภายใต้สภาวะใช้งานปกติเมื่ออุณหภูมิการทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเย็นถึงจุดที่ได้ปรับตั้งไว้ มอเตอร์ต้องหยุดการทำงาน (เพื่อหยุดการทำงานคอมเพรสเซอร์เป็นบางช่วง)และเมื่ออุณหภูมิที่อีวาโปเรเตอร์สูงขึ้นถึงค่าที่กำหนด มอเตอร์กลับมาทำงานขับคอมเพรสเซอร์ต่อไป จนกว่าอุณหภูมิการทำความเย็นถึงจุดที่ได้ปรับตั้งไว้อีกครั้ง สำหรับการควบคุมการทำงานของมอเตอร์ให้ปิดหรือเปิดตามที่ต้องการ



รูปที่ 3.15 เทอร์โมดิจิตอล Dixell XR06CX

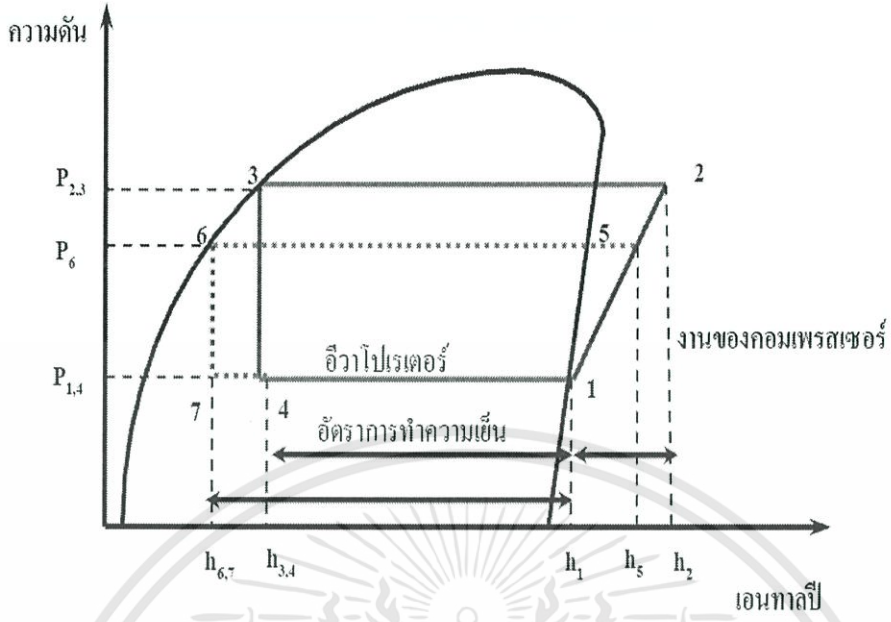
3.5 การออกแบบวิธีประหยัดพลังงานของเครื่องทำน้ำแข็ง

ระบบทำความเย็นแบบอัดไอ อุณหภูมิทำงานของคอนเดนเซอร์และของอีวาโปเรเตอร์เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อสมรรถนะการทำงานของระบบทำความเย็น หากสามารถลดอุณหภูมิทำงานของคอนเดนเซอร์และเพิ่มอุณหภูมิทำงานของอีวาโปเรเตอร์ได้ สมรรถนะการทำงานของระบบทำความเย็นก็จะสูงขึ้น ระบบมีการใช้พลังงานลดลงซึ่งเป็นการอนุรักษ์พลังงาน และการปรับปรุงสภาวะการทำงานของคอมเพรสเซอร์ให้เหมาะสมก็สามารถช่วยลดภาระการทำความเย็นของระบบให้ต่ำลง ซึ่งทำโดยการลดอุณหภูมิทำงานของคอนเดนเซอร์ และการเพิ่มอุณหภูมิทำงานของอีวาโปเรเตอร์ ดังนี้

3.5.1 การลดอุณหภูมิทำงานของคอนเดนเซอร์

จากรูปที่ **3.16** การควบแน่นของสารทำงานในระบบทำความเย็นจะเกิดขึ้นตามเส้นทาง 2-3 ถ้าสามารถลดอุณหภูมิและความดันที่คอนเดนเซอร์ลงได้ การควบแน่นจะเกิดขึ้นตามเส้นทาง 5-6 แทน และการทำงานของคอมเพรสเซอร์จะเปลี่ยนจากเส้นทาง 1-2 มาเป็น 1-5 ส่วนอัตราการทำความเย็นของอีวาโปเรเตอร์จะเปลี่ยนจากเส้นทาง 4-1 เป็น 7-1 ผลลัพธ์ที่ได้ คือ จะสามารถลดพลังงานที่ต้องป้อนให้กับคอมเพรสเซอร์ลง และเพิ่มอัตราการทำความเย็นขึ้นได้ ทำให้ค่า COP ของระบบเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 แผนภาพความดัน-เอนทาลปีเมื่อลดอุณหภูมิทำงานของคอนเดนเซอร์

วิธีการลดอุณหภูมิทำงานของคอนเดนเซอร์สามารถสรุปได้ดังนี้

1) ติดตั้งเดินพัดลมคอนเดนเซอร์และเครื่องสูบน้ำหล่อเย็นให้มากตัวที่สุดเพื่อทำให้อุณหภูมิควบแน่นต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้ สำหรับระบบที่มีคอมเพรสเซอร์และคอนเดนเซอร์หลายชุดนั้นควรจะมีการตรวจตราการใช้พลังงานของเครื่องจักรทั้งสองอย่างสม่ำเสมอ เพื่อกำหนดการใช้งานให้เหมาะสม โดยปกติคอนเดนเซอร์ควรจะใช้พลังงานน้อยกว่า15%ของพลังงานที่คอมเพรสเซอร์ใช้

2) หัวฉีดของคอนเดนเซอร์ต้องสะอาด

3) ลดปริมาณลมเลี่ยงที่ผ่านคอนเดนเซอร์ให้น้อยที่สุด

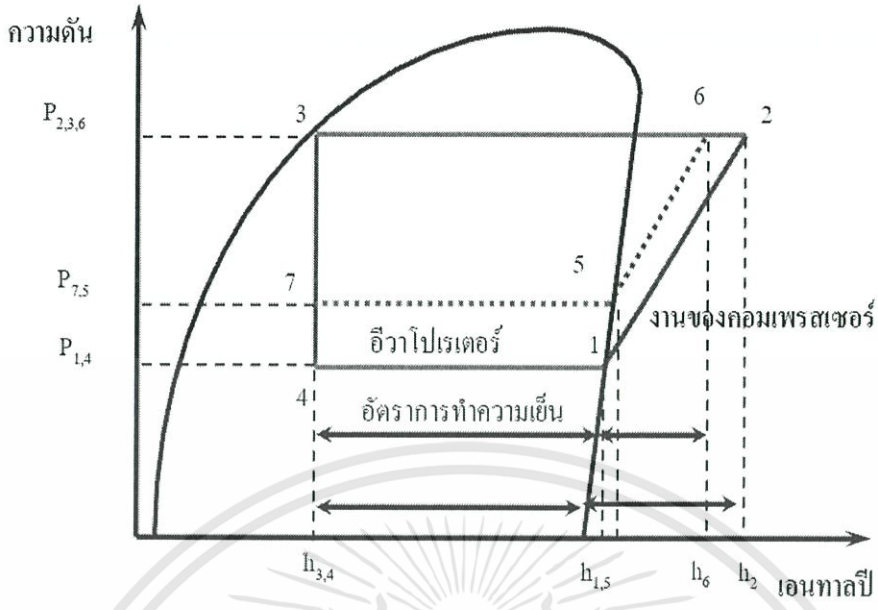
4) รักษาพื้นผิวของคอนเดนเซอร์ให้สะอาด และตรวจสอบให้แน่ใจว่า น้ำหล่อเย็นที่ใช้ผ่านการปรับสภาพมาอย่างดีแล้ว

5) ไล่อากาศและก๊าซที่ไม่กลั่นตัวออกจากคอนเดนเซอร์ให้หมดโดยหมั่นตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอ

3.5.2 การเพิ่มอุณหภูมิทำงานของอีวาโปเรเตอร์

จากรูปที่ 3.17 กระบวนการระเหยของสารทำความเย็นเกิดขึ้นภายในอีวาโปเรเตอร์ตามเส้นทาง4-1 เมื่อความร้อนถูกดูดจากผลิตภัณฑ์ สารทำความเย็นจะมีค่าเอนทัลปีสูงขึ้น โดยที่ความดันยังคงที่ ถ้าเพิ่มอุณหภูมิและความดันในอีวาโปเรเตอร์ให้สูงขึ้นจากเส้นทาง 4-1 เป็น 7-5 งานของคอมเพรสเซอร์ที่ทำจะเปลี่ยนจากเส้นทาง 1-2 เป็น 5-6 ผลที่ได้คือ งานที่จะต้องป้อนให้กับคอมเพรสเซอร์จะลดลง และอัตราการทำความเย็นจะสูงขึ้นเล็กน้อย มีผลทำให้ค่า COP ของระบบทำความเย็นสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 แผนภาพความดัน-เอนทาลปีเมื่อเพิ่มอุณหภูมิทำงานของอีวาโปเรเตอร์

วิธีการเพิ่มอุณหภูมิทำงานของอีวาโปเรเตอร์สามารถสรุปได้ดังนี้

1) ตั้งอุณหภูมิควบคุมที่เทอร์โมสตัทภายในพื้นที่ทำความเย็นให้สูงที่สุดเท่าที่จะทำได้ ทั้งนี้จะต้องไม่ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดความเสียหายหรือเสื่อมคุณภาพ

2) ควบคุมความร้อนภายนอกไม่ให้เข้ามาในห้องเย็นมากเกินไป

3) ระวังไม่ให้เกิดสภาพความเป็นไอร้อนยิ่งยวดของสารทำความเย็นที่ทางออกของอีวาโปเรเตอร์ (ทางเข้าของคอมเพรสเซอร์) มากเกินไป

4) พื้นที่ผิวของอีวาโปเรเตอร์ต้องมีมากเพียงพอเพื่อให้การถ่ายเทความร้อนทำได้มากขึ้น ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิทำงานของอีวาโปเรเตอร์สูงขึ้น และช่วยลดการสูญเสียความชื้นของตัวผลิตภัณฑ์ด้วย

5) ละลายน้ำแข็งที่คอยล์เย็นเป็นระยะ เพราะน้ำแข็งที่เกาะที่คอยล์จะทำให้สมรรถนะของระบบลดลงซึ่งจะสังเกตได้จากอากาศที่ออกจากคอยล์เย็นจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น

6) หยุดการละลายน้ำแข็งทันทีที่น้ำแข็งได้ละลายออกจากคอยล์เย็นหมดแล้ว

7) ใช้พัดลมและมอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงในห้องเย็นและห้องแช่แข็ง

8) สารทำความเย็นและน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ต้องถูกต้องเหมาะสม ทั้งชนิด คุณภาพ และปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การทดลอง

4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ชุดทดลองเครื่องทำน้ำแข็ง
2. ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (Digital Multimeter)
3. เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า (Watt-hour Meter)
4. เวอร์เนีย
5. เทอร์โมดิจิตอล (Thermodigital)
6. ปรอทวัดอุณหภูมิ
7. บีกเกอร์ 1000 cc.
8. เกจแมนิโฟลด์ (Gauge Manifold)

4.2 ลำดับขั้นตอนเตรียมการทดลอง

1. ใช้เครื่องปั๊มสุญญากาศดูดอากาศและความชื้นออกจากระบบโดยผ่านเกจแมนิโฟลด์และวาล์วบริการที่ติดตั้งในระบบ
2. เติมน้ำยาทำความเย็นผ่านเกจแมนิโฟลด์
3. ต่อสายเกจวัดความดันเข้ากับทางด้าน Low และ High (ของวัฏจักรเทอร์โมไดนามิกส์จุด 1 และ 3)
4. นำวัตต์มิเตอร์มาคล้องทางด้านสายไฟที่เข้ามาคอมเพรสเซอร์
5. ต่อเทอร์โมดิจิตอลเข้ากับคอมเพรสเซอร์
6. เติมน้ำที่ใช้ทดลองทั้งหมด 1000 cc. โดยการวัดปริมาตรจากบีกเกอร์ 1000 cc.
7. วัดอุณหภูมิของน้ำและอุณหภูมิภายนอก
8. นำน้ำเข้าไปในซองที่เตรียมไว้ในการทำน้ำแข็ง
9. เปิดเครื่องทำความเย็น
10. บันทึกผลค่าที่วัดได้ในรอบแรก
11. เมื่อระบบคงที่ให้วัดอุณหภูมิท่อทางด้าน Low และ High (ของวัฏจักรจุด 1 และ 3)
12. ทำการวัดอุณหภูมิที่จุด 1 และ 3 ของวัฏจักร เก็บค่าพลังงานที่ใช้ทุกๆ 10 นาที

4.3 การปรับความถี่ แบ่งออกเป็น 4 กรณี

กรณีที่ 1 ทำการทดลองโดยไม่ได้ปรับตั้งค่าการตัดการทำงานของคอมเพรสเซอร์ ทำการวัดอุณหภูมิ ความดัน ความหนาของน้ำแข็งทุกๆ 15 นาที โดยวัดที่จุด 1 และ 3 ของวัฏจักร และวัดค่าพลังงานที่ใช้ทั้งหมด ที่ความถี่ 50 Hz

กรณีที่ 2 ทำการทดลองโดยปรับตั้งค่าการตัดการทำงานของคอมเพรสเซอร์เมื่ออุณหภูมิคอล์ยเย็นลดลงถึง -20 °C โดยตั้งค่าที่เทอร์โมดิจิตอล ทำการวัดอุณหภูมิ ความดัน ความหนาของน้ำแข็งทุกๆ 15 นาที โดยวัดที่จุด 1 และ 3 ของวัฏจักร และวัดค่าพลังงานที่ใช้ทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ 3 ทำการทดลองปรับความถี่ลดลงเป็น 50 Hz , 45 Hz , 40 Hz , 35 Hz ตามลำดับ เพื่อเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในแต่ละช่วงความถี่ที่ปรับลด โดยควบคุมอุณหภูมิภายในห้องและนอกห้องให้คงที่ เพื่อทดลองดูว่าการปรับความถี่ลดลงในช่วงที่น้ำเริ่มเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็ง จะมีผลอย่างไรกับเวลาและพลังงานที่ใช้ในการทำน้ำแข็งแต่ละครั้ง

กรณีที่ 4 ทดลองปรับความถี่ตามการถ่ายเทความร้อนที่เปลี่ยนไป เนื่องจากความหนาของน้ำแข็งที่เกิดขึ้น โดยควบคุมอุณหภูมิภายในห้องและนอกห้องให้คงที่ เพื่อทดลองดูว่าความหนาจากแนวความคิดที่นำมาใช้ในการประหยัดพลังงานได้ผลมากน้อยเพียงใด

กรณีที่ 5 นำเนื้อหมูมาทำการแช่แข็ง เพื่อดูระยะเวลาที่ใช้ในการแข็งตัวที่สมบูรณ์

4.4 การทดลองกรณีที่ 1

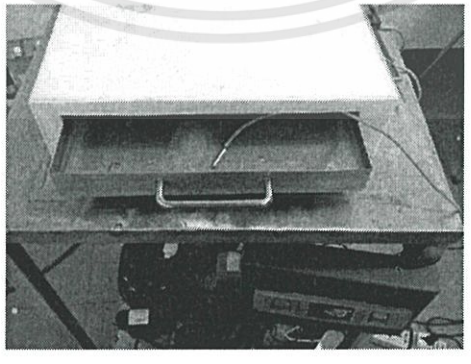
4.4.1 ขั้นตอนการทดลอง

1. ตวงน้ำโดยใช้บีกเกอร์ให้ได้ปริมาตร 1000 cc. และนำไปเทใส่ซองน้ำแข็ง

(ก) (ข)

รูปที่ 4.1 (ก) บีกเกอร์ 1000 cc.
(ข) น้ำในซองน้ำแข็ง

2. วัดอุณหภูมิภายในห้องและอุณหภูมิของน้ำโดยใช้ปรอทวัดอุณหภูมิและเทอร์โมดิจิตอลตามลำดับ



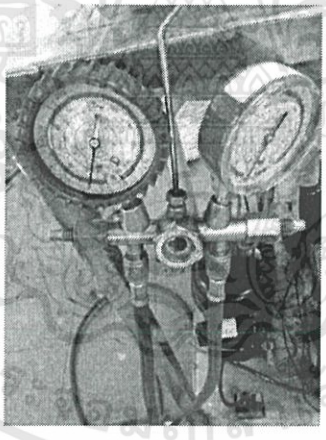
รูปที่ 4.2 อุณหภูมิของน้ำโดยเครื่องเทอร์โมดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. อ่านค่าเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า (Watt-hour Meter) ก่อนเริ่มทำการทดลอง

รูปที่ 4.3 เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า

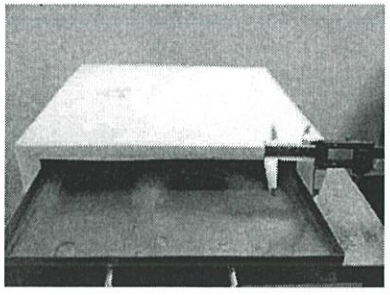
4. เปิดเครื่องทำความเย็นโดยกดสวิตช์ที่เทอร์โมดิจิตอล วัดอุณหภูมิและความดันจากเทอร์โมดิจิตอลและเกจแมนิโฟลด์ตามลำดับ โดยวัดที่จุด 1 และ 3 ของวัฏจักร และอ่านค่าพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า (Watt-hour Meter) โดยจะทำการเก็บค่าทุกๆ 15 นาที

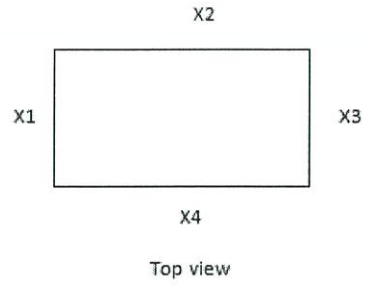


รูปที่ 4.4 เกจแมนิโฟลด์ โดยวัดที่จุด 1 และ 3 ของวัฏจักร

5. เมื่ออุณหภูมิของน้ำลดลงจนถึง 0 °C น้ำจะเริ่มเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นของแข็งซึ่งเราจะทำการเก็บค่าความหนาของน้ำแข็งโดยใช้เวอร์เนียในการประมาณค่าโดยที่ X1 , X2 , X3 , X4 คือความหนาของน้ำแข็งแต่ละด้านของซองน้ำแข็งดังรูปที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ 4.5 ใช้เวอร์เนียวัดความหนาของแต่ละด้าน

6. ทำการทดลองเช่นนี้ไปเรื่อยๆจนกลายเป็นน้ำแข็งทั้งหมด และนำค่าที่ได้มาบันทึกลงในตารางหลังจากนั้นเมื่อน้ำเป็นน้ำแข็งหมดก็ทำการอ่านค่าพลังงานที่ใช้จากเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า (Watt-hour Meter) และนำมาลบออกจากค่าที่วัดตอนเริ่มทำการทดลอง ก็จะได้พลังงานที่ใช้ทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 ผลการทดลอง

เวลาเริ่ม 18.00 เวลาสิ้นสุด 19.45

ปริมาตรน้ำ ($V_{น้ำ}$) = 1000 cc.

อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น ($T_{น้ำ}$) = 27 °C

อุณหภูมิภายในห้อง ($T_{ภายใน}$) = 27 °C

อุณหภูมิภายนอกห้อง ($T_{ภายนอก}$) = 23 °C

ตารางที่ 4.1 เวลาในการทดลองเมื่อไม่ได้ตั้งค่าการตัดการทำงานของคอมเพรสเซอร์

เวลา (นาที)	ความหนาของน้ำแข็ง (mm.)				จุดที่ 3 (จุด High)		จุดที่ 1 (จุด Low)		$T_{น้ำ}$ (°C)	อุณหภูมิคอล์ยเย็น (°C)	พลังงานไฟฟ้า		ความถี่ที่ป้อน (Hz)
	X1	X2	X3	X4	P_h psi	T_h (°C)	P_L psi	T_L (°C)			Watt	กระแส (A)	
0	-	-	-	-	118	24	15	-1	27	26	470	2.14	50
15	11.4	12.8	12.9	12.9	100	24	-7.5	-2	6.4	-16	230	1.05	50.08
30	18.2	17.6	18.3	17.0	95	25	-13	-2	-0.5	-25	190	0.86	50.09
45	25.8	26.5	25.9	26.8	95	24	-12	-1	-0.6	-26	190	0.86	50.10
60	48.5	48.2	49.9	48.7	100	26	-12	-3	-0.9	-27	170	0.77	50.09
75	72.3	69.5	73.8	72.2	99	25	-15	-3	-0.9	-28	190	0.86	50.10
90	91.1	93.4	94.9	95.4	99	25	-18	-3	-1.3	-28	155	0.70	50.10
105	109.8	111.0	110.5	110.7	98	25	-17	-4	-7.5	-29	160	0.73	50.09

เวลาในการทำน้ำแข็ง 105 นาที

ค่าพลังงาน 0.6 kWh

หมายเหตุ : การใช้ปริมาตรน้ำในการทำน้ำแข็งที่ต่างกันจะมีผลกับเวลาในการทำน้ำแข็งแต่ละก้อน คือ ถ้าใช้ปริมาณน้ำที่มากก็จะใช้เวลาในการทำน้ำแข็งนาน

สรุปผลการทดลองในกรณีที่ 1

ในการทดลองเราจะเห็นว่าการทำงานของคอมเพรสเซอร์นั้นทำงานตลอดเวลาซึ่งบางครั้งจะเห็นว่าเมื่อน้ำเริ่มเปลี่ยนเฟสเป็นน้ำแข็งจะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านน้ำแข็งเป็นไปได้ช้าซึ่งต่างจากช่วงแรกๆที่การเปลี่ยนเฟสและอุณหภูมิลดลงได้เร็วกว่า ซึ่งการทำงานแบบนี้ทำให้สูญเสียพลังงานในการทำงานของคอมเพรสเซอร์มากเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การทดลองกรณีที่ 2

4.5.1 ขั้นตอนการทดลอง

1. ตวงน้ำโดยใช้บีกเกอร์ให้ได้ปริมาตร 1000 cc. และนำไปเทใส่ซองน้ำแข็ง
2. ปรับตั้งค่าการตัดการทำงานของคอมเพรสเซอร์เมื่ออุณหภูมิคอล์ยเย็นลดลงถึง –20 °C โดยตั้งค่าที่เทอร์โมดิจิตอล

รูปที่ 4.6 เทอร์โมดิจิตอล

3. วัดอุณหภูมิภายในห้องและอุณหภูมิของน้ำโดยใช้ปรอทวัดอุณหภูมิและเทอร์โมดิจิตอล
4. อ่านค่าเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า (Watt-hour Meter) ก่อนเริ่มทำการทดลอง
5. เปิดเครื่องทำความเย็นโดยกดสวิตช์ที่เทอร์โมดิจิตอล วัดอุณหภูมิและความดันจากเทอร์โมดิจิตอลและเกจแมนิโฟลด์ตามลำดับ โดยวัดที่จุด 1 และ 3 ของวัฏจักร และอ่านค่าพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า (Watt-hour Meter) โดยจะทำการเก็บค่าทุกๆ 15 นาที
6. เมื่ออุณหภูมิของน้ำลดลงจนถึง 0 °C น้ำจะเริ่มเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นของแข็ง ซึ่งเราจะทำการเก็บค่าความหนาของน้ำแข็งโดยใช้เวอร์เนียในการประมาณค่า
7. ทำการทดลองเช่นนี้ไปเรื่อยๆจนกลายเป็นน้ำแข็งทั้งหมด และนำค่าที่ได้มาบันทึกลงในตาราง หลังจากนั้นเมื่อน้ำเป็นน้ำแข็งหมดก็ทำการอ่านค่าพลังงานที่ใช้จากเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า (Watt-hour Meter) และนำมาลบออกจากค่าที่วัดตอนเริ่มทำการทดลอง ก็จะได้พลังงานที่ใช้ทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2 ผลการทดลอง

ปริมาตรน้ำ 1000 cc. ความถี่ 50 Hz

เวลาเริ่มต้น 12.10 น. เวลาสิ้นสุด 13.55 น.

ปริมาตรน้ำ ($V_{น้ำ}$) = 1000 cc.

อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น ($T_{น้ำ}$) = 27 °C

อุณหภูมิภายในห้อง ($T_{ภายใน}$) = 22 °C

อุณหภูมิภายนอกห้อง ($T_{ภายนอก}$) = 23 °C

ตารางที่ 4.2 เวลาในการทดลองเมื่อตั้งค่าการตัดการทำงานของคอมเพรสเซอร์ เมื่ออุณหภูมิลงถึง -20 ° C ความถี่ที่ 50Hz

เวลา (นาที)	ความหนาของน้ำแข็ง (mm.)				จุดที่3 (จุด High)		จุดที่1 (จุด Low)		$T_{น้ำ}$ (°C)	อุณหภูมิคอล์ยเย็น (°C)	พลังงานไฟฟ้า		ความถี่ที่ป้อน (Hz)
	X1	X2	X3	X4	P_h psi	T_h (°C)	P_L psi	T_L (°C)			Watt	กระแส (A)	
0	-	-	-	-	118	24	15	-1	26	26	470	2.14	50
15	10.1	10.7	11.9	12.2	101	24	7.5	-2	11	-16	225	1.02	50
30	18.2	17.6	19.2	18.0	95	25	-13	-2	0.6	-19	180	0.82	50
45	25.8	26.5	25.9	26.8	95	24	-10	-1	-0.8	-20	0	0	50
60	48.5	48.2	48.7	47.7	99	26	-12	-3	-3.9	-19	147	0.66	50
75	72.3	71.5	72.8	73.2	97	25	-15	-3	-8.6	-19	155	0.70	50
90	91.1	93.4	94.1	96.4	99	25	-19	-3	-12.4	-18	190	0.86	50
105	109.8	111.0	109.5	108	99	25	-16	-4	-18	-20	0	0	50

เวลาในการทำน้ำแข็ง 105 นาที

ค่าพลังงาน 0.48 kWh

สรุปผลการทดลองในกรณีที่ 2

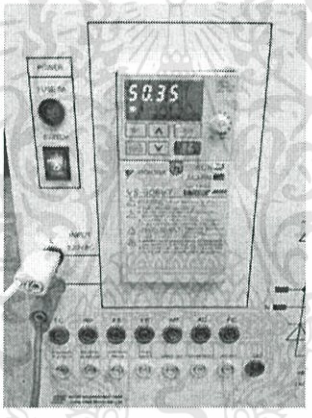
ในการทดลองตั้งค่าอุณหภูมิที่อีวาโปเรเตอร์ไว้ที่อุณหภูมิ -20 °C ทำให้มีการพักเครื่องในช่วงที่อุณหภูมิถึงค่าตั้งไว้และอุณหภูมิเฉลี่ยในช่องแช่แข็งจะอยู่ประมาณ -18 °C ถึง -20 °C จากการทดลองตั้งค่าจะเห็นได้ว่าในช่วงเวลาที่คอมเพรสเซอร์ได้พักการทำงานทำให้กำลังงานไฟฟ้าในช่วงนี้ไม่ได้ใช้ ทำให้ช่วยลดกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในช่วงนี้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การทดลองกรณีที่ 3

4.6.1 ขั้นตอนการทดลอง

1. ตวงน้ำโดยใช้บีกเกอร์ให้ได้ปริมาตร 1000 cc. และนำไปเทใส่ซองน้ำแข็ง
2. วัดอุณหภูมิภายในห้องและอุณหภูมิของน้ำโดยใช้ปรอทวัดอุณหภูมิและเทอร์โมดิจิตอลตามลำดับ
3. อ่านค่าเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า (Watt-hour Meter) ก่อนเริ่มทำการทดลอง
4. เปิดเครื่องทำความเย็นโดยกดสวิตช์ที่เทอร์โมดิจิตอล
5. เริ่มทำการทดลองโดยทำการปรับความถี่ของอินเวอร์เตอร์ลดลงเป็น 50 Hz , 45 Hz , 40 Hz , 35 Hz ตามลำดับ โดยสามารถปรับความถี่ที่อินเวอร์เตอร์โดยการหมุนปุ่มปรับความถี่ ดังรูป 4.7 จากนั้นวัดอุณหภูมิและความดันจากเทอร์โมดิจิตอลและเกจแมนิโฟลด์ตามลำดับ โดยวัดที่จุด 1 และ 3 ของวัฏจักร และอ่านค่าพลังงานไฟฟ้าจากวัตต์มิเตอร์ (Watt Meter) โดยจะทำการเก็บค่าทุกๆ 15 นาที เพื่อนำมาพลอตกราฟ



รูปที่ 4.7 ปรับความถี่ที่อินเวอร์เตอร์

6. เมื่ออุณหภูมิของน้ำลดลงจนถึง 0 °C น้ำจะเริ่มเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นของแข็ง ซึ่งเราจะทำการเก็บค่าความหนาของน้ำแข็งโดยใช้เวอร์เนียในการประมาณค่า
7. ทำการทดลองเช่นนี้ไปเรื่อยๆจนกลายเป็นน้ำแข็งทั้งหมด และนำค่าที่ได้มาบันทึกลงในตาราง หลังจากนั้นเมื่อน้ำเป็นน้ำแข็งหมดก็ทำการอ่านค่าพลังงานที่ใช้จากเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า (Watt-hour Meter) และนำมาลบออกจากค่าที่วัดตอนเริ่มทำการทดลอง ก็จะได้พลังงานที่ใช้ทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.2 ผลการทดลอง ปรับค่าความถี่ที่อินเวอร์เตอร์

ปริมาตรน้ำ 1000cc. ความถี่ 50 Hz

ปริมาตรน้ำ ($V_{น้ำ}$) = 1000 cc.

อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น ($T_{น้ำ}$) = 27 °C

อุณหภูมิภายในห้อง ($T_{ภายใน}$) = 22 °C

อุณหภูมิภายนอกห้อง ($T_{ภายนอก}$) = 23 °C

ตารางที่ 4.3 ปรับความถี่ที่ 50 Hz

เวลา (นาที)	ความหนาของน้ำแข็ง (mm.)				จุดที่ 3 (จุด High)		จุดที่ 1 (จุด Low)		$T_{น้ำ}$ (°C)	อุณหภูมิคอล์ยเย็น (°C)	พลังงานไฟฟ้า		ความถี่ที่ป้อน (Hz)
	X1	X2	X3	X4	P_h psi	T_h (°C)	P_L psi	T_L (°C)			Watt	กระแส (A)	
0	-	-	-	-	118	24	15	-1	27	26	470	2.14	50
15	11.4	12.2	11.9	12.2	100	24	-7.5	-2	6.4	-16	230	1.05	50.08
30	18.2	17.6	18.3	17.0	95	25	-13	-2	-0.5	-25	190	0.86	50.09
45	25.8	26.5	25.9	26.8	95	24	-12	-1	-0.6	-26	190	0.86	50.10
60	48.5	48.2	47.9	47.7	100	26	-12	-3	-0.9	-27	180	0.82	50.09
75	72.3	72.5	73.8	71.2	99	25	-15	-3	-0.9	-28	170	0.77	50.10
90	91.1	93.4	94.1	93.4	99	25	-18	-3	-1.3	-28	155	0.70	50.10
102	109.8	111.0	110.5	110.7	98	25	-17	-4	-7.5	-29	160	0.73	50.09

เวลาในการทำน้ำแข็ง 102 นาที

ค่าพลังงาน 0.40 kWh

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาตรน้ำ 1000cc. ปรับความถี่ 45 Hz

ปริมาตรน้ำ ($V_{น้ำ}$) = 1000 cc.

อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น ($T_{น้ำ}$) = 27 °C

อุณหภูมิภายในห้อง ($T_{ภายใน}$) = 22 °C

อุณหภูมิภายนอกห้อง ($T_{ภายนอก}$) = 23 °C

ตารางที่ 4.4 ปรับความถี่ที่ 45 Hz

เวลา (นาที)	ความหนาของน้ำแข็ง (mm.)				จุดที่ 3 (จุด High)		จุดที่ 1 (จุด Low)		$T_{น้ำ}$ (°C)	อุณหภูมิคอล์ยเย็น (°C)	พลังงานไฟฟ้า		ความถี่ที่ป้อน (Hz)
	X1	X2	X3	X4	P_h psi	T_h (°C)	P_L psi	T_L (°C)			Watt	กระแส (A)	
0	-	-	-	-	115	24	12	-1	27	26	400	1.81	45
15	10.2	10.0	10.8	10.5	105	24	0	-2	3.9	-14	210	0.95	45
30	15.4	15.9	15.4	15.2	102	25	-3	-2	-0.5	-24	185	0.84	45
45	30.2	31	30	30.2	102	24	-5	-1	-0.5	-26	190	0.86	45
60	55.8	56.2	55.9	55.8	102	26	-6	-3	-0.7	-29	170	0.77	45
75	70.5	72.1	71.0	69.9	100	25	-8	-3	-0.7	--30	170	0.77	45
90	91.2	90.0	89.4	92.7	100	25	-8	-3	-2.7	-31	155	0.7	45
105	111.6	111.2	112.8	111.7	101	25	-7	-4	-8.7	-33	170	0.77	45

เวลาในการทำน้ำแข็ง 105 นาที

ค่าพลังงาน 0.42 kWh

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาตรน้ำ 1000cc. ปรับความถี่ 40 Hz

ปริมาตรน้ำ ($V_{น้ำ}$) = 1000 cc.

อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น ($T_{น้ำ}$) = 27 °C

อุณหภูมิภายในห้อง ($T_{ภายใน}$) = 22 °C

อุณหภูมิภายนอกห้อง ($T_{ภายนอก}$) = 23 °C

ตารางที่ 4.5 ปรับความถี่ที่ 40 Hz

เวลา (นาที)	ความหนาของน้ำแข็ง (mm.)				จุดที่ 3 (จุด High)		จุดที่ 1 (จุด Low)		$T_{น้ำ}$ (°c)	อุณหภูมิคอล์ยเย็น (°c)	พลังงานไฟฟ้า		ความถี่ที่ป้อน (Hz)
	X1	X2	X3	X4	P_h psi	T_h (°c)	P_L psi	T_L (°c)			Watt	กระแส (A)	
0	-	-	-	-	120	24	22	-1	27	26	470	2.13	40.11
15	10.2	10.0	10.8	10.5	105	24	-17	-2	4.6	-14	180	0.81	40.1
30	13.7	14.9	15.3	13.3	100	25	-20	-2	-0.6	-21	150	0.68	40.09
45	27.8.	26.5	26.5	25.9	100	24	-20	-1	-2.1	-28	150	0.68	40.10
60	34.7	35.5	36.4	35.8	100	26	-20	-2	-6.4	-29	140	0.63	40.09
75	46.7	45.8	45.2	47.6	102	25	-22	-2	-10	-30	155	0.7	40.08
90	72.4	71.3	73.6	74.6	100	25	-25	-3	-14	-30	140	0.63	40.10
105	95.1	94.9	99.8	94.6	102	25	-17	-4	-18	-32	135	0.61	40.10
110	109.8	109.4	111.2	110.5	104	24	-17	-3	-20	-33	145	0.65	40.11

เวลาในการทำน้ำแข็ง 110 นาที

ค่าพลังงาน 0.38 kWh

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาตรน้ำ 1000cc. ปรับความถี่ 35 Hz

ปริมาตรน้ำ ($V_{น้ำ}$) = 1000 cc.

อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น ($T_{น้ำ}$) = 27 °C

อุณหภูมิภายในห้อง ($T_{ภายใน}$) = 22 °C

อุณหภูมิภายนอกห้อง ($T_{ภายนอก}$) = 23 °C

ตารางที่ 4.6 ปรับความถี่ที่ 35 Hz

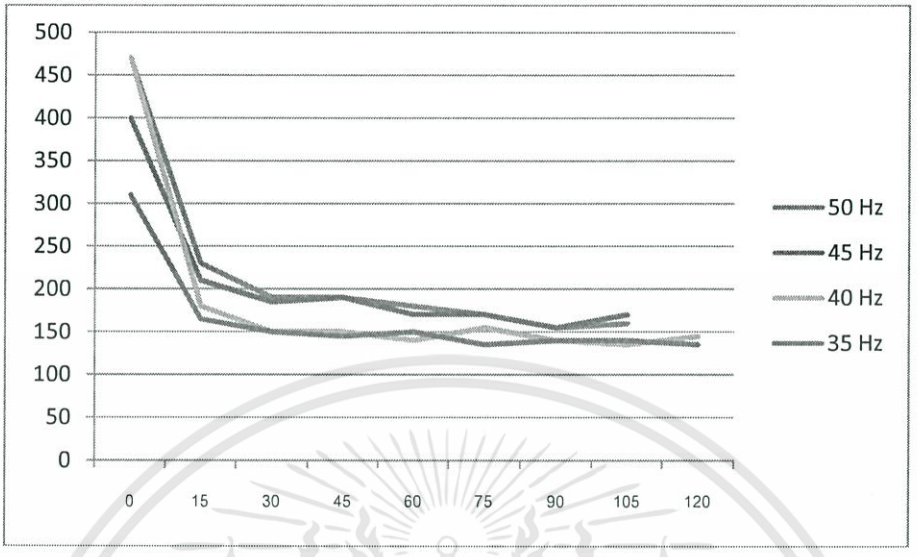
เวลา (นาที)	ความหนาของน้ำแข็ง (mm.)				จุดที่ 3 (จุด High)		จุดที่ 1 (จุด Low)		$T_{น้ำ}$ (°c)	อุณหภูมิคอล์ยเย็น (°c)	พลังงานไฟฟ้า		ความถี่ที่ป้อน (Hz)
	X1	X2	X3	X4	P_h psi	T_h (°c)	P_L psi	T_L (°c)			Watt	กระแส (A)	
0	-	-	-	-	112	24	12	-1	27	26	310	1.4	35.15
15	10.4	9.5	9.4	10.1	101	24	0	-2	4	-14	165	0.75	35.15
30	12.4	15.9	15.4	13.2	102	25	-3	-2	-0.5	-24	150	0.68	35.16
45	18.1	18.3	19.1	18.9	101	24	-5	-1	-0.6	-26	145	0.65	35.14
60	22.5	21.8	22.9	22.8	102	26	-6	-3	-0.7	-27	150	0.68	35.15
75	30.5	30.1	31.0	30.9	99	25	-8	-3	-3.4	-28	135	0.61	35.15
90	63.2	65.7	68.7	61.7	99	25	-8	-3	-6.7	-28	140	0.63	35.14
105	80.6	85.2	83.7	82.8	101	25	-7	-4	-12	-30	140	0.63	35.15
122	113.3	111.6	112.9	81.8	100	24	-10	-3	-18	-32	135	0.61	35.15

เวลาในการทำน้ำแข็ง 122 นาที

ค่าพลังงาน 0.45 kWh

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงค่าพลังงานที่ใช้ในแต่ละช่วงความถี่ที่ปรับลดลงทีละ 5 Hz



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่าพลังงานที่ใช้ในแต่ละช่วงความถี่ที่ปรับลดลง

จากรูปแสดงให้เห็นค่าพลังงานที่ใช้ในการทำน้ำแข็งในแต่ละช่วงความถี่ จะเห็นว่าเมื่อปรับค่าความถี่ลดลงที่ละ 5 Hz เวลาที่ใช้ในการทำน้ำแข็งจะเพิ่มขึ้น ส่วนพลังงานที่ใช้นั้นแสดงได้ดังนี้

ความถี่ 50 Hz ใช้พลังงานในการทำน้ำแข็ง 0.40 kWh ใช้เวลา 102 นาที
ความถี่ 45 Hz ใช้พลังงานในการทำน้ำแข็ง 0.42 kWh ใช้เวลา 105 นาที
ความถี่ 40 Hz ใช้พลังงานในการทำน้ำแข็ง 0.38 kWh ใช้เวลา 110 นาที
ความถี่ 35 Hz ใช้พลังงานในการทำน้ำแข็ง 0.45 kWh ใช้เวลา 122 นาที

จะเห็นว่าที่ความถี่ 40 Hz ใช้พลังงานในการทำน้ำแข็งน้อยที่สุดแต่ใช้เวลามากกว่าที่ความถี่ 50 Hz อยู่ 8 นาที และใช้พลังงานลดลง 0.02

สรุปผลการทดลองในกรณีที่ 3

จากการทดลองจะเห็นว่าเมื่อปรับค่าความถี่ลดลงในช่วงที่เกิดน้ำแข็งมีผลทำให้พลังงานที่ใช้เปลี่ยนไป โดยที่ความถี่ 40 Hz ใช้พลังงานในการทำน้ำแข็งน้อยที่สุดและสามารถประหยัดพลังงานได้เมื่อเทียบกับความถี่ 50 Hz แต่เวลาในการทำน้ำแข็งมากกว่าความถี่ 50 Hz ซึ่งไม่อาจสรุปได้ว่าที่ความถี่ 40 Hz เป็นค่าที่ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 การทดลองกรณีที่ 4

4.7.1 ขั้นตอนการทดลอง

1. ตวงน้ำโดยใช้บีกเกอร์ให้ได้ปริมาตร 1000 cc. และนำไปเทใส่ซองน้ำแข็ง
2. วัดอุณหภูมิภายในห้องและอุณหภูมิของน้ำโดยใช้ปรอทวัดอุณหภูมิและเทอร์โมดิจิตอลตามลำดับ
3. อ่านค่าเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า (Watt-hour Meter) ก่อนเริ่มทำการทดลอง
4. เปิดเครื่องทำความเย็นโดยกดสวิตช์ที่เทอร์โมดิจิตอล
5. ทำการทดลองโดยทำการปรับความถี่ของอินเวอร์เตอร์ลดลงตามแนวคิดที่คิดไว้คือ เมื่อมีความหนาของน้ำแข็งเกิดขึ้น การถ่ายเทความร้อนระหว่างสารทำความเย็นกับวัสดุที่ใช้เป็นซองน้ำแข็งจะมีค่าลดลงตามความหนาของน้ำแข็งที่เพิ่มขึ้น ส่วนความสามารถในการทำความเย็นของวัฏจักรลดลง เพื่อให้สอดคล้องกับการถ่ายเทความร้อนที่ทำได้ โดยปรับความสามารถในการทำความเย็นลงได้โดยการลดความถี่ที่ให้แก่คอมเพรสเซอร์ จากนั้นวัดอุณหภูมิและความดันจากเทอร์โมดิจิตอลและเกจแมนิโฟลด์ตามลำดับ โดยวัดที่จุด 1 และ 3 ของวัฏจักร และอ่านค่าพลังงานไฟฟ้าจากวัตต์มิเตอร์ โดยจะทำการเก็บค่าทุกๆ 15 นาที เพื่อนำมาพลอตกราฟ
6. เมื่ออุณหภูมิของน้ำลดลงจนถึง 0 °C น้ำจะเริ่มเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นของแข็ง ซึ่งเราจะทำการเก็บค่าความหนาของน้ำแข็งโดยใช้เวอร์เนียในการประมาณค่า
7. ทำการทดลองเช่นนี้ไปเรื่อยๆจนกลายเป็นน้ำแข็งทั้งหมด และนำค่าที่ได้มาบันทึกลงในตาราง หลังจากนั้นเมื่อน้ำเป็นน้ำแข็งหมดก็ทำการอ่านค่าพลังงานที่ใช้จากเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า (Watt-hour Meter) และนำมาลบออกจากค่าที่วัดตอนเริ่มทำการทดลอง ก็จะได้พลังงานที่ใช้ทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.2 ผลการทดลอง

ทดลองที่ความถี่ปกติ 50 Hz โดยปรับลดความถี่ตามแนวคิดที่คิดไว้

ปริมาตรน้ำ 1000cc. ความถี่ 50 Hz

ปริมาตรน้ำ ($V_{น้ำ}$) = 1000 cc.

อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น ($T_{น้ำ}$) = 27 °C

อุณหภูมิภายในห้อง ($T_{ภายใน}$) = 22 °C

อุณหภูมิภายนอกห้อง ($T_{ภายนอก}$) = 23 °

ตารางที่ 4.7 ความถี่ที่ 50 Hz ยังไม่ได้ทำการปรับลดความถี่

เวลา (นาที)	ความหนาของน้ำแข็ง (mm.)				จุดที่ 3 (จุด High)		จุดที่ 1 (จุด Low)		$T_{น้ำ}$ (°c)	อุณหภูมิคอล์ยเย็น (°C)	พลังงานไฟฟ้า		ความถี่ที่ป้อน (Hz)
	X1	X2	X3	X4	P_h psi	T_h (°c)	P_L psi	T_L (°c)			Watt	กระแส (A)	
0	-	-	-	-	118	24	15	-1	27	26	470	2.14	50
15	11.4	12.2	11.9	12.2	100	24	-7.5	-2	6.4	-16	230	1.05	50.08
30	18.2	17.6	18.3	17.0	95	25	-13	-2	-0.5	-25	190	0.86	50.09
45	25.8	26.5	25.9	26.8	95	24	-12	-1	-0.6	-26	190	0.86	50.10
60	48.5	48.2	47.9	47.7	100	26	-12	-3	-0.9	-27	180	0.82	50.09
75	72.3	72.5	73.8	71.2	99	25	-15	-3	-0.9	-28	170	0.77	50.10
90	91.1	93.4	94.1	93.4	99	25	-18	-3	-1.3	-28	155	0.70	50.10
102	109.8	111.0	110.5	110.7	98	25	-17	-4	-7.5	-29	160	0.73	50.09

เวลาในการทำน้ำแข็ง 102 นาที

ค่าพลังงาน 0.40 kWh

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดลองปรับลดความถี่ตามความหนาของน้ำแข็งที่เพิ่มขึ้น

ปริมาตรน้ำ ($V_{น้ำ}$) = 1000 cc.

อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น ($T_{น้ำ}$) = 27 °C

อุณหภูมิภายในห้อง ($T_{ภายใน}$) = 22 °C

อุณหภูมิภายนอกห้อง ($T_{ภายนอก}$) = 23 °C

ตารางที่ 4.8 ปรับความถี่ตามความหนาของน้ำแข็งที่เพิ่มขึ้น

เวลา (นาที)	ความหนาของน้ำแข็ง (mm.)				จุดที่ 3 (จุด High)		จุดที่ 1 (จุด Low)		$T_{น้ำ}$ (°C)	อุณหภูมิคอล์ยเย็น (°C)	พลังงานไฟฟ้า		ความถี่ที่ป้อน (Hz)
	X1	X2	X3	X4	P_h psi	T_h (°c)	P_L psi	T_L (°c)			Watt	กระแส (A)	
0	-	-	-	-	118	24	15	-1	27	26	470	2.14	50
15	11.3	12.6	11.7	12.4	100	24	-7.5	-2	6.4	-16	230	1.05	50
30	18.5	18.2	18.4	19.1	95	25	-13	-2	-0.9	-23	190	0.86	50
45	26.8	27.5	26.9	27.8	95	26	-12	-2	-0.9	-25	180	0.82	48.94
60	49.5	48.2	47.9	48.7	100	26	-12	-3	-0.7	-27	176	0.80	46.53
75	74.2	73.6	74.5	72.8	99	25	-15	-4	-0.5	-28	160	0.73	44.38
90	93.1	94.5	95.3	94.7	99	25	-18	-4	-1.3	-28	160	0.73	42.72
100	111.3	112.9	111.2	112.7	98	25	-17	-5	-7.5	-29	155	0.70	40.59

เวลาในการทำน้ำแข็ง 100 นาที

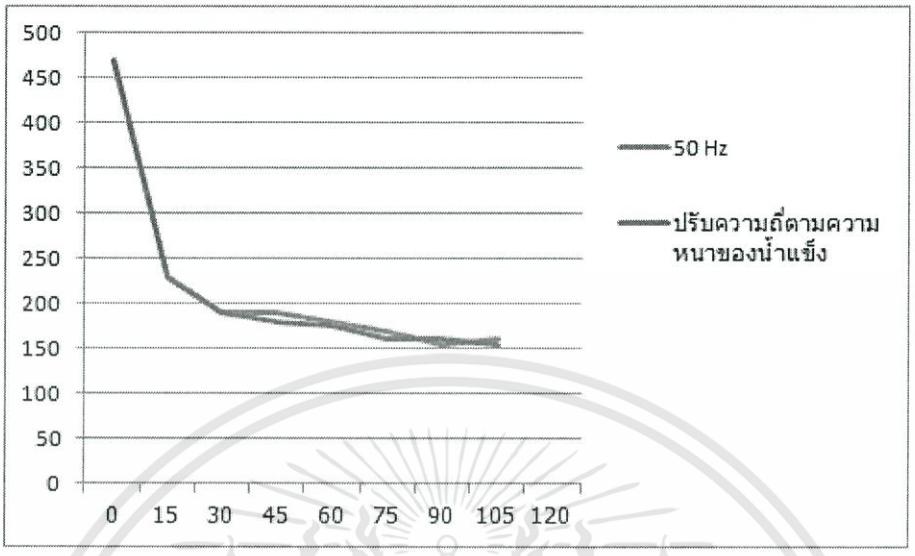
ค่าพลังงาน 0.36 kWh

สรุปผลการทดลองกรณีที่ 4

จากผลการทดลองปรับลดความถี่ตามแนวความคิด โดยจากตารางทำให้ทราบว่าความถี่ที่ปรับลงนั้นจะมีผลต่อความสามารถในการทำความเย็นของวัฏจักร โดยปรับลดความสามารถในการทำความเย็นของวัฏจักรลงเพื่อให้สอดคล้องกับอัตราการถ่ายเทความร้อนของห้องทำน้ำแข็งที่ทำได้ เมื่อมีความหนาของน้ำแข็งเกิดขึ้น การถ่ายเทความร้อนระหว่างสารทำความเย็นกับวัสดุที่ใช้เป็นซองน้ำแข็งจะมีค่าลดลงตามความหนาของน้ำแข็งที่เพิ่มขึ้น ส่วนความสามารถในการทำความเย็นของวัฏจักรลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงค่าพลังงานที่ใช้ในการทดลองปรับความถี่ตามความหนาของน้ำแข็งที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงค่าพลังงานที่ใช้ในการทดลองปรับความถี่ตามความหนาของน้ำแข็งที่เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ แสดงค่าพลังงานที่ใช้ในการทำน้ำแข็ง ในการปรับลดความถี่ตามความหนาของน้ำแข็งที่เพิ่มขึ้น จะเห็นว่าพลังงานที่ใช้จะเริ่มลดลงในช่วงเวลาหลังจากนาทีที่ 33 เป็นต้นไป และจะเห็นว่าเวลาที่ใช้ในการทำน้ำแข็งในขณะที่ปรับลดความถี่และยังไม่ปรับลดความถี่มีความแตกต่างกันน้อยมาก ส่วนพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการทำน้ำแข็งแสดงได้ดังนี้

ความถี่ที่ 50 Hz ใช้พลังงานในการทำน้ำแข็ง 0.40 kWh
เมื่อปรับลดความถี่ ใช้พลังงานในการทำน้ำแข็ง 0.36 kWh

จะเห็นว่าเมื่อปรับลดความถี่ลงตามความหนาของน้ำแข็งจะทำให้ลดพลังงานที่ใช้การทำน้ำแข็งลงจากปกติ 0.04 kWh

สรุปผลการทดลองในกรณีที่ 4

จากผลการทดลองเมื่อทำการปรับลดความถี่ตามความหนาของน้ำแข็งที่เพิ่มขึ้นนั้น จะมีผลทำให้พลังงานที่ใช้ในการทำน้ำแข็งลดลง 0.04 kWh ส่วนในเรื่องของเวลาที่ใช้ในการทำน้ำแข็งใช้เวลาค่อนข้างใกล้เคียงกันมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 การทดลองกรณีที่ 5

4.8.1 ขั้นตอนการทดลอง

1. เนื้อหมู 2 kg ใส่ซองน้ำแข็ง
2. วัดอุณหภูมิภายในห้องและอุณหภูมิของเนื้อหมู โดยใช้ปรอทวัดอุณหภูมิและเทอร์โมดิจิตอลตามลำดับ
3. อ่านค่าเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า (Watt-hour Meter) ก่อนเริ่มทำการทดลอง
4. เปิดเครื่องทำความเย็นโดยกดสวิตช์ที่เทอร์โมดิจิตอล
5. เริ่มทำการทดลองโดยทำการปรับความถี่ของอินเวอร์เตอร์ลดลงเป็น 50 Hz และอ่านค่าพลังงานไฟฟ้าจากวัตต์มิเตอร์ (Watt Meter) โดยจะทำการเก็บค่าทุกๆ 15 นาที เพื่อนำมาพลอตกราฟ

4.8.2 ผลการการทดลอง

เนื้อหมู 2 kg ปรับความถี่ 50 Hz
เนื้อหมู 2 kg = 1000 cc.
อุณหภูมิเนื้อเริ่มต้น = 27 °C
อุณหภูมิภายในห้อง ($T_{ภายใน}$) = 27 °C
อุณหภูมิภายนอกห้อง ($T_{ภายนอก}$) = 23 °C

ตารางที่ 4.9 การทดลองแช่เนื้อหมู 2kg ที่ความถี่ที่ 50 Hz

เวลา (นาที)	จุดที่ 3 (จุด High)		จุดที่ 1 (จุด Low)		$T_{เนื้อ}$ (°C)	อุณหภูมิคอล์ยเย็น (°C)	พลังงานไฟฟ้า		ความถี่ที่ป้อน (Hz)
	P_h psi	T_h (°C)	P_L psi	T_L (°C)			Watt	กระแส (A)	
0	120	24	10	-1	26	26	400	1.81	50
15	100	24	-12	-2	14	-16	205	0.93	50.01
30	95	25	-15	-2	4.8	-25	180	0.82	50.01
45	95	24	-20	-1	-0.8	-26	180	0.82	50.02
60	95	26	-20	-3	-2.2	-27	190	0.86	50.03
75	95	25	-22	-3	-2.8	-27	180	0.82	50.01
90	95	25	-22	-3	-3.8	-28	180	0.82	50.00
105	100	25	-26	-4	-6.4	-29	160	0.73	50.02
120	99	24	-27	-3	-8.5	-29	160	0.73	50.01
135	99	25	-25	-5	-16	-30	170	0.77	50.02
153	99	26	-25	-4	-18	-33	160	0.73	50.01

เวลาในการทำน้ำแข็ง 153 นาที
ค่าพลังงาน 0.65 kWh

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลองในกรณีที่ 5

ในการทดลองเราจะเห็นว่าการทำงานของคอมเพรสเซอร์นั้นทำงานตลอดเวลา เนื้อหมูเริ่มเปลี่ยนเฟสแข็งตัวที่อุณหภูมิ -2.8 °C ซึ่งตรงกับอุณหภูมิจุดเยือกแข็งของเนื้อหมูคือ -2.8 °C พอดี เมื่อเริ่มเปลี่ยนเฟสจะเห็นว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านเนื้อหมูที่เริ่มแข็งตัวเป็นไปได้ช้า ทำให้อุณหภูมิลดลงช้า ซึ่งต่างจากช่วงแรกๆที่อุณหภูมิลดลงได้เร็วกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและเสนอแนะ

5.1 สรุปผลงาน

จากการทดลองเราสามารถนำทฤษฎีในการถ่ายเทความร้อนและกฎของเทอร์โมไดนามิกส์มาวิเคราะห์กระบวนการเกิดน้ำแข็งในรูปทรงสี่เหลี่ยมเพื่อศึกษาพลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้นกับคอมเพรสเซอร์และหารูปแบบของการเกิดน้ำแข็งที่ลดพลังงานให้กับคอมเพรสเซอร์โดยการออกแบบอีวาโปเรเตอร์ให้มีการถ่ายเทความร้อนได้ดีและทำการติดตั้งเทอร์โมสตัทแล้วตั้งค่าความถี่เพื่อลดอัตราการไหลของสารทำความเย็นลงในช่วงเวลาที่เหมาะสม ผลของการทดลองพบว่าสามารถลดพลังงานที่ให้กับคอมเพรสเซอร์ลงได้

5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา

ในการควบคุมปัจจัยภายนอกไม่ว่าจะเป็นอุณหภูมิ ความชื้นยังไม่คงที่ ทำให้กระบวนการทำเครื่องแช่แข็งมีความผิดพลาดเนื่องจากปัจจัยดังกล่าว และการออกแบบเครื่องแช่แข็งควรที่จะเปลี่ยนรูปแบบของซองแช่แข็งเพื่อที่จะง่ายในการวัดความหนาของน้ำแข็ง และสามารถทำความเย็นได้อย่างเต็มที่อันก่อให้เกิดการแข็งตัวที่ใช้เวลาเร็วขึ้นและมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น การวัดค่าตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อระบบควรเลือกใช้อุปกรณ์การวัดที่มีความละเอียด เพราะจากการทดลองมีอุปกรณ์บางชนิดที่เมื่อวัดค่าแล้วเกิดการคลาดเคลื่อน นอกจากนี้การวัดความหนาของน้ำแข็งที่เกิดขึ้นยังไม่แน่นอน อีกทั้งการวัดอุณหภูมิของวัฏจักรก็ยังไม่แน่นอนเนื่องจากการใช้อุปกรณ์การวัดแบบสัมผัสในการวัดอุณหภูมิ ซึ่งการหารูปแบบการเกิดน้ำแข็งของเครื่องแช่แข็งจะมีหลักการและทฤษฎีหรือหลักการอื่นๆที่มีความแม่นยำกว่านี้ในการสร้างรูปแบบเพื่อพัฒนาในอนาคต และการทดลองควรจะมีความหลากหลายของอาหารที่นำมาแช่แข็ง และควบคุมปัจจัยภายนอกทั้งอุณหภูมิและความชื้น เพื่อที่จะพัฒนารูปแบบให้มีความแม่นยำมากขึ้นในการลดพลังงานให้กับคอมเพรสเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] อัคครัตน์ พูลกระจ่าง. การทำความเย็นและการปรับอากาศ. กรุงเทพฯ : ศูนย์ส่งเสริมอาชีวะ 2547

[2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, (2549), คู่มือประกอบการฝึกอบรมการอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทน (อุตสาหกรรมโรงน้ำแข็ง) สำหรับอุตสาหกรรมน้ำแข็งในอาหารแช่แข็ง

[3] http://mte.kmutt.ac.th/mte_learning/Refrigeration/Website/caution.htm บทเรียนจำลองสถานการณ์ออนไลน์ผ่านระบบอินเทอร์เน็ต วิชา การทำความเย็น ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด, ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (2552)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติสารทำความเย็น R134a ที่สภาวะของเหลวและไออิ่มตัว

Temp.	P_{sat}	Specific Volume		Enthalpy			Entropy		
		Liquid $v_f \times 10^3$	Vapour v_g	h_f	h_{fg}	h_g	s_f	s_{fg}	s_g
(°C)	(bar)	(m^3/kg)	(m^3/kg)		(kJ/kg)			(kJ/kg.K)	
−40	.517	.705	.3567	150.60	230.22	380.82	.8009	.9874	1.7882
−38	.573	.708	.3239	152.91	229.16	382.07	.8110	.9745	1.7855
−36	.633	.711	.2946	155.24	228.09	383.33	.8211	.9618	1.7828
−34	.669	.714	.2684	157.58	227.00	384.58	.8312	.9491	1.7803
−32	.771	.717	.2450	159.95	225.88	385.33	.8412	.9367	1.7779
−30	.848	.720	.2240	162.33	224.75	387.08	.8513	.9243	1.7766
−28	.931	.723	.2051	164.72	223.60	388.32	.8613	.9120	1.7734
−26	1.020	.726	.1881	167.13	222.42	389.55	.8714	.8999	1.7713
−24	1.117	.730	.1727	169.56	221.23	390.79	.8814	.8879	1.7692
−22	1.220	.733	.1589	172.01	220.01	392.02	.8913	.8760	1.7673
−20	1.330	.736	.1464	174.47	218.77	393.24	.9013	.8642	1.7655
−18	1.449	.739	.1350	176.95	217.51	394.46	.9113	.8525	1.7637
−16	1.575	.743	.1247	179.44	216.23	395.68	.9212	.8408	1.7620
−14	1.711	.746	.1153	181.96	214.93	396.89	.9311	.8293	1.7601
−12	1.855	.750	.1067	184.48	213.60	398.09	.9410	.8179	1.7589
−10	2.008	.753	.0989	187.03	212.26	399.28	.9509	.8066	1.7574
−8	2.171	.757	.0918	189.59	210.89	400.48	.9607	.7953	1.7561
−6	2.344	.761	.0853	192.17	209.49	401.66	.9706	.7841	1.7547
−4	2.528	.764	.0794	194.76	208.07	402.84	.9804	.7731	1.7535
−2	2.723	.768	.0739	197.37	206.63	404.01	.9902	.7620	1.7522
0	2.929	.772	.0689	200.00	205.17	405.17	1.0000	.7511	1.7511
2	3.147	.776	.0642	202.64	203.68	406.32	1.0098	.7402	1.7500
4	3.378	.780	.0600	205.31	202.16	407.47	1.0195	.7294	1.7489
6	3.621	.784	.0561	207.98	200.62	408.60	1.0293	.7187	1.7479
8	3.877	.788	.0525	210.68	199.05	409.73	1.0390	.7080	1.7470
10	4.147	.793	.0491	213.39	197.46	410.85	1.0487	.6973	1.7460
12	4.431	.797	.0460	216.13	195.84	411.96	1.0584	.6868	1.7452
14	4.730	.802	.0432	218.87	194.19	413.06	1.0681	.6762	1.7443
16	5.043	.806	.0405	221.64	192.51	414.15	1.0777	.6657	1.7435
18	5.372	.811	.0381	224.43	190.80	415.23	1.0874	.6553	1.7427
20	5.718	.816	.0358	227.23	189.06	416.29	1.0970	.6449	1.7419
22	6.080	.821	.0336	230.06	187.29	417.35	1.1067	.6345	1.7418
24	6.459	.826	.0317	232.90	185.49	418.39	1.1163	.6242	1.7405
26	6.855	.831	.0298	235.76	183.65	419.41	1.1259	.6139	1.7398
28	7.270	.836	.0281	238.65	181.78	420.43	1.1355	.6036	1.7391
30	7.703	.842	.0265	241.56	179.87	421.43	1.1451	.5933	1.7384
32	8.155	.847	.0250	244.48	177.93	422.41	1.1547	.5831	1.7377
34	8.627	.853	.0236	247.44	175.94	423.38	1.1643	.5728	1.7371

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Temp.	p_{sat}	Specific Volume		Enthalpy			Entropy		
		Liquid $v_f \times 10^3$	Vapour v_g	h_f	h_{fg}	h_g	s_f	s_{fg}	s_g
(°C)	(bar)	(m^3/kg)	(m^3/kg)		(kJ/kg)			(kJ/kg.K)	
36	9.119	.859	.0222	250.41	173.92	242.33	1.1738	.5626	1.7364
38	9.632	.865	.0210	253.41	171.85	425.26	1.1834	.5523	1.7357
40	10.167	.871	.0199	256.43	169.74	426.17	1.1930	.5420	1.7350
42	10.723	.878	.0188	259.48	167.58	427.07	1.2026	.5317	1.7343
44	11.302	.885	.0177	262.56	165.38	427.94	1.2122	.5214	1.7336
46	11.904	.892	.0168	265.67	163.12	428.79	1.2218	.5111	1.7328
48	12.530	.899	.0159	268.80	160.81	429.61	1.2314	.5007	1.7321
50	13.180	.906	.0150	271.97	158.43	430.40	1.2410	.4903	1.7312
52	13.854	.914	.0142	275.17	156.00	431.17	1.2506	.4798	1.7304
54	14.555	.922	.0134	278.41	153.50	431.91	1.2603	.4692	1.7295
56	15.282	.931	.0127	281.68	150.94	432.61	1.2699	.4585	1.7285
58	16.036	.940	.0120	284.99	148.29	433.28	1.2796	.4478	1.7274
60	16.817	.949	.0114	288.34	145.57	433.91	1.2893	.4369	1.7263
62	17.627	.959	.0108	291.74	142.76	434.50	1.2991	.4260	1.7250
64	18.466	.969	.0102	295.19	139.86	435.05	1.3089	.4148	1.7237
66	19.336	.979	.0097	298.68	136.86	435.54	1.3187	.4035	1.7222
68	20.235	.991	.0091	302.23	133.74	435.98	1.3286	.3920	1.7206
70	21.167	.003	.0086	305.84	130.51	436.35	1.3386	.3803	1.7189

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table-B.8, PC Model, R-134a: *Superheated Vapor Table*

