

**สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง**

การประหยัดพลังงานในเครื่องทำน้ำแข็ง

**ENERGY SAVING FOR ICE MAKER**



T119565



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... **119565**  
วัน,เดือน,ปี..... - **8 S.ค. 2554**

b. 4076004  
i. ....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ENERGY SAVING FOR ICE MAKER



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULLFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LARDKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2010**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองปริญญาโท

.....

หัวข้อปริญญาโท การประหยัดพลังงานในเครื่องทำน้ำแข็ง  
ENERGY SAVING FOR ICE MAKER

นักศึกษาผู้จัดทำ นายปณิธิ ไชยสง่าศิลป์ รหัสนักศึกษา 50010344  
นายชัยรวิ อิศวรมรกตวงศ์ รหัสนักศึกษา 50010346  
นายวุฒิศิริ วุฒิเจริญ รหัสนักศึกษา 50011520

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม  
ปีการศึกษา 2553

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท	ลายมือชื่อ
ผศ.เชอ นกอยู่	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การประหยัดพลังงานในเครื่องทำน้ำแข็ง		
	ENERGY SAVING FOR ICE MAKER		
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายปณิธิ	ไชยสง่าศิลป์	รหัสนักศึกษา 50010344
	นายชัยรวี	อัครมรกตวงศ์	รหัสนักศึกษา 50010346
	นายวุฒิสิริ	วุฒิเจริญ	รหัสนักศึกษา 50011520
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.เชื้อ	นกออยู่	
ปีการศึกษา	2553		

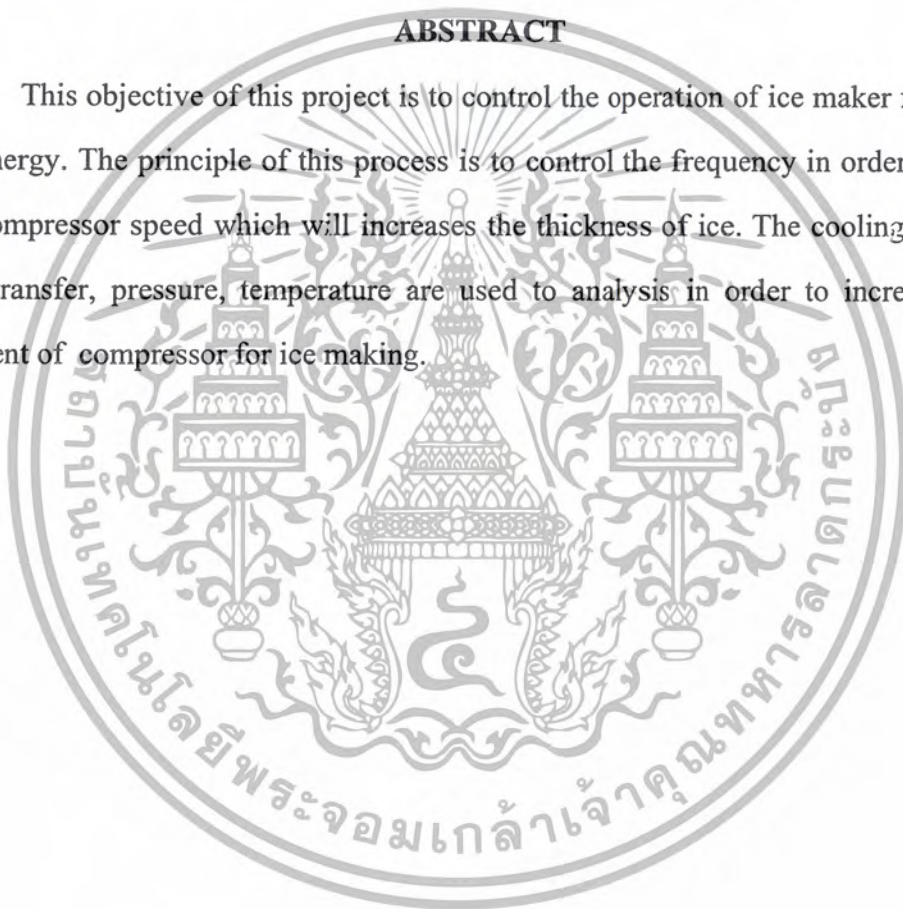
### บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อ ควบคุมการทำงานของเครื่องทำน้ำแข็ง โดยใช้หลักการ ควบคุมความถี่เพื่อปรับความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ ให้เหมาะสมกับการเกิดน้ำแข็งที่มีความหนาเพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนมีค่าเปลี่ยนแปลงไป โดยได้ทำการศึกษา ทฤษฎีการทำความเย็น ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน ความหนาของน้ำแข็ง ความดัน อุณหภูมิ ตลอดจนปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาวิเคราะห์และคำนวณ ความเหมาะสม ในการปรับลดการใช้พลังงานของคอมเพรสเซอร์เพื่อให้เครื่องทำน้ำแข็งทำงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

<b>Thesis Title</b>	Energy Saving For Ice Maker	
<b>Authors</b>	Mr. Paniti	Chaisangasilp
	Mr. Chairawee	Ussawamorakotwong
	Mr. Wuthisiri	Wuthijaroen
<b>Thesis Advisor</b>	Asst.Prof. Chuae	Nokyoo
<b>Year</b>	2010	

### ABSTRACT

This objective of this project is to control the operation of ice maker for saving the energy. The principle of this process is to control the frequency in order to adjust the compressor speed which will increases the thickness of ice. The cooling theorem, heat transfer, pressure, temperature are used to analysis in order to increasing the efficient of compressor for ice making.



## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความร่วมมือและได้รับความช่วยเหลือจากหลายๆ ฝ่ายและได้รับความเมตตาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เชื้อ นกอยู่ ที่คอยให้คำแนะนำและให้ความรู้มาตลอด อีกทั้งยังเอื้อเพื่ออุปกรณ์ ห้องทำงาน และเครื่องมือต่างๆ ในการทำปริญญาบัตรฉบับนี้ ทางคณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำ สั่งสอนให้ความรู้ชั้นเป็นประโยชน์ต่อคณะผู้จัดทำ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือด้าน อุปกรณ์และเครื่องมือที่เป็นประโยชน์ในการทำปริญญาบัตร

ขอขอบคุณเพื่อนๆ นักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมที่คอยช่วยเหลือให้คำปรึกษา ในด้านการทำงานและเป็นกำลังใจให้เสมอมา

และที่ลืมเสียมิได้ ต้องกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัวอันเป็นที่รักยิ่งที่คอยสนับสนุนและเป็นกำลังใจในการเรียน การทำงาน และการใช้ชีวิต ตลอดมาจนทำให้การทำปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คุณค่า และประโยชน์อันพึงได้รับจากปริญญาบัตรฉบับนี้ คณะผู้จัดทำขอมอบแด่คุณพ่อ คุณแม่ อีกทั้งครู อาจารย์ ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญรูป.....	XI
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความสำคัญของปริญญาโท.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญาโท.....	1
1.3 ขอบเขตของปริญญาโท.....	1
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎี.....</b>	<b>3</b>
2.1 กล่าวนำ.....	3
2.2 ระบบทำความเย็นชนิดอัดไอ.....	3
2.3 อุปกรณ์ในระบบทำความเย็นชนิดอัดไอ.....	4
2.3.1 อีวาโปเรเตอร์.....	4
2.3.2 คอมเพรสเซอร์.....	4
2.3.2.1 แบบเปิด.....	4
2.3.3 คอนเดนเซอร์.....	5
2.3.3.1 คอนเดนเซอร์ระบายความร้อนด้วยอากาศ.....	5
2.3.4 ถังเก็บน้ำยา.....	6
2.3.5 อุปกรณ์ควบคุมความดัน.....	7
2.3.5.1 ท่อแคปพิลารี.....	7
2.3.5.2 วาล์วขยายตัวแบบทำงานด้วยอุณหภูมิ.....	7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา **iv** ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.3.6 สารทำความเย็น.....	8
2.3.7 อุปกรณ์เสริม.....	8
2.4 การทำงานของระบบทำความเย็นชนิดอัดไอ.....	9
2.5 การวิเคราะห์กระบวนการทำความเย็นชนิดอัดไอ.....	14
2.5.1 คอมเพรสเซอร์.....	16
2.5.2 คอนเดนเซอร์.....	16
2.5.3 อุปกรณ์ควบคุมความดัน.....	17
2.5.4 อีวาโปเรเตอร์.....	17
2.5.5 ประสิทธิภาพการทำความเย็น.....	17
2.5.6 ความสามารถในการทำความเย็น.....	17
2.5.7 อัตราการไหลเชิงปริมาตรของสารทำความเย็น.....	18
2.5.8 ความสามารถของคอมเพรสเซอร์.....	18
2.6 การถ่ายเทความร้อน.....	18
2.6.1 การวิเคราะห์การนำความร้อนผ่านชั้นตัวกลาง.....	19
2.6.2 ความต้านทานความร้อนที่ผิวรอยต่อระหว่างตัวกลาง.....	20
2.7 การออกแบบวิธีประหยัดพลังงานของเครื่องทำน้ำแข็ง.....	22
2.7.1 การห่ออัตราการถ่ายเทความร้อนจากห้องทำน้ำแข็ง.....	22
2.7.2 การหาความสามารถในการทำความเย็น.....	26
2.8 เครื่องควบคุมแบบโปรแกรมได้.....	30
2.9 การเชื่อมต่อได้ใช้พอร์ตอนุกรม RS232.....	34
2.10 อินเวอร์เตอร์.....	36
2.10.1 โครงสร้างของอินเวอร์เตอร์.....	36
2.10.2 หลักการทำงานของภาคอินเวอร์เตอร์.....	37
2.10.2.1 วิธีการสร้างไฟกระแสลับจากไฟกระแสตรง.....	37
2.10.2.2 วิธีการแปลงความถี่.....	37
2.10.2.3 วิธีการเปลี่ยนแรงดัน.....	39
2.10.3 การทำงานของภาคคอนเวอร์เตอร์.....	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.10.3.1 หลักการทำงานของคอนเวอร์เตอร์.....	42
2.10.4 การเร่งความเร็วและการเดินเครื่องมอเตอร์.....	42
2.10.4.1 การสตาร์ท.....	42
2.10.4.2 การเร่งความเร็ว.....	44
2.10.5 การตั้งค่าพารามิเตอร์ที่อินเวอร์เตอร์.....	45
2.10.5.1 การเลือกใช้ฟังก์ชัน Control mode.....	45
2.10.5.2 การเลือกใช้ฟังก์ชัน V/f control.....	46
2.10.5.3 การเลือกฟังก์ชัน Local/Remote Mode.....	47
2.10.5.4 ฟังก์ชัน Remote Mode.....	48
2.10.5.5 การใช้สัญญาณกระแสควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์.....	49
2.10.5.6 การกำหนดช่วงการทำงานของสัญญาณควบคุม.....	50
<b>บทที่ 3 การออกแบบ.....</b>	<b>51</b>
3.1 กล่าวนำ.....	51
3.2 ส่วนของอุปกรณ์.....	51
3.2.1 เครื่องทำน้ำแข็ง.....	52
3.2.2 ตัวควบคุมความถี่.....	52
3.2.2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR.....	53
3.2.2.2 วงจรแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้า.....	58
3.2.2.3 อินเวอร์เตอร์.....	60
3.2.3 ชุดเก็บค่าอุณหภูมิ.....	65
3.2.3.1 RTD.....	66
3.2.3.2 Temperature Transmitter.....	70
3.2.3.3 Analog Input Module.....	72
3.2.4 ชุดวัดค่าทางไฟฟ้า.....	74
3.2.4.1 AC 1 Phase Amp Meter.....	74
3.2.4.2 เครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้า.....	77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา VI ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.2.4.3 เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า.....	79
3.2.4.4 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ .....	79
3.3 ส่วนของโปรแกรม.....	80
3.3.1 Direct SOFT 5.....	80
3.3.2 โปรแกรม DS Data Server.....	84
3.3.3 ขั้นตอนในการทำการแสดงค่าที่ Microsoft Excel.....	87
3.3.4 การเขียนโปรแกรม.....	88
3.3.4.1 โปรแกรม Arduino.....	89
3.3.4.2 สัญญาณ PWM.....	90
บทที่ 4 การทดลอง.....	91
4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	91
4.2 ลำดับขั้นเตรียมการทดลอง.....	91
4.3 ขั้นตอนการทดลอง.....	92
4.4 การทดลอง.....	95
4.5 ผลการทดลอง.....	98
บทที่ 5 สรุปการวิจัยและเสนอแนะ.....	116
บรรณานุกรม.....	117
ภาคผนวก.....	118

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา VII ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แผนภาพระบบทำความเย็นชนิดอัดไอ.....	3
2.2 คอมเพรสเซอร์แบบปิด.....	5
2.3 คอนเดนเซอร์ระบายความร้อนด้วยอากาศ.....	5
2.4 ถังเก็บน้ำยา.....	6
2.5 ท่อแคปพิลารี.....	7
2.6 วาล์วขยายตัวทำงานด้วยอุณหภูมิจากการใช้งาน.....	7
2.7 (1) แสดงโครงสร้าง	
(2) การติดตั้งอุปกรณ์เข้าไปในระบบ.....	9
2.8 วงจรของระบบทำความเย็นชนิดอัดไอ.....	10
2.9 การระเหยของสารทำความเย็นในห้องระเหย(อีวาโปเรเตอร์).....	10
2.10 การให้ความร้อนยิ่งยวดกับไออิมตัว.....	11
2.11 การอัดไออิมตัวในคอมเพรสเซอร์.....	11
2.12 การระบายความร้อนของไอความร้อนยิ่งยวด.....	12
2.13 การทำงานของคอนเดนเซอร์.....	12
2.14 น้ำยาเหลวและไอน้ำยาในถังรับน้ำยา.....	13
2.15 การระบายความร้อนของสารทำความเย็นเหลวที่ท่อของเหลว.....	13
2.16 แผนภาพมอลเลียร์ (Mollier Diagram).....	15
2.17 แผนภาพค่าความดัน-เอนโทรปี (P-h Diagram).....	16
2.18 สมมูลระหว่างการนำความร้อนและการพาความร้อนผ่านผนัง.....	20
2.19 อุณหภูมิตัวกลางจะลดลงตรงบริเวณผิวรอยต่อ.....	20
2.20 อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุที่ใช้ออกแบบในห้องทำน้ำแข็ง.....	22
2.21 การเกิดน้ำแข็ง.....	24
2.22 อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุที่ใช้ออกแบบในห้องทำน้ำแข็ง.....	25
ในขณะที่เริ่มเกิดน้ำแข็ง( เมื่ออุณหภูมิน้ำลดลงเหลือ 0 °C )	
2.23 P-h Diagram ของวัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไอ.....	26
2.24 ลักษณะ โครงสร้างของ PLCภาคอินพุต.....	31
2.25 PLC ของ KOYO รุ่น DL 06.....	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและ XI ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.26 ส่วนประกอบของ PLC ของ KOYO รุ่น DL 06.....	33
2.27 การต่อแหล่งจ่ายไฟ.....	33
2.28 (ก) DB9 ตัวผู้	
(ข) DB9 ตัวเมีย.....	35
2.29 การต่ออุปกรณ์ภายนอกผ่าน DB9.....	35
2.30 โครงสร้างของอินเวอร์เตอร์.....	36
2.31 วิธีการสร้างไฟฟ้ากระแสสลับ.....	37
2.32 ความถี่.....	38
2.33 วงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส พื้นฐาน.....	38
2.34 การสร้างไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส.....	39
2.35 ตัวอย่างรูปคลื่นกระแสและแรงดันที่วัดได้จากอินเวอร์เตอร์.....	41
2.36 หลักการทำงานของคอนเวอร์เตอร์.....	42
2.37 แรงบิดสตาร์ท.....	43
2.38 การเร่งความเร็วของอินเวอร์เตอร์.....	44
2.39 การเชื่อมต่อสายสัญญาณควบคุมอินเวอร์เตอร์.....	49
3.1 อุปกรณ์ทั้งหมดที่ใช้ในการทดลอง.....	51
3.2 (ก) คือ รูปเครื่องทำน้ำแข็ง (ข) คือแบบจำลองเครื่องทำน้ำแข็ง.....	52
3.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ต่อกับวงจร V to I.....	53
3.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ATmega 88.....	54
3.5 โครงสร้างภายนอกและตำแหน่งขา ATmega 8-16PI (PDIP).....	56
3.6 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ET-BASE AVR EASY88.....	57
3.7 ตัวอย่างการแปลงสัญญาณแรงดันเป็นกระแสไฟฟ้า.....	59
3.8 วงจรแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้าแบบง่าย.....	59
3.9 (ก) คือ รูป inverter (ข) คือ รูปอินเวอร์เตอร์ เชื่อมต่อ กับ ชุดควบคุมความถี่.....	60
3.10 แสดงการกำหนดค่าความถี่สูงสุด ต่ำสุดของ Inverter.....	62
3.11 การตั้งค่า V/f pattern แบบต่างๆ.....	62
3.12 การกำหนดช่วงการทำงานของสัญญาณควบคุม.....	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา XII ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.13 แสดงการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์.....	65
3.14 (ก) คือ ชุดวัดอุณหภูมิ ต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ (ข) คือ ชุดวัดอุณหภูมิ.....	65
3.15 RTD ขณะกำลังใช้งาน.....	66
3.16 แสดงความเป็นเชิงเส้นของPt 100 กับ Thermocouple.....	67
3.17 วงจรใช้งานพื้นฐานของ RTD แบบ 2 สาย.....	68
3.18 วงจรใช้งานพื้นฐานของ RTD แบบ 3 สาย.....	68
3.19 วงจรใช้งานพื้นฐานของ RTD แบบ 4 สาย.....	69
3.20 ภาพแสดง Temperature Transmitter.....	70
3.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง input และ output ของ Temperature Transmitter.....	71
3.22 แสดงภาพ Analog Input Module 4 channel.....	72
3.23 แสดงตัวเครื่อง PLC ยี่ห้อ KOYO รุ่น DL-06.....	72
3.24 แสดงโครงสร้างภายในของ Analog Input Module 4 channel.....	73
3.25 แสดงสูตรที่ใช้ในการทำ Scale ของ Analog Input Module รุ่น F0-04AD-1.....	73
3.26 แสดงภาพ AC 1 Phase Amp Meter.....	74
3.27 แสดงการต่อสาย.....	75
3.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง input และ output ของ AC 1 Phase Amp Meter.....	77
3.29 เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า FLUKE 41B.....	78
3.30 การต่อเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า 1 เฟส.....	78
3.31 เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า (Watt-Hour Meter).....	79
3.32 FLUKE 62 mini IR THERMOMETER.....	79
3.33 แสดงการเปิด New Project ขึ้นมาเพื่อทำการเขียน โปรแกรม.....	80
3.34 แสดงการเลือกชนิดของ PLC และรุ่นของ PLC หรือชนิดของ CPU แล้ว คลิก OK.....	81
3.35 แสดงการต่อ PLC กับคอมพิวเตอร์ และทำการ Link กับ โปรแกรม DirectSOFT5.....	81
3.36 แสดงหน้าจอการรอการเขียน โปรแกรมให้กับ PLC.....	81
3.37 แสดงการเลือกใช้ข้อมูลบน PLC แบบใด.....	82
3.38 เลือก Use Disk เพื่อทำการเขียน โปรแกรม PLC ใหม่.....	82
3.39 แสดงบล็อกสัญลักษณ์การเขียน Ladder.....	83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา XIII

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.40 แสดงการใช้งาน Mode ใน PLC.....	83
3.41 แสดงการเลือกโหมดการทำงาน.....	83
3.42 แสดงการเชื่อมโยงข้อมูลโดยการใช้โปรแกรม DS Data Server.....	84
3.43 แสดงการเลือกการเชื่อมต่อของ PLC.....	84
3.44 แสดงการเลือกพอร์ตของเครื่องคอมพิวเตอร์.....	85
3.45 แสดงการเลือกรุ่นต่างๆของเครื่อง PLC.....	85
3.46 แสดงการเลือกชนิดของ Protocol.....	85
3.47 แสดงการรอกการอ่านข้อมูลของเครื่อง PLC.....	86
3.48 แสดงการตั้งชื่อหัวข้อของโปรแกรมของเครื่อง PLC.....	86
3.49 แสดงโปรแกรม Ds data server.....	87
3.50 แสดงสูตรที่ใช้ในการส่งผ่านค่า จากโปรแกรม Ds data server ไปยัง Microsoft Excel.....	87
3.51 แสดง การปรับแก้ Topic ให้เหมือนกับที่สร้างใน Ds Data Server.....	88
3.52 แสดงค่าที่ออกจากคอมพิวเตอร์.....	88
3.53 (ก) PWM มีควิตซ์ไซเกิล 100%.....	90
(ข) PWM มีควิตซ์ไซเกิล 75%.....	
(ค) PWM มีควิตซ์ไซเกิล 50%.....	
(ง) PWM มีควิตซ์ไซเกิล 25%.....	
4.1 (ก) ปริมาตรน้ำ 100 cc. ตวงจากบีกเกอร์ (ข) ของทำน้ำแข็ง.....	92
4.2 วัดอุณหภูมิน้ำโดยใช้เซนเซอร์อาร์ทีดี.....	92
4.3 พลังงานที่ใช้ในการทำน้ำแข็งอ่านค่าได้จากเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า (Watt-Hour Meter).....	93
4.4 (ก.) วัดคีมเตอร์ (Watt Meter) ที่ใช้ในการเก็บค่าพลังงานและกระแสไฟฟ้าทุก ๆ 10 นาที.....	93
(ข.) เกจเติมน้ำยาใช้สำหรับวัดความดันที่จุด 1 และจุด 3 ของวัฏจักร	
(ค.) อินเวอร์เตอร์ใช้สำหรับใช้ควบคุมความถี่ที่จ่ายให้แก่คอมเพรสเซอร์	
(ง.) อุปกรณ์วัดอุณหภูมิแบบRTDโดยต่ออยู่กับชุดวัดอุณหภูมิ	
เพื่ออ่านค่าอุณหภูมิที่วัดได้ ใช้สำหรับวัดวัดอุณหภูมิที่จุด1และ 3 ของวัฏจักร	
4.5 การใช้เวอร์เนียในการวัดความหนาของน้ำแข็งแต่ละด้าน.....	94
4.6 กราฟแสดงค่าพลังงานของแต่ละช่วงเวลาที่ทดลอง.....	95

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.7 กราฟแสดงค่าพลังงานของแต่ละช่วงความถี่ที่รับลดลง.....	96
4.8 อัตราการถ่ายเทความร้อนของช่องน้ำแข็งในสถานะเป็นของเหลวทั้งหมด.....	99
4.9 การทดลองขณะมีสถานะเป็นน้ำและการวัดความหนาแต่ละด้าน.....	100
4.10 อัตราการถ่ายเทความร้อนของห้องทำน้ำแข็งในสถานะเป็นน้ำแข็งทั้งหมด.....	101
4.11 การทดลองขณะมีสถานะเป็นน้ำแข็งทั้งหมดและการวัดความหนาแต่ละด้าน.....	102
4.12 กราฟแสดงอัตราการถ่ายเทความร้อนกับความสามารถในการทำความเย็นวัฏจักร.....	109
4.13 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราการไหลเดิมกับค่าอัตราการไหลใหม่.....	111
4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่กับเวลา.....	112
4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบของคอมเพรสเซอร์กับเวลา.....	112
4.16 กราฟแสดงค่าพลังงานในการปรับความถี่ตามความหนาของน้ำแข็งที่เพิ่มขึ้น.....	115



# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่าความดันสัมผัสของโลหะชนิดต่างๆ.....	21
2.2 ค่าความต้านทาน ของตัวกลางชนิดต่างๆ.....	21
2.3 การแสดงผลของไฟแสดงผลของ PLC.....	34
2.4 การควบคุมรูปคลื่นแรงดันของอินเวอร์เตอร์.....	40
2.5 การตั้งค่าพารามิเตอร์ในส่วนของการกำหนดการสั่งงานอินเวอร์เตอร์.....	45
2.6 การตั้งค่า V/f pattern.....	46
2.7 ตัวอย่างการตั้งค่า V/f pattern แบบต่างๆ.....	47
3.1 แสดงการเปรียบเทียบสัญญาณที่ชุดควบคุมความถี่และ Inverter.....	53
3.2 แสดงการกำหนดค่าความถี่สูงสุด ต่ำสุดของ Inverter.....	61
3.3 แสดงผลการสอบเทียบ Temperature Transmitter.....	71
3.4 แสดง V-Memory ของ Analog Input Module DL-06.....	73
3.5 แสดงการแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก และแปลงอนาล็อกเป็นดิจิทัล.....	74
3.6 ข้อมูลทั่วไปของ AC 1 Phase Amp Meter.....	75
3.7 แสดงผลการสอบเทียบ AC 1 Phase Amp meter.....	77
3.8 คุณสมบัติของเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า FLUKE 41B.....	78
4.1 เป็นการเปลี่ยนการเก็บค่าเป็นจำนวน5ครั้ง.....	98
4.2 R-134a รั่วยิ่งยวด.....	105
4.3 R-134a อิมตัว.....	107
4.4 เปรียบเทียบอัตราการถ่ายเทความร้อนกับ ความสามารถในการทำความเย็นของวัฏจักร.....	108
4.5 เปรียบเทียบค่าอัตราการไหลเดิมกับอัตราการไหลใหม่..... และความถี่ที่จะทำการปรับลดให้กับคอมเพรสเซอร์.....	111
4.6 ปรับความถี่ตามความหนาของน้ำแข็ง.....	113
4.7 ใช้เครื่องควบคุมความถี่ตามเวลา.....	114

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญของปัญญานิพนธ์

เนื่องจาก สภาพอากาศของโลกปัจจุบันมีอุณหภูมิค่อนข้างสูง ดังนั้นในการดำรงชีวิตของคนเรา จึงมีการสรรหาสิ่งอำนวยความสะดวก ที่จะมาช่วยบรรเทาความร้อนจากอากาศ ที่เป็นอยู่ตามธรรมชาติ จึงได้มีการคิดค้นกรรมวิธีต่างๆ ที่จะช่วยในการลดอุณหภูมิของอากาศลง โดยมีน้ำเป็นสิ่งที่จำเป็นอีกอย่างหนึ่ง ซึ่งเราจะต้องใช้ในชีวิตประจำวัน เราจึงอยากนำมาเป็นตัวช่วยในการดับความร้อน ซึ่งปัจจุบันน้ำแข็งมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของคนเรามากไม่ว่าจะเป็นการบินไกลในชีวิตประจำวัน ตลอดจนการทำอุตสาหกรรม การประมง จึงทำให้เกิดธุรกิจการผลิตน้ำแข็งขายเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเครื่องทำน้ำแข็งจะมีรอบการทำงานที่คงที่บางครั้งการทำน้ำแข็งอาจจะใช้เวลาไม่เท่ากัน หรือเร็วกว่ากำหนด ซึ่งจะทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานไปอย่างเปล่าประโยชน์ในการแช่ น้ำแข็งไว้ในช่อง เราจึงศึกษากระบวนการเกิดน้ำแข็งและการถ่ายเทความร้อน เพื่อหาความสัมพันธ์ของกระบวนการทางเทอร์โมไดนามิกส์กับพลังงานที่ใช้ในการผลิตน้ำแข็ง เพื่อนำไปใช้ในการลดค่าพลังงานในการผลิตน้ำแข็ง

### 1.2 วัตถุประสงค์ของปัญญานิพนธ์

1. มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการทำความเย็นและเครื่องทำน้ำแข็ง
2. เพื่อศึกษาเกี่ยวกับอุณหพลศาสตร์
3. มีความรู้ความเข้าใจในเรื่องการประหยัดพลังงาน
4. สามารถควบคุม เครื่องทำน้ำแข็ง ให้ใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

### 1.3 ขอบเขตของปัญญานิพนธ์

ในปัญญานิพนธ์นี้จะเป็นการออกแบบชุดเครื่องทำน้ำแข็งให้สามารถปรับความถี่ได้อย่างเหมาะสมได้ตามค่าวัฏจักรทำความเย็น โดยใช้อุปกรณ์ที่มีขายในท้องตลาด และสามารถทดลองหาวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำความเย็นและลดพลังงานของเครื่องทำน้ำแข็ง

## 1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาทฤษฎีการเกิดของน้ำแข็ง และคุณสมบัติของน้ำ เพื่อหาพฤติกรรมของน้ำเมื่อเกิดน้ำแข็ง
2. ศึกษาระบบการทำงานของเครื่องทำความเย็น และเทอร์โมไดนามิกส์
3. ทำการออกแบบเครื่องทำน้ำแข็ง โดยใช้อุปกรณ์ที่มีขายตามท้องตลาด
4. ทำการออกแบบชุดวัดค่าข้อมูล เช่น อุณหภูมิ กระแส พลังงาน ของเครื่องทำน้ำแข็ง
5. เปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงเครื่องทำน้ำแข็ง
6. ออกแบบชุดควบคุมความถี่ เพื่อควบคุมความถี่ของเครื่องทำน้ำแข็ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

## ทฤษฎี

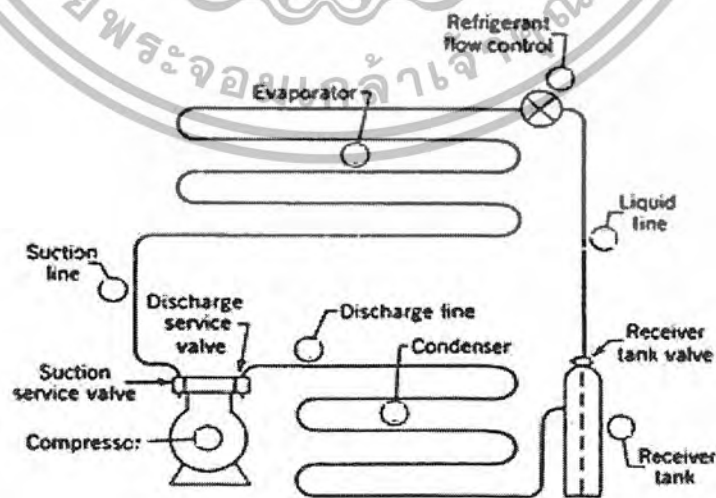
### 2.1 กล่าวนำ

กระบวนการทำความเย็น (Refrigeration) หมายถึง กระบวนการถ่ายเทความร้อนออกจาก บริเวณที่ต้องการทำความเย็น การทำงานจะเป็นแบบวัฏจักรซึ่งจะเรียกว่า วัฏจักรการทำความเย็น (Refrigeration Cycle) โดยส่วนใหญ่นั้นเป็นระบบทำความเย็นชนิดอัดไอ ซึ่งจะใช้สารทำความเย็น เป็นตัวกลางในการทำงาน โดยจะระเหยเปลี่ยนสถานะจากของเหลวไปเป็นไอ และควบแน่นเป็น ของเหลวสลับกัน อีกทั้งถูกอัดให้มีความดันสูงขึ้นในขณะที่มีสถานะเป็นไอ โดยมีอุปกรณ์ทำงาน อย่างเป็นระบบเรียกว่า ระบบทำความเย็นชนิดอัดไอ (Vapor Compression Refrigeration System)

### 2.2 ระบบทำความเย็นชนิดอัดไอ

ระบบทำความเย็นชนิดอัดไอ (Vapor Compression Refrigeration System) ได้รับการ ออกแบบและถูกสร้างขึ้น โดยอาศัยหลักการเทอร์โมไดนามิกส์ดังนี้

- ของไหลดูดความร้อนได้ขณะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ
- ความร้อนจะไหลจากที่อุณหภูมิสูงไปยังอุณหภูมิต่ำ
- การเลือกโลหะที่ใช้ทำอิวาไปเรเตอร์จะต้องมีค่าการนำความร้อนสูง
- พลังงานความร้อนและในรูปแบบอื่น สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ ตามกฎข้อที่สอง ของเทอร์โมไดนามิกส์



รูปที่ 2.1 แผนภาพระบบทำความเย็นชนิดอัดไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 อุปกรณ์ในระบบทำความเย็นชนิดอัดไอ

ในวัฏจักรทำความเย็นจะประกอบไปด้วย กระบวนการระเหย การควบแน่น และการหมุนเวียน ของสารทำความเย็นในระบบอย่างสม่ำเสมอ การระเหยกลายเป็นไอของสารทำความเย็น เกิดขึ้นเมื่อสารทำความเย็นมีความดันและอุณหภูมิต่ำ ส่วนการควบแน่นนั้นจะเกิดเมื่อมีความดันและอุณหภูมิสูง ซึ่งวงจรของระบบการทำความเย็นชนิดอัดไอ ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดกระบวนการต่างๆ และมีหน้าที่สำคัญดังนี้

### 2.3.1 อีวาโปเรเตอร์

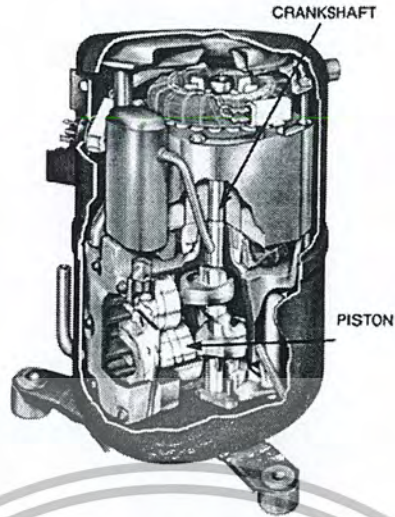
อีวาโปเรเตอร์ (Evaporator) ทำหน้าที่ดูดซับปริมาณความร้อนจากบริเวณที่ต้องการ โดยจะอาศัยการที่สารทำความเย็นเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอที่อุณหภูมิต่ำและความดันต่ำ โดยดูดซับปริมาณความร้อนโดยรอบเอาไว้ ทำให้บริเวณที่ต้องการทำความเย็นนั้นมีอุณหภูมิลดลง เราสามารถจำแนกชนิดของอีวาโปเรเตอร์ได้ โดยแบ่งตามลักษณะทางกายภาพที่มีลักษณะภายนอกหรือวัสดุต่างกันดังนี้

### 2.3.2 คอมเพรสเซอร์

คอมเพรสเซอร์ (Compressor) ทำหน้าที่ดูดอัดสารทำความเย็นที่มีสถานะเป็นไอ โดยดูดไอที่มีอุณหภูมิต่ำและความดันต่ำจากอีวาโปเรเตอร์ แล้วอัดให้มีอุณหภูมิสูงและความดันสูงจนถึงจุดที่ไอสามารถควบแน่นเป็นของเหลวในคอนเดนเซอร์ได้

#### 2.3.2.1 แบบปิด (Close Type)

เป็นคอมเพรสเซอร์ที่มีตัวอัดและตัวมอเตอร์อยู่ภายใน โครงสร้างเดียวกัน โดยมี การห่อหุ้มแบบมิดชิดเรียกว่าคอมเพรสเซอร์แบบหุ้มปิด (Hermetic Compressor) นิยมใช้กับระบบทำความเย็นขนาดเล็กเช่น ตู้เย็น เครื่องปรับอากาศ



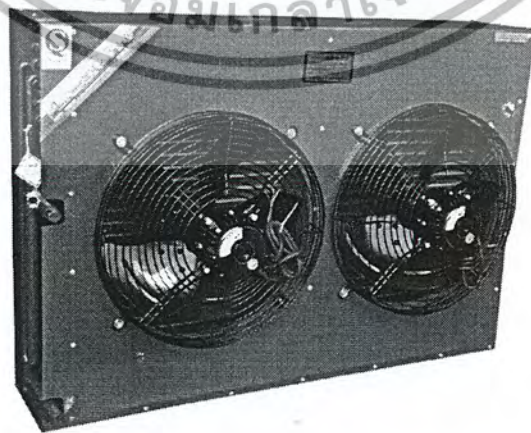
รูปที่ 2.2 คอมเพรสเซอร์แบบเปิด

### 2.3.3 คอนเดนเซอร์

คอนเดนเซอร์ (Condenser) ทำหน้าที่ระบายความร้อนออกจากสารทำความเย็น ทำให้สารทำความเย็นเกิดการควบแน่นเป็นของเหลว มีหลายประเภทดังนี้

#### 2.3.3.1 คอนเดนเซอร์ระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air Cooled Condenser)

คอนเดนเซอร์ประเภทนี้ประกอบด้วยท่อขนาดเล็กจำนวนมาก โดยที่ผิวด้านนอกของท่อจะสัมผัสกับครีป (Fin) และมีพัดลมเป่าอากาศเพื่อถ่ายเทความร้อนจากสารทำความเย็นไปสู่อากาศภายนอก ดังรูปที่ 2.3 การควบแน่นเกิดขึ้นขณะที่สารทำความเย็นไหลผ่านท่อทางด้านขาเข้าไปสู่ท่อด้านออก และไปที่ถังเก็บน้ำยา



รูปที่ 2.3 คอนเดนเซอร์ระบายความร้อนด้วยอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.4 ถังเก็บน้ำยา

ถังเก็บน้ำยา (Receiver Tank) ทำหน้าที่เก็บสารทำความเย็นที่ควบแน่นกลายเป็นของเหลวจากคอนเดนเซอร์ จะถูกนำมาพักเก็บไว้ก่อนส่งไปยังวาล์วควบคุมการไหล



รูปที่ 2.4 ถังเก็บน้ำยา

### 2.3.5 อุปกรณ์ควบคุมความดัน

ทำหน้าที่ควบคุมความดันของ สารทำความเย็นที่ผ่านเข้าไปยัง อีวาโปเรเตอร์ โดยลดความดันของสารทำความเย็นให้ต่ำลงจนสามารถระเหยกลายเป็นไอได้ อีวาโปเรเตอร์ในอุณหภูมิใช้งาน และควบคุมความแตกต่างของความดันระหว่างความดันสูงกับความดันต่ำของระบบให้พอดีกับการระเหย อุปกรณ์ควบคุมความดันจะมีสองแบบคือ ท่อแคปพิลารี (Capillary Tube) และวาล์วขยายตัว (Expansion Valve)

#### 2.3.5.1 ท่อแคปพิลารี (Capillary Tube)

ท่อแคปพิลารีหรือหลอดรูเล็ก เป็นอุปกรณ์ควบคุมการไหลของ สารทำความเย็นที่ง่ายที่สุดประกอบด้วยท่อที่มีความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางตาม ความสามารถในการทำความเย็น และปริมาณของสารทำความเย็นติดตั้งอยู่ระหว่างคอนเดนเซอร์กับอีวาโปเรเตอร์

