สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การควบคุมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของหอทำน้ำเย็น

CONTROL FOR EFFICIENCY INCREASING OF COOLING TOWER

T046012

นาย ชัชชัย ศิริพิลา
นาย นพดล เลิศศรีสว่างวงศ์
นาย สุจริต พลวิชิตร
นาย สุรจิตร์ รติรังสี

ปก.
ส 3539
สนง
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 46012
วัน, เดือน, ปี 27 ก.พ. 2546
.b.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
1 มิ.ย. 2550

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2544

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การควบคุมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของหอทำน้ำเย็น

CONTROL FOR EFFICIENCY INCREASING OF COOLING TOWER

ผู้จัดทำ

1. นาย ชัชชัย ศิริพิลา รหัสประจำตัว 42515766
2. นาย นพดล เลิศศรีสว่างวงศ์ รหัสประจำตัว 42515773
3. นาย สุจริต พลวิชิตร รหัสประจำตัว 42515791
4. นาย สุรจิตร์ รติรังสี รหัสประจำตัว 42515793

_____อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ธวัชชัย นาคพิพัฒน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของหอทำน้ำเย็น

นาย ชัชชัย ศิริพิลา
นาย นพดล เลิศศรีสว่างวงศ์
นาย สุจริต พลวิชิตร
นาย สุรจิตร์ รติรังสี
ผศ.ธวัชชัย นาคพิพัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2544

บทคัดย่อ

หอทำน้ำเย็น (Cooling Tower) มีใช้งานกันอย่างแพร่หลายในงานอุตสาหกรรมทั่วไป เพื่อการระบายความร้อนให้กับเครื่องจักร แต่การใช้งานของหอทำน้ำเย็นในปัจจุบัน ยังไม่สามารถควบคุมให้ทำงานที่มีประสิทธิภาพสูงสุดได้ตลอดเวลา การวิจัยในครั้งนี้เพื่อศึกษาหาปัจจัยที่ทำให้ประสิทธิภาพของการทำน้ำเย็นสูงสุด และเป็นการออกแบบการควบคุมเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดที่สภาวะใด ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Control For Efficiency Increasing of Cooling Tower

Chutchai Siripila
Noppadon Lautsri
Sujarit Ponwichit
Surajit Ratirungsee
Assist. Prof. Tawatchai Nakpipat Advisor

ABSTRACT

General industrials widely use cooling tower as the cooling equipment machine. But most of it can not maintain high efficiency condition during working. This research purpose is to study the factors which effect for its efficiency, Also the design of control program for maintain highest operation at any condition is done.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่อาจเสร็จได้ด้วยดีหากไม่ได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลต่าง ๆ ดังนี้ บุคคลแรกที่ต้องกล่าวถึง เพราะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเสร็จลงได้ด้วยดีก็คือ ผศ.ธวัชชัย นาคพิพัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ซึ่งเอาใจใส่ดูแลตลอดมา ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จึงสามารถดำเนินการและสำเร็จลุลวงไปได้ด้วยดี และขอขอบพระคุณอาจารย์ เจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลตลอดจนรุ่นพี่ปริญญาโท และผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการร่วมทำปริญญานิพนธ์ที่ได้ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดีมาโดยตลอด และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่มิอาจลืมได้คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่งผู้ซึ่งอบรมเลี้ยงดู ให้โอกาสในการศึกษาและเป็นกำลังใจให้สามารถฟันฝ่าอุปสรรคจนกระทั่งมีวันนี้ คณะผู้จัดทำขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ จึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นาย ชัชชัย ศิริพิลา
นาย นพดล เลิศศรีสว่างวงศ์
นาย สุจริต พลวิชิตร
นาย สุรจิตร์ รติรังสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญภาพ	VIII
สารบัญกราฟ	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	1
1.4 วิธีในการดำเนินงานวิจัย	2
บทที่ 2 ทฤษฎี	3
2.1 หลักการทำงานของหอทำความเย็น	3
2.2 ประเภทของหอทำความเย็น	4
2.3 การเลือกชนิดของหอทำความเย็น	10
2.4 การต่อท่อน้ำสำหรับหอทำความเย็น	11
2.5 การเลือกตำแหน่งที่ตั้งของหอทำความเย็น	13
2.6 การควบคุมคุณภาพน้ำในหอทำความเย็น	15
2.7 การแก้ไขปัญหาที่เกิดจากน้ำ	17
2.8 การหาปริมาณน้ำสูญเสียจากหอทำความเย็น	18
บทที่ 3 อุปกรณ์ที่ใช้และวิธีการทดลอง	22
3.1 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	22
3.1.1 อุปกรณ์ที่ติดตั้งในชุดทดลองการหาปัจจัยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของหอทำความเย็นประกอบด้วยอุปกรณ์สำคัญได้แก่	23
3.1.2 อุปกรณ์สำหรับชุดทำความเย็น	28
3.1.3 อุปกรณ์ที่ติดตั้งในชุดควบคุมอัตโนมัติ	29
3.2 วิธีการทดลอง	32
3.2.1 เตรียมการขั้นต้นในการทดลองศึกษา	32
3.2.2 เริ่มทำการทดลองใช้มือปรับ	32
3.2.3 รวบรวมผลการทดลองต่างๆ	33
บทที่ 4 การสั่งงานทางพอร์ตขนาน	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้าที่
4.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพอร์ตขนาน	34
4.1.1 ทำไมถึงเลือกใช้งานพอร์ตขนาน	34
4.1.2 ความรู้เบื้องต้นของพอร์ตขนาน	35
4.1.3 การนำพอร์ตขนานไปใช้งาน	40
4.1.4 การเขียนโปรแกรมติดต่อกับพอร์ตขนานด้วย Visual Basic	42
4.2 การติดต่ออุปกรณ์อินพุตเอาต์พุตอย่างง่าย	43
4.2.1 P-BOARD บอร์ดเชื่อมต่อพอร์ตขนาน	45
4.3 การขับอุปกรณ์เอาต์พุตกระแสสูง	48
4.3.1 การใช้ทรานซิสเตอร์ขับแบบคาสเลด	48
4.3.2 การใช้ทรานซิสเตอร์แบบดาร์ลิงตันขับโหลดกระแสสูง	49
4.3.3 การขับโหลดโดยใช้ออโต้คัปเปลอร์	50
4.3.4 ตัวอย่างการใช้งานอุปกรณ์ไดรเวอร์ควบคุมรีเลย์ใช้ทรานซิสเตอร์	52
4.4 การเขียนโปรแกรมเพื่อขับรีเลย์อย่างง่ายด้วย Visual Basic	53
4.5 การติดต่อพอร์ตขนานกับระบบบัสแบบ I^2C	56
4.5.1 คุณสมบัติโดยทั่วไปของบัสแบบ I^2C	56
4.5.2 หลักการของบัส I^2C	57
4.5.3 การทำงานบนบัส I^2C	59
4.5.4 การอ้างอิงถึงแบบ 7 บิต (7-bitaddressing)	60
4.5.5 การอ้างอิงแบบ 10 บิต	61
4.6 การขยายจำนวนพอร์ตอินพุตเอาต์พุตด้วย PCF8574 และ PCF8574A	63
4.6.1 การเขียนโปรแกรมควบคุม	64
4.7 การเชื่อมต่อสัญญาณอะนาลอกพอร์ตขนานผ่านระบบบัส I^2C	65
4.7.1 ข้อมูลเบื้องต้นของ PCF8591	66
4.7.2 รายละเอียดฟังก์ชั่นต่างๆของPCF8591	67
4.7.3 บอร์ด –08 บอร์ด ADC/DAC ผ่านระบบบัส I^2C	70
บทที่ 5 แนวคิดของโปรแกรมควบคุมของหอระบายความร้อน	72
5.1 โครงสร้างของโปรแกรม	72
5.1.1 ส่วนการรับสัญญาณอะนาลอก (Analog)จากภายนอก	72
5.1.2 ส่วนประมวลผลข้อมูล	72
5.1.3 ส่วนการส่งสัญญาณควบคุม	72
5.1.4 ลักษณะของโปรแกรมควบคุมการระบายความร้อนของหอระบายความร้อน	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้าที่
5.1.5 วิธีการใช้งานของโปรแกรม	74
บทที่ 6 ผลการทดลอง	76
6.1 การทดลองโดยใช้ระบบปรับด้วยมือ (Manual)	76
6.1.1 การทดลองเพื่อหาค่าเปรียบเทียบกับเวลา	94
6.2 การควบคุมโดยระบบอัตโนมัติ	100
บทที่ 7 สรุปผลการทดลอง	106
7.1 การทดลองโดยใช้ระบบปรับด้วยมือ (Manual)	106
7.2 การทดลองเพื่อหาค่าเปรียบเทียบกับเวลาที่ระบบปรับด้วยมือ	110
7.3 การทดลองโดยระบบควบคุมอัตโนมัติ	114
7.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง	118
7.5 สรุปผลการทดลอง	118
7.5 ข้อเสนอแนะ	119
ภาคผนวก	120
ภาคผนวก ก. Source Code ของโปรแกรมควบคุมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของหอทำความเย็น	120
ภาคผนวก ข.แบบภาพชุดทดลองของ Cooling Tower	133
บรรณานุกรม	152

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้าที่

ตารางที่ 2-1 แสดงตัวเลขของน้ำที่หมุนเวียน 19

ตารางที่ 3-1 แสดงค่าอุณหภูมิและแรงดันที่ตัวเทอร์โมคัปเปิล Type k (*20mv) 30

ตารางที่ 4-1 แสดงแอดเดรสของพอร์ตขนาน 41

ตารางที่ 4-2 แสดงแอดเดรสจิสเตอร์ของพอร์ตขนาน 44

ตารางที่ 4-3 แสดงหน้าที่ของขาต่อการใช้งานไอซีเบอร์ PCF8574/8574A 64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

	หน้าที่
รูปที่ 2-1 แสดงการแลกเปลี่ยนความร้อนและความชื้นของน้ำและอากาศ ที่ผ่านคูลลิ่งเทาเวอร์โดยไดอะแกรม (Psychrometric Chart)	3
รูปที่ 2-2 คูลลิ่งเทาเวอร์ชนิดระบายอากาศตามธรรมชาติ	5
รูปที่ 2-3 คูลลิ่งเทาเวอร์แบบปล่องไฟ (Hyperbolic Tower)	6
รูปที่ 2-4 ตัวถังของคูลลิ่งเทาเวอร์ทำด้วยเหล็กอาบสังกะสีซึ่งเป็นตัวถังจากอเมริกาและยุโรป	9
รูปที่ 2-5 ตัวเกล็ดช่องลม (Louver) อยู่ข้างๆคูลลิ่งเทาเวอร์ ซึ่งเป็นช่องที่ลมเข้า	9
รูปที่ 2-6 แสดงคูลลิ่งเทาเวอร์มองจากภายนอก (คูลลิ่งเทาเวอร์สไตล์อเมริกาและยุโรป)	9
รูปที่ 2-7 ใบพัดลมของคูลลิ่งเทาเวอร์มักใช้โลหะผสมอะลูมิเนียมหล่อ	10
รูปที่ 3-1 ลักษณะการจัดวางอุปกรณ์ของชุดทดลอง	22
รูปที่ 3-2 กล่องควบคุมระบบไฟฟ้า	22
รูปที่ 3-3 กล่องชุดควบคุมอิเล็กทรอนิกส์	22
รูปที่ 3-4 ตัวถังและเกล็ดช่องลม	23
รูปที่ 3-5 ระบบกระจายน้ำและแผงกระจายละอองน้ำ	25
รูปที่ 3-6 ถังรับน้ำ	26
รูปที่ 3-7 ส่วนที่ทำให้อากาศเคลื่อนไหว	26
รูปที่ 3-8 แผงกันละอองน้ำ	26
รูปที่ 3-9 ท่อส่งน้ำที่ทำจากพีวีซี	27
รูปที่ 3-10 ปั๊มน้ำ	27
รูปที่ 3-11 วงจรควบคุมระบบไฟฟ้าของหอทำน้ำเย็น	28
รูปที่ 3-12 ถังน้ำร้อน	28
รูปที่ 3-13 ตัวสร้างความร้อน	29
รูปที่ 3-14 แสดงลักษณะของเทอร์โมคัปเปิล	29
รูปที่ 3-15 วงจรขยายแรงดันจากตัวเทอร์โมคัปเปิล	30
รูปที่ 3-16 วงจรขยายสัญญาณจากเทอร์โมคัปเปิลที่สมบูรณ์	31
รูปที่ 3-17 แสดงการเชื่อมโยงระหว่างสัญญาณเทอร์โมคัปเปอร์ไปยังคอมพิวเตอร์	36
รูปที่ 4-1 แสดงไดอะแกรมเวลาของการส่งข้อมูลไปยังเครื่องพิมพ์	36
รูปที่ 4-2 แสดงระบบบัสภายในของพอร์ตขนาน	37
รูปที่ 4-3 วงจรภายในของพอร์ต Data	38
รูปที่ 4-4 วงจรภายในของพอร์ต Control	39
รูปที่ 4-5 แสดงวงจรภายในของพอร์ตแสดงสถานะ	40
รูปที่ 4-6 การเรียกไฟล์ INPUT.BAS	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

หน้าที่

รูปที่ 4-7 รายละเอียดของไฟล์ INPUT.BAS 44
รูปที่ 4-8 วงจรสมบูรณ์ของ P-BOARD 45
รูปที่ 4-9 แสดงบอร์ดเชื่อมต่อพอร์ตขนาน 46
รูปที่ 4-10 การขับโหลดโดยใช้ทรานซิสเตอร์ตัวเดียวต่อกันแบบดาสเตอร์ 48
รูปที่ 4-11 การขับโหลดโดยใช้ทรานซิสเตอร์ 48
รูปที่ 4-12 การขับโหลดโดยใช้ทรานซิสเตอร์แบบดาร์ลิงตัน 49
รูปที่ 4-13 การจัดขาของไอซีเบอร์ ULN2003 49
รูปที่ 4-14 สัญลักษณ์ของออปโต้คัปเปลอร์ในแบบต่าง ๆ 50
รูปที่ 4-15 (ก) การใช้ออปโต้คัปเปลอร์ขับโหลดด้วยลอจิก “ 1 ” 51
(ข) การใช้ออปโต้คัปเปลอร์ขับโหลดด้วยลอจิก “ 0 ”
รูปที่ 4-16 สัญลักษณ์ของรีเลย์ 52
รูปที่ 4-17 วงจรขับรีเลย์โดยใช้ ULN2003 53
รูปที่ 4-18 วงจรสมบูรณ์ของ EX-06 55
รูปที่ 4-19 EX-06 บอร์ดรีเลย์ 7 ช่อง 55
รูปที่ 4-20 วงจรเอาต์พุตของอุปกรณ์บนระบบบัส I^2C 57
รูปที่ 4-21 การต่อพ่วงอุปกรณ์ระบบบัส I^2C ที่ใช้ไฟเลี้ยงไม่เท่ากัน 57
รูปที่ 4-22 การต่อตัวต้านทานอนุกรมขาสัญญาณของอุปกรณ์บนระบบบัส I^2C 58
รูปที่ 4-23 ไดอะแกรมแสดงสถานะต่าง ๆ บนบัส I^2C 59
รูปที่ 4-24 รูปแบบของข้อมูลกำหนดแอดเดรสของอุปกรณ์บนบัส 60
รูปที่ 4-25 รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการอ้างถึงแบบ 7 บิตของบัส I^2C 61
รูปที่ 4-26 รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการอ้างถึงแบบ 10 บิตของระบบบัส I^2C 61
รูปที่ 4-27 วงจรเชื่อมต่อกับระบบบัส I^2C ของ P-Board บอร์ดเชื่อมต่อพอร์ตขนาน 62
รูปที่ 4-28 การจัดขาของ PCF8574/8574A 63
รูปที่ 4-29 รายละเอียดวงจรพอร์ตของไอซี PCF8574/8574A 65
รูปที่ 4-30 การจัดขาและตารางแสดงชื่อขาสัญญาณของ PCF8591 67
รูปที่ 4-31 รายละเอียดข้อมูลควบคุมการทำงานของ PCF8591 69
รูปที่ 4-32 วงจรสมบูรณ์ของ EX-08 บอร์ด ADC/DAC ผ่านระบบบัส I^2C 70
รูปที่ 5-1 แสดงโครงสร้างของโปรแกรม 73
รูปที่ 5-2 แสดงหน้าต่างของโปรแกรม 73
รูปที่ 5-3 แสดงการทำงานหลักของโปรแกรม 75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญกราฟ

หน้าที่

กราฟที่ 6-1-1 ความสัมพันธ์ระหว่าง cfm. - Δ T 77

กราฟที่ 6-1-2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะตกของน้ำ - Δ T 77

กราฟที่ 6-1-3 ความสัมพันธ์ระหว่าง cfm. - R.H.%(Outlet) 78

กราฟที่ 6-1-4 ความสัมพันธ์ระหว่าง cfm. - make up water(m^3) 78

กราฟที่ 6-2-1 ความสัมพันธ์ระหว่าง cfm. - ΔT 80

กราฟที่ 6-2-2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะตกของน้ำ - ΔT 80

กราฟที่ 6-2-3 ความสัมพันธ์ระหว่าง cfm. - R.H.%(Outlet) 81

กราฟที่ 6-2-4 ความสัมพันธ์ระหว่าง cfm.- make up water(m^3) 81

กราฟที่ 6-3-1 ความสัมพันธ์ระหว่าง cfm. - ΔT 83

กราฟที่ 6-3-2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะตกของน้ำ - ΔT 83

กราฟที่ 6-3-3 ความสัมพันธ์ระหว่าง cfm.- R.H.%(Outlet) 84

กราฟที่ 6-3-4 ความสัมพันธ์ระหว่าง cfm.- make up water(m^3) 84

กราฟที่ 6-4-1 ความสัมพันธ์ระหว่าง cfm. - ΔT 86

กราฟที่ 6-4-2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะตกของน้ำ - ΔT 86

กราฟที่ 6-4-3 ความสัมพันธ์ระหว่าง cfm. - R.H.%(Outlet) 87

กราฟที่ 6-4-4 ความสัมพันธ์ระหว่าง cfm.- make up water(m^3) 87

กราฟที่ 6-5-1 ความสัมพันธ์ระหว่าง cfm. - ΔT 89

กราฟที่ 6-5-2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะตกของน้ำ - ΔT 89

กราฟที่ 6-5-3 ความสัมพันธ์ระหว่าง cfm.- R.H.%(Outlet) 90

กราฟที่ 6-5-4 ความสัมพันธ์ระหว่าง cfm.- make up water(m^3) 90

กราฟที่ 6-6-1 ความสัมพันธ์ระหว่าง cfm. - ΔT 92

กราฟที่ 6-6-2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะตกของน้ำ - ΔT 92

กราฟที่ 6-6-3 ความสัมพันธ์ระหว่าง cfm. - R.H.%(Outlet) 93

กราฟที่ 6-6-4 ความสัมพันธ์ระหว่าง cfm.-make up water(m^3) 93

กราฟที่ 6-7-1 ความสัมพันธ์ระหว่าง Δ T - T_{outlet} (องศา C) 95

กราฟที่ 6-7-2 ความสัมพันธ์ระหว่าง ΔT - T_{outlet} (องศา C) 96

กราฟที่ 6-7-3 ความสัมพันธ์ระหว่าง ΔT - T_{outlet} (องศา C) 96

กราฟที่ 6-8-1 ความสัมพันธ์ระหว่าง ΔT - T_{outlet} (องศา C) 98

กราฟที่ 6-8-2 ความสัมพันธ์ระหว่าง ΔT - T_{outlet} (องศา C) 99

กราฟที่ 6-8-3 ความสัมพันธ์ระหว่าง ΔT - T_{outlet} (องศา C) 99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญกราฟ(ต่อ)

หน้าที่

กราฟที่ 6-9-1 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\Delta T - T_{outlet}$ (องศา C) 101

กราฟที่ 6-9-2 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\Delta T - T_{outlet}$ (องศา C) 102

กราฟที่ 6-9-3 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\Delta T - T_{outlet}$ (องศา C) 102

กราฟที่ 6-10-1 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\Delta T - T_{outlet}$ (องศา C) 104

กราฟที่ 6-10-2 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\Delta T - T_{outlet}$ (องศา C) 105

กราฟที่ 6-10-3 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\Delta T - T_{outlet}$ (องศา C) 105

กราฟที่ 7-1-1 ความสัมพันธ์ระหว่าง cfm. - ΔT 107

กราฟที่ 7-1-2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะตกของน้ำ - ΔT 108

กราฟที่ 7-1-3 ความสัมพันธ์ระหว่าง cfm.- R.H.%(Outlet) 108

กราฟที่ 7-1-4 ความสัมพันธ์ระหว่าง cfm.-make up water(m^3) 109

กราฟที่ 7-2-1 ความสัมพันธ์ระหว่าง $T - T_{outlet}$ (องศา C) 112

กราฟที่ 7-2-2 ความสัมพันธ์ระหว่าง $T - T_{outlet}$ (องศา C) 112

กราฟที่ 7-2-3 ความสัมพันธ์ระหว่าง $T - T_{outlet}$ (องศา C) 113

กราฟที่ 7-3-1 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\Delta T - T_{outlet}$ (องศา C) 116

กราฟที่ 7-3-2 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\Delta T - T_{outlet}$ (องศา C) 116

กราฟที่ 7-3-3 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\Delta T - T_{outlet}$ (องศา C) 117

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ในงานอุตสาหกรรมไม่ว่าจะเป็นขนาดเล็กหรือขนาดใหญ่ก็ตามมีความจำเป็นอย่างมาก ที่จะต้องมีการระบายความร้อนออกจากระบบการทำงานในปริมาณที่มาก เพื่อที่จะทำให้ระบบการทำงานสามารถทำงานได้อย่างปกติและเกิดประสิทธิภาพสูงสุดโดยนิยมใช้หอทำน้ำเย็น ดังนั้นจึงเป็นหัวข้อสำคัญที่เราทำการศึกษาเกี่ยวกับระบบการระบายความร้อนของหอทำน้ำเย็นว่า มีปัจจัยใดที่มีความสำคัญต่อการทำความเย็นมากที่สุด ทั้งนี้เพื่อภายภาคหน้าจะได้นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองนี้มาประกอบการออกแบบให้เกิดประโยชน์สูงสุดกับอุตสาหกรรมต่างๆภายในประเทศของเรา

หอทำน้ำเย็นเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการถ่ายเทความร้อนออกจากน้ำที่ไประบายความร้อนให้กับเครื่องจักร เช่น น้ำที่ไหลออกจากคอนเดนเซอร์ที่มีลักษณะเป็นแบบเปลือกและท่อ (Shell and tube condenser) และในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger) ซึ่งไม่สามารถใช้อากาศแทนได้ กล่าวคือการใช้น้ำไปถ่ายเทความร้อนให้กับสารทำความเย็น ในระบบการทำความเย็นน้ำจะพาความร้อนออกจากคอนเดนเซอร์ ทั้งนี้เพื่อให้สารทำความเย็นที่อุณหภูมิและความดันสูงเกิดการถ่ายเทความร้อนที่ดีขึ้น ก็จะทำให้สารความเย็นเกิดการกลั่นตัวที่อุณหภูมิและความดันต่ำลง ซึ่งจะทำให้จุดอิ่มตัวหรือจุดระเหยของสารทำความเย็นนั้นต่ำลง และที่สำคัญถ้าเราสามารถควบคุมให้อุณหภูมิและความดันของสารความเย็นที่ทางออกของคอนเดนเซอร์ให้ต่ำลงจนเกิด Subcool ก็จะทำให้เพิ่มประสิทธิภาพของการทำความเย็น (COP) ได้มากขึ้น ประกอบทั้งทำให้งานที่ต้องให้กับ Compressor ต่ำลงด้วย จึงถือได้ว่าถ้าสามารถควบคุมอุณหภูมิของหอทำน้ำเย็นได้จะเกิดประโยชน์อย่างมหาศาล

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาหลักการทำงานของหอทำน้ำเย็น

1.2.2 เพื่อศึกษาปัจจัยและอิทธิพลต่าง ๆ ที่มีผลต่อการทำความเย็นของหอทำน้ำเย็น

1.2.3 เพื่อสร้างชุดทดลองและควบคุมการทำงานของหอทำน้ำเย็นให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อการทำความเย็นของหอทำน้ำเย็น ซึ่งงานวิจัยจะดำเนินการสร้างชุดทดลองการทำความเย็นของหอทำน้ำเย็น เพื่อหาประสิทธิภาพและสมรรถนะอันจะเป็นการลดภาระการทำความเย็นและประหยัดพลังของหอทำน้ำเย็น