Superheated refrigerant-134a

deg.C	m^3/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg.K	m^3/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg.K	m^3/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg.K
	P = 0.06 MPa (T_{sat} = -37.07°C)				P = 0.10 MPa (T_{sat} = -26.43°C)				P = 0.14 MPa (T_{sat} = -18.80°C)			
	v	*u*	*h*	*s*	*v*	*u*	*h*	*s*	*v*	*u*	*h*	*s*
Sat.	0.31003	206.12	224.72	0.9520	0.19170	212.18	231.35	0.9395	0.13945	216.52	236.04	0.9322
-20	0.33536	217.86	237.98	1.0062	0.19770	216.77	236.54	0.9602				
-10	0.34992	224.97	245.96	1.0371	0.20686	224.01	244.70	0.9918	0.14549	223.03	243.40	0.9606
0	0.36433	232.24	254.10	1.0675	0.21587	231.41	252.99	1.0227	0.15219	230.55	251.86	0.9922
10	0.37861	239.69	262.41	1.0973	0.22473	238.96	261.43	1.0531	0.15875	238.21	260.43	1.0230
20	0.39279	247.32	270.89	1.1267	0.23349	246.67	270.02	1.0829	0.16520	246.01	269.13	1.0532
30	0.40688	255.12	279.53	1.1557	0.24216	254.54	278.76	1.1122	0.17155	253.96	277.97	1.0828
40	0.42091	263.10	288.35	1.1844	0.25076	262.58	287.66	1.1411	0.17783	262.06	286.96	1.1120
50	0.43487	271.25	297.34	1.2126	0.25930	270.79	296.72	1.1696	0.18404	270.32	296.09	1.1407
60	0.44879	279.58	306.51	1.2405	0.26779	279.16	305.94	1.1977	0.19020	278.74	305.37	1.1690
70	0.46266	288.08	315.84	1.2681	0.27623	287.70	315.32	1.2254	0.19633	287.32	314.80	1.1969
80	0.47650	296.75	325.34	1.2954	0.28464	296.40	324.87	1.2528	0.20241	296.06	324.39	1.2244
90	0.49031	305.58	335.00	1.3224	0.29302	305.27	334.57	1.2799	0.20846	304.95	334.14	1.2516
100									0.21449	314.01	344.04	1.2785
	P = 0.18 MPa (T_{sat} = -12.73°C)				P = 0.20 MPa (T_{sat} = -10.09°C)				P = 0.24 MPa (T_{sat} = -5.37°C)			
	v	*u*	*h*	*s*	*v*	*u*	*h*	*s*	*v*	*u*	*h*	*s*
Sat.	0.10983	219.94	239.71	0.9273	0.09933	221.43	241.30	0.9253	0.08343	224.07	244.09	0.9222
-10	0.11135	222.02	242.06	0.9362	0.09938	221.50	241.38	0.9256				
0	0.11678	229.67	250.69	0.9684	0.10438	229.23	250.10	0.9582	0.08574	228.31	248.89	0.9399
10	0.12207	237.44	259.41	0.9998	0.10922	237.05	258.89	0.9898	0.08993	236.26	257.84	0.9721
20	0.12723	245.33	268.23	1.0304	0.11394	244.99	267.78	1.0206	0.09339	244.30	266.85	1.0034
30	0.13230	253.36	277.17	1.0604	0.11856	253.06	276.77	1.0508	0.09794	252.45	275.95	1.0339
40	0.13730	261.53	286.24	1.0898	0.12311	261.26	285.88	1.0804	0.10181	260.72	285.16	1.0637
50	0.14222	269.85	295.45	1.1187	0.12758	269.61	295.12	1.1094	0.10562	269.12	294.47	1.0930
60	0.14710	278.31	304.79	1.1472	0.13201	278.10	304.50	1.1380	0.10937	277.67	303.91	1.1218
70	0.15193	286.93	314.28	1.1753	0.13639	286.74	314.02	1.1661	0.11307	286.35	313.49	1.1501
80	0.15672	295.71	323.92	1.2030	0.14073	295.53	323.68	1.1939	0.11674	295.18	323.19	1.1780
90	0.16148	304.63	333.70	1.2303	0.14504	304.47	333.48	1.2212	0.12037	304.15	333.04	1.2055
100	0.16622	313.72	343.63	1.2573	0.14932	313.57	343.43	1.2483	0.12398	313.27	343.03	1.2326

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	P = 0.28 MPa (T_{sat} = -1.23°C)				P = 0.32 MPa (T_{sat} = 2.48°C)				P = 0.40 MPa (T_{sat} = 8.93°C)			
	v	*u*	*h*	*s*	*v*	*u*	*h*	*s*	*v*	*u*	*h*	*s*
Sat.	0.07193	226.38	246.52	0.9197	0.06322	228.43	248.66	0.9177	0.05089	231.97	252.32	0.9145
0	0.0724	227.37	247.64	0.9238								
10	0.07613	235.44	256.76	0.9566	0.06576	234.61	255.65	0.9427	0.05119	232.87	253.35	0.9182
20	0.07972	243.59	265.91	0.9883	0.06901	242.87	264.95	0.9749	0.05397	241.37	262.96	0.9515
30	0.08320	251.83	275.12	1.0192	0.07214	251.19	274.28	1.0062	0.05662	249.89	272.54	0.9837
40	0.0866	260.17	284.42	1.0494	0.07518	259.61	283.67	1.0367	0.05917	258.47	282.14	1.0148
50	0.08992	268.64	293.81	1.0789	0.07815	268.14	293.15	1.0665	0.06164	267.13	291.79	1.0452
60	0.09319	277.23	303.32	1.1079	0.08106	276.79	302.72	1.0957	0.06405	275.89	301.51	1.0748
70	0.09641	285.96	312.95	1.1364	0.08392	285.56	312.41	1.1243	0.06641	284.75	311.32	1.1038
80	0.09960	294.82	322.71	1.1644	0.08674	294.46	322.22	1.1525	0.06873	293.73	321.23	1.1322
90	0.10275	303.83	332.60	1.1920	0.08953	303.50	332.15	1.1802	0.07102	302.84	331.25	1.1602
100	0.10587	312.98	342.62	1.2193	0.09229	312.68	342.21	1.1076	0.07327	312.07	341.38	1.1878
110	0.10897	322.27	352.78	1.2461	0.09503	322.00	352.40	1.2345	0.07550	321.44	351.64	1.2149
120	0.11205	331.71	363.08	1.2727	0.09774	331.45	362.73	1.2611	0.07771	330.94	362.03	1.2417
130									0.07991	340.58	372.54	1.2681
140									0.08208	350.35	383.18	1.2941
T	p = 0.5 MPa (T_{sat} = 15.74 C)				p = 0.60 MPa (T_{sat} =21.58 C)				p = 0.70 MPa (T_{sat} = 26.72 C)			
	v	*u*	*h*	*s*	*v*	*u*	*h*	*s*	*v*	*u*	*h*	*s*
Sat.	0.04086	235.64	256.07	0.9117	0.03408	238.74	259.19	0.9097	0.02918	241.42	261.85	0.9080
20	0.04188	239.40	260.34	0.9264								
30	0.04416	248.20	270.28	0.9597	0.03581	246.41	267.89	0.9388	0.02979	244.51	265.37	0.9197
40	0.04633	256.99	280.16	0.9918	0.03774	255.45	278.09	0.9719	0.03157	253.83	275.93	0.9539
50	0.04842	265.83	290.04	1.0229	0.03958	264.48	288.23	1.0037	0.03324	263.08	286.35	0.9867
60	0.05043	274.73	299.95	1.0531	0.04134	273.54	298.35	1.0346	0.03482	272.31	296.69	1.0182
70	0.05240	283.72	309.92	1.0825	0.04304	282.66	308.48	1.0645	0.03634	281.57	307.01	1.0487
80	0.05432	292.80	319.96	1.1114	0.04469	291.86	318.67	1.0938	0.03781	290.88	317.35	1.0784
90	0.05620	302.00	330.10	1.1397	0.04631	301.14	328.93	1.1225	0.03924	300.27	327.74	1.1074
100	0.05805	311.31	340.33	1.1675	0.04790	310.53	339.27	1.1505	0.04064	309.74	338.19	1.1358
110	0.05988	320.74	350.68	1.1949	0.04946	320.03	349.70	1.1781	0.04201	319.31	348.71	1.1637
120	0.06168	330.30	361.14	1.2218	0.05099	329.64	360.24	1.2053	0.04335	328.98	359.33	1.1910
130	0.06347	339.98	371.72	1.2484	0.05251	339.38	370.88	1.2320	0.04468	338.76	370.04	1.2179
140	0.06524	349.79	382.42	1.2746	0.05402	349.23	381.64	1.2584	0.04599	348.66	380.86	1.2444
150					0.05550	359.21	392.52	1.2844	0.04729	358.68	391.79	1.2706
160					0.05698	369.32	403.51	1.3100	0.04857	368.82	402.82	1.2963

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	p = 0.80 MPa (T_{sat} = 31.33 ^{0}C)				p = 0.90 MPa (T_{sat} = 35.53 ^{0}C)				p = 1.00 MPa (T_{sat} = 39.33 ^{0}C)			
	v	u	h	s	v	u	h	s	v	u	h	s
Sat.	0.02547	243.78	264.15	0.9066	0.02255	245.88	266.18	0.9054	0.02020	247.77	267.97	0.9043
40	0.02691	252.13	273.66	0.9374	0.02325	250.32	271.25	0.9217	0.02029	248.39	268.68	0.9066
50	0.02846	261.62	284.39	0.9711	0.02472	260.09	282.34	0.9566	0.02171	258.48	280.19	0.9428
60	0.02992	271.04	294.98	1.0034	0.02609	269.72	293.21	0.9897	0.02301	268.35	291.36	0.9768
70	0.03131	280.45	305.50	1.0345	0.02738	279.30	303.94	1.0214	0.02423	278.11	302.34	1.0093
80	0.03264	289.89	316.00	1.0647	0.02861	288.87	314.62	1.0521	0.02538	287.82	313.20	1.0405
90	0.03393	299.37	326.52	1.0940	0.02980	298.46	325.28	1.0819	0.02649	297.53	324.01	1.0707
100	0.03519	308.93	337.08	1.1227	0.03095	308.11	335.96	1.1109	0.02755	307.27	334.82	1.1000
110	0.03642	318.57	347.71	1.1508	0.03207	317.82	346.68	1.1392	0.02858	317.06	345.65	1.1286
120	0.03762	328.31	358.40	1.1784	0.03316	327.62	357.47	1.1670	0.02959	326.93	356.52	1.1567
130	0.03881	338.14	369.19	1.2055	0.03423	337.52	368.33	1.1943	0.03058	336.88	367.46	1.1841
140	0.03997	348.09	380.07	1.2321	0.03529	347.51	379.27	1.2211	0.03154	346.92	378.46	1.2111
150	0.04113	358.15	391.05	1.2584	0.03633	357.61	390.31	1.2475	0.03250	357.06	389.56	1.2376
160	0.04227	368.32	402.14	1.2843	0.03736	367.82	401.44	1.2735	0.03344	367.31	400.74	1.2638
170	0.04340	378.61	413.33	1.3098	0.03838	378.14	412.68	1.2992	0.03436	377.66	412.02	1.2895
180	0.04452	389.02	424.63	1.3351	0.03939	388.57	424.02	1.3245	0.03528	388.12	423.40	1.3149

	p = 1.20 MPa (T_{sat} = 46.32 ^{0}C)				p = 1.40 MPa (T_{sat} = 52.43 ^{0}C)				p = 1.60 MPa (T_{sat} = 57.92 ^{0}C)			
	v	u	h	s	v	u	h	s	v	u	h	s
Sat.	0.01663	251.03	270.99	0.9023	0.01405	253.74	273.40	0.9003	0.01208	256.00	275.33	0.8982
50	0.01712	254.98	275.52	0.9164								
60	0.01835	265.42	287.44	0.9527	0.01495	262.17	283.10	0.9297	0.01233	258.48	278.20	0.9069
70	0.01947	275.59	298.96	0.9868	0.01603	272.87	295.31	0.9658	0.01340	269.89	291.33	0.9457
80	0.02051	285.62	310.24	1.0192	0.01701	283.29	307.10	0.9997	0.01435	280.78	303.74	0.9813
90	0.02150	295.59	321.39	1.0503	0.01792	293.55	318.63	1.0319	0.01521	291.39	315.72	1.0148
100	0.02244	305.54	332.47	1.0804	0.01878	303.73	330.02	1.0628	0.01601	301.84	327.46	1.0467
110	0.02335	315.50	343.52	1.1096	0.01960	313.88	341.32	1.0927	0.01677	312.20	339.04	1.0773
120	0.02423	325.51	354.58	1.1381	0.02039	324.05	352.59	1.1218	0.01750	322.53	350.53	1.1069
130	0.02508	335.58	365.68	1.1660	0.02115	334.25	363.86	1.1501	0.01820	332.87	361.99	1.1357
140	0.02592	345.73	376.83	1.1933	0.02189	344.50	375.15	1.1777	0.01887	343.24	373.44	1.1638
150	0.02674	355.95	388.04	1.2201	0.02262	354.82	386.49	1.2048	0.01953	353.66	384.91	1.1912
160	0.02754	366.27	399.33	1.2465	0.02333	365.22	397.89	1.2315	0.02017	364.15	396.43	1.2181
180	0.02834	376.69	410.70	1.2724	0.02403	375.71	409.36	1.2576	0.02080	374.71	407.99	1.2445
180	0.02912	387.21	422.16	1.2980	0.02472	386.29	420.90	1.2834	0.02142	385.35	419.62	1.2704
190					0.02541	396.96	432.53	1.3088	0.02203	396.08	431.33	1.2960
200					0.02608	407.73	444.24	1.3338	0.02263	406.90	443.11	1.3212

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VS-606V7 Series

SUPPLEMENTAL MANUAL

COMPACT GENERAL-PURPOSE INVERTER
(VOLTAGE VECTOR CONTROL)

Upon receipt of the product and prior to initial operation, read these instructions thoroughly, and retain for future reference.

This manual (Manual No. EZZ008425) supplements the information provided in the VS-606V7 Series INSTRUCTION MANUAL (Manual No. : TOE-S606-11). It is intended only for users of 3-phase, 200/400V class, 5.5/7.5kW (7.5/10HP) VS-606V7 inverters.

YASKAWA

MANUAL NO. EZZ008425

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PREFACE

The contents of this manual only apply to 3-phase, 200/400V class 5.5/7.5kW (7.5/10HP) VS-606V7 inverters. Read this manual for the following information listed below. Refer to the VS-606V7 Series INSTRUCTION MANUAL (Manual No.: TOE-S606-11) for information which is not described in this manual.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONTENTS

PREFACE ····· 2 (2)

WARNING DISPLAY ····· 5 (11)

■ Checking the Name Plate ····· 6 (16)

SPEC ····· 7 (16)

Main Circuit Terminal Arrangement ····· 7 (19)

■ Mounting Dimensions ····· 8 (21)

■ Mounting / Removing Components ····· 9 (22)

■ Wire and Terminal Screw Sizes ····· 12 (25)

1. Control Circuit ····· 12 (25)

2. Main Circuit

200V Class 3-phase Input Series ····· 12 (25)

400V Class 3-phase Input Series ····· 12 (27)

■ LED Description ····· 13 (35)

·Monitoring ····· 15 (37)

■ Using V/f Control Mode ····· 16 (42)

■ Speed Search Command ····· 17 (62)

■ Reducing Motor Noise or Leakage Current ····· 18 (67)

■ Building Interface Circuits with External Devices ····· 19 (72)

Using input signals ····· 19 (72)

Using output signals (n057, n058, n059) ····· 21 (78)

■ Using MEMOBUS (MODBUS) Communications ····· 22 (89)

·Data (Monitor Data) ····· 22 (95)

■ Motor Code ····· 25(105)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

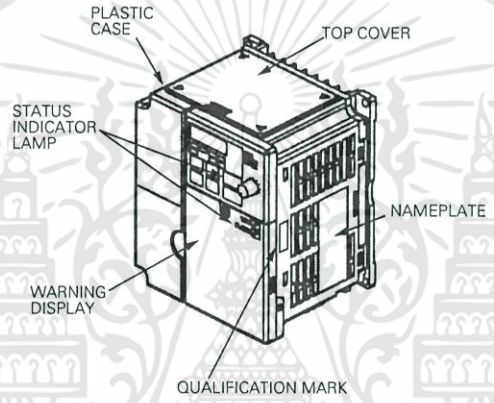
■ Operation Method for Frequency Reference Loss Detection (n064)··26 *
■ Cumulative Operation Time Selection ·····26 *
■ Installed Braking Resistor Overheating Protection Selection (n165)··27 *
■ Input / Output open-phase Detection ·····27 *
■ Replacement of Cooling Fan ·····28(124)
■ Fault Diagnosis and Corrective Actions ·····29(126)
■ Standard Specifications (200V Class) ·····38(135)
■ Standard Specifications (400V Class) ·····41(138)
■ Dimensions / Heat Loss ·····44(146)
■ Recommended Peripheral Devices ·····46(148)
■ Constants List·····47(150)

* Functions only apply to 200/400V class, 5.5/7.5kW (7.5/10HP) inverters.
Note: Numbers in parenthess are page numbers in the VS-606V7 Series INSTRUCTION MANUAL (Manual No.: TOE-S606-11)

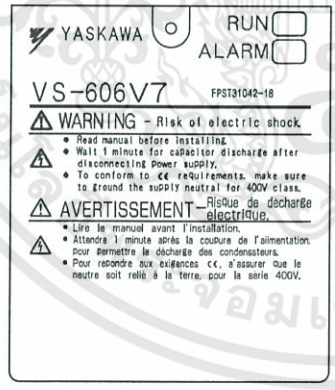
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

WARNING DISPLAY

A warning label is displayed on the front cover of the inverter, as shown below. Follow these instructions when handling the inverter.



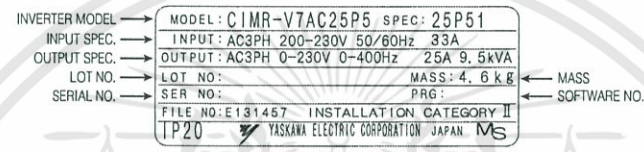
Warning Display



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

■ Checking the Name Plate

Example of 3-phase, 200VAC, 5.5kW (7.5HP)



MODEL

CIMR — V 7 A C 25 P5

Inverter

VS-606V7 Series

No.	Type
A	With digital operator (with potentiometer)
B	Without digital operator (with blank cover)
C	With digital operator (without potentiometer)

Note: Contact your YASKAWA representatives for the type without heatsink.

	Applicable maximum motor output	
	200V class	400V class
0P1	0.1kW	—
0P2	0.25kW	0.37kW
0P4	0.55kW	0.55kW
0P7	1.1kW	1.1kW
1P5	1.5kW	1.5kW
2P2	2.2kW	2.2kW
3P0	—	3.0kW
4P0	4.0kW	4.0kW
5P5	5.5kW	5.5kW
7P5	7.5kW	7.5kW

No.	Voltage Class
B	Single-phase 200VAC
2	Three-phase 200VAC
4	Three-phase 400VAC

No.	Specifications
C	European standards

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SPEC

2 5 P 5 1

B	Single-phase 200VAC
2	Three-phase 200VAC
4	Three-phase 400VAC

	Applicable maximum motor output	
	200V class	400V class
0P1	0.1kW	—
0P2	0.25kW	0.37kW
0P4	0.55kW	0.55kW
0P7	1.1kW	1.1kW
1P5	1.5kW	1.5kW
2P2	2.2kW	2.2kW
3P0	—	3.0kW
4P0	4.0kW	4.0kW
5P5	5.5kW	5.5kW
7P5	7.5kW	7.5kW

No.	Protective structure
0	Open chassis (IP00)
1	Enclosed wall-mounted*1
7	Open chassis (IP20) Top-closed type*2

*1 NEMA 1 (TYPE 1) "0P1" to "3P7" are optional. NEMA 1 (TYPE 1) "5P5" to "7P5" are standard.
*2 Code Nos. "0P1" to "3P7" are IP20. Always remove both top and bottom covers when using the 5P5 and 7P5 inverters as open chassis types. (They are IP00.)

Main Circuit Terminal Arrangement

The terminal arrangement for 200/400V class, 3-phase input series 5.5/7.5kW (7.5/10HP) is shown below.

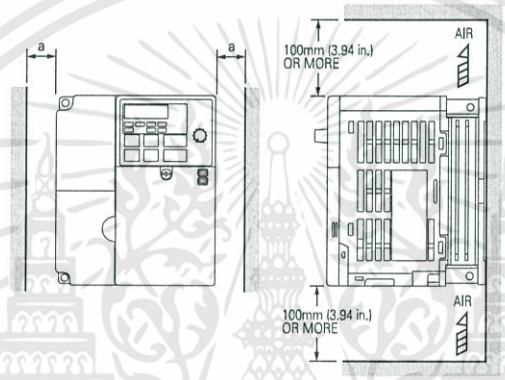
CIMR-V7*C25P5, 27P5, 45P5, 47P5

⏚												
⏚	R/L1	S/L2	T/L3	−		+ 1	+ 2	B1	B2	U/T1	V/T2	W/T3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

■ Mounting Dimensions

To mount the VS-606V7, dimensions as shown below are required.



Voltage		Max. Applicable Motor Output kW (HP)	Length of a
200V single-phase 3-phase 400V 3-phase		3.7kW (5HP) or less	30mm (1.18in.) or more
200V	3-phase	5.5kW (7.5HP)	50mm (1.97in.) or more
400V	3-phase	7.5kW (10HP)	

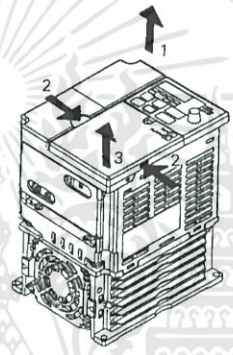
NOTE
1. The above dimensions are common for both open chassis type (IP00, IP20) and type NEMA 1 (TYPE 1).
2. Always remove both top and bottom covers when using 200/400V class, 5.5/7.5kW (7.5/10HP) as open chassis type.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

■ Mounting / Removing Components

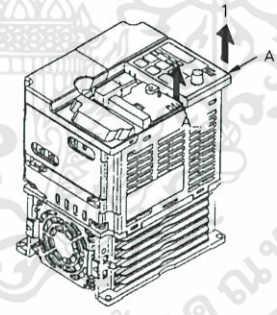
Mount the inverter after removing the front cover, digital operator, and terminal cover.