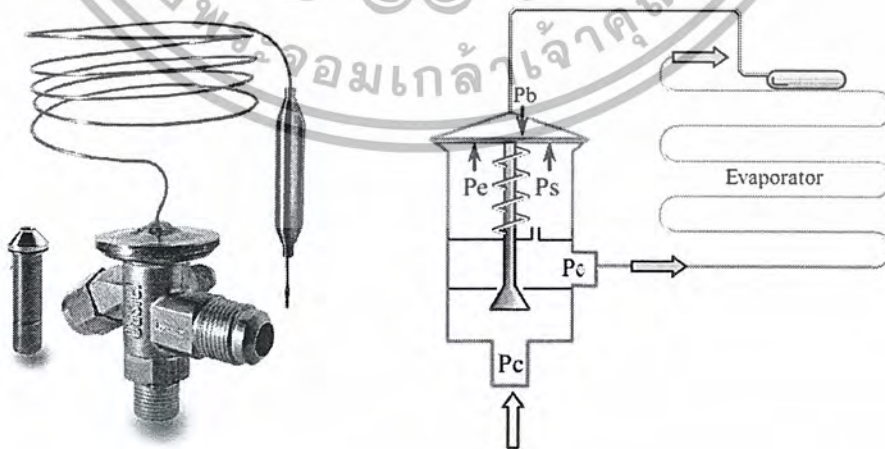
ท่อแคปพิลารีเป็นตัวจำกัดหรือตัววัดอัตราการไหลของของเหลวจากคอนเดนเซอร์ ไปยังอีวาโปเรเตอร์ และยังรักษาความแตกต่างของความดันในการทำงาน การใช้งานควรต้องร่วมกับตัวกรอง (Filter Drier) เพื่อกรองสิ่งสกปรกในระบบไม่ให้ไปอุดตันท่อแคปพิลารี



รูปที่ 2.5 ท่อแคปพิลารี

### 2.3.5.3 วาล์วขยายตัวแบบทำงานด้วยอุณหภูมิ (Thermostatic Expansion Valve)

การทำงานของวาล์วขยายตัวแบบทำงานด้วยอุณหภูมิ (TEV) จะทำงานที่อุณหภูมิคงที่ของไอร้อนยวดยิ่ง (Superheated Vapor) สารทำความเย็นมีจุดเดือดที่สูงกว่าจุดอิ่มตัวที่บริเวณทางออกของอีวาโปเรเตอร์ โดยใช้กระเปาะ (Bulb) ที่มีของเหลวบรรจุอยู่ในทำหน้าที่ในควบคุมการไหลของสารทำความเย็นที่เข้าสู่อีวาโปเรเตอร์ การทำงานในลักษณะนี้จะทำให้รักษาอุณหภูมิในอีวาโปเรเตอร์ได้อย่างสมบูรณ์ สามารถควบคุมได้ทุกสภาวะของระบบที่มีภาระเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา โดยปราศจากความเสียหายจากสารทำความเย็นที่เข้ามาในท่อคูดของ คอมเพรสเซอร์ เนื่องจากสามารถปรับการเปลี่ยนแปลงภาระได้อย่างเหมาะสมทำให้มีประสิทธิภาพ การทำความเย็นที่สูง หลักการทำงานจะใช้การสมดุลแรงของ 3 แรงที่กระทำคือแผ่นโคอะแฟรม คือ ความดันจากกระเปาะ (Pb) ความดันจากสารทำความเย็นในระบบ (Pe) แรงจากสปริงใน Plug Valve (Ps) ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 วาล์วขยายตัวทำงานด้วยอุณหภูมิและการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.6 สารทำความเย็น

สารทำความเย็น (Refrigerant) ทำหน้าที่เป็นสารตัวกลางพาความร้อนออกจากระบบ เมื่อเปลี่ยนสถานะเป็นไอในอิวาโปรเตอร์และควบแน่นเป็นของเหลวในคอนเดนเซอร์ จะมีการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้น

R-134a ( $\text{CF}_3\text{CH}_2\text{F}$ ) เป็นสารกลุ่มฟลูออโรคาร์บอนมีค่าความปลอดภัยระดับ A1 มีจุดเดือด  $-15.0^\circ\text{F}$  ( $-26.2^\circ\text{C}$ ) ที่ความดันบรรยากาศ เป็นสารทำความเย็นที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้แทน R-12 ซึ่งได้ถูกยกเลิกการผลิตตามข้อบังคับของพิธีสารมอนทรีออล R-134a มีคุณสมบัติในการรวมตัวกับน้ำได้ดี (Water Solubility) จึงมีโอกาที่จะเกิดน้ำแยกตัวออกจากสารทำความเย็นไปเป็นน้ำแข็งอุดตันล้นลดความดันได้ และเนื่องจากไม่สามารถรวมตัวกับสารหล่อลื่นชนิด Mineral Oils ได้ จึงต้องใช้สารหล่อลื่นชนิดพิเศษคือ Polyol Ester (POE) และเนื่องจาก POE เป็นสารหล่อลื่นที่มีความสามารถในการดูดความชื้นสูง จึงต้องระวังอย่าให้มีโอกาสสัมผัสกับอากาศในปัจจุบัน เครื่องปรับอากาศรถยนต์ และตู้เย็นที่ผลิตใหม่ถูกบังคับให้เปลี่ยนมาใช้ R-134a แทน R-12 ทั้งหมด

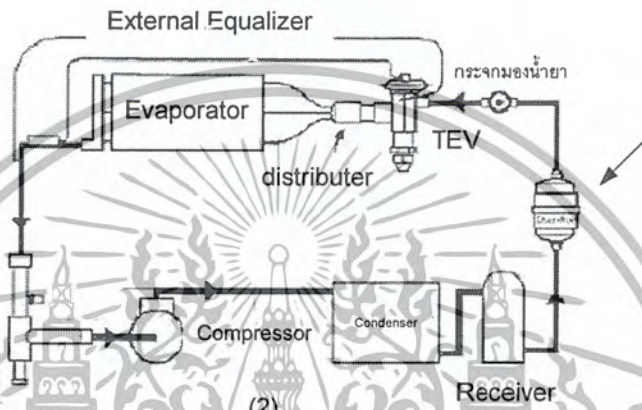
Cold-134 ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3 + \text{CH}(\text{CH}_3)_3$ ) เป็นสารทำความเย็นกลุ่มไฮโดรคาร์บอนมีค่าความปลอดภัยระดับ A3 มีจุดเดือด  $-22.9^\circ\text{F}$  ( $-30.5^\circ\text{C}$ ) ที่ความดันบรรยากาศ เป็นสารทำความเย็นที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้แทน R-134a ไม่มีอันตรายน้อยกว่าชั้นบรรยากาศโอโซน มีค่า GWP (Global Warming Potential)  $<3$  มีอายุขัย ณ ชั้นบรรยากาศ  $<1$  ปี มีค่าความเป็นพิษอยู่ในระดับต่ำเมื่อเทียบกับ R-134a แต่จะทำงานที่ความดันต่ำกว่า ใช้ระบบเดียวกับ R-134a ได้ ไม่สามารถรวมตัวกับน้ำได้ (Water Insoluble) มีอุณหภูมิติดไฟอัตโนมัติที่ความดัน 0 psi ที่  $460^\circ\text{C}$  ใช้ทดแทนในระบบ R-134a

### 2.3.7 อุปกรณ์เสริม

นอกจากอุปกรณ์หลักข้างต้นแล้ว ยังมีอุปกรณ์ที่สำคัญที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำความเย็นซึ่งอาจมีความจำเป็นในบางระบบคือ ฟิลเตอร์ดรายเออร์ (Filter Drier) ทำหน้าที่กรองฝุ่นละอองที่ค้างในระบบโดยให้ผ่านเพียงสารทำความเย็น นอกจากนี้ยังช่วยลดความชื้นในท่อขณะทำการติดตั้งระบบ การเลือกใช้จะต้องคำนึงถึงชนิดของสารทำความเย็นที่ใช้ในระบบ ขนาดของเครื่องทำความเย็นขนาดท่อน้ำยา และค่าความดันลด (Pressure Drop) นิยมใช้ในเครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศทั่วไป



(1)



(2)

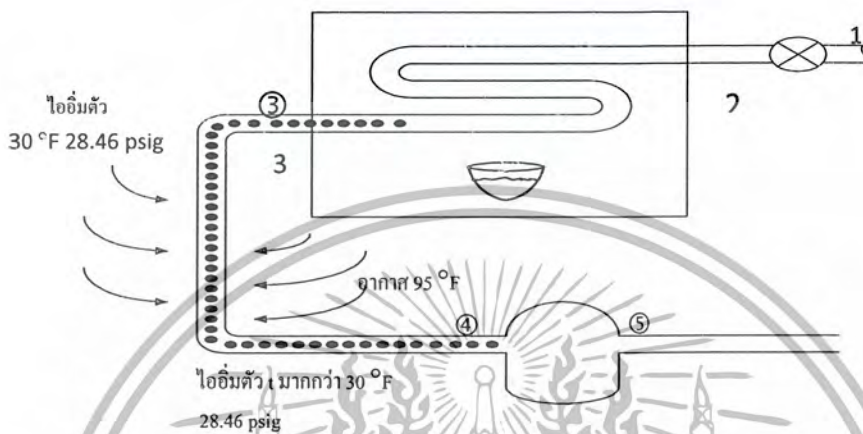
รูปที่ 2.7 (1) แสดงโครงสร้าง (2) การติดตั้งอุปกรณ์เข้าไปในระบบ

### 2.4 การทำงานของระบบทำความเย็นชนิดอัดไอ

ระบบทำความเย็นจะทำความเย็นได้นั้น สารทำความเย็นภายในระบบจะต้องไหลเวียน อุปกรณ์ที่ทำให้เกิดการไหลเวียนในระบบคือ คอมเพรสเซอร์ซึ่งเปรียบเสมือนเครื่องสูบน้ำที่สูบสารทำความเย็นให้ไหลเวียนอยู่ตลอดเวลาที่ระบบทำงานรูปที่ 2.8 แสดงวงจรของระบบทำความเย็นแบบอัดไอการทำงานของระบบทำความเย็นอธิบายได้ดังนี้



ที่จุด 3 สารทำความเย็นที่ออกจากอีวาโปเรเตอร์ จะอยู่ในสถานะไอที่ความดันต่ำ อุณหภูมิ ต่ำถูกส่งผ่านทางท่อเข้าสู่คอมเพรสเซอร์ ขณะที่ผ่านท่อคอยล์ของสารทำความเย็นจะได้รับความ ร้อนจากอากาศรอบ ๆ ทำให้ไอของสารทำความเย็นมีอุณหภูมิสูงขึ้นแต่ความดันยังคงที่ ความร้อน ช่วงนี้คือ ความร้อนยังยวด ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การให้ความร้อนยังยวดกับ ไออิ่มตัว

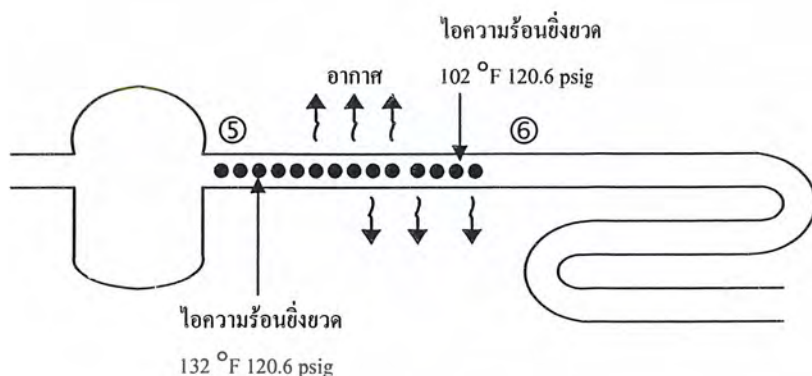
ที่จุด 4 สารทำความเย็นที่เข้าคอมเพรสเซอร์จะอยู่ในสถานะไอที่ความดันต่ำอุณหภูมิต่ำจาก นั้นคอมเพรสเซอร์จะอัดสารทำความเย็นให้มีปริมาตรลดลงทำให้ความดันและอุณหภูมิสูงขึ้น โดย อุณหภูมิของไอจะสูงกว่าอุณหภูมิไออิ่มตัว กระบวนการนี้แสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 การอัดไออิ่มตัวในคอมเพรสเซอร์

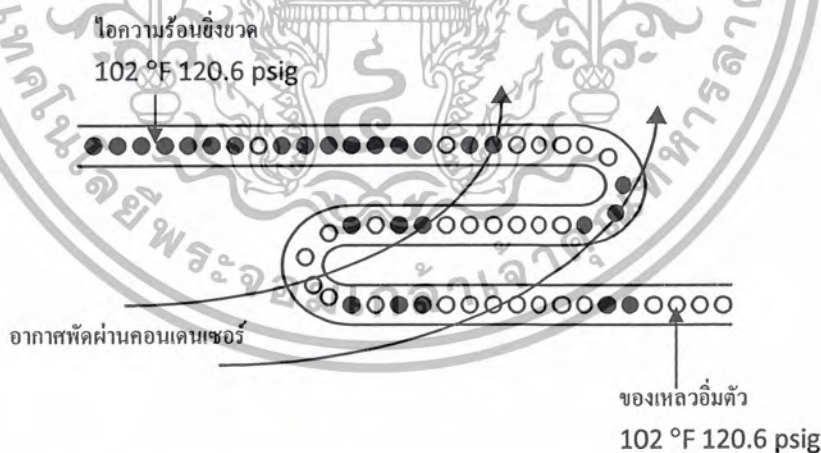
ที่จุด 5 ไอของสารทำความเย็นที่ออกจากคอมเพรสเซอร์จะมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศรอบ ๆ ทำให้เกิดการระบายความร้อนให้กับอากาศขณะถูกส่งผ่านท่อไปยังคอนเดนเซอร์ทำให้อุณหภูมิ ของไอน้ำลดลงเท่ากับอุณหภูมิไอน้ำอิ่มตัวแต่ยังคงสูงกว่าอุณหภูมิของอากาศรอบ ๆ คอนเดนเซอร์ ดังรูปที่ 2.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 การระบายความร้อนของไอความร้อนยิ่งยวด

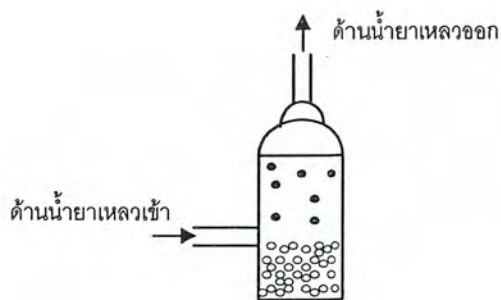
ที่จุด 6 ไอของสารทำความเย็นที่เข้าคอนเดนเซอร์จะมีความดันสูง อุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิอิ่มตัวแต่สูงกว่าอุณหภูมิของอากาศรอบ ๆ คอนเดนเซอร์ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อน จากสารทำความเย็นให้กับอากาศรอบ ๆ คอนเดนเซอร์ ผ่านพื้นผิวคอนเดนเซอร์ ไอของสารทำความเย็นเกิดการควบแน่นเป็นของเหลวโดยที่ความดันและอุณหภูมิยังคงที่ ความร้อนที่ถ่ายเทให้กับอากาศคือ ความร้อนแฝงของการควบแน่น กระบวนการนี้แสดงดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 การทำงานของคอนเดนเซอร์

ที่จุด 7 สารทำความเย็นที่ออกจากคอนเดนเซอร์ จะอยู่ในสถานะของเหลวอุณหภูมิสูงและความดันสูงจะไหลเข้าถังเก็บน้ำยา (Receiver Tank) ภายในถังเก็บน้ำยาจะประกอบด้วย สารทำความเย็นที่อยู่ในสถานะของเหลวกับสถานะไอซึ่งยังไม่ควบแน่นลอยอยู่ด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



- = น้ำยา  
● = ใส่น้ำยา

รูปที่ 2.14 น้ำยาเหลวและใส่น้ำยาในถังรับน้ำยา

ที่จุด 8 สารทำความเย็นเหลวจะถูกปล่อยออกจากถังเก็บน้ำยา ส่งผ่านทางท่อของเหลวเข้า อุปกรณ์ควบคุมการไหลระหว่างทางสารทำความเย็น ซึ่งเป็นของเหลวอิ่มตัวจะมีอุณหภูมิอิ่มตัวสูงกว่าอากาศรอบ ๆ ท่อทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากสารทำความเย็น ไปยังอากาศ ทำให้อุณหภูมิของสารทำความเย็นลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิอิ่มตัว ซึ่งกระบวนการนี้คือ การซับคูล (Subcooled) และเรียกของเหลวที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอิ่มตัวว่า ของเหลวเย็นยิ่ง ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 การระบายความร้อนของสารทำความเย็นเหลวที่ท่อของเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

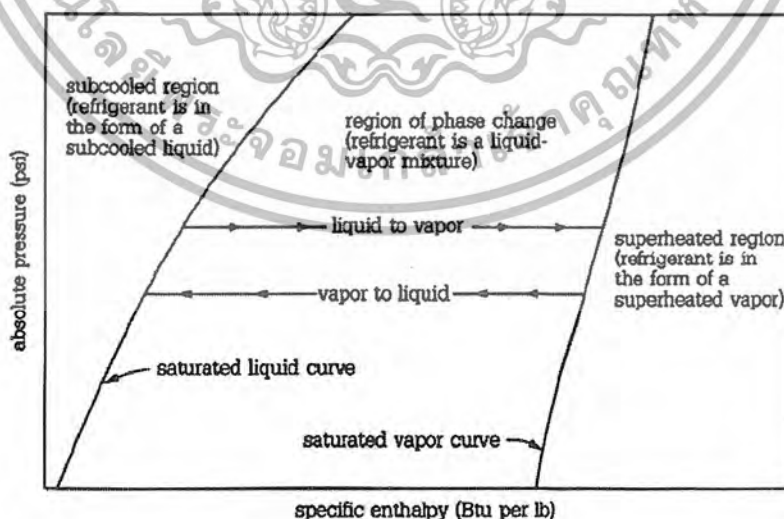
## 2.5 การวิเคราะห์กระบวนการทำความเย็นชนิดอัดไอ

กระบวนการทำความเย็นแบบอัดไอ มีการทำงานเบื้องต้นซึ่งประกอบด้วย 4 กระบวนการหลัก คือ กระบวนการอัด (Compression Process) โดยคอมเพรสเซอร์ กระบวนการควบแน่น (Condensing Process) โดยคอนเดนเซอร์ กระบวนการขยายตัว (Expansion Process) โดยลิ้นลดความดันหรืออุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลและกระบวนการกลายเป็นไอ (Vaporizing Process) โดยอีวาโปเรเตอร์ ในการศึกษากระบวนการทำความเย็นแบบอัดไออีกวิธีหนึ่ง คือ การแทนการทำงานของกระบวนการต่าง ๆ ลงในแผนภาพมอลเลียร์ (Mollier Diagram) หรือแผนภาพความดัน-เอนทาลปี (Pressure-Enthalpy หรือ P-h Diagram) การวิเคราะห์แผนภาพมอลเลียร์มีดังนี้

เขตของเหลวเย็นยิ่ง (Subcooled Region) คือ พื้นที่บริเวณด้านซ้ายของเส้นของเหลวอิ่มตัว สารทำความเย็นที่อยู่ในพื้นที่นี้ จะมีสถานะเป็นของเหลว ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดอิ่มตัว เรียกว่า ของเหลวเย็นยิ่ง (Subcooled Liquid)

เขตไอร้อนยิ่ง (Superheated Region) คือ พื้นที่บริเวณด้านขวาของเส้นไออิ่มตัว สารทำความเย็นในพื้นที่นี้จะมีสถานะเป็นไอที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจุดอิ่มตัว เรียกว่า ไอร้อนยิ่งหรือไอดัง (Superheated Vapor)

เขตเปลี่ยนสถานะ (Phase Change Region) คือ พื้นที่ระหว่างเส้นของเหลวอิ่มตัว และ เส้นไออิ่มตัว สารทำความเย็นในพื้นที่นี้ จะมีสถานะผสมระหว่างของเหลวและไอ (Liquid-Vapor Mixture) หรือเป็นเขตเปลี่ยนสถานะคือ การเปลี่ยนแปลงจากด้านซ้ายไปขวาเป็นการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นไอดำเนินการกลายเป็นไอ (Vaporization) และการเปลี่ยนแปลงจากขวาไปซ้ายเป็นการเปลี่ยนสถานะจากไอเป็นของเหลวตามกระบวนการควบแน่น (Condensation)



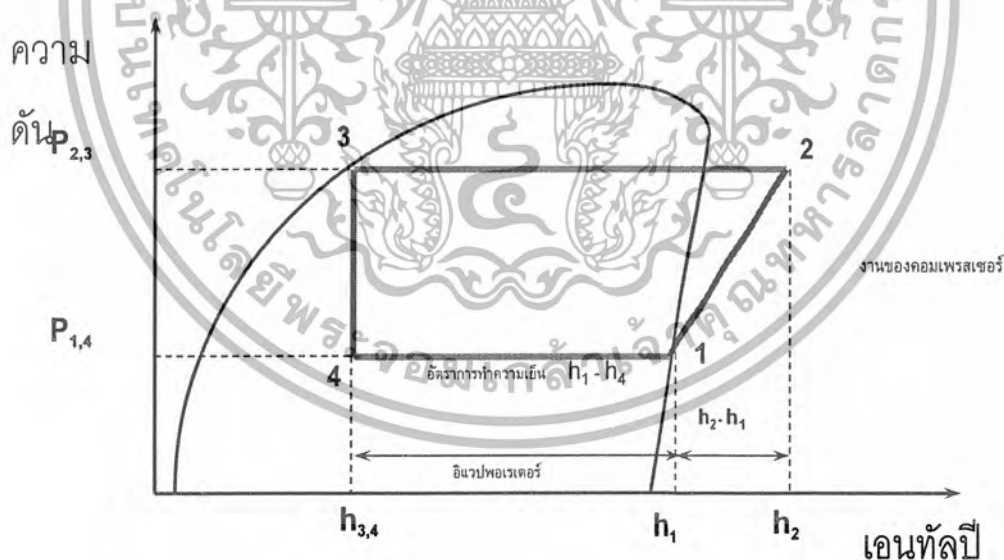
รูปที่ 2.16 แผนภาพมอลเลียร์ (Mollier Diagram)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการวิเคราะห์วัฏจักรทำความเย็นแบบไออัด โดยใช้แผนภาพความดัน-เอนโทรปี (P-h Diagram) ดังรูปที่ 2.16 จากแผนภาพนี้จะเห็นได้ว่า มีกระบวนการ 3 ใน 4 กระบวนการเป็นเส้นตรง และปริมาณความร้อนที่ถูกถ่ายโอนภายในเครื่องควบแน่น และเครื่องระเหยเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความยาวของเส้นของกระบวนการ

สารทำความเย็นไหลเข้าเครื่องอัดที่สถานะที่ 1 ในสถานะไออิ่มตัวจนความดันเท่ากับ ความดันในคอนเดนเซอร์ในช่วงการอัดตัวอุณหภูมิของสารทำความเย็น จะสูงขึ้นกว่าอุณหภูมิของ สิ่งแวดล้อม เช่น บรรยากาศ จากนั้นจะไหลเป็นไอร้อนยิ่งยวดในสถานะที่ 2 และถ่ายเทความร้อน ออกจากคอนเดนเซอร์สารทำความเย็นจะเป็นของเหลวอิ่มตัวในสถานะที่ 3 เนื่องจากการคาย ความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อม ทำให้อุณหภูมิจึงสูงกว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม

สารทำความเย็นในสถานะของเหลวอิ่มตัวที่สถานะที่ 3 ถูกบีบผ่านวาล์วลดความดันหรือ ควบคุมการไหลเรียกว่า กระบวนการขยายตัว (Expansion Process) จนกระทั่งความดันเท่ากับ ความดันของอีวาโปเรเตอร์ ช่วงกระบวนการนี้อุณหภูมิจึงลดลงต่ำกว่าบริเวณทำ ความเย็น โดยหลังจากนั้นสารทำความเย็นจะไหลเข้าอีวาโปเรเตอร์ที่สถานะ 4 สถานะของผสม อิ่มตัว (Liquid-Vapor Mixture) เกิดการถ่ายเทความร้อนผ่านอีวาโปเรเตอร์ และไหลเข้าคอมเพรส เซอร์อีกครั้งหนึ่งจนครบวัฏจักร



รูปที่ 2.17 แผนภาพค่าความดัน-เอนโทรปี (P-h Diagram)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์กระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดในกระบวนการทำความเย็นแบบอัดไอ นั้น จะใช้แผนภาพ P-h Diagram จากรูปที่ 2.17 โดยคำนวณจากอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

### 2.5.1 คอมเพรสเซอร์ (Compressor)

ทำหน้าที่ดูดและอัดสารทำความเย็น พลังงานที่ใช้ในการอัดสารทำความเย็น 1 กก. หาได้ดังนี้

$$W_c = (h_1 - h_2) \quad (2.1)$$

โดยที่  $W_c$  = งานที่ให้แก่คอมเพรสเซอร์ (kJ/kg)

$h_1$  = เอนทาลปีของสารทำความเย็นที่เข้าคอมเพรสเซอร์ (kJ/kg)

$h_2$  = เอนทาลปีของสารทำความเย็นออกจากคอมเพรสเซอร์ (kJ/kg)

### 2.5.2 คอนเดนเซอร์ (Condenser)

ความร้อนที่คายออกจากคอนเดนเซอร์หาได้ดังนี้

$$Q_c = (h_3 - h_2) \quad (2.2)$$

โดยที่  $Q_c$  = ความร้อนที่ไอของสารทำความเย็นออกจากไอร้อน (kJ/kg)

$h_2$  = เอนทาลปีของสารทำความเย็นที่เข้าคอนเดนเซอร์ (kJ/kg)

$h_3$  = เอนทาลปีของสารทำความเย็นที่ออกจากคอนเดนเซอร์ (kJ/kg)

### 2.5.3 อุปกรณ์ควบคุมความดัน (Expansion Valve)

กระบวนการขยายตัวผ่านอุปกรณ์ควบคุมความดันเป็นกระบวนการเอนทาลปีคงที่ไม่มีงานหรือการถ่ายเทความร้อน

$$h_4 = h_3 \quad (2.3)$$

### 2.5.4 อีวาโปเรเตอร์ (Evaporator)

ความร้อนที่สารทำความเย็น 1 กก. ดูดเอาไว้ขณะที่สารทำความเย็นไหลผ่านอีวาโปเรเตอร์หาได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q_E = (h_1 - h_3) \quad (2.4)$$

โดยที่  $Q_E$  = ความร้อนที่สารทำความเย็นดูดไว้ในอีวาโปเรเตอร์ (kJ/kg)  
 $h_1$  = เอนทาลปีของสารทำความเย็นเข้าคอมเพรสเซอร์ (kJ/kg)  
 $h_3$  = เอนทาลปีของสารทำความเย็นออกจากอีวาโปเรเตอร์ (kJ/kg)

**2.5.5 ประสิทธิภาพการทำความเย็น (Coefficient of Performance : COP )**

$$COP = Q_E / W_c \quad (2.5)$$

โดยที่  $Q_E$  = ความร้อนที่สารทำความเย็นดูดไว้ในอีวาโปเรเตอร์ (kJ/kg)  
 $W_c$  = งานที่ให้แก่อคอมเพรสเซอร์ (kJ/kg)

**2.5.6 ความสามารถในการทำความเย็น**

$$Q_L = \dot{m}(h_1 - h_3) \quad (2.6)$$

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

**2.5.7 อัตราการไหลเชิงปริมาตรของสารทำความเย็น**

$$\dot{m} = \frac{V_{pt}}{v} \quad (2.7)$$

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

### 2.5.8 ความสามารถของคอมเพรสเซอร์ (Compressor Capacity)

$$W_{\text{comp}} = \dot{m}(h_2 - h_1) \quad (2.8)$$

โดยที่  $W_{\text{comp}}$  = ความสามารถในการทำความเย็น (kJ/s หรือ kW.)

$h_2$  = เอนทาลปีของสารทำความเย็นออกจากคอมเพรสเซอร์ (kJ/kg)

$h_1$  = เอนทาลปีของสารทำความเย็นเข้าคอมเพรสเซอร์ (kJ/kg)

## 2.6 การถ่ายเทความร้อน

เนื่องจากการทำความเย็น คือการทำให้อุณหภูมิลดต่ำลง ด้วยวิธีการถ่ายเทความร้อนจากวัตถุหรือบริเวณที่ต้องการจึงต้องศึกษา การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าพลังงานที่ใช้ในระบบทำความเย็น

การถ่ายเทความร้อนเป็นการศึกษาถึงอัตราการถ่ายเทพลังงานในรูปของความร้อนในระบบซึ่งอาจเกิดขึ้นระหว่างระบบสองระบบหรือระหว่างระบบหนึ่ง และสิ่งแวดล้อมเมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิ โดยที่ไม่มีการเปลี่ยนรูปพลังงานความร้อนไปเป็นพลังงานรูปแบบอื่น เมื่อเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิในระบบ จะทำให้พลังงานในรูปของความร้อนถ่ายเทจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า หรืออาจกล่าวได้ว่าอาจเกิดความลาดเอียงของอุณหภูมิขึ้นในระบบซึ่ง หาได้จากค่าการกระจายตัวของอุณหภูมิ (Temperature Distribution) เมื่อเราทราบการกระจายของอุณหภูมิก็คจะสามารถหาอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่ และสามารถคำนวณหาภาระการทำความเย็นที่เกิดจากการถ่ายเทความร้อนได้

### 2.6.1 การวิเคราะห์การนำความร้อนผ่านชั้นตัวกลาง

จากรูปที่ 2.18 ความต้านทานความร้อนเมื่อมองให้อยู่ในทางไฟฟ้า ซึ่งในรูปนี้วัสดุตัวกลางมีหลายชั้นเปรียบเสมือนเรานำเอาความต้านทานทางความร้อนนั้นมาต่ออนุกรมกัน เราก็จะสามารถหาอัตราการถ่ายเทความร้อนได้ โดยพิจารณาการเรียงต่อผนังแบบอนุกรม ดังนั้นสามารถเขียนสมการได้ว่า

$$\dot{Q}_x = \frac{T_{\infty 1} - T_{s1}}{\frac{1}{h_1 A}} = \frac{T_{s2} - T_2}{\frac{L}{k_A A}} = \frac{T_2 - T_3}{\frac{L_B}{k_B A}} \quad (2.9)$$

หากพิจารณาผลต่างของอุณหภูมิจากของไหลร้อนและไหลเย็น  $T_{\infty 1} - T_{\infty 2}$  จะ คำนวณอัตราการนำความร้อนผ่านชั้นตัวกลางจาก

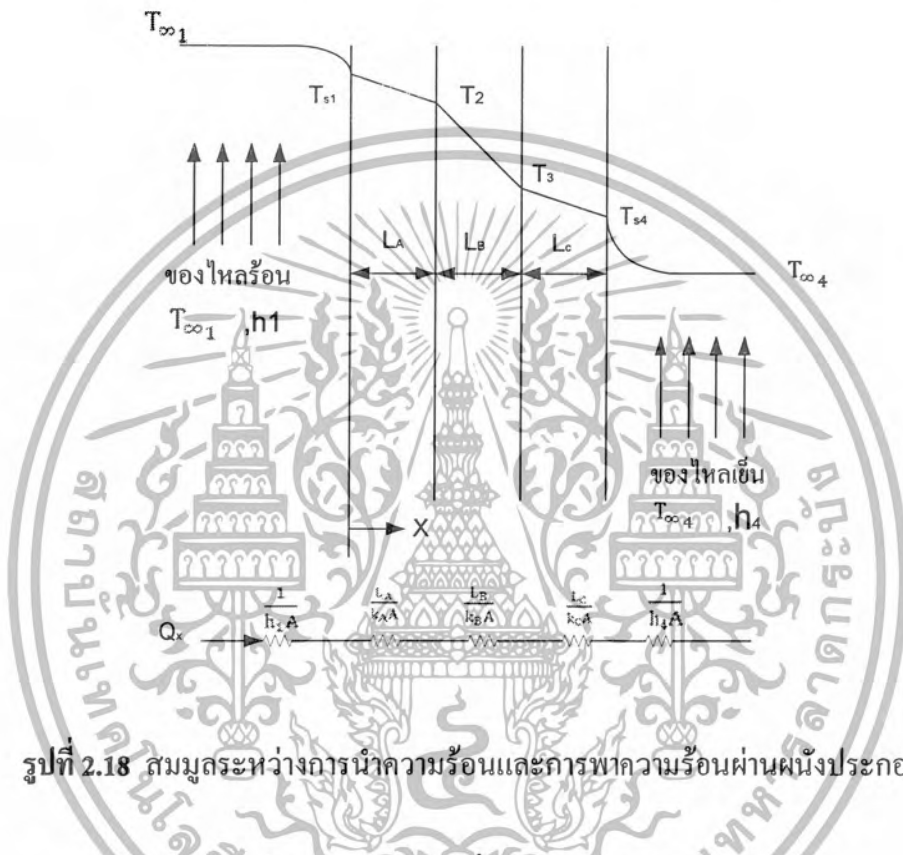
$$\dot{Q}_x = UA(T_{\infty 1} - T_{\infty 2}) \quad \text{มีหน่วยเป็น } W \quad (2.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น

$$U = \frac{1}{R_{tot}A} = \frac{1}{\frac{1}{h_2} + \frac{L_A}{k_A} + \frac{L_B}{k_B} + \frac{L_C}{k_C} + \frac{1}{h_4}} \quad (2.11)$$

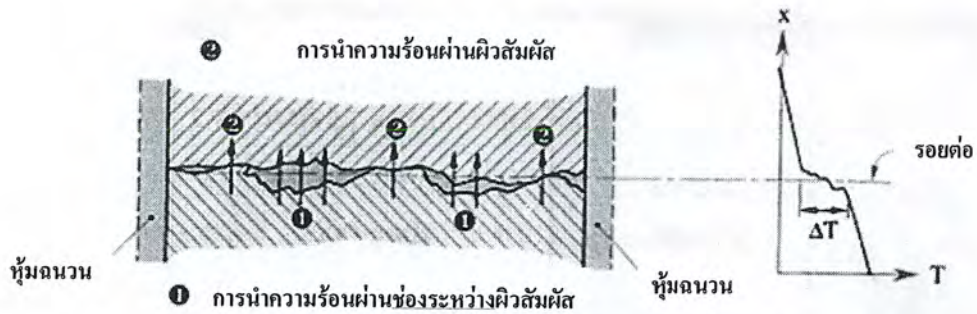
โดยที่  $U$  คือสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม มีหน่วยเป็น  $W/m^2.K$



รูปที่ 2.18 สมดุลระหว่างการนำความร้อนและการพาความร้อนผ่านผนังประกอบ

### 2.6.2 ความต้านทานความร้อนที่ผิวรอยต่อระหว่างตัวกลาง

เนื่องจากระหว่างผิวตัวกลางที่นำมาต่อสัมผัส จะเกิดช่องอากาศหรือช่องของไหลตรงบริเวณผิวตัวกลางสัมผัสกัน โดยจะมีการนำความร้อนผ่านรอยต่อ ส่วนบริเวณที่เป็นช่องอากาศ การถ่ายเทความร้อนผ่านอาจเป็นได้ทั้งการนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน ความต้านทานที่ผิวรอยต่อสามารถ ทำให้ลดลงได้โดยลดความขรุขระของผิวรอยต่อ และเพิ่มความดัน ในการอัดเพื่อให้ผิวรอยต่อแนบสนิทกัน



รูปที่ 2.19 อุณหภูมิตัวกลางจะลดลงตรงบริเวณผิวรอยต่อ

ถ้าฟลักซ์ความร้อนผ่านผิวรอยต่อเป็น  $q''_x$  และผลต่างของอุณหภูมิคร่อมรอยต่อเป็น  $\Delta T$  ความต้านทานความร้อนที่ผิวรอยต่อ  $R_i$  นิยามจาก

$$R_i = \frac{\Delta T}{q''_x} \quad \text{m}^2 \cdot \text{K/W}$$

ความต้านทานความร้อนที่ผิวรอยต่อของตัวกลาง ที่เป็น โลหะภายใต้สูญญากาศที่รอยต่อพิจารณาจากตารางที่ 2.1 ความต้านทานความร้อนที่ผิวรอยต่อของโลหะภายใต้สูญญากาศ  $R_i$  ( $\text{m}^2 \cdot \text{K/W} \times 10^{-4}$ )

ตารางที่ 2.1 ค่าความดันสัมผัสของโลหะชนิดต่างๆ

ชนิดผิวรอยต่อ	ความดันสัมผัส 100 kPa	ความดันอัดสัมผัส 10 MPa
เหล็กกล้าไร้สนิม	6-25	0.7-4.0
ทองแดง	1-10	0.1-0.5
แมกนีเซียม	1.5-3.5	0.2-0.4
อะลูมิเนียม	1.5-5.0	0.2-0.4

ความต้านทานความร้อนที่ผิวรอยต่อของอะลูมิเนียมกับอะลูมิเนียม ซึ่งมีของไหลอื่นบรรจุภายในผิวรอยต่อพิจารณาจาก ตารางที่ 2.2 ความต้านทานความร้อนที่ผิวรอยต่อของอะลูมิเนียมกับอะลูมิเนียม โดยมีผิวรอยต่อของไหลอื่นๆบรรจุอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเย็น R-134a ในขณะเวลานั้น ๆ โดยที่การนำความร้อนจะนำความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังอุณหภูมิต่ำ จะเห็นว่า อุณหภูมิของน้ำสูงกว่าอุณหภูมิของสารทำความเย็น ความร้อนก็จะถูกนำจากน้ำไปยังสารทำความเย็นโดยผ่าน สังกะสี ช่องอากาศ สังกะสีและทองแดง หลังจากนั้นความร้อนที่ผ่านมาจะถูกสารทำความเย็นพาออกไปทิ้งที่ คอลล์ร้อน (Condenser) ตามทฤษฎีของเทอร์โมไดนามิกส์ โดยที่

$L_A$  แทนความหนาของฉนวนที่ 1 ในการทดลองใช้สังกะสี

$L_B$  แทนความหนาของฉนวนที่ 2 ในการทดลองใช้อากาศ

$L_C$  แทนความหนาของฉนวนที่ 3 ในการทดลองใช้สังกะสี

$L_D$  แทนความหนาของฉนวนที่ 4 ในการทดลองใช้ทองแดง

$L_E$  แทนความหนาของน้ำแข็ง

$K_A$  แทนค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของฉนวนที่ 1 ในการทดลองใช้สังกะสี

$K_B$  แทนค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของฉนวนที่ 2 ในการทดลองใช้อากาศ

$K_C$  แทนค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของฉนวนที่ 3 ในการทดลองใช้สังกะสี

$K_D$  แทนค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของฉนวนที่ 4 ในการทดลองใช้ทองแดง

$K_E$  แทนค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของน้ำแข็ง

$T_W$  แทนค่าอุณหภูมิของผิววัสดุด้านที่มีอุณหภูมิสูงกว่า

$T_F$  แทนค่าอุณหภูมิของผิววัสดุด้านที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า