ชุดทดลองที่สร้างขึ้นนี้จะประกอบด้วยโซ่และสกรูเกลียวเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการส่งถ่ายกำลังไปยังชุดจับยึดตัวหอทำน้ำเย็น เพื่อใช้ในการปรับระดับความสูงของตัวหอทำน้ำเย็น รวมถึงได้นำคอมพิวเตอร์ (Computer) มาเป็นตัวควบคุมการปรับระดับความเร็วรอบของพัดลมไฟฟ้าและการเคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้นลงของหอทำน้ำเย็น และได้ทำการติดตั้ง Limit Swich เพื่อเป็นการป้องกันอันตรายที่จะเกิดจากการเคลื่อนที่ขึ้นลงของหอทำน้ำเย็น ตลอดทั้งได้ติดตั้งตัววัดอุณหภูมิน้ำ (Thermo Senser) เพื่อเป็นตัวบอกอุณหภูมิของน้ำที่ทางเข้าและทางออกของหอทำน้ำเย็น

1.4 วิธีในการดำเนินงานวิจัย

วิธีและขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยนี้สามารถแบ่งออกได้หลัก ๆ เป็น 6 ขั้นตอน ซึ่งในขั้นตอนแรกนี้จะต้องทำการศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีและหลักการทำงานของหอทำน้ำเย็น จากนั้นก็ได้ทำการออกแบบชุดทดลอง โดยทำชุดจับยึดตัวของหอทำน้ำเย็นและระบบส่งกำลังโดยจะใช้ระบบส่งกำลังแบบสกรูกำลัง โดยใช้สกรูเกลียวแบบสี่เหลี่ยมคางหมู 2 ตัวและโซ่ในการส่งกำลังโดยมีมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นเครื่องต้นกำลัง หลังจากได้ทำการติดตั้งชุดทดลองเรียบร้อยแล้ว จึงได้ทำการทดลองระบบการทำงานของหอทำน้ำเย็นและรายละเอียดวิธีการทดลองนี้จะอยู่ในบทที่ 3 จากนั้นจึงทำการออกแบบระบบควบคุมอัตโนมัติ และทำการทดลองในส่วนของการควบคุมอัตโนมัติอีกครั้ง

ส่วนสุดท้ายจะนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์และสรุปผลหาปัจจัยที่มีผลต่อการทำความเย็นมากที่สุด ตลอดทั้งข้อเสนอแนะที่จะเป็นประโยชน์ต่อการควบคุมและออกแบบหอทำน้ำเย็นเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมให้ได้ประโยชน์สูงสุดต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี

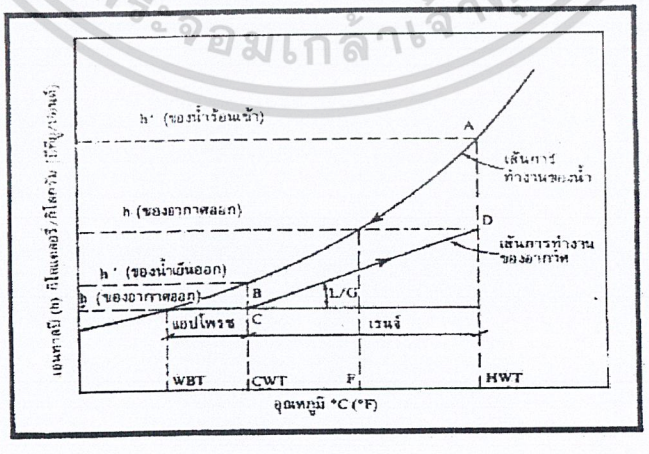
2.1 หลักการทำงานของหอทำน้ำเย็น

การที่หอทำน้ำเย็นเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยให้น้ำสามารถถ่ายเทความร้อนไปสู่อากาศได้นั้น สามารถอธิบายด้วยหลักการง่าย ๆ คือ หอทำน้ำเย็นเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยให้การฉีดน้ำที่มีอุณหภูมิสูงให้กระจายเป็นฝอยละอองเล็ก ๆ ตกผ่านแผงกระจายละอองน้ำ (Filler) ละอองน้ำเล็ก ๆ เหล่านี้จะสัมผัสกับอากาศที่ถูกดูดผ่านแผงกระจายละอองน้ำ และก่อให้เกิดกระบวนการถ่ายเทความร้อนสัมผัส (Sensible Heat) ระหว่างหยดน้ำที่มีอุณหภูมิสูงกับอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำ ขณะเดียวกันนั้นบางส่วนของหยดน้ำก็จะระเหยตัวกลายเป็นไอน้ำ เพราะในอากาศยังมีปริมาณไอน้ำแฝงที่ยังไม่อิ่มตัว น้ำจึงสามารถระเหยตัวกลายเป็นไอเพิ่มมากขึ้นได้อีก ซึ่งขบวนการระเหยตัวกลายเป็นไอของน้ำนี้ก่อให้เกิดขบวนการถ่ายเทความร้อนแฝง (Latent Heat) ปฏิกริยาเหล่านี้จำเป็นจะต้องใช้ความร้อน ดังนั้นน้ำส่วนที่ระเหยตัวตามทฤษฎีสามารถคาดคะแนได้ว่าการระเหยตัวของน้ำปริมาณเพียง 1% สามารถจะช่วยลดอุณหภูมิของน้ำที่เหลืออีก 99% ได้ถึงประมาณ 10 ° F ดังนั้นหอทำน้ำเย็นจึงเป็นอุปกรณ์ที่สามารถถ่ายเทความร้อนของน้ำออกสู่อากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ และปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้ไม่ว่าจะเป็นเพียงปัจจัยเดียวหรือทั้งหมดจะช่วยในการเร่งขบวนการลดอุณหภูมิของหอทำน้ำเย็น ดังนี้

1. การแตกตัวเป็นฝอยละอองของน้ำซึ่งจะทำให้มีพื้นที่ผิวของหยดน้ำที่ถ่ายเทความร้อนมากขึ้น

2. การเพิ่มเนื้อที่ในการถ่ายเทความร้อน (Wetted Surface) เพื่อทำให้น้ำมีโอกาสสัมผัสกับอากาศมากขึ้น

3. การเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการเพิ่มปริมาณอากาศ เราสามารถอธิบายขบวนการถ่ายเทความร้อนจากน้ำไปสู่อากาศได้ โดยอาศัยการพล็อตลงบนแผ่น (Psychrometric) และอาศัยกฎของเทอร์โมไดนามิกส์ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงการแลกเปลี่ยนความร้อนและความชื้นของน้ำและอากาศที่ผ่านหอทำน้ำเย็นโดยไดอะแกรม (Psychrometric Chart)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.1 จะแสดงภาวะการแลกเปลี่ยนความร้อนและความชื้นระหว่างน้ำกับอากาศโดยน้ำร้อนจะเข้าสู่หอทำน้ำเย็นที่จุด A และถูกลดอุณหภูมิลงเนื่องจากอากาศรับความร้อนและความชื้นไป รวมทั้งการที่มีน้ำส่วนหนึ่งระเหยตัว อุณหภูมิของน้ำที่ออกจากหอทำน้ำเย็นจึงตกมาอยู่ที่จุด B ส่วนอากาศเข้าสู่หอทำน้ำเย็นที่จุด C และได้รับทั้งความร้อนและความชื้นจากน้ำ จึงมีการเพิ่มอุณหภูมิและความชื้น (เพิ่มเอนทาลปี) จนไปอยู่ที่จุด D เนื่องจากกฎของเทอร์โมไดนามิกส์ ปริมาณความร้อนที่น้ำคายออกมาจะมีค่าเท่ากับปริมาณความร้อนที่อากาศรับเข้าไปหรือเขียนได้ตามสูตร

$$L(t_2 - t_1) = G(h_2 - h_1)$$

หรือ

$$L/G = (h_2 - h_1/t_2 - t_1) = C/R$$

เมื่อ L = ปริมาณน้ำหมุนเวียนแกลลอนต่อนาที

t_2 = อุณหภูมิน้ำเข้าสู่เทาเวอร์ ($^{\circ}F$)

t_1 = อุณหภูมิน้ำออกจากเทาเวอร์ ($^{\circ}F$)

G = มวลของอากาศที่ผ่านเข้าเทาเวอร์ (ปอนด์ต่อนาที)

h_2 = เอนทาลปีของอากาศออกจากเทาเวอร์ (บีทียู/ปอนด์ของอากาศ)

h_1 = เอนทาลปีของอากาศเข้าเทาเวอร์ (บีทียู/ปอนด์ของอากาศ)

L/G = อัตราส่วนของน้ำต่ออากาศ (ความลาดของเส้น C-D)

C = การเปลี่ยนแปลงเอนทาลปีของอากาศ

R = ช่วงอุณหภูมิเรนจ์ของน้ำ (ความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำเข้าและน้ำออกเทาเวอร์)

ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของหอทำน้ำเย็นจะแสดงในรูปของเรนจ์ (Range) แอปโพรช (Approach)

เรนจ์ คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิกระเปาะแห้งที่ลดลงของน้ำเข้าและออกจากหอทำน้ำเย็น แสดงถึงความสามารถในการถ่ายเทความร้อนสัมผัส

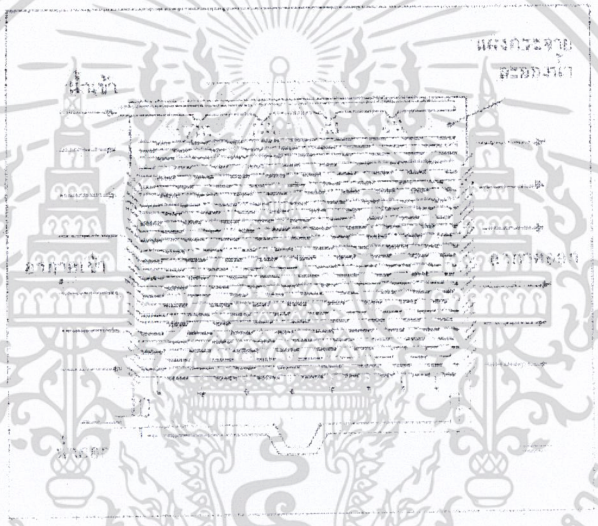
แอปโพรช คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิของกระเปาะเปียกของอากาศเข้า และอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากหอทำน้ำเย็นแสดงถึงความสามารถในการถ่ายเทความร้อนแฝง

2.2 ประเภทของหอทำน้ำเย็น

การจำแนกประเภทของหอทำน้ำเย็นสามารถจำแนกได้หลายอย่าง แต่สำหรับในเบื้องต้นเราสามารถจะจำแนกหอทำน้ำเย็นออกเป็น 2 ประเภทตามวิธีการที่ทำให้อากาศเคลื่อนไหวนั่น คือ Atmospheric หรือ Natural draft หมายถึงหอทำน้ำเย็นที่ใช้การเคลื่อนไหวของอากาศตามธรรมชาติ และอีกประเภทหนึ่ง คือ Mechanical draft tower หมายถึง หอทำน้ำเย็นที่อาศัยพัดลมช่วยในการทำให้อากาศเคลื่อนไหว รายละเอียดของหอทำน้ำเย็นทั้งสองประเภทมีดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

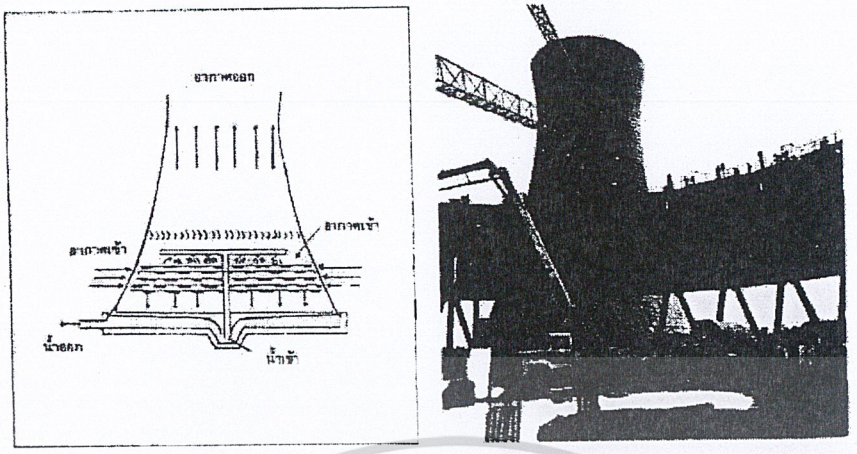
2.2.1 หอทำน้ำเย็นชนิดอากาศหมุนเวียนตามธรรมชาติ (atmospheric or natural draft) หอทำน้ำเย็นประเภทนี้ที่อาจจะพบเห็นกันได้ จะมีลักษณะดังรูปที่ 2.2 คือเป็นหอทำน้ำเย็นอย่างง่าย ๆ ที่ใช้การสเปรย์น้ำลงมาจากข้างบน และตัวหอทำน้ำเย็นจะมีลักษณะเหมือนกับแผงโปร่ง ที่ให้อากาศสามารถพัดผ่านได้ โดยอากาศจะพัดผ่านในแนวนอนผ่านแผงกระจ่ายละอองน้ำ จากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่ง สำหรับด้านยาวของหอทำน้ำเย็นจะอยู่ในทิศทางที่ลมพัดผ่าน ส่วนด้านกว้างของหอทำน้ำเย็นประเภทนี้จะไม่สามารถกว้างได้มากนัก เพื่อทำให้มีความเสียดทานต่อการเคลื่อนไหวของอากาศน้อยที่สุด การใช้หอทำน้ำเย็นประเภทนี้มีอยู่แต่ยุคต้น ๆ ของหอทำน้ำเย็นแต่ในปัจจุบันการใช้หอทำน้ำเย็นประเภทนี้ได้ลดลง เนื่องจากสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการทำโครงสร้างและระบบปั๊ม นอกจากนี้ยังมีเรื่องของทิศทางและความเร็วของลมที่พัดผ่านซึ่งทำให้ยากแก่การควบคุมอุณหภูมิของน้ำ และยังต้องการสถานที่ติดตั้งที่เปิดโล่งดังนั้นหอทำน้ำเย็นประเภทนี้จะมีใช้อยู่ก็มีแต่เพียงสำหรับระบบปรับอากาศขนาดเล็กเท่านั้น



รูปที่ 2.2 หอทำน้ำเย็นชนิดระบายอากาศตามธรรมชาติ

สำหรับหอทำน้ำเย็นประเภทนี้ที่ยังใช้อยู่ในปัจจุบันก็จะเป็นประเภท ที่เรียกว่าหอทำน้ำเย็นแบบไฮเปอร์โบลิค หรือแบบปล่องไฟ (Hyperbolic or Chimney) ดูรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 หอทำน้ำเย็นแบบปล่องไฟ (Hyperbolic Tower)

หอทำน้ำเย็นประเภทนี้จะใช้หลักการในการเคลื่อนไหวของอากาศตามธรรมชาติ โดยอากาศจะเคลื่อนผ่านตัวหอทำน้ำเย็นเนื่องจากเกิดความแตกต่างของความหนาแน่นของอากาศ หอทำน้ำเย็นประเภทนี้อาจจะมีความสูงมากกว่า 400 ฟุต และมีลักษณะเหมือนกับปล่องไฟ ที่ภายในกลวงส่วนสูงประมาณ 30 ฟุต และนั่นจะเป็นช่วงให้อากาศเข้าซึ่งจะมีแผ่งกระจายละอองน้ำ ที่ทำการกระจายน้ำที่มีอุณหภูมิสูงให้เป็นละออง ตัวเทาเวอร์แบบไฮเปอร์โบลิคจะมีลักษณะการทำงานคล้ายปล่องไฟมาก คือ อากาศจะถูกดูดเข้ามาเนื่องจากผลของความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นของอากาศของส่วนบนของเทาเวอร์กับส่วนล่าง คือ อากาศที่มีอุณหภูมิสูง และความชื้นสูงจะลอยตัวขึ้นอยู่เบื้องบนของตัวเทาเวอร์ ส่วนอากาศที่เย็นและแห้งกว่าก็จะเข้ามาตรงส่วนล่างตัวโครงสร้างมักจะทำด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นปล่องกลวง

ไฮเปอร์โบลิคเทาเวอร์สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในที่ที่อากาศมีอุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet Bulb Temperature) ต่ำและมีความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) ต่ำนั่นหมายถึงอากาศตอนหน้าหนาว ดังนั้นการใช้เทาเวอร์เช่นนี้จึงขึ้นกับสถานที่ตั้งและภูมิอากาศของสถานที่ใช้งานด้วย

ข้อดีของไฮเปอร์โบลิคเทาเวอร์ก็คือมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานต่ำ เนื่องจากไม่ต้องอาศัยพัดลมในการช่วยดูดอากาศ จึงไม่ต้องการพัดลมไฟฟ้าในการใช้กับพัดลม และนอกจากนั้นโอกาสที่อากาศรับความร้อนไปแล้วจะหวนกลับมาสู่เทาเวอร์อีกก็เป็นไปได้ยาก แต่จุดสำคัญของเทาเวอร์ประเภทนี้ก็คือเงินลงทุนข้างต้นสูง ซึ่งจะต้องนำมาเปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานที่สามารถประหยัดได้ หอทำน้ำเย็นประเภทนี้จะใช้สำหรับที่ที่ต้องการปริมาณน้ำระบายความร้อนสูงมาก เช่น โรงไฟฟ้า

2.2.2 หอทำน้ำเย็นชนิดอากาศหมุนเวียนด้วยแรงกล (Mechanical Draft Tower) คือ หอทำน้ำเย็นที่ใช้พัดลมช่วยในการทำให้อากาศเคลื่อนไหวผ่านแผงกระจ่ายน้ำ การที่สามารถทำให้อากาศเคลื่อนไหวได้ด้วยความเร็วสูง จึงทำให้เกิดขบวนการถ่ายความร้อนได้ดีกว่าและสามารถควบคุมได้ง่ายกว่า ทำให้ลดขนาดหอทำน้ำเย็นลงได้ และช่วยประหยัดการลงทุนในการสร้างหอทำน้ำเย็น

หอทำน้ำเย็นชนิดนี้มักจะมีพัดลมมากหนึ่งตัว เพื่อช่วยในการควบคุมความร้อนเนื่องจากอุณหภูมิกระเปาะเปียกที่เปลี่ยนแปลงไปในช่วงปีจะแตกต่างจากอุณหภูมิที่กำหนดไว้ สำหรับการออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบหรือมิฉะนั้นพัดลมก็อาจจะใช้เป็นประเภทมีหลายความเร็ว หรือใช้ตัวควบคุมความเร็วรอบของพัดลมก็ได้ สำหรับหอทำน้ำเย็นแบบชนิดอากาศหมุนเวียนด้วยแรงกลนี้ แบ่งได้หลายประเภทเช่นเดียวกัน แต่ถ้าแบ่งตามลักษณะของการนำอากาศเข้าสู่ตัวหอทำน้ำเย็น เราสามารถจะแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือหอทำน้ำเย็นชนิดเป่าอากาศเข้าไปในตัว (Forced Draft) และหอทำน้ำเย็นชนิดดูดอากาศออก (Induced Draft) แต่ละประเภทมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. หอทำน้ำเย็นชนิดเป่าอากาศเข้า (Forced Draft) หอทำน้ำเย็นประเภทนี้จะมีพัดลมติดอยู่บริเวณทางเข้าของลมที่ผ่านแผงกระจายละอองน้ำ และให้อากาศสัมผัสกับหยดน้ำผ่านแผงดักละอองน้ำ (Drift Eliminator) แล้วออกสู่บรรยากาศ ส่วนใหญ่แล้วตัวพัดลมมักจะอยู่ในแกนนอน และเป่าอากาศในแกนนอนเข้าไป แล้วออกสู่ตรงส่วนบนของตัวเทาเวอร์ หอทำน้ำเย็นชนิดเป่าอากาศเข้าอีกชนิดหนึ่ง ที่ปรับปรุงการเคลื่อนไหวของอากาศให้ดีขึ้นอีกคือ ชนิดที่เป่าอากาศจากด้านล่าง (Under Flow) อากาศจะถูกเป่าที่ส่วนกลางของหอทำน้ำเย็นจากด้านล่าง อากาศจะผ่านไปโดยตรงจากล่างไปสู่บน และจะช่วยในการลดเสียงของหอทำน้ำเย็น เนื่องจากอากาศผ่านบริเวณด้านล่างโดยตรง บริเวณผิวโดยรอบของหอทำน้ำเย็นจึงไม่ต้องมีตัวเกล็ดช่องลม (louve) อยู่จึงทำให้หอทำน้ำเย็นประเภทนี้แลดูสวยงามและสามารถติดตั้งให้เข้ากับแบบสถาปัตยกรรมของอาคาร ได้เป็นอย่างดี หอทำน้ำเย็นประเภทนี้จะมีการกระจายของอากาศที่ไม่ดีนัก เนื่องจากการเปลี่ยนทิศทางของอากาศและการเป่าอากาศเข้าไปจะทำให้อากาศเข้าสู่เทาเวอร์เป็นเฉพาะจุดมากกว่า อากาศที่ออกจากตัวเทาเวอร์จะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำ ดังนั้นจึงมีโอกาสที่จะทำให้อากาศที่ร้อนและชื้นหวนกลับเข้าสู่หอทำน้ำเย็น และประสิทธิภาพของหอทำน้ำเย็นได้ แต่หอทำน้ำเย็นประเภทนี้มีข้อดีตรงที่เสียงเงียบกว่า เนื่องจากเสียงต้นกำเนิดจะแพร่กระจายเข้าไปในตัวหอทำน้ำเย็น และต้องผ่านอุปกรณ์ต่าง ๆ ในหอทำน้ำเย็นกว่าจะออกสู่ภายนอกได้จึงทำให้เสียงถูกลดลงไปได้

2. หอทำน้ำเย็นชนิดดูดอากาศออก (Induced draft) หอทำน้ำเย็นประเภทนี้เป็นประเภทที่ดูดลมออกจากตัวเทาเวอร์ ปกติแล้วพัดลมที่ใช้ในการดูดอากาศติดอยู่บริเวณส่วนบนของตัวเทาเวอร์อากาศจะถูกดูดผ่านด้านข้าง และผ่านแผงกระจายละอองน้ำในขณะที่อุณหภูมิสูงตกลงจากเบื้องบน คูลลิ่งประเภทนี้มีข้อดีในลักษณะที่ว่าการกระจายของอากาศเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ เนื่องจากอากาศถูกดูดเข้าอากาศจึงเข้าสู่หอทำน้ำเย็นอย่างสม่ำเสมอในทุกๆ ด้านทำให้การแลกเปลี่ยนความร้อนของน้ำกับอากาศเป็นไปได้ดีกว่า อากาศที่ออกจากหอทำน้ำเย็นจะเคลื่อนที่ออกไปอย่างรวดเร็ว จึงมีโอกาสน้อยที่อากาศที่ได้รับความร้อนและความชื้นแล้วจะหวนมาสู่หอทำน้ำเย็นอีก แต่ข้อเสียของหอทำน้ำเย็นประเภทนี้ก็คือจะเกิดเสียงดังกว่า

นอกเหนือจากการแบ่งประเภทของหอทำน้ำเย็นโดยอาศัยวิธีการนำอากาศเข้าสู่หอทำน้ำเย็นแล้ว เรายังแบ่งหอทำน้ำเย็นออกโดยเปรียบเทียบทิศทางในการแลกเปลี่ยนความร้อนของน้ำและอากาศออกได้เป็นสองประเภทคือ ทิศทางสวนกัน (Counter Flow) และทิศทางตัดกัน (Cross Flow) ซึ่งแต่ละชนิดมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