• Removing front cover
Use a driver to loosen the screw on the front cover surface to direction 1 to remove it. Then press the right and left sides to direction 2 and lift the front cover to direction 3.



• Mounting front cover
Mount the front cover in the descending order of the above procedure for removal.

• Removing digital operator
After removing the front cover, lift the upper and lower sides (section A) of the right side of the digital operator to direction 1.



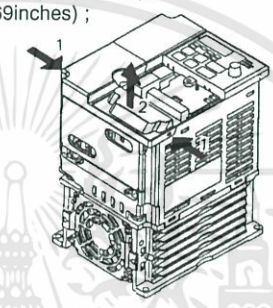
• Mounting digital operator
Mount the digital operator in the descending order of the above procedure for removal.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

• Removing terminal cover

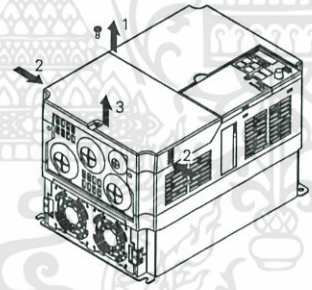
When "W" (width) dimension is 108mm (4.25inches), 140mm (5.51inches) or 170mm (6.69inches) ;

After removing the front cover, press the right and left sides to direction 1 and lift the terminal cover to direction 2.



When "W" (width) dimension is 180mm (7.09inches) ;

Use a driver to loosen the screw on the terminal cover surface to direction 1 to remove it. Then press the right and left sides to direction 2 and lift the terminal cover to direction 3.



• Mounting terminal cover

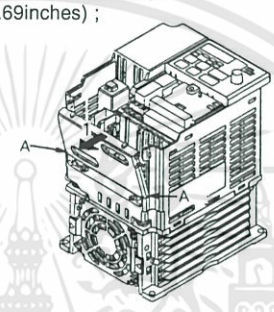
Mount the terminal cover in the descending order of the above procedure for removal.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

• Removing bottom cover

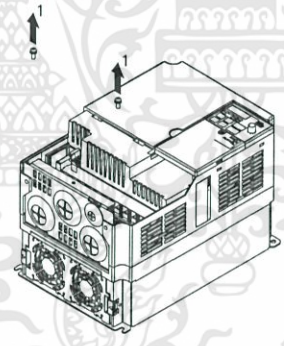
When "W" (width) dimension is 108mm (4.25inches), 140mm (5.51inches) or 170mm (6.69inches) ;

After removing the front cover and the terminal cover, tilt the bottom cover to direction 1 with section A as a supporting point.



When "W" (width) dimension is 108mm (7.09inches) ;

After removing the terminal cover, use a driver to loosen the fastening screw to direction 1 to remove it.



• Mounting bottom cover

Mount the bottom cover in the descending order of the above procedure for removal.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

■ Wire and Terminal Screw Sizes

1. Control Circuit

Model	Terminal Symbol	Screw	Tightening Torque N·m (lb·in)	Wire				Type
				Applicable size		Recommended size		
				mm²	AWG	mm²	AWG	
Common to all models	MA, MB, MC	M3	0.5 to 0.6 (4.44 to 5.33)	twisted wire 0.5 to 1.25 single 0.5 to 1.25	20 to 16 20 to 16	0.75	18	Shielded wire or equivalent
	S1 to S7,P1,P2,SC,PC,R+,R- S+,S-,FS,FR,FC,AM,AC,RP	M2	0.22 to 0.25 (1.94 to 2.21)	twisted wire 0.5 to 0.75 single 0.5 to 1.25	20 to 18 20 to 16	0.75	18	

2. Main Circuit

200V Class 3-phase Input Series

Model	Terminal Symbol	Screw	Tightening Torque N·m (lb·in)	Wire				Type
				Applicable size		Recommended size		
				mm²	AWG	mm²	AWG	
CIMR-V7*C 25P5	R/L1,S/L2,T/L3, –,+1,+2,B1,B2, U/T1,V/T2,W/T3 ⏚	M5	2.5 (22.19)	5.5 to 8	10 to 8	8	8	600V vinyl-sheathed wire or equivalent
CIMR-V7*C 27P5	R/L1,S/L2,T/L3, –,+1,+2,B1,B2, U/T1,V/T2,W/T3 ⏚	M5	2.5 (22.19)	5.5 to 8	10 to 8	8	8	

Note : The wire size is set for copper wires at 75°C (160°F).

400V Class 3-phase Input Series

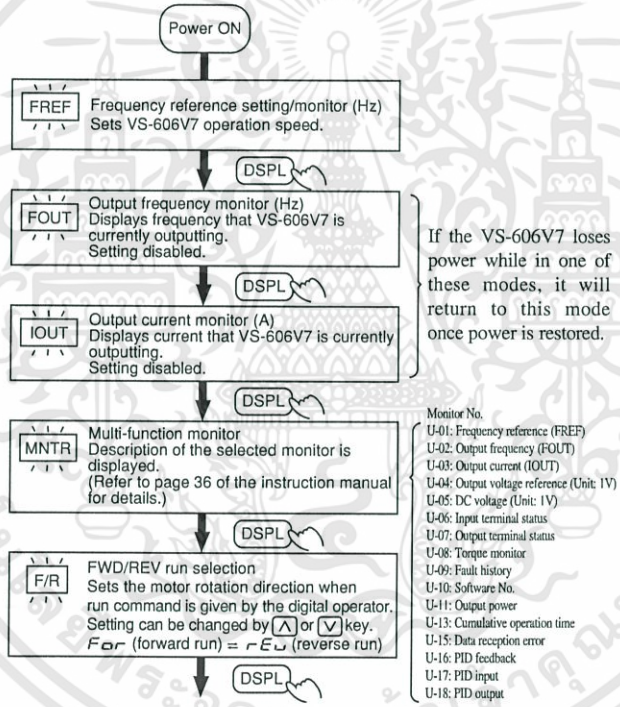
Model	Terminal Symbol	Screw	Tightening Torque N·m (lb·in)	Wire				Type
				Applicable size		Recommended size		
				mm²	AWG	mm²	AWG	
CIMR-V7*C 45P5	R/L1,S/L2,T/L3, –,+1,+2,B1,B2, U/T1,V/T2,W/T3 ⏚	M4	1.8 (15.98)	5.5	10	5.5	10	600V vinyl-sheathed wire or equivalent
CIMR-V7*C 47P5	R/L1,S/L2,T/L3, –,+1,+2,B1,B2, U/T1,V/T2,W/T3 ⏚	M5	2.5 (22.19)	5.5 to 8	10 to 8	5.5	10	

Note : The wire size is set for copper wires at 75°C (160°F).

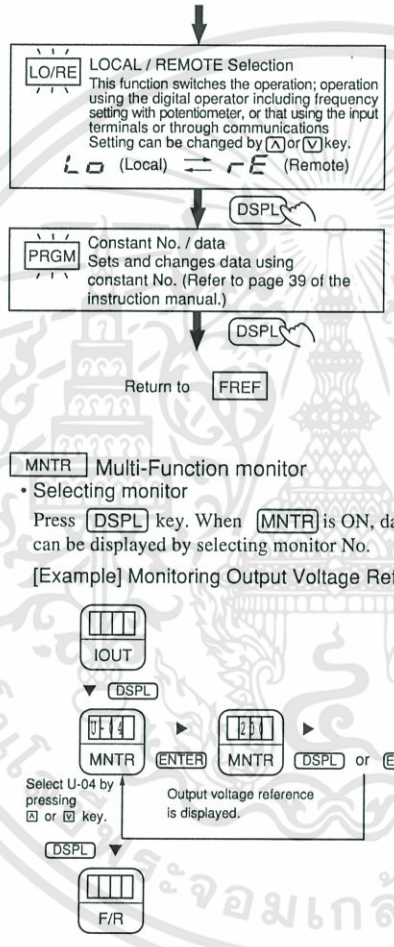
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

■ LED Description

By pressing (DSPL) on the digital operator, each of the function LEDs can be selected.
The following flowchart describes each function LED.
Refer to the instruction manual (TOE-S606-11) for detailed settings.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MNTR Multi-Function monitor

• Selecting monitor

Press DSPL key. When MNTR is ON, data can be displayed by selecting monitor No.

[Example] Monitoring Output Voltage Reference

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

• Monitoring

Following items can be monitored by U- constants.

Constant No.	Name	Unit	Description
U-01	Frequency reference (FREF)*1	Hz	Frequency reference can be monitored. (Same as FREF)
U-02	Output frequency (FOUT)*1	Hz	Output frequency can be monitored. (Same as FOUT)
U-03	Output current (IOUT)*1	Hz	Output current can be monitored. (Same as IOUT)
U-04	Output voltage	V	Output voltage can be monitored.
U-05	DC voltage	V	Main circuit DC voltage can be monitored.
U-06	Input terminal status*2	–	Input terminal status of control circuit terminals can be monitored.
U-07	Output terminal status*2	–	Output terminal status of control circuit terminals can be monitored.
U-08	Torque monitor	%	The amount of output torque can be monitored. When V/f control mode is selected, "----" is displayed.
U-09	Fault history (last 4 faults)	–	Last four fault history is displayed.
U-10	Software No.	–	Software No. can be checked.
U-11	Output power *3	kW	Output power can be monitored.
U-13	Cumulative operation time*4	×10H	Cumulative operation time can be monitored in units of 10H.
U-15	Data reception error *5	–	Contents of MEMOBUS communication data reception error can be checked. (contents of tranamission register No. 003DH are the same)
U-16	PID feedback *6	%	Input 100(%) / Max. output frequency or equivalent
U-17	PID input *6	%	±100(%)/± Max. output frequercy
U-18	PID output *6	%	±100(%)/± Max. output frequercy

*1 The status indicator LED is not turned ON.

*2 Refer to the next page for input / output terminal status.

*3 The display range is from -99.9kW to 99.99kW.
When regenerating, the output power will be displayed in units of 0.01kW when -9.99kW or less and in units of 0.1kW when more than -9.99kW.
When in the vector control mode,"----" will be displayed.

*4 This function only applies to 200/400V class, 5.5/7.5kW (7.5/10HP) inverters.

*5 Refer to the next page for data reception error.

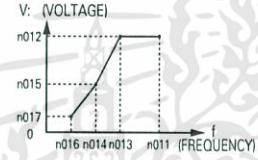
*6 Displayed in units of 0.1% when less than 100% and in units of 1% when 100% or more.
The display range is from -999% to 999%.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

■ Using V/f Control Mode

V/f pattern setting

Set V/f pattern by n011 to n017 as described below. Set each pattern when using a special motor (high-speed motor, etc.) or when requiring special torque adjustment of machine.



Be sure to satisfy the following conditions for the setting of n011 to n017.
n016 ≤ n014 < n013 ≤ n011
If n016 = n014 is set, the set value of n015 is disabled.

Constants No.	Name	Unit	Setting range	Initial Setting
n011	Max. output frequency	0.1Hz	50.0 to 400.0Hz	60.0Hz
n012	Max. voltage	1V	1 to 255.0V (0.1 to 510.0V)	200.0V (400.0V)
n013	Max. voltage output frequency (base frequency)	0.1Hz	0.2 to 400.0Hz	50.0Hz
n014	Mid. output frequency	0.1Hz	0.1 to 399.9Hz	1.3Hz
n015	Mid. output frequency voltage	1V	0.1 to 255.0V (0.1 to 510.0V)	12.0V* (24.0V)
n016	Min. output frequency	0.1Hz	0.1 to 10.0Hz	1.3Hz
n017	Min. output frequency voltage	1V	1 to 50.0V (0.1 to 100.0V)	12.0V* (24.0V)

* 10.0V for 200V class, 5.5/7.5kW (7.5/10HP) inverters.
20.0V for 400V class, 5.5/7.5kW (7.5/10HP) inverters.

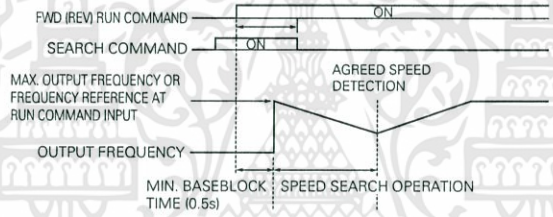
Note: Values with parentheses indicate 400V class.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

■ Speed Search Command

Restarts a coasting motor without stopping it. This function enables smooth switching between motor commercial power supply operation and inverter operation.
Set multi-function input selection (n050 to n056) to "14" (search command from maximum output frequency) or "15" (search command from set frequency).
Build a sequence so that FWD (REV) run command is input at the same time as the search command or after the search command. If the run command is input before the search command, the search command becomes disabled.

Time chart at search command input



Set deceleration time during a speed search at constant n101. Speed search starts when inverter output current ≥ speed search operation level.
This function applies to the 200/400V class, 5.5/7.5kW (7.5/10HP) inverters.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

■ Reducing Motor Noise or Leakage Current (n080)

Factory setting varies according to inverter capacity (kVA).

Voltage Class (V)	Capacity kW	Initial Setting		Maximum Continuous Output Current (A)	Reduced Current (A)
		Setting	Carrier Frequency		
200 Single-phase 3-phase	0.1	4	10kHz	0.8	–
	0.25	4	10kHz	1.6	
	0.55	4	10kHz	3.0	
	1.1	4	10kHz	5.0	
	1.5	3	7.5kHz	8.0	7.0
	2.2	3	7.5kHz	11.0	10.0
	4.0	3	7.5kHz	17.5	16.5
	5.5	3	7.5kHz	25	23
	7.5	3	7.5kHz	33	30
400 3-phase	0.37	3	7.5kHz	1.2	1.0
	0.55	3	7.5kHz	1.8	1.6
	1.1	3	7.5kHz	3.4	3.0
	1.5	3	7.5kHz	4.8	4.0
	2.2	3	7.5kHz	5.5	4.8
	3.0	3	7.5kHz	7.2	6.3
	4.0	3	7.5kHz	8.6	8.1
	5.5	3	7.5kHz	14.8	*
	7.5	3	7.5kHz	18	17

* Reduction not necessary.

Note: When the inverter starts and stops repeatedly with a load of 120% rated output current within 10 minutes, set the constant n175 (Reducing carrier frequency selection at low speed) to 1.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

■ Building Interface Circuits with External Devices

Using input signals

Multi-function input terminal S1 to S7 functions can be changed when necessary by setting constants n051 or n052 respectively. The same value cannot be set to different constant settings.

Setting	Name	Description	Ref.*
0	FWD/REV run command (3-wire sequence selection)	Setting enabled only for n052	73
1	Forward run (2-wire sequence selection)		49
2	Reverse run (2-wire sequence selection)		49
3	External fault (NO contact input)	Inverter stops by external fault signal input. Digital operator display is "EF□†".	–
4	External fault (NC contact input)		–
5	Fault reset	Resets the fault. Fault reset not effective with the run signal ON.	51
6	Multi-step speed reference 1		51
7	Multi-step speed reference 2		51
8	Multi-step speed reference 3		51
9	Multi-step speed reference 4		51
10	JOG command		52
11	Accel/decel time select		55
12	External baseblock (NO contact input)	Motor coast to a stop by this signal input. Digital operator display is "bb".	–
13	External baseblock (NC contact input)		–
14	Search command from maximum frequency	Speed search reference signal	62
15	Search command from set frequency		62
16	Accel/decel hold command		63
17	LOCAL/REMOTE selection		48
18	Communication/ control circuit terminal selection		75
19	Emergency stop fault (NO contact input)	Inverter stops by emergency stop signal input according to stopping method selection (n005). When frequency coasting to a stop (n005 is set to 1) method is selected, inverter coasts to a stop according to decel time setting 2 (n022). Digital operator display is STP. (lit at fault, blinking at alarm)	–
20	Emergency stop alarm (NO contact input)		–
21	Emergency stop fault (NC contact input)		–
22	Emergency stop alarm (NC contact input)		–
23	PID contorol cancel		110
24	PID integral reset		110
25	PID integral hold		110
26	Inverter overheating pre-alarm OH3	"oH3" (blinking) is displayed on the digital operator by signal input.	–
34	UP/DOWN command	Setting enabled only for n056 (terminal S7)	74
35	Self-test	Setting enabled only for n056 (terminal S7)	100

* Shows the reference page of the instruction manual (TOE-S606-11).
† Number 1 to 7 is displayed in □ corresponding to the terminal numbers S1 to S7 respectively.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Initial setting

No.	Terminal	Initial Setting	Function
n050	S1	1	Forward run command (2-wire sequence)
n051	S2	2	Reverse run command (3-wire sequence)
n052	S3	3	External fault
n053	S4	5	Fault reset
n054	S5	6	Multi-step speed reference 1
n055	S6	7	Multi-step speed reference 2
n056	S7	10	JOG command

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Using output signals (n057, n058, n059)

Multi-function output terminal MA, MB, P1 and P2 functions can be changed when necessary by setting constants n057, n058, and n059.

- Terminal MA and MB functions: Set to n057
- Terminal P1 function: Set to n058
- Terminal P2 function: Set to n059

Setting	Name	Description	Ref.page*
0	Fault	Closed when inverter fault occurs.	–
1	In operation	Closed when either FWD/REV command is input or voltage is outout from the inverter.	–
2	Agreed frequency	Closed when setting frequency agrees with inverter output frequency.	79
3	Zero speed	Closed when inverter output frequency is less than minimum output frequency.	–
4	Frequency detection	Output frequency ≥ frequency detection level (n095)	59
5	Frequency detection	Output frequency ≤ frequency detection level (n095)	59
6	Overtorque detection 1 (NO contact output)	—	58
7	Overtorque detection 2 (NC contact output)	—	58
10	Minor fault	Closed when the alarm is indicated.	–
11	Base blocked	Closed when the inverter output is shut off.	–
12	Operation mode	Closed when "LOCAL" is selected by LOCAL/REMOTE selection.	–
13	Inverter operation ready	Closed when inverter fault is not detected, and operation is ready.	–
14	Fault restart	Closed during fault retry	–
15	In UV	Closed when undervoltage is detected.	–
16	In reverse run	Closed during reverse run.	–
17	In speed search	Closed when inverter conducts speed search.	–
18	Data output from communication	Operates multi-function output terminal independently from inverter operation (by MEMOBUS communication)	89
19	PID feedback loss	Closed during PID feedback loss	109
20	Frequency reference is missing	Closed when frequency reference is missing.	–
21	Inverter overheating pre-alarm OH3	Closed when inverter overheating pre-alarm is input. Digital operator display is "OH3 (blinking)."	–

* Shows the reference page of the instruction manual (TOE-S606-11).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

■ Using MEMOBUS (MODBUS) Communications

• Data

Monitor Data (available only for read out)

Register No.		bit	Description		
0020H	Status signal	0	Run command	1 : Run	0 : Stop
		1	Reverse run	1 : Reverse run	0 : Forward run
		2	Inverter operation ready	1 : Ready	0 : Not ready
		3	Fault	1 : Fault	
		4	Data setting error	1 : Error	
		5	Multi-function output 1	(1 : MA ON	0 : MA OFF)
		6	Multi-function output 2	(1 : P1 ON	0 : OFF)
		7	Multi-function output 3	(1 : P2 ON	0 : OFF)
		8 - F	(Not used)		
0021H	Fault description	0	Overcurrent (OC)		
		1	Overvoltage (OV)		
		2	Inverter overload (OL2)		
		3	Inverter overheat (OH)		
		4	(Not used)		
		5	(Not used)		
		6	PID feedback loss (FbL)		
		7	External fault (EF, EFO)	Emergency stop (STP)	
		8	Hardware fault (FXX)		
		9	Motor overload (OL1)		
		A	Overtorque detection (OL3)		
		B	(Not used)		
		C	Power loss (UV1)		
		D	Control power fault (UV2)		
		E	MEMOBUS communications timeover (CE)		
		F	Operator connection (OPR)		
0022H	Data link status	0	Data write in		
		1	(Not used)		
		2	(Not used)		
		3	Upper / lower limit fault		
		4	Consistency fault		
		5 - F	(Not used)		
0023H	Frequency reference (Unit : n152)				
0024H	Output frequency (Unit : n152)				
0025H-026H	(Not used)				
0027H	Output current (10/1A)				
0028H	Output voltage reference (1/1V)				
0029H	Fault description	0	Load shortcircuit (SC)		
		1	Ground fault (GF)		
		2	Input open phase (PF)		
		3	Output open phase (LF)		
		4	Installed braking resistor overheat (RH)		
		5	Braking transistor fault (RR)		
		6 - F	(Not used)		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Register No.		bit	Description
002AH	Alarm description	0	Operator stop (STP)
		1	Sequence error (SER)
		2	FWD / REV command simultaneous input (EF)
		3	External baseblock (BB)
		4	Overtorque detection (OL3)
		5	Heatsink overheat (OH)
		6	Main circuit overvoltage (OV)
		7	Main circuit undervoltage (UV)
		8	Cooling fan fault (FAN)
		9	Communication error (CE)
		A	Option card communication error (BUS)
		B	(Not used)
		C	Inverter overheat prediction (OH3)
		D	PID feedback loss (FBL)
		E	Emergency stop (STP)
		F	Communication waiting (CALL)
002BH	Sequence input status	0	Terminal S1 1 : Closed 0 : Open
		1	Terminal S2 1 : Closed 0 : Open
		2	Terminal S3 1 : Closed 0 : Open
		3	Terminal S4 1 : Closed 0 : Open
		4	Terminal S5 1 : Closed 0 : Open
		5	Terminal S6 1 : Closed 0 : Open
		6	Terminal S7 1 : Closed 0 : Open
		7 - F	(Not used)
002CH	Inverter status	0	Run 1 : Run
		1	Zero - speed 1 : Zero - speed
		2	Frequency agreed 1 : Agreed
		3	Minor fault (Alarm is indicated)
		4	Frequency detection 1 1 : Output frequency ≤ (n095)
		5	Frequency detection 2 1 : Output frequency ≥ (n095)
		6	Inverter operation ready 1 : Ready
		7	Undervoltage detection 1 : Undervoltage detection
		8	Baseblock 1 : Inverter output baseblock
		9	Frequency reference mode 1 : Other than communications 0 : Communications
		A	Run command mode 1 : Other than communications 0 : Communications
		B	Overtorque detection 1 : Detection or overtorque fault
		C	(Not used)
		D	Fault restart
		E	Fault (Including MEMOBUS communications timeover) 1 : Fault
		F	MEMOBUS communications timeover 1 : timeover

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Register No.		bit	Description
002DH		0	MA "ON" 1 : Closed 0 : Open
		1	P1 "ON" 1 : Closed 0 : Open
		2	P2 "ON" 1 : Closed 0 : Open
		3 - F	(Not used)
002EH	Inverter status	0	Frequency reference loss
		1	(Not used)
		2	(Not used)
		3	(Not used)
		4	(Not used)
		5	(Not used)
		6	(Not used)
		7	(Not used)
		8 - F	(Not used)
002FH-0030H	Reserved		
0031H	Main circuit DC voltage (1 / 1V)		
0032H	Torque monitor		
0033H-0034H	(Not used)		
0035H	Cumulative operation time (1/1H)		
0036H	(Not used)		
0037H	Output Power (1/1W : with sign)		
0038H	PID feedback value (100% / Input equivalent to max. output frequency; 10 / 1%; without sign)		
0039H	PID input value (±100% / ± Max. output frequency ; 10/1%; with sign)		
003AH	PID output value (±100% / ± Max. output frequency ; 10/1%; with sign)		
003BH-003CH	Reserved		
003DH	Communications error	0	CRC error
		1	Improper data length
		2	(Not used)
		3	Parity error
		4	Overrun error
		5	Framing error
		6	Timeover
		7	(Not used)
003EH-00FFH	Reserved		

* Communications error contents are saved until fault reset is input.
(Reset is enabled during run.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

■ Motor Code

The energy-saving coefficient K2 (n140) is set to a value that corresponds with that motor code (n158).