$A$  แทนค่าพื้นที่ของห้องทำความเย็น

$R_{tot1}$  แทนค่าฉนวนรวมขณะยังไม่เกิดน้ำแข็ง

$R_{tot2}$  แทนค่าฉนวนรวมขณะเกิดน้ำแข็งแล้ว

$\dot{Q}_x$  แทนค่าการถ่ายเทความร้อนรวม

อัตราการถ่ายเทความร้อนของห้องทำน้ำแข็ง ( $\dot{Q}_x$ ) หาได้จากสมการที่ (2.10) และ (2.11)

$$\dot{Q}_x = UA(T_W - T_F) \quad \text{มีหน่วยเป็น W} \quad (2.12)$$

และ

$$U = \frac{1}{R_{tot}A} \quad (2.13)$$

โดยที่

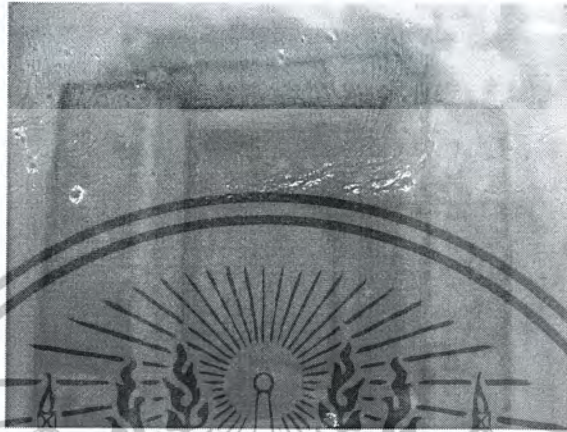
$$AR_{tot} = \frac{L_A}{K_A} + \frac{L_B}{K_B} + \frac{L_C}{K_C} + \frac{L_D}{K_D} + \frac{1}{h_1} \quad \text{มีหน่วยเป็น } ^\circ\text{C/W} \quad (2.14)$$

เมื่อระบบเริ่มทำงานน้ำจะถูกดึงความร้อนออกไป อุณหภูมิของน้ำก็จะค่อย ๆ ลดลงเรื่อย ๆ จนถึง

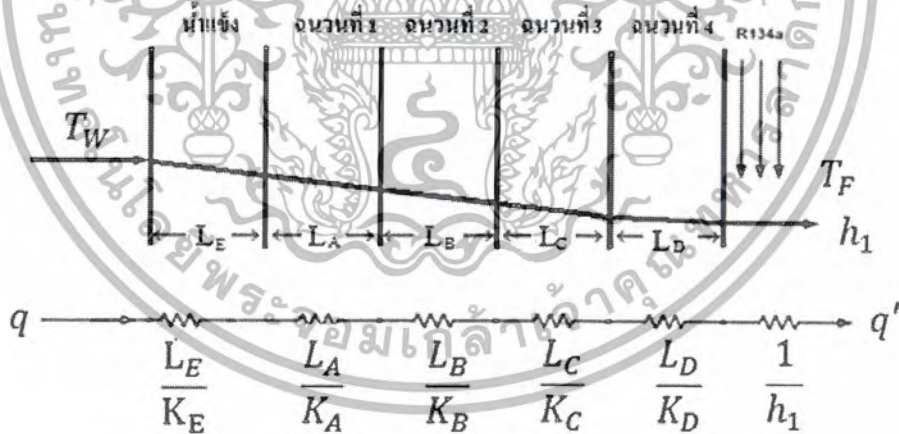
$0^\circ\text{C}$  และหลังจากนั้นจะกลายเป็นน้ำแข็ง โดยน้ำแข็งจะเริ่มเกิดขึ้นที่ขอบของภาชนะรองน้ำและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนเต็มก่อนดังรูปที่ 2.21 จะเห็นว่าเกิดการเกิดน้ำแข็งนั้นเราจะมองว่าน้ำแข็งที่เกิดขึ้นนั้นเป็นฉนวนเพิ่มขึ้นอีกหนึ่งตัว ซึ่งจะทำให้การถ่ายเทความร้อนในห้องทำน้ำแข็งลดลงตามความหนาของน้ำแข็งที่ค่อย ๆ เพิ่มขึ้น จึงคำนวณหาการถ่ายเทความร้อนของห้องทำน้ำแข็งใหม่เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับตอนที่ยังไม่เป็นน้ำแข็งดังนี้



รูปที่ 2.21 การเกิดน้ำแข็ง



รูปที่ 2.22 อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุที่ใช้ออกแบบในห้องทำน้ำแข็งในขณะที่เริ่มเกิดน้ำแข็ง (เมื่ออุณหภูมิน้ำลดลงเหลือ 0 °C)

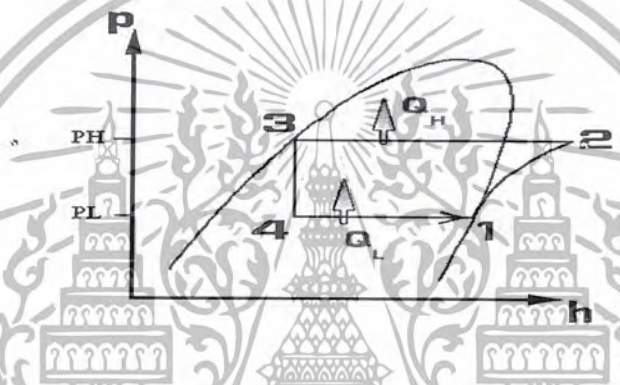
จากรูปที่ 2.22 จะคล้ายกับอัตราการถ่ายเทความร้อนขณะที่เป็นน้ำ แต่ต่างกันตรงที่เมื่อน้ำเริ่มเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นของแข็ง น้ำแข็งที่เริ่มจะหนาขึ้นจะเป็นเสมือนตัวต้านทานความร้อนอีกชั้นหนึ่ง โดยเราแทนความหนาที่เพิ่มขึ้นนี้ด้วย  $L_E$  และสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของน้ำแข็ง ( $k_{น้ำแข็ง}$ ) มีค่าประมาณ  $2.18 \frac{W}{m} \cdot k$  โดยเรากำหนดความต้านทานทางความร้อนใหม่ แทนด้วย ( $R_{tot1}$ ) เมื่อน้ำเริ่มเปลี่ยนสถานะเป็นน้ำแข็งเพื่อให้สอดคล้องกับค่า  $R_{tot1}$  ได้จาก

$$AR_{tot1} = AR_{tot} + \frac{L_E}{k_E} \quad \text{มีหน่วยเป็น } ^\circ C/W \quad (2.15)$$

แทนค่า  $R_{tot1}$  ลงในสมการที่ (2.13) และ (2.14) ตามลำดับจะได้อัตราการถ่ายเทความร้อนของห้องทำน้ำแข็งในขณะที่เริ่มมีน้ำแข็งเกิดขึ้นและน้ำแข็งมีความหนาเท่ากับ  $L_E$

### 2.7.2 การหาความสามารถในการทำความเย็นของวัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไอ



รูปที่ 2.23 P-h Diagram ของวัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไอ

จากรูปที่ 2.23 ในวัฏจักรทำความเย็นความร้อนจากอีวาโปเรเตอร์  $Q_L$  จะถูกนำไปทิ้งที่คอนเดนเซอร์  $Q_H$  โดยจากรูปจุดที่ 1 ไปจุดที่ 2 จะเป็นช่วงการทำงานของคอมเพรสเซอร์คือจะดูดสารทำความเย็นที่เป็นไอทั้งหมดแล้วทำการอัดไอไปยังจุดที่ 2 ในช่วงจุดที่ 2 ไป 3 เป็นการนำความร้อนไปทิ้งโดยผ่านคอนเดนเซอร์ซึ่งในช่วงนี้สารทำความเย็นจะมีทั้งของเหลวและไอ จะเห็นว่าความดันในช่วงนี้คงที่แต่เอนทัลปีเปลี่ยนไปจนถึงจุดที่ 3 สารทำความเย็นจะเป็นของเหลวทั้งหมด ช่วงที่ 3 ไป 4 จะมีการลดความดันของสารทำความเย็นลงโดยผ่าน TEV เป็นตัวลดความดันช่วงที่ 4 ไป 1 จะเป็นการดึงความร้อนออกจากน้ำในช่วงนี้สารทำความเย็นจะมีทั้งของเหลวและไอ เมื่อดึงความร้อนออกมา สารทำความเย็นจะเดือดและกลายเป็นไอหมดเพื่อกลับไปเข้าสู่วัฏจักรใหม่อีกครั้งที่จุดที่ 1

จากวัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไอ เราสามารถที่จะหาอัตราการดึงความร้อนของคอยล์เย็นออกไปทิ้งที่คอนเดนเซอร์หรือเรียกว่าความสามารถในการทำความเย็นได้จากสมการ

$$Q_L = \dot{m} (h_1 - h_3) \quad (2.16)$$

โดยที่  $Q_L$  = ความสามารถในการทำความเย็น (kW)

$\dot{m}$  = อัตราไหลของสารทำความเย็น (kg/s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$h_1$  = เอนทาลปีของสารทำความเย็นที่เข้าคอมเพรสเซอร์ที่จุด 1 ของวัฏจักร (kJ/kg)

$h_3$  = เอนทาลปีของสารทำความเย็นที่ออกจากอีวาโปเรเตอร์ที่จุด 3 ของวัฏจักร (kJ/kg)

อัตราการไหลของสารทำความเย็นหาได้จากสมการ

$$\dot{m} = \frac{V_{pt}}{v} \quad \text{มีหน่วยเป็น} \quad \text{kg/hr} \quad (2.17)$$

โดยที่  $V_{pt}$  หาจากสมการ 2.17 จะได้ว่า

$$V_{pt} = \frac{\pi d^2}{4} \times L \times n \times N$$

จาก  $\frac{\pi d^2}{4} \times L = V$  และ  $n = 1$  จะได้

$$V_{pt} = V \times N \quad \text{มีหน่วยเป็น} \quad \text{m}^3/\text{hr} \quad (2.18)$$

โดยที่  $V$  คือ ปริมาตรของกระบอกสูบ

$N$  คือ ความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์

จากคุณสมบัติของคอมเพรสเซอร์จะได้  $V = 2.96 \text{ cm}^3$  และ  $N = 2850 \text{ rpm}$  จะได้

จากสมการที่ (2.18)

$$\begin{aligned} V_{pt} &= 2.96 \times 2850 \\ &= 8,436 \quad \text{cm}^3/\text{min} \\ &= 8,436 \times 10^{-6} \times 60 \quad \text{m}^3/\text{hr} \\ &= 0.50616 \quad \text{m}^3/\text{hr} \end{aligned}$$

แนวคิดในการลดพลังงานที่ใช้ในกระบวนการทำน้ำแข็งคือ เมื่อความหนาของน้ำแข็งเพิ่มขึ้นอัตราการถ่ายเทความร้อนของห้องทำน้ำแข็งจะลดลง เนื่องจากความหนาของน้ำแข็งจะเปรียบเสมือนตัวต้านทานความร้อนตัวหนึ่ง เมื่อความหนาของน้ำแข็งเพิ่มขึ้นความต้านทานความร้อนก็จะมากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นเราจึงทำการคำนวณการถ่ายเทความร้อนของห้องทำน้ำแข็งและประสิทธิภาพของการทำความเย็นของวัฏจักรในช่วงเวลาต่าง ๆ แล้วนำค่าที่ได้ทั้งสองค่ามาเปรียบเทียบกันในการที่จะลดพลังงาน เราต้องควบคุมให้อัตราการถ่ายเทความร้อนของห้องทำน้ำแข็งมีค่าเท่ากับความสามารถในการทำความเย็นของวัฏจักร คือถ้าอัตราการถ่ายเทความร้อนน้อยกว่าความสามารถในการทำความเย็นของวัฏจักรจะทำให้เกิดพลังงานสูญเสียขึ้น ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบค่าทั้งสองแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นว่า เมื่อน้ำเป็นของเหลวทั้งหมดอัตราการถ่ายเทความร้อนของห้องทำน้ำแข็งนั้นจะมีค่าสูงกว่าความสามารถในการทำความเย็นของวัฏจักร เราจึงไม่จำเป็นที่จะต้องลดความสามารถในการทำความเย็นลง แต่เมื่อความหนาของน้ำแข็งเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ การถ่ายเทความร้อนจะมีค่าลดลงเนื่องจากความหนาที่เพิ่มขึ้นจนลดต่ำกว่าความสามารถในการทำความเย็นของวัฏจักร เราจึงทำการลดความสามารถในการทำความเย็นของวัฏจักรลงโดยการปรับลดความถี่ที่ให้แก่คอมเพรสเซอร์ ซึ่งจะมีผลทำให้อัตราการไหลของสารทำความเย็นลดลง และความสามารถในการทำความเย็นก็จะลดลงตามไปด้วย โดยเราจะปรับความถี่จากอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมให้ความสามารถในการทำความเย็นมีค่าเท่ากับอัตราการถ่ายเทความร้อนของห้องทำน้ำแข็งอยู่ตลอดเวลา จะทำให้เราประหยัดพลังงานลงได้ โดยเราสามารถปรับความถี่ที่จ่ายให้แก่คอมเพรสเซอร์ดังนี้

เนื่องจากคอมเพรสเซอร์เป็นมอเตอร์แบบ Split Phase อินดิคชันมอเตอร์ การควบคุมความเร็วรอบสามารถใช้อินเวอร์เตอร์ในการปรับความถี่ได้จากสมการ

$$N = \frac{120f}{P} \quad (2.19)$$

โดยที่

$N$  คือ ความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์

$f$  คือ ความถี่ที่ป้อนให้กับคอมเพรสเซอร์

$P$  คือ จำนวนขั้วของมอเตอร์

โดยความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์มีความสัมพันธ์กับอัตราการไหลของสารทำความเย็นดังสมการ

$$\frac{\dot{m}}{\dot{m}_1} = \frac{N}{N_1}$$

โดยที่

$\dot{m}$  คือ อัตราการไหลโดยมวลของสารทำความเย็นเดิม

$\dot{m}_1$  คือ อัตราการไหลโดยมวลของสารทำความเย็นใหม่

$N$  คือ ความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์เดิม

$N_1$  คือ ความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ใหม่

เมื่อความหนาของน้ำแข็งเพิ่มมากขึ้น ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนของห้องทำน้ำแข็งลดลงจนกระทั่งน้อยกว่าความสามารถในการทำความเย็นของวัฏจักร เราจึงทำการลดความสามารถในการทำความเย็นของวัฏจักรลง ให้มีค่าเท่ากับอัตราการถ่ายเทความร้อน โดยจะทำการปรับความถี่ที่จ่ายให้แก่คอมเพรสเซอร์ สามารถคำนวณหาความถี่ที่จะปรับลดลงได้ดังนี้

จากสมการที่ (2.19) จัดรูปใหม่จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\dot{m} = \frac{Q_L}{(h_1 - h_3)} \quad (2.20)$$

เมื่อได้  $\dot{m}$  เราจะหา  $\dot{m}_1$  จากการแทนค่า  $\dot{Q}_X$  จากสมการที่ (2.12) ลงใน  $Q_L$  ในสมการที่ (2.20) จะได้

$$\dot{m}_1 = \frac{\dot{Q}_X}{(h_1 - h_3)} \quad (2.21)$$

แทนค่า  $\dot{m}_1$  ลงไปจะได้

$$\dot{m}_1 = \frac{v \times N_1}{v} \quad (2.22)$$

จากสมการที่ (2.22) จัดรูปใหม่เพื่อหา  $N_1$  จะได้

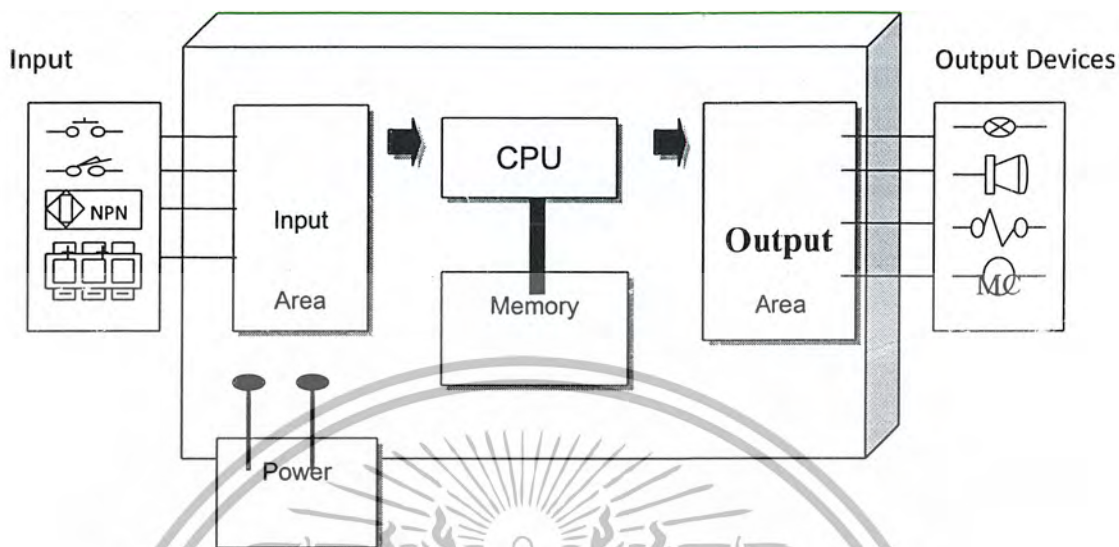
$$N_1 = \frac{v \times \dot{m}_1}{v} \quad (2.23)$$

แทนค่า  $N_1$  ลงในสมการที่ (2.23) จะได้ความถี่ที่ต้องจ่ายให้แก่คอมเพรสเซอร์

## 2.8 เครื่องควบคุมแบบโปรแกรมได้ (Programmable logic Controller: PLC)

เป็นอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของเครื่องจักร หรือระบบกระบวนการต่างๆ โดยที่ภายในมีไมโครโปรเซสเซอร์ เป็นมันสมองสั่งการการควบคุมการทำงานสามารถทำได้ โดยการป้อนเป็นโปรแกรมคำสั่งเข้าไปใน PLC ซึ่งภายในตัว PLC ซึ่งภายในตัว PLC จะมีอุปกรณ์ต่างๆ ให้ใช้ เช่น รีเลย์ ตัวตั้งเวลา ตัวนับ เป็นต้น โดยอุปกรณ์เหล่านี้จะอยู่ในรูปแบบของซอฟต์แวร์ และมีรูปแบบฟังก์ชันการทำงานที่ตรงกับของจริง ในปัจจุบันนอกจากเครื่อง PLC จะใช้งานแบบเดี่ยวแล้วยังสามารถต่อ PLC หลายตัวเข้าด้วยกัน เพื่อควบคุมการทำงานของระบบให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น จากการใช้งานที่มีความยืดหยุ่นได้สูงจึงเป็นเหตุผลให้ในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ เปลี่ยนมาใช้ PLC มากขึ้น

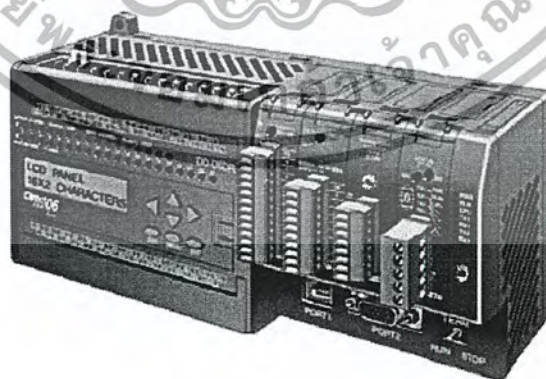
## โครงสร้างภายในของ PLC



รูปที่ 2.24 ลักษณะ โครงสร้างของ PLCภาคอินพุต (Input Section)

ทำหน้าที่รับข้อมูลเข้ามา จากนั้นจะทำการส่งข้อมูลต่อไปยังตัวประมวลผล (CPU) เพื่อนำไปประมวลผลต่อไป โดยข้อมูลที่รับเข้ามาเป็นสัญญาณอินพุตมาจากเซนเซอร์ ลิ้มิตสวิตช์ และ เอนโคเดอร์ เป็นต้น

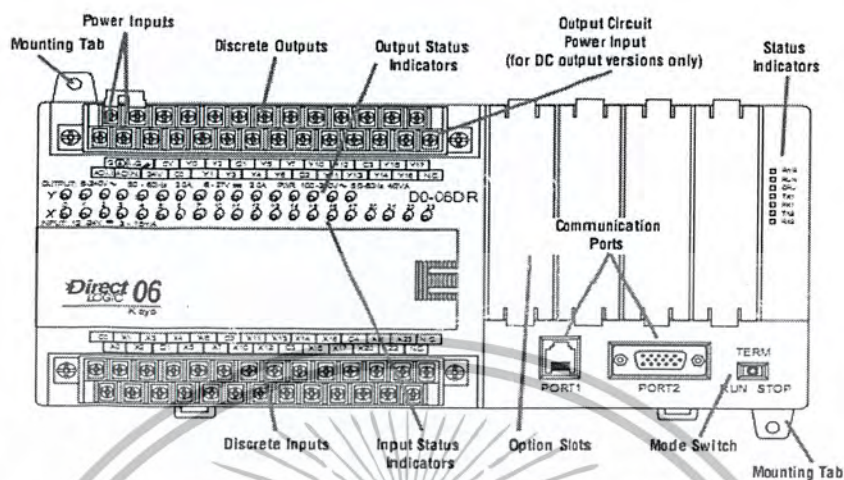
สำหรับโครงการนี้จะใช้ PLC ของ KOYO รุ่น DL06



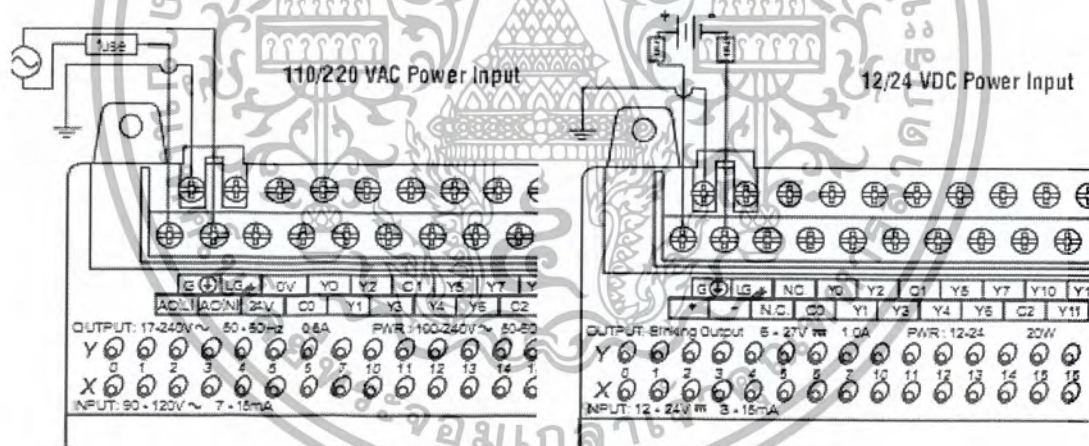
รูปที่ 2.25 PLC ของ KOYO รุ่น DL 06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบของ PLC ของ KOYO รุ่น DL06



รูปที่ 2.26 ส่วนประกอบของ PLC ของ KOYO รุ่น DL 06



รูปที่ 2.27 การต่อแหล่งจ่ายไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ตารางที่ 2.3 การแสดงผลของไฟแสดงผลของ PLC

Indicator	Status	Meaning
PWR	ON	Power good
	OFF	Power failure
RUN	ON	CPU is in Run Mode
	OFF	CPU is in Stop or Program Mode
	Blinking	CPU is in firmware upgrade mode
CPU	ON	CPU self diagnostics error
	OFF	CPU self diagnostics good
	Blinking	Low battery (only with B7633.12 set)
TX1	ON	Data is being transmitted by the CPU - Port 1
	OFF	No data is being transmitted by the CPU - Port 1
RX1	ON	Data is being received by the CPU - Port 1
	OFF	No data is being received by the CPU - Port 1
TX2	ON	Data is being transmitted by the CPU - Port 2
	OFF	No data is being transmitted by the CPU - Port 2
RX2	ON	Data is being received by the CPU - Port 2
	OFF	No data is being received by the CPU - Port 2

เนื่องจากต้องทำการแปลงอนาลอกจากภายนอกเป็นสัญญาณดิจิทัล เพื่อให้ CPU ของเครื่อง PLC สามารถทำการประมวลผลได้ ดังนั้นจึงเลือกใช้ Analog Input Module เพื่อให้ PLC สามารถรับสัญญาณอนาลอกได้

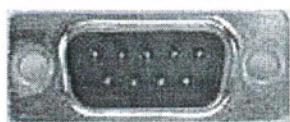
#### 2.9 การเชื่อมต่อได้ใช้ พอร์ตอนุกรม RS 232

การสื่อสารแบบอนุกรมมีความสำคัญต่อการใช้งานมาก เพราะสามารถใช้เป็นพินท์และจอภาพของ PC เป็นอินพุตและเอาต์พุต ในการติดต่อหรือ ควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยสัญญาณอย่างน้อยเพียง 3 เส้น เท่านั้น คือ

- สายส่งสัญญาณ TX
- สายรับสัญญาณ RX
- สาย GND

โดยปกติพอร์ตอนุกรม RS-232C จะสามารถต่อสายได้ยาว 50 ฟุตโดยประมาณ ขึ้นอยู่กับ ชนิดของสายสัญญาณ ระยะทาง และปริมาณสัญญาณรบกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.28 (ก) DB9 ตัวผู้

(ข) DB9 ตัวเมีย

การเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกเข้ากับคอมพิวเตอร์ด้วยสาย DB9

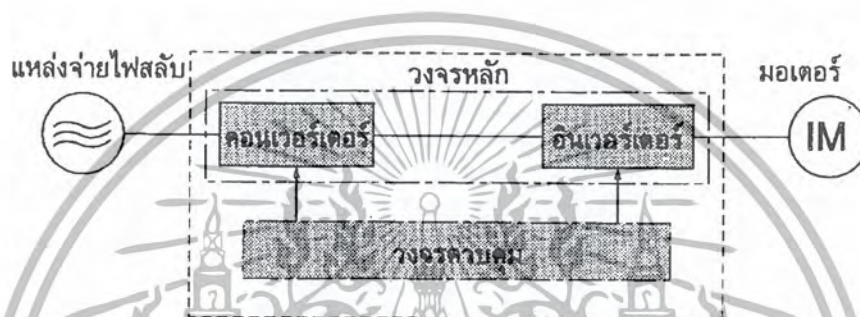


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.10 อินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์ แปลงไฟชนิดหนึ่งที่แปลงไฟกระแสสลับที่มีความถี่และแรงดันคงที่ไปเป็นไฟกระแสสลับที่มีความถี่และแรงดันขนาดต่างๆ แหล่งจ่ายไฟที่ป้อนเป็นอินพุตของอินเวอร์เตอร์จะเป็นแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับทั่วไปที่มีรูปคลื่นไซน์ แต่เอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์จะมีรูปคลื่นแตกต่างจากรูปคลื่นไซน์

### 2.10.1 โครงสร้างของอินเวอร์เตอร์



รูปที่ 2.30 โครงสร้างของอินเวอร์เตอร์

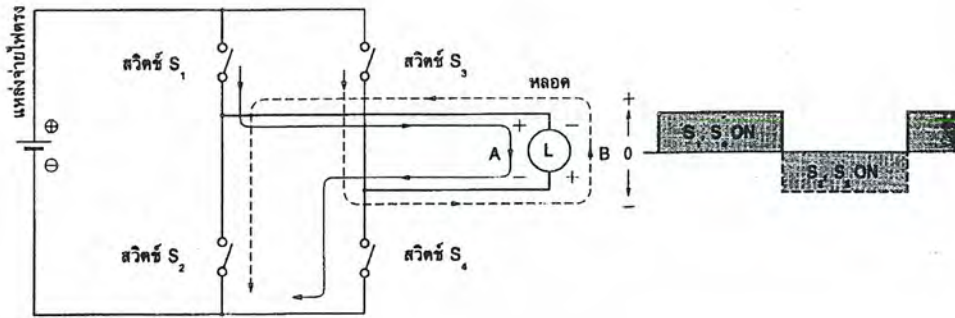
จากรูปแสดงลงโครงสร้างของอินเวอร์เตอร์ อินพุตของอินเวอร์เตอร์เป็นไฟกระแสสลับจากแหล่งจ่ายไฟ (50Hz หรือ 60Hz) ถูกแปลงเป็นไฟตรง โดยวงจรคอนเวอร์เตอร์ (Converter) จากไฟตรงจะถูกแปลงเป็นไฟกระแสสลับ สามารถแปลงแรงดันและความถี่ได้โดยวงจรอินเวอร์เตอร์ วงจรทั้งสองนี้เป็นวงจรหลักที่ทำหน้าที่แปลงรูปคลื่นของอินเวอร์เตอร์ นอกจากนั้นยังมีชุดควบคุมสำหรับควบคุมการทำงานของวงจรทั้ง 2 ส่วนนั้น อินเวอร์เตอร์ชนิดใช้งานทั่วไป (General purpose inverter) จะประกอบด้วยส่วนคอนเวอร์เตอร์ และอินเวอร์เตอร์รวมอยู่ในเครื่องเดียวกัน

### 2.10.2 หลักการทำงานของภาคอินเวอร์เตอร์

#### 2.10.2.1 วิธีการสร้างไฟกระแสสลับจากไฟกระแสตรง

สวิตช์ 4 ตัว  $S_1, S_2, S_3$  และ  $S_4$  ซึ่งต่ออยู่ระหว่างแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง และโหลด จะเปิด-ปิดสลับกันไปเป็นจังหวะ เพื่อสร้างไฟกระแสสลับจ่ายให้กับโหลดไฟ ตามรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



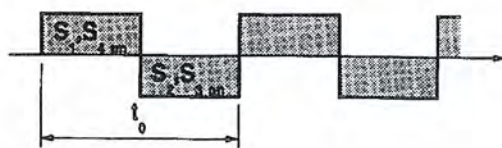
รูปที่ 2.31 วิธีการสร้างไฟฟ้ากระแสสลับ

- เมื่อสวิตช์  $S_1$  และ  $S_3$  ปิด จะมีกระแสวิ่งผ่านสวิตช์และโหลดไฟตามทิศ A
  - เมื่อสวิตช์  $S_2$  และ  $S_4$  ปิด จะมีกระแสวิ่งผ่านสวิตช์และโหลดไฟตามทิศ B
- ดังนั้นถ้าให้สวิตช์  $S_1$  และ  $S_3$  เปิดปิดสลับกับสวิตช์  $S_2$  และ  $S_4$  ก็จะทำให้กระแสที่ไหลไปที่โหลดกลับทิศสลับกันไปมาเป็นไฟฟ้ากระแสสลับนั่นเอง

#### 2.10.2.2 วิธีการแปลงความถี่

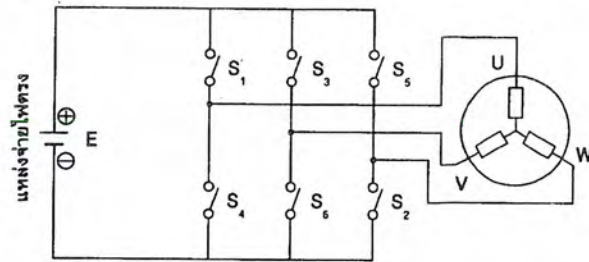
ถ้าควบคุมวิธีการเปิดปิดสวิตช์  $S_1$ - $S_4$  ได้ ก็จะสามารถแปรความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับได้ ตัวอย่างเช่น ให้สวิตช์  $S_1$  และ  $S_3$  ปิด 0.5 วินาที ต่อมาสวิตช์  $S_2$  และ  $S_4$  ปิด 0.5 วินาที และทำการเปิดปิดสลับกันเช่นนี้เรื่อยไป ดังนั้นใน 1 วินาที ไฟฟ้ากระแสสลับจะวิ่งไปกลับครบ 1 รอบ หรือ ไซเคิล ไฟฟ้ากระแสสลับนี้จึงมีความถี่ 1 Hz นั่นเอง โดยทั่วไปช่วงเวลาที่  $S_1$ ,  $S_3$  และ  $S_2$ ,  $S_4$  ปิดจะเท่ากัน เมื่อรวมเวลาที่สวิตช์ทั้งสองชุดปิด เท่ากับ  $t_0$  วินาที เป็นหนึ่งไซเคิล ความถี่จะเท่ากับ

$$f = \frac{1}{t_0} \text{ [Hz]}$$



รูปที่ 2.32 ความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.33 วงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส พื้นฐาน



รูปที่ 2.34 การสร้างไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส

ถ้าให้สวิตช์  $S_1$  ถึง  $S_6$  ในวงจรเปิดปิด ตามจังหวะที่แสดงในรูป ก็จะมีกระแสไฟผ่านขั้ว U-V, V-W และ W-U ของมอเตอร์ ตามรูปคลื่นที่แสดง รูปคลื่นของกระแสจะเป็น ไฟกระแสสลับของรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่มีช่วงกว้างและช่วงห่างระหว่างคลื่นเท่ากัน ถ้าเปลี่ยนช่วงเวลาของการเปิดปิดสวิตช์เหล่านี้ ก็จะทำให้ความถี่ของไฟกระแสสลับเปลี่ยนไปได้ และถ้าเปลี่ยนขนาดของแรงดันของแหล่งจ่ายโดยตรง ก็จะทำให้ขนาดของแรงดัน ไฟกระแสสลับของรูปคลื่นสี่เหลี่ยมเปลี่ยนไปได้ เช่นเดียวกัน



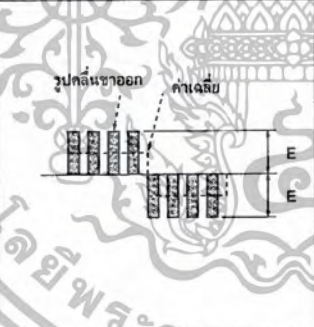

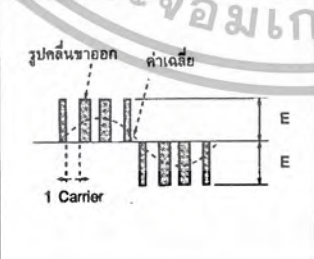

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.10.2.3 วิธีการเปลี่ยนแรงดัน

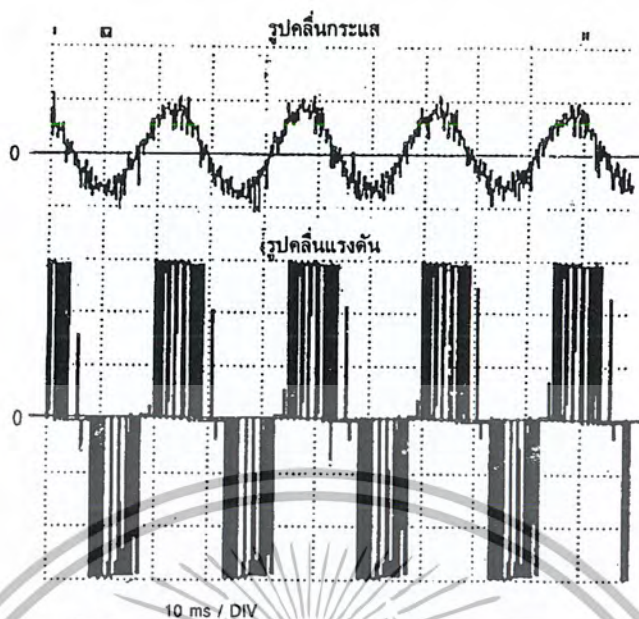
การใช้อินเวอร์เตอร์ขับเคลื่อนมอเตอร์ นอกจากการแปรความถี่เพื่อปรับความเร็วมอเตอร์แล้ว ยังต้องแปรขนาดแรงดันตามความถี่ที่เปลี่ยนไปเพื่อรักษาอัตราส่วน  $V/f$  ให้คงที่การแปรขนาดแรงดันของอินเวอร์เตอร์มีหลายวิธี วิธีที่นิยมใช้กันมากในอินเวอร์เตอร์ชนิดใช้งานทั่วไปคือ วิธีการแบ่งรูปคลื่นของแรงดันขาออกที่ป้อนให้มอเตอร์ การแปรรูปคลื่นแรงดันยังมีหลายวิธี

- PAW แปรขนาดแรงดันของไฟกระแสตรง
- PWM แปรความกว้างของพัลส์ที่เปิดปิดทรานซิสเตอร์
- PWM ควบคุมความกว้างของพัลส์ให้แรงดันเฉลี่ยมีรูปคลื่นเป็นรูปซายน์

ตารางที่ 2.4 การควบคุมรูปคลื่นแรงดันของอินเวอร์เตอร์

วิธีควบคุม	ความถี่ต่ำ (แรงดันต่ำ)	ความถี่สูง (แรงดันสูง)	จุดเด่น
วิธีควบคุม PULSE AMPLITUDE MODULATION			- เสียงมอเตอร์เบา - ประสิทธิภาพดี - ควบคุมขนาดแรงดันที่คอนเวอร์เตอร์ - ผลตอบซ้ำ
วิธี PWM PULSE WIDTH MODULATION			- ส่วนอินเวอร์เตอร์สามารถควบคุมความถี่และแรงดันได้ทั้งหมด - ได้ยินเสียงความถี่สูงจากมอเตอร์
วิธี PWM ที่ให้แรงดัน เป็นรูปซายน์			- เดินมอเตอร์ได้เร็วที่ความเร็วต่ำ - ฮาร์โมนิกความถี่ต่ำมีขนาดเล็ก - ได้ยินเสียงความถี่สูงจากมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



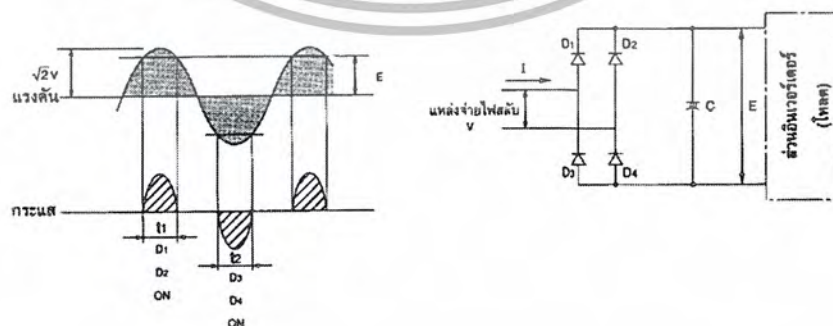
รูปที่ 2.35 ตัวอย่างรูปคลื่นกระแสและแรงดันที่วัดได้จากอินเวอร์เตอร์

### 2.10.3 การทำงานของภาคคอนเวอร์เตอร์

แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงที่ป้อนเป็นอินพุตของอินเวอร์เตอร์นั้น มาจากส่วนที่เรียกว่า คอนเวอร์เตอร์ ที่ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง ซึ่งประกอบด้วยส่วนสำคัญ คือ