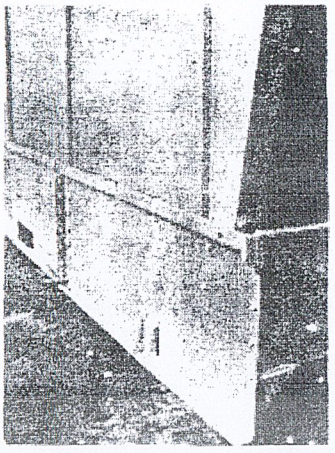
3. หอทำน้ำเย็นชนิดอากาศและน้ำเคลื่อนที่ตัดกัน (Cross Flow) หอทำน้ำเย็นประเภทนี้จะมีทิศทางของการเคลื่อนที่ของอากาศกับน้ำเป็นเส้นตัดกัน กล่าวคือน้ำจะถูกปล่อยให้ตกลงแผงกระจายละอองน้ำด้วยแรงดึงดูดเป็นแนวดิ่งและอากาศจะเคลื่อนที่ผ่านตัวหอทำน้ำเย็นในแนวนอน การที่น้ำไม่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

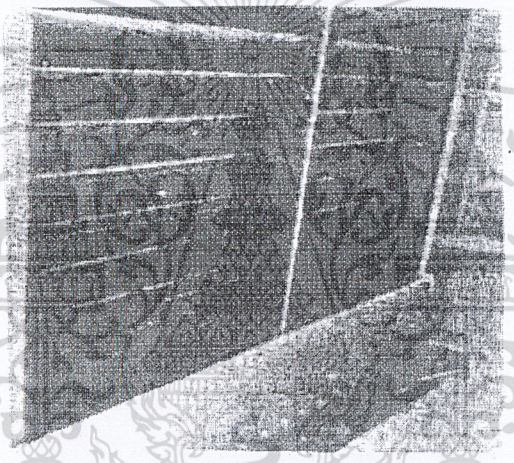
เคลื่อนผ่านสวนกับอากาศโดยตรง จึงทำให้มีความต้านทานของการเคลื่อนที่ของอากาศในแนวนอนน้อยกว่า จึงสามารถทำให้ตัวเทาเวอร์ดูดหรือเป่าอากาศผ่านได้มากกว่า และใช้แรงม้าของพัดลมน้อยกว่าตัวหอทำน้ำเย็นแบบอากาศเคลื่อนที่สวนกับน้ำ ซึ่งการที่มีปริมาณของอากาศเคลื่อนที่ผ่านหอทำน้ำเย็นมากกว่านี้จะชดเชยประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนซึ่งมีน้อยกว่าแบบอากาศเคลื่อนที่สวนกับน้ำ นอกจากนี้ยังมีข้อดีในลักษณะของการที่น้ำตกลงมาด้วยแรงดูด จึงไม่ต้องใช้แรงดันจากปั๊ม หรือแรงส่งน้ำให้กระจายเป็นละอองตกลงมาในหอทำน้ำเย็น จึงทำให้ประหยัดพลังงานของปั๊มน้ำไปได้ แต่เนื่องจากประสิทธิภาพในการระบายความร้อนไม่สูงนัก หอทำน้ำเย็นประเภทนี้จึงมักใช้สำหรับระบายความร้อนปริมาณไม่มากนัก จึงใช้หอทำน้ำเย็นตัวเล็ก ๆ

4. หอทำน้ำเย็นชนิดอากาศเคลื่อนที่สวนกับน้ำ (Counter Flow) หอทำน้ำเย็นประเภทนี้เป็นหอทำน้ำเย็นชนิดที่อากาศมีทิศทางการเคลื่อนที่สวนกับการเคลื่อนที่ของน้ำ กล่าวคืออาจจะถูกดูดจากด้านข้างขึ้นไปสู่ด้านบน (สำหรับชนิดดูดอากาศออก) และอาจจะถูกเป่าจากด้านข้างของหอทำน้ำเย็นขึ้นไป (สำหรับชนิดเป่าอากาศเข้า) ในที่น้ำที่มีอุณหภูมิสูงตกผ่านแผงกระจายน้ำลงมา เนื่องจากน้ำและอากาศต้องเคลื่อนที่สวนกัน จึงก่อให้เกิดความต้านทานต่อการเคลื่อนที่ของอากาศมากกว่าชนิดที่อากาศและน้ำเคลื่อนที่ตัดกัน ดังนั้นจึงสามารถเป่าลมผ่านหอทำน้ำเย็นได้เป็นปริมาณน้อยกว่า แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากทิศทางการเคลื่อนที่ที่สวนกัน จึงทำให้ประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนของน้ำและอากาศเป็นไปได้ดีกว่า แต่ขณะเดียวกันเนื่องจากอากาศเคลื่อนที่สวนขึ้นข้างบน ดังนั้นการที่ฉีดน้ำลงมาจึงจำเป็นต้องใช้หัวฉีด และต้องสิ้นเปลืองความดันที่หัวฉีดประมาณ 7 ถึง 10 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จะไม่สามารถปล่อยให้น้ำไหลลงมาด้วยแรงดึงดูดได้ เพราะน้ำจะถูกลมหอบไปหมด ดังนั้นจึงทำให้สิ้นเปลืองพลังงานของปั๊มซึ่งจะส่งมาที่ตัวหอทำน้ำเย็น หอทำน้ำเย็นประเภทนี้จะใช้สำหรับระบบระบายความร้อนขนาดใหญ่ และไม่มีเรื่องทิศทางของลมเข้าไปเกี่ยวข้อง เนื่องจากอากาศจะผ่านตัวหอทำน้ำเย็นทางด้านใต้หรือทางด้านข้างเท่านั้น ไม่เหมือนกับคูลลิ่งเทาเวอร์แบบที่อากาศและน้ำเคลื่อนที่ตัดกัน ซึ่งอากาศจะผ่านเข้ามาจากด้านใดด้านหนึ่ง สำหรับการใช้งานในระบบปรับอากาศเรามักจะพบเห็นหอทำน้ำเย็นชนิดดูดอากาศออกแบบอากาศเคลื่อนที่สวนกับน้ำเสมอแต่สำหรับงานในประเภทที่มีความต้องการเป็นพิเศษ เช่น อาจจะต้องการเสียงที่เงียบเป็นพิเศษ หรือมีเรื่องเกี่ยวกับตำแหน่งที่ตั้งหรือขนาดของหอทำน้ำเย็น หรือปริมาณการระบายความร้อนที่อาจจะไม่มากนัก เราก็อาจจะพบเห็นหอทำน้ำเย็นประเภทอื่น ๆ ได้

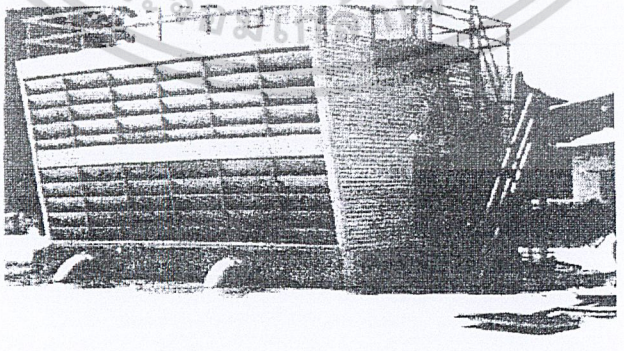
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 ตัวถังของหอทำน้ำเย็นทำด้วยเหล็กอาบสังกะสีซึ่งเป็นตัวถังจากอเมริกาและยุโรป

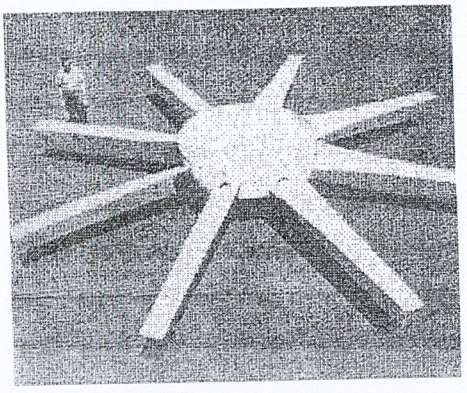


รูปที่ 2.5 ตัวเกล็ดช่องลม (Louver) อยู่ข้างๆหอทำน้ำเย็น ซึ่งเป็นช่องที่ลมเข้า



รูปที่ 2.6 แสดงหอทำน้ำเย็นมองจากภายนอก (หอทำน้ำเย็นสไตล์อเมริกาและยุโรป)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 ใบพัดลมของหอทำน้ำเย็นมักใช้โลหะผสมอะลูมิเนียมหล่อ

2.3 การเลือกชนิดของหอทำน้ำเย็น

การเลือกชนิดของหอทำน้ำเย็น นับว่าเป็นเรื่องที่จะต้องอาศัยความรู้และประสบการของผู้ออกแบบเป็นสิ่งสำคัญในการตกลงใจ ซึ่งเป็นการยากที่จะชี้เฉพาะเจาะจงไปได้ว่าหอทำน้ำเย็นชนิดใดชนิดหนึ่งจะมีความเหมาะสมกับโครงการแต่ละโครงการอย่างไร แต่เป็นเรื่องจะต้องพิจารณาอย่างละเอียดถี่ถ้วน อย่างไรก็ตามพอจะมีปัจจัยสำคัญ ๆ ที่จะแนะนำเป็นแนวทางในการเลือกชนิดของหอทำน้ำเย็นดังต่อไปนี้

2.3.1 งบประมาณ งบประมาณในโครงการเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดชนิดและแหล่งที่มาของหอทำน้ำเย็น ซึ่งเป็นที่แน่นอนว่าถ้ามีงบประมาณมากเพียงพอก็จะสามารถใช้หอทำน้ำเย็นประเภทที่ดีมีความคงทนมีอายุการใช้งานสูงได้ แต่ถ้างบประมาณไม่เพียงพอก็อาจที่จะต้องใช้หอทำน้ำเย็นประเภทธรรมดาที่มีผลิตอยู่ภายในประเทศ

2.3.2 ข้อมูลที่เกี่ยวกับโครงการที่จะต้องใช้หอทำน้ำเย็นนั้น ลักษณะประเภทของโครงการจะทำให้กำหนดได้ว่าจะต้องใช้วัสดุอุปกรณ์ประเภทไหน มีอายุยืนนานและคงทนเช่นใดการเปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่จะทำได้หรือไม่ เกี่ยวกับทำเลที่ตั้งก็มีความสำคัญต้องดูว่าจะไปกระทบกระเทือนต่อสิ่งแวดล้อมหรือไม่ หรือเกี่ยวกับทิศทางลมว่ามีความเกี่ยวข้องกับหอทำน้ำเย็นหรือไม่

2.3.3 ข้อมูลเกี่ยวกับผู้จัดหาและบริการหอทำน้ำเย็น ว่าเป็นผู้ที่ทำการขายหอทำน้ำเย็นมานานเท่าใดมีการให้บริการหลังการขายเพียงไร มีอะไหล่และบริการที่สามารถเปลี่ยนทดแทนได้หรือไม่อันนี้เป็นสิ่งที่จะต้องพิจารณาเป็นพิเศษ โดยเฉพาะเมื่อต้องการซื้อหอทำน้ำเย็นจากที่ไกลๆ เช่น ผลิตภัณฑ์ของยุโรปหรืออเมริกา

2.3.4 ข้อมูลเกี่ยวกับตัวหอทำน้ำเย็นเอง ตัวหอทำน้ำเย็นมีลักษณะที่แตกต่างกันออกไปมากมาย ระหว่างหอทำน้ำเย็นชนิดต่างๆกันและมาจากผู้ผลิตที่ต่างกัน จึงเป็นข้อมูลที่มาเปรียบเทียบกันก็คือเรื่องขนาด และน้ำหนักของหอทำน้ำเย็นที่จะใช้เรื่องพลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์พัดลมปริมาณน้ำที่สูญเสียที่จะเติมใหม่ ระดับเสียง ความสั่นสะเทือน วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้อายุความคงทน รวมทั้งปัจจัยปลีกย่อยต่างๆที่จะต้องนำมาพิจารณาอีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหล่านี้ล้วนแต่เป็นเรื่องที่ละเอียดอ่อนและจำเป็นจะต้องอาศัยประสบการณ์ของผู้ออกแบบในการเทียบเคียงผลงานที่ผ่านมาที่ได้ทราบถึงอุปสรรคและรายละเอียดเกี่ยวกับหอทำน้ำเย็นยี่ห้อต่าง ๆ ว่ามีข้อดีข้อเสียอย่างไร ซึ่งไม่อาจชี้แน่นอนลงไปได้ขึ้นอยู่กับวิจารณญาณของผู้ออกแบบ

2.4 การต่อท่อน้ำสำหรับหอทำน้ำเย็น

การต่อน้ำเป็นการต่อท่อของวงจรเปิด มีทางที่เปิดสู่บรรยากาศโดยตรง และนอกจากนี้ก็ยังมีท่อที่ต่อกับหอทำน้ำเย็นจำนวนหลายท่อด้วยกัน ซึ่งควรจะมาทำความเข้าใจกัน

สำหรับท่อที่ต่ออยู่กับหอทำน้ำเย็นจะมีท่อชนิดต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

2.4.1 ท่อน้ำเข้าหอทำน้ำเย็น เป็นท่อน้ำที่รับจากคอนเดนเซอร์ที่ปั๊มมายังหอทำน้ำเย็น เพื่อทำการลดอุณหภูมิลง

2.4.2 ท่อน้ำออกจากหอทำน้ำเย็นไปยังคอนเดนเซอร์ จะเป็นท่อน้ำที่ได้รับน้ำที่ได้รับจากการลดอุณหภูมิแล้วออกจากตัวหอทำน้ำเย็นไปเข้าสู่ด้านดูด (suction) ของเครื่องสูบน้ำที่จะปั๊มน้ำผ่านคอนเดนเซอร์

2.4.3 ท่อน้ำเติม (make up water) เนื่องจากน้ำที่ถูกหมุนเวียนที่หอทำน้ำเย็นจะเกิดการสูญเสียไป จึงต้องมีการเติมน้ำทดแทนเข้าไป การนำน้ำเข้ามาเติมนั้นส่วนใหญ่แล้วจะใช้วิธีการนำน้ำจากท่อประปามาผ่านการควบคุมคุณภาพ เพื่อลดตะกรันและสารจุลชีพอื่น ๆ และหลังจากนั้นก็จะเติมน้ำเข้าสู่หอทำน้ำเย็นโดยการผ่านลูกลอย (float valve) มีข้อควรระวังว่าระดับส่วนที่เติมน้ำนี้ควรจะอยู่สูงกว่าระดับท่อน้ำล้น (over flow pipe) นอกจากนี้ท่อน้ำเติมควรจะต่อเข้ากับส่วนใจกลางของตัวถังน้ำของหอทำน้ำเย็นเพื่อให้การกระจายของน้ำในตัวอ่างรับน้ำเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ

2.4.4 ท่อน้ำทิ้งและท่อน้ำล้น (drain or over flow pipe) ท่อน้ำทิ้งเป็นท่อที่ต่อจากส่วนตัวล่างสุดของหอทำน้ำเย็น เพื่อระบายน้ำออกจากตัวหอทำน้ำเย็นได้หมด ซึ่งจะใช้ในกรณีที่เราต้องการระบายน้ำออกจากหอทำน้ำเย็น เพื่อทำการซ่อมแซมหอทำน้ำเย็นนั้น ตัวท่อนี้ต้องต่อจากหอทำน้ำเย็นและต่อปลายท่อไปยังท่อไปยังจุดระบายน้ำที่ใกล้ที่สุด และมีวาล์วสำหรับทำการปิดเปิดได้ตามความต้องการ คือ ปกติวาล์วนี้จะเปิดอยู่ แต่เมื่อต้องการระบายน้ำก็จะเปิดวาล์วให้เต็มที่ น้ำก็ระบายออกไปส่วนท่อน้ำล้นเป็นท่อที่มีปากทางเข้าอยู่เหนือระดับน้ำสูงสุดที่ยอมให้ได้ หมายความว่ากรณีน้ำที่ระบายออกจากหอทำน้ำเย็นไม่ทัน น้ำนี้ก็จะระบายออกทางท่อน้ำล้น ปกติท่อระบายน้ำล้นนี้จะต่อเข้ากับท่อน้ำทิ้งบริเวณหลังวาล์ว หมายความว่าตัวท่อระบายน้ำล้นจะไม่มีวาล์วเลย เพื่อไม่ให้มีการปิดวาล์วโดยไม่ได้ตั้งใจซึ่งจะทำให้น้ำระบายออกจากท่อน้ำล้นไม่ได้ เพราะปกติถ้าหอทำน้ำเย็นทำงานอย่างถูกต้องแล้วก็จะไม่เกิดปัญหาเรื่องน้ำล้นเหนือถัง ซึ่งถ้าเกิดปัญหาดังกล่าวขึ้นน้ำที่ล้นดังกล่าวจะถูกระบายออกไปอย่างรวดเร็ว

2.4.5 ท่อรักษาระดับน้ำสมดุล (equalizer) ในกรณีที่มีการต่อหอทำน้ำเย็นเข้าด้วยกันมากกว่าสองตัว จะต้องมีการต่อท่อน้ำระหว่างอ่างรับน้ำของหอทำน้ำเย็นเหล่านี้ เพื่อรักษาระดับน้ำของหอทำน้ำเย็นให้อยู่ในระดับที่สม่ำเสมอระดับเดียวกัน นอกเหนือจากท่อชนิดต่าง ๆ ที่ต่อเข้ากับหอทำน้ำเย็นแล้วอุปกรณ์อีกชนิดหนึ่งที่ขาดเสียไม่ได้คือ วาล์วนั้นเอง ส่วนใหญ่วาล์วที่ใช้กับหอทำน้ำเย็นจะเป็นวาล์วชนิดปิดหรือเปิดเท่านั้น สำหรับท่อน้ำที่เข้าและออกจากหอทำน้ำเย็นเนื่องจากเป็นท่อขนาดใหญ่จึงนิยมใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วาล์วชนิดปีกผีเสื้อ (batterfly valve) ส่วนท่ออื่น ๆ ที่มีขนาดเล็กลงไปก็จะใช้พวกเกทวาล์ว (gate valve) สำหรับท่อเข้าและออกจากหอทำน้ำเย็นนั้น บางครั้งเพื่อให้การปิดเปิดน้ำที่เข้าออกหอทำน้ำเย็นแต่ละตัว (ซึ่งเป็นกรณีทั่ว ๆ ไปมักมีการใช้งานหอทำน้ำเย็นหลาย ๆ ตัว) เป็นไปได้อย่างสะดวกสบายก็มักจะใช้วาล์วที่ควบคุมด้วยไฟฟ้าหรือที่นิยมใช้มากก็คือวาล์วใช้กำลังลมอัด (phnumetic valve) ซึ่งมักจะใช้วาล์วบัตเตอร์ฟลายนั่นเอง

นอกเหนือจากท่อน้ำแต่ละประเภทที่มีใช้อยู่กับหอทำน้ำเย็นแล้ว เมื่อเราต่อท่อเพื่อใช้กับหอทำน้ำเย็นจริง ๆ จะต้องมีการเชื่อมต่อท่อระหว่างหอทำน้ำเย็นไปยังคอนเดนเซอร์ด้วย ซึ่งมีข้อปลีกย่อยที่ควรให้ความสนใจจะขอนำมากล่าวดังต่อไปนี้

1.เกี่ยวกับเรื่องวางตำแหน่งของหอทำน้ำเย็น หอทำน้ำเย็นควรวางอยู่ในตำแหน่งแนวราบที่สำเสมอไม่เอียงไปข้างหนึ่ง มิฉะนั้นจะทำให้การกระจายน้ำเป็นไปอย่างไม่สำเสมอและลดประสิทธิภาพของหอทำน้ำเย็น สำหรับสถานที่ติดตั้งควรจะสามารถเดินเข้าได้อย่างสะดวกและทำการยึดขาของหอทำน้ำเย็นให้แน่นกับสถานที่ติดตั้ง

2.การต่อน้ำเข้าและออกจากหอทำน้ำเย็น จะต้องมีระดับลาดลงไปจากส่วนที่ต่อกับหอทำน้ำเย็น

3.ท่อที่ต่อเข้ากับหอทำน้ำเย็นควรจะมีขนาดเดียวกันกับตรงส่วนต่อของท่อ (pipe connection) ตามที่ผู้ผลิตได้แนะนำมา การที่ใช้ท่อน้ำที่มีขนาดเล็กกว่าข้อต่อจะเป็นผลในการลดประสิทธิภาพการทำงานของหอทำน้ำเย็น และถ้าใช้ท่อที่มีขนาดใหญ่กว่าข้อต่อก็จะเป็นการสิ้นเปลืองวัสดุ

4.ปั๊มที่ใช้ในการหมุนเวียนน้ำผ่านหอทำน้ำเย็นจะต้องติดตั้งอยู่ในตำแหน่งที่อยู่ใต้ตัวอ่างรับน้ำของหอทำน้ำเย็นในสภาวะปกติ

5. สำหรับท่อน้ำเข้าและท่อน้ำออกจากหอทำน้ำเย็นที่มีขนาดใหญ่กว่า 4 นิ้วขึ้นไป ควรจะต่อข้อต่อ ที่ยืดหยุ่นได้ (Flexible connection) เพื่อป้องกันการสั่นสะเทือนที่จะถ่ายทอดลงไปตามท่อน้ำและเพื่อป้องกันการที่ตัวอ่างน้ำจะถูกบิดจนถึงขั้นแตก เนื่องการติดตั้งท่อที่ไม่ถูกต้อง

6. การต่อท่อน้ำร่วมสำหรับหอทำน้ำเย็นหลายตัว การต่อแบบนี้จะเป็นสิ่งที่อาจก่อให้เกิดปัญหาได้ เพราะการต่อท่อน้ำของหอทำน้ำเย็นเป็นระบบเปิด การปรับสมดุลของน้ำจึงทำได้ลำบากโดยเฉพาะในกรณีที่ต่อท่อน้ำส่งและท่อน้ำกลับเป็นท่อร่วม (Header) ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องระวังเป็นพิเศษมิฉะนั้นปริมาณน้ำที่ถูกส่งไปและกลับจากหอทำน้ำเย็นแต่ละตัวจะไม่เท่ากัน ทำให้การระบายความร้อนของหอทำน้ำเย็นแต่ละตัวไม่เท่ากัน อีกทางก็คือการติดพวกวาล์วปรับสมดุล (Balancing Valve) เพิ่มที่หอทำน้ำเย็น หรือแยกท่อน้ำไปและกลับสำหรับหอทำน้ำเย็นเป็นแต่ละตัวไป แต่ถ้าหลีกเลี่ยงไม่ได้ก็ควรจะต่อท่อ Header ในขากลับให้มีสมดุล สำหรับหอทำน้ำเย็นแต่ละตัว โดยรักษาระยะท่อย่อย (Balanch Pipe) ที่แยกจากท่อเมน (Header) ไปยังหอทำน้ำเย็นแต่ละตัวให้เท่ากัน

7. เมื่อหอทำน้ำเย็นอยู่เหนือคอนเดนเซอร์

ข้อควรระวัง

7.1 ท่อน้ำที่ออกจากหอทำน้ำเย็นจะต้องอยู่สูงกว่าท่อทางดูดของปั๊ม

7.2 ควรจะเพิ่มเช็ควาล์วเพื่อป้องกันน้ำตีกลับในขณะที่ปั๊มน้ำทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. เมื่อหอทำน้ำเย็นและตัวคอนเดนเซอร์ อยู่ที่ระดับเดียวกัน แต่ตัวอ่างรับน้ำของหอทำน้ำเย็นอยู่สูงกว่าระดับของคอนเดนเซอร์

ข้อควรระวัง

จะต้องมีการเติมน้ำเข้ามาที่หอทำน้ำเย็นอยู่เสมอ ๆ เพื่อชดเชยปริมาณน้ำที่สูญเสียไป เพื่อทำให้ระดับน้ำคงอยู่ในระดับที่ต้องการซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญมากโดยเฉพาะสำหรับการที่มีการต่อท่อในแนวนอนที่ยาวมาก

9. เมื่อหอทำน้ำเย็นอยู่ต่ำกว่าคอนเดนเซอร์ในแนวดิ่งจะต้องมีการเพิ่มถังกันน้ำ กระแทก (surge tank) เป็นพิเศษ

ข้อควรระวัง

น้ำจะมีการกระฉอกออกจากตัวอ่างรับน้ำในขณะที่ปั๊มที่หมุนเวียนหยุดทำงาน ดังนั้นจะต้องมีการเติมน้ำเข้ามาก่อนที่ที่จะเดินปั๊มอีกครั้งหนึ่ง สำหรับความจุของถังกันน้ำกระแทกจะต้องใหญ่กว่าจำนวนของน้ำที่เติมเข้ามา นอกจากนี้จะต้องมีการติดตั้งเช็ควาล์วที่ท่อออกจากปั๊มน้ำหมุนเวียนเพื่อลดปริมาณน้ำเติมที่สูญเสียไป