Motor Type	Voltage Class	Capacity	Motor Code: n158	Energy-saving coefficient K2: n140
YASKAWA General-purpose Motor	200V	0.1 kW	0	481.7
		0.2 kW	1	356.9
		0.4 kW	2	288.2
		0.75 kW	3	223.7
		1.5 kW	4	169.4
		2.2 kW	5	156.8
		3.7 kW	7	122.9
		5.5 kW	9	94.8
		7.5 kW	10	72.7
	400V	0.2 kW	21	713.8
		0.4 kW	22	576.4
		0.75 kW	23	447.4
		1.5 kW	24	338.8
		2.2 kW	25	313.6
		3.0 kW	26	245.8
		3.7 kW	27	245.8
		5.5 kW	29	189.5
		7.5 kW	30	145.4
YASKAWA Inverter Motor	200V	0.1 kW	40	481.7
		0.2 kW	41	356.9
		0.4 kW	42	300.9
		0.75 kW	43	224.7
		1.5 kW	44	160.4
		2.2 kW	45	138.9
		3.7 kW	47	106.9
		5.5 kW	49	84.1
		7.5 kW	50	71.7
	400V	0.2 kW	61	713.8
		0.4 kW	62	601.8
		0.75 kW	63	449.4
		1.5 kW	64	320.8
		2.2 kW	65	277.8
		3.0 kW	66	213.8
		3.7 kW	67	213.8
		5.5 kW	69	168.3
		7.5 kW	70	143.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

■ Operation Method for Frequency Reference Loss Detection (n064)

Select operation in case the frequency reference from control circuit terminal decreases rapidly.

Setting	Description
0	No detection
1*	Continue to run at 80% of max. frequency

* Detects when the inverter is in the remote mode (drive mode) and the constant n004 (Frequency reference selection) is set either at the analog reference or at the pulse train reference.

Operation when 1 is selected

If frequency reference decreasers by 90% within 400ms, the inverter operates at 80% of the reference reached before decreasing.

■ Cumulative Operation Time Selection

Setting	Description
0	Inverter power-on time (Counts the elapsed time from start-up until power is turned OFF)
1	Inverter running time (Counts the elapsed time that there is an inverter output.)

○ Cumulative operation time setting

Inverter operating time set with constant n087 is accumulated by the unit of 10H.

Accumulation starts from the time set with constant n088.

Constant No.	Name	Description	Inetial setting
n088	Cumulative operation time setting	Unit: 1=10H Setting Range: 0 to 6550 (65500H)	0 (H)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

■ Installed Braking Resistor Overheating Protection Selection (n165)

Set to 0 when a braking resistor is not connected.

Setting	Description
0	Overheating protection is not provided.
1	Overheating protection is provided.

■ Input/Ouput Open-phase Detection

Constant No.	Name	Description	Inetial setting
n166	Input open-phase detection level	Unit: 1% Setting Range: 0 to 100%* 400.0V/100% (200V class) 800.0V/100% (400V class)	0%
n167	Input open-phase detection time	Unit: 1 sec Setting Range: 0 to 255 sec†	0 sec
n168	Output open-phase detection level	Unit: 1% Setting Range: 0 to 100%* Inverter rated output current value/100%	0%
n169	Output open-phase detection time	Unit: 0.1 sec Setting Range: 0.0 to 2.0 sec†	0.0 sec

* Not detected when set to 0%.
† Not detected when set to 0.0 sec.

Recommended set value for input open-phase detection; n166 = 7%
n167 = 10 sec

Recommended set value for output open-phase detection; n168 = 5%
n169 = 0.2 sec

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

■ Replacement of Cooling Fan

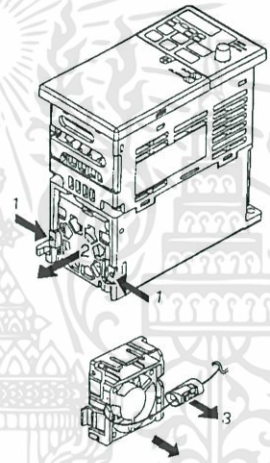
• Inverter of W-dimension (width) 68mm (2.68 inches), 140mm (5.51inches), 170mm (6.69 inches) or 180mm (7.09 inches)

1. Removal

(1) Press the right and left clicks of the fan cover to direction 1, and then pull them to direction 2 to remove the fan cover from the inverter unit.

(2) Pull the wiring to direction 3 from the fan cover rear face, and remove the protective tube and connector.

(3) Open the left and right sides of the fan cover to remove the cooling fan from the cover.



2. Mounting

(1) Mount the cooling fan on the fan cover. The arrow mark to indicate the wind direction of the cooling fan must be in the opposite side to the cover.

(2) Connect the connector and mount the protective tube firmly. Mount the connector joint section on the fan cover rear face.

(3) Mount the fan cover on the inverter. Be sure to mount the right and left clicks of the fan cover on the heatsink.

WIND DIRECTION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

■ Fault Diagnosis and Corrective Actions

<Corrective Actions of Models with Digital Operator>

☼ : ON ☼ : BLINKING ● : OFF

Alarm Display and Contents

Alarm Display		Inverter Status	Explanation	Causes and Corrective Actions
Digital Operator	RUN (Green) ALARM (Red)			
UV Blinking	☼ ☼	Warning Fault contacts do not change state.	UV (Main circuit low voltage) Main circuit DC voltage drops below the low-voltage detection level while the inverter output is OFF. 200V:Main circuit DC voltage drops below approx. 200V. (160V for single-phase) 400V:Main circuit DC voltage drops below approx. 400V. (Control supply fault) Control power supply fault is detected while the inverter output is OFF.	Check the following : • Power supply voltage • Main circuit power supply wiring is connected. • Terminal screws are securely tightened.
OV Blinking			OV (Main circuit overvoltage) Main circuit DC voltage exceeds the overvoltage detection level while the inverter output is OFF. Detection level 200V class : approx 410V or more 400V class : approx 820V or more	Check the power supply voltage.
OH Blinking			OH (Cooling fin overheat) Intake air temperature rises while the inverter output is OFF.	Check the intake air temperature.
OH3 Blinking			OH3 (Inverter overheating pre-alarm)* OH3 signal is input.	Release the input of inverter overheating pre-alarm signal.
CAL Blinking			CAL (MEMOBUS communications waiting) Correct data has not been received from the PLC when the constants n003(operation command selection) is 2 or n004(frequency reference selection) is 6, and power is turned ON.	Check communication devices, and transmission signals.

* Display only applies to 200/400 V class, 5.5/7.5kW (7.5/10HP) inverters.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Alarm Display		Inverter Status	Explanation	Causes and Corrective Actions
Digital Operator	RUN (Green) ALARM (Red)			
oP□		Warning Fault contacts do not change state.	OP□ (Constant setting error when the constant setting is performed through the MEMOBUS communications) OP1: Two or more values are set for multi-function input selection. (constants n050 to n056) OP2: Relationship among V / f constants is not correct. (constants n011, n013, n014, n016) OP3: Setting value of motor rated current exceeds 150% of inverter rated current. (constant n036) OP4: Upper / lower limit of frequency reference is reversed. (constants n033, n034) OP5: (constants n083 to n085)	Check the setting values.
oL 3 Blinking			OL 3 (Overtorque detection) Motor current exceeded the preset value in constant n098.	Reduce the load, and expand the accel / decel time.
SEr Blinking			SER (Sequence error) Inverter receives LOCAL / REMOTE select command or communication / control circuit terminal changing signals from the multi-function terminal while the inverter is outputting.	Check the external circuit (sequence).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Alarm Display		Inverter Status	Explanation	Causes and Corrective Actions
Digital Operator	RUN (Green) ALARM (Red)			
bb Blinking		Warning Fault contacts do not change state.	BB (External baseblock) Baseblock command at multi-function terminal is active, the inverter output is shut OFF (motor coasting). Temporary condition is cleared when input command is removed.	Check the external circuit (sequence).
EF Blinking			EF (Simultaneous FWD/REV run commands) When FWD and REV run commands are simultaneously input for over 500ms, the inverter stops according to constant n005.	Check the external circuit (sequence).
STP Blinking	☼ or ☼		STP (Operator function stop) STOP/RESET is pressed during running by the control circuit terminals FWD / REV command, or by the run command from communications The inverter stops according to constant n005. STP(Emergency stop) Inverter receives emergency stop alarm signal. Inverter stops according to constant n005.	Open FWD/REV command of control circuit terminals . Check the external circuit (sequence).
FAn Blinking			FAN(Cooling fan fault) Cooling fan is locked.	Check the following: • Cooling fan • Cooling fan wiring is not connected.
CE Blinking			CE (MEMOBUS) communications fault	Check the communication devices or communication signals.
FbL Blinking			FBL (PID feedback loss detection) PID feedback value drops below the detection level. When PID feedback loss is detected , the inverter operates according to the n136 setting.	Check the mechanical system and correct the cause, or increase the value of n137.
bUS Blinking			Option card communications fault. Communication fault has occured in a mode that run command and frequency reference are set from the communication option card.	Check the communication devices or communication signals.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fault Display and Contents

Fault Display		Inverter Status	Explanation	Causes and Corrective Actions
Digital Operator	RUN (Green) ALARM (Red)			
oC	●	Protective Operation Output is shut OFF and motor coasts to a stop.	OC (Overcurrent) Inverter output current momentarily exceeds approx. 250% of rated current.	• Short circuit or grounding at inverter output side • Excessive load WK² • Extremely rapid accel/decel time (constants n019 to n022) • Special motor used • Starting motor during coasting • Motor of a capacity greater than the inverter rating has been started. • Magnetic contactor open/closed at the Inverter output side
GF	●		GF (Ground fault)* The ground fault current at the Inverter output exceeded approximately 50% of the Inverter rated output current.	• A ground fault occurred at the Inverter output. ⇩ • Reset the fault after correcting its cause.
SC	●		SC (Load short-circuit)* The Inverter output or load was short-circuited.	• A short-circuit or ground fault. ⇩ • Reset the fault after correcting its cause.
ou	☼		OV (Main circuit over-voltage) Main circuit DC voltage exceeds the overvoltage detection level because of excessive regenerative energy from the motor. Detection level: 200V:Stops at main circuit DC voltage below approx. 410V 400V:Stops at main circuit DC voltage approx. 820V or more	• Insufficient decel time (constants n020 and n022) • Lowering of minus load (elevator, etc.) ⇩ • Increase decel time. • Connect optional braking resistor.
Uu 1			UV1 (Main circuit low voltage) Main circuit DC voltage drops below the low-voltage detection level while the inverter output is ON. 200V:Stops at main circuit DC voltage below approx. 200V(160V for single-phase) 400V:Stops at main circuit DC voltage approx. 400V or more	• Reduction of input power supply voltage • Open phase of input supply • Occurrence of momentary power loss ⇩ Check the following : • Power supply voltage • Main circuit power supply wiring is connected. • Terminal screws are securely tightened.

* Display only applies to 200/400V class, 5.5/7.5kW (7.5/10HP) inverters.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fault Display		Inverter Status	Explanation	Causes and Corrective Actions
Digital Operator	RUN (Green) ALARM (Red)			
UV2		Protective Operation Output is shut OFF and motor coasts to a stop.	UV2 (Control power supply fault) Voltage fault of control power supply is detected.	Cycle power. If the fault remains, replace the inverter.
PF			PF (Main circuit voltage fault)* The main circuit DC voltage oscillates unusually (not when regenerating).	• An open-phase occurred in the input power supply. • A momentary power loss occurred. • The voltage fluctuations in the input power supply are too large. • The line voltage balance is bad. ⇩ Check the following: • Main circuit power supply wiring is connected. • Power supply voltage. • Terminal screws are securely tightened.
LF	● ☼		LF (Output open-phase)* An open-phase occurred at the Inverter output.	• There is a broken wire in the output cable. • There is a broken wire in the motor-winding. • The output terminals are loose. ⇩ Check the following : • Output wiring is connected. • Motor impedance. • Output terminal screws are securely tightened.
oH			OH (Cooling fin overheat)* Temperature rise because of inverter overload operation or intake air temperature rise.	• Excessive load • Improper V/f pattern setting. • Insufficient accel time if the fault occurs during acceleration. • Intake air temperature exceeding 122°F (50°C). • Cooling fan stops. ⇩ Check the following : • Load size. • V/f pattern setting (constants n011 to n017). • Intake air temperature.

* Display only applies to 200/400V class, 5.5/7.5kW (7.5/10HP) inverters.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fault Display		Inverter Status	Explanation	Causes and Corrective Actions
Digital Operator	RUN (Green) ALARM (Red)			
rH	● ☼	Protective Operation Output is shut OFF and motor coasts to a stop.	RH (Installed braking resistor overheating) The protection function has operated.	• The deceleration time is too short. • The regenerative energy from the motor is too large. ⇩ • Increase the deceleration time. • Reduce the regenerative load.
rr			RR (Internal braking transistor fault)* The braking transistor is not operating properly.	• Replace the Inverter.
oL1			OL1 (Motor overload) Motor overload protection operates by built-in electronic thermal overload relay.	• Check the load size or V/f pattern setting (constants n011 to n017) • Set the motor rated current shown on the nameplate by constant n036.
oL2			OL2 (Inverter overload) Inverter overload protection operates by built-in electronic thermal overload relay.	• Check the load size or V/f pattern setting (constants n011 to n017) • Check the inverter capacity.
oL3			OL3 (Overtorque detection) V/f mode: Inverter output current exceeded the preset value in constant n098. Vector mode: Motor current or torque exceeded the preset value in constants n097 and n098. When overtorque is detected, inverter performs operation according to the preset setting of constant n096.	Check the driven machine and correct the cause of the fault, or increase the value of constant n098 up to the highest value allowed for the machine.

* Display only applies to 200/400V class, 5.5/7.5kW (7.5/10HP) inverters.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fault Display		Inverter Status	Explanation	Causes and Corrective Actions
Digital Operator	RUN (Green) ALARM (Red)			
EF□	● ☼	Protective Operation Output is shut OFF and motor coasts to a stop.	EF□ (External fault) Inverter receives an external fault input from control circuit terminal. EF0: External fault reference through MEMOBUS communications EF1: External fault input command from control circuit terminal S1 EF2: External fault input command from control circuit terminal S2 EF3: External fault input command from control circuit terminal S3 EF4: External fault input command from control circuit terminal S4 EF5: External fault input command from control circuit terminal S5 EF6: External fault input command from control circuit terminal S6 EF7: External fault input command from control circuit terminal S7	Check the external circuit (sequence).
F00			CPF-00 Inverter cannot communicate with the digital operator for 5 sec. or more when power is turned ON.	Cycle power after checking the digital operator is securely mounted. If the fault remains, replace the digital operator or inverter.
F01			CPF-01 Transmission fault occurred for 5 sec. or more when transmission starts with the digital operator.	Cycle power after checking the digital operator is securely mounted. If the fault remains, replace the digital operator or inverter.
F04			CPF-04 EEPROM fault of inverter control circuit is detected.	• Record all constant data and initialize the constants. (Refer to page 32 for constant initialization.) • Cycle power. If the fault remains, replace the inverter.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fault Display		Inverter Status	Explanation	Causes and Corrective Actions
Digital Operator	RUN (Green) ALARM (Red)			
CPF05		Protective Operation Output is shut OFF and motor coasts to a stop.	CPF-05 A/D converter fault is detected.	Cycle power. If the fault remains, replace the inverter.
CPF06			CPF-06 • Option card connecting fault • A non-corresponding option card is connected.	Remove power to the inverter. Check the connection of the digital operator . Verify software version NO. (n179).
CPF07			CPF-07 Operator control circuit (EEPROM or A/D converter) fault	Cycle power after checking the digital operator is securely mounted. If the fault remains, replace the digital operator or inverter.
F21	● ☼		Communication option card self diagnostic error	Option card fault ⇩ Replace the option card.
F22			Communication option card model code error	
F23			Communication option card DPRAM error	
oPR			OPR(Operator connecting fault)	Cycle power. If the fault remains, replace the inverter.
CE			CE(MEMOBUS communications fault)	Check the communication devices or communication signals.
STP	☼	Stops according to constant	STP(Emergency stop) The inverter stops according to constant n005 after receiving the emergency stop fault signal.	Check the external circuit (sequence).
FbL	or ● ☼		FBL (PID feedback loss detection) PID feedback value drops below the detection level. When PID feedback loss is detected, the inverter operartes according to the n136 setting.	Check the mechanical system and correct the cause, or increase the value of n137.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fault Display		Inverter Status	Explanation	Causes and Corrective Actions
Digital Operator	RUN (Green) ALARM (Red)			
bUS	☼ or ● ☼	Stops according to constant	Option card communications fault Communication fault has occurred in a mode that run command and frequency reference are set from the communication option card.	Check the communication devices or communication signals.
— (OFF)	● ●	Protective Operation Output is shut OFF and motor coasts to a stop.	• Insufficient power supply voltage • Control power supply fault • Hardware fault	Check the following : • Power supply voltage • Main circuit power supply wiring is connected. • Terminal screws are securely tightened. • Control sequence. Replace the inverter.