- ส่วนคอนเวอร์เตอร์
- คอนเดนเซอร์
- วงจรจำกัดกระแสอินรัช

#### 2.10.3.1 หลักการทำงานของคอนเวอร์เตอร์



รูปที่ 2.36 หลักการทำงานของคอนเวอร์เตอร์

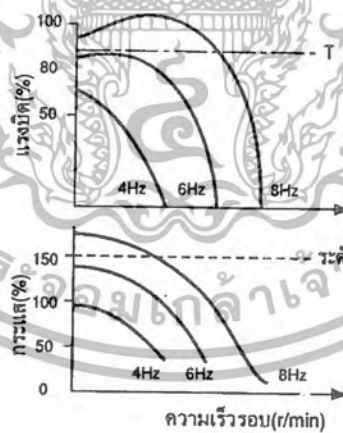
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อินพุตของคอนเวอร์เตอร์เป็นไฟกระแสสลับรูปซายน์ ถ้าให้แรงดันขาออกมีค่าเท่ากับ  $E$  จะเห็นว่ามีส่วนของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่มีแรงดันสูงกว่าระดับ  $E$  ส่วนนี้มีช่วงเวลาเท่ากับ  $t_1$  เป็นช่วงเวลาที่กระแสไหลผ่านไดโอด  $D_1$  และไหลกลับทาง  $D_4$
- แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับส่วนที่เป็นลบ ช่วงเวลาที่แรงดันต่ำกว่าระดับ  $E$  คือช่วงเวลา  $t_2$  ช่วงเวลานี้ กระแสจะไหลเข้าทางไดโอด  $D_2$  และไหลกลับทาง  $D_4$  ตามรูป

## 2.10.4 การเร่งความเร็วและการเดินเครื่องมอเตอร์

### 2.10.4.1 การสตาร์ท

เมื่อตั้งความถี่ของอินเวอร์เตอร์ เริ่มแรกอินเวอร์เตอร์ให้เอาท์พุตไปที่มอเตอร์ด้วยความถี่สตาร์ท มอเตอร์ก็จะผลิตแรงบิด ถ้าแรงบิดสตาร์ทของมอเตอร์ที่มีความถี่สตาร์ทมากกว่าแรงบิดของโหลด มอเตอร์ก็จะเริ่มหมุน แต่ถ้าแรงบิดของโหลดใหญ่กว่า มอเตอร์ก็ยังไม่หมุนจะหยุดอยู่ในสภาพล๊อค อินเวอร์เตอร์จะค่อยๆ เพิ่มความถี่ขึ้นไป จนกระทั่งแรงบิดของมอเตอร์สูงกว่าแรงบิดของโหลด มอเตอร์จึงเริ่มหมุน ถ้าตั้งค่าความถี่สตาร์ทไว้สูงกระแสของมอเตอร์ในสภาพล๊อคก็จะสูงมากจนระดับกระแสเกิน ทำให้เกิดการตัดกระแสเกิน หรือ การตัด โหลดเกิน



รูปที่ 2.37 แรงบิดสตาร์ท

ในย่านความถี่ต่ำ แรงบิดสตาร์ทจะสูงเท่ากับแรงบิดสูงสุด ซึ่งไม่ทำให้เกิดกระแสอินเวอร์เตอร์เกิน 150% จะเห็นว่าแรงบิดสตาร์ทของมอเตอร์กรณีขับด้วยอินเวอร์เตอร์ จะแตกต่างจากกรณีที่มอเตอร์

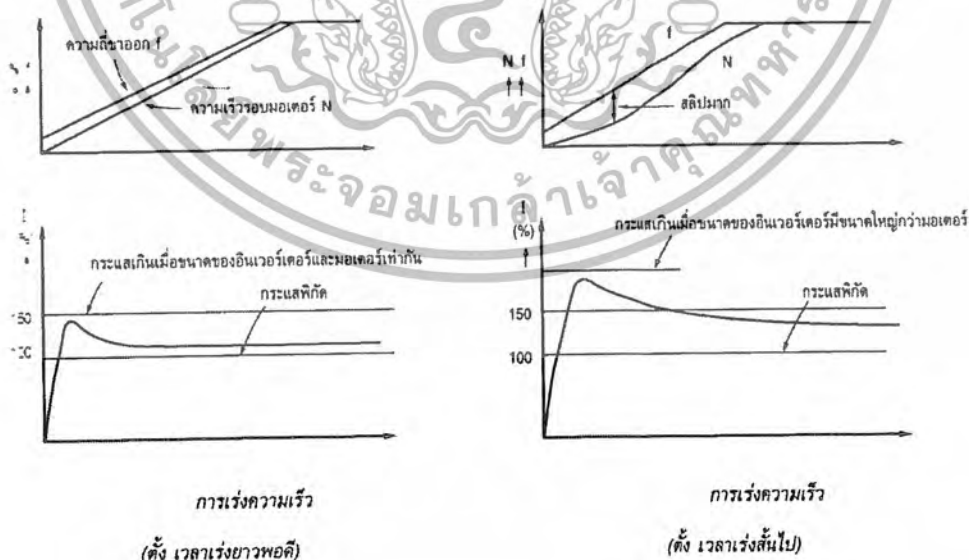
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อจากแหล่งจ่ายไฟตรง แรงบิดสตาร์ทนี้จะเรียกว่าเป็น “แรงบิดสตาร์ทสูงสุด” ความถี่สูงสุดของอินเวอร์เตอร์ที่อยู่ภายในระดับกระแสเกินคือ 6 Hz ดังนั้นแรงบิดสูงสุดที่ 6 Hz ก็จะเป็นแรงบิดสตาร์ทสูงสุด ถ้าสตาร์ทมอเตอร์ด้วยความถี่ต่ำกว่า 6 Hz มอเตอร์จะยังอยู่ในสภาพล็อก ก็จะไม่ทำให้เกิดการตัดเนื่องจากกระแสเกินได้ เพียงแต่อย่าลืกกมอเตอร์เป็นเวลานาน จะทำให้เกิดการตัดเนื่องจากโหลดเกิน

#### 2.10.4.2 การเร่งความเร็ว

หลังจากสตาร์ทอินเวอร์เตอร์และมอเตอร์แล้ว ความถี่ขาออกจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงความถี่ที่ต้องการ ช่วงเวลาในการเพิ่มความถี่นี้คือ เวลาการเร่งความเร็ว มอเตอร์จะหมุนด้วยความเร็ว  $N$  ไล่ตามความถี่  $f$  ด้วยค่าสลิปเสมอ ค่าสลิปนี้จะขึ้นอยู่กับ ค่า  $GD^2$  ของโหลด แรงบิดของโหลด แรงบิดของมอเตอร์ ถ้าตั้งเวลาการเร่งความเร็วไว้ยาวพอ ก็จะเห็นมอเตอร์เพิ่มความเร็วดตามความถี่ ไปเรื่อยๆ

แต่ถ้าตั้งช่วงเวลานี้สั้นเกินไป ก็จะทำให้ค่า  $f$  และ  $N$  ต่างกันมาก ทำให้ค่าสลิปมาก กระแสของมอเตอร์ก็จะไหลมาก จนอาจเกิดการตัดเนื่องจากกระแสเกิน ดังนั้นการจำกัดกระแสสตาร์ทของอินเวอร์เตอร์ชนิดนี้ให้ทั่วไป จะต้องตั้งช่วงเวลาการเร่งความเร็วให้พอเหมาะกับโหลด



รูปที่ 2.38 การเร่งความเร็วของอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.10.5 การตั้งค่าพารามิเตอร์ที่อินเวอร์เตอร์

ก่อนการใช้งานอินเวอร์เตอร์ ใช้ต้องทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่จำเป็นให้แก่ตัวอินเวอร์เตอร์เสียการจึงจะสามารถสั่งให้อินเวอร์เตอร์ทำงานได้ โดยอินเวอร์เตอร์ที่ใช้คือ Yaskawa VS 606V7 ซึ่งจะมีระบบการสั่งงานความถี่ของอินเวอร์เตอร์ได้ 3 แบบ

1. สั่งงาน โดย Local potentiometer/Digital setting
2. สั่งงาน โดยสัญญาณควบคุม
3. สั่งงาน โดยระบบสื่อสาร (MEMOBUS communications)

ตารางที่ 2.5 การตั้งค่าพารามิเตอร์ในส่วนของการกำหนดการสั่งงานอินเวอร์เตอร์

Name	parameter
Operator Reference Selector	N003 - 0 — Enables operator RUN, STOP/RESET
	- 1 — Enables control circuit terminal stop
	- 2 — Enables communications (MEMOBUS communications)
	- 3 — Enables communication card (optional)
Frequency Reference Selector	N004 - 0 — Enables digital operator potentiometer
	- 1 — Enables frequency reference 1 (parameter 024)
	- 2 — Enables voltage reference (0 to 10V) of control circuit terminal
	- 3 — Enables current reference (1 to 20mA) of control circuit terminal
	- 4 — Enables current reference (0 to 20mA) of operator circuit terminal
	- 5 — Enables pressure reference of control circuit terminal
	- 6 — Enables communications (MEMOBUS communications)
	- 7 — Enables voltage reference (0 to 10V) of operator circuit terminal
	- 8 — Enables current reference (1 to 20mA) of operator circuit terminal
- 9 — Enables communication card (optional)	

### 2.10.5.1 การเลือกใช้ฟังก์ชัน Control mode

อินเวอร์เตอร์ Yaskawa VS 606V7 จะมีการตั้งค่าฟังก์ชันการใช้งานมาจากโรงงานคือแบบ Vector control mode การเปลี่ยนฟังก์ชันการใช้งานสามารถทำได้โดย

Control mode selection (n002): 0: V/f control mode

1: Vector control mode

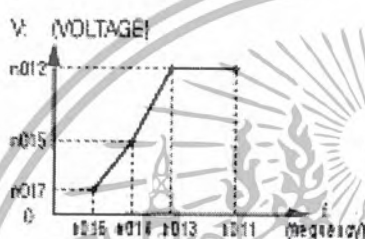
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.10.5.2 การเลือกใช้ฟังก์ชัน V/f control

ฟังก์ชัน V/f control จะเป็นการปรับแรงบิดของมอเตอร์โดยใช้ “V/f pattern” และ “full-range automatic torque boost”

การตั้งค่า V/f pattern จะใช้ฟังก์ชัน n011 ถึง n017 โดยวิธีนี้จะใช้กับมอเตอร์ชนิดพิเศษ เช่น มอเตอร์ความเร็วสูง เนื่องจากสามารถปรับแรงบิดของมอเตอร์ได้

ตารางที่ 2.6 การตั้งค่า V/f pattern



Be sure to satisfy the following conditions for the setting of n011 to n017.

$n016 \leq n014 < n013 \leq n011$

If n016 = n014 is set, the set value of n015 is disabled.

Parameter No.	Name	Unit	Setting range	Initial Setting
n011	Max. output frequency	0.1Hz	50.0 to 100.0Hz	60.0Hz
n012	Max. voltage	V	1 to 255.0V (0.1 to 510.0V)	230.0V (450.0V)
n013	Max. voltage output frequency (base frequency)	0.1Hz	0.2 to 400.0Hz	60.0Hz
n014	Mid. output frequency	0.1Hz	0.1 to 399.9Hz	1.5Hz
n015	Mid. output frequency voltage	V	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	1.5Hz
n017	Min. output frequency voltage	V	1 to 50.0V (0.1 to 100.0V)	4.3V* (8.6V)

\* 10.0V for 200V class 7.5/10hp (5.5/7.5kW)

20.0V for 400V class 7.5/10hp (5.5/7.5kW)

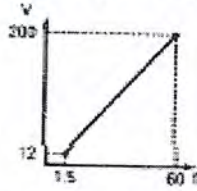
NOTE: Values with parentheses indicate 400V class.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 ตัวอย่างการตั้งค่า V/f pattern แบบต่างๆ

(1) For general-purpose applications

Motor Specification : 60Hz  
(Factory setting)



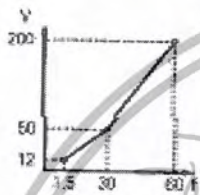
Constant	Setting
n011	60.0
n012	200.0
n013	60.0
n014	1.5
n015	12.0
n016	1.5
n017	12.0

Motor Specification : 50Hz  
(Factory setting)

Constant	Setting
n011	50.0
n012	200.0
n013	50.0
n014	1.3
n015	12.0
n016	1.3
n017	12.0

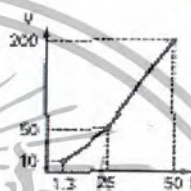
(2) For fans/pumps

Motor Specification : 60Hz



Constant	Setting
n011	60.0
n012	200.0
n013	60.0
n014	30.0
n015	50.0
n016	1.5
n017	10.0

Motor Specification : 50Hz



Constant	Setting
n011	50.0
n012	200.0
n013	50.0
n014	25.0
n015	50.0
n016	1.3
n017	10.0

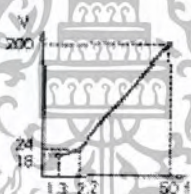
(3) For applications requiring high starting torque

Motor Specification : 60Hz



Constant	Setting
n011	60.0
n012	200.0
n013	60.0
n014	3.0
n015	24.0
n016	1.5
n017	18.0

Motor Specification : 50Hz



Constant	Setting
n011	50.0
n012	200.0
n013	50.0
n014	2.5
n015	24.0
n016	1.3
n017	18.0

Increasing voltage of V/f pattern increases motor torque, but excessive increase may cause motor over excitation, motor overheat, or vibration.

Note: n012 is to be set to motor rated voltage.

2.10.5.3 การเลือกฟังก์ชัน Local/Remote Mode

1. Local mode: ใช้การสั่งงานสำหรับ RUN/STOP, FWD/REV และการปรับค่าความถี่ โดยการใส่ Local Potentiometer

2. Remote mode: ใช้การสั่งงานโดยใช้สัญญาณควบคุม เช่น 4-20 mA, 0-20 mA, 1-10 V โดยใช้ฟังก์ชัน n003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.10.5.4 ฟังก์ชัน Remote Mode

1. การเลือกใช้ Remote Mode สามารถเลือกจาก RE (remote mode) จาก LO/RE
2. การเลือกใช้ฟังก์ชันสั่งงาน n003

n003 =0: Enables the Digital operator

=1: Enables the multi-function input terminal

=2: Enables communication

=3: Enables communication card(optional)

3. การเลือกใช้ฟังก์ชันสัญญาณควบคุม n004

n004 =0: Enables frequency setting by potentionmeter on digital operator

=1: Frequency reference 1 is effective Factory setting of the model with

digital operator JVOP-140 is n004=0

=2: Voltage reference (0 to 10V)

=3: Current reference (4 to 20mA)

=4: Current reference (0 to 20mA)

=5: Pulse train reference

=6: Communication

=7: Voltage reference of digital operator circuit terminal

=8: Current reference of digital operator circuit terminal

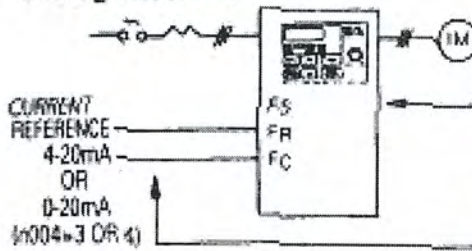
#### 2.10.5.5 การใช้สัญญาณกระแสควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์

ก่อนที่จะเลือกใช้สัญญาณกระแสในการควบคุมนั้น จะต้องทำการเลื่อน DIP switch (V/I switch of SW2) ไปที่ด้าน “I” หลังจากนั้นกดที่ปุ่ม “PRGM” บน digital operator แล้วจึงทำการเลือกฟังก์ชันการใช้งานสัญญาณควบคุมแบบกระแส

Current reference (4 to 20mA) parameter n004=3

Current reference (0 to 20mA) parameter n004=4

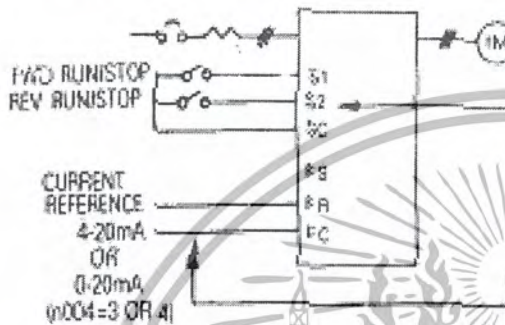
- Setting : n003 = 0



Press the digital operator keys to run or stop the inverter. Switch run and stop direction by setting F/R LED.

Set frequency by the analog current signal [0-100% (max frequency)/4-20mA] connected to the control circuit terminal.

- Setting : n003 = 1



Set run/stop and FWD/REV run with switching device connected to the control circuit terminal.

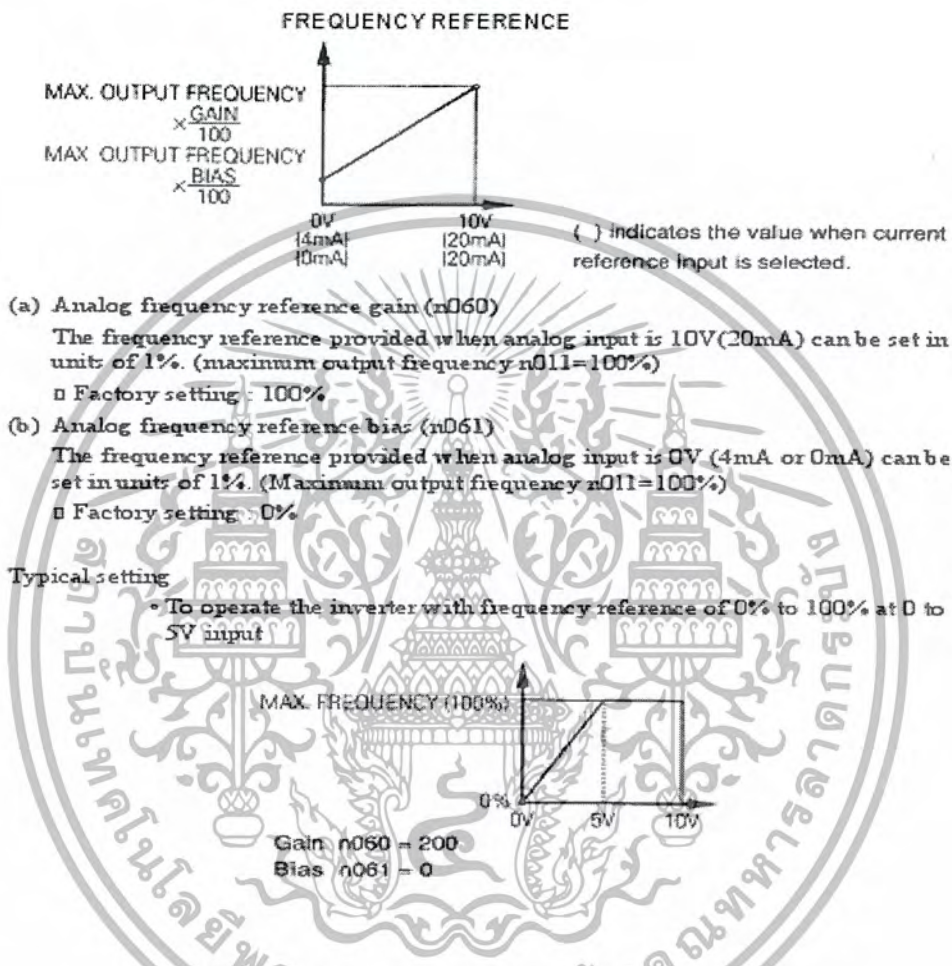
Multi-function input terminals S1 and S2 are set to Forward run / S TOP (n050 = 1) and Reverse run/stop (n051 = 2) respectively.

Set frequency by the analog current signal [0-100% (max. frequency)/4-20mA] connected to the control circuit terminal.

รูปที่ 2.39 การเชื่อมต่อสายสัญญาณควบคุมอินเวอร์เตอร์

2.10.5.6 การกำหนดช่วงการทำงานของสัญญาณควบคุม

การควบคุมความถี่โดยใช้สัญญาณอนาล็อก ด้วยชุดควบคุมที่ FR และ FC จะต้องทำการกำหนดค่าความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณอนาล็อกและความถี่ด้วยการตั้งค่าฟังก์ชัน n060 และ n061



รูปที่ 2.41 การกำหนดช่วงการทำงานของอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

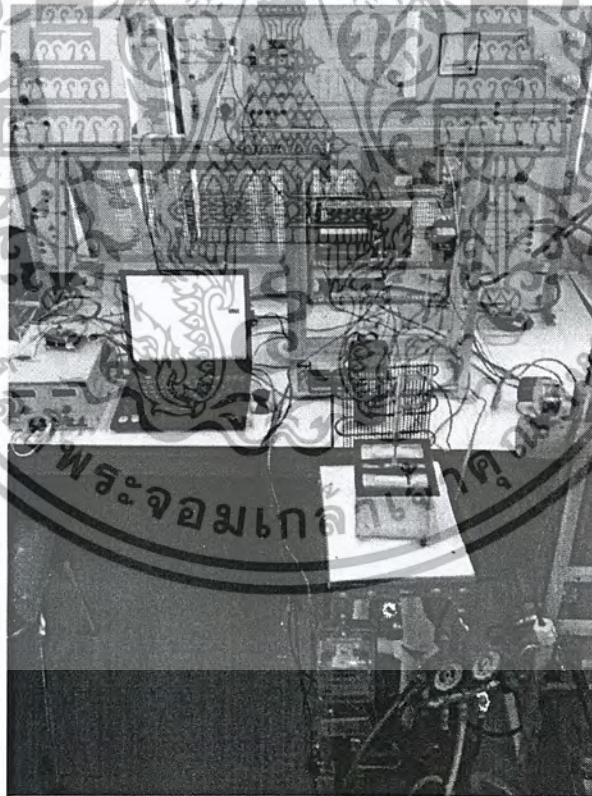
## บทที่ 3

### การออกแบบ

#### 3.1 กล่าวนำ

ในการออกแบบชุดจำลองระบบการทำน้ำแข็งนั้นทางคณะผู้จัดทำได้ออกแบบชุดเครื่องทำน้ำแข็ง โดยใช้หลักการของเทอร์โมไดนามิกส์ จากการคำนวณ อัตราการถ่ายเทความร้อนของห้องทำน้ำแข็ง และ ความสามารถในการทำความเย็นของวัฏจักร โดยนำค่าทั้งสองมาเปรียบเทียบ เพื่อหาค่าเวลาที่ปรับลดความถี่ และความถี่ที่เหมาะสม ณ ช่วงเวลานั้นๆ ทางคณะผู้จัดทำ ได้ออกแบบชุดวัดอุณหภูมิ และชุดควบคุมความถี่ โดยใช้ Microcontroller เพื่อให้ระบบทำการปรับความถี่อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า

#### 3.2 ส่วนอุปกรณ์

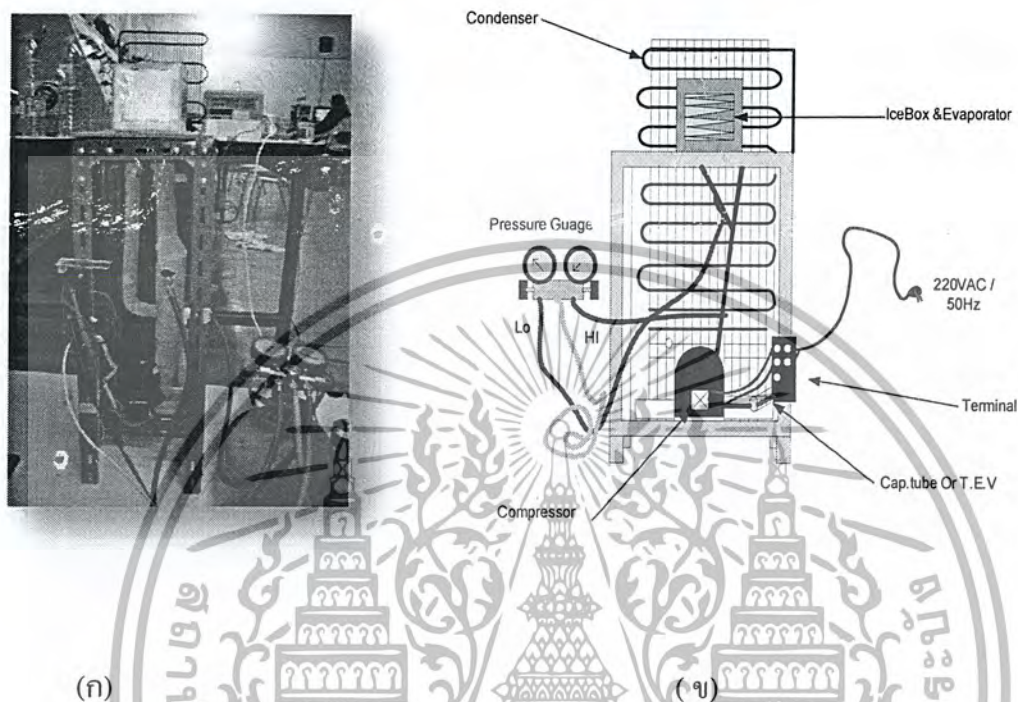


รูปที่ 3.1 อุปกรณ์ทั้งหมดที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของอุปกรณ์ยังแบ่งออกเป็นส่วนหลักๆ 4 ส่วนคือ

### 3.2.1 เครื่องทำน้ำแข็ง



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.2 (ก) คือรูปเครื่องทำน้ำแข็ง

(ข) คือแบบจำลองเครื่องทำน้ำแข็ง

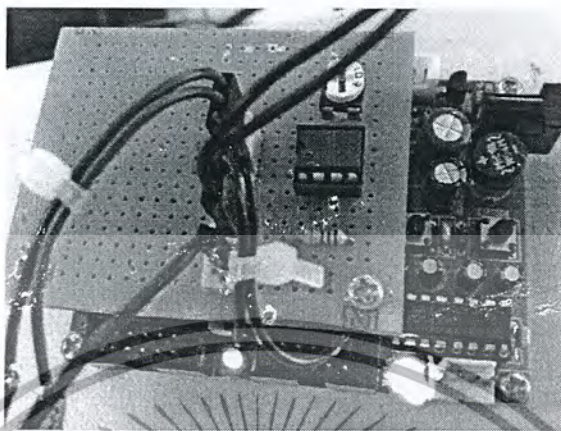
### 3.2.2 ตัวควบคุมความถี่

เครื่องควบคุม เป็นส่วนประกอบสำคัญของระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ ซึ่งทำหน้าที่ในการตั้งการด้วย การสร้างสัญญาณควบคุมกระบวนการต่างๆ ให้มีผลตอบสนอง ให้เป็นไปตามต้องการ โดยสัญญาณดังกล่าว จะเป็นไปตามรูปแบบ ของการควบคุมที่ผู้ควบคุมได้เลือกไว้และ สัญญาณควบคุมจะขึ้นอยู่กับค่าความคลาดเคลื่อนของการควบคุม

เครื่องควบคุมสามารถแบ่งตามโครงสร้างการทำงานได้ 3 ชนิด คือ เครื่องควบคุม แบบนิวแมติกส์ที่ทำงาน โดยใช้สัญญาณลมเครื่องควบคุมแบบอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้วงจร อิเล็กทรอนิกส์เชิงเส้น (Linear Circuits) ในการสร้างสัญญาณควบคุม และเครื่องแบบดิจิทัลทำงานโดยใช้วงจรตรรกะ (Logic Circuits) หรือไมโคร โปรเซสเซอร์สร้างสัญญาณควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทางผู้จัดทำได้เลือกใช้ Microcontroller AVR ใช้งานร่วมกับ วงจรแปลงสัญญาณ V to I เพื่อใช้เป็นสัญญาณควบคุม Inverter เพื่อ ปรับความถี่ตามต้องการ



รูปที่ 3.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ต่อร่วมกับวงจร V to I

ตารางที่ 3.1 แสดงการเปรียบเทียบสัญญาณที่ชุดควบคุมความถี่และ Inverter

%	ค่าความถี่ที่เกิด จากบอร์ด	วงจร V to I(mA)	ความถี่(Hz)
0	0	0	35
25	64	5.019	40.02
50	128	10.039	45.039
75	191	14.980	49.98
100	255	20	55

### 3.2.2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR เป็นไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ของบริษัท Atmel มีสถาปัตยกรรมภายในเป็นแบบ RISC ( Reduced Instruction Set Computer) โดยใช้สัญญาณนาฬิกาเพียง 1 ลูกในการปฏิบัติงานใน 1 คำสั่ง โดยจะประกอบด้วยหน่วยความจำ โปรแกรมภายในที่เป็นแบบแฟลช โปรแกรมข้อมูลได้แบบ In-System Programmable และ ในบางเบอร์ ยังสามารถมีการกำหนด ตำแหน่งของหน่วยความจำ ที่สร้างเป็นบูตโหลดเดอร์ (เขียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมเพื่อติดต่อกับ PC หรือไอซีตัวอื่นๆ และยังสามารถโปรแกรมให้กับตัวเองได้) มีขนาดของหน่วยความจำตามเบอร์ของไอซีแต่ละตัว

#### - ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ATmega 88

AVR เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ 8 บิตตระกูลหนึ่ง ที่มีสถาปัตยกรรมแบบ RISC (Reduce Instruction Set Computer) ซึ่งทำให้การประมวลผลมีความเร็ว 1 คำสั่ง / 1 clock หรือ MCU สามารถประมวลคำสั่งได้ 1 MIPS / MHz และภายในได้รวบรวมวงจรสนับสนุนการทำงานของ MCU อาทิเช่น Analog to Digital, SPI, UART, Time, Counter, PWM ซึ่งวงจรสนับสนุนการทำงานเหล่านี้ทำให้ MCU สามารถทำงานได้กว้างและใช้อุปกรณ์ต่อร่วมภายนอกน้อยมาก ATmega 88 ก็เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์หนึ่งที่อยู่ในตระกูลของ AVR



รูปที่ 3.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ATmega 88

#### - คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ATmega 88

1. สถาปัตยกรรมภายในถูกออกแบบให้ใช้สถาปัตยกรรมแบบ RISC (Reduce Instruction Set Computer) RISC คือ ทำให้การประมวลผลมีความเร็ว 1 คำสั่ง / 1 Clock หรือ CPU สามารถประมวลคำสั่งได้ 1 MIPS / MHz
2. มีคำสั่งในการควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์จำนวน 130 คำสั่ง
3. กลุ่มรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปขนาด 8 บิต จำนวน 32 ตัว
4. หน่วยความจำแบบ FLASH สำหรับบันทึก PROGRAM MEMORY ขนาด 8 Bytes สามารถเขียน / อ่าน ได้ 10,000 ครั้ง
5. หน่วยความจำแบบ EEPROM สำหรับบันทึก DATA MEMORY ขนาด 512 Byte สามารถเขียน / อ่าน ได้ 10,000 ครั้ง

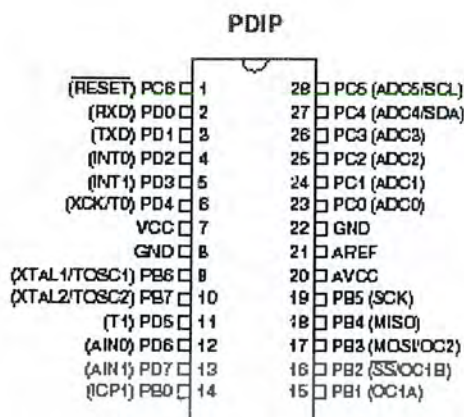
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. หน่วยความจำแบบ SRAM ขนาด 1 KB
7. ระบบการป้องกันการ COPY ข้อมูลภายในหน่วยความจำ (Lock for Software Security)
8. พอร์ตอินพุตและเอาต์พุตขนาด 8 บิต จำนวน 4 พอร์ต
9. TIMER / COUNTER ขนาด 16 บิต 1 Channel
10. TIMER / COUNTER ขนาด 8 บิต 2 Channel
11. ระบบการเปลี่ยนสัญญาณ Analog to Digital ขนาด 10 บิต จำนวน 8 Channel
12. ระบบการกำเนิดความถี่สัญญาณแบบ PWM จำนวน 3 Channel
13. ระบบการสื่อสารข้อมูลดิจิทัลแบบอะซิงโครนัส (UART) 1 Channel
14. ระบบการสื่อสารข้อมูลดิจิทัลแบบซิงโครนัส (SPI) 1 Channel
15. ระบบตรวจจับการทำงานผิดพลาดของ CPU (Watchdog Timer With ON - Chip Oscillator)
16. ระบบการรีเซ็ตแบบอัตโนมัติเมื่อเริ่มจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ (Power on reset)
17. ระบบการอินเตอร์รัพท์จากภายนอก (External Interrupt)
18. ระบบการตรวจจับระดับสัญญาณอนาล็อก (Analog Comparator)
19. 5 SLEEP MOD : IDEL, ADC Noise Reduction, Power Save, Power Down and Standby
20. ความถี่สัญญาณนาฬิกา 0 - 8 MHz (ATmega8L)
21. ความถี่สัญญาณนาฬิกา 0 - 16 MHz (ATmega8)
22. Vcc : 2.7 - 5.5 (ATmega8L)

- โครงสร้างภายนอกและตำแหน่งขา

โดยพอร์ต C ยังใช้เป็นขาอินพุต เพื่อรับสัญญาณ AVR ATmega 8 - 16PI แบบ PDIP มีขาต่อใช้งานภายนอก 28 ขาดังแสดงในรูปที่ 2.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 โครงสร้างภายนอกและตำแหน่งขา ATmega 8-16PI (PDIP)

- รายละเอียดของขาสัญญาณ

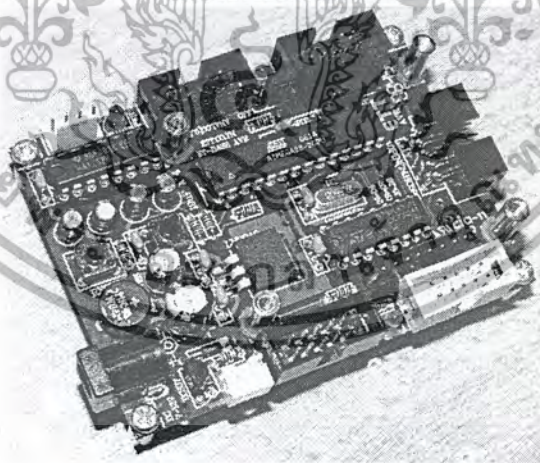
1. VCC คือ ขาจ่ายไฟให้กับ CPU
2. GND คือ กราวด์
3. Port B (PB7 - PB0) เป็นพอร์ต 2 ทิศทางขนาด 8 บิต โดยสามารถกำหนดให้แต่ละขาของพอร์ตสามารถ Pull Up ภายในอิสระแยกจากกันซึ่งแต่ละขาสามารถรับกระแส Sink 20 mA และยังสามารถนำไปใช้งานอื่น ๆ อีก โดยพอร์ต B ยังใช้เป็นขาอินพุต เพื่อรับสัญญาณในการอ่านและเขียนโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์
4. Port C (PC7-PC0) เป็นพอร์ต 2 ทิศทางขนาด 8 บิต โดยสามารถกำหนดให้แต่ละขาของพอร์ตสามารถ PULL UP ภายในอิสระแยกจากกันซึ่งแต่ละขาสามารถรับกระแส SINK 20 mA และยังสามารถนำไปใช้งานอื่น ๆ อีก โดยพอร์ต C ยังใช้เป็นขาอินพุต เพื่อรับสัญญาณอนาลอกในส่วนของการแปลงสัญญาณ Analog to Digital
5. Port D (PD7..PD0) เป็นพอร์ต 2 ทิศทางขนาด 8 บิต โดยสามารถกำหนดให้แต่ละขาของพอร์ตสามารถ Pull Up ภายในอิสระแยกจากกันซึ่งแต่ละขาสามารถรับกระแส Sink 20 mA และยังสามารถนำไปใช้งานอื่น ๆ อีก
6. TXD คือ ขาที่ส่งสัญญาณสื่อสารแบบอนุกรม
7. RXD คือ ขาที่รับสัญญาณสื่อสารแบบอนุกรม
8. INTO และ INTO คือ ขาที่รับสัญญาณอินเตอร์รัพท์จากภายนอก
9. XCK/TO เป็นขาอินพุตของ Time / Counter 0
10. T1 เป็นขาอินพุตของ Time / Counter 0
11. Reset คือ ขารีเซ็ต
12. XTAL 1 เป็นขาอินพุตของ OSE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. XTAL 2 เป็นขาเอาท์พุทของ OSE
14. AVcc ใช้จ่ายไฟให้กับวงจร Analog to Digital
15. AREF เป็นขาแรงดันอ้างอิงที่ใช้งานในส่วนของวงจร Analog to Digital
16. AGND เป็นขากราวด์ของวงจร Analog to Digital

#### - บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ET-BASE AVR EASY88

ET-BASE AVR EASY88 เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล AVR โดยบอร์ดเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR เบอร์ ATMEGA88 ของ ATMEL เป็น MCU ประจำบอร์ด โดย MCU รุ่นนี้จะบรรจุอยู่ในตัวถังแบบ 28 Pin DIP โดย MCU ตัวนี้จะมีจุดเด่นคือ เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาดเล็กแต่เพียบพร้อมไปด้วยทรัพยากรพื้นฐานต่างๆอย่างครบถ้วน เหมาะแก่การใช้ในการศึกษาเรียนรู้สำหรับผู้เริ่มต้น และยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานต่างๆได้โดยง่าย ซึ่ง MCU สามารถทำงานได้ด้วยความถี่สูงสุด 20MHz ที่ 1 Clock / Machine Cycle นอกจากนี้แล้ว ยังมีความเพียบพร้อมด้วยอุปกรณ์พื้นฐานต่างๆที่จำเป็นต่อการใช้งาน ไม่ว่าจะเป็นหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลแบบ EEPROM ขนาด 512 Byte และหน่วยความจำใช้งานแบบ SRAM อีก 1 K Byte ส่วนในด้านของอุปกรณ์ Peripheral นั้นก็นับว่าครบถ้วนเหมาะแก่การนำไปประยุกต์ใช้งานเกี่ยวกับการควบคุมและประมวลผลต่างๆได้เป็นอย่างดี โดยจะมีทั้งระบบฮาร์ดแวร์ของ SPI, UART, I<sup>2</sup>C, Watchdog, Timer / Counter, PWM และ ADC ฯลฯ



รูปที่ 3.6 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ET-BASE AVR EASY88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### - คุณสมบัติของบอร์ด

1. เลือกใช้ MCU ตระกูล AVR เบอร์ ATMEGA88 ของ ATMEL เป็น MCU ประจำบอร์ด โดยเลือกใช้แหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาแบบ Crystal Oscillator ค่า 19.6608 MHz เพื่อให้สามารถใช้งานพอร์ตสื่อสารอนุกรม RS232 ได้อย่างลงตัว

2. สามารถเปลี่ยนไปติดตั้งใช้งาน MCU ตระกูล AVR ขนาด 28 PIN เบอร์อื่นๆ ในอนุกรมเดียวกันได้ เช่น ATMEGA8, ATMEGA48, ATMEGA168 และ ATMEGA328 เป็นต้น โดย MCU เหล่านี้จะมีตำแหน่งขาที่เข้ากันได้ สามารถติดตั้งใช้งานในบอร์ดได้ทันทีโดยไม่ต้องดัดแปลงแก้ไขวงจร