10 หอทำน้ำเย็นทำงานที่อุณหภูมิน้ำที่สูงมาก คือ 46 $^{\circ}$ C ซึ่งแยกเป็นกรณีต่าง ๆ ดังนี้

10.1 กรณีที่ใช้ปั๊มน้ำหมุนเวียนสองตัวและตัวอ่างรับน้ำรวมหนึ่งตัวข้อควรระวัง จะต้องมีการปรับปริมาณน้ำระหว่างปั๊มที่ 1 กับปั๊มที่ 2 ให้ถูกต้อง

10.2 ในกรณีที่ใช้ปั๊มน้ำหมุนเวียนเพียงตัวเดียวโดยไม่ใช้ตัวอ่างรับน้ำผสมน้ำ

11. การเลือกหอทำน้ำเย็นที่มีขนาดใหญ่กว่าสำหรับการใช้งาน ในปัจจุบันเพื่อเผื่อสำหรับการขยายคอนเดนเซอร์

ข้อควรระวัง

จะต้องต่อท่อบายพาสเพื่อใช้ควบคุมน้ำที่ไหลผ่านให้อยู่ในปริมาณที่เหมาะสม สำหรับการทำงานในแต่ละช่วงเวลา คือในช่วงปัจจุบันและในช่วงอนาคตนอกจากนี้ปั๊มน้ำหมุนเวียนจะต้องได้รับการเลือกให้สามารถหมุนได้ในปริมาณสูงสุดเมื่อทำการขยายคอนเดนเซอร์เต็มตามปริมาณในอนาคต

12.ในกรณีหอทำน้ำเย็นสูงมากซึ่งเปรียบเทียบแล้วทำให้ปริมาณน้ำที่ถูกหมุนเวียนผ่านคอนเดนเซอร์ต่ำ

ข้อควรระวัง

จะต้องมีการต่อท่อบายพาสพร้อมด้วยวาล์วควบคุม เพื่อควบคุมปริมาณน้ำที่ผ่านตัวแลกเปลี่ยนความร้อนนอกจากนี้การเลือกปั๊มที่ส่งน้ำหมุนเวียนจะต้องเลือกปั๊มที่สามารถส่งน้ำได้ปริมาณที่ออกแบบไว้

2.5 การเลือกตำแหน่งที่ตั้งของหอทำน้ำเย็น

การเลือกตำแหน่งที่ตั้งของหอทำน้ำเย็นนั้น นับได้ว่ามีความสำคัญอย่างมากในการที่จะทำให้หอทำน้ำเย็นที่ได้รับการออกแบบและเลือกมาอย่างสมบูรณ์ ในทางทฤษฎีสามารถทำได้อย่างสมบูรณ์ เช่นกัน ในเชิงทางปฏิบัติส่วนใหญ่การเลือกตำแหน่งหอทำน้ำเย็นจะได้รับการกำหนดมาตั้งแต่ขั้นการออกแบบซึ่งผู้ที่รับผิดชอบ เกี่ยวกับระบบการปรับอากาศควรจะได้รับการปรึกษากับทางด้านสถาปนิกโครงการอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รอบคอบเพราะว่าตำแหน่งของหอทำน้ำเย็น ไม่เพียงแต่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพในการทำงานของหอทำน้ำเย็นเท่านั้น ส่วนเกี่ยวข้องกับสภาพความสวยงานของอาคารและปัจจัยอื่น ๆ อีกมากซึ่งจะขอกล่าวที่ละข้อดังต่อไปนี้

2.5.1 ปกติการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของหอทำน้ำเย็น ควรจะเป็นตำแหน่งที่มีการระบายอากาศได้อย่างปลอดโปร่งโดยไม่มีสิ่งใดมากีดขวาง สำหรับหอทำน้ำเย็นชนิดเคาเตอร์โฟลว์แล้วจะไม่มีปัญหาเกี่ยวกับทิศทางลม แต่หอทำน้ำเย็นชนิดครอสโฟลว์แล้วจำเป็นจะต้องตรวจทิศทางลมให้ดีสำหรับด้านที่ได้รับการออกแบบให้กระแสลมพัดผ่านจะต้องหันหน้าให้ถูกทิศทางลม ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพหอทำน้ำเย็นเป็นอย่างมาก ถ้าตั้งอยู่ในทิศทางที่ไม่ถูกต้องสำหรับการหาที่ตั้งของหอทำน้ำเย็นในที่โล่ง นั้นฟังดูเหมือนกับพอที่จะหาได้ง่าย ๆ แต่ในทางปฏิบัติมักจะทำได้ยากเนื่องจากว่าสถาปนิกมักจะไม่ชอบรูปร่างลักษณะของหอทำน้ำเย็น และมักจะต้องการให้ตั้งหอทำน้ำเย็นในที่มิดชิดเพื่อบังสายตา แต่ในขณะเดียวกันหอทำน้ำเย็นกลับต้องการที่ที่มีการระบายอากาศได้อย่างปลอดโปร่ง ซึ่งสิ่งสองสิ่งนี้ย่อมขัดกันแต่เป็นโชคดีสำหรับบางโครงการอาจจะมีเนื้อที่เหลือทางด้านหลัง ที่ทำให้สามารถตั้งหอทำน้ำเย็นได้ในที่โล่ง และไม่เป็นที่ปรากฏแก่สายตาของประชาชนทั่วไปด้วย ปัญหาในข้อนี้นับว่าเป็นปัญหาที่ประสบกันอยู่เสมอสำหรับทุกๆโครงการ ที่จริงแล้วมีหอทำน้ำเย็นอีกชนิดหนึ่งที่ยังไม่ได้พบเห็นในบ้านเรา นั่นคือหอทำน้ำเย็นที่ตั้งไว้ในอาคาร หอทำน้ำเย็นชนิดนี้ไม่ว่าจะเป็นชนิดคอรสโฟลว์ หรือเคาเตอร์โฟลว์ก็ตามมักจะใช้พัดลมชนิดเซนติฟูเกล (centrifugal) ดังนั้นเราจึงสามารถต่อท่อลมจากที่ปล่องตรงส่วนบนสุดของหอทำน้ำเย็นเอาไปไกล ๆ ได้ ซึ่งทำให้เราสามารถนำหอทำน้ำเย็นเอาไปตั้งไว้ในอาคารและต่อปลายท่อของหอทำน้ำเย็นชนิดนี้ไปไกลได้ ซึ่งนับว่าจะช่วยแก้ปัญหาสถานที่ติดตั้งหอทำน้ำเย็น และยังสามารถตั้งมันไว้ในสถานที่ปกปิดมิดชิด แต่อย่างไรก็ตามยังไม่ได้นำหอทำน้ำเย็นชนิดนี้มาใช้ในประเทศ

2.5.2 สถานที่ตั้งหอทำน้ำเย็นจะต้องพยายามตั้งให้ห่างจากแหล่งที่มีความร้อน หรือมีก๊าซ หรืออากาศเสียต่าง ๆ ยกตัวอย่างเช่น ตามที่ที่มีพวกปล่องไฟ ปล่องของหม้อไอน้ำหรือ (Hood) จากครัวและสถานที่ที่มีฝุ่นควันต่าง ๆ เพราะหอทำน้ำเย็นต้องการอากาศเข้าไปหมุนเวียนในตัวตลอดเวลา ถ้าเอาไปตั้งในที่ที่มีอากาศและควันเสียความร้อนต่าง ๆ เหล่านี้ อากาศที่ถูกดูดเข้าไปก็จะพาเอาฝุ่นควันความร้อนต่างๆ เข้าไปในตัวหอทำน้ำเย็นทำให้เกิดการสกปรก หรือการระบายความร้อนของหอทำน้ำเย็นไม่ดีเท่าที่ควรเพราะฉะนั้นก๊าซต่าง ๆ ที่พัดผ่านเข้าไปอาจจะผสมกับน้ำกลายเป็นกรดมากัดกร่อนชิ้นส่วนที่เป็นโลหะของหอทำน้ำเย็นได้

2.5.3 สถานที่ติดตั้งหอทำน้ำเย็นนอกจากจะต้องคำนึงถึงละอองน้ำที่จะลอยออกไป จากหอทำน้ำเย็นและถูกพัดพาไปตามกระแสลม เนื่องจากหอทำน้ำเย็นจะมีปริมาณน้ำที่สูญเสียจากลมหอบเอาละอองน้ำออกไปอยู่ตลอดเวลา ไม่ว่าหอทำน้ำเย็นนั้นจะมีประสิทธิภาพดีเพียงไรเพียงแต่หอทำน้ำเย็นที่ดีจะสามารถลดปริมาณน้ำที่ถูกละอองลมหอบไปได้น้อยลง ละอองน้ำเหล่านี้อาจจะถูกลมหอบไปได้เป็นระยะทางนับสิบๆ เมตรอาจจะถึงร้อยเมตร ซึ่งละอองน้ำเหล่านี้จะทำให้เกิดความรบกวนรำคาญของผู้ที่อยู่ในสถานที่ละอองน้ำที่ตกไปถึง ยกตัวอย่างเช่นบริเวณสระน้ำ หรือบริเวณบ้านเรือนที่อยู่ใกล้เคียงกับทิศทางที่กระแสลมหอละอองน้ำไป ดังนั้นต้องตรวจทิศทางลมและสิ่งแวดล้อมให้ดีก่อนกำหนดที่ตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.4 สิ่งที่เป็นปัญหาของหอทำน้ำเย็นอีกอย่างหนึ่งก็คือ เกี่ยวกับเรื่องเสียงที่ออกจากตัวหอทำน้ำเย็นดังนั้นควรพิจารณาสถานที่ตั้งหอทำน้ำเย็น ว่าจะถูกรบกวนจากเสียงของหอทำน้ำเย็นหรือเปล่า โดยเฉพาะเมื่อสถานที่นั้นมีสิ่งแวดล้อมที่เงียบสงัดเสียงจากหอทำน้ำเย็นจะรบกวนเป็นอย่างมาก การตั้งหอทำน้ำเย็นระหว่างช่องว่างตึกสูงขนาบอยู่สองข้าง เป็นสิ่งที่ไม่พึงปราถนาเพาะว่าอาจจะทำให้เกิดเสียงสะท้อนก้องระหว่างผนัง หรือกระจกของตัวตึกทั้งสองและประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหอทำน้ำเย็นไม่ดีด้วย

2.5.5 ตำแหน่งของหอทำน้ำเย็นเมื่อเทียบกับคอนเดนเซอร์ที่อยู่ในห้องเครื่อง ก็นับว่าเป็นสิ่งหนึ่งที่นำมาพิจารณาประกอบด้วยคือถ้าหอทำน้ำเย็น มีระดับที่สูงอยู่เหนือตัวห้องเครื่องพอดีก็จะทำให้เดินท่อง่ายและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อยลง สำหรับการติดตั้งหอทำน้ำเย็นอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าตัวคอนเดนเซอร์หรือระดับห้องเครื่องนั้นแม้เป็นสิ่งที่ไม่ควรทำเป็นอย่างยิ่งและควรจะหลีกเลี่ยงให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ เนื่องจากว่าจะเกิดปัญหาของการเกิดกาลักน้ำจะไหลจากตัวคอนเดนเซอร์ที่อยู่สูงกว่าลงมายังหอทำน้ำเย็นเมื่อตอนที่หยุดปั๊มและเดินปั๊มน้ำหมุนเวียนใหม่น้ำจะถูกปั๊มเข้าไปกระแทกคอนเดนเซอร์ทำให้เกิดความเสียหายได้ แต่ถ้าหลีกเลี่ยงไม่ได้ ก็ควรพิจารณาเกี่ยวกับการป้องกันน้ำไหลกับในขณะที่คอนปิดปั๊มหรือการป้องกันการเกิดกาลักน้ำที่อาจเกิดขึ้นได้

2.5.6 เรื่องน้ำหนักของหอทำน้ำเย็นก็นับว่าเป็นสิ่งที่จะต้องนำมาพิจารณาด้วยเช่นกัน โดยเฉพาะในกรณีที่นำหอทำน้ำเย็นติดตั้งในระดับสูง ๆ จะต้องมีการตรวจน้ำหนักของหอทำน้ำเย็นซึ่งรวมถึงน้ำหนักน้ำและทำการประสานงานระหว่างวิศวกรโครงการและวิศวกรออกแบบปรับอากาศ เพื่อให้ข้อมูลจำเป็นในการเตียมฐานโครงสร้างที่แข็งแรงเพื่อรับน้ำหนักของหอทำน้ำเย็น ซึ่งรวมไปจนถึงความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในขณะที่หอทำน้ำเย็นทำงานอยู่ นอกจากนี้ควรมีการยึดขาหอทำน้ำเย็นให้ติดแน่นกับโครงสร้างอย่างมั่นคง ซึ่งถ้ามีการประสานงานอย่างดีก็อาจจะวางเหล็กยึดตัวฐานหอทำน้ำเย็นไว้ตั้งแต่ในขณะทำการก่อสร้างก็เป็นได้

2.6 การควบคุมคุณภาพน้ำในหอทำน้ำเย็น

เราจะเห็นได้ว่าระบบน้ำหมุนเวียนผ่านหอทำน้ำเย็นเป็นระบบเปิด คือเป็นระบบที่เปิดสู่อากาศและมีการสูญเสียปริมาณน้ำ ซึ่งต้องเติมน้ำปริมาณหนึ่งเข้ามาตลอดเวลาจึงเป็นระบบที่จะเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นจากน้ำได้หลายประการนั่นก็คือ การที่มีปริมาณน้ำสูญเสียออกไปจากระบบไม่ว่าจะเป็นจากการระเหยตัวของน้ำหรือการที่น้ำถูกพัดพาไปก็ตาม น้ำที่ระเหยตัวออกไปนั้นก็จะทิ้งแร่ธาตุหรือจับอยู่ที่ก้นกานั่นเอง การที่มีปริมาณระเหยไปและมีการทิ้งแร่ธาตุอยู่เช่นนี้ จะทำให้มีการสะสมของแร่ธาตุในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจำเป็นจะต้องได้รับการขจัดและแก้ไข มิฉะนั้นจะเป็นตัวทำให้เกิดตะกรันและการกัดกร่อนเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ปัญหาอีกด้านหนึ่งก็คือมีการสูญเสียน้ำไป ก็จะต้องมีการเติมน้ำเข้ามาแทนที่การเติมน้ำเข้ามาแทนที่ ก็จำเป็นจะต้องมีการควบคุมคุณภาพของน้ำที่เติมเข้ามามิฉะนั้นก็จะเป็นการเพิ่มปริมาณแร่ธาตุและเพิ่มปัญหาให้กับหอทำน้ำเย็นมากขึ้น วิธีการควบคุมปริมาณความเข้มข้นของสารละลาย ที่มีอยู่ในน้ำที่หมุนเวียนในหอทำน้ำเย็นก็คือ การระบายน้ำบางส่วนทิ้งไป เพื่อให้ปริมาณความเข้มข้นของสารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้อยลงในขณะเดียวกันเราก็ต้องควบคุมปริมาณของน้ำที่เติมเข้ามาให้มีสารละลายต่าง ๆ น้อยเพื่อเข้ามาเจือจางน้ำที่มีอยู่ในปริมาณเดิมให้มีปริมาณสารละลายเฉลี่ยลดน้อยลง มีความเข้มข้นลดน้อยลง

ปัญหาของหอทำน้ำเย็นที่เกิดขึ้นกับน้ำที่หมุนเวียนในระบบ นับว่าเป็นเรื่องที่ซับซ้อนและจำเป็นที่จะต้องทำการศึกษาโดยละเอียด ซึ่งไม่สามารถจะกล่าวให้ควบคุมได้ทุกแง่ทุกมุมในบทนี้ได้ จึงจะขอกล่าวถึงปัญหาที่เกิดขึ้นจากน้ำเพียงสังเขปดังนี้

2.6.1 การเกิดตะกรันหรือสารจำพวกหินปูนซึ่งเป็นสารที่เรียกว่า คัลเซียมคาร์บอนเนต จับอยู่ตามตัวหอทำน้ำเย็น ซึ่งจะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนลดลง และนอกจากนั้นก็เป็นตัวต้านทานต่อการไหลของน้ำ ซึ่งจะก่อให้เกิดปัญหาเข้าไปถึงภายในท่อน้ำที่ต่อระหว่างตัวหอทำน้ำเย็นกับตัวคอนเดนเซอร์ด้วย เพราะทำให้ท่อถูกเคลือบด้วยหินปูนเหล่านี้จึงมีเนื้อที่ภายในท่อน้อยลง และบางครั้งอาจเกิดปัญหาถึงขั้นท่ออุดตันก็เป็นไปได้ ตัวตะกรันนอกจากจะเกิดขึ้นจากคัลเซียมคาร์บอเนตแล้ว บางครั้งอาจเกิดขึ้นจากคัลเซียมคาร์บอเนตและคัลเซียมซัลเฟตเจือปนอยู่ด้วย ส่วนสาเหตุที่เกิดตัวคัลเซียมคาร์บอเนตได้เป็นเพราะสาเหตุดังต่อไปนี้

1. น้ำมีลักษณะเป็นด่างมากเกิดไป
2. มีตัวเกลือคัลเซียมละลายอยู่ในน้ำเป็นจำนวนมาก
3. น้ำกระด้าง
4. น้ำมีอุณหภูมิสูง จึงทำให้ตัวเกลือคัลเซียมคาร์บอเนตไม่สามารถละลายน้ำได้อีกต่อไป จึงตกตะกอนออกมาจากตัวน้ำ
5. มีสารแข็งละลายปนอยู่ปนอยู่ในน้ำมาก

2.6.2 การเกิดสนิมและการผุกร่อน การเกิดสนิมและการผุกร่อนมีสาเหตุได้หลายประการ เช่น ตัวออกซิเจนที่แทรกอยู่ในน้ำเป็นตัวทำให้เกิดสนิม เพราะฉะนั้นอุณหภูมิของน้ำหมุนเวียนที่สูงก็จะเป็นตัวเร่งให้ปฏิกิริยายิ่งขึ้น สาเหตุอื่น ๆ ก็ยังมีพวกคลัน หรือก๊าซซึ่งอยู่ในอากาศได้ผ่านเข้ามาในหอทำน้ำเย็น และถูกชะเป็นกรดซึ่งจะเข้าไปกัดกร่อนตรงส่วนที่เป็นที่โลหะของหอทำน้ำเย็น นอกจากนั้นก็มีปัญหาเกี่ยวกับพวกสารละลายต่าง ๆ ที่ทำให้น้ำมีภาวะความเป็นกรดนั่นคือมี PH ต่ำกว่า 6.7 หรือ 7 ซึ่งมีภาวะเป็นกลางมากเกินไปเมื่อเกิดการผุกร่อนแล้วก็จะทำให้ชิ้นส่วนของหอทำน้ำเย็นกร่อนเป็นสนิมหายไป โดยเฉพาะชิ้นส่วนของหอทำน้ำเย็นที่เป็นโลหะ เช่น ตัวเบนซิน หรือตัวน็อตยึดต่าง ๆ ก็มีปัญหาได้มากโดยเฉพาะเมื่อความเร็วของน้ำในท่อสูงก็ทำให้เกิดการชะทำให้ตัวชิ้นส่วนเหล่านี้หลุดออกไปซึ่งตัวผนังต่าง ๆชิ้นส่วนต่างๆบางลง

2.6.3 การเกิดสารจุลชีพซึ่งมักจะเกิดขึ้นในตัวอ่าง ตัวสารจุลชีพนี้จะเป็นพวกสาหร่ายตะไคร่น้ำหรือพืชอื่น ซึ่งเป็นสารจุลชีพที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ และเติบโตเนื่องจากได้แสงสว่างและอากาศ โดยเฉพาะสาหร่ายจะทำการสังเคราะห์แสง และปล่อยออกซิเจนออกมาซึ่งเป็นตัวเร่งให้มีการกัดกร่อนมากยิ่งขึ้นหรือมิฉะนั้นมีพวกแบคทีเรียในน้ำซึ่งจะเกาะกุมกันเป็นตะไคร่น้ำ เช่น จำพวกซัลเฟตหรือเหล็ก ซึ่งทำให้ส่วนประกอบของสารเคมีที่เติมไว้เพื่อป้องกันการผุกร่อนเสื่อมสภาพไป นอกจากนี้ก็ยังมีพวกเห็ดรา ซึ่งไม่ใช่ตัวที่สังเคราะห์แสงเองได้จึงต้องเป็นตัวที่เกาะกับชิ้นส่วนโดยเฉพาะพวกไม้และหอทำน้ำเย็นที่มีไม้เป็นส่วนประกอบ ก็จะเกิดเสื่อมสภาพโดยเฉพาะถ้าไม้นั้นไม่ได้อาบหรืออัดน้ำยาเอาไว้ ก็จะเกิดเสื่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

สภาพด้วย นอกเหนือสารพวกสารจุลชีพเหล่านี้แล้วก็อาจจะมีพวกโคลน ฝุ่นละอองต่าง ๆ ที่ถูกนำมาจากอากาศ ถูกพัดพาผ่านเข้าไปหอทำน้ำเย็นด้วย ซึ่งไม่ว่าจะเป็นพวกโคลนหรือสารจุลชีพเหล่านี้ก็จะเกิดปัญหากับระบบน้ำหมุนเวียนภายในเพราะมันอาจจะหลุดออกแล้วลอยเข้าไปในท่อน้ำที่มีการหมุนเวียนที่ทำให้เกิดการขัดขวางต่อการหมุนเวียนของน้ำและการถ่ายเทความร้อน

2.7 การแก้ไขปัญหาที่เกิดจากน้ำ

การแก้ไขปัญหาที่เกิดจากน้ำมีหลายวิธีการด้วยกันซึ่งบางวิธีแก้ได้เฉพาะเพียงปัญหาเดียว หรืออาจจะแก้ปัญหารวม ๆกันไปก็จะขอกล่าวดังต่อไปนี้

2.7.1 การแก้ปัญหาในด้านตะกรัน จะต้องอาศัยวิธีควบคุมน้ำให้มีสภาพเป็นกรดนิด ๆ เพื่อไม่ให้เกิดตะกอนคัลเซียมคาร์บอเนตขึ้น แต่ขณะเดียวกันก็ต้องควบคุมไม่ให้เกิดสภาวะเป็นกรดมากเกินไปมิฉะนั้นจะไปกัดกร่อนโลหะได้วิธีการที่ใช้กันอยู่ก็คือการเติมสารเคมีเข้าไป เพื่อควบคุมสภาวะน้ำหรือเป็นตัวห้ามมิให้คัลเซียมคาร์บอเนตตกตะกอนนอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์ทางด้านไฟฟ้าอีกประเภทหนึ่ง ซึ่งมีอยู่หลายยี่ห้อซึ่งจะทำหน้าที่ควบคุมและป้องกันมิให้สารคาร์บอเนตเหล่านี้ตกตะกอนได้โดยทำให้มันมีประจุไฟฟ้าแตกต่างกับตัวท่อดักสารคาร์บอเนตจะเขวนลอยอยู่โดยไม่ตกตะกอน

2.7.2 การแก้ผุกร่อนนับว่าเป็นเรื่องยาก จะต้องเติมสารเคมีที่ต้านทานการผุกร่อนเช่นพวกโครเมทที่เติมจะทำให้น้ำหมุนเวียนอยู่ในหอทำน้ำเย็นมีสีเหลือง ซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหากับน้ำที่ละอองน้ำกระเซนออกไป การระบายน้ำทิ้งก็จะต้องระมัดระวังมิฉะนั้นต้องควบคุม PH ของน้ำที่หมุนเวียนอยู่ในระบบซึ่งเป็นงานที่จะต้องอาศัยการเติมสารเคมีเข้าไปทั้งสิ้น

2.7.3 การแก้ไขปัญหาที่เกิดจากสารจุลชีพ มักจะใช้การเติมสารเคมีลงไปฆ่าเชื้อสารจุลชีพเหล่านี้ซึ่งจะต้องใส่ลงไปเป็นครั้งคราวตามข้อเสนอแนะของบริษัทผู้ผลิตสารเคมี