For display/clear of fault history, refer to page 39 of the instruction manual.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

■ Standard Specifications (200V Class)

Voltage Class			200V single- / 3-phase								
Model CIMR-V7*C□□□□		3-phase	20P1	20P2	20P4	20P7	21P5	22P2	24P0	25P5	27P5
		Single-phase	B0P1	B0P2	B0P4	B0P7	B1P5	B2P2	B4P0	–	–
Max. Applicable Motor Output kW*			0.1	0.25	0.55	1.1	1.5	2.2	4.0	5.5	7.5
Output Characteristics	Inverter Capacity (kVA)		0.3	0.6	1.1	1.9	3.0	4.2	6.7	9.5	13
	Rated Output Current (A)		0.8	1.6	3	5	8	11	17.5	25	33
	Max. Output Voltage (V)		3-phase, 200 to 230V (proportional to input voltage) Single-phase, 200 to 240V (proportional to input voltage)								
	Max. Output Frequency (Hz)		400Hz(Programmable)								
Power Supply	Rated Input Voltage and Frequency		3-phase, 200 to 230V, 50/60Hz Single-phase, 200 to 240V, 50/60Hz								
	Allowable Voltage Fluctuation		-15 to + 10%								
	Allowable Frequency Fluctuation		±5%								
Control Characteristics	Control Method		Sine wave PWM (V/f control/vector control selectable)								
	Frequency Control Range		0.1 to 400Hz								
	Frequency Accuracy (Temperature Change)		Digital reference: ± 0.01% (-10 to + 50°C) Analog reference: ± 0.5% (25 ± 10°C)								
	Frequency Setting Resolution		Digital reference: 0.01Hz (less than 100Hz) / 0.1Hz (100Hz or more) Analog reference: 1 / 1000 of max. output frequency								
	Output Frequency Resolution		0.01Hz								
	Overload Capacity		150% rated output current for one minute								
	Frequency Reference Signal		0 to 10VDC (20kΩ), 4 to 20mA (250Ω), 0 to 20mA (250Ω) pulse train input, frequency setting potentiometer (Selectable)								
	Accel/Decel Time		0.00 to 6000 sec. (accel / decel time are independently programmed)								
	Braking Torque		Short-term average deceleration torque † 0.1, 0.25kW (0.13HP, 0.25HP): 150% 0.55, 1.1kW (0.5HP, 1HP): 100% 1.5kW (2HP) : 50% 2.2kW(3HP) or more: 20% Continuous regenerative torgue: Approx. 20% (150% with optional braking resistor, braking transistor built-in)								
	V/f Characteristics		Possible to program any V / f patterm								

* Based on a standard 4-pole motor for max. applicable motor output.
† Shows deceleration torque for uncoupled motor decelerating from 60Hz with the shortest possible deceleration time.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Voltage Class			200V single- / 3-phase								
Model CIMR-V7*C□□□□		3-phase	20P1	20P2	20P4	20P7	21P5	22P2	24P0	25P5	27P5
		Single-phase	B0P1	B0P2	B0P4	B0P7	B1P5	B2P2	B4P0	–	–
Protective Functions	Motor Overload Protection		Electronic thermal overload relay								
	Instantaneous Overcurrent		Motor coasts to a stop at approx. 250% of inverter rated current								
	Overload		Motor coasts to a stop after 1 minute at 150% of inverter rated output current								
	Overvoltage		Motor coasts to a stop if DC bus voltage exceed 410V								
	Undervoltage		Stops when DC bus voltage is approx. 200V or less (approx. 160V or less for single-phase series)								
	Momentary Power Loss		Following items are selectable : Not provided (stops if power loss is 15ms or longer), continuous operation if power loss is approx. 0.5s or shorter, continuous operation								
	Cooling Fin Overheat		Protected by electronic circuit								
	Stall Prevention Level		Can be set individual level during accel / decel, provided / not provided available during coast to a stop								
	Cooling Fan Fault		Protected by electronic circuit (fan lock detection)								
	Ground Fault		Protected by electronic circuit (overcurrent level)*								
	Power Charge Indication		ON until the DC bus voltage becomes 50V or less. RUN lamp stays ON or digital operator LED stays ON.								
Other Functions	Input Signals	Multi-function Input	Seven of the following input signals are selectable: Forward / reverse run (3-wire sequence), fault reset, external fault (NO / NC contact input), multi-step speed operation, Jog command, accel / decel time select, external baseblock (NO / NC contact input), speed search command, accel / decel hold command, LOCAL / REMOTE selection, communication / control circuit terminal selection, emergency stop fault emergency stop alarm UP/DOWN command,self-test,PID control cancel, PID integral reset/hold								
	Output Signals	Multi-function Output	Following output signals are selectable (1 NO / NC contact output, 2 photo-coupler outputs) : Fault, running, zero speed, at frequency, frequency detection (output frequency ≤ or ≥ set value), during overtorque detection, during undervoltage detection,minor error, during baseblock, operation mode, inverter run ready, during fault retry, during UV, during speed search, data output through communication, PID feedback loss detection								
	Standard Functions		Voltage vector control, full-range automatic torque boost, slip compensation, DC injection braking current / time at start/stop frequency reference bias /gain, MEMOBUS communications (RS-485 / 422, max. 19.2K bps), PID control, energy-saving control, constant copy, frequency reference with built-in potentiometer, Unit selection for frequency reference setting / display								

* The protection functions at approx. 50% of inverter rated output current for 5.5/7.5kW (7.5/10HP) inverters.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Voltage Class			200V single- / 3-phase								
Model CIMR-V7∗C□□□□		3-phase	20P1	20P2	20P4	20P7	21P5	22P2	24P0	25P5	27P5
		Single-phase	B0P1	B0P2	B0P4	B0P7	B1P5	B2P2	B4P0	–	–
Other Functions	Display	Status Indicator LED	RUN and ALARM provided as standard LED's								
		Digital Operator (JVOP-140)	Available to monitor frequency reference, output frequency, output current								
	Terminals		Main circuit: screw terminals Control circuit: plug-in screw terminal								
	Wiring Distance between Inverter and Motor		100m (328ft) or less †								
Enclosure			Open chassis IP00, Open chassis IP20 (Top-closed type), or enclosed wall-mounted NEMA 1 (TYPE 1)								
Cooling Method			Cooling fan is provided for the following models: 200V, 0.75kW or larger inverters (3-phase) 200V, 1.5kW or larger inverters (single-phase) Other models are self-cooling								
Environmental Conditions	Ambient Temperature		Open chassis IP00 : -10 to +50°C (14 to 122°F) Open chassis IP20 (Top-closed type) and enclosed wall-mounted NEMA1 (TYPE 1) : -10 to +40°C (14 to 105°F) (not frozen)								
	Humidity		95%RH or less (non-condensing)								
	Storage Temperature		-20 to +60°C (-4 to 140°F)								
	Location		Indoor (free from corrosive gases or dust)								
	Elevation		1000m (3280ft) or less								
	Vibration		Up to 9.8m / S² (1G) at 10 to less than 20Hz, up to 2m / S² (0.2G) at 20 to 50Hz								

∗ Temperature during shipping (for short period)
† For details, refer to "Reducing motor noise or leakage current (n080)" on page 57 of the instruction manual..

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

■ Standard Specifications (400V Class)

Voltage Class			400V 3-phase								
Model CIMR-V7*C□□□□		3-phase	40P2	40P4	40P7	41P5	42P2	43P0	44P0	45P5	47P5
		Single-phase	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Max. Applicable Motor Output kW*			0.37	0.55	1.1	1.5	2.2	3.0	4.0	5.5	7.5
Output Characteristics	Inverter Capacity (kVA)		0.9	1.4	2.6	3.7	4.2	5.5	7.0	11	14
	Rated Output Current (A)		1.2	1.8	3.4	4.8	5.5	7.2	9.2	14.8	18
	Max. Output Voltage (V)		3-phase, 380 to 460V (proportional to input voltage)								
	Max. Output Frequency (Hz)		400Hz(Programmable)								
Power Supply	Rated input Voltage and Frequency		3-phase, 380 to 460V, 50/60Hz								
	Allowable Voltage Fluctuation		-15 to + 10%								
	Allowable Frequency Fluctuation		±5%								
Control Characteristics	Control Method		Sine wave PWM (V/f control/vector control selectable)								
	Frequency Control Range		0.1 to 400Hz								
	Frequency Accuracy (Temperature Change)		Digital reference: ± 0.01%, -10 to + 50°C (14 to 122°F) Analog reference: ± 0.5%, 25± 10°C (59 to 95°F)								
	Frequency Setting Resolution		Digital reference: 0.01Hz (less than 100Hz) / 0.1Hz (100Hz or more) Analog reference: 1 / 1000 of max. output frequency								
	Output Frequency Resolution		0.01Hz								
	Overload Capacity		150% rated output current for one minute								
	Frequency Reference Signal		0 to 10VDC (20kΩ), 4 to 20mA (250Ω), 0 to 20mA (250Ω) pulse train input, frequency setting potentiometer (Selectable)								
	Accel/Decel Time		0.00 to 6000 sec. (accel / decel time are independently programmed)								
	Braking Torque		Short-term average deceleration torque† 0.2kW: 150% 0.75kW: 100% 1.5kW (2HP) : 50% 2.2kW(3HP) or more: 20% Continuous regenerative torgue: Approx. 20% (150% with optional braking resistor, braking transistor built-in)								
	V/f Characteristics		Possible to program any V / f patterm								

* Based on a standard 4-pole motor for max. applicable motor output.
† Shows deceleration torque for uncoupled motor decelerating from 60Hz with the shortest possible deceleration time.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Voltage Class			400V 3-phase								
Model CIMR-V7*C□□□□		3-phase	40P2	40P4	40P7	41P5	42P2	43P0	44P0	45P5	47P5
		Single-phase	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Protective Functions	Motor Overload Protection		Electronic thermal overload relay								
	Instantaneous Overcurrent		Motor coasts to a stop at approx. 250% of inverter rated current								
	Overload		Motor coasts to a stop after 1 minute at 150% of inverter rated output current								
	Overvoltage		Motor coasts to a stop if DC bus voltage exceed 820V								
	Undervoltage		Stops when DC bus voltage is approx. 400V or less								
	Momentary Power Loss		Following items are selectable : Not provided (stops if power loss is 15ms or longer), continuous operation if power loss is approx. 0.5s or shorter, continuous operation								
	Cooling Fin Overheat		Protected by electronic circuit								
	Stall Prevention Level		Can be set to individual levels during accel / decel, provided / not provided available during coast to a stop								
	Cooling Fan Fault		Protected by electronic circuit (fan look detection)								
	Ground Fault		Protected by electronic circuit (overcurrent level)*								
	Power Charge Indication		ON until the DC bus voltage becomes 50V or less.								
Other Functions	Input Signals	Multi-function Input	Seven of the following input signals are selectable: Forward / reverse run (3-wire sequence), fault reset, external fault (NO / NC contact input), multi-step speed operation, Jog command, accel / decel time select, external baseblock (NO / NC contact input), speed search command, accel / decel hold command, LOCAL / REMOTE selection, communication / control circuit terminal selection, emergency stop fault emergency stop alarm, UP/DOWN command, self-test,PID control cancel, PID integral reset / hold								
	Output Signals	Multi-function Output	Following output signals are selectable (1 NO / NC contact output, 2 photo-coupler outputs) : Fault, running, zero speed, at frequency, frequency detection (output frequency ≤ or ≥ set value), during overtorque detection, during undervoltage detection,minor error, during baseblock, operation mode, inverter run ready, during fault retry, during UV, during speed search, data output through communication, PID feedback loss detection								
	Standard Functions		Voltage vector control full-range automatic torque boost, slip compensation, DC injection braking current / time at start/stop frequency reference bias /gain, MEMOBUS communications (RS-485 / 422, max. 19.2K bps), PID control, energy-saving control, constant copy, frequency reference with built-in potentiometer, Unit selection for frequency reference setting/desplay								

* The protection functions at approx. 50% of inverter rated output current for 5.5/7.5kW (7.5/10HP) inverters.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Voltage Class			400V 3-phase								
Model CIMR-V7*C□□□□		3-phase	40P2	40P4	40P7	41P5	42P2	43P0	44P0	45P5	47P5
		Single-phase	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Other Functions	Display	Status Indicator LED	RUN and ALARM provided as standard LED's								
		Digital Operator (JVOP-140)	Available to monitor frequency reference, output frequency, output current								
	Terminals		Main circuit: screw terminals Control circuit: plug-in screw terminal								
	Wiring Distance between Inverter and Motor		100m (328ft) or less †								
Enclosure			Open chassis IP00, Open chassis IP20 (Top-closed type), or enclosed wall-mounted NEMA1 (TYPE 1)								
Cooling Method			Cooling fan is provided for the following models: 400V, 1.5kW or larger inverters (3-phase) Other models are self-cooling								
Environmental Conditions	Ambient Temperature		Open chassis IP00 : -10 to +50°C (14 to 122°F) Open chassis IP20 (Top-closed type) and enclosed wall-mounted NEMA1 (TYPE 1): -10 to +40°C (-14 to +105°F) (not frozen)								
	Humidity		95%RH or less (non-condensing)								
	Storage Temperature *		-20 to +60°C (-4 to 140°F)								
	Location		Indoor (free from corrosive gases or dust)								
	Elevation		1000m (3280ft) or less								
	Vibration		Up to 9.8m / S^2 (1G) at 10 to less than 20Hz, up to 2m / S^2 (0.2G) at 20 to 50Hz								

* Temperature during shipping (for short period)
† For details, refer to "Reducing motor noise or leakage current (n080) on page 57 of the instruction manual.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

■ Dimensions / Heat Loss

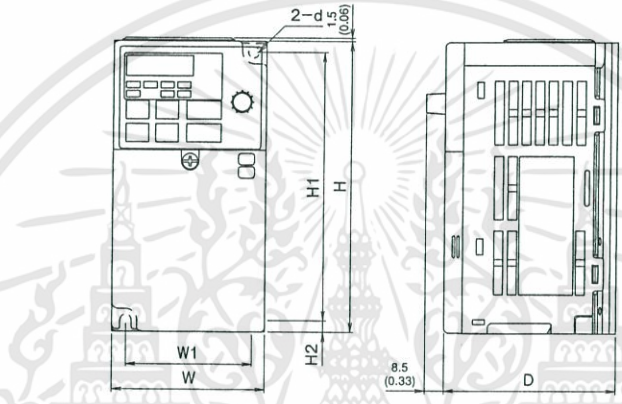


Fig. 1

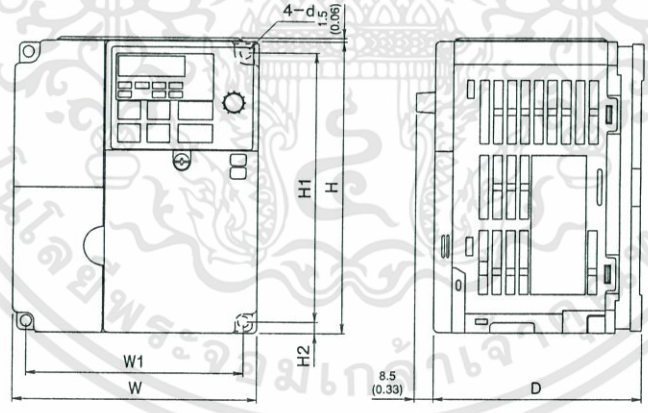


Fig. 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dimensions in mm (inches)/mass in kg (lb) / Heat Loss (W)

Voltage class	Capacity (kW)	W	H	D	W1	H1	H2	d	Mass	Heat Loss (W)			Fig.
										Heatsink	Unit	Total	
200V 3-phase	0.1	68 (2.68)	128 (5.04)	76 (2.99)	56 (2.20)	118 (4.65)	5 (0.20)	M4	0.6 (1.32)	3.7	9.3	13.0	1
	0.25	68 (2.68)	128 (5.04)	76 (2.99)	56 (2.20)	118 (4.65)	5 (0.20)	M4	0.6 (1.32)	7.7	10.3	18.0	1
	0.55	68 (2.68)	128 (5.04)	108 (4.25)	56 (2.20)	118 (4.65)	5 (0.20)	M4	0.9 (1.98)	15.8	12.3	28.1	1
	1.1	68 (2.68)	128 (5.04)	128 (5.04)	56 (2.20)	118 (4.65)	5 (0.20)	M4	1.1 (2.43)	28.4	16.7	45.1	1
	1.5	108 (4.25)	128 (5.04)	131 (5.16)	96 (3.78)	118 (4.65)	5 (0.20)	M4	1.4 (3.09)	53.7	19.1	72.8	2
	2.2	108 (4.25)	128 (5.04)	140 (5.51)	96 (3.78)	118 (4.65)	5 (0.20)	M4	1.5 (3.3)	60.4	34.4	94.8	2
	4.0	140 (5.51)	128 (5.04)	143 (5.63)	128 (5.04)	118 (4.65)	5 (0.20)	M4	2.1 (4.62)	96.7	52.4	149.1	2
	5.5*	180 (7.09)	260 (10.24)	170 (6.69)	164 (6.46)	244 (9.61)	8 (0.31)	M5	4.6 (10.13)	170.4	79.4	249.8	2
	7.5*	180 (7.09)	260 (10.24)	170 (6.69)	164 (6.46)	244 (9.61)	8 (0.31)	M5	4.8 (10.57)	219.2	98.9	318.1	2
200V single-phase	0.1	68 (2.68)	128 (5.04)	76 (2.99)	56 (2.20)	118 (4.65)	5 (0.20)	M4	0.6 (1.32)	3.7	10.4	14.1	1
	0.25	68 (2.68)	128 (5.04)	76 (2.99)	56 (2.20)	118 (4.65)	5 (0.20)	M4	0.7 (1.54)	7.7	12.3	20.0	1
	0.55	68 (2.68)	128 (5.04)	131 (5.16)	56 (2.20)	118 (4.65)	5 (0.20)	M4	1.0 (2.20)	15.8	16.1	31.9	1
	1.1	108 (4.25)	128 (5.04)	140 (5.51)	96 (3.78)	118 (4.65)	5 (0.20)	M4	1.5 (3.31)	28.4	23.0	51.4	2
	1.5	108 (4.25)	128 (5.04)	156 (6.14)	96 (3.78)	118 (4.65)	5 (0.20)	M4	1.5 (3.31)	53.7	29.1	82.8	2
	2.2	140 (5.51)	128 (5.04)	163 (6.42)	128 (5.04)	118 (4.65)	5 (0.20)	M4	2.2 (4.84)	64.5	49.1	113.6	2
	4.0	170 (6.69)	128 (5.04)	180 (7.09)	158 (6.22)	118 (4.65)	5 (0.20)	M4	2.9 (6.38)	98.2	78.2	176.4	2
400V 3-phase	0.37	108 (4.25)	128 (5.04)	92 (3.62)	96 (3.78)	118 (4.65)	5 (0.20)	M4	1.0 (2.20)	9.4	13.7	23.1	2
	0.55	108 (4.25)	128 (5.04)	110 (4.43)	96 (3.78)	118 (4.65)	5 (0.20)	M4	1.1 (2.43)	15.1	15.0	30.1	2
	1.1	108 (4.25)	128 (5.04)	140 (5.51)	96 (3.78)	118 (4.65)	5 (0.20)	M4	1.5 (3.31)	30.3	24.6	54.9	2
	1.5	108 (4.25)	128 (5.04)	156 (6.14)	96 (3.78)	118 (4.65)	5 (0.20)	M4	1.5 (3.31)	45.8	29.9	75.7	2
	2.2	108 (4.25)	128 (5.04)	156 (6.14)	96 (3.78)	118 (4.65)	5 (0.20)	M4	1.5 (3.31)	50.5	32.5	83.0	2
	3.0	140 (5.51)	128 (5.04)	143 (5.63)	128 (5.04)	118 (4.65)	5 (0.20)	M4	2.1 (4.62)	58.2	37.6	95.8	2
	4.0	140 (5.51)	128 (5.04)	143 (5.63)	128 (5.04)	118 (4.65)	5 (0.20)	M4	2.1 (4.62)	79.9	49.2	129.1	2
	5.5*	180 (7.09)	260 (10.24)	170 (6.69)	164 (6.46)	244 (9.61)	8 (0.31)	M5	4.8 (10.57)	168.8	87.7	256.5	2
	7.5*	180 (7.09)	260 (10.24)	170 (6.69)	164 (6.46)	244 (9.61)	8 (0.31)	M5	4.8 (10.57)	209.6	99.3	308.9	2

* 200/400V class, 5.5/7.5kW (7.5/10HP) inverters can be used as "IP00" if the top and bottom covers are removed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

■ Recommended Peripheral Devices

It is recommended that the following peripheral devices should be mounted between the AC main circuit power supply and VS-606V7 input terminals R/L1, S/L2, and T/L3.

- MCCB (Molded-case circuit breaker) / fuse :
  Be sure to connect it for wiring protection.
- Magnetic contactor:
  Mount a surge suppressor on the coil (refer to the table shown below.)
  When using a magnetic contactor to start and stop the inverter, do not exceed one start per hour.