3. มีหน่วยความจำ 8 KByte Flash / 512 Byte EEPROM / 1024 Byte SRAM

4. มีพอร์ต I/O ขนาด 20 บิต จำนวน 3 พอร์ต (PB (6บิต), PC (6บิต), PD (8บิต))

5. มีวงจรสื่อสารอนุกรม UART จำนวน 1 พอร์ต

6. มีวงจรสื่อสาร SPI จำนวน 1 พอร์ต

7. มีวงจรสื่อสาร I<sup>2</sup>C จำนวน 1 พอร์ต

8. มีวงจร Timer / Counter ขนาด 16 บิต 1ชุด และ Timer / Counter ขนาด 8 บิต

2 ชุด

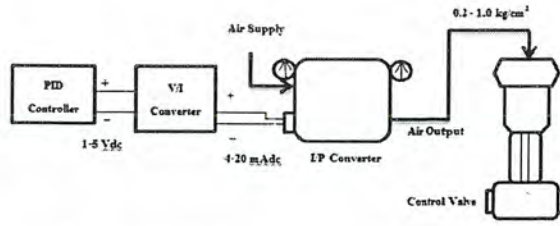
9. มีวงจร ADC ขนาด 10 บิต จำนวน 6 ช่อง

10. MCU ประจำบอร์ดได้รับการติดตั้ง Boot Loader สำหรับใช้ Upload Code ให้บอร์ดผ่านทางพอร์ตสื่อสารอนุกรม RS232 ได้ทันที โดยไม่ต้องใช้เครื่องโปรแกรมภายนอก สามารถใช้การพัฒนาโปรแกรมได้ทั้งภาษาแอสเซมบลี ภาษาซี ภาษาเบสิก และ ภาษา C++ ของ Arduino ได้ทันที

### 3.2.2.2 วงจรแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้า (Voltage to Current Converter Circuit)

เป็นวงจรที่สำคัญวงจรหนึ่ง ที่ใช้ในระบบควบคุม กระบวนการ ทางอุตสาหกรรม เนื่องจาก บางครั้งอุปกรณ์ตัวส่งสัญญาณในระบบ ให้สัญญาณเอาต์พุต เป็นแรงดันไฟฟ้า แต่จำเป็นต้องส่งเป็นระยะทางไกล จึงต้องส่งเป็นกระแสไฟฟ้า หรืออุปกรณ์ตัวรับต้องการอินพุตเป็นกระแสไฟฟ้า ตัวอย่างเช่น การต่อตัวควบคุม PID (PID Controller) ที่มีสัญญาณเอาต์พุตเป็นแรงดันไฟฟ้ามาตรฐาน 1-5 Vdc กับตัวแปลงสัญญาณกระแสไฟฟ้า (Current-to-Pneumatic Converter, I/P Converter) 4-20 mAdc เป็นสัญญาณลม 0.2-1.0 kg/cm<sup>2</sup> เพื่อนำสัญญาณลมไปควบคุมวาล์วควบคุม (Control Valve) ดังตัวอย่างในรูปที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 ตัวอย่างการแปลงสัญญาณแรงดันเป็นกระแสไฟฟ้า

วงจรแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้ามีหลายรูปแบบ และปัจจุบันมีไอซีสำเร็จรูปสำหรับวงจรนี้ เช่น ไอซีเบอร์ XTR110 ของบริษัท Burn-Brown ฯลฯ ซึ่งจะไม่ขอกล่าวถึงในที่นี้ วงจรแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้าแบบง่ายๆ แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 3.8 วงจรแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้าแบบง่าย

รูปที่ 3.8 เป็นการประยุกต์ใช้วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส (Non-inverting Amplifier) ซึ่งหลักการของวงจรนี้ แรงดัน  $V_A = V_R = e_{in}$  ดังนั้น

$$i_o = \frac{V_R}{R} = \frac{V_A}{R} = \frac{e_{in}}{R} \tag{3.1}$$

ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการแปลงแรงดันไฟฟ้าย่านอินพุต  $e_{in} = 1-5 \text{ Vdc}$  เป็นกระแสไฟฟ้า  $i_o = 4-20 \text{ mA dc}$  สามารถทำได้ดังนี้

ที่  $e_{in} = 1 \text{ V}$  กระแสเอาต์พุตเป็น  $i_o = 4 \text{ mA}$  จะได้

$$4 \times 10^{-3} \text{ A} = \frac{1 \text{ V}}{R}$$

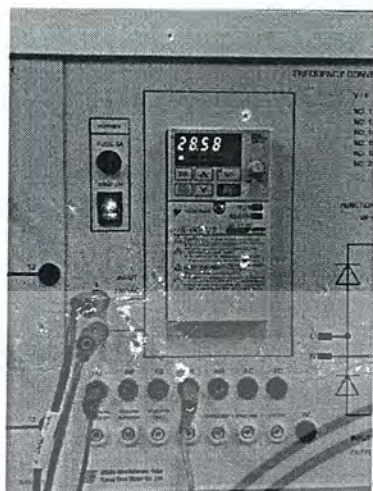
$$\therefore R = 250 \Omega$$

และที่  $e_{in} = 5 \text{ V}$  จะได้กระแสเอาต์พุตเป็น

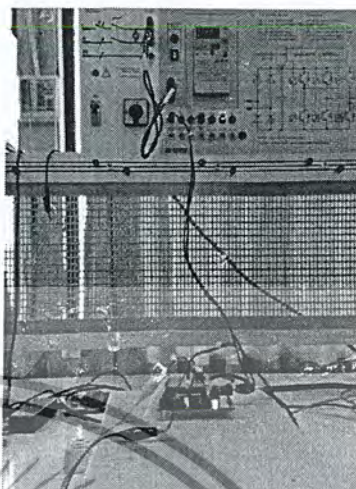
$$i_o = \frac{5 \text{ V}}{250 \Omega} = 20 \text{ mA}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.2.3 อินเวอร์เตอร์



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.9 (ก) คือแสดงภาพ inverter

(ข) คือ แสดงภาพอินเวอร์เตอร์ เชื่อมต่อกับ ชุดควบคุมความถี่

อินเวอร์เตอร์ (Inverter) คืออุปกรณ์ที่ใช้ในการแปลงกระแสไฟฟ้าจากกระแสตรงเป็นกระแสสลับซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงหรือควบคุมระดับแรงดันและความถี่ไฟฟ้ากระแสสลับได้ อินเวอร์เตอร์ได้นำไปใช้ประโยชน์ต่างๆ เช่น

1. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับสำรองเมื่อแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับเกิดขัดข้องขึ้นที่เรียกกันว่า Stand-by Power Supplies หรือ Uninterruptible Power Supplies หรือเรียกย่อ ๆ ว่า UPS ใช้เป็นระบบไฟฟ้าสำรองสำหรับอุปกรณ์ที่สำคัญ ๆ เช่น คอมพิวเตอร์เมื่อแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับหลัก เกิดขัดข้อง Transfer Switch ซึ่งทำงานด้วยความเร็วถึง 1/1000 วินาทีจะต่ออุปกรณ์เข้ากับอินเวอร์เตอร์จ่ายไฟฟ้ากระแสสลับให้แทนโดยแปลงจากแบตเตอรี่ซึ่งประจุไว้ขณะที่มีแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับหลัก

2. ใช้ควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสสลับด้วยการเปลี่ยนความถี่เมื่อความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับเปลี่ยนแปลง ความเร็วของมอเตอร์จะเปลี่ยนแปลงตามสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$N = \frac{120f}{P} \quad (3.2)$$

โดยที่  
 $N$  = ความเร็วรอบต่อนาที  
 $f$  = ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าต่อวินาที  
 $P$  = จำนวนขั้วของมอเตอร์

### การตั้งค่าพารามิเตอร์ที่อินเวอร์เตอร์

ก่อนการใช้งานอินเวอร์เตอร์ ต้องทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นให้แก่ ตัวอินเวอร์เตอร์เสียก่อนจึงจะสามารถสั่งให้อินเวอร์เตอร์ทำงานได้ โดยอินเวอร์เตอร์ที่ใช้คือ Yaskawa VS 606V7 ซึ่งจะมีระบบการสั่งงานความถี่ของอินเวอร์เตอร์ได้ 3 แบบ

- 1.สั่งงาน โดย Local potentiometer/Digital setting
- 2.สั่งงานโดยสัญญาณควบคุม
- 3.สั่งงานโดยระบบสื่อสาร (MEMOBUS communications)

ตารางที่ 3.2 การตั้งค่าพารามิเตอร์ในส่วนของการกำหนดการสั่งงานอินเวอร์เตอร์

Name	parameter
Operator Reference Selection	N003 - 0 - Enables operator RUN, STOP/RESET
	- 1 - Enables control circuit terminal stop
	- 2 - Enables communications (MEMOBUS communications)
	- 3 - Enables communication card (optional)
Frequency Reference Selection	N004 - 0 - Enables digital operator potentiometer
	- 1 - Enables frequency reference 1 (parameter 024)
	- 2 - Enables voltage reference (0 to 10V) of control circuit terminal
	- 3 - Enables current reference (0 to 20mA) of control circuit terminal
	- 4 - Enables current reference (0 to 20mA) of operator circuit terminal
	- 5 - Enables pulse line reference of control circuit terminal
	- 6 - Enables communications (MEMOBUS communications)
	- 7 - Enables voltage reference (0 to 10V) of operator circuit terminal
	- 8 - Enables current reference (0 to 20mA) of operator circuit terminal
- 9 - Enables communication card (optional)	

### การเลือกใช้ฟังก์ชัน Control mode

อินเวอร์เตอร์ Yaskawa VS 606V7 จะมีการตั้งค่าฟังก์ชันการใช้งานมาจากโรงงานคือแบบ Vector control mode การเปลี่ยนฟังก์ชันการใช้งานสามารถทำได้โดย

Control mode selection (n002): 0: V/f control mode

1: Vector control mode

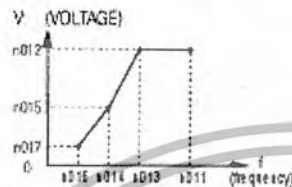
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเลือกใช้ฟังก์ชัน V/f control

ฟังก์ชัน V/f control จะเป็นการปรับแรงบิดของมอเตอร์โดยใช้ “V/f pattern” และ “full-range automatic torque boost”

การตั้งค่า V/f pattern

การตั้งค่า V/f pattern จะใช้ฟังก์ชัน n011 ถึง n017 โดยวิธีนี้จะใช้กับมอเตอร์ชนิดพิเศษ เช่น มอเตอร์ความเร็วสูง เนื่องจากสามารถปรับแรงบิดของมอเตอร์ได้



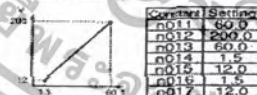
Be sure to satisfy the following conditions for the setting of n011 to n017.  
 n016 < n014 < n013 < n011  
 If n016 = n014 is set, the set value of n015 is disabled.

Parameter 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)	230.0V (460.0V)
n013	Max. voltage output frequency (base frequency)	0.1Hz	0.2 to 400.0Hz	60.0Hz
n014	Mid. output frequency	0.1Hz	0.1 to 399.9Hz	1.5Hz
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	1.5Hz
n017	Min. output frequency voltage	1V	1 to 50.0V (0.1 to 100.0V)	1.3V (6.5V)

\* 10.0V for 200V class 7.5/10hp (5.5/7.5kW)  
 20.0V for 400V class 7.5/10hp (5.5/7.5kW)  
 NOTE: Values with parentheses indicate 400V class.

รูปที่ 3.10 แสดงการกำหนดค่าความถี่สูงสุดต่ำสุดของ Inverter

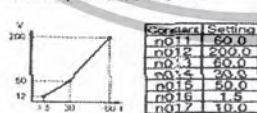
(1) For general-purpose applications  
 Motor Specification : 60Hz  
 (Factory setting)



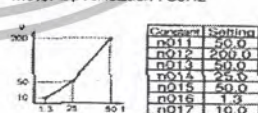
Motor Specification : 50Hz  
 (factory setting)



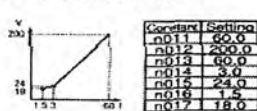
(2) For fans/pumps  
 Motor Specification : 60Hz



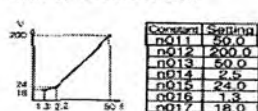
Motor Specification : 50Hz



(3) For applications requiring high starting torque  
 Motor Specification : 60Hz



Motor Specification : 50Hz



Increasing voltage of V/f pattern increases motor torque, but excessive increase may cause motor over excitation, motor overheat, or vibration.

Note: n012 is to be set to motor rated voltage.

รูปที่ 3.11 การตั้งค่า V/f pattern แบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การเลือกฟังก์ชัน Local/Remote Mode

1. Local mode: ใช้การสั่งงานสำหรับ RUN/STOP, FWD/REV และการปรับค่าความถี่ โดยการใช้ Local Potentiometer

2. Remote mode: ใช้การสั่งงานโดยใช้สัญญาณควบคุม เช่น 4-20 mA, 0-20 mA, 1-10 V โดยใช้ฟังก์ชัน n003

### ฟังก์ชัน Remote Mode

1. การเลือกใช้ฟังก์ชัน Remote Mode สามารถเลือกจาก RE (remote mode) จาก LO/RE

2. การเลือกใช้ฟังก์ชันสั่งงาน n003

n003 =0: Enables the Digital operator

=1: Enables the multi-function input terminal

=2: Enables communication

=3: Enables communication card (optional)

3. การเลือกใช้ฟังก์ชันสัญญาณควบคุม n004

n004 =0: Enables frequency setting by potentiometer on digital operator

=1: Frequency reference 1 is effective Factory setting of the model with digital operator JVOP-140 is n004=0

=2: Voltage reference (0 to 10V)

=3: Current reference (4 to 20mA)

=4: Current reference (0 to 20mA)

=5: Pulse train reference

=6: Communication

=7: Voltage reference of digital operator circuit terminal

=8: Current reference of digital operator circuit terminal

### การใช้สัญญาณกระแสควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์

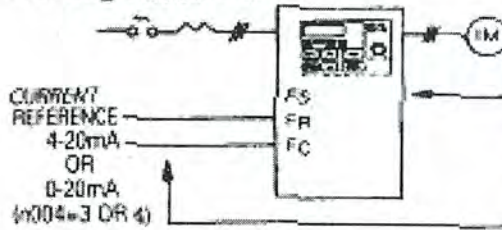
ก่อนที่จะเลือกใช้สัญญาณกระแสในการควบคุมนั้น จะต้องทำการเลื่อน DIP switch (V/I switch of SW2) ไปที่ตำแหน่ง "I" หลังจากนั้นกดที่ปุ่ม "PRGM" บน digital operator แล้วจึงทำการเลือกฟังก์ชันการใช้งานสัญญาณควบคุมแบบกระแส

Current reference (4 to 20mA) parameter n004=3

Current reference (0 to 20mA) parameter n004=4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

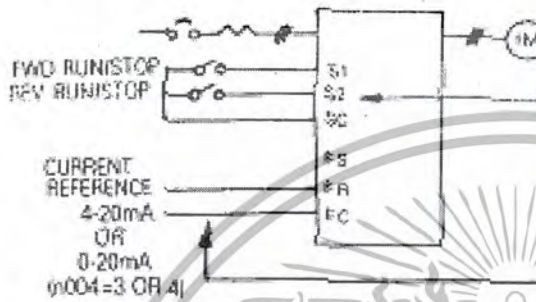
• Setting : n003 = 0



Press the digital operator keys to run or stop the inverter. Switch run and stop direction by setting F/R LED.

Set frequency by the analog current signal [0-100% (max frequency)/4-20mA] connected to the control circuit terminal.

• Setting : n003 = 1



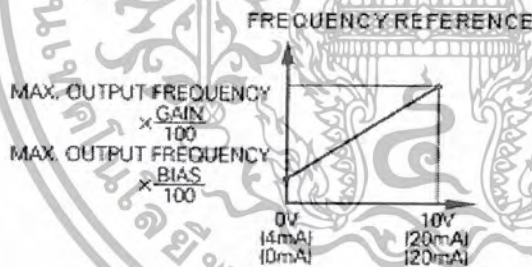
Set run/stop and FWD/REV run with switching device connected to the control circuit terminal.

Multi-function input terminals S1 and S2 are set to Forward run / S TOP (n050 = 1) and Reverse run/stop (n051 = 2) respectively.

Set frequency by the analog current signal [0-100% (max. frequency)/4-20mA] connected to the control circuit terminal.

รูปที่ 3.12 การกำหนดช่วงการทำงานของสัญญาณควบคุม

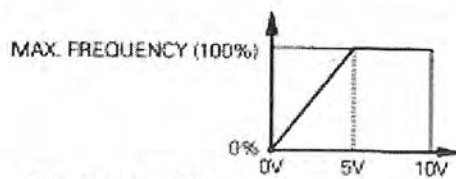
การควบคุมความเร็วโดยใช้สัญญาณอนาล็อก ด้วยชุดควบคุมที่ FR และ FC จะต้องทำการกำหนดค่าความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณอนาล็อกและความถี่ด้วยการตั้งค่าฟังก์ชัน n060 และ n061



- (a) Analog frequency reference gain (n060)
  - The frequency reference provided when analog input is 10V (20mA) can be set in units of 1%. (maximum output frequency n011=100%)
  - Factory setting : 100%
- (b) Analog frequency reference bias (n061)
  - The frequency reference provided when analog input is 0V (4mA or 0mA) can be set in units of 1%. (Maximum output frequency n011=100%)
  - Factory setting : 0%

**Typical setting**

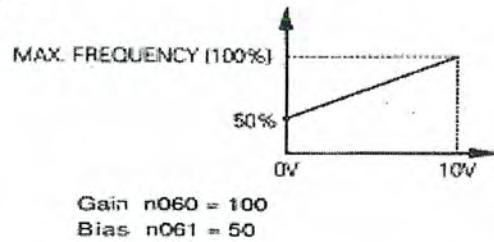
• To operate the inverter with frequency reference of 0% to 100% at 0 to 5V input



Gain n060 = 200  
Bias n061 = 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- To operate the inverter with frequency reference of 50% to 100% at 0 to 10V input



รูปที่ 3.13 แสดงการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์

การใช้งานอินเวอร์เตอร์ จะทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่ช่วงความถี่ตั้งแต่ 0-60 Hz แต่ในช่วงการปรับความถี่ของอินเวอร์เตอร์จะใช้ความถี่อยู่ในช่วง 35-55 Hz เท่ากับว่าช่วงใช้งานอยู่ที่ 58-92% ซึ่งจะนำค่าช่วงใช้งานนี้ไปทำการปรับ Gain และ Bias ต่อไป โดยใช้สัญญาณควบคุมแบบ 0-20 mA

จะได้ค่า sensitivity = span output / span input มีค่าเท่ากับ 1 Hz/mA

### 3.2.3 ชุดเก็บค่าอุณหภูมิ



(ก)

(ข)

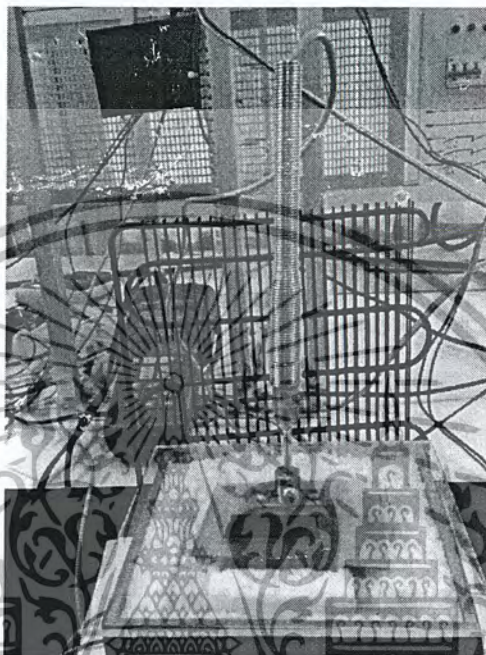
รูปที่ 3.14 (ก) คือ ชุดวัดอุณหภูมิ ต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์

(ข) คือ ชุดวัดอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดวัดอุณหภูมิประกอบไปด้วยอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

### 3.2.3.1 RTD



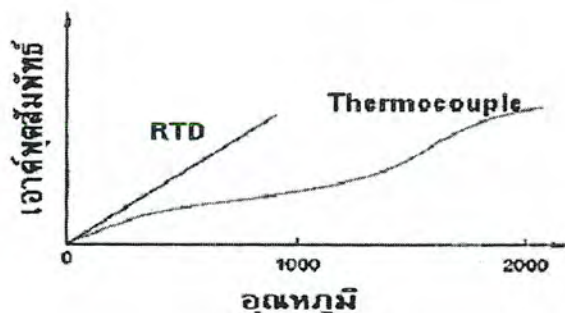
รูปที่ 3.15 RTD ขณะกำลังใช้งาน

อุปกรณ์ตรวจจับอุณหภูมิโดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของลวดโลหะไปตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป ลวดโลหะที่นำมาผลิตอาร์ทีดีมีหลายชนิดเช่น ทองแดง ทังสเตน นิกเกิล แพลทินัม เนื่องจากอาร์ทีดีแบบแพลทินัม  $100 \Omega$  เป็นที่นิยมสูงสุด เนื่องจากความเป็นเชิงเส้นที่ดี จึงถูกกำหนดให้เป็นแบบมาตรฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการทั่วไป เหมาะสำหรับวัดค่าอุณหภูมิที่ต้องการความละเอียดสูงและอุณหภูมิต่ำจนถึงติดลบ

คุณลักษณะของอาร์ทีดี

- ความไว (Sensitivity) ความไวของอาร์ทีดีหาได้จากค่าของ  $\alpha_0$  พบว่าแพลทินัมจะมีค่า  $\alpha = 0.00385 \Omega/\Omega/^\circ\text{C}$  (ประมาณ  $0.004/^\circ\text{C}$ ) ดังนั้น สำหรับแพลทินัมอาร์ทีดีแบบ  $100\Omega$  จึงเปลี่ยนค่าความต้านทานไปเพียง  $0.4 \Omega$  เท่านั้น หากอุณหภูมิเปลี่ยนไป  $100^\circ\text{C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



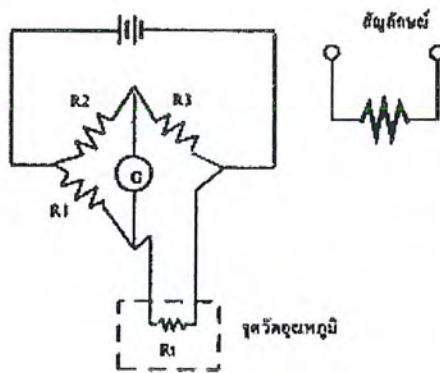
รูปที่ 3.16 แสดงความเป็นเชิงเส้นของPt 100 กับ Thermocouple

- ผลตอบสนองต่อเวลา (Response Time) เวลาในการตอบสนองของอาร์ทีดีที่เกิดจากการนำความร้อน โดยทั่วไปเวลาที่จะกำหนดโดยสภาวะอากาศอิสระ (หรือสภาวะใดๆ ที่สมมูลกัน) หากว่าหากมันอยู่ในฝักป้องกัน (sheath) มันจะสัมผัสความร้อนได้ไม่จึงทำให้ได้ผลตอบสนองต่อเวลาช้า
- โครงสร้าง (Construction) แน่ใจว่าอาร์ทีดีที่มีความยาวของสายมาก จะทำให้ความต้านทานเป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิมาก
- การปรับสภาพสัญญาณ (Sine Conditioning)
- ค่าคงที่ในการสูญเสีย (Dissipation Constant)
- ย่านการใช้งาน (Range) ย่านประสิทธิภาพการใช้งานของอาร์ทีดีจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ใช้เป็นอุปกรณ์เอกทีฟ พบว่า อาร์ทีดีแบบแพลทินัมจะมีย่านใช้งานจาก  $-100^{\circ}\text{C}$  ถึง  $650^{\circ}\text{C}$  ในขณะที่อาร์ทีดีที่ทำจากนิกเกิลจะมีช่วงใช้งานจาก  $-180^{\circ}\text{C}$  ถึง  $300^{\circ}\text{C}$

#### ประเภทของ Pt 100

- แบ่งตามชนิดของ Element
  - Pt100 แบบ Thin film ย่านวัด  $-55 \sim 450 \text{ C}$
  - Pt100 แบบ Ceramic ย่านวัด  $-200 \sim 650 \text{ C}$
- แบ่งตามจำนวนสาย
  - Pt100 แบบ 2 สาย

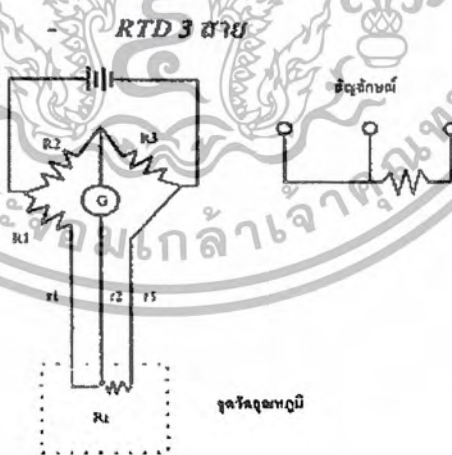
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 วงจรใช้งานพื้นฐานของ RTD แบบ 2 สาย

วงจรใช้งานพื้นฐานของ RTD คือ Wheatstone Bridge โดย  $R_t$  คือ RTD ซึ่งติดตั้งอยู่ในจุดที่ต้องการวัดอุณหภูมิ มีค่าความต้านทานอีก 3 ค่าในวงจร คือ  $R_1$ ,  $R_2$ , และ  $R_3$  ซึ่งต้องอยู่ที่อุณหภูมิห้อง RTD 2 สายเหมาะกับงานที่ RTD อยู่ ใกล้กับวงจรเท่านั้น ไม่เหมาะกับงานที่ต้องลากสายยาว ๆ เนื่องจากจะมีความผิดพลาดเกิดขึ้นจากค่าความต้านทานสะสมของสายตัวนำ ทำให้ค่าที่อ่านได้ผิดเพี้ยนไป RTD 2 สายจึงเหมาะกับงานที่ไม่ต้องการความถูกต้องสูงนัก

- Pt100 แบบ 3 สาย



รูปที่ 3.18 วงจรใช้งานพื้นฐานของ RTD แบบ 3 สาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RTD 3 สาย เป็นที่นิยมใช้ที่สุดในอุตสาหกรรม โดยสายทั้ง 3 เป็นแบบที่นิยมใช้ที่สุดในอุตสาหกรรม โดยสายทั้ง 3 ที่อยู่ระหว่างจุดที่วัดกับวงจร จะต้องมีความยาวเท่ากัน และอยู่ในอุณหภูมิเดียวกันตลอดเพื่อให้ค่าความต้านทาน  $r_1$ ,  $r_2$  และ  $r_3$  เปลี่ยนไปในทิศทางเดียวกันด้วยขนาดที่เท่ากัน นั่นคือ

$$\frac{R_t + R_3}{R_3} = \frac{R_1 + r_1}{R_2}$$

เนื่องจาก  $r_1$  เท่ากับ  $r_3$  เพราะฉะนั้นอุณหภูมิที่วัดจึงขึ้นอยู่กับ  $R_t$  เพียงตัวเดียว ทำให้ RTD 3 สายมีความถูกต้องสูงกว่า RTD แบบ 2 สาย



รูปที่ 3.19 วงจรใช้งานพื้นฐานของ RTD แบบ 4 สาย

RTD 4 สายเป็นแบบที่มีความถูกต้องสูงที่สุด เนื่องจากเลื่อนจุดต่อของ Bridge ออกไปอยู่ภายนอกทั้ง 4 จุด สามารถชดเชยความต้านทานของสายตัวนำได้ทั้งหมด โดยสายทั้ง 4 ต้องมีขนาด, ความยาวเท่ากันและอยู่ในอุณหภูมิเดียวกันตลอดเหมือนกับ RTD 3 สาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

\*\* แบบ 3 สาย กับ 4 สาย สายที่เพิ่มขึ้นมีไว้ชดเชยอุณหภูมิผิดพลาดที่เกิดจากความต้านทานของสาย ปัจจุบันเป็นที่นิยมที่สุดคือแบบ 3 สาย

### 3.2.3.2 Temperature Transmitter



รูปที่ 3.20 ภาพแสดง Temperature Transmitter

Pt100 Transmitter เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการแปลงค่าความต้านทานจาก อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ Pt100 เป็นสัญญาณมาตรฐาน 4-20 mA

คุณสมบัติ

- แปลงค่าอุณหภูมิจากความต้านทาน เป็นสัญญาณมาตรฐาน 4-20mA
- input และ output แยกออกจากกัน
- สามารถปรับ zero และ span ได้
- แรงดันไฟเลี้ยง 220 VAC
- ความถี่ 50 Hz
- อุณหภูมิการใช้งาน 0-60 °C
- ความต้านทาน output 4-20 mA ต่อโหลดสูงสุด 500 Ω

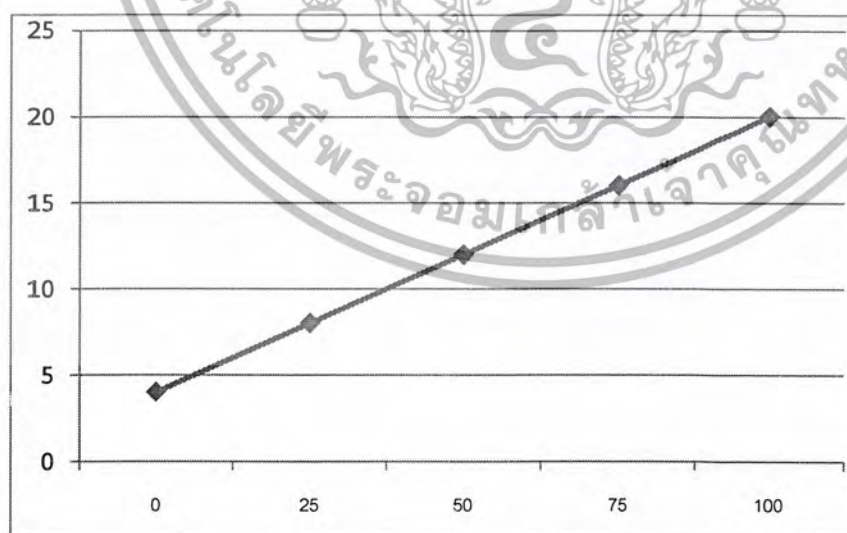
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การสอบเทียบ RTD เพื่อใช้งาน

เนื่องจาก RTD เป็นอุปกรณ์ ที่จะต้องกำหนดช่วงการใช้งาน ให้เหมาะสมกับส่วนที่เป็น Temperature Transmitter จึงจะต้องทำการสอบเทียบก่อนที่จะนำไปใช้งานได้ โดยเริ่มจากอ่านช่วงอุณหภูมิที่ใช้งานของ Temperature Transmitter เสียก่อน แล้วจึงต่อเข้ากับ RTD หลังจากนั้นทำการจุ่ม RTD ลงไปในตัวแหล่งจ่ายอุณหภูมิมาตรฐาน โดยเริ่มจากค่า  $0^{\circ}\text{C}$  แล้วทำการปรับ zero ที่ Temperature Transmitter ให้ค่าสัญญาณมาตรฐานที่ได้ออกเป็น 4 และค่าที่  $60^{\circ}\text{C}$  ทำการปรับ span ไปที่ 20 mA ซึ่งจะต้องมีการทำซ้ำเพื่อความน่าเชื่อถือของค่าที่วัดได้

ตารางที่ 3.3 แสดงผลการสอบเทียบ Temperature Transmitter

INPUT		OUTPUT				
%	mA	ก่อน Calibration	หลัง Calibration			ค่าเฉลี่ย
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
0	4	2.85	4.02	3.99	4.01	4.01
25	8	7.84	8.03	8.01	7.98	8.01
50	12	12.83	12.02	11.98	12.01	12.00
75	16	17.84	16.04	16.01	16.02	16.02
100	20	22.84	20.01	20.03	20.02	20.02

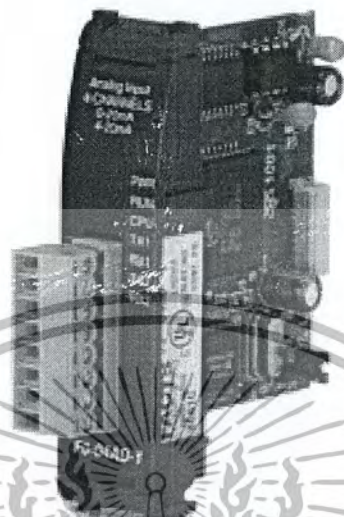


รูปที่ 3.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง input และ output ของ Temperature Transmitter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

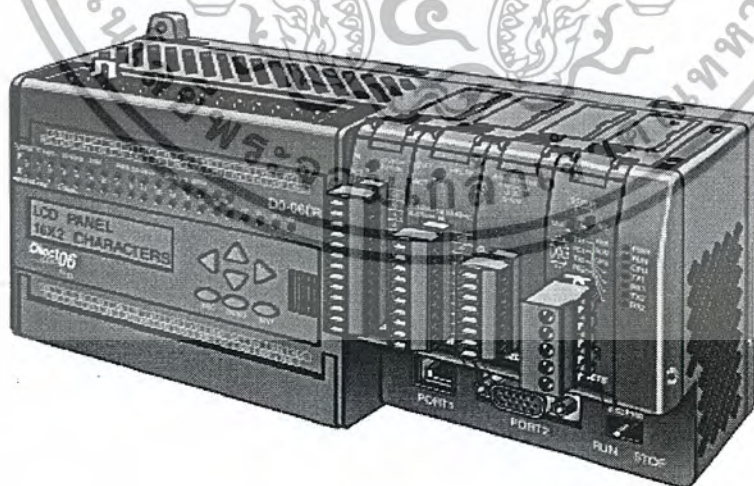
### 3.2.3.2 Analog Input Module

Analog Input Module เป็นอุปกรณ์ที่ใช้รับสัญญาณ



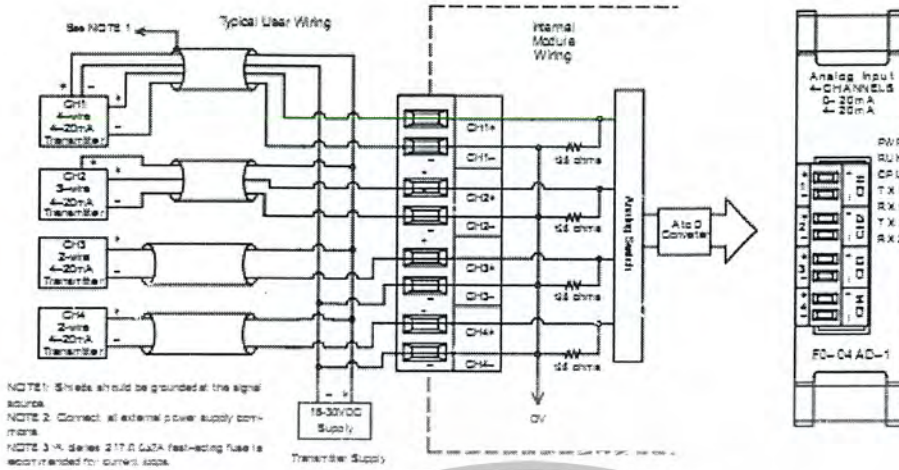
รูปที่ 3.22 แสดงภาพ Analog Input Module 4 channel

ในตัวเครื่อง PLC DL06 จะมีช่องสำหรับที่จะใช้ต่อกับโมดูลพิเศษอยู่แล้ว การที่จะติดตั้งสามารถที่จะทำได้ง่ายมากเพียงแค่ทำการเสียบลงในช่องที่มีอยู่แล้วในตัวเครื่อง PLC ก็จะสามารถทำการใช้งานได้ทันที



รูปที่ 3.23 แสดงตัวเครื่อง PLC ยี่ห้อ KOYO รุ่น DL-06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.24 แสดงโครงสร้างภายในของ Analog Input Module 4 channel

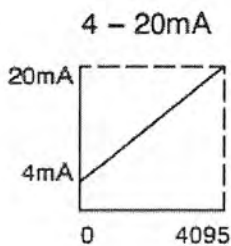
V-Memory ที่เกี่ยวข้องกับ Analog Input Module ก็จะมี Data type เลขของ Channel อยู่ที่ V7700 และที่ Storage Point อยู่ที่ V7701

ตารางที่ 3.4 แสดง V-Memory ของ Analog Input Module DL-06

Analog Input Module DL06 Special V-memory Locations				
Slot No.	1	2	3	4
Data Type and Number of Channels	V700	V710	V720	V730
Storage Pointer	V701	V711	V721	V731

การสร้าง Scale ใช้งาน

ความไวของ Scale ก็จะมีสูตรการคำนวณหาดังภาพ โดยค่าความไวจะมีผลต่อค่าประสิทธิภาพในการนำกลับมาแสดงผลถ้ามีความละเอียดต่อหน่วยมาก ก็จะทำให้กราฟที่จะแสดงผลมีความละเอียดมากขึ้นด้วย



$$\text{Resolution} = \frac{H-L}{4095}$$

H = high limit of the signal range

L = low limit of the signal range

รูปที่ 3.25 แสดงสูตรที่ใช้ในการทำ Scale ของ Analog Input Module รุ่น F0-04AD-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เหมือนญาติให้ญาติใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาค่าเมื่อเราทำการแปลงค่าสัญญาณอนาลอกไป เป็นสัญญาณดิจิทัล และการคำนวณหาค่าเมื่อแปลงสัญญาณดิจิทัลไปเป็นสัญญาณอนาลอก ก็จะมีการคำนวณดังนี้

ตารางที่ 3.5 แสดงการแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก และแปลงอนาล็อกเป็นดิจิทัล

Range	If you know the digital value	If you know the analog signal level
4 to 20mA	$A = \frac{16D}{4095} + 4$	$D = \frac{4095}{16} (A - 4)$
0 to 20mA	$A = \frac{20D}{4095}$	$D = \frac{4095}{16}$

For example, if you have measured the signal as 10mA, you can use the formula to determine the digital value that will be stored in the V-memory location that contains the data.

$$D = \frac{65535}{20} \cdot A$$

$$D = \frac{65535}{20} \cdot 10\text{mA}$$

$$D = 32767$$

### 3.2.4 อุปกรณ์วัดค่าทางไฟฟ้า

#### 3.2.4.1 AC 1 Phase Amp Meter

ใช้ในการวัดกระแสไฟฟ้าเมื่อคอมเพรสเซอร์ทำงาน โดยการวัดจะต่อสายด้าน L และ N เข้าที่ด้าน 220 Vac และต่อสาย L เข้าที่ Current transformer เพื่อวัดกระแส ค่ากระแสที่วัดได้ จะแสดงผลที่หน้าจอ