สำหรับการแก้ไขปัญหาของการเกิดตะกรันหรือการเกิดการผุกร่อนหรือการเกิดสารจุลชีพอาจจะสามารถแก้ไขได้โดยการเติมสารเคมีเข้าไปในน้ำหมุนเวียนซึ่งบริษัทที่เป็นผู้เชียวชาญทางด้านนี้ จะเป็นผู้เตรียมสารเคมีซึ่งมีส่วนผสมหลาย ๆ อย่างที่จะใช้สำหรับในงานทำหน้าที่แตกต่างกันไป ซึ่งจะป้องกันการเกิดปัญหาทั้งในด้านสามข้อ โดยการผสมสารเคมีที่แต่ละตัวมีคุณสมบัติสำหรับการแก้ปัญหา แต่ละข้อเข้าไว้ด้วยกัน แล้วทำการเติมสารเคมีโดยการฉีด (injection) โดยใช้ปั๊มดูดจากสารละลายเหล่านี้แล้วฉีดเข้าไปตัวอ่างของน้ำตัวเติมหอทำน้ำเย็น ส่วนตัวน้ำที่เติมหอทำน้ำเย็นนั้นก็อาจจะต้องควบคุมคุณภาพของน้ำที่เติมเช่นเดียวกัน ในกรณีที่น้ำนั้นมีคุณภาพไม่ค่อยดี เช่น อาจจะเป็นกรณีที่ที่ห่างไกลและน้ำที่เติมหอทำน้ำเย็นจะต้องเป็นน้ำบาดาล ซึ่งมักจะมีพวกตะกรันและตัวคัลเซียมคาร์บอเนตละลายอยู่มาก ก็จะต้องมีการควบคุมคุณภาพโดยทำให้กระด่างให้เป็นน้ำอ่อนแล้วจึงเติมเข้าสู่หอทำน้ำเย็น แต่สำหรับการใช้งานในที่ที่มีน้ำประปาก็มักจะไม่ต้องควบคุมคุณภาพอะไรมาก อาจจะใช้น้ำนั้นเติมเข้าไปในหอทำน้ำเย็นได้เลย อย่างไรก็ตามเป็นเรื่องที่จะต้องมีการตรวจคุณภาพของน้ำที่เติมดูก่อนว่ามีปริมาณสารละลายที่ละลายอยู่ในน้ำนั้น เป็นปริมาณมากเท่าใด ถ้าเป็นปริมาณไม่มากนักอาจจะใช้เติมได้เลย หรือถ้ามีปัญหาเนื่องจากสารตัวใดตัวหนึ่งก็อาจจะผ่านเครื่องกรองหรือผ่านการเติมสารเคมีแก้ปัญหาตัวสารละลายก่อนที่จะเติม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

46012

เข้าหอทำน้ำเย็น ซึ่งเป็นเรื่องที่จะต้องพิจารณาเป็นแต่ละกรณีไป ซึ่งคุณภาพของน้ำที่ใช้ในระบบและน้ำเติมกำหนดได้ดังตารางที่ 2-1

2.8 การหาปริมาณน้ำสูญเสียจากหอทำน้ำเย็น

สำหรับการใช้งานหอทำน้ำเย็นนั้น เราจะมีปริมาณน้ำที่ต้องสูญเสียออกจากหอทำน้ำเย็นอยู่ตลอดเวลา ซึ่งเรามีความจำเป็นจะต้องหาปริมาณน้ำที่สูญเสียไปนี้เพื่อหาจำนวนน้ำที่จะต้องมาเติมชดเชยให้มีปริมาณน้ำอยู่ในระบบคงที่อยู่เสมอ สาเหตุที่ทำให้น้ำในหอทำน้ำเย็นต้องสูญเสียไปมีอยู่ 3 ประการด้วยกันก็คือ

2.8.1 การสูญเสียปริมาณน้ำเนื่องจากการระเหย (evaporation loss) ปริมาณน้ำที่สูญเสียไปนี้ก็เกิดขึ้นเนื่องจากสาเหตุจากการถ่ายเทความร้อนระหว่างน้ำกับอากาศ ซึ่งเกิดจากการที่ปริมาณความร้อนในน้ำทำให้น้ำนั้นระเหยตัวกลายเป็นไอไปสู่อากาศและทำให้น้ำส่วนที่เหลือเย็นลง

2.8.2 การสูญเสียปริมาณน้ำเนื่องจากลม (windage loss) การสูญเสียปริมาณน้ำเนื่องจากลมนี้เป็นลักษณะของการที่การฉีดน้ำเป็นละออง หมายถึงหยดน้ำขนาดเล็ก ๆ จะถูกหอบไปกับลมที่ถูกออกจากหอทำน้ำเย็น นอกจากน้ำที่ถูกหอบไปจากลมแล้วยังมีตัวแร่ธาตุที่ละลายอยู่ในน้ำก็จะถูกหอบไปด้วย ปริมาณน้ำที่ลมหอบไปนี้จะขึ้นอยู่กับหอทำน้ำเย็นแต่ละชนิด

2.8.3 ปริมาณน้ำจากการระบายทิ้ง (bleed off) เนื่องจากน้ำที่ไหลเวียนกับหอทำน้ำเย็นจะมีตัวละลายแร่ธาตุต่าง ๆ ละลายปนอยู่ และเมื่อมีปริมาณน้ำที่สูญเสียไปด้วยการระเหยและลมพัดพาไปปริมาณแร่ธาตุที่ละลายอยู่ในน้ำนี้ ก็จะมีความเข้มข้นมากยิ่งขึ้นทุกทีซึ่งจะเป็นสาเหตุให้เกิดตะกรัน หรือสาเหตุการสึกกร่อน ที่จะเป็นอันตรายต่อท่อน้ำ ที่ต่อเข้ากับหอทำน้ำเย็นได้ ดังนั้นเราจึงต้องมีการระบายน้ำ ที่หมุนเวียนอยู่ในหอทำน้ำเย็นนี้ออกเพื่อลดสารละลายและแร่ธาตุที่มีอยู่ในน้ำที่ออกไปและทำการเติมน้ำใหม่ซึ่งมีปริมาณสารละลายต่าง ๆ เจือจางกว่าเข้ามาแทนที่เพื่อเป็นการลดความเข้มข้นของสารละลายที่มีอยู่ในน้ำหมุนเวียนทั้งหมด

ดังนั้นปริมาณน้ำที่นำมาเติมจะต้องชดเชยปริมาณน้ำที่สูญเสียไปจากสาเหตุทั้ง 3 ประการนี้หรือเราเขียนได้ว่า

ปริมาณน้ำเติม = ปริมาณน้ำระเหยตัว+ปริมาณน้ำที่ถูกลมพัดพา+ปริมาณน้ำระบายทิ้งเพื่อลดปริมาณสารละลายในน้ำ ซึ่งการหาปริมาณน้ำที่สูญเสียแต่ละประเภทสามารถหาได้ดังต่อไปนี้

ปริมาณน้ำที่สูญเสียจากการระเหย (evaporation loss) ปริมาณน้ำที่สูญเสียจากหอทำน้ำเย็นนี้จะตกเป็นปริมาณราว 1% ของปริมาณน้ำที่หมุนเวียนทุก ๆ 10 องศาของการลดอุณหภูมิน้ำที่ผ่านหอทำน้ำเย็น หรือเราสามารถคำนวณหาปริมาณน้ำระเหยโดยใช้สูตรต่อไปนี้

$$GPM_e = \frac{TR \times Hrf \times 24}{Hfg}$$

เมื่อ GPM_e = ปริมาณน้ำที่ระเหยไป (แกลลอนต่อนาที)

TR = ปริมาณการทำความเย็น(ตัน)

Hrf = แฟคเตอร์การระบายความร้อนของเครื่องปรับอากาศ (heat rejection factor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

H_{fg} = ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการระเหยตัวของน้ำ (ปกติจะมีค่าประมาณ 1050 บีทียูต่อปอนด์)

ปริมาณน้ำที่ระเหยตัวนี้ เราอาจจะใช้ตัวเลขประมาณปริมาณน้ำระเหยตัวต่อตันได้ดังนี้

ปริมาณการทำความเย็นต่อตัน = 12000 บีทียู/ชั่วโมง

$$= 12000 \frac{\text{บีทียู} \times 1\text{ชั่วโมง}}{\text{ชั่วโมง} \times 60\text{นาที}}$$

$$= 200 \frac{\text{บีทียู}}{\text{นาที}}$$

โดยทั่วไปปริมาณการระบายความร้อน $\cong$ 1.25 เท่าของปริมาณการทำความเย็น

$$= 200 \times 1.25 = 250 \frac{\text{บีทียู}}{\text{ชั่วโมง}}$$

ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการระเหยตัวของน้ำ $\cong 1050 \frac{\text{บีทียู}}{\text{ปอนด์}}$

$\therefore$ ปริมาณของน้ำที่ใช้ในการระบายความร้อนต่อตัน $= 250 \frac{\text{บีทียู}}{\text{นาที}} + 1050 \frac{\text{บีทียู}}{\text{ปอนด์}}$

$$= 0.238 \frac{\text{ปอนด์}}{\text{นาที}}$$

$$\cong 2 \frac{\text{แกลลอน}}{\text{ชั่วโมง}}$$

ปริมาณน้ำที่สูญเสียจากการถูกลมพัดพาหรือกระเซ็นออก (windage or drift loss) ปริมาณน้ำที่สูญเสียโดยวิธีนี้จะไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับหอทำน้ำเย็นแต่ละชนิด นอกจากจะมีการสูญเสียปริมาณน้ำไปแล้วยังมีสารละลาย แร่ธาตุในน้ำจะสูญสลายไปกับน้ำด้วย ซึ่งต่างจากการสูญเสียน้ำโดยการระเหยซึ่งมีแต่การสูญเสียน้ำอย่างเดียว น้ำที่สูญเสียโดยวิธีนี้จึงเป็นการช่วยลดปริมาณความเข้มข้นของสารละลายในน้ำด้วย ปริมาณน้ำที่สูญเสียอาจใช้ตัวเลขประมาณของปริมาณน้ำหมุนเวียนดังตารางที่ 2-2

อุปกรณ์ระบายความร้อน	ปริมาณสูญเสียโดยลมพัดหรือกระเซ็น (%ของปริมาณน้ำที่หมุนเวียน)
1. สระน้ำ(spray pond)	1.0 ถึง 5.0
2. หอทำน้ำเย็นระบายอากาศตามธรรมชาติ	0.3 ถึง 1.0
3. หอทำน้ำเย็นระบายอากาศโดยวิธีกล	0.1 ถึง 0.3
4. คอนเดนเซอร์ น้ำระเหยตัว	0 ถึง 0.1

ตารางที่ 2-1 แสดงตัวเลขของน้ำที่หมุนเวียน

ปริมาณน้ำที่สูญเสียจากการระบายทิ้งเพื่อลดความเข้มข้นของสารละลายในน้ำ (bleed off) ปริมาณน้ำที่สูญเสียจากวิธีนี้ เป็นปริมาณที่สูญไปอย่างจงใจ คือ เป็นปริมาณน้ำที่ระบายออกจากน้ำในระบบหอทำน้ำเย็น ซึ่งมีตะกอนหรือความเข้มข้นของสารละลายในน้ำซึ่งสะสมกันมานานให้ลดน้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้วเติมน้ำเติมใหม่ ซึ่งมีปริมาณความเข้มข้นของสารละลายในน้ำน้อยกว่าเข้าไปแทนที่ก่อนจะทราบปริมาณน้ำระบายทิ้งนี้ เราต้องทราบวัฏจักรของความเข้ม (Cycle of concentration) เป็นอัตราส่วนระหว่างสารละลายและแร่ธาตุที่มีอยู่ในน้ำหมุนเวียนในหอทำน้ำเย็นต่ออัตราส่วนของสารละลายและแร่ธาตุที่มีอยู่ในน้ำเติมหรือเขียนเป็นสูตรดังต่อไปนี้

$$\text{Cycle of concentration (C)} = \frac{GPM_e + GPM_b + GPM_w}{GPM_b + GPM_w} \quad (1)$$

GPM_e = ปริมาณน้ำที่สูญเสียจากการระเหย

GPM_b = ปริมาณน้ำสูญเสียจากการระบายน้ำทิ้ง

GPM_w = ปริมาณน้ำที่สูญเสียจากกลมพัดพา

ถ้ารวมปริมาณน้ำที่สูญเสียจากการระเหยทิ้งและลมพัดพาเป็น GPM_{bw}

จะเขียนได้ว่า $GPM_{bw} = GPM_b + GPM_w$

แทนค่าในสมการ (1) $C = \frac{GPM_e + GPM_{bw}}{GPM_{bw}}$

$$C = \frac{GPM_e}{GPM_{bw}} + 1 \quad (2)$$

$$GPM_{bw} = \frac{GPM_e}{C - 1} \quad (3)$$

แทนค่า (2) ใน (3)

$$GPM_b + GPM_w = \frac{GPM_e}{-1}$$

$$GPM_b = \frac{GPM_e + GPM_w(1 - C)}{C - 1}$$

ความสัมพันธ์ของ Cycle of concentration กับปริมาณน้ำระเหยและปริมาณน้ำที่ถูกพัดพา จากรูปที่ 2.8 สามารถหาความสัมพันธ์ต่าง ๆ ได้ ตัวอย่างเช่น หอทำน้ำเย็นมีปริมาณน้ำสูญเสียจากการระเหย 1% และมีปริมาณน้ำสูญเสียจากการหมุนเวียน 2% ของปริมาณน้ำที่หมุนเวียนทั้งหมด ดังนั้นจากชาร์ตนี้เราจะหาได้ว่า Cycle of concentration = 1.5

เมื่อทราบค่า Cycle of concentration แล้วเราสามารถคำนวณหาปริมาณน้ำที่ต้องระบายทิ้ง เพื่อลดความเข้มข้นของสารละลายในน้ำได้ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่าง ระบบปรับอากาศใช้หอทำน้ำเย็นระบายความร้อนทางกล (Mechanical draft tower) มีความสามารถในการทำความเย็น = 100 ตัน แฟคเตอร์การระบายความร้อน (Heat rejection factor) = 1.25 ช่วงอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์เพิ่ม =10° F ปริมาณความเป็นด่างโดยเมทิลออเรนจ์ (Methyl orenge) ในน้ำเติม = 40 PPM โดย $CaCo_3$ ปริมาณความเป็นด่างโดยเมทิลออเรนจ์น้ำหมุนเวียน = 170 PPM โดย $CaCo_3$ จงหา Cycle of concentration ปริมาณน้ำที่หมุนเวียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(GPM) ปริมาณน้ำที่ระเหยตัว (Evaporation loos GPM) ปริมาณน้ำถูกลมพัดพา (Windage loss GPM) ปริมาณน้ำระบายทิ้งเพื่อลดความเข้มข้นของสารละลาย (Bleed off GPM) เท่ากับปริมาณน้ำเติม (Make up water GPM)

$$\text{Cycle of concentration} = \frac{170}{40} = 4.25$$

ปริมาณน้ำหมุนเวียน

$$= \text{ปริมาณการทำความเย็น (ตัน)} \times \frac{\textit{แฟคเตอร์ระบายความร้อน} \times 24}{\textit{ช่วงอุณหภูมิผ่านคอนเดนเซอร์เฟิม}}$$

$$= \frac{100 \times 1.25 \times 24}{10} = 300 \text{ GPM}$$

ปริมาณน้ำสูญเสียจากการระเหยตัว

$$= \text{ปริมาณการทำความเย็น (ตัน)} \times \frac{\textit{แฟคเตอร์การระบายความร้อน} \times 24}{\textit{ความร้อนในการระเหยตัว}}$$

$$= \frac{100 \times 1.25 \times 24}{1050} = 2.85 \text{ GPM}$$

$$= \frac{2.85}{300} \times 100 = 0.95\% \text{ ของปริมาณน้ำหมุนเวียน}$$

(หรืออาจใช้ตัวเลขประมาร 1% ของปริมาณน้ำหมุนเวียนก็จะได้ตัวเลขที่ใกล้เคียง) ปริมาณน้ำ สูญเสียจากลมพัดพาจะตกประมาณ 0.1 – 0.3% ของปริมาณน้ำหมุนเวียน สมมุติใช้ปริมาณ 0.2% น้ำสูญเสียจะเท่ากับ $0.002 \times 300 = 0.6$ GPM

จากสมการที่ (3) $GPM_{bw} = \frac{GPM_e}{C-1}$

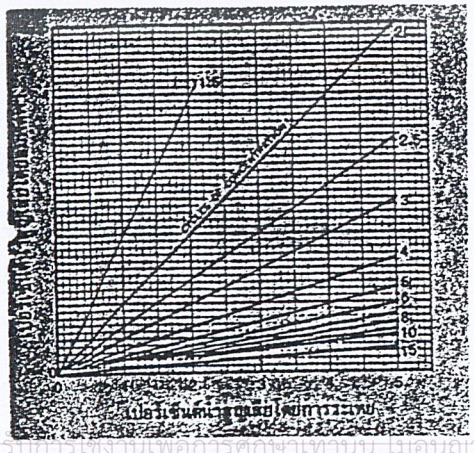
$$= \frac{2.85}{4.25-1} = 0.88 \text{ GPM}$$

$$GPM_b = GPM_{bw} - GPM_w$$

$$= 0.88 - 0.60 = 0.28 \text{ GPM}$$

ปริมาณน้ำเติมทั้งหมด = ปริมาณน้ำระเหยตัว + ปริมาณน้ำถูกลมพัดพา +ปริมาณน้ำระบายทิ้งเพื่อลดความข้มข้นสารละลาย

$$= 2.85 + 0.60 + 0.28 = 3.73 \text{ GPM}$$

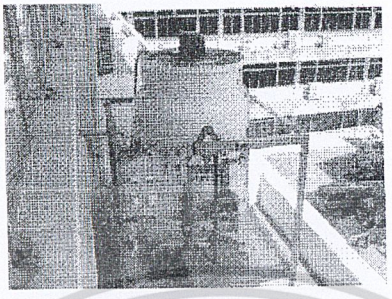


รูปที่2.8 ชาร์ตแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ถูกพัดพา

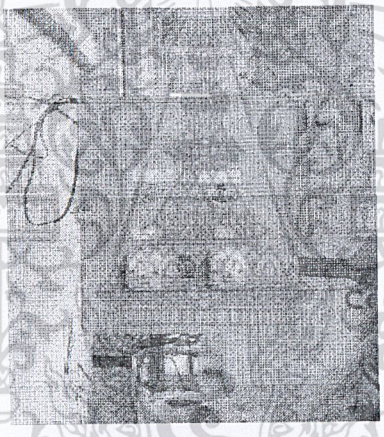
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
อุปกรณ์ที่ใช้และวิธีการทดลอง

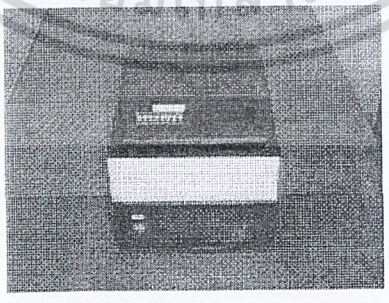
3.1 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3-1 ลักษณะการจัดวางอุปกรณ์ของชุดทดลอง



รูปที่ 3-2 กล่องควบคุมระบบไฟฟ้า



รูปที่ 3-3 กล่องชุดควบคุมอิเล็กทรอนิกส์

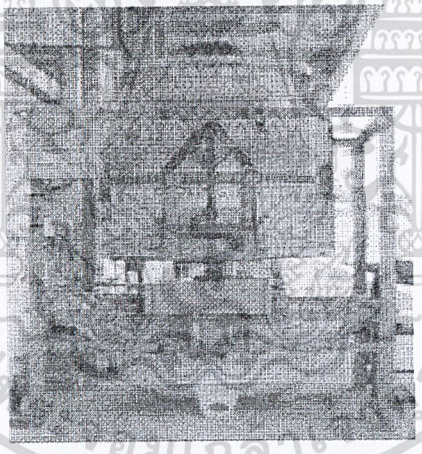
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1 อุปกรณ์ที่ติดตั้งในชุดทดลองการหาปัจจัยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของหอทำน้ำเย็น

ประกอบด้วยอุปกรณ์ที่สำคัญได้แก่

1.ตัวถังและเกล็ดช่องลม

ตัวถังเป็นส่วนประกอบที่เป็นโครงร่างของหอทำน้ำเย็น และนอกจากนั้นตัวถังจะมีส่วนประกอบที่สัมพันธ์กับแผงกระจายละอองน้ำ นั่นคือตัวถังและแผงกระจายละอองน้ำจะต้องอยู่ชิดกันมิฉะนั้นอากาศจะพัดผ่านบริเวณช่องว่างนี้ไปโดยไม่สัมผัสกับละอองน้ำ ก็จะทำให้ประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนของหอทำความเย็นลดลง ส่วนตัวเกร็ดช่องลมมีความสำคัญเช่นเดียวกันคือ จะช่วยป้องกันการกระจายหรือหกของน้ำออกมาจากตัวหอทำน้ำเย็น นอกจากนั้นเกล็ดยังมีความสำคัญในการที่จะเป็นตัวต้านทานของการเคลื่อนที่ของอากาศที่ถูกดูดหรือเป่าเข้าไปในตัวหอทำน้ำเย็นเกล็ดจึงต้องมีความสม่ำเสมอและให้รูปแบบการกระจายรูปแบบของการกระจายของอากาศที่ดีตัวถังของหอทำน้ำเย็นจะต้องมีความทนทานต่อสภาพดินฟ้าอากาศ และต้องทนทานต่อแรงสั่นสะเทือนและทนทานต่อความเสียหายต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้ สำหรับตัวถังของหอทำน้ำเย็นที่มาจากไต้หวันจะทำด้วยไฟเบอร์กลาส ส่วนตัวถังจากอเมริกามักจะทำด้วยแผ่นกระเบื้องแอสเบสทอส นอกจากนี่ก็ยังมีหอทำน้ำเย็นที่มาจากยุโรป ซึ่งจะใช้ตัวถังเป็นเหล็กและอาบสารกันสนิมต่าง ๆ ส่วนวัสดุที่ทำเป็นเกล็ดช่องลมนั้นมักจะเป็นวัสดุประเภทเดียวกับที่ทำตัวถังนั่นเอง



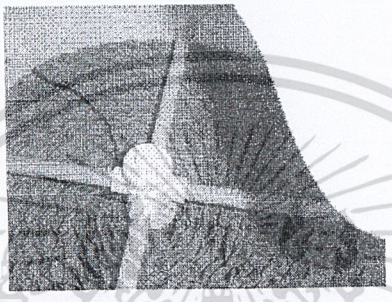
รูปที่ 3-4 ตัวถังและเกล็ดช่องลม

2. ระบบกระจายน้ำ

จุดประสงค์ของระบบกระจายน้ำก็คือ น้ำที่ถูกส่งมาที่หอทำน้ำเย็นจะถูกกระจายมันออกไปอย่างสม่ำเสมอให้ตกลงไปยังแผงกระจายละอองน้ำ ซึ่งหน้าที่ของระบบกระจายน้ำนี้มีความสำคัญมาก เนื่องจากการที่มันสามารถกระจายน้ำได้เป็นฝอยเล็ก ๆ และสม่ำเสมอจะมีผลต่อประสิทธิภาพของหอทำน้ำเย็นเป็นอย่างมากสำหรับการกระจายน้ำของหอทำความเย็นชนิดอากาศและน้ำเคลื่อนที่ตัดกัน และชนิดอากาศเคลื่อนที่สวนกับน้ำจะมีความแตกต่างกัน เนื่องจากระบบกระจายน้ำแบบเคลื่อนที่ตัดกันจะอาศัยการไหลของน้ำลงไปยังแผงกระจายน้ำด้วยแรงดึงดูด จึงมีตัวแผงรับน้ำจากปั๊มส่งมายังหอทำน้ำเย็นเก็บสะสมไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และปล่อยให้ไหลลงไปกระทบหัวฉีด ด้วยแรงดึงดูดซึ่งทำให้ปั๊มไม่จำเป็นจะต้องใช้พลังงานสิ้นเปลืองในการฉีดน้ำอีก ส่วนหอทำน้ำเย็นแบบอากาศเคลื่อนที่สวนกับน้ำนั้นจำเป็นจะต้องใช้แรงดันจากปั๊มในการฉีดน้ำออกไปปะทะกับอากาศที่เคลื่อนที่สวนทาง ดังนั้นจึงต้องสิ้นเปลืองพลังงานของปั๊มและจะต้องมีหัวฉีดที่มีประสิทธิภาพในการฉีดน้ำออกไป ซึ่งจะเห็นได้ว่าวิธีการกระจายน้ำของหอทำน้ำเย็นทั้งสองแบบนี้แตกต่างกัน ส่วนใหญ่หัวฉีดที่ใช้กับหอทำน้ำเย็นไม่ว่าจะทำจากไต้หวันหรือจากอเมริกา ยุโรปก็จะใช้ชนิดที่เป็นท่อพีวีซีเป็นส่วนใหญ่ จะมีแตกต่างกันบ้างก็เฉพาะการออกแบบหัวฉีดซึ่งจะให้แบบการฉีดน้ำแตกต่างกันออกไป