Recommended MCCB magnetic contactor, and fuse

- 200V 3-phase

VS-606V7 model	V7 ▪▪ 20P1	V7 ▪▪ 20P2	V7 ▪▪ 20P4	V7 ▪▪ 20P7	V7 ▪▪ 21P5	V7 ▪▪ 22P2	V7 ▪▪ 24P0	V7 ▪▪ 25P5	V7 ▪▪ 27P5
Capacity (kVA)	0.3	0.6	1.1	1.9	3.0	4.2	6.7	9.5	13.0
Rated Output Current (A)	0.8	1.6	3	5	8	11	17.5	25.0	33.0
MCCB type NF30 (MITSUBISHI)	5A	5A	5A	10A	20A	20A	30A	50A	60A
Magnetic contactor type HI (YASKAWA CONTROL)	HI-7E	HI-7E	HI-7E	HI-7E	HI-10-2E	HI-10-2E	HI-20E	HI-30E	HI-50E
Fuse (UL Class RK5)	5A	5A	5A	10A	20A	20A	30A	50A	60A

- 200V single-phase

VS-606V7 model	V7 ▪▪ B0P1	V7 ▪▪ B0P2	V7 ▪▪ B0P4	V7 ▪▪ B0P7	V7 ▪▪ B1P5	V7 ▪▪ B2P2	V7 ▪▪ B4P0
Capacity (kVA)	0.3	0.6	1.1	1.9	3.0	4.2	6.7
Rated Output Current (A)	0.8	1.5	3	5	8	11	17.5
MCCB type NF30, NF50 (MITSUBISHI)	5A	5A	10A	20A	20A	40A	50A
Magnetic contactor type HI (YASKAWA CONTROL)	HI-7E	HI-7E	HI-7E	HI-10-2E	HI-15E	HI-20E	HI-30E
Fuse (UK Class RK5)	5A	5A	10A	20A	20A	40A	50A

- 400V 3-phase

VS-606V7 model	V7 ▪▪ 40P2	V7 ▪▪ 40P4	V7 ▪▪ 40P7	V7 ▪▪ 41P5	V7 ▪▪ 42P2	V7 ▪▪ 43P0	V7 ▪▪ 44P0	V7 ▪▪ 45P5	V7 ▪▪ 47P5
Capacity (kVA)	0.9	1.4	2.6	3.7	4.2	5.5	7.0	11.0	14.0
Rated Output Current (A)	1.2	1.8	3.4	4.8	5.5	7.2	9.2	14.8	18.0
MCCB type NF30, NF50 (MITSUBISHI)	5A	5A	5A	10A	10A	20A	20A	30A	30A
Magnetic contactor type HI (YASKAWA CONTROL)	HI-7E	HI-7E	HI-7E	HI-10-2E	HI-10-2E	HI-10-2E	HI-10-2E	HI-20E	HI-20E
Fuse (UK Class RK5)	5A	5A	5A	10A	10A	20A	20A	30A	30A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

■ Constants List

- Addition of constants accompanied by the upgraded software version

  The constants marked with #1 and #2 are applicable for the following upgraded software version Nos.:

  #1: Applicable for software version No. VSP 010015 or later

  #2: Applicable for software version No. VSP 010020 or later

- Constants that can be changed during operation
  The constants whose numbers are in bold can be changed during operation.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Primary Function (Constants n001 to n049)

No.	Register No. for Trans-mission	Name	Setting Range	Setting Unit	Initial Setting	User Setting	Ref. Page (Note 11)
001	0101H	Constant write-in prohibit / initialize	0 to 4, 6, 12,13	1	1		41
002	0102	Control mode selection (Note 6)	0, 1	1	0 (Note 1) (Note 6)		45
003	0103	Operation reference selection	0 to 3	1	0		49
004	0104	Frequency reference selection	0 to 9	1	1		50
005	0105	Stopping method selection	0, 1	1	0		70
006	0106	REV run prohibit	0, 1	1	0		51
007	0107	Operation stop key selection	0, 1	1	0		69
008	0108	Frequency reference selection in local mode	0, 1	1	1 (Note 5)		50
009	0109	Setting method selection for frequency reference	0, 1	1	0		50
010	010A	Detecting selection of operator connecting fault	0, 1	1	0		49
011	010B	Maximum output frequency	50.0 to 400.0Hz	0.1Hz	50.0Hz		42
012	010C	Maximum voltage	0.1 to 255.0V (0.2 to 510.0)	0.1V	200.0V (Note 2)		42
013	010D	Maximum voltage output frequency	0.2 to 400.0Hz	0.1Hz	50.0Hz		42
014	010E	Mid. output frequency	0.1 to 399.9Hz	0.1Hz	1.3Hz		42
015	010F	Mid. output frequency voltage	0.1 to 255.0V	0.1V	12.0V (Note 2)		42
016	0110	Minimum output frequency	0.1 to 10.0Hz	0.1Hz	1.3Hz		42
017	0111	Minimum output frequency voltage	0.1 to 50.0V	0.1V	12.0V (Note 2)		42
018	0112	Accel / decel time setting unit	0, 1	1	0		56
019	0113	Acceleration time 1	0.00 to 6000s	Depend on n018 setting	10.0s		56
020	0114	Deceleration time 1	0.00 to 6000s	Depend on n018 setting	10.0s		56
021	0115	Acceleration time 2	0.00 to 6000s	Depend on n018 setting	10.0s		56
022	0116	Deceleration time 2	0.00 to 6000s	Depend on n018 setting	10.0s		56
023	0117	S-curve accel / decel selection	0 to 3	1	0		57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	Register No. for Trans-mission	Name	Setting Range	Setting Unit	Initial Setting	User Setting	Ref. Page (Note 11)
024	0118	Frequency reference 1 (Master speed frequency reference)	0.00 to 400.0Hz	0.01Hz (less than 100Hz) / 0.1Hz (100Hz or more)	6.00Hz		51
025	0119	Frequency reference 2	0.00 to 400.0Hz	0.01Hz (less than 100Hz) / 0.1Hz (100Hz or more)	0.00Hz		51
026	011A	Frequency reference 3	0.00 to 400.0Hz	0.01Hz (less than 100Hz) / 0.1Hz (100Hz or more)	0.00Hz		51
027	011B	Frequency reference 4	0.00 to 400.0Hz	0.01Hz (less than 100Hz) / 0.1Hz (100Hz or more)	0.00Hz		51
028	011C	Frequency reference 5	0.00 to 400.0Hz	0.01Hz (less than 100Hz) / 0.1Hz (100Hz or more)	0.00Hz		51
029	011D	Frequency reference 6	0.00 to 400.0Hz	0.01Hz (less than 100Hz) / 0.1Hz (100Hz or more)	0.00Hz		51
030	011E	Frequency reference 7	0.00 to 400.0Hz	0.01Hz (less than 100Hz) / 0.1Hz (100Hz or more)	0.00Hz		51
031	011F	Frequency reference 8	0.00 to 400.0Hz	0.01Hz (less than 100Hz) / 0.1Hz (100Hz or more)	0.00Hz		51
032	0120	Jog frequency reference	0.00 to 400.0Hz	0.01Hz (less than 100Hz) / 0.1Hz (100Hz or more)	6.00Hz		52
033	0121	Frequency reference upper limit	0 to 110%	1%	100%		55
034	0122	Frequency reference lower limit	0 to 110%	1%	0%		55
035	0123	Unit selection for frequency reference setting / display	0 to 3999	1	0		121
036	0124	Motor rated current	0 to 150% of inverter rated current	0.1A	(Note 3)		87
037	0125	Electronic thermal motor protection	0 to 2	1	0		87
038	0126	Constant selection at electronic thermal motor protection	1 to 60 min	1 min	8min		87
039	0127	Cooling fan operation selection	0, 1	1	0		89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Secondary Function (Constants n050 to n079)

No.	Register No. for Trans-mission	Name	Setting Range	Setting Unit	Initial Setting	User Setting	Ref. Page (Note 11)
050	0132	Multi-function input selection 1	1 to 25, 26 (Note 8)	1	1		73
051	0133	Multi-function input selection 2	1 to 25, 26 (Note 8)	1	2		73
052	0134	Multi-function input selection 3	0 to 25, 26 (Note 8)	1	3		73
053	0135	Multi-function input selection 4	1 to 25, 26 (Note 8)	1	5		73
054	0136	Multi-function input selection 5	1 to 25, 26 (Note 8)	1	6		73
055	0137	Multi-function input selection 6	1 to 25, 26 (Note 8)	1	7		73
056	0138	Multi-function input selection 7	1 to 25, 26, 34, 35 (Note 8)	1	10		73
057	0139	Multi-function output selection 1	0 to 7, 10 to 19 20, 21 (Note 8)	1	0		78
058	013A	Multi-function output selection 2	0 to 7, 10 to 19 20, 21 (Note 8)	1	1		78
059	013B	Multi-function output selection 3	0 to 7, 10 to 19 20, 21 (Note 8)	1	2		78
060	013C	Analog frequency reference gain	0 to 255%	1%	100%		53
061	013D	Analog frequency reference bias	-100 to 100%	1%	0%		53
062	013E	Analog frequency reference filter time constant	0.00 to 2.00s	0.01s	0.10s		–
064	0140	Operation method for frequency reference loss detection (Note 9)	0, 1	1	0		–
065	0141	Monitor output selection	0,1	1	0		65
066	0142	Monitor item selection	0 to 5	1	0		64
067	0143	Monitor gain	0.00 to 2.00	0.01	1.00		64
068	0144	Analog frequency reference gain	-255 to 255%1%	1%	100%		–
069	0145	Analog frequency reference bias	-100 to 100%	1%	0%		–
070	0146	Analog frequency reference filter time constant	0.00 to 2.00s	0.01s	0.10s		–
071	0147	Analog frequency reference gain	-255 to 255	1%	100%		–
072	0148	Analog frequency reference bias	-100 to 100%	1%	0%		–

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	Register No. for Trans-mission	Name	Setting Range	Setting Unit	Initial Setting	User Setting	Ref. Page (Note 11)
073	0149	Analog frequency reference filter time constant	0.00 to 2.00s	0.01s	0.01s		–
074	014A	Pulse train frequency reference gain	0 to 255%	1%	100%		–
075	014B	Pulse train frequency reference bias	-100 to 100%	1%	0%		–
076	014C	Pulse train frequency filter time constant	0.00 to 2.00s	0.01s	0.10s		–
077 #2	014D	Multi-function analog input function	0 to 4	1	0		76
078 #2	014E	Multi-function analog input signal selection	0,1	1	0		76
079 #2	014F	Frequency reference bias(FBIAS) value	0 to 50%	1%	10%		76

Tertiary Function (Constants n080 to n119)

No.	Register No. for Trans-mission	Name	Setting Range	Setting Unit	Initial Setting	User Setting	Ref. Page (Note 11)
080	0150	Carrier frequency	1 to 4, 7 to 9	1	4 (Note 4)		67
081	0151	Operation selection after momentary power loss	0 to 2	1	0		56
082	0152	Fault restart	0 to 10 times	1	0		61
083	0153	Jump frequency 1	0.00 to 400.0Hz	0.01Hz (less than 100Hz) / 0.1Hz (100Hz or more)	0.00Hz		61
084	0154	Jump frequency 2	0.00 to 400.0Hz	0.01Hz (less than 100Hz) / 0.1Hz (100Hz or more)	0.00Hz		61
085	0155	Jump frequency 3	0.00 to 400.0Hz	0.01Hz (less than 100Hz) / 0.1Hz (100Hz or more)	0.00Hz		61
086	0156	Jump frequency width	0.00 to 25.50Hz	0.01Hz	0.00Hz		61
087	0157	Cumulative operation time selection (Note 9)	0, 1	1	0		–
088	0158	Cumulative operation time (Note 9)	0 to 6550	1=10H	0H		–
089	0159	DC injection braking current	0 to 100%	1%	50%		62
090	015A	DC injection braking time at stop	0.0 to 25.5%	0.1s	0.5s (Note 2)		71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	Register No. for Trans-mission	Name	Setting Range	Setting Unit	Initial Setting	User Setting	Ref. Page (Note 11)
091	015B	DC injection braking time at start	0.0 to 25.5%	0.1s	0.0s		62
092	015C	Stall prevention (current limit) during decel	0.1	1	0		85
093	015D	Stall prevention (current limit) during accel	30 to 200%	1%	170%		83
094	015E	Stall prevention (current limit) during running	30 to 200%	1%	160%		84
095	015F	Frequency detection level	0.00 to 400.0Hz	0.01Hz (less than 100Hz) / 0.1Hz (100Hz or more)	0.00Hz		60
096	0160	Overtorque detection 1	0 to 4	1	0		59
097	0161	Overtorque detection 2	0,1	1	0		59
098	0162	Overtorque detection level	30 to 200%	1%	160%		59
099	0163	Overtorque detection time	0.1 to 10.0s	0.1s	0.1s		59
100	0164	Memory selection of hold output frequency	0,1	1	0		75
101	0165	Speed search deceleration time (Note 9)	0.0 to 10.0	0.1s	2.0s		–
102	0166	Speed search operation level (Note 9)	0 to 200%	1%	150%		–
103	0167	Torque compensation gain	0.0 to 2.5	0.1	1.0		44
104	0168	Time constant at torque compensation	0.0 to 25.5s	0.1s	0.3s		44
105	0169	Torque compensation iron loss	0.0 to 6550	0.01W (less than 1000W) / 1W (1000W or more)	(note 3)		44
106	016A	Motor rated slip	0.0 to 20.0Hz	0.1Hz	(note 3)		46
107	016B	Motor resistance for one-phase	0.000 to 65.50Ω	0.001Ω (less than 10Ω) / 0.01Ω (10Ω or more)	(note 3)		46
108	016C	Motor leakage inductance	0.00 to 655.0mH	0.01mH (less than 100mH) / 0.1mH (100mH or more)	(note 3)		46
109	016D	Torque compensation voltage limitter	0 to 250%	1%	150%		–
110	016E	Motor no-load current	0 to 99%	1%	(Note 3)		45
111	016F	Slip compensation gain	0.0 to 2.5	0.1	0.0		86
112	0170	Slip compensation primary delay time	0.0 to 25.5s	0.1s	2.0s		86
113	0171	Slip compensation selection during regeneration	0, 1	1	0		–
115 #2	0173	Stall prevention automatic decrease selection	0, 1	1	0		84
116 #2	0174	Accel / decel time during stall prevention	0, 1	1	0		85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Quaternary Function (Constants n120 to n179)

No.	Register No. for Trans-mission	Name	Setting Range	Setting Unit	Initial Setting	User Setting	Ref. Page (Note 11)
120	0178	Frequency reference 9	0.00 to 400.0Hz	0.01Hz (less than 100Hz) / 0.1Hz (100Hz or more)	0.00Hz		51
121	0179	Frequency reference 10	0.00 to 400.0Hz	0.01Hz (less than 100Hz) / 0.1Hz (100Hz or more)	0.00Hz		51
122	017A	Frequency reference 11	0.00 to 400.0Hz	0.01Hz (less than 100Hz) / 0.1Hz (100Hz or more)	0.00Hz		51
123	017B	Frequency reference 12	0.00 to 400.0Hz	0.01Hz (less than 100Hz) / 0.1Hz (100Hz or more)	0.00Hz		51
124	017C	Frequency reference 13	0.00 to 400.0Hz	0.01Hz (less than 100Hz) / 0.1Hz (100Hz or more)	0.00Hz		51
125	017D	Frequency reference 14	0.00 to 400.0Hz	0.01Hz (less than 100Hz) / 0.1Hz (100Hz or more)	0.00Hz		51
126	017E	Frequency reference 15	0.00 to 400.0Hz	0.01Hz (less than 100Hz) / 0.1Hz (100Hz or more)	0.00Hz		51
127	017F	Frequency reference 16	0.00 to 400.0Hz	0.01Hz (less than 100Hz) / 0.1Hz (100Hz or more)	0.00Hz		51
128	0180	PID control selection	0 to 8	1	0		106
129	0181	PID feedback adjustment gain	0.00 to 10.00Hz	0.01	1.00		109
130	0182	Proportional gain (P)	0.0 to 25.0	0.1	1.0		107
131	0183	Integral time (I)	0.0 to 360.0s	0.1s	1.0		107
132	0184	Differential time (D)	0.00 to 2.50s	0.01s	0.00		107
133	0185	PID offset adjustment	-100 to 100%	1%	0%		108
134	0186	Integral upper limit	0 to 100%	1%	100%		108
135	0187	PID primary delay time constant	0.0 to 10.0	0.1s	0.0		108

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	Register No. for Trans-mission	Name	Setting Range	Setting Unit	Initial Setting	User Setting	Ref. Page (Note 11)
136	0188	PID feedback loss detection selection	0 to 2	1	0		109
137	0189	PID feedback loss detection level	0 to 100%	1%	0%		109
138	018A	PID feedback loss detection time	0.0 to 25.5	0.1s	1.0		109
139	018B	Energy-saving control selection (V/f control mode)	0, 1	1	0		101
140	018C	Energy-saving coefficient K2	0.0 to 6550	0.1	(Note 7)		101
141	018D	Energy-saving voltage lower limit (60Hz)	0 to 120%	1%	50%		102
142	018E	Energy-saving voltage lower limit (6Hz)	0 to 25%	1%	12%		102
143	018F	Power average time	1 to 200	1=24ms	1 (24ms)		103
144	0190	Search operation voltage limit	0 to 100%	1%	0%		103
145	0191	Search operation voltage step (at 100%)	0.1 to 100%	0.1%	0.5%		103
146	0192	Search operation voltage step (at 5%)	0.1 to 10.0%	0.1%	0.2%		103
149	0195	Pulse train input scaling	100 to 3300	1=10 Hz	2500 (25kHz)		82
150	0196	Pulse monitor output frequency selection	0,1,6,12, 24,36	-	0		65
151	0197	Timeover detection selection	0 to 4	1	0		91
152	0198	Setting unit selection of communication frequency reference / frequency monitor	0 to 3	1	0		91
153	0199	Slave address	0 to 32	1	0		91
154	019A	Baud rate selection	0 to 3	1	2		91
155	019B	Parity selection	0 to 2	1	2		91
156	019C	Send waiting time	10 to 65ms	1ms	10ms		91
157	019D	RTS control	0, 1	1	0		91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	Register No. for Trans-mission	Name	Setting Range	Setting Unit	Initial Setting	User Setting	Ref. Page (Note 11)
158	019E	Motor code (Energy-saving control)	0 to 70	1	(Note 7)		101
159	019F	Energy-saving voltage upper limit (60Hz)	0 to 120%	1%	120%		102
160	01A0	Energy-saving voltage upper limit (6Hz)	0 to 25%	1%	16%		102
161	01A1	Search operation power detection hold width	0 to 100%	1%	10%		104
162	01A2	Power detection filter time constant	0 to 255	1=4ms	5 (20ms)		104
163	01A3	PID output gain	0.0 to 25.0	0.1	1.0		109
164	01A4	PID feedback	0 to 5	1	0		106
165	01A5	Installed braking resistor overheating protection selection (Note 9)	0, 1	1	0		–
166	01A6	Input open-phase detection level (Note 9)	0 to 100%	1%	0%		–
167	01A7	Input open-phase detection time (Note 9)	0 to 255s	1s	0s		–
168	01A8	Output open-phase detection level (Note 9)	0 to 100%	1%	0%		–
169	01A9	Output open-phase detection time (Note 9)	0.0 to 2.0s	0.1s	0.0s		–
175 #1 #2	01AF	Reducing carrier frequency selection at low speed	0, 1	1	0 (Note 10)		68
176	01B0	Constant copy selection	rdy, rEd, Cpy, vFy, vA, Sno		rdy		113
177	01B1	Prohibiting constant read selection	0, 1	1	0		113
178	01B2	Fault history	Stores, displays most recent 4 alarms	Setting disabled	–		39
179	01B3	Software No.	Displays lower-place 4 digits of software No.	Setting disabled	–		–

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Notes:

1. Not initialized by constant initialization.
2. Upper limit of setting range and initial setting are doubled at 400V class. 10.0 V for 200 V class, 5.5/7.5kW (7.5/10HP) inverters, and 20.0 V for 400 V class, 5.5/7.5kW (7.5/10HP) inverters.
3. Changes depending on inverter capacity. Refer to the next page.
4. Changes depending on inverter capacity. Refer to page 67 of the instruction manual.
5. Initial setting of the model with digital operator JVOP-140 (with potentiometer) is 0. Setting can be set to 1 by constant initialization.
6. When control mode selection (n002) is changed, initial setting corresponds to the control mode.

No.	Name	V / f control mode (n002 = 0)	Vector control mode (n002 = 1)
n014	Mid. output frequency	1.3Hz	3.0Hz
n015	Mid. output frequency voltage	12.0V*†	11.0V*
n016	Minimum output frequency	1.3Hz	1.0Hz
n017	Minimum output frequency voltage	12.0V*†	4.3V*
n104	Torque compensation time constant	0.3s	0.2s
n111	Slip compensation gain	0.0	1.0
n112	Slip compensation gain time constant	2.0s	0.2s

* Values are doubled with 400V class.
† 10.0 V for 200 V class, 5.5/7.5kW (7.5/10HP) inverters, and 20.0 V for 400 V class, 5.5/7.5kW (7.5/10HP) inverters.

7. Changes depending on inverter capacity. Refer to page 101 of the instruction manual.
8. Setting 26 of n056 to n056 and setting 20, 21 of n057 to n059 only apply to 200/400V class, 5.5/7.5kw (7.5/10HP) inverters.
9. Constants only apply to 200/400V class, 5.5/7.5kw (7.5/10HP) inverters.
10. Initial setting for 200/400V class, 5.5/7.5kw (7.5/10HP) inverters is 1 (enabled).
11. Shows the reference page of the instruction manual (TOE-S606-11).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Initial settings that change with the inverter capacity

■ 200V class 3-phase

No.	Name	Unit	Initial Setting									
–	Inverter capacity	kW	0.1kW	0.25kW	0.55kW	1.1kW	1.5kW	2.2kW	–	4.0kW	5.5kW	7.5kW
n036	Motor rated current	A	0.6	1.1	1.9	3.3	6.2	8.5	–	14.1	19.6	26.6
n105	Torque compensation iron loss	W	1.7	3.4	4.2	6.5	11.1	11.8	–	19	28.8	43.9
n106	Motor rated slip	Hz	2.5	2.6	2.9	2.5	2.6	2.9	–	3.3	1.5	1.3
n107	Motor resistance for one phase*	Ω	17.99	10.28	4.573	2.575	1.233	0.8	–	0.385	0.199	0.111
n108	Motor leakage inductance	MH	110.4	56.08	42.21	19.07	13.4	9.81	–	6.34	4.22	2.65
n110	Motor no-load current	%	72	73	62	55	45	35	–	32	26	30

■ 200V class single-phase

No.	Name	Unit	Initial Setting									
–	Inverter capacity	kW	0.1kW	0.25kW	0.55kW	1.1kW	1.5kW	2.2kW	–	4.0kW	5.5kW	7.5kW
n036	Motor rated current	A	0.6	1.1	1.9	3.3	6.2	8.5	–	14.1	9.8	13.3
n105	Torque compensation iron loss	W	1.7	3.4	4.2	6.5	11.1	11.8	–	19	28.8	43.9
n106	Motor rated slip	Hz	2.5	2.6	2.9	2.5	2.6	2.9	–	3.3	1.5	1.3
n107	Motor resistance for one phase*	Ω	17.99	10.28	4.573	2.575	1.233	0.8	–	0.385	0.797	0.443
n108	Motor leakage inductance	MH	110.4	56.08	42.21	19.07	13.4	9.81	–	6.34	16.87	10.59
n110	Motor no-load current	%	72	73	62	55	45	35	–	32	26	30

■ 400V class 3-phase

No.	Name	Unit	Initial Setting									
–	Inverter capacity	kW	–	0.37kW	0.55kW	1.1kW	1.5kW	2.2kW	3.0kW	4.0kW	5.5kW	7.5kW
n036	Motor rated current	A	–	0.6	1.0	1.6	3.1	4.2	7.0	7.0	9.8	13.3
n105	Torque compensation iron loss	W	–	3.4	4.0	6.1	11.0	11.7	19.3	19.3	28.8	43.9
n106	Motor rated slip	Hz	–	2.5	2.7	2.6	2.5	3.0	3.2	3.2	1.5	1.3
n107	Motor resistance for one phase*	Ω	–	41.97	19.08	11.22	5.044	3.244	1.514	1.514	0.797	0.443
n108	Motor leakage inductance	MH	–	224.3	168.8	80.76	53.25	40.03	24.84	24.84	16.87	10.59
n110	Motor no-load current	%	–	73	63	52	45	35	33	33	26	30

* Sets the value of the motor resistance for one phase.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้