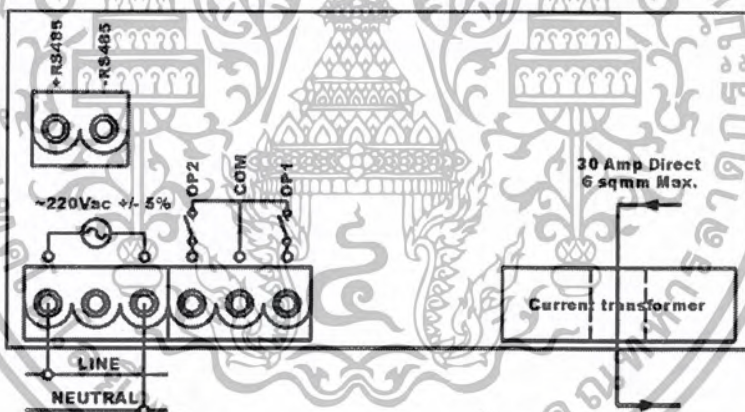


รูปที่ 3.26 แสดงภาพ AC 1 Phase Amp Meter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ตารางที่ 3.6 ข้อมูลทั่วไปของ AC 1 Phase Amp Meter

ข้อมูลทางไฟฟ้า		OPTION COMMUNICATION	
แรงดันไฟเลี้ยงของมิเตอร์	Transformer 180-240Vac 45-65 Hz	ชนิด	RS485
กินไฟสูงสุด	3.6 VA	รูปแบบข้อมูล	1 Start bit, 8 Data bit 1 หรือ 2 Stop bit Parity none, odd, even
Input Protection	Varistor 275Vac 7KA, Fuse 1 Amp	อัตราความเร็ว	1200, 2400, 4800, 9600 และ 19200 bit/sec
Terminal	Unpluggable (แบบยุโรป)	Protocol	Modbus RTU
Output Relay 1,2	Contact 250Vac 3Amp Max + Varistor	ISOLATE	Optocoupler Isoaste
ย่านอุณหภูมิใช้งาน	0-55 องศาเซนเซียส	#Node	32 unit / Network
Input Current		OPTION Analog output 4-20mA	
ชนิด	Current Transformer	Resolution	DAC 16 BIT
ย่านกระแสที่วัด	0.04 - 30 AMP 12 KHz	Load Impedance	300 ohm Max
ภาระโหลดสูงสุด	0.1 VA	Current output	22mA Max.
Accuracy ความถูกต้องในการวัด		ISOLATE	Optocoupler Isolate
กระแสไฟฟ้า	0.25% FS		



รูปที่ 3.27 แสดงการต่อสาย

การใช้งาน AMP METER สามารถวัดค่ากระแสไฟฟ้าและแสดงผลในรูปของหน่วยเป็น xxx.x AMP หรือ xxxx Amp หรือ xxx.x mA หรือ xxxx mA ขึ้นอยู่กับการกำหนดค่าตัวแปร CT ให้กับมิเตอร์ และ จำนวนรอบของสายที่คล้องผ่าน CT ของมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง การตั้งค่าตัวแปร CT (กรณีวัดค่ากระแสสูง และ แสดงผลเป็น xxx.x A หรือ xxxx A) ใช้  
สมการ

$$CT \text{ SETTING} = CT \text{ RATIO ภายนอก} / \text{จำนวนรอบของสายที่คล้องผ่าน CT มอเตอร์}$$

\*\*\* แต่ถ้าต่อตรงโดยไม่ใช้ CT ภายนอก ค่า CT RATIO ภายนอกตามสมการด้านบน จะมี  
ค่า= 5

-กระแสไหลด อยู่ในช่วง 40 mA ถึง 30 A ให้คล้องสายผ่าน Current transformer แบบต่อโดยตรง  
ไม่ต้องใช้ Current transformer ภายนอก

ตั้งค่าตัวแปร CT SETTING = 5/1 CT SETTING = 5 (การต่อตรงค่า CT RATIO ภายนอก  
จะมีค่า= 5) การแสดงผลหน้าจอจะอยู่ในช่วง 0.1 – 30.0 A

-กระแสไหลด มากกว่า 30 A ให้ใช้งานร่วมกับ Current transformer ภายนอกที่มี output 5A เช่น  
ต้องการวัดค่ากระแสไหลด 160 A เลือกใช้ Current transformer 200/5 A ให้คล้องผ่าน Current  
transformer ของมิเตอร์ 1 รอบ

ตั้งค่าตัวแปร CT SETTING = 200/1 CT SETTING = 200

การแสดงผลหน้าจอจะอยู่ในช่วง 0.1 – 200 A

-กระแสไหลด 5,000 A ใช้งานร่วมกับ CT 5000/5 A ให้ตั้ง CT SETTING = 5000 การแสดงผล  
หน้าจอจะอยู่ในช่วง 0-5000 A

ตัวอย่าง การตั้งค่าตัวแปร CT (กรณีวัดค่ากระแสต่ำ และ แสดงผลเป็น xxx.x mA หรือ xxxx mA)

-วัดกระแสไหลด อยู่ในช่วง 40 mA ถึง 1000 mA โดยไม่ใช้ CT ภายนอก

เช่น วัดกระแสไหลดประมาณ 100 mA , คล้องสายจำนวน 10 รอบ ดังนั้น CT SETTING = 5000/10  
รอบ CT SETTING = 500

วัดกระแสไหลดประมาณ 500 mA , คล้องสายจำนวน 5 รอบ ดังนั้น CT SETTING = 500/5รอบ

CT SETTING = 100

การแสดงผลหน้าจอกรณี 100 mA คือ 40.0-100.0 mA และ กรณี 500 mA คือ 40.0-500.0  
mA

-วัดกระแสไหลด อยู่ในช่วง 40 mA ถึง 9.999 A แต่ต้องการให้แสดงผล 40-9999 mA โดยไม่ใช้ CT  
ภายนอก ให้ตั้ง CT SETTING = 5000 เติบสายคล้อง CT 1 รอบ

การแสดงผลหน้าจอจะอยู่ในช่วง 40=9999 mA

การสอบเทียบ AC 1 Phase Amp Meter

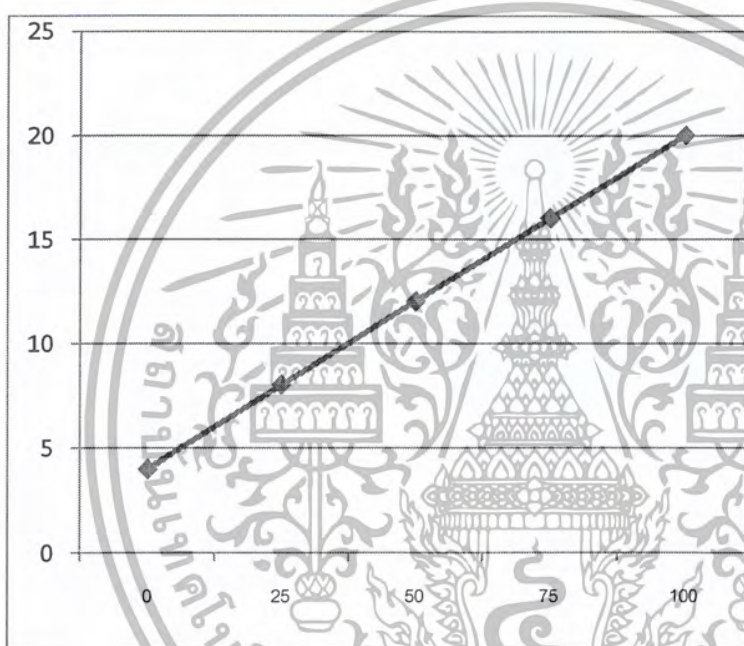
สำหรับการสอบเทียบจะทำได้โดยการต่อ AC 1 Phase Amp Meter เข้ากับแหล่งจ่ายกระแส  
มาตรฐาน โดยทำการป้อนสัญญาณซึ่งอยู่ในช่วง 0.50 – 0.75 mA ที่ค่าต่ำสุดของช่วง ให้ทำการปรับ  
ค่าที่ AC 1 Phase Amp Meter ให้จ่ายค่าสัญญาณ 4 mA และที่ค่าสูงสุด ให้จ่ายค่าสัญญาณ 20 mA

โดยช่วงสัญญาณ 4 – 20 mA จะถูกนำมาเปรียบเทียบสเกล แล้วแสดงต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งวันเว้นสัปดาห์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.7 แสดงผลการสอบเทียบ AC 1 Phase Ampmeter

INPUT		OUTPUT				
%	mA	ก่อน Calibration	หลัง Calibration			
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0	4	5.74	4.00	4.01	4.00	4.00
25	8	8.96	8.03	8.04	7.97	8.01
50	12	12.24	12.04	12.02	12.00	12.02
75	16	15.49	15.98	16.05	16.03	16.02
100	20	18.75	20.01	20.02	20.02	20.02



รูปที่ 3.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง input และ output ของ AC 1 Phase Amp Meter

### 3.2.4.2 เครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้า

ใช้ในการวัดค่าพลังงานที่ใช้ในเครื่องทำน้ำแข็ง โดยวัดจากกระแสและแรงดันไฟ เครื่องมือที่ใช้คือ FLUKE 41B สามารถวัดค่ากำลังไฟฟ้า แรงดัน กระแส และยังสามารถวัดค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor) และแสดงผลเป็นกราฟได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

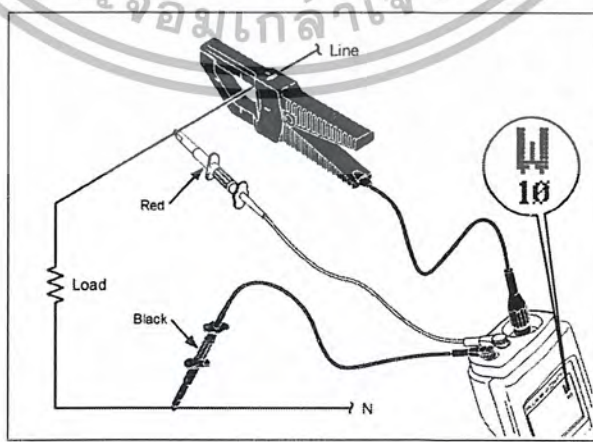


รูปที่ 3.29 เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า FLUKE 41B

ตารางที่ 3.8 คุณสมบัติของเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า FLUKE 41B

Measurement Accuracy	
Voltage	<b>Range and Resolution:</b> 5.0 V to 600 V rms (AC+DC); $\pm 5.0$ V to $\pm 933$ V peak <b>Accuracy:</b> rms: $\pm(0.5\% + 2 \text{ digits})$ ; Peak or DC: $\pm(2\% + 3 \text{ digits})$ (Add 2 digits if $\leq 15$ V rms)
Current (1mV/A) Isolated input	<b>Range and Resolution:</b> 1.00 A to 1000 A rms (AC+DC); $\pm 1.0$ A to $\pm 2000$ A peak <b>Accuracy:</b> rms: $\pm(0.5\% + 3 \text{ digits}) + \text{probe specs}$ ; Peak or DC: $\pm(2\% + 4 \text{ digits}) + \text{probe specs}$
Watts/Volt-Amps (1mV/A) isolated input	<b>Range and Resolution:</b> 0.0W(VA) to 600 kW(kVA) average; 0.0W(VA) to $\pm 2000$ kW(kVA) peak <b>Accuracy:</b> AC+DC: $\pm(1\% + 4 \text{ digits}) + \text{probe specs}$
Harmonics (harmonic level $>5\%$ using Smooth 20)	<b>Volts:</b> Fundamental to 13th $\pm(2\% + 2 \text{ digits})$ ; At 31st $\pm(8\% + 2 \text{ digits})$ ; <b>Aniperes or Watts:</b> Fundamental to 13th $\pm(3\% + 3 \text{ digits}) + \text{probe specs}$ ; At 31st $\pm(8\% + 3 \text{ digits}) + \text{probe specs}$
Frequency	<b>Range and Resolution:</b> 6.0 Hz to 99.9 Hz <b>Accuracy:</b> $\pm 0.3$ Hz

การต่อใช้งานเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า การวัดแรงดัน 1 เฟสโดยใช้หัว Probe ต่อกับสาย L และ N ส่วนการวัดกระแสจะใช้ Clip AMP ในการคล้องสายตามรูปที่ 3.21

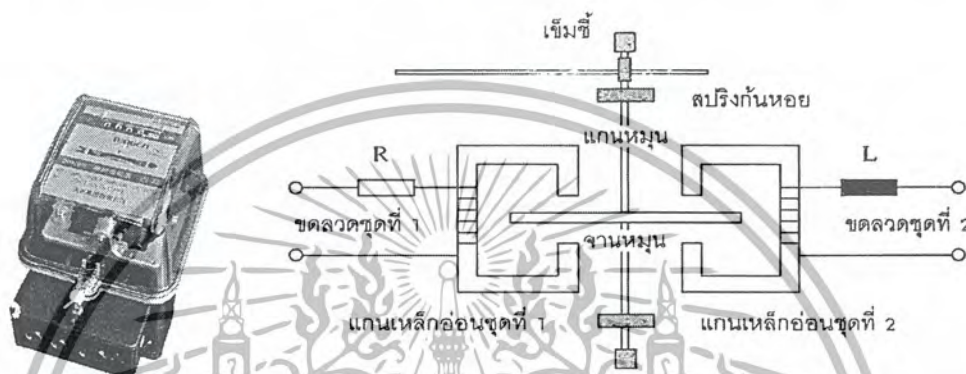


รูปที่ 3.30 การต่อเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า 1 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น ไม่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.4.3 เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า

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



รูปที่ 3.31 เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า (Watt-Hour Meter)

### 3.2.4.4 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ

การวัดอุณหภูมิภายในเครื่องทำน้ำแข็งโดยไม่สัมผัสกับท่อทองแดง จึงใช้ FLUKE 62 mini IR THERMOMETER ที่มีคุณสมบัติครบถ้วนและสะดวกต่อการใช้งาน



รูปที่ 3.32 FLUKE 62 mini IR THERMOMETER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 ส่วนของโปรแกรม

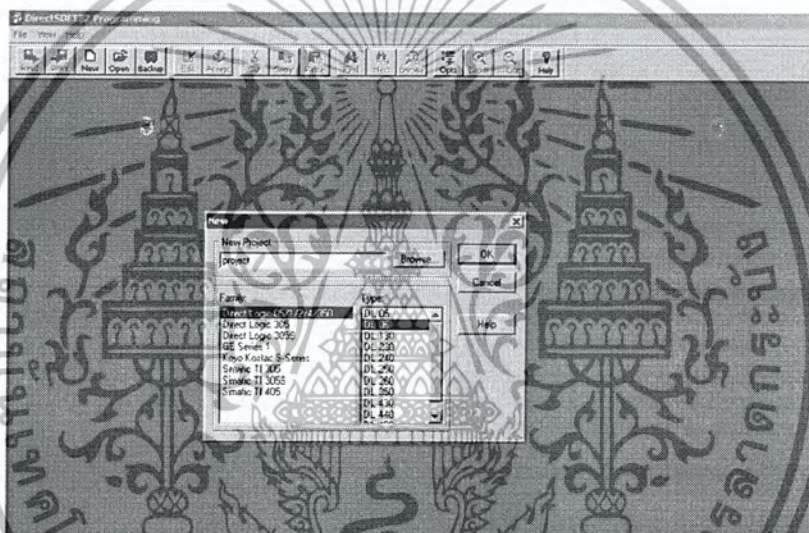
#### 3.3.1 DirectSOFT 5

ในการเขียนโปรแกรมลงใน PLC รุ่น DL06 นั้นจะใช้โปรแกรม DirectSOFT5 ในการเขียน Ladder ซึ่งเป็นโปรแกรมการทำงานของ PLC แล้วทำการ memory ลงไปใน CPU ของ PLC

#### การใช้งานโปรแกรม DirectSOFT5

##### ขั้นตอนแรก

เมื่อทำการคลิก Direct SOFT 5 Program ก็จะมีปรากฏหน้าต่างดังรูปที่ 3.33



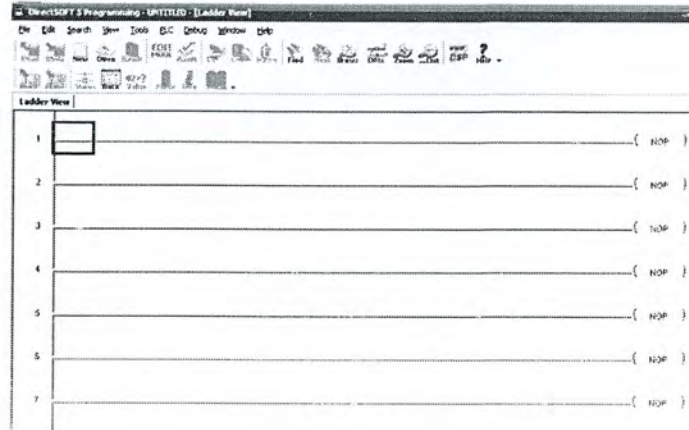
รูปที่ 3.33 แสดงการเปิด New Project ขึ้นมาเพื่อทำการเขียน โปรแกรม

ซึ่งหน้าต่างนี้จะเป็นการเปิด New Project ขึ้นมาเพื่อทำการเขียนโปรแกรม โดยการคลิกที่ช่อง name เพื่อตั้งชื่อ New Project ของคุณ หลังจากนั้น เลือกชนิดของ PLC และรุ่นของ PLC หรือชนิดของ CPU แล้วคลิก OK ก็จะปรากฏหน้าต่างดังรูปต่าง

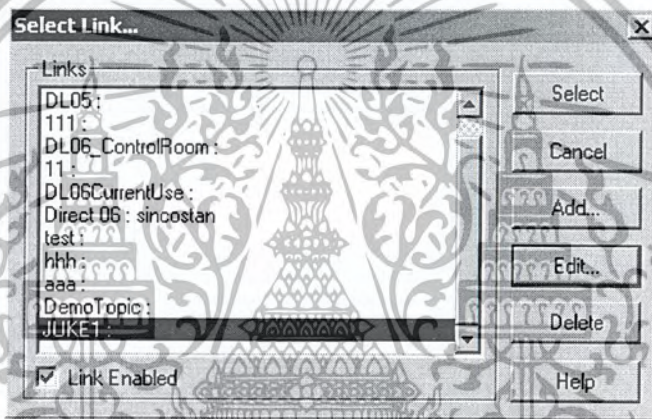
##### ขั้นตอนที่สอง

ทำการต่อ PLC กับเครื่องคอมพิวเตอร์ แล้วทำการเชื่อมต่อเข้าหากันโดยใช้ โปรแกรม DirectSOFT 5 โดยหลังจาก RUN โปรแกรม DirectSOFT5 ขึ้นมา ก็ไปเลือกที่แถบเมนูด้านบนเลือกที่ PLC → Connect จะได้ผลตามรูปที่ 3.34

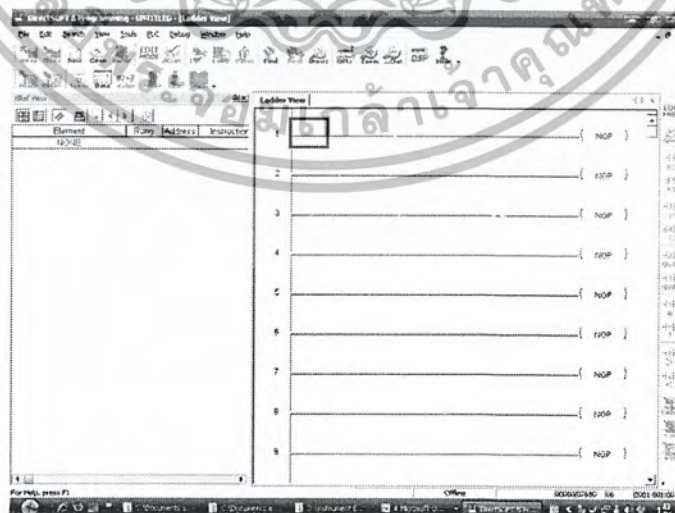
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.34 แสดงการเลือกชนิดของ PLC และรุ่นของ PLC หรือชนิดของ CPU แล้ว คลิก OK



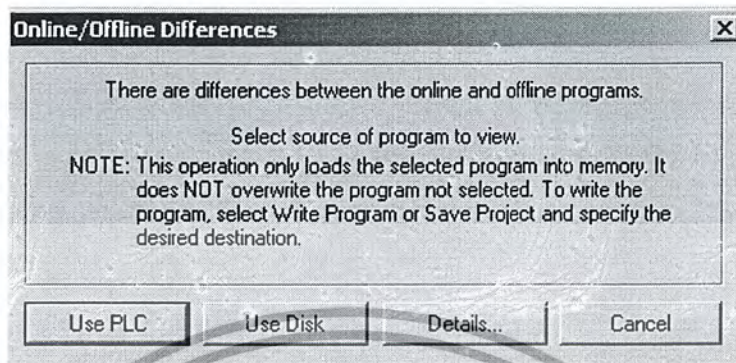
รูปที่ 3.35 แสดงการต่อ PLC กับคอมพิวเตอร์ และทำการ Link กับ โปรแกรม DirectSOFT5



รูปที่ 3.36 แสดงหน้าจอรอการเขียนโปรแกรมให้กับ PLC

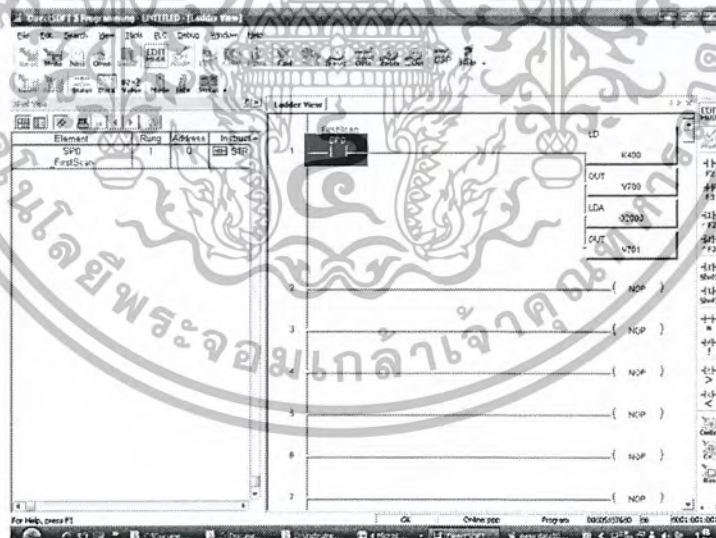
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากนั้นคลิกเลือก Name ในช่อง link แล้วคลิก select ก็จะปรากฏดังรูปข้างล่าง



รูปที่ 3.37 แสดงการเลือกใช้ข้อมูลบน PLC แบบใด

แล้วคลิกเลือก Use PLC โปรแกรมก็จะทำการอ่านโปรแกรมที่อยู่ใน CPU ของ PLC เพื่อที่จะทำการ RUN โปรแกรมที่ค้างอยู่ใน PLC ล่าสุด แต่ถ้าเลือก Use Disk โปรแกรมก็จะทำการเตรียมพร้อมที่จะบันทึกโปรแกรมใหม่ลงใน CPU ของ PLC ดังแสดงในรูปที่ 3.37

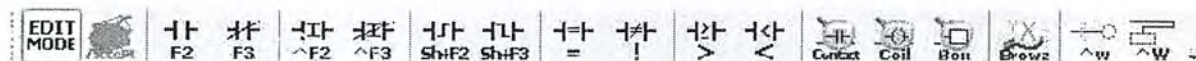


รูปที่ 3.38 เลือก Use Disk เพื่อทำการเขียนโปรแกรม PLC ใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ขั้นตอนที่สาม

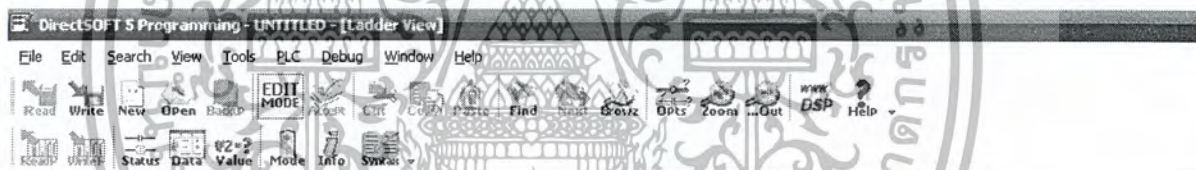
การเขียนโปรแกรมทำได้โดยการคลิกที่ Edit Mode off หนึ่งครั้ง แล้วตัวหนังสือจะเปลี่ยนเป็น Edit Mode On นั้นแสดงว่าพร้อมที่จะทำการเขียนแล้ว แล้วจะปรากฏสัญลักษณ์การเขียน Ladder ดังรูปที่ 3.39



รูปที่ 3.39 แสดงบล็อกลักษณะการเขียน Ladder

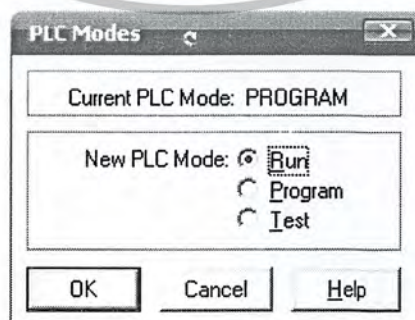
### ขั้นตอนที่สี่

การเขียนโปรแกรมลงใน PLC เมื่อเครื่อง PLC และคอมพิวเตอร์ได้เชื่อมต่อกันเรียบร้อยแล้ว ก็สามารถที่จะเขียนโปรแกรมลงใน PLC ได้โดยผ่านโปรแกรม DirectSOFT5 ซึ่งทำได้โดยการคลิกที่ไอคอนที่สองในแถวที่สองทางซ้ายมือของแถบเมนูด้านบน ซึ่งเป็นการ Write โปรแกรมลงใน PLC ดังรูปที่ 3.40



รูปที่ 3.40 แสดงการใช้งาน Mode ใน PLC

และหลังจากนั้นทำการ Run โปรแกรมโดยคลิกที่ไอคอน Mode ดังแสดงในรูปที่ 3.4 แล้วคลิก RUN PLC ก็จะเข้าสู่โหมด RUN

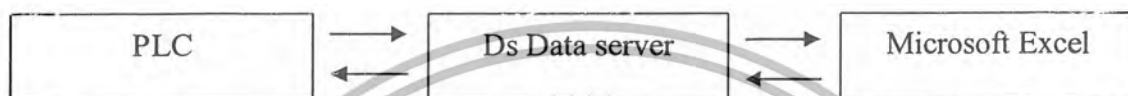


รูปที่ 3.41 แสดงการเลือกโหมดการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.2 โปรแกรม DS Data Server


โปรแกรม DS Data Server เป็นโปรแกรมที่ช่วยในการที่จะให้ Software window แลกเปลี่ยนข้อมูลกับเครื่อง PLC ซึ่งเปรียบเสมือนว่าโปรแกรม DS Data Server จะเป็นล่ามที่ช่วยในการแปลข้อมูลจาก software window เพื่อที่จะให้เครื่อง PLC เข้าใจ และทำงานได้ตามต้องการ หรือทำการแปลข้อมูลที่ได้จากเครื่อง PLC เพื่อให้ Software window เข้าใจ และสามารถนำไปแสดงนำไปแสดงผล การใช้โปรแกรม DS Data Server จะใช้ได้เฉพาะเครื่อง PLC ของยี่ห้อ KOYO เท่านั้น

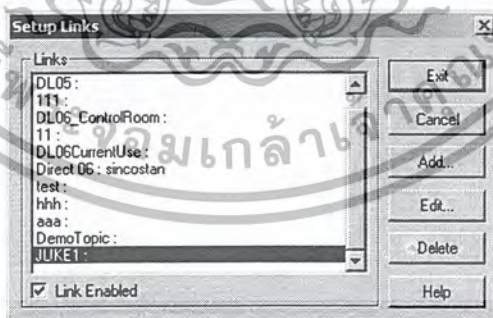


รูปที่ 3.42 แสดงการเชื่อมโยงข้อมูลโดยการใช้โปรแกรม DS Data Server

การติดต่อสื่อสารกันระหว่างโปรแกรม จะใช้การติดต่อได้ 2 แบบ คือ DDE หรือ OPC ของแต่ละโปรแกรม ซึ่ง DDE และ OPC จะเป็น Protocol ที่ใช้ในการติดต่อสื่อสาร

#### การตั้งค่าการเชื่อมต่อกับเครื่อง PLC

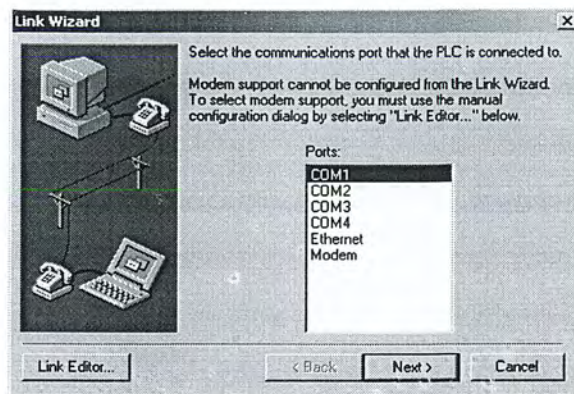
การที่เราจะใช้ Ds Data Server ทำงานได้ต้องทำการตั้งค่าการเชื่อมต่อเสียก่อน โดยการคลิก  จะปรากฏหน้าจอตั้งรูป ถ้าไม่มีการติดต่อสื่อสารมาก่อนจะปรากฏเพียงแต่หน้าจอว่าง ถ้ามีการตั้งค่าไว้แล้วให้ทำการกด Select ได้ทันที



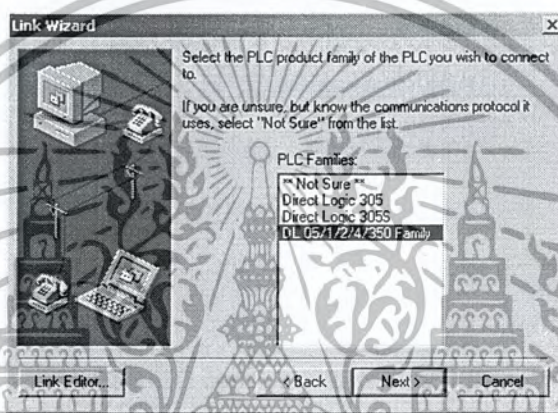
รูปที่ 3.43 แสดงการเลือกการเชื่อมต่อของ PLC

แต่ถ้ายังไม่ได้มีการตั้งค่าเอาไว้ จะต้องสร้างการเชื่อมต่อใหม่ โดยการคลิก Add เพื่อสร้างการเชื่อมต่อใหม่ จะปรากฏหน้าจอตั้งรูป ก็ให้ทำตามขั้นตอนไปเรื่อยๆ โดยสามารถที่จะ เรียกว่า จะติดต่อกับเครื่อง PLC รุ่นไหน และทำการเลือก Protocol ว่าจะใช้ Protocol อะไรในการเชื่อมต่อ

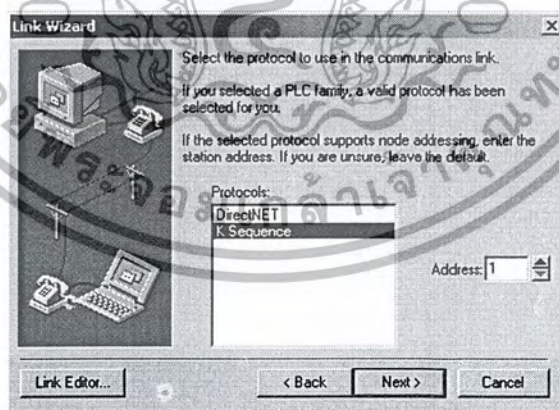
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.44 แสดงการเลือกพอร์ตของเครื่องคอมพิวเตอร์

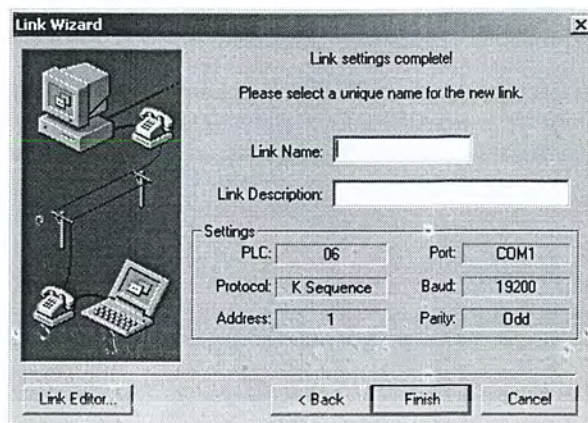


รูปที่ 3.45 แสดงการเลือกรุ่นต่างๆของเครื่อง PLC



รูปที่ 3.46 แสดงการเลือกชนิดของ Protocol

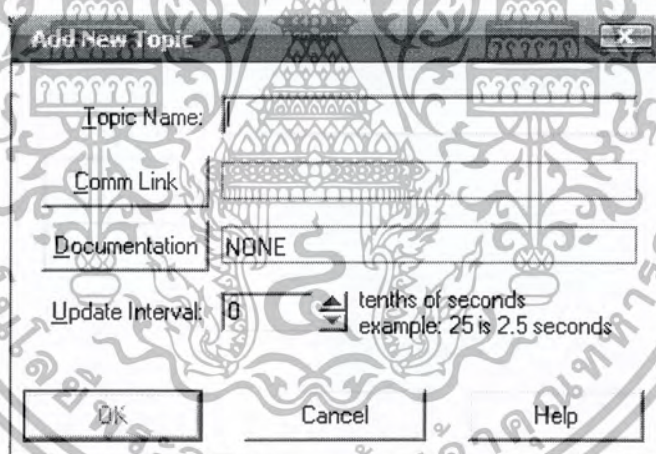
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.47 แสดงการรอกการอ่านข้อมูลของเครื่อง PLC

### การสร้างหัวข้อในการติดต่อกับเครื่อง PLC

หัวข้อ หรือ Topic ที่เราทำการสร้างไว้จะถูกลำนำไปใน โปรแกรม Excel ต่อไป ซึ่งการสร้าง Topic จะทำได้โดยการคลิกที่  ก็จะขึ้นหน้าจอตั้งรูป



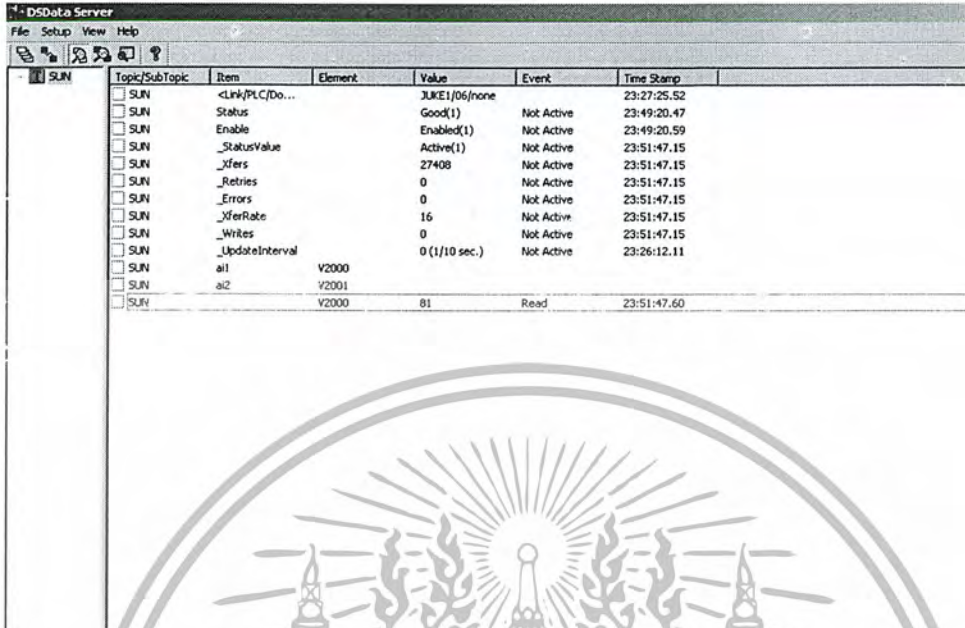
รูปที่ 3.48 แสดงการตั้งชื่อหัวข้อของโปรแกรมของเครื่อง PLC

ให้เราใส่ชื่อของ Topic นั้นๆ เช่น Demo Topic เป็นชื่อของ Topic ถ้าเราได้สร้างการเชื่อมต่อไว้แล้วก็สามารถเลือกได้ทันทีว่าจะใช้การติดต่อแบบไหน เมื่อเราทำการสร้าง Topic เสร็จแล้ว ให้เราทำการคลิกขวาที่ Topic นั้นแล้วเลือก Edit Item

จะขึ้นมาให้เราเขียนชื่อ Item และทำการเลือกว่าจะให้แทนส่วนใดของเครื่อง PLC เช่น C,T,V เป็นต้น

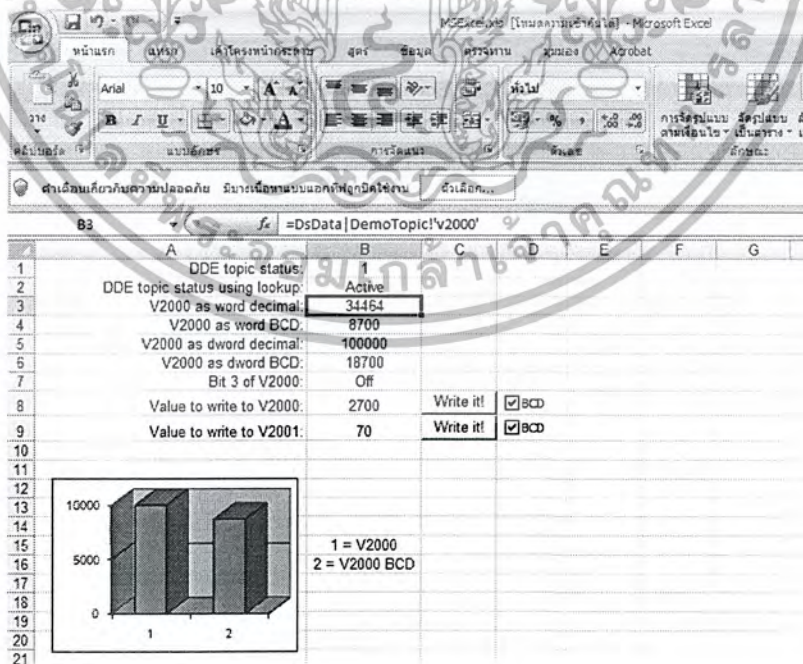
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างเช่น



รูปที่ 3.49 แสดงโปรแกรม Ds data server

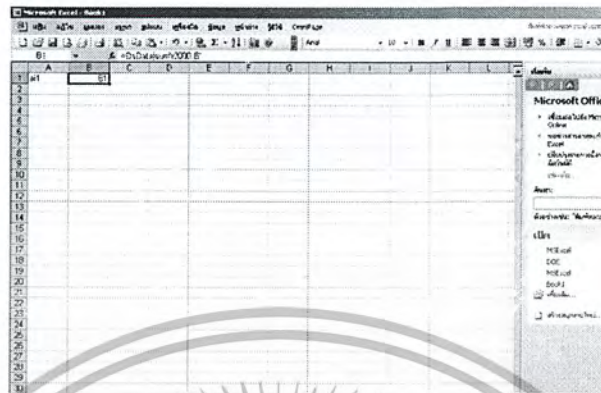
### 3.3.3 ขั้นตอนในการทำการแสดงค่าที่ Microsoft Excel