รูปที่ 3-5 ระบบกระจายน้ำและแผงกระจายละอองน้ำ

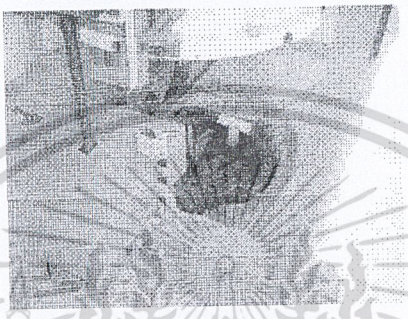
3.แผงกระจายละอองน้ำ

เป็นส่วนที่น้ำที่ถูกฉีดเป็นละอองเล็กตกลงมากระทบ และเป็นส่วนที่อากาศซึ่งถูกดูดหรือถูกเป่าเข้าไปในตัวหอทำน้ำเย็นเคลื่อนที่เข้ามาพบกับหยดน้ำนี้ จึงเป็นที่เกิดกระบวนการถ่ายเทความร้อนขึ้นตัวแผงกระจายละอองน้ำนี้มีส่วนเกี่ยวข้องกับตัวระบบกระจายน้ำเพราะระบบกระจายน้ำจะต้องฉีดน้ำลงมาเป็นละอองที่สม่ำเสมอ จึงจะทำให้แผงกระจายละอองน้ำนี้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วย ตัวแผงกระจายละอองน้ำ จะมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการกำหนดความดันลดที่จะเกี่ยวข้องกับการทำงานและขนาดของพัดลมที่ใช้ดูดหรือเป่าอากาศ และยังมีความสัมพันธ์กับตัวแผงกันละอองน้ำ ซึ่งจะก่อให้เกิดผลในด้านอัตราการหมุนเวียนของอากาศด้วย ส่วนใหญ่แล้วไม่ว่าจะเป็นหอทำน้ำเย็นที่สร้างจากประเทศใดมักจะใช้สารชนิด Poly Vinyl Chloride (PVC) ซึ่งสามารถทนอุณหภูมิได้ถึง 130 องศาฟาร์เลนไฮน์ ตัวพีวีซีเป็นวัสดุที่มีความคงทนต่อการกัดกร่อนและความเสื่อมสลายทางด้านชีววิทยา แม้ว่าหอทำน้ำเย็นทั้งจากไต้หวันและของอเมริกาจะใช้ตัวถังกระจายน้ำที่เป็นพีวีซีเหมือนกันก็ตาม แต่คุณภาพของแผงกระจายละอองน้ำจะแตกต่างกัน นั่นคือของไต้หวันมักจะทำมาเป็นวง ซึ่งจะต้องทำการวางอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งความแนบแน่นของแผงเหล่านี้จะขึ้นกับฝีมือการทำงานของช่างที่ประกอบตัวหอทำน้ำเย็นด้วย ส่วนของยุโรปและอเมริกาแผงกระจายละอองน้ำนี้จะอัดมาแน่นสนิทและตัดมาเข้ารูปเพื่อใช้กับหอทำน้ำเย็นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.ถังรับน้ำ

น้ำที่ฉีดออกมาจากส่วนกระจายน้ำและตกผ่านแผงกระจายละอองน้ำ ทำการถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศ แล้วตกลงสู่บริเวณถังรับน้ำ ซึ่งจะกักเก็บน้ำไว้เพื่อถ่ายเทส่งกลับไปเข้าระบบบปรับอากาศอีกครั้งหนึ่ง ตัวความจุของถังรับน้ำก็นับว่าเป็นสิ่งที่สำคัญเพราะจะต้องมีปริมาณมากเพียงพอที่จะทำการถ่ายเทของน้ำเป็นไปตามอัตราที่ถูกต้องโดย ไม่เกิดการไหลล้นออกนอกถังหอทำน้ำเย็น ส่วนใหญ่วัสดุที่ใช้ทำตัวถังรับน้ำจะเป็นวัสดุชนิดเดียวกับที่ทำตัวถังนั่นเอง



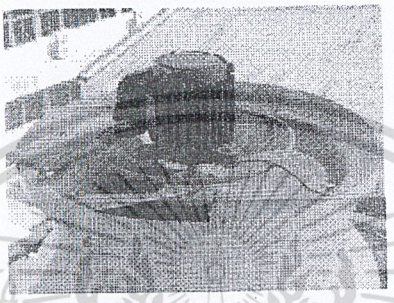
รูปที่ 3-6 ถังรับน้ำ

5. ส่วนที่ทำให้อากาศเคลื่อนไหว

ส่วนนี้เป็นส่วนที่ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของอากาศเข้ามาสัมผัสกับน้ำ เพื่อเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งการทำระบบการเคลื่อนไหวของอากาศนี้ ก็แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ระบบอากาศเข้าและระบบดูดอากาศออก ระบบสร้างความเคลื่อนไหวของอากาศจะต้องประกอบด้วย ตัวพัดลม และตัวมอเตอร์ขับพัดลม ตัวใบพัดมักใช้ชนิดโพรเพลเลอร์แฟน ซึ่งมักจะพบเห็นกันทั่วไปแต่ที่จริงแล้วมีอีกชนิดหนึ่งคือเซ็นตริฟิวเกิลแฟนมีข้อดีตรงที่มีความดันสถิตย์สูงกว่า จึงสามารถที่จะต่อท่อลมออกจากส่วนบนของหอทำน้ำเย็น และนำไปปล่อยไกล ๆ ได้ซึ่งจะมีประโยชน์อย่างมาก สำหรับหอทำน้ำเย็นชนิดติดตั้งในอาคาร สำหรับพัดลมแบบโพรเพลเลอร์นั้น จะมีที่ใช้อยู่กับหอทำน้ำเย็นของได้หวันหรืออเมริกาซึ่งเป็นชนิดดูดอากาศออก ส่วนพัดลมชนิดเซ็นตริฟิวเกิลนั้นจะมีใช้อยู่กับหอทำน้ำเย็นของยุโรป ซึ่งจะมีลักษณะเป็นแบบเป่าอากาศเข้าเมื่อหมดตัวพัดลมแล้วจะมาถึงระบบส่งกำลังระหว่างมอเตอร์กับพัดลม ซึ่งจะมีการขับเคลื่อนโดยตรงคือมีการต่อแกนเพลาของมอเตอร์ไปยังแกนพัดลมโดยตรง ซึ่งมีข้อดีคือไม่มีการสูญเสียการถ่ายทอดกำลังจากมอเตอร์ไปยังพัดลม แต่ก็จะมีข้อเสียคือตัวมอเตอร์จะต้องเข้ามาอยู่ในกระแสอากาศ และโดยเฉพาะหอทำน้ำเย็นชนิดดูดอากาศออกแล้วจะมีกระแสลมที่ร้อนและชื้นพัดผ่านตัวใบพัดลม ดังนั้นการที่ใช้มอเตอร์เป็นแบบขับเคลื่อนโดยตรงจะก่อให้เกิดการกัดกร่อนขึ้นกับมอเตอร์และพวกแบริ่งต่าง ๆ ได้ส่วนระบบส่งกำลังที่มีตัวช่วยส่งกำลังนั้นจะแบ่งได้เป็นสองประเภทคือ การขับเคลื่อนด้วยสายพานและขับเคลื่อนด้วยเกียร์ ซึ่งระบบขับเคลื่อนด้วยเกียร์จะมีความแน่นอนและมีความสิ้นเปลืองพลังงานน้อยกว่าแต่จะมีราคาแพงกว่า ส่วนระบบขับเคลื่อนด้วยสายพานนั้นจะมีการสิ้นเปลืองพลังงานสูงกว่าและมีโอกาสที่สายพานจะลื่นหลุดออกไปได้สำหรับหอทำน้ำเย็นที่ทำจากไต้หวันมักจะใช้การขับใบพัดโดยตรง ส่วนหอทำน้ำเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

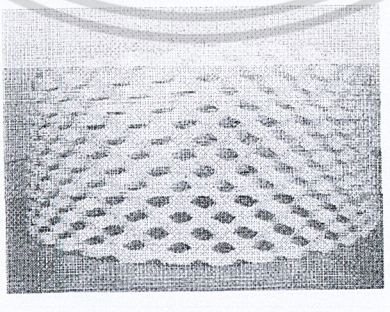
จากอเมริกาจะมีการใช้การส่งกำลังด้วยเกียร์ แต่จะเป็นลักษณะของทางเลือกมากกว่าเนื่องจากจะต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นอีกมาก ส่วนการใช้การส่งกำลังด้วยสายพานมักจะใช้กับหอทำน้ำเย็นประเภทเป่าอากาศเข้าและสำหรับตัววัสดุที่ใช้ทำใบพัดไม่ว่าจะเป็นหอทำน้ำเย็นที่ผลิตจากประเทศไหนก็มักจะใช้โลหะผสมกับอลูมิเนียมหล่อ มอเตอร์ที่ใช้ขับใบพัดมักจะนิยมเป็นมอเตอร์ที่แข็งแรงทนทานคือ มอเตอร์แบบปกปิดมิดชิดโดยเฉพาะการใช้งานแบบดูดอากาศออก ซึ่งมีละอองน้ำกระเซ็นออกมาจากตัวหอทำน้ำเย็นจึงจำเป็นจะต้องใช้มอเตอร์ชนิดนี้



รูปที่ 3-7 ส่วนที่ทำให้อากาศเคลื่อนไหว

6. แผงกันละอองน้ำ

เมื่อมีการฉีดน้ำและมีการใช้พัดลมทำให้อากาศเคลื่อนไหวแล้ว ก็จะมีการที่ละอองน้ำกระเซ็นไปกับกระแสลม ซึ่งจะต้องมีแผงกันละอองน้ำเพื่อดักละอองน้ำที่ถูกพัดพาไปกับกระแสลมให้เหลือออกไปน้อยที่สุด เพื่อลดการสูญเสียน้ำของหอทำน้ำเย็นตัวแผงกันละอองน้ำนี้อาจจะใช้สารจำพวก พีวีซี เช่นเดียวกับแผงกระจายละอองน้ำซึ่งจะมีการติดตั้งไว้ที่ส่วนหลังจากที่ลมได้ผ่านตัวแผงกระจายละอองน้ำและทำการแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำเรียบร้อยแล้ว ตัวแผงกันละอองน้ำนี้จะเป็นตัวหนึ่งที่เพิ่มหรือลดความดันและเกี่ยวข้องกับแรงม้าของพัดลมที่ใช้งานโดยตรง

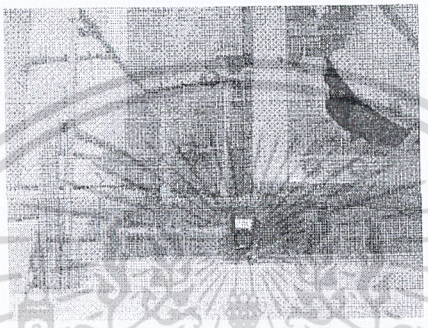


รูปที่ 3-8 แผงกันละอองน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ท่อส่งน้ำเข้าหรือท่อส่งน้ำออกจากหอทำน้ำเย็น

หลังจากที่มีการเดินเครื่องหอทำน้ำเย็น น้ำร้อนที่ถูกสร้างจากถังทำน้ำร้อนจะถูกส่งไปยังหอทำน้ำเย็น เพื่อให้มีการระบายความร้อนออกจากน้ำร้อนให้กลายเป็นน้ำเย็นโดยจะทำการลำเลียงของน้ำท่อที่ต่อเข้ากับหอทำน้ำเย็น ควรจะมีขนาดเดียวกันกับตรงส่วนต่อของท่อตามที่ผู้ผลิตได้แนะนำมา การที่ใช้ท่อน้ำที่มีขนาดเล็กกว่าท่อต่อจะเป็นผลในการลดประสิทธิภาพของหอทำน้ำเย็นและถ้าใช้ท่อที่มีขนาดใหญ่กว่าท่อต่อก็จะเป็นการสิ้นเปลืองวัสดุ



รูปที่ 3-9 ท่อส่งน้ำที่ทำจากพีวีซี

8. ปั๊มน้ำ

เป็นตัวใช้ในการหมุนเวียนน้ำร้อนหรือน้ำเย็นให้มีการไหลผ่านหอทำน้ำเย็น โดยจะต้องติดตั้งอยู่ในตำแหน่งที่อยู่ใต้ตัวอ่างรับน้ำของหอทำน้ำเย็นในสภาวะปกติ ดังรูป

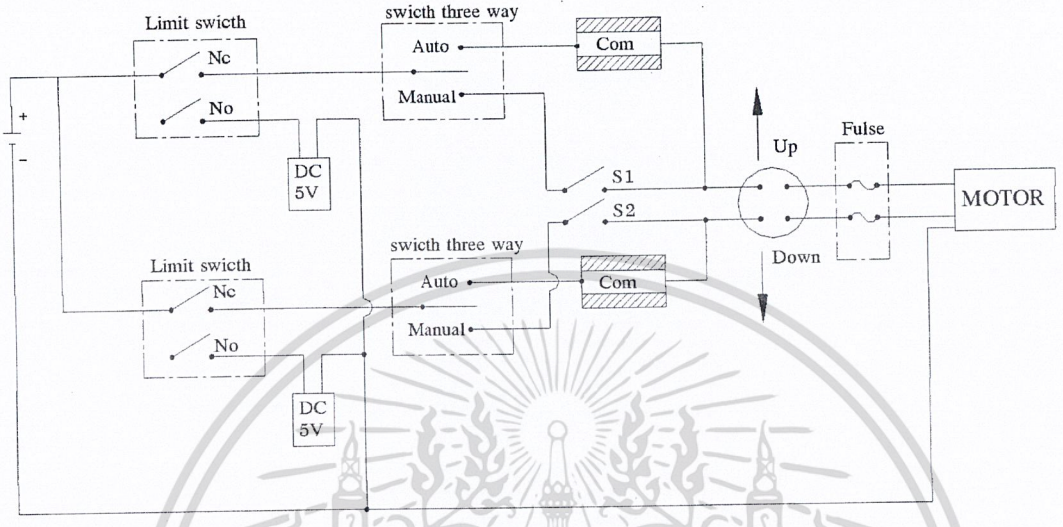
รูปที่ 3-10 ปั๊มน้ำ

9. ชุดควบคุมระบบไฟฟ้าของหอทำน้ำเย็น

โดยชุดควบคุมนี้สามารถปรับสวิตซ์ที่ตัวบนสุดให้เป็นการทำงานของระบบอัตโนมัติ หรือให้เป็นระบบที่สามารถควบคุมด้วยมือได้ หากปรับไปที่การควบคุมด้วยมือจะสามารถปรับระดับของหอทำน้ำเย็นให้มีระดับสูงหรือระดับต่ำได้ โดยการกดสวิตซ์ตัวล่างสุดดังรูปที่ 3-2 กล่องควบคุมระบบไฟฟ้าการควบคุมอัตโนมัติจะสามารถควบคุมได้ โดยการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ควบคุมบอร์ด

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

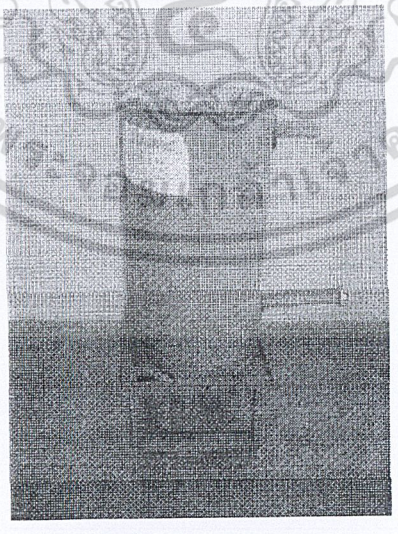
อิเล็กทรอนิกส์และจะมีการส่งสัญญาณต่อไปยังมอเตอร์โดยที่จะมีการทำงานของมอเตอร์ตามคำสั่งของโปรแกรม



รูปที่ 3-11 วงจรควบคุมระบบไฟฟ้าของหอทำน้ำเย็น

3.1.2 อุปกรณ์สำหรับชุดทำความร้อน

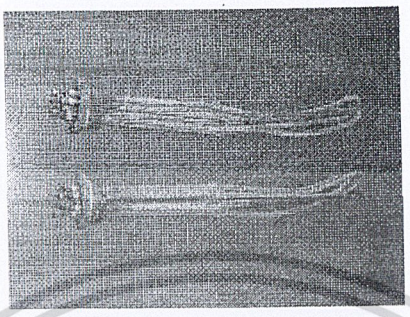
1. ถังน้ำร้อน เป็นอุปกรณ์สำหรับสร้างโหลดเทียมโดยถังนี้จะเป็นการเก็บน้ำร้อน



รูปที่ 3-12 ถังน้ำร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

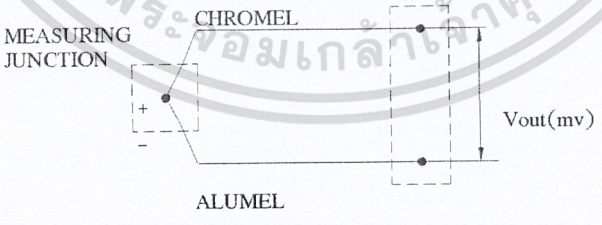
2. ตัวสร้างความร้อน เป็นตัวแปลงกระแสไฟฟ้าให้เปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนและความร้อนที่ได้นี้จะถูกส่งไปยังน้ำที่อยู่ในถังทำน้ำร้อน จึงทำให้น้ำกลายเป็นน้ำร้อนได้ตามอุณหภูมิที่กำหนดไว้และนำน้ำร้อนนี้ส่งต่อไปยังหอทำน้ำเย็นเพื่อให้มีการระบายความร้อนออกจากน้ำต่อไป



รูปที่ 3-13 ตัวสร้างความร้อน

3.1.3 อุปกรณ์ที่ติดตั้งในชุดควบคุมอัตโนมัติ

1. Temperatuer Sensor เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดอุณหภูมิของน้ำที่เข้าหอทำน้ำเย็นและออกจากหอทำน้ำเย็น ซึ่งจะใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด type k ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้งานได้ในช่วงระหว่าง –200 ถึง 1390 องศาเซลเซียส ซึ่งส่วนประกอบหลักของตัวเทอร์โมคัปเปิลจะประกอบไปด้วยโลหะ 2 ชนิด ได้แก่ โครเมียมและอะลูมิเนียมโดยโลหะทั้ง 2 ชนิดจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันไปเมื่อให้ความร้อนที่จุดต่อระหว่างขั้วของปลายโลหะทั้งสอง จะทำให้เกิดการขยายตัวที่แตกต่างกันเนื่องจากเป็นโลหะต่างชนิดกันจึงทำให้เกิดแรงดันศักดิ์ (Voltage) ขึ้น



รูปที่ 3-14 แสดงลักษณะของเทอร์โมคัปเปิล

2. ชุดขยายแรงดันจากตัวเทอร์โมคัปเปิล

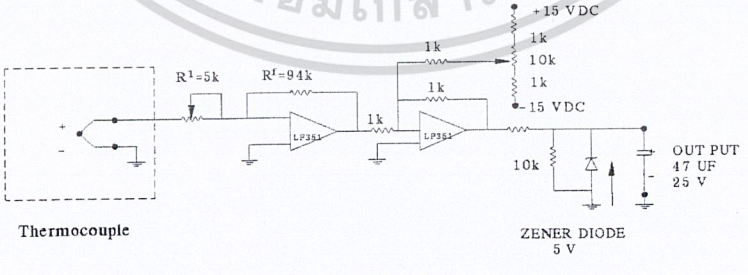
เนื่องจากสัญญาณที่ได้จากตัวเทอร์โมคัปเปิล เป็นสัญญาณแรงดันที่มีค่า 0.0154 v ที่อุณหภูมิ 45°C ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีภาคขยายสัญญาณให้มากพอ เพื่อที่จะสามารถนำไปใช้งานได้ในช่วง 0-5 VDC ซึ่งชุดขยายสัญญาณนี้จะประกอบไปด้วยชุด Operational Amplifier หรือที่รู้จักกันในชื่อของออฟแอม ซึ่ง

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกอบด้วยส่วนขยาย 2 ภาค คือ ภาคที่หนึ่งได้แก่ภาคการขยายสัญญาณจากตัวเทอร์โมคัปเปิล ภาคที่สองจะเป็นส่วนของการยกระดับแรงดันให้สูงขึ้น อันเนื่องจากเทอร์โมคัปเปิลชนิด Type k ให้ค่าแรงดัน –200 ถึง 1390 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิที่มีค่าต่ำจะทำให้แรงดันติดลบ ซึ่งเป็นสัญญาณที่ไม่สามารถใช้งานได้ จึงจำเป็นต้องขยายแรงดันให้เป็นแรงดันที่มีค่าเป็นบวกเท่านั้น

No.	LOAD องศา (C)	เส้นที่ 1	เส้นที่ 2	No.	LOAD องศา (C)	เส้นที่ 1	เส้นที่ 2
1	27	0.046	0.086	13	39	0.6	0.46
2	28	0.095	0.11	14	40	0.62	0.499
3	29	0.1	0.164	15	41	0.68	0.609
4	30	0.128	0.207	16	42	0.7	0.61
5	31	0.234	0.22	17	43	0.73	0.7
6	32	0.291	0.28	18	44	0.745	0.73
7	33	0.313	0.29	19	45	0.77	0.77
8	34	0.33	0.329	20	46	0.834	0.81
9	35	0.355	0.35	21	47	0.91	0.86
10	36	0.47	0.36	22	48	0.96	0.87
11	37	0.49	0.38	23	49	1	0.91
12	38	0.537	0.45	24	50	1.035	0.94

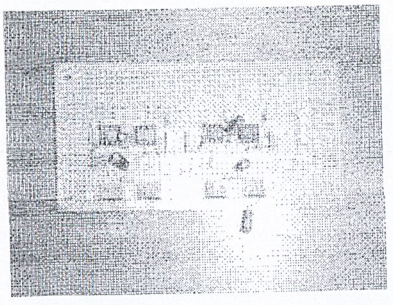
*ตารางที่ 3.1 แสดงค่าอุณหภูมิและแรงดันที่ตัวเทอร์โมคัปเปิล Type k (*20mv)*



รูปที่ 3-15 วงจรขยายแรงดันจากตัวเทอร์โมคัปเปิล

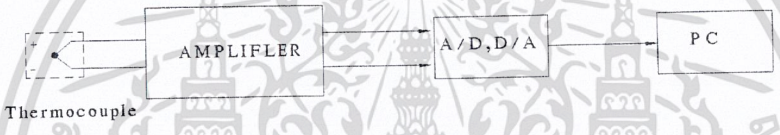
โดยที่ อัตราส่วนขยาย = $1+(R_f / R_1)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-16 วงจรขยายสัญญาณจากเทอร์โมคัปเปิลที่สมบูรณ์

ดังนั้นเมื่อขยายสัญญาณจากตัวเทอร์โมคัปเปิลได้แล้ว จะนำสัญญาณที่ได้ซึ่งเป็นอะนาล็อก 0-5 VDC เข้าบอร์ด A/D เพื่อแปลงสัญญาณเป็นสัญญาณดิจิตอลและต่อสัญญาณเข้าคอมพิวเตอร์ต่อไป



รูปที่ 3-17 แสดงการเชื่อมโยงระหว่างสัญญาณเทอร์โมคัปเปอร์ไปยังคอมพิวเตอร์

ผลการทดลองในส่วนของการใช้โปรแกรมควบคุม

ในส่วนของการควบคุมด้วยโปรแกรมนั้นจะควบคุมตัวแปร 2 ตัวหลัก ๆ ในทางกายภาพที่สามารถควบคุมได้คือ

1. ส่วนของความถี่มอเตอร์พัดลมที่มีผลต่อปริมาณ CFM
2. ส่วนของความสูงของการตกของน้ำซึ่งในการควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์นั้นจำเป็นต้องมีการหน่วงเวลาของการปรับค่าตัวแปรทั้ง 2 ซึ่งในการหน่วงแต่ละครั้งจะใช้เวลา 5 นาที

สรุป ในการควบคุมด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์นั้นจะให้อุณหภูมิของน้ำที่ออกค่อนข้างที่จะนิ่งเพราะมีการควบคุมตัวแปรทั้งสองอยู่ตลอดเวลาแต่ทั้งนี้จะเห็นว่าอุณหภูมิน้ำที่ออกมาจะมีการแกว่งอยู่บ้างอันเนื่องจากสัญญาณรบกวนที่ภาคขยายสัญญาณและสภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 เตรียมการขั้นต้นในการทดลองศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับหอทำน้ำเย็น

1.เริ่มสร้างโหลดโดยการต้มน้ำที่อยู่ในถังให้มีความร้อนตามอุณหภูมิที่กำหนดไว้

2.ปรับวาล์วน้ำที่ท่อต่าง ๆ ให้มีการไหลที่สมดุลกันระหว่างถังน้ำร้อนกับหอทำน้ำเย็น

3.เปิดปั๊มน้ำเพื่อให้มีการไหลเวียนของน้ำร้อน โดยจะมีการส่งน้ำร้อนไปยังหอทำน้ำเย็นและในขณะเดียวกันจะทำการปั๊มน้ำจากหอทำน้ำเย็นไปยังถังทำน้ำร้อนเช่นกัน

4.คอยสังเกตระดับน้ำในอ่างรองน้ำของหอทำน้ำเย็น ถ้าระดับน้ำลดลงจนถึงระดับต่ำสุด จึงทำการเปิดวาล์วน้ำเติม เพื่อให้ระดับน้ำเพิ่มขึ้นอยู่ในระดับที่กำหนด

3.2.2 เริ่มทำการทดลองโดยระบบปกติใช้มือปรับ

1.ปรับที่กล่องควบคุมระบบไฟฟ้า ให้อยู่ในตำแหน่งที่ใช้มือปรับ

2.ปรับระดับความสูงของหอทำน้ำเย็น โดยที่ทำการวัดระยะการตกของน้ำที่ 50 เซนติเมตร

3.ปรับความเร็วรอบของพัดลมโดยทำการปรับที่อินเวอร์เตอร์ให้อยู่ในตำแหน่งที่มีอัตราการไหลของอากาศ 0 CFM

4.รอสังเกตการเปลี่ยนแปลงของน้ำร้อนประมาณ 10 นาที แล้วทำการวัดค่าอุณหภูมิอากาศโดยใช้กระเปาะเปียกและกระเปาะแห้งวัดที่ทางเข้าและทางออกของหอทำน้ำเย็นพร้อมทั้งวัดอุณหภูมิ ของน้ำที่ทางเข้าและทางออกของหอทำน้ำเย็นเช่นกัน

5.นำค่าที่ได้ไปเปิดตารางไซโครเมตริกเพื่อหาค่าความชื้นสัมพันธ์และอัตราส่วนความชื้นจากนั้นนำค่าที่ได้จากตารางไซโครเมตริกไปคำนวณหาน้ำที่สูญเสียไปกับอากาศ

6.เปลี่ยนความเร็วรอบของใบพัดลมโดยให้มีอัตราการไหลเพิ่มขึ้นเป็น 1675 CFM และดำเนินการตามขั้นตอนที่ 4 และขั้นตอนที่ 5

7.เปลี่ยนความเร็วรอบของใบพัดลมโดยให้มีอัตราการไหลเพิ่มขึ้นเป็น 2790 CFM และดำเนินการตามขั้นตอนที่ 4 และขั้นตอนที่ 5

8.เปลี่ยนความเร็วรอบของใบพัดลมโดยให้มีอัตราการไหลเพิ่มขึ้นเป็น 3910 CFM และดำเนินการตามขั้นตอนที่ 4 และขั้นตอนที่ 5

9.เปลี่ยนความเร็วรอบของใบพัดลมโดยให้มีอัตราการไหลเพิ่มขึ้นเป็น 5026 CFM และดำเนินการตามขั้นตอนที่ 4 และขั้นตอนที่ 5

10.เปลี่ยนความเร็วรอบของใบพัดลมโดยให้มีอัตราการไหลเพิ่มขึ้นเป็น 5585 CFM และดำเนินการตามขั้นตอนที่ 4 และขั้นตอนที่ 5

11.ปรับที่กล่องควบคุมระบบไฟฟ้าโดยกดสวิตซ์ให้มีการยกหอทำน้ำเย็นสูงขึ้น 10 เซนติเมตร ฉะนั้นหอทำน้ำเย็นจะมีระยะการตกของน้ำเพิ่มขึ้นจากเดิมเป็น 60 เซนติเมตร และเริ่มดำเนิน การตามขั้นตอนที่ 3 ถึงขั้นตอนที่ 10

12.ปรับที่กล่องควบคุมระบบไฟฟ้าโดยกดสวิตซ์ให้มีการยกหอทำน้ำเย็นสูงขึ้น 10 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉะนั้นหอทำน้ำเย็นจะมีระยะการตกของน้ำเพิ่มขึ้นจากเดิมเป็น 70 เซนติเมตร และเริ่มดำเนิน การตามขั้นตอนที่ 3 ถึงขั้นตอนที่ 10

13.ปรับที่กล่องควบคุมระบบไฟฟ้าโดยกดสวิตซ์ให้มีการยกหอทำน้ำเย็นสูงขึ้น 10 เซนติเมตร ฉะนั้นหอทำน้ำเย็นจะมีระยะการตกของน้ำเพิ่มขึ้นจากเดิมเป็น 80 เซนติเมตร และเริ่มดำเนินการตามขั้นตอนที่ 3 ถึงขั้นตอนที่ 10

3.2.3 รวบรวมผลการทดลองต่าง ๆ

จากการเก็บข้อมูลในแต่ละวันนำมาสรุปเป็นผลการทดลองเฉลี่ย นำค่าที่ได้ไปสร้างเป็นกราฟเส้นดังนี้ กราฟความชื้นที่ทางออกเทียบกับอัตราการไหลของอากาศ, กราฟความชื้นที่ทางออกเทียบกับระยะการตกลงน้ำ, กราฟของน้ำเติมเทียบกับอัตราการไหลของอากาศ, กราฟน้ำเติมเทียบกับระยะการตกของน้ำ, กราฟการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเทียบกับอุณหภูมิที่ทางออก จากนั้นจะนำกราฟที่ได้ข้างต้นมาวิเคราะห์เพื่อหาจุดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทำงานของหอทำน้ำเย็นเพื่อให้มีการระบายความร้อนที่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การสั่งงานทางพอร์ตขนาน

4.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพอร์ตขนาน

การประมวลผลข้อมูลเพื่องานควบคุมนั้น สิ่งแรกจะต้องมีส่วนของสัญญาณอินพุต ซึ่งอาจจะมาจากตัวตรวจจับต่าง ๆ ผ่านวงจรภาคขยายเพื่อเปลี่ยนรูปแบบสัญญาณอินพุตให้เหมาะสมกับการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ เมื่อข้อมูลอินพุตถูกส่งเข้าสู่คอมพิวเตอร์แล้ว คอมพิวเตอร์จะทำการประมวลผลข้อมูลที่ได้มาเหล่านั้นให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมก่อนที่จะส่งออกไปยังภายนอกผ่านอุปกรณ์เอาต์พุต ซึ่งอาจจะเป็นการส่งออกไปยังจอภาพ หรือส่งออกไปยังจุดเชื่อมต่ออื่น ๆ เพื่อควบคุมอุปกรณ์เอาต์พุตต่อไป

การเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกทั้งส่วนของภาคอินพุตและภาคเอาต์พุตสามารถทำได้หลายวิธีดังนี้

- เชื่อมต่อผ่านทางการ์ดอินพุตเอาต์พุต ซึ่งใช้วิธีการเสียบหรือติดตั้งการ์ดลงในสล็อตภายในเครื่องคอมพิวเตอร์
- เชื่อมต่อผ่านทางพอร์ตอนุกรม
- เชื่อมต่อผ่านทางพอร์ตขนาน
- เชื่อมต่อผ่านระบบมาตรฐานอื่น ๆ เช่น พอร์ต USB , พอร์ต SCSI หรือพอร์ต GAME เป็นต้น

4.1.1 ทำไมถึงเลือกใช้งานพอร์ตขนาน

เมื่อเทียบกับการใช้งานการ์ดอินพุตเอาต์พุตที่ต้องติดตั้งอยู่ภายในเครื่องคอมพิวเตอร์แล้วพอร์ตขนานมีข้อได้เปรียบอยู่หลายประการดังนี้

ในด้านความปลอดภัย การที่ต้องถอดฝาเครื่องคอมพิวเตอร์ออกมาเพื่อเสียบการ์ดเชื่อมต่อลงในสล็อตของคอมพิวเตอร์ อาจจะทำให้เกิดความเสียหายกับส่วนอื่น ๆ ของคอมพิวเตอร์ได้ถ้าผู้ใช้งานไม่มีความชำนาญหรือเกิดการต่อวงจรที่ผิดพลาด

ในด้านการเข้ากันได้กับคอมพิวเตอร์ส่วนใหญ่ การเชื่อมต่อโดยใช้การ์ดที่เสียบลงในสล็อตไม่สามารถใช้กับคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันได้ทุกรุ่น เช่น คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก จะไม่มีสล็อตเสียบแต่จะมีที่เสียบการ์ด PCMCIA แทน ในขณะที่พอร์ตขนานจะมีติดตั้งอยู่ในคอมพิวเตอร์ทุกเครื่องทั้งนี้เพื่อใช้ในการติดต่อกับเครื่องพิมพ์

ข้อจำกัดด้านพื้นที่ คอมพิวเตอร์บางเครื่องมีการเสียบการ์ดเชื่อมต่อตัวอื่น ๆ อยู่แล้ว เช่น การ์ดเสียง การ์ดโมเด็ม เป็นต้น จนไม่มีสล็อตเหลือพอสำหรับเสียบการ์ดเชื่อมต่อเพิ่มเติม

ความสะดวกในการใช้งาน การเชื่อมต่อทางพอร์ตขนานสามารถทำได้ง่าย ๆ เพียงต่อสายสำหรับเชื่อมต่อเข้ากับคอนเน็กเตอร์ DB-25 ของพอร์ตขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนช่องสัญญาณอินพุตเอาต์พุต พอร์ตขนานมีจำนวนพอร์ตอินพุตเอาต์พุตมากเพียงพอที่จะนำไปใช้งานต่าง ๆ และยังสามารถขยายให้มีจำนวนพอร์ตเพิ่มขึ้นได้ โดยพอร์ตขนานปกติมีจำนวนขาเอาต์พุต 12 ขา และขาอินพุต 5 ขา

ความเร็วในการสื่อสารข้อมูลกับพอร์ตขนาน มีความเร็วเท่ากับการติดต่อกับระบบบัสโดยตรง และมีความเร็วมากกว่าการติดต่อผ่านทางพอร์ตอนุกรม

อะไหล่และชิ้นส่วนประกอบ คอนเน็กเตอร์และสายเชื่อมต่อต่าง ๆ ของการเชื่อมต่อผ่านทางพอร์ตขนาน หาได้ง่ายและราคาไม่แพง หรืออาจจะสร้างขึ้นเองก็สามารถทำได้ง่ายดาย

จากคุณสมบัติดังกล่าวมาแล้วนั้นทำให้พอร์ตขนานเหมาะสมอย่างยิ่งที่จะนำมาใช้ในการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกเพื่อควบคุมหรือรับสัญญาณข้อมูล นอกจากนี้หากนำคุณสมบัติของการเขียนโปรแกรมง่าย ๆ ผ่านระบบปฏิบัติการวินโดวส์ด้วยโปรแกรม VISUAL BASIC ก็จะสามารถสร้างระบบการเชื่อมต่อที่สมบูรณ์และใช้งานได้ไม่ยาก

4.1.2 ความรู้เบื้องต้นของพอร์ตขนาน

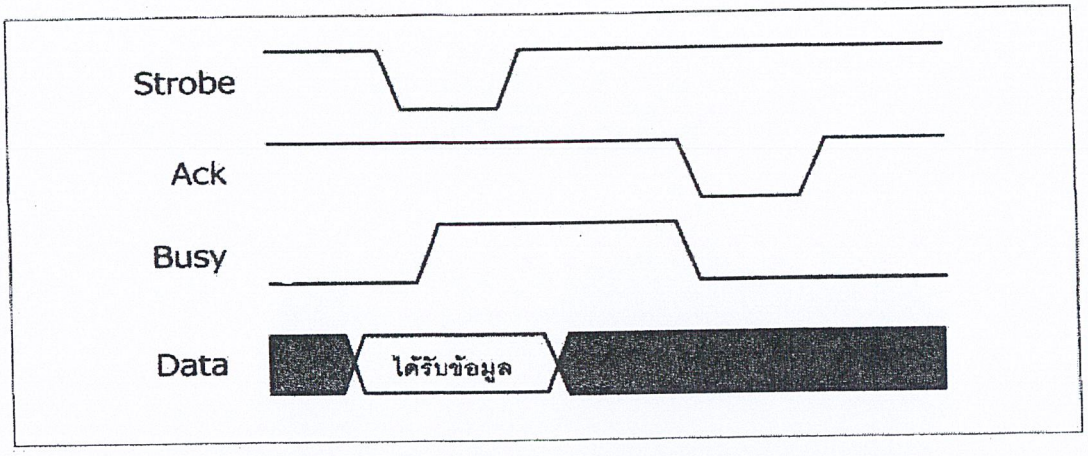
พอร์ตขนาน เป็นการถ่ายทอดข้อมูลแบบขนาน หรือเรียกอีกอย่างว่า พอร์ตเครื่องพิมพ์ เนื่องจากพอร์ตนี้ใช้สำหรับต่อเข้ากับเครื่องพิมพ์นั่นเอง

การถ่ายทอดข้อมูลแบบขนาน ทำให้พอร์ตมีอัตราการถ่ายทอดข้อมูลสูงกว่าการถ่ายทอดข้อมูลแบบอนุกรมประมาณ 8-10 เท่า การประมวลผลส่วนใหญ่จะมีขนาด 8 บิต ดังนั้นพอร์ตนี้จึงสามารถรองรับการถ่ายทอดข้อมูล 8 บิต ได้โดยไม่ต้องต่อส่วนเพิ่มเติม

ลักษณะกายภาพของพอร์ตขนาน

เพื่อให้เข้าใจการนำพอร์ตขนานไปใช้งาน ต้องเข้าใจว่าปกตินั้นการสั่งพิมพ์งานจากคอมพิวเตอร์ไปยังพอร์ตขนาน มีรูปแบบการทำงานภายในอย่างไร ในรูปที่ 4-1 แสดงไดอะแกรมเวลา ข้อติดต่อระหว่างพอร์ตขนานกับเครื่องพิมพ์ ซึ่งจะมีสัญญาณใช้งานจริงไม่มาก สัญญาณ พอร์ต Data ถูกส่งออกไปยังเครื่องพิมพ์พร้อมทั้งส่งสัญญาณ Strobe ออกไปด้วยเพื่อให้เครื่องพิมพ์รับรู้ว่ามีการส่งข้อมูลมาที่ขา Data จากนั้นคอมพิวเตอร์จะทำการตอบกลับจากเครื่องพิมพ์ จะสร้างสัญญาณ Busy หรือเพื่อบอกว่าเครื่องพิมพ์ยังไม่พร้อมที่จะรับข้อมูล จนกระทั่งเมื่อเครื่องพิมพ์พร้อม เครื่องพิมพ์จะสร้างสัญญาณ ACK ส่งไปยังคอมพิวเตอร์ว่าพร้อมที่จะรับข้อมูลใหม่แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-1 แสดงไดอะแกรมเวลาของการส่งข้อมูลไปยังเครื่องพิมพ์

สัญญาณข้อมูล 8 บิต , สัญญาณ Strobe และสัญญาณ ACK เป็นสัญญาณที่สำคัญจากการส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยังเครื่องพิมพ์ ยังต้องมีสัญญาณอื่น ๆ ร่วมด้วย เนื่องจากเครื่องพิมพ์ต้องทำหน้าที่ถึง 3 อย่างด้วยกันคือ รับข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ พิมพ์ข้อมูลที่รับเข้ามาและตอบสนองต่อการใช้งานของผู้ใช้ บางครั้งอาจเกิดเหตุการณ์ไม่ปกติ เช่น บัฟเฟอร์ สำหรับรับข้อมูลเต็มเครื่องพิมพ์จะต้องแจ้งไปยังคอมพิวเตอร์ว่าให้หยุดส่งข้อมูลชั่วคราว เนื่องจากไม่สามารถรับข้อมูลมากกว่านี้ได้แล้ว สัญญาณที่ส่งจากเครื่องพิมพ์ไปยังคอมพิวเตอร์คือ สัญญาณ Busy และเมื่อเครื่องพิมพ์เกิดข้อผิดพลาดเช่น กระดาษติด เครื่องพิมพ์จะต้องแจ้งไปยังคอมพิวเตอร์เช่นกัน เรียกสัญญาณนี้ว่า Error ถ้าคอมพิวเตอร์ต้องการ Reset เครื่อง ก็จะส่งสัญญาณ Reset ไปยังเครื่องพิมพ์ด้วย

โดยปกติพอร์ตขนานออกแบบมาให้มีสัญญาณทั้งหมด 17 เส้น สายสัญญาณเหล่านั้น จะมีรีจีสเตอร์ 3 ตัวควบคุมการทำงานดังนี้

1. พอร์ตเอาต์พุต สำหรับสัญญาณข้อมูล 8 เส้นมีรีจีสเตอร์ Data ควบคุม
2. พอร์ตอินพุต สำหรับการอ่านค่าสถานะต่าง ๆ จากภายนอกมีอยู่ด้วยกัน 5 เส้น ใช้รีจีสเตอร์ Status ในการควบคุม
3. พอร์ตอินพุตสำหรับส่งสัญญาณควบคุม ไปยังอุปกรณ์ภายนอกมีอยู่ด้วยกัน 4 เส้น ใช้รีจีสเตอร์ Control ในการควบคุม

บล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 1-2 แสดงระบบบัสของคอมพิวเตอร์สำหรับการติดต่อกับพอร์ตขนาน สัญญาณเอาต์พุตจากพอร์ตขนานจะส่งสัญญาณไปยังคอนเน็กเตอร์แบบ DB-25 สำหรับคอมพิวเตอร์ส่วนใหญ่ในปัจจุบันพอร์ตขนานจะมีมาพร้อมกับเมนบอร์ด ไม่จำเป็นต้องใช้การ์ดเสียบเพิ่มเติมเหมือนในอดีต พร้อมทั้งมีฟังก์ชั่นการทำงานที่ซับซ้อนขึ้นแต่ยังสนับสนุนการทำงานของพอร์ตขนานในรูปแบบมาตรฐานอยู่

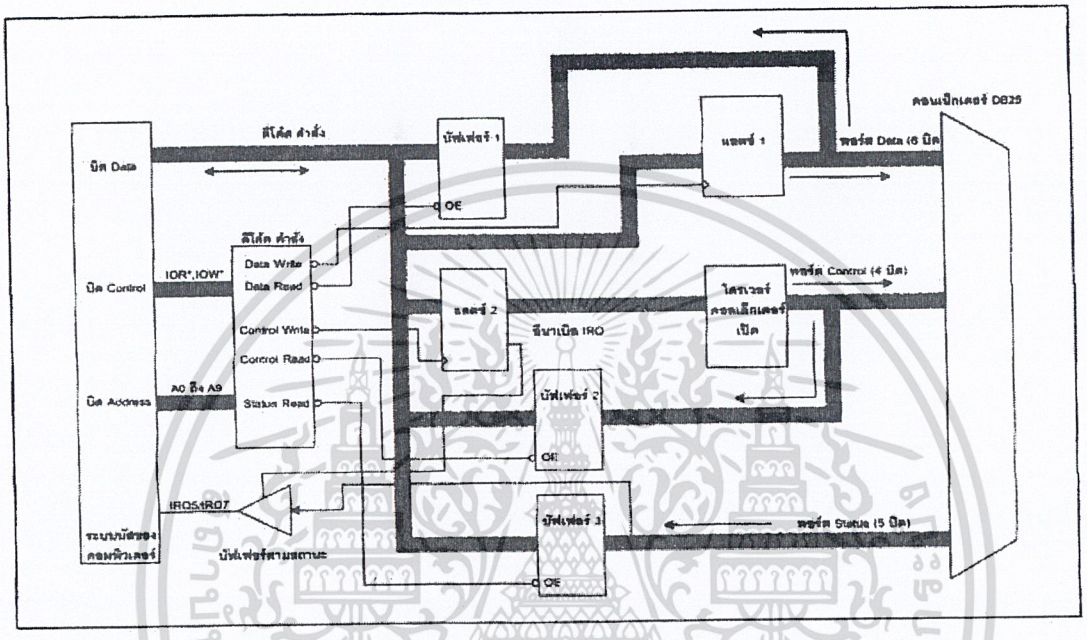
เมื่อดูจากรูปที่ 4-1 เทียบการทำงานโดยทั่วไปกับการเชื่อมต่อผ่านการ์ดที่เสียบลงในสล็อตของคอมพิวเตอร์แล้ว พอร์ตขนานจะมีลักษณะใกล้เคียงกัน โดยการติดต่อกับพอร์ตขนานจะต้องมีการอ้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอดเดรส ตำแหน่งแอดเดรสที่ใช้อ้างถึงจะเป็นตำแหน่ง A0-A9 และใช้ขา IOR และ IOW สำหรับเป็นตัวเลือกว่าต้องการอ่านหรือเขียนรีจีสเตอร์ตัวใด จากการดีโค้ดแอดเดรส A0-A9 นี้เองทำให้ได้สัญญาณออกมาเพื่อควบคุมหรืออีนาเบิลวงจรบัฟเฟอร์ต่าง ๆ ดังนี้

Data Write สัญญาณอีนาเบิลสำหรับนำข้อมูลที่อยู่ในบัส Data ไปออกที่ขา Data ของพอร์ตขนาน

Data Read สัญญาณอีนาเบิลสำหรับอ่านข้อมูลจากขา Data ของพอร์ตขนานมาเก็บไว้ในบัส Data



รูปที่ 4-2 แสดงระบบบัสภายในของพอร์ตขนาน

Control Write สัญญาณอีนาเบิลสำหรับนำข้อมูลที่อยู่ในบัส Data ไปออกที่ขา Control ของพอร์ตขนาน สำหรับพอร์ตนี้นอกจากจะส่งข้อมูลออกไปยังพอร์ตขนานแล้ว ยังทำหน้าที่อีนาเบิลการอินเตอร์รัปต์ของการเปลี่ยนแปลงสัญญาณที่พอร์ต Status อีกด้วย

Control Read สัญญาณอีนาเบิลสำหรับอ่านค่าข้อมูลจากขา Control มาเก็บไว้ในบัส Data

Status Read สัญญาณอีนาเบิลสำหรับอ่านค่าข้อมูลจากขาพอร์ต Status มาเก็บไว้ในบัส Data

พอร์ตดาต้า (Data Port)

จากรูปที่ 4-3 แสดงให้เห็นว่าพอร์ตดาต้าประกอบไปด้วยบัปเฟอร์ 1 ตัวและไอซีแลตซ์อีก 1 ตัว เมื่อคอมพิวเตอร์ต้องการส่งข้อมูลไปยังเครื่องพิมพ์คอมพิวเตอร์จะเขียนข้อมูลไปยังไอซีแลตซ์ทั้ง 8 บิต เอาต์พุตของไอซีแลตซ์ 1 คือ D0-D7 ซึ่งเอาต์พุตนี้จะไปปรากฏอยู่ที่พอร์ตขนานในตำแหน่งขา 2 ถึงขา 9 และที่ขาเอาต์พุตนี้สัญญาณดาต้าจะส่งกลับไปยังอินพุตของบัฟเฟอร์ 1 ด้วยทำให้คอมพิวเตอร์สามารถอ่านค่าสถานะปัจจุบันที่เกิดขึ้นกับพอร์ตดาต้าได้