รูปที่ 3.50 แสดงสูตรที่ใช้ในการส่งผ่านค่า จากโปรแกรม Ds data server ไปยัง Microsoft Excel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปิดไฟล์ดัง รูปที่ 3.50 จากนั้นทำการ copy สูตร ไปวางยังหน้าที่เปิดใหม่



รูปที่ 3.51 แสดง การปรับแก้ Topic ให้เหมือนกับที่สร้างใน Ds Data Server

แล้วแก้สูตรจาก =DsData|DemoTopic!'v2000' ไปเป็น =DsData|sun!'v2000'



ค่าที่จาก Ds data server

รูปที่ 3.52 แสดงค่าที่ออกจากคอมพิวเตอร์

### 3.3.4 การเขียนโปรแกรม

ใช้ Arduino มาใช้เพื่อใช้เขียนโปรแกรม จะมีไลบรารีฟังก์ชันภาษาซีสำหรับติดต่อกับฮาร์ดแวร์จำนวนมากไว้ให้ ทำให้สามารถเขียนโปรแกรมสั่งงานอุปกรณ์ต่างๆ ได้ง่าย โดยไม่จำเป็นต้องศึกษาลงไปในรายละเอียดของไมโครคอนโทรลเลอร์มากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.4.1 โปรแกรม Arduino

#### โครงสร้างโปรแกรมของ Arduino

โปรแกรมของ Arduino แบ่งได้เป็นสองส่วนคือ

#### 1. ส่วนของฟังก์ชัน setup()

ฟังก์ชันนี้จะเขียนที่ส่วนต้นของโปรแกรม ทำงานเมื่อโปรแกรมเริ่มต้นเพียงครั้งเดียว ใช้เพื่อกำหนดค่าของตัวแปร โหมคการทำงานของเขาต่างๆ เริ่มต้นเรียกใช้ไลบรารี

#### 2. ส่วนของฟังก์ชัน loop()

หลังจากที่เขียนฟังก์ชัน setup() ที่กำหนดค่าเริ่มต้นของโปรแกรมแล้วส่วนถัดมาคือฟังก์ชัน loop() ซึ่งมีการทำงานตรงตามชื่อคือจะทำงานตามฟังก์ชันนี้วนต่อเนื่องตลอดเวลาภายในฟังก์ชันนี้จะมีโปรแกรมของผู้ใช้เพื่อรับค่าจากพอร์ต ประมวลผลแล้วส่งเอาต์พุตออกขาต่างๆ เพื่อควบคุมการทำงานของบอร์ด

ฟังก์ชันที่ใช้ในการเขียน โปรแกรม

Delay (ms)

เป็นฟังก์ชันชะลอการทำงานหรือหน่วงเวลาของโปรแกรมตามเวลาที่กำหนดในหน่วยมิลลิวินาที พารามิเตอร์

ms คือ ระยะเวลาที่ต้องการหน่วงเวลา หน่วยเป็นมิลลิวินาที (1000 ms เท่ากับ 1 วินาที)

เราใช้ฟังก์ชันนี้ในการหน่วงเวลาในแต่ละช่วงเวลาในการเกิดฟังก์ชัน ต่อไป

Analogwrite(pin,value)

ใช้ในการเขียนค่านาฬิกาไปยังขาพอร์ตที่กำหนดไว้ เพื่อสร้างสัญญาณ PWM

พารามิเตอร์

Pin - หมายเลขขาพอร์ต

Value - เป็นค่าตัวเลขที่เกิดมีค่าระหว่าง 0 ถึง 255

เมื่อค่าเป็น 0 แรงดันของขาพอร์ตที่กำหนดจะเป็น 0v

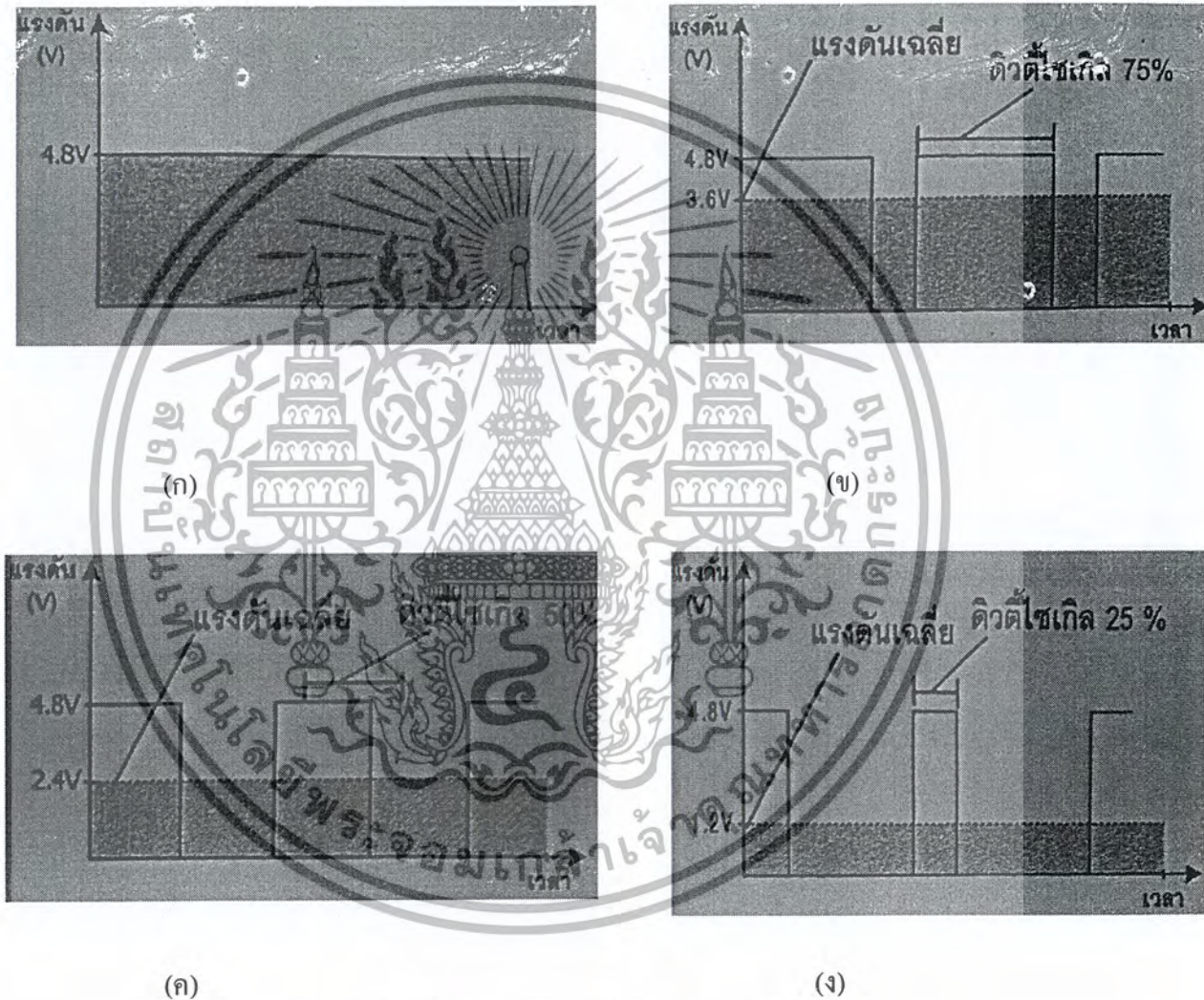
เมื่อค่าเป็น 255 แรงดันของขาพอร์ตที่กำหนดเป็น +5v

เมื่อค่าอยู่ในระหว่าง 0 ถึง 255 จะทำให้ขาพอร์ตที่กำหนดไว้มีค่าแรงดันเปลี่ยนแปลงในย่าน 0 ถึง

5v

### 3.3.4.2 สัญญาณ PWM

PWM ย่อมาจาก Pulse Width Modulation คือ การปรับความกว้างของพัลส์โดยการนำเอาสองสัญญาณมาเปรียบเทียบกัน และสองสัญญาณที่ว่านี้ก็คือสัญญาณ"สามเหลี่ยม" กับสัญญาณที่ต้องการปรับความกว้างของพัลส์ ยกตัวอย่างเช่น ถ้าเรานำสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงมาเปรียบเทียบกับสัญญาณสามเหลี่ยม เราก็จะได้สัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างคงที่นั่นเองดังรูปข้างล่างนี้



รูป 3.53 (ก) PWM มีดีวตี้ไซเคิล 100%

(ข) PWM มีดีวตี้ไซเคิล 75%

(ค) PWM มีดีวตี้ไซเคิล 50%

(ง) PWM มีดีวตี้ไซเคิล 25%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ชุดทดลองเครื่องทำน้ำแข็ง
2. วัดวัตต์เมตร (Watt Meter)
3. เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า (Watt-hour Meter)
4. เวอร์เนีย
5. อุปกรณ์วัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด
6. ชุดวัดอุณหภูมิแบบ RTD
7. บีกเกอร์ตวงน้ำ
8. เกจเติมน้ำยา (Pressure Gauge)
9. อินเวอร์เตอร์ (Inverter)
10. ชุดควบคุมความถี่โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

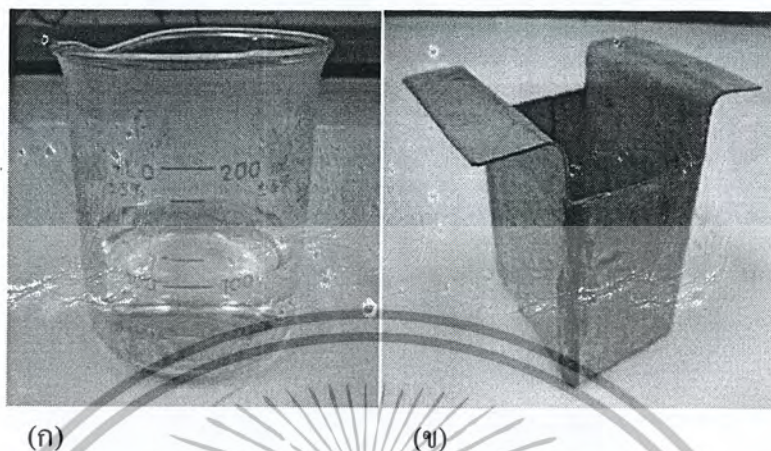
#### 4.2 ลำดับขั้นตอนเตรียมการทดลอง

1. ต่อสายเคเบิลวัดความดันเข้ากับทางด้าน Low และ High (ของวัฏจักรเทอร์โมไดนามิกส์ จุด 1 และ 3)
2. นำวัตต์เมตรมาคล้องทางด้านสายไฟที่เข้ามาคอมเพรสเซอร์
3. ต่ออินเวอร์เตอร์กับชุดควบคุมความถี่และชุดวัดอุณหภูมิ
4. เติมน้ำที่ใช้ทดลอง โดยการวัดปริมาตรจากบีกเกอร์
5. วัดอุณหภูมิของน้ำ และอุณหภูมิภายนอก
6. นำน้ำเข้าไปในช่องที่เตรียมไว้ในการทำน้ำแข็ง
7. เปิดเครื่องทำความเย็น
8. บันทึกผล ค่าที่วัดได้ในรอบแรก
9. เมื่อระบบคงที่ให้วัดอุณหภูมิที่ทางด้าน Low และ High (ของวัฏจักรจุด 1 และ 3)
10. ทำการวัดความดันอุณหภูมิที่จุด 1 และ 3 ของวัฏจักร เก็บค่าพลังงานที่ใช้ทุกๆ 10 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

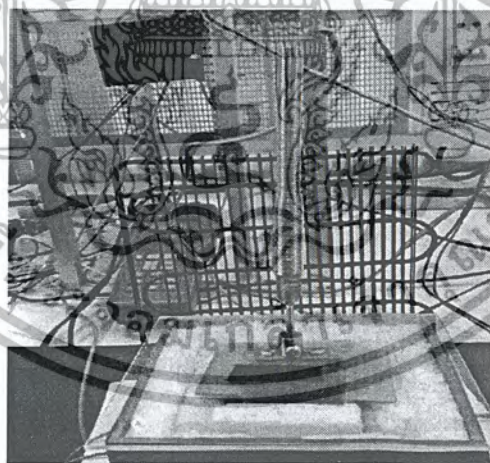
### 4.3 ขั้นตอนการทดลอง

1. ตวงน้ำใส่บีกเกอร์ให้ได้ปริมาตร 100 cc. และนำไปเทใส่ของน้ำแข็ง



รูปที่ 4.1 (ก) ปริมาตรน้ำ 100 cc. ตวงจากบีกเกอร์  
(ข) ของทำน้ำแข็ง

2. วัดอุณหภูมิภายในห้องและอุณหภูมิของน้ำโดยใช้ชุดวัดอุณหภูมิควบคุมอุณหภูมิภายในห้องไว้ที่  $24^{\circ}\text{C}$  และอุณหภูมิน้ำให้มีอุณหภูมิประมาณ  $24^{\circ}\text{C}$



รูปที่ 4.2 วัดอุณหภูมิน้ำโดยใช้เซนเซอร์อาร์ทีดี

3. อ่านค่า เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า (Watt-Hour Meter) ก่อนเริ่มทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 พลังงานที่ใช้ในการทำน้ำแข็งอ่านค่าได้จากเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า (Watt-Hour Meter)

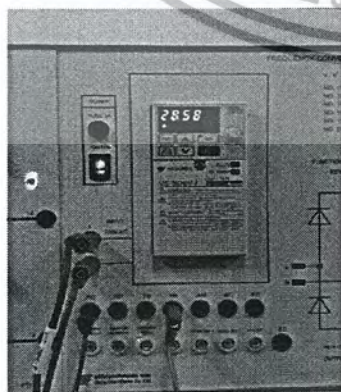
4. กดปุ่ม “Run” เพื่อให้อินเวอร์เตอร์ทำงาน ปรับฟังก์ชัน เพื่อให้อินเวอร์เตอร์รับสัญญาณ จากชุดควบคุมความถี่อ่านค่าความดันที่จุดที่ 1 และ 3 ของวัฏจักร โดยอ่านจากเกจเติมน้ำยาและวัด อุณหภูมิที่จุดที่ 1 และ 3 ของวัฏจักร และอ่านค่าพลังงานไฟฟ้าจากวัตต์มิเตอร์ (Watt Meter) โดย เราจะทำการเก็บค่าวัดแต่ละกระแสในทุกๆ 10 นาทีเพื่อนำมาทำการพลอตกราฟ



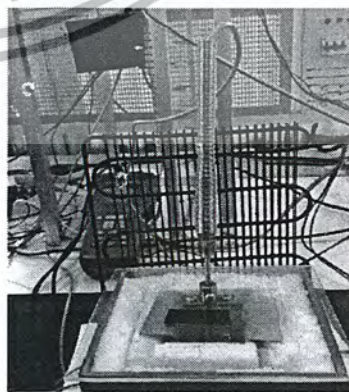
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- รูปที่ 4.4 (ก) วัดคีมิตอร์ (Watt Meter) ที่ใช้ในการเก็บค่าพลังงานและกระแสไฟฟ้าทุก ๆ 10 นาที  
 (ข) เกจเติมน้ำยาใช้สำหรับวัดความดันที่จุด 1 และจุด 3 ของวัฏจักร  
 (ค) อินเวอร์เตอร์ใช้สำหรับใช้ควบคุมความถี่ที่จ่ายให้แก่คอมเพรสเซอร์  
 (ง) อุปกรณ์วัดอุณหภูมิแบบRTD โดยต่ออยู่กับชุดวัดอุณหภูมิเพื่ออ่านค่าอุณหภูมิที่วัดได้  
 ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิที่จุด 1 และ 3 ของวัฏจักร

5. เมื่ออุณหภูมิของน้ำลดลงจนถึง  $0^{\circ}\text{C}$  น้ำจะเริ่มเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นของแข็ง ซึ่งเราจะทำการเก็บค่าความหนาของน้ำแข็ง โดยใช้เวอร์เนียในการประมาณค่าดังรูป โดยที่ X1, X2, X3, X4, X5 คือความหนาของน้ำแข็งของแต่ละด้านของช่องน้ำแข็งดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 การใช้เวอร์เนียในการวัดความหนาของน้ำแข็งแต่ละด้าน

6. ทำการทดลองเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนน้ำกลายเป็นน้ำแข็งทั้งหมด และนำค่าที่อ่านมาบันทึกลงในตาราง หลังจากนั้นเมื่อน้ำเป็นน้ำแข็งหมดก็ทำการอ่านค่าพลังงานที่ใช้จากเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า (Watt-hour Meter) และนำมาลบออกจากค่าที่วัดตอนเริ่มทำการทดลอง ก็จะได้พลังงานที่ใช้ทั้งหมด

#### 4.4 การทดลอง แบ่งออกเป็น 3 กรณี

##### การทดลองกรณี 1

ใช้ความถี่ที่ 50 Hz โดยทดลองที่ช่วงเวลาต่างๆกัน เช้า กลางวัน เย็น เพื่อดูค่าพลัง งานที่ใช้ จะมีผลอย่างไรเมื่ออุณหภูมิภายในห้องและภายนอกห้องแตกต่างกัน โดยเราควบคุมอุณหภูมิภายในห้องและอุณหภูมิของน้ำคอนกรีตเริ่มต้นให้คงที่ เพื่อทดลองดูว่าความร้อนภายนอกห้องที่เวลาต่างๆกันจะมีผลอย่างไรกับเวลาและพลังงานที่ใช้ในการทำน้ำแข็งแต่ละก้อนเมื่ออุณหภูมิภายในห้องคงที่

##### ผลการทดลอง



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงค่าพลังงานที่ใช้ในแต่ละช่วงเวลา

จากการรูปที่ 4.6 จะเห็นว่าที่ช่วงเวลาต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองนั้นพลังงานที่ใช้ในการทำน้ำแข็งมีค่าใกล้เคียงกันมาก และเวลาที่ใช้ในการทำน้ำแข็งก็ไม่แตกต่างกันมากนัก คือ

ช่วงเช้า ใช้พลังงานในการทำน้ำแข็ง 0.183 kW-hr ใช้เวลา 122 นาที

ช่วงกลางวัน ใช้พลังงานในการทำน้ำแข็ง 0.184 kW-hr ใช้เวลา 123 นาที

ช่วงเย็น ใช้พลังงานในการทำน้ำแข็ง 0.183 kW-hr ใช้เวลา 121 นาที

จะเห็นว่าช่วงกลางวันใช้พลังงานในการทำน้ำแข็งมากกว่าช่วงเวลาอื่น แต่ไม่ได้แตกต่างกันมากนัก ส่วนพลังงานในช่วงเช้าและเย็นมีค่าเท่ากันและในเรื่องของเวลามีค่าใกล้เคียงกันมากในแต่ละช่วงที่ทำการทดลอง

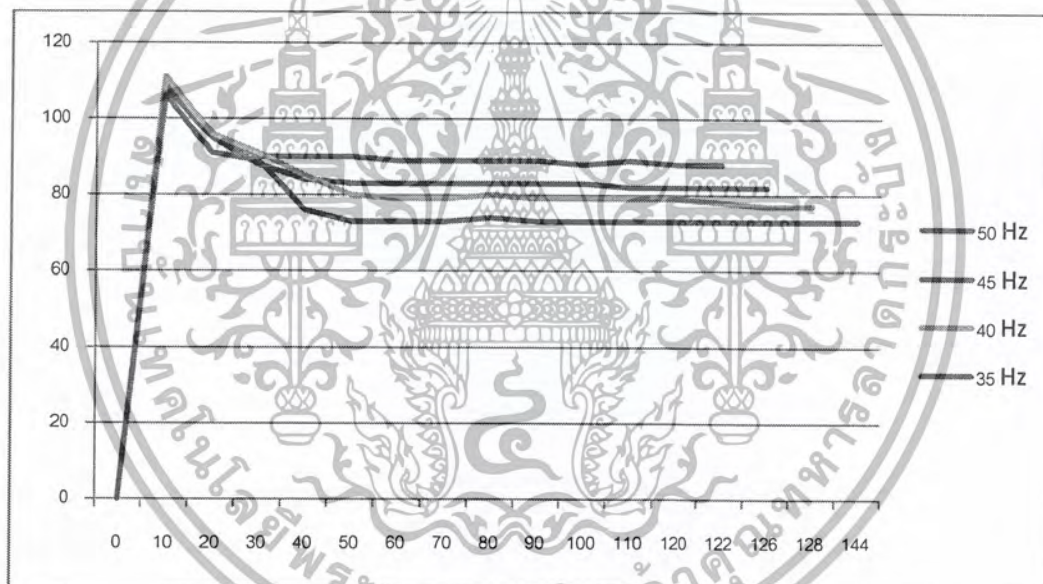
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### สรุปผลการทดลองในกรณีที่ 1

การทำน้ำแข็งในช่วงความถี่เดียวกันและ อุณหภูมิภายในห้องมีค่าใกล้เคียงกัน โดยจะใช้พลังงานในการทำน้ำแข็งใกล้เคียงกัน ส่วนอุณหภูมิภายนอกห้องนั้นมีผลกระทบต่อการทำน้ำแข็งน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับกรทดลองปกติทั้งพลังงานที่ใช้ในการทำน้ำแข็งและเวลานั้นไม่ค่อยแตกต่างกันมากนัก

### การทดลองกรณี 2

ทดลองปรับความถี่ลดลงเป็น 50 Hz 45 Hz 40 Hz และ 35 Hz ตามลำดับ เพื่อเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในแต่ละช่วงความถี่ที่ปรับลด โดยควบคุมอุณหภูมิภายในห้องและนอกห้องให้คงที่ เพื่อทดลองดูว่าการปรับลดความถี่ในช่วงที่น้ำเริ่มเปลี่ยนสถานะจากของเหลวไปเป็นของ แข็งงจะมีผลอย่างไรกับเวลาและพลังงานที่ใช้ในการทำน้ำแข็งแต่ละก้อน



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าพลังงานของแต่ละช่วงความถี่ที่ปรับลดลง

จากรูปที่ 4.7 แสดงให้เห็นค่าพลังงานที่ใช้ในการทำน้ำแข็งแต่ละช่วงความถี่ จะเห็นว่าเมื่อปรับลดความถี่ทีละ 5 Hz เวลาที่ใช้ในการทำน้ำแข็งจะเพิ่มขึ้น ส่วนพลังงานที่ใช้นั้นแสดงได้ดังนี้

ความถี่ 50 Hz	ใช้พลังงานในการทำน้ำแข็ง	0.183kW-hr	ใช้เวลา 122 นาที
ความถี่ 45 Hz	ใช้พลังงานในการทำน้ำแข็ง	0.185 kW-hr	ใช้เวลา 126 นาที
ความถี่ 40 Hz	ใช้พลังงานในการทำน้ำแข็ง	0.180 kW-hr	ใช้เวลา 128 นาที
ความถี่ 35 Hz	ใช้พลังงานในการทำน้ำแข็ง	0.194 kW-hr	ใช้เวลา 144 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นว่าที่ความถี่ 40 Hz ใช้พลังงานในการทำน้ำแข็งน้อยที่สุดแต่ใช้เวลามากกว่าที่ความถี่ 50 Hz อยู่ 6 นาที และใช้พลังงานลดลงจากปกติ 0.003 คิคเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ 1.64 % เมื่อเทียบกับที่ความถี่ 50 Hz

### สรุปผลการทดลองในกรณีที่ 2

จากการทดลองจะเห็นว่าเมื่อเราทำการปรับลดความถี่ลงในช่วงที่เกิดน้ำแข็งมีผลทำให้พลังงานที่ใช้เปลี่ยนไป โดยที่ความถี่ 40 Hz ใช้พลังงานน้อยที่สุดและสามารถประหยัดพลังงานลงได้ 1.64 % เมื่อเทียบกับความถี่ 50 Hz แต่เวลาที่ใช้ในการทำน้ำแข็งมากกว่า ความถี่ 50 Hz ซึ่งไม่อาจสรุปได้ว่าที่ความถี่ 40 Hz เป็นค่าที่ดีที่สุด

### การทดลองกรณี 3

ทดลองปรับความถี่ตามการถ่ายเทความร้อนที่เปลี่ยนไปเนื่องจากความหนาของน้ำแข็งที่เกิดขึ้น โดยควบคุมอุณหภูมิภายในห้องและนอกห้องให้คงที่เพื่อทดลองดูว่าความหนาที่แนวความคิดที่นำมาใช้ในการประหยัดพลังงานได้ผลมากน้อยเพียงใด



#### 4.5 ผลการทดลอง

จากตารางที่ 4.1 เป็นการเฉลี่ยการเก็บค่าเป็นจำนวน 5 ครั้ง

ตารางที่ 4.1 เวลาในทดลองที่ความถี่ 50 Hz

เวลาเริ่ม	19.02	เวลาสิ้นสุด	20.58
ปริมาตรน้ำ	100 cc	ปรับความถี่	50 Hz
ปริมาตรน้ำ ( $V_{น้ำ}$ ) =	100	cc	
อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น ( $T_{น้ำ}$ ) =	24	°C	
อุณหภูมิภายในห้อง ( $T_{ภายใน}$ ) =	24.4	°C	
อุณหภูมิภายนอกห้อง ( $T_{ภายนอก}$ ) =	35.42	°C	

เวลา (นาที)	ความหนาของน้ำแข็ง mm.					วัฏจักรจุดที่ 3 (จุด High)		วัฏจักรจุดที่ 1 (จุด Low)		พลังงาน ไฟฟ้า		$T_{น้ำ}$ (°C)	อุณหภูมิ คอลล์เซ็น (°C)	ความถี่ ที่ป้อน Hz
	X1	X2	X3	X4	X5	$P_3$ (PSI)	$T_{น้ำ(3)}$	$P_1$ (PSI)	$T_{น้ำ(1)}$	watt	กระแส (A)			
0	-	-	-	-	-	64	32	66	-7	97	0.63	24		50
10	-	-	-	-	-	90	32	11	-7	84	0.58	16.2	-21	50
20	-	-	-	-	-	90	26	9	-9	80	0.57	3.2	-20	50
30	-	-	-	-	-	90	26	9	-11	80	0.57	1.5	-20	50
40	4.9	2.45	2	2.15	0.3	90	28	9	-9.5	79	0.57	0.99	-21	50
50	6.8	4.45	5.2	4.05	3.11	90	28	10	-10	79	0.56	0.93	-21	50
60	8.39	5.28	4.35	5.33	5.24	90	28	10	-10	79	0.56	0.84	-21	50
70	9.96	5.93	5.96	7.01	7.42	90	28	10	-10	78	0.55	0.84	-21	50
80	11.2	9.01	9.25	8.53	11.12	90	28	10	-10	79	0.57	0.61	-21	50
90	14.91	9.27	9.97	10.13	15.13	90	28	10	-10	76	0.55	0.44	-21	50
100	16.17	11.34	14.04	11.56	21.5	90	28	10	-10	74	0.55	-0.77	-21	50
110	20.11	12.47	17.45	13.4	29.12	90	28	10	-10	72	0.55	-2.8	-21	50
116	24.92	16.69	23.43	16.42	55.45	90	28	10	-10	72	0.55	-3	-22	50

เวลาในการทำน้ำแข็ง 116 นาที

ค่าพลังงาน 0.150 kW-hr

%RH 55

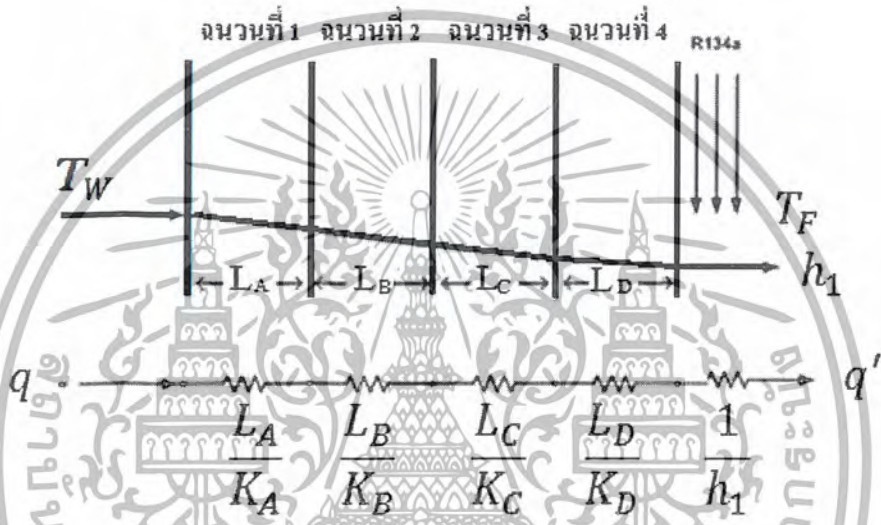
หมายเหตุ : การใช้ปริมาตรน้ำในการทำน้ำแข็งที่ต่างกันจะมีผลกับเวลาในการทำน้ำแข็งแต่ละก้อน คือ ถ้าใช้ปริมาตรน้ำที่มากก็จะใช้เวลาในการทำน้ำแข็งนาน เป็นต้น ที่เลือกใช้ปริมาตร น้ำ 100 cc. เนื่องจากของน้ำแข็งมีขนาดเล็ก และถ้าใช้น้ำ 100 cc. เวลาในการทำน้ำแข็งก็จะไม่นานมากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการถ่ายเทความร้อนของห้องทำน้ำแข็ง ( $\dot{Q}_x$ ) ความสามารถในการทำความเย็นของ วัฏจักร ( $Q_L$ ) และอัตราการไหลโดยมวลของสารทำความเย็น R-134a (m) หาได้ดังนี้

อัตราการถ่ายเทความร้อนของห้องทำน้ำแข็ง ( $\dot{Q}_x$ )

ขณะเป็นน้ำทั้งหมด



รูปที่ 4.8 อัตราการถ่ายเทความร้อนของช่องน้ำแข็งในสถานะเป็นของเหลวทั้งหมด

จากรูปที่ 4.8 เป็นอัตราการถ่ายความร้อนของช่องน้ำแข็งในกรณีที่น้ำยังคงไม่มีการเปลี่ยนสถานะไปเป็นของแข็ง โดย  $T_W$  คืออุณหภูมิของน้ำในขณะเวลานั้น ๆ ส่วน  $T_F$  คือ อุณหภูมิของสารทำความเย็น R-134a ในขณะเวลานั้น ๆ โดยที่การนำความร้อนจะนำความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังอุณหภูมิต่ำ จากตารางที่ 4.1 จะเห็นว่า อุณหภูมิของน้ำสูงกว่าอุณหภูมิของ สารทำความเย็นความร้อนก็จะถูกนำจากน้ำไปยังสารทำความเย็นโดยผ่าน สังกะสี ช่องอากาศ สังกะสี และ ทองแดง รูปที่ 4.9 หลังจากนั้นความร้อนที่ผ่านมาจะถูกสารทำความเย็นพาออกไปทิ้งยังคอยล์-ร้อน(Condenser)ตามทฤษฎีของเทอร์โมไดนามิกส์

โดยที่

$L_A$  คือ ความหนาของช่องน้ำแข็ง (ช่องน้ำแข็งทำจากสังกะสี)

$L_B$  คือ ความหนาของช่องว่างอากาศ

$L_C$  คือ ความหนาของช่องใส่ช่องน้ำแข็ง (ช่องใส่ช่องน้ำแข็งทำจากสังกะสี)

$L_D$  คือ ความหนาของท่อทองแดงที่ใช้ทำเป็นอีวาโปเรเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากบทที่ 3 รูปที่ 3.7 จะได้ขนาดของห้องทำน้ำแข็งดังนี้

$$L_A = 9.4 \times 10^{-3} \quad mL_B = 9.9 \times 10^{-3} \quad m$$

$$L_C = 9.4 \times 10^{-3} \quad m \quad L_D = 11.4 \times 10^{-3} \quad m$$

ส่วน  $k_A, k_B, k_C, k_D$  คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุต่างซึ่งดูได้จากภาคผนวกจะได้

$$k_{\text{น้ำแข็ง}} = 2.18 \quad \frac{W}{m \cdot K} \quad k_{\text{อากาศ}} = 0.024 \quad \frac{W}{m \cdot K}$$

$$k_{\text{ทองแดง}} = 401 \quad \frac{W}{m \cdot K} \quad k_{\text{ไม้แข็ง}} = 2.18 \quad \frac{W}{m \cdot K}$$

$$k_{\text{สังกะสี}} = 116 \quad \frac{W}{m \cdot K} \quad h_1 = 2500 \quad W/(m^2 \cdot ^\circ C)$$



รูปที่ 4.9 การทดลองขณะมีสถานะเป็นน้ำและการวัดความหนาแต่ด้าน

จากรูปที่ 4.9 X1, X2, X3, X4, X5 คือความหนาของน้ำแข็งที่เกิดขึ้น โดย X1 และ X3 คือความหนาทางด้านกว้างของช่องน้ำแข็ง X2 และ X4 คือความหนาทางด้านยาว ส่วน X5 คือความหนาทางด้านลึก

จากตารางที่ 4.1 หาอัตราการถ่ายเทความร้อนขณะเป็นน้ำที่เวลา 10 นาที ได้ดังนี้  
อัตราการถ่ายเทความร้อนของห้องทำน้ำแข็ง ( $Q_x$ ) หาได้ดังนี้  
จากสมการที่ (3.6) ในบทที่ 3 จะได้

$$AR_{\text{tot}} = \frac{L_A}{k_A} + \frac{L_B}{k_B} + \frac{L_C}{k_C} + \frac{L_D}{k_D} + \frac{1}{h_1} \quad \text{มีหน่วยเป็น } ^\circ C/W$$

$$L_A = L_C \quad \text{จะได้} \quad = \frac{2(9.4 \times 10^{-3})}{116} + \frac{9.9 \times 10^{-3}}{0.024} + \frac{11.4 \times 10^{-3}}{401} + \frac{1}{2500}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 416.69 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

จากสมการที่(3.5)จะได้

$$U = \frac{1}{R_{\text{tot}A}} = \frac{1}{416.69 \times 10^{-4}} = 23.9987$$

จากตารางที่ 4.1 ที่เวลา 10 นาที  $T_w = 16.5 \text{ } ^\circ\text{C}$  ,  $T_F = -17.7 \text{ } ^\circ\text{C}$  และพื้นที่ที่หน้าสัมผัสแต่ละด้านเท่ากับซึ่ง  $A_1$  คือพื้นที่หน้าสัมผัสของผนังด้าน X1 ทำนองเดียวกับ  $A_2, A_3, A_4, A_5$  ก็คือพื้นที่หน้าสัมผัสของด้าน X2, X3, X4, X5 ตามลำดับ

โดยที่

$$A_1, A_3 = 23.845 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_2, A_4 = 16.011 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_5 = 26.25 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

จากสมการที่ (3.4) จะได้

$$\dot{Q}_x = UA(T_w - T_F)W$$

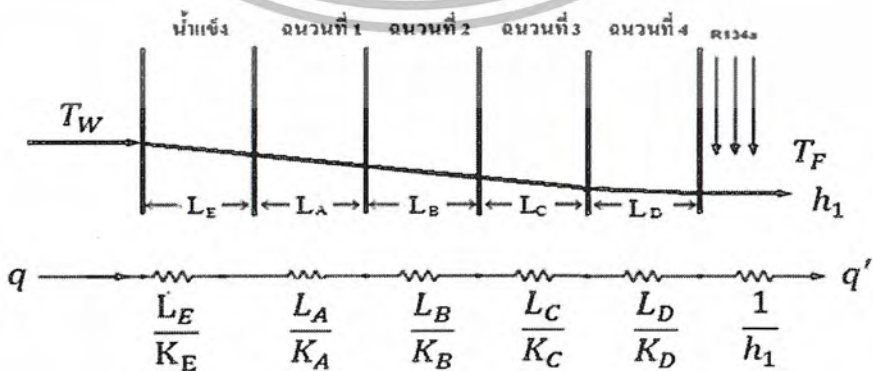
จะได้

$$\dot{Q}_x = U(T_w - T_F)[A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5]$$

$$= 820.754[(23.845 + 16.011 + 23.845 + 16.011 + 26.25) \times 10^{-4}]$$

$$= 9.415 \text{ W}$$

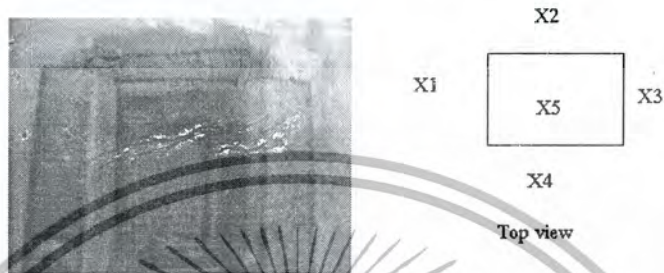
ขณะที่เป็นน้ำแข็งทั้งหมด



**รูปที่ 4.10** อัตราการถ่ายเทความร้อนของห้องทำน้ำแข็งในสถานะเป็นน้ำแข็งทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.10 จะคล้ายกับอัตราการถ่ายเทความร้อนขณะที่เป็นน้ำแต่ต่างกันตรงที่เมื่อน้ำเริ่มเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นของแข็งน้ำแข็งที่เริ่มหนาขึ้นซึ่งจะเป็นเสมือนตัวต้านทานความร้อนอีกชั้นหนึ่ง โดยเราแทนความหนาที่เพิ่มขึ้นนี้ด้วย  $L_E$  และสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของน้ำแข็ง ( $k_{น้ำแข็ง}$ ) มีค่าประมาณ  $2.18 \frac{W}{m \cdot K}$



รูปที่ 4.11 การทดลองขณะมีสถานะเป็นน้ำแข็งทั้งหมดและการวัดความหนาแต่ด้าน

จากรูปที่ 4.12  $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5$  คือความหนาของน้ำแข็งที่เกิดขึ้น โดย  $X_1$  และ  $X_3$  คือความหนาทางด้านกว้างของช่องน้ำแข็ง  $X_2$  และ  $X_4$  คือความหนาทางด้านยาว ส่วน  $X_5$  คือความหนาทางด้านลึก

โดยกำหนดความต้านทานทางความร้อนใหม่แทนด้วย ( $AR_{tot1}$ ) เมื่อน้ำเริ่มเปลี่ยนสถานะเป็นน้ำแข็งเพื่อให้ง่ายต่อคำนวณหาค่า  $AR_{tot1}$  ได้ดังนี้

จากตารางที่ 4.1 ห้ออัตราการถ่ายเทความร้อนขณะเป็นน้ำแข็งที่เวลา 120 นาที  $T_w = -3^\circ C, T_f = -22^\circ C$  และ  $X_1 = 20.99 \times 10^{-3} m, A_1 = 23.845 \times 10^{-4} m^2$  จะได้ว่าดังนี้