เมื่อคอมพิวเตอร์ส่งข้อมูล ข้อมูลจะถูกส่งมายังบัส ข้อมูลของคอมพิวเตอร์ผ่านไปให้กับไอซี 74LS374 ซึ่งเป็นไอซีแลตซ์ข้อมูล และเมื่อต้องการให้ข้อมูลปรากฏที่เอาต์พุตของคอมพิวเตอร์จะส่งสัญญาณ

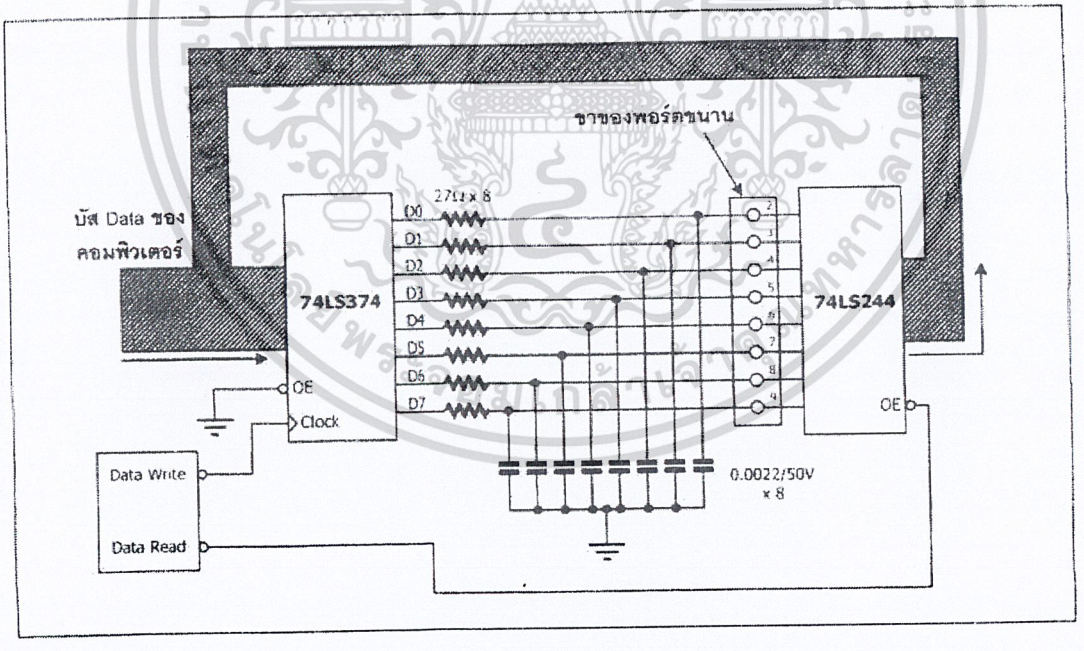
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Data Write ออกไปที่ขา CLK ของ 74LS374 เอาต์พุตจาก 74LS374 จะถูกกรองด้วยวงจร RC ซึ่งประกอบด้วยตัวต้านทานค่า 27 Ω และตัวเก็บประจุ 0.0022 μF เพื่อให้ช่วงเวลาที่เปลี่ยนจากลอจิก “0” เป็นลอจิก “1” หรือจากลอจิก “1” เป็นลอจิก “0” เป็นไปอย่างช้า เนื่องจากการเปลี่ยนแรงดันที่รวดเร็วทำให้เกิดสัญญาณรบกวนเหนี่ยวนำข้ามไปยังข้อมูลบิตอื่น ๆ ได้ทำให้ข้อมูลที่ส่งออกไปมีข้อผิดพลาดจากค่า

ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุในวงจรทำให้เกิดการหน่วงเวลาไปประมาณ 60 นาโนวินาที จากวงจรในรูปที่ 1-3 ทำให้เอาต์พุตของพอร์ตคาต้า มีคุณสมบัติดังนี้

- กระแสซิงก์สูงสุด 24 mA
- กระแสซอร์สสูงสุด 2.6 mA
- ระดับแรงดันของลอจิก “1” ต่ำสุดเท่ากับ 2.4 V
- ระดับแรงดันสูงสุดสำหรับลอจิก “0” เท่ากับ 0.5 V

สำหรับบัฟเฟอร์สำหรับการอ่านข้อมูลกลับ ได้แก่เบอร์ 74LS244 ซึ่งเมื่อต้องการอ่านค่าคอมพิวเตอร์จะส่งสัญญาณ Data Read ออกมาเพื่ออีนาเบิลไอซี 74LS244 สำหรับพอร์ตขนานแบบมาตรฐาน (Standard Parallel Port : SPP) พอร์ต Data จะต้องใช้เพื่อการส่งค่าออกเอาต์พุตเท่านั้น แต่สำหรับพอร์ตขนานที่มีการสื่อสาร 2 ทิศทางสามารถอ่านค่าพอร์ต Data ได้ด้วย แต่ก่อนที่จะอ่านค่าต้องจำไว้เสมอว่าจะต้องป้อนค่าเอาต์พุตให้มีค่าลอจิก “1” ทั้งหมดก่อน



รูปที่ 4-3 วงจรภายในของพอร์ต Data

พอร์ต Control

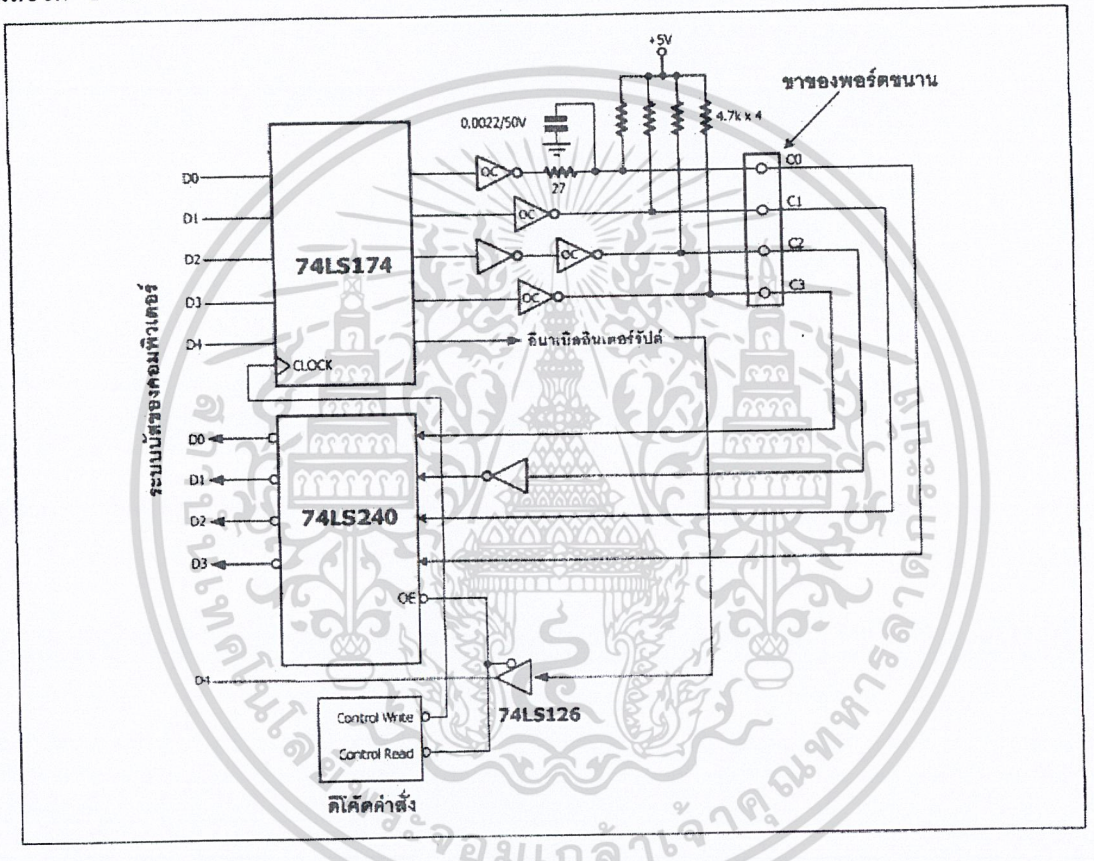
พอร์ต Control ใช้สำหรับคอมพิวเตอร์ควบคุมเครื่องพิมพ์ รูปที่ 4-4 แสดงบล็อกไดอะแกรมของพอร์ต Control เอาต์พุตของพอร์ต Control มีอินเวอร์เตอร์แบบคอลเล็กเตอร์เปิดต่อร่วมอยู่ โดยเอาต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พุตเหล่านี้จะถูกพูลอัปไว้ด้วยตัวต้านทานค่า 4.7 kΩ สำหรับบิต C2 จะผ่านอินเวอร์เตอร์ถึง 2 ตัวทำให้ที่เอาต์พุตของบิต C2 ไม่มีการกลับสถานะลอจิก

สถานะของพอร์ต Control สามารถอ่านกลับได้โดยการใช้บัฟเฟอร์เบอร์ 74LS240 ซึ่งเอาต์พุตของ 74LS240 มีอินเวอร์เตอร์อยู่ภายใน ทำให้ค่าที่อ่านได้ตรงกับค่าที่ส่งออกไป การควบคุมการอ่านและเขียนข้อมูลกับพอร์ต Control คอมพิวเตอร์จะส่งข้อมูลมาที่ขา Control Write และ Control Read

เนื่องจากเอาต์พุตของพอร์ต Control จะเป็นคอลเล็กเตอร์เปิด ดังนั้นผู้ใช้งานสามารถใช้พอร์ตนี้ในการอ่านค่าสัญญาณอินพุตจากภายนอกได้โดยก่อนที่จะอ่านจะต้องทำให้ขาพอร์ตที่ต้องการอ่านค่ามีลอจิก "1" เสียก่อน



รูปที่ 4-4 วาจรภายในของพอร์ต Control

พอร์ตแสดงสถานะหรือพอร์ต Status

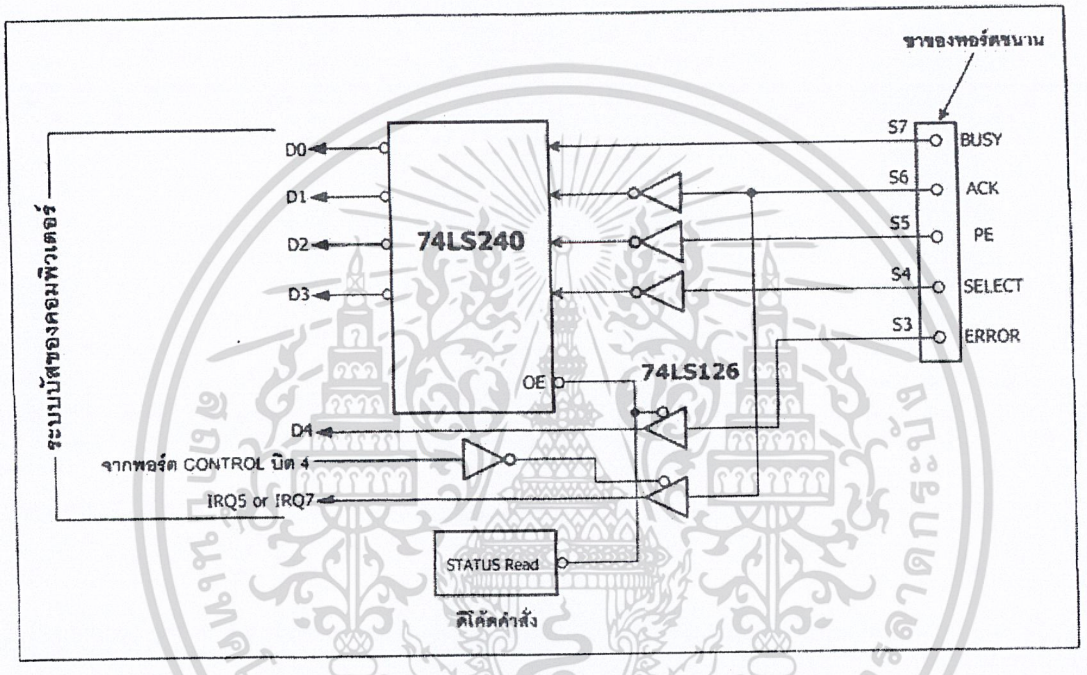
พอร์ต Status เป็นพอร์ตที่คอมพิวเตอร์ใช้สำหรับการอ่านค่าสถานะจากเครื่องพิมพ์ รูปที่ 4-5 แสดงรายละเอียดภายในของพอร์ต Status จะสังเกตได้ว่ามีขาสัญญาณอยู่ทั้งหมด 5 สัญญาณด้วนกัน และจะเรียกชื่อเป็น S3, S4, S5, S6และ S7 ซึ่งตัวเลขนั้นหมายถึงตำแหน่งบิตของขาเหล่านี้ภายในรีจิสเตอร์ Status นั่นเอง สำหรับบิต S7 จะมีข้อแตกต่างจากบิตอื่น ๆ ที่เมื่อสัญญาณจากภายนอกส่งเข้ามาแล้วจะไม่ผ่านอินเวอร์เตอร์ในขณะที่ขาอื่น ๆ ผ่านอินเวอร์เตอร์ทั้งหมด ดังนั้นเมื่อข้อมูลผ่านจากขาอินพุตไปยัง 74LS240 ซึ่งเอาต์พุตมีการกลับสถานะทำให้บิต S7 เป็นบิตเดียวที่มีการกลับสถานะนอกจากนี้ในการใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานถ้าต้องการให้มีการสร้างสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากขา S6 สามารถกำหนดค่าได้จากพอร์ต Control บิต 4

4.1.3 การนำพอร์ตขนานไปใช้งาน

สำหรับพอร์ตขนานแบบมาตรฐาน ผู้ใช้งานสามารถนำพอร์ตอินพุต 5 บิต พอร์ตเอาต์พุต 4 บิต และพอร์ตเอาต์พุตอีก 8 บิตไปใช้งานได้โดยตรง โดยที่ 4 บิตของพอร์ตเอาต์พุตหรือพอร์ต Control นั้น สามรถดัดแปลงให้ใช้งานเป็นพอร์ตอินพุตขนาด 4 บิตได้ ดังนั้นผู้ใช้งานจึงสามารถนำสัญญาณพอร์ตขนานที่มีมากถึง 17 เส้นไปใช้งานในการควบคุมโดยใช้ระดับสัญญาณ TTL



รูปที่ 4-5 แสดงวงจรภายในของพอร์ตแสดงสถานะ

การเขียนโปรแกรมติดต่อกับพอร์ตขนาน

พอร์ตขนานของคอมพิวเตอร์จะมีลักษณะเช่นเดียวกับอุปกรณ์อินพุตเอาต์พุตตัวอื่น ๆ คือ เมื่อต้องการติดต่อจะต้องกำหนดแอดเดรสที่ต้องการติดต่อด้วย ตารางที่ 1-1 แสดงแอดเดรสของพอร์ตขนาน โดยแบ่งออกเป็น 3 ตำแหน่งคือ แอดเดรสของรีจิสเตอร์ Data , รีจิสเตอร์ Status และรีจิสเตอร์ Control โดยแอดเดรสนี้จะมีอยู่ 3 ชุด สำหรับพอร์ตขนาน 3 ชุด คือ LPT1 ,LPT2 และ LPT3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อพอร์ต	LPT1:		LPT2:		LPT3:	
	ฐานสิบ	ฐานสิบหก	ฐานสิบ	ฐานสิบหก	ฐานสิบ	ฐานสิบหก
DATA	888	378H	956	3BCH	632	278H
STATUS	889	379H	957	3BDH	633	279H
CONTROL	890	37AH	958	3BEH	634	27AH

ตารางที่ 4-1 แสดงแอดเดรสของพอร์ตขนาน

เมื่อต้องการติดต่อกับพอร์ตขนานในตำแหน่งใด ก็ให้ส่งค่าข้อมูลออกไปที่พอร์ตขนานในตำแหน่งนั้น ๆ ยกตัวอย่างการเขียนโปรแกรมด้วย QBASIC เพื่อส่งค่าลอจิก " 1 " ออกไปทุกบิตของพอร์ต Data ของ LPT1 จะต้องเขียนโปรแกรมดังนี้

OUT &H378,&HFF

โดยที่

เครื่องหมาย &H ที่แสดงนั้นหมายถึงตัวเลขฐานสิบหก

คำสั่ง OUT เป็นการส่งค่าข้อมูลออกเอาต์พุตของพอร์ตอินพุตเอาต์พุต

ค่า 378 เป็นแอดเดรสของรีจิสเตอร์ Data สำหรับ LPT1

ค่าข้อมูล FF เป็นข้อมูลเลขฐานสิบหก ซึ่งหมายถึงการให้บิตทุกบิตของรีจิสเตอร์ Data มีลอจิกเป็น "1" นั้นเอง

ส่วนการอ่านค่าจากพอร์ตขนานมายังคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ต Status ของ LPT1 สามารถเขียนโปรแกรมด้วย QBASIC ได้ดังนี้

Temp = INP(&H379)

โดยที่

คำสั่ง INP(_) เป็นคำสั่งสำหรับการอ่านค่าข้อมูล

ค่า 379 เป็นตำแหน่งแอดเดรสของรีจิสเตอร์ STATUS สำหรับ LPT1 ในตัวเลขฐานสิบหก

ตัวแปร Temp เป็นตัวแปรที่ใช้เก็บข้อมูลที่อ่านได้จากพอร์ตขนาน

สำหรับโปรแกรมอื่น ๆ เช่น แอสเซมบลี้,เทอร์โบปาสคาล หรื่อเทอร์โบซี จะมีรูปแบบการเขียนโปรแกรมที่แตกต่างกันบ้างดังนี้

แอสเซมบลี้

การส่งค่าข้อมูลออกไปยังพอร์ตขนาน

Mov dx,378h

Mov al,ffh

Out dx,al

การอ่านค่าข้อมูลจากพอร์ตขนาน

Mov dx,379h

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

In al,dx

เทอร์โบปาสคาล

การส่งค่าข้อมูลออกไปยังพอร์ตขนาน

Port[378H] : FFH

การอ่านค่าข้อมูลจากพอร์ตขนาน

Temp := Port[379H]

เทอร์โบซี

การส่งค่าข้อมูลออกไปยังพอร์ตขนาน

Outportb (0x378,0xff)

การอ่านค่าข้อมูลจากพอร์ตขนาน

Temp = importb(0x379)

อย่างไรก็ตามโปรแกรมทุกตัวต่างก็ใช้วิธีการเดียวกันคือ กำหนดแอดเดรสที่จะทำการติดต่อจากนั้นจึงติดต่อกับแอดเดรสเหล่านั้นด้วยคำสั่งสำหรับการอ่านหรือเขียน

4.1.4 การเขียนโปรแกรมติดต่อกับพอร์ตขนานด้วย Visual Basic

การเขียนโปรแกรมด้วย Visual Basic ชุดคำสั่งส่วนใหญ่จะมีรูปแบบใกล้เคียงกับ QBASIC แต่ Visual Basic จะไม่มีคำสั่งสำหรับการติดต่อกับพอร์ตโดยตรงคือ คำสั่ง Inp() และคำสั่ง OUT เหมือนกับ QBASIC ดังนั้นเพื่อให้สามารถติดต่อกับพอร์ตขนานได้คงจำเป็นต้องเพิ่มโปรแกรมบางตัวเข้าไป โดยโปรแกรมที่เพิ่มเข้าไปนี้จะอยู่ในรูปของ DLL (Dynamic Linked Libray)

ไฟล์ DLL นี้จะมีอยู่ 2 ไฟล์คือ input.dll และ input32.dll โดย input.dll นั้นใช้สำหรับระบบปฏิบัติการ 16 บิตหรือวินโดวส์ 3.1 นั่นเอง ส่วน input32.dll จะใช้สำหรับระบบปฏิบัติการที่เป็น 32 บิต ซึ่งก็คือวินโดวส์ 95 หรือวินโดวส์ 98

สำหรับตำแหน่งที่ใช้เก็บไฟล์ input.dll หรือ input32.dll นั้นจะต้องเก็บไว้ที่ไดเรกตอรี่ SYSTEM ซึ่งอยู่ภายในไดเรกตอรี่ที่เก็บโปรแกรมวินโดวส์ โดยส่วนใหญ่จะมีชื่อเป็น Windows

การกำหนดค่าในโปรแกรมเพื่อเรียกใช้งานไฟล์ DLL มีรูปแบบการกำหนดค่าดังนี้

สำหรับระบบปฏิบัติการ 16 บิต

```
Declare Function Inp% Lib "Input.Dll" Alias "Inp16" (ByVal Portaddress%)
Declare Sub Out Lib "UnpOut.Dll" Alias "Out16" (ByVal PortAddress%, ByVal ByteToWrite%)
```

สำหรับระบบปฏิบัติการ 32 บิต

```
Public Declare Function Inp Lib "inpout32.dll" _
Alias "Inp32" (ByVal PortAddress As Inter) As Integer
Public Declare Sub Out Lib "input32.dll" _
Alias "Out32" (ByVal PortAddress As Integer, ByVal Value As Integer)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่มีการใช้งานโปรแกรมทั้ง 2 ระบบปฏิบัติการ สามารถเติมคำสั่ง IF เข้าไปเพื่อตรวจสอบระบบปฏิบัติการก่อนที่จะเลือกใช้งาน DLL ตัวที่ต้องการ โดยสามารถเขียนโปรแกรมได้ดังนี้

```
#If Win32 Then
'Declare Inp and Out fpr port I/O
Public Declare Function Inp Lib "inpout32.dll" _
Alias "Inp32" (ByVal PortAddress As Integer) As Integer
Public Declare Sub Out Lib "inpout32.dll" _
Alias "Out32" (ByVal PortAddress As Integer, ByVal Value As Integer)
#Else
Declare Function Inp Lib "Input.Dll" (ByVal Port%) As Integer
Declare Sub Out Lib "UnpOut.Dll" (ByVal Port%, ByVal Value%)
#End If
```

แต่การกำหนดในสองรูปแบบหลังนี้จะสามารถใช้งานได้กับ Visual Basic ตั้งแต่เวอร์ชั่น 4 ขึ้นไปเท่านั้น

เมื่อมาถึงตรงนี้ อาจเกิดคำถามขึ้นว่า ทำไมไมโครซอฟต์ผู้พัฒนาซอฟต์แวร์ Visual Basic จึงไม่รวมคำสั่ง Inp และคำสั่ง Out ไว้ในโปรแกรม Visual Basic เนื่องจากว่าการเขียนและอ่านข้อมูลไปยังพอร์ตหรือหน่วยความจำโดยตรงนั้นอาจทำให้เกิดมีปัญหาแฮงก์หรือทำงานผิดพลาดได้และ Visual Basic เป็นระบบปฏิบัติการที่ทำงานบนวินโดวส์ซึ่งมีการทำงานแบบมัลติทาร์กิ้ง (multitasking) มีโปรแกรมหลาย ๆ ตัวทำงานอยู่พร้อมกัน ดังนั้นเมื่อเกิดความเสียหายกับโปรแกรมตัวหนึ่งก็อาจจะส่งผลให้โปรแกรมที่ทำงานอยู่ทั้งหมดเสียหายได้นอกจากนี้การเขียนข้อมูลโดยตรงไปยังพอร์ตอาจจะไปทับซ้อนกับโปรแกรมอื่น ๆ ที่มีการเขียนข้อมูลไปยังพอร์ตเช่นเดียวกัน ส่งผลให้โปรแกรมทำงานผิดพลาด

สำหรับวินโดวส์ 95 นอกจากจะสามารถใช้งาน DLL ในการติดต่อกับพอร์ตโดยตรงแล้วยังสามารถใช้งานโปรแกรมประเภท Visual Device Driver (Vxd) ในการติดต่อกับอุปกรณ์อินพุตเอาต์พุตโดย Vxd จะตัดปัญหาเรื่องการเข้าถึงพอร์ตพร้อมกันของโปรแกรมหลาย ๆ ตัวได้ แต่สำหรับโปรแกรมสั้น ๆ เช่น โปรแกรมอ่านค่าอุณหภูมิ โปรแกรมควบคุมอุปกรณ์อินพุตเอาต์พุตปกติซึ่งไม่มีการติดต่อกับพอร