จากสมการที่ (3.7) จะได้ว่า

$$A_1 R_{tot1} = AR_{tot} + \frac{L_E}{k_E} \frac{c}{W}$$

$$A_1 R_{tot1} = 416.69 \times 10^{-4} + \frac{20.99 \times 10^{-3}}{2.18}$$

$$A_1 R_{tot1} = 0.0513^\circ C/W$$

จากสมการที่(3.5)จะได้

$$U_1 = \frac{1}{R_{tot1} A_1} = \frac{1}{0.0513} = 19.493$$

และจากสมการที่ (3.4) จะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\dot{Q}_{x1} = U_1(T_w - T_F)A_1W$$

$$\dot{Q}_{x1} = 368.421 \times 23.845 \times 10^{-4}$$

$$\dot{Q}_{x1} = 0.7994 \quad W$$

ที่  $X_2 = 31.26 \times 10^{-3} \text{ m}$ ,  $A_2 = 16.011 \times 10^{-4} \text{ m}^2$  หาอัตราการถ่ายเทความร้อนได้ดังนี้ จากสมการที่ (3.7) จะได้

$$A_2 R_{\text{tot1}} = 416.69 \times 10^{-4} + \frac{31.26 \times 10^{-3}}{2.18}$$

$$A_2 R_{\text{tot1}} = 0.0560 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

จากสมการที่(3.5)จะได้

$$U_2 = \frac{1}{R_{\text{tot1}}A_2} = \frac{1}{0.0560} = 17.857$$

และจากสมการที่ (3.4) จะได้

$$\dot{Q}_{x2} = U_2(T_w - T_F)A_2W$$

$$\dot{Q}_{x2} = 337.449 \times 16.011 \times 10^{-4}$$

$$\dot{Q}_{x2} = 0.4917 \quad W$$

ที่  $X_3 = 20.99 \times 10^{-3} \text{ m}$ ,  $A_3 = 23.845 \times 10^{-4} \text{ m}^2$  หาอัตราการถ่ายเทความร้อนได้ดังนี้ จากสมการที่ (3.7) จะได้

$$A_3 R_{\text{tot1}} = 416.69 \times 10^{-4} + \frac{20.99 \times 10^{-3}}{2.18}$$

$$A_3 R_{\text{tot1}} = 0.0513 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

จากสมการที่(3.5)จะได้

$$U_3 = \frac{1}{R_{\text{tot1}}A_3} = \frac{1}{0.0513} = 19.493$$

และจากสมการที่ (3.4) จะได้

$$\dot{Q}_{x3} = U_3(T_w - T_F)A_3W$$

$$\dot{Q}_{x3} = 368.421 \times 23.845 \times 10^{-4}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้  $\dot{Q}_{x3} = 0.7994$  ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่  $X_4 = 31.26 \times 10^{-3} \text{ m}$ ,  $A_4 = 16.011 \times 10^{-4} \text{ m}^2$  หาอัตราการถ่ายเทความร้อนได้ดังนี้ จากสมการที่ (3.7) จะได้

$$A_4 R_{\text{tot}1} = 416.69 \times 10^{-4} + \frac{31.26 \times 10^{-3}}{2.18}$$

$$A_4 R_{\text{tot}1} = 0.0560^\circ\text{C/W}$$

จากสมการที่(3.5)จะได้

$$U_4 = \frac{1}{R_{\text{tot}1} A_4} = \frac{1}{0.0560} = 17.857$$

และจากสมการที่ (3.4) จะได้

$$\dot{Q}_{x4} = U_4 (T_w - T_F) A_4 W$$

$$\dot{Q}_{x4} = 337.449 \times 16.011 \times 10^{-4}$$

$$\dot{Q}_{x4} = 0.4917 \quad W$$

ที่  $X_5 = 38.14 \times 10^{-3} \text{ m}$ ,  $A_5 = 26.25 \times 10^{-4} \text{ m}^2$  หาอัตราการถ่ายเทความร้อนได้ดังนี้ จากสมการที่ (3.7) จะได้

$$A_5 R_{\text{tot}1} = 416.69 \times 10^{-4} + \frac{38.14 \times 10^{-3}}{2.18}$$

$$A_5 R_{\text{tot}1} = 0.0592^\circ\text{C/W}$$

จากสมการที่(3.5)จะได้

$$U_5 = \frac{1}{R_{\text{tot}1} A_5} = \frac{1}{0.0592} = 16.892$$

และจากสมการที่ (3.4) จะได้

$$\dot{Q}_{x5} = U_5 (T_w - T_F) A_5 W$$

$$\dot{Q}_{e5} = 319.449 \times 26.25 \times 10^{-4}$$

$$\dot{Q}_{e5} = 0.7626 \quad W$$

ดังนั้นการถ่ายเทความร้อนรวมจะได้

$$\dot{Q}_e = \dot{Q}_{e1} + \dot{Q}_{e2} + \dot{Q}_{e3} + \dot{Q}_{e4} + \dot{Q}_{e5}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้  $\dot{Q}_e = 3.345 \text{ W}$  ศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณทุกช่วงเวลาแล้วนำค่าที่ได้ไปใส่ในตารางที่ 4.4

### อัตราการไหลโดยมวลของสารทำความเย็น R-134a ( $\dot{m}$ )

จากตารางที่ 4.1 หาอัตราการไหลโดยมวลของสารทำความเย็นที่เวลา 10 นาทีอัตราการไหลเชิงปริมาตรของสารทำความเย็นที่คอมเพรสเซอร์ทำได้หาจากสมการที่ (3.9) และ (3.10)

$$\dot{m} = \frac{V_{pt}}{v}$$

และ

$$V_{pt} = V \times N$$

จากคุณสมบัติของคอมเพรสเซอร์ (จากตารางที่ 3.1) จะได้  $V=2.96\text{cm}^3$  และ  $N = 2850 \text{ rpm}$  จะได้จากสมการที่ (3.10)

$$\begin{aligned} V_{pt} &= 8436 \\ &= 2.96 \times 2850 \\ &\text{cm}^3/\text{min} \\ &= 8436 \times 10^{-6} \times 60 \\ &= 0.50616 \text{ m}^3/\text{hr} \end{aligned}$$

ปริมาตรจำเพาะของสารทำความเย็น ( $v$ ) หาได้จากการเปิดตาราง R-134a ร้อนยิ่งยวดจากตารางที่ 4.1 ที่เวลา 10 นาที วิเคราะห์จุดที่ 1 ได้  $P_1 = 11 \text{ psi}$  และ  $T_1 = -7^\circ\text{C}$  เนื่องจากความดันเป็นความดันเกดดังนั้นต้องบวกเข้าด้วยความดันบรรยากาศ จะได้

$$1 \text{ atm} = 14.695 \text{ psi} \quad P_1 = 11 + 14.695 = 24.695 \text{ psi}$$

$$1 \text{ psi} = 0.006895 \text{ Mpa} \quad P_1 = 0.1702 \text{ Mpa} \quad T_1 = -7^\circ\text{C}$$

ตารางที่ 4.2 R-134a ร้อนยิ่งยวด

Temp (°C)	v m <sup>3</sup> /kg	h kJ/kg	s kJ/kg.K	v m <sup>3</sup> /kg	h kJ/kg	s kJ/kg.K
	0.15MPa			0.20MPa		
-10	0.13603	393.839	1.76058	0.10013	392.338	1.73276
0	0.14222	402.187	1.79171	0.10501	400.911	1.76474

ที่  $T_1 = -7^\circ\text{C}$  หาที่ 0.15 MPa เท่ากับ

$$v = 0.14222 - \frac{(0.14222 - 0.13603) \times (7 - 0)}{10} = 0.1378$$

ที่  $T_1 = -7^\circ\text{C}$  หาที่ 0.20MPa เท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$v = 0.10501 - \frac{(0.10501 - 0.10013) \times (7 - 0)}{10} = 0.1267$$

ที่  $T_1 = -7^\circ\text{C}$  หา  $v$  ที่  $0.1702\text{MPa}$  ทำกับ

$$v = 0.1309 - \frac{(0.1378 - 0.1267) \times (0.1702 - 0.15)}{0.05}$$

$$v = 0.1356 \quad \text{m}^3/\text{kg}$$

จากสมการที่(3.9)จะได้

$$\begin{aligned} \dot{m} &= \frac{0.50616}{0.1356} \\ &= 3.732 \quad \text{kg/hr} \end{aligned}$$

คำนวณทุกช่วงเวลาแล้วนำค่าที่ได้ไปใส่ในตารางที่ 4.4

ความสามารถในการทำความเย็นของวัฏจักร ( $Q_L$ )

จากตารางที่ 4.1 หาอัตราการถ่ายเทความร้อนขณะเป็นน้ำที่เวลา 10 นาที

ความสามารถในการทำความเย็นของวัฏจักรสามารถหาได้ดังนี้

จากสมการที่(3.8)

$$Q_L = \dot{m}(h_1 - h_3) \quad \text{kJ/hr}$$

โดยที่  $h_1$  และ  $h_3$  หาได้จากการเปิดตารางเทอร์โมไดนามิกส์ของสารทำความเย็น R-134a ดังนี้

หา  $h_1$  ได้จากการเปิดตามราง R-134a ร้อนยิ่งยวด เนื่องจากในจุดที่ 1 สารทำความเย็นจะกลายเป็นไอทั้งหมดก่อนที่จะเข้าคอมเพรสเซอร์ จากตารางที่ 4.1 ที่เวลา 10 นาที วัฏจักรจุดที่ 1 ได้  $P_1 = 11 \text{ psi}$  และ  $T_1 = -7^\circ\text{C}$  เนื่องจากเป็นความดันเกินดังนั้นต้องบวกเข้าด้วยความดันบรรยากาศจะได้

$$1 \text{ atm} = 14.695 \text{ psi} \quad P_1 = 11 + 14.695 = 24.695 \text{ psi}$$

$$1 \text{ psi} = 0.006895 \text{ Mpa} \quad P_1 = 0.1702 \text{ Mpa} \quad T_1 = -7^\circ\text{C}$$

จากตารางที่ 4.2

ที่  $T_1 = -7^\circ\text{C}$  หา  $h_1$  ที่  $0.15 \text{ MPa}$  ทำกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$h_1 = 402.187 - \frac{(402.187 - 393.839) \times (7 - 0)}{10} = 397.596$$

ที่  $T_1 = -7^\circ\text{C}$  หา  $h_1$  ที่ 0.20MPa เท่ากับ

$$h_1 = 400.911 - \frac{(400.911 - 392.338) \times (7 - 0)}{10} = 396.196$$

ที่  $T_1 = -7^\circ\text{C}$  หา  $h_1$  ที่ 0.1602MPa เท่ากับ

$$h_1 = 396.196 - \frac{(397.596 - 396.196) \times (0.1702 - 0.15)}{0.05}$$

$$h_1 = 397.015 \text{ kJ/kg}$$

หา  $h_3$  ได้จากการเปิดตามราง R-134a อิมตัว เนื่องจากในจุดที่ 3 สารทำความเย็นจะกลายเป็นของเหลวทั้งหมดก่อนที่จะเข้า TEV จากตารางที่ 4.1 ที่เวลา 10 นาที วัฏจักรจุดที่ 1 ได้  $P_3 = 90 \text{ psi}$  และ  $T_3 = 32^\circ\text{C}$  เนื่องจากเป็นความดันเกจดังนั้นต้องบวกเข้าด้วยความดันบรรยากาศ จะได้

$$1 \text{ atm} = 14.695 \text{ psi} \quad P_1 = 11 + 14.695 = 24.695 \text{ psi}$$

$$1 \text{ psi} = 0.006895 \text{ Mpa} \quad P_1 = 0.1702 \text{ Mpa} \quad T_1 = -7^\circ\text{C}$$

ตารางที่ 4.3 R-134a อิมตัว

Abs. Press. (MPa)	Enthalpy kJ/kg		
	Sat. Liquid $h_f$	Evap. $h_{fg}$	Sat. Vapor $h_g$
0.7710	389.790	323.285	428.305
0.8876	398.103	318.415	429.110

หา  $h_3$  ที่ 0.7710MPa ที่ Sat. Liquid เท่ากับ

หา  $h_3$  ที่ 0.8876MPa ที่ Sat. Liquid เท่ากับ

หา  $h_3$  ที่ 0.80743MPa ที่ Sat. Liquid จะได้

$$h_3 = 396.196 - \frac{(397.596 - 396.196) \times (0.1602 - 0.15)}{0.05}$$

$$h_3 = 393.015 \text{ kJ/kg}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่(3.8) ที่  $\dot{m} = 3.646$  จะได้

$$Q_L = 3.780(397.015 - 393.015)$$

$$Q_L = 15.33 \quad \text{kJ/hr}$$

$$Q_L = 4.258 \quad \text{W}$$

ทำเช่นนี้ทุกช่วงเวลาแล้วนำค่าที่ได้ไปใส่ในตารางที่ 4.4

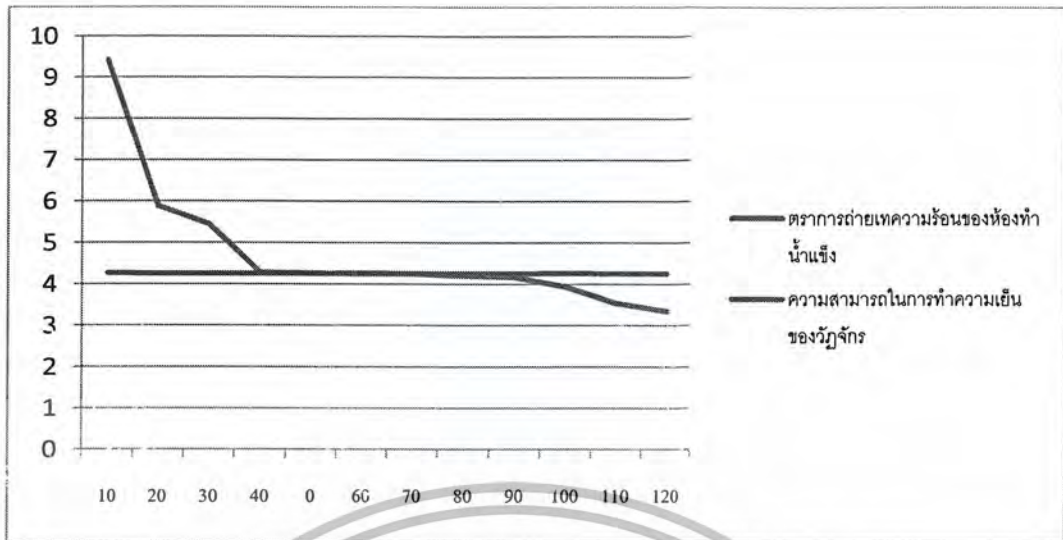
ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบอัตราการถ่ายเทความร้อนกับความสามารรถในการทำมาแยมองวัฏจักร

จาก

การทดลองที่ 4.1

เวลา (นาที)	$\dot{Q}_x$ (W)	$Q_L$ (W)	$\dot{m}$ (kg/hr)
10	9.415	4.258	3.780
20	5.815	4.250	3.732
30	5.444	4.251	3.721
40	4.276	4.253	3.732
50	4.265	4.252	3.770
60	4.247	4.258	3.770
70	4.247	4.251	3.770
80	4.202	4.253	3.770
90	4.169	4.257	3.770
100	3.934	4.259	3.770
110	3.539	4.251	3.770
120	3.345	4.257	3.770

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงอัตราการถ่ายเทความร้อนกับความสามารถในการทำความเย็นวัฏจักร

จากรูปที่ 4.12 จะเห็นว่าในช่วงเริ่มต้นที่น้ำยังเป็นของเหลวทั้งหมดคือน้ำค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของห้องทำน้ำแข็งมีค่าสูงและจะค่อย ๆ ลดลงเมื่อน้ำเริ่มกลายเป็นน้ำแข็งและจะมีความหนาเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ส่วนความสามารถในการทำความเย็นของวัฏจักรมีค่าค่อนข้างคงที่เช่นเดียวกับอัตราการไหลของสารทำความเย็นจากตารางข้างต้นจะเห็นว่าที่เวลาเริ่มต้นจนถึงช่วงเวลาที่ 60 อัตราการถ่ายเทความร้อนของห้องทำน้ำแข็งมีค่ามากกว่าความสามารถในการทำความเย็นของวัฏจักร ซึ่งในช่วงนี้เราไม่จำเป็นต้องปรับลดความถี่ลง เราจะเริ่มปรับลดความถี่ลงที่นาทีที่ 60 เนื่องจากความสามารถในการทำความเย็นของวัฏจักร ( $Q_L$ ) มีค่ามากกว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของห้องทำน้ำแข็ง ( $Q_x$ ) เราต้องทำการลดความสามารถในการทำความเย็นลงให้มีค่าเท่ากับอัตราการถ่ายเทความร้อนของห้องทำน้ำแข็งโดยการปรับลดความถี่ลง เพราะว่าความสามารถในการทำความเย็นมีค่าค่อนข้างคงที่ แต่อัตราการถ่ายเทความร้อนจะลดลงเมื่อน้ำแข็งเกิดขึ้นจากตารางจะเห็นว่าที่เวลา 10 นาที อัตราการถ่ายเทความร้อนมากกว่าที่วัฏจักรจะดึงความร้อนออกไปได้เราจึงไม่ทำการลดความสามารถในการทำความเย็นลง แต่ที่เวลา 80 นาทีเป็นต้นไปความร้อนที่วัฏจักรทำได้มีค่ามากกว่าความร้อนที่ห้องทำได้ จึงทำให้สูญเสียพลังงานเกิดขึ้นเราจึงต้องทำการลดความสามารถในการทำความเย็นลง ซึ่งการลดความถี่ลงนั้นจะมีผลต่ออัตราการไหลของสารทำความเย็น โดยเราสามารถหาค่าอัตราการไหลของสารทำความเย็นใหม่ ( $\dot{m}_1$ ) และความถี่ที่จะต้องปรับลดดัง ที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 ได้ดังนี้

ที่นาทีที่ 80 ของตารางที่ 4.1

เราจะหาอัตราการไหลใหม่โดยการแทนอัตราการถ่ายเทความร้อนลงในสมการการทำความเย็นดังนี้ จากสมการที่ (3.13)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\dot{m}_1 = \frac{\dot{Q}_x}{(h_1 - h_3)}$$

$$\dot{m}_1 = \frac{4.169}{1.177}$$

$$= 3.533 \text{ kg/hr}$$

หาความถี่ที่จะต้องปรับลดได้ดังนี้  
จากสมการที่(3.15)

$$N_1 = \frac{v \times \dot{m}_1}{v}$$

$$N_1 = \frac{3.533 \times 2328.46}{2.96}$$

$$N_1 = 2780 \text{ rpm}$$

แทนค่า  $N_1$  ลงในสมการที่ (3.11) จะได้

$$N_1 = \frac{120f}{P}$$

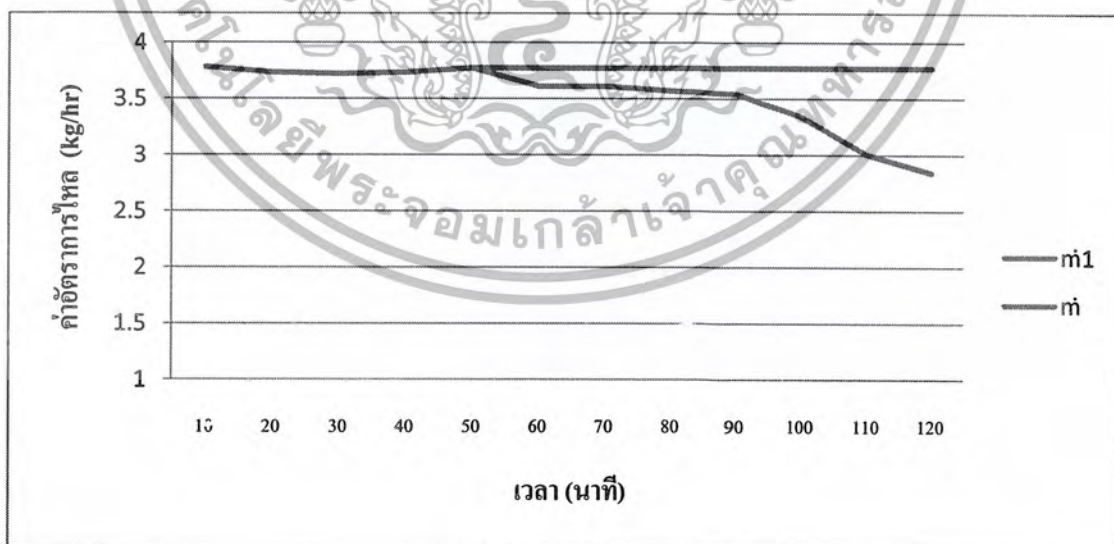
$$2780 = \frac{120f}{2.105}$$

$$f = 48.76 \text{ Hz}$$

ทำการคำนวณจนครบและนำค่าที่ได้ไปใส่ในตารางที่ 4.5 จากนั้นก็ทำการทดลองปรับความถี่ตามที่ได้คำนวณ

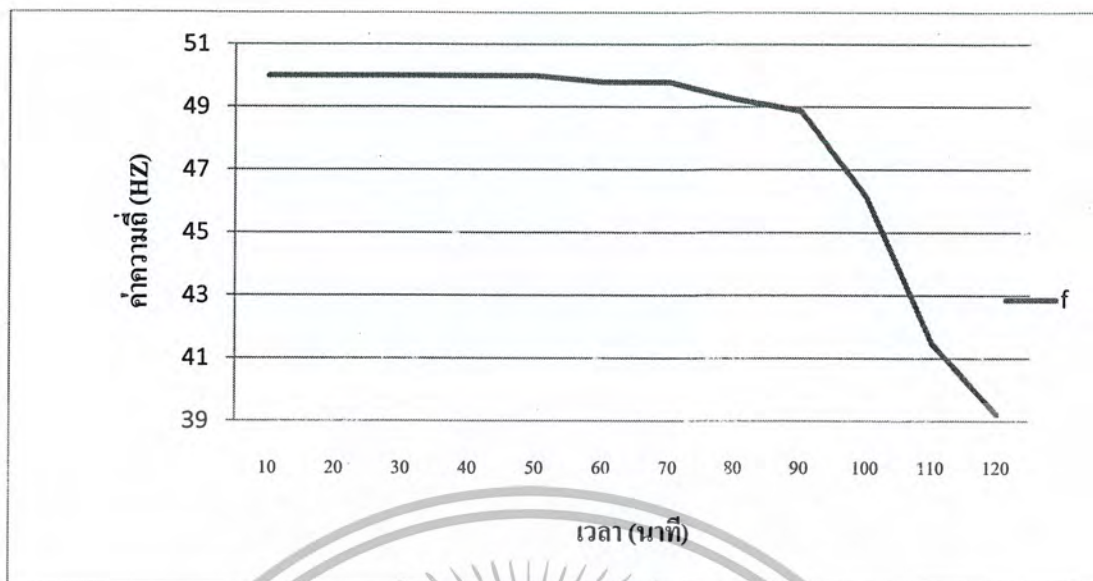
ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบค่าอัตราการไหลเดิมกับอัตราการไหลใหม่ ( $m_1$ ) และความถี่ที่จะทำการปรับลดให้กับคอมเพรสเซอร์

เวลา (นาที)	$m$ (kg/hr)	$m_1$ (kg/hr)	$N_1$ (rpm)	ความถี่ $f$ (Hz)
10	3.780	3.780	2850	50
20	3.732	3.732	2850	50
30	3.721	3.721	2850	50
40	3.732	3.732	2850	50
50	3.770	3.770	2850	50
60	3.770	3.608	2838	49.79
70	3.770	3.608	2838	49.79
80	3.770	3.570	2808	49.26
90	3.770	3.542	2786	48.87
100	3.770	3.342	2629	46.12
110	3.770	3.006	2365	41.49
120	3.770	2.842	2235	39.21



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราการไหลเดิมกับค่าอัตราการไหลใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่กับเวลา



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบของคอมเพรสเซอร์กับเวลา

จากตารางที่ 4.5 จะเห็นว่าจากการคำนวณทำให้เราสามารถทราบความถี่ที่ควรจะต้องปรับลดให้กับคอมเพรสเซอร์ลง โดยจากตารางข้างต้นจะเห็นว่า ในช่วงแรกเมื่อน้ำยังเป็นของเหลวทั้งหมด ไม่ได้ปรับความถี่ แต่เริ่มปรับความถี่ในช่วงนาทีที่ 80 ในช่วงที่น้ำกำลังกลาย变成น้ำแข็งและความถี่ที่ปรับจะลดลงเรื่อยๆ โดยสามารถสรุปการเปลี่ยนแปลงของวัฏจักรได้ดังกราฟด้านบนทั้ง 3 กราฟ คือ เมื่อทำการปรับความถี่ของระบบ ความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ก็จะเปลี่ยนแปลง อัตราการไหลของสารทำความเย็นก็จะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ปรับความถี่ตามความหนาของน้ำแข็งที่เพิ่มขึ้น

เวลาเริ่ม 11.28 เวลาสิ้นสุด 13.27

ปริมาตรน้ำ 100 cc ปรับความถี่ 50 Hz

ปริมาตรน้ำ ( $V_{น้ำ}$ ) = 100 cc

อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น ( $T_{น้ำ}$ ) = 24 °C

อุณหภูมิภายในห้อง ( $T_{ภายใน}$ ) = 24 °C

อุณหภูมิภายนอกห้อง ( $T_{ภายนอก}$ ) = 35.42 °C

เวลา (นาที)	ความหนาของน้ำแข็ง mm.					วัฏจักรจุดที่ 3 (จุด High)		วัฏจักรจุดที่ 1 (จุด Low)		พลังงาน ไฟฟ้า		$T_{น้ำ}$ (°C)	อุณหภูมิ กอลด์ เซ็น (°C)	ความ ถี่ที่ ป้อน Hz
	X1	X2	X3	X4	X5	$P_H$ (PSI)	$T_{H(°C)}$	$P_L$ (PSI)	$T_{L(°C)}$	watt	กระแส (A)			
0	-	-	-	-	-	60		63		79	0.57	22		50
10	-	-	-	-	-	93	29	19	-7	76	0.56	7.3	-20	50
20	-	-	-	-	-	89	27	16.5	-9	75	0.55	1	-20	50
30	-	-	-	-	-	87	27	14	-10.5	72	0.54	0.96	-21	50
40	4.9	2.45	2	2.15	0.3	84	27	16.5	-9.5	74	0.55	0.9	-21	50
50	6.8	4.45	5.2	4.05	3.11	90	28	15	-10	72	0.54	0.82	-21	50
60	8.39	5.28	4.35	5.33	5.24	90	28	15	-10	73	0.54	0.71	-21	49.79
70	9.96	5.93	5.96	7.01	7.42	90	28	15	-10	74	0.55	0.53	-21	49.79
80	11.2	9.01	9.25	8.53	11.12	90	28	16.5	-9.5	74	0.54	0.37	-21	49.26
90	14.91	9.27	9.97	10.13	15.13	90	28	16.5	-9	77	0.57	0	-21	48.87
100	16.17	11.34	14.04	11.56	21.5	90	28	17	-8.75	70	0.56	-0.4	-21	46.12
110	20.11	12.47	17.45	13.4	29.12	90	28	17	-8.5	66	0.55	-2.8	-21	41.49
122	24.92	16.69	23.43	16.42	55.45	90	28	17	-8.5	79	0.57	-3	-21	39.22

เวลาในการทำน้ำแข็ง 122 นาที

ค่าพลังงาน 0.124 kW-hr

%RH 49

จากตารางที่ 4.6 ปรับลดความถี่ตามแนวความคิด โดยจากตารางมีการเปรียบเทียบอัตราการไหลของสารทำความเย็นเดิม ใหม่และความเร็วรอบคอมเพรสเซอร์ใหม่ ซึ่งจะทำให้เราทราบความถี่ที่จะปรับลดลงโดยที่ความถี่ที่ปรับลดลงนั้นจะมีผลต่อความสามารถในการทำความเย็นของ

วัฏจักร โดยเราจะปรับลดความสามารถในการทำความเย็นของวัฏจักรลงเพื่อให้สอดคล้องกับอัตรา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตเห็นแก่ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การถ่ายเทความร้อนของห้องทำน้ำแข็งที่ทำได้ ซึ่งถ้าค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนมีค่ามากกว่าความสามารถในการทำความเย็นของวัฏจักรเราจะไม่ทำการปรับลดความถี่แต่ถ้ามีค่าน้อยกว่าเราจึงจะทำการปรับลดความถี่ เนื่องจากการดึงความร้อนไปทิ้ง หรือ ความสามารถในการทำความเย็นนั้นจะต้องเท่ากับอัตราการถ่ายเทความร้อน หรือ ความสามารถของห้องทำน้ำแข็งที่ยอมให้ความร้อนผ่านได้จึงจะมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด

ตารางที่ 4.7 ใช้เครื่องควบคุมความถี่ตามเวลา

เวลาเริ่ม 10.14                      เวลาสิ้นสุด 12.16  
 ปริมาตรน้ำ 100 cc ปรับความถี่ 50 Hz  
 ปริมาตรน้ำ ( $V_{น้ำ}$ ) = 100                      cc  
 อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น ( $T_{น้ำ}$ ) = 24.2                      °C  
 อุณหภูมิภายในห้อง ( $T_{ภายใน}$ ) = 24.6                      °C  
 อุณหภูมิภายนอกห้อง ( $T_{ภายนอก}$ ) = 37.42                      °C

เวลา (นาที)	ความหนาแน่นน้ำแข็ง mm.					วัฏจักรจุดที่ 3 (จุด High)		วัฏจักรจุดที่ 1 (จุด Low)		พลังงาน ไฟฟ้า		$T_{น้ำ}$ (°C)	อุณหภูมิ คอยล์ เย็น (°C)	ความ ถี่ที่ ป้อน Hz
	X1	X2	X3	X4	X5	$P_L$ (PSI) )	$T_{น้ำ}$	$P_L$ (PSI)	$T_{น้ำ}$	watt	กระแส (A)			
0	-	-	-	-	-	60	-	63	-	79	0.57	22	-	50
10	-	-	-	-	-	92	29	19	-6.5	76	0.56	7.3	-20	50
20	-	-	-	-	-	89	27	16.5	-9	75	0.54	1	-20	50
30	-	-	-	-	-	87	27	14	-10	72	0.54	0.96	-21	50
40	4.8	2.35	2.1	2.11	0.3	84	27	16.5	-9.5	74	0.54	0.9	-21	50
50	6.8	4.45	5.2	4.05	3.13	90	28	15	-9.5	72	0.54	0.82	-21	50
60	8.39	5.28	4.35	5.33	5.24	90	28	15	-9.5	73	0.54	0.71	-21	49.79
70	9.96	5.93	5.96	7.12	7.42	90	28	15	-9.5	74	0.55	0.53	-21	49.79
80	11.7	9.01	9.11	8.53	11.12	90	28	16.5	-9.5	74	0.55	0.37	-21	49.26
90	14.97	9.27	9.87	10.15	15.11	90	28	16.5	-9	77	0.57	0	-21	48.87
100	16.15	11.34	14.11	11.45	21.33	90	28	17	-8.7	70	0.56	-0.4	-21	46.12
110	20.11	12.48	17.21	13.4	29.12	90	28	17	-8.5	66	0.55	-2.8	-21	41.49
124	24.12	16.54	23.46	16.47	55.77	90	28	17	-8.5	79	0.57	-3	-21	39.22

เวลาในการทำน้ำแข็ง      124                      นาที  
 ค่าพลังงาน                      0.128                      kW-hr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

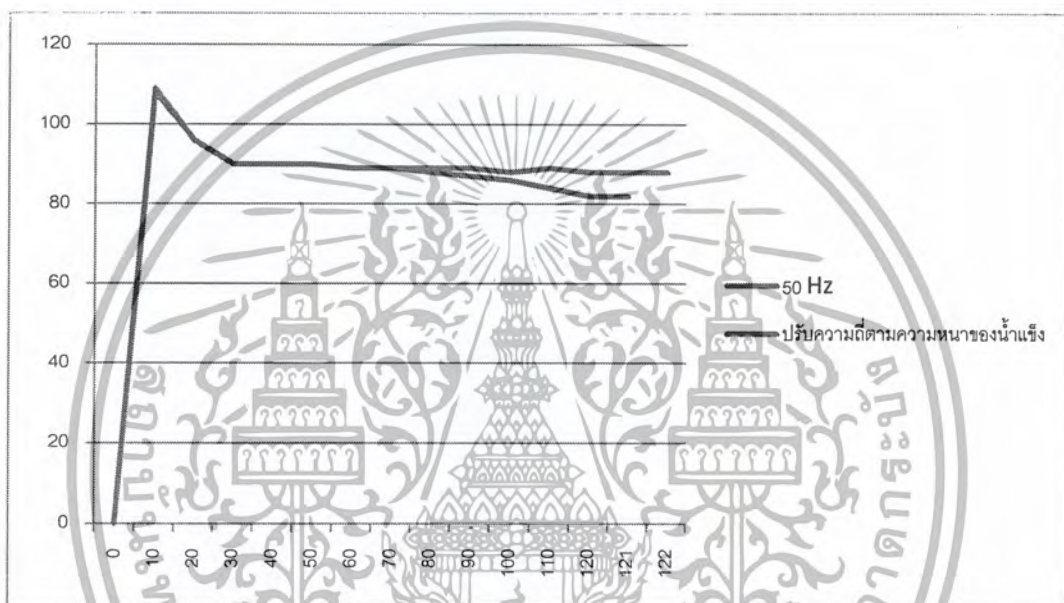
%RH

50

จากตารางที่ 4.1 ใช้เครื่องควบคุมความถี่ตามเวลาในการปรับค่าลดความถี่ตามค่าเวลาที่  
ได้ผลมาจากตาราง 4.6 ซึ่งค่าที่ได้มีผลตามค่าสอดคล้องกับกับอัตราการถ่ายเทความร้อนของห้องทำ  
น้ำแข็งที่ทำได้

โดยจะปรับลดความถี่ตามเวลาที่เกิดน้ำแข็ง

กราฟแสดงค่าพลังงานที่ใช้ในการทดลองปรับความถี่ตามความหนาของน้ำแข็งที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงค่าพลังงานในการปรับความถี่ตามความหนาของน้ำแข็งที่เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.16 แสดงให้เห็นค่าพลังงานที่ใช้ในการทำน้ำแข็งในการปรับลดความถี่ตาม  
ความหนาของน้ำแข็งที่เพิ่มขึ้น โดยจะเห็นว่า พลังงานที่ใช้จะเริ่มลดลงในช่วงเวลาหลังจากนาทีที่  
60 เป็นต้นไป และจะเห็นว่าเวลาที่ใช้ในการทำน้ำแข็งในขณะที่ปรับลดความถี่และยังไม่ปรับลด  
ความถี่มีความแตกต่างกันน้อยมาก ส่วนพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการทำน้ำแข็งแสดงได้ดังนี้

ความถี่ 50 Hz ใช้พลังงานในการทำน้ำแข็ง 0.150 kW-hr

เมื่อปรับลดความถี่ ใช้พลังงานในการทำน้ำแข็ง 0.128 kW-hr

จะเห็นว่า เมื่อปรับลดความถี่ลงตามความหนาของน้ำแข็งจะทำให้ลดพลังงานที่ใช้ในการทำน้ำแข็ง  
ลงจากปกติได้ 0.022 kW-hr คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ 14.67 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# สรุปผลการวิจัยและเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลงาน

จากการทดลองการเกิดน้ำแข็ง เราสามารถนำทฤษฎีที่เกี่ยวข้องคือทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน ทฤษฎีทางเทอร์โมไดนามิกส์มาวิเคราะห์กระบวนการเกิดน้ำแข็งรูปสี่เหลี่ยม ซึ่งเมื่อทำการศึกษาแล้วจะพบว่าการใช้ความถี่ที่คงที่ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานที่คอมเพรสเซอร์ ในบางช่วงเวลา และสามารถหาวิธีการทำน้ำแข็งให้มีการใช้พลังงาน ให้เหมาะสมกับคอมเพรสเซอร์ โดยการปรับความถี่ของ กระแสที่ป้อนให้คอมเพรสเซอร์ จะสามารถลดอัตราการไหลของสารทำความเย็นในช่วงเวลาที่เหมาะสม จากผลการทดลองจะพบว่าสามารถลดพลังงานที่สูญเสียได้อย่างชัดเจน หากนำไปใช้กับอุตสาหกรรมการทำน้ำแข็งซึ่งมีกำลังการผลิตสูง จะสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในเรื่องของต้นทุนการผลิตลงได้มาก

### 5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา

จากการทดลองพบว่าปัญหาหลักที่เกิดขึ้นคือ อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปแต่ละช่วงเวลาในการทำน้ำแข็ง ซึ่งจะทำให้เกิดระยะเวลาและอัตราการเกิดน้ำแข็งเกิดความผิดพลาด การออกแบบระบบควรมีการตรวจเช็คการรั่วซึมของสารทำความเย็น หากเกิดการรั่วซึมจะทำให้ระดับความดันมีการเปลี่ยนแปลงในช่องทำน้ำแข็งควรออกแบบให้มีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งจะสามารถทำการวัดขนาดความหนาได้แม่นยำขึ้น การวัดค่าตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อระบบควรเลือกใช้อุปกรณ์การวัดให้มีความละเอียด เพราะจากการทดลองมีอุปกรณ์บางชนิดที่เมื่อวัดค่าและเกิดความคลาดเคลื่อนได้บ้าง

ในอนาคตหากมีการพัฒนาโครงการนี้ ควรที่จะมีการออกแบบให้มีความแข็งแรง สามารถป้องกันอุณหภูมิและความชื้นจากภายนอกเข้าไปในระบบ ควรมีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายนอกให้คงที่ จะทำให้ได้ผลการทดลองที่มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น ควรมีการหารูปแบบการเกิดน้ำแข็งในวิธีการหรือหลักทฤษฎีอื่นๆ ที่มีความแม่นยำกว่า การทดลองควรมีความหลากหลายทั้งปริมาณน้ำ รูปแบบน้ำแข็งแบบต่างๆ ซึ่งจะให้เกิดการพัฒนาารูปแบบให้มีความแม่นยำและ สามารถลดพลังงานที่ใช้กับระบบได้อย่างแท้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- (1) อัครรัตน์ พูลกระจ่าง. การทำความเย็นและการปรับอากาศ. กรุงเทพฯ : ศูนย์ส่งเสริมอาชีพฯ
- (2) วีรศักดิ์ บุญทน. การทำความเย็น. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- (3) ปฏิบัติวิศวกรรม ปี 3
- (4) รศ.ดร.สมชัย อัครทิวา และ ดร. ขวัญจิต วงษ์ขารี. เทอร์โมไดนามิกส์ โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- (5) กฤษดา วิสวธีรานนท์. Inverter : หลักการทำงานและเทคนิคการใช้งาน / กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2539
- (6) PLC Direct Interoperated, “DL 06 User Manual”, 1994 [www.Indusoft.com](http://www.Indusoft.com)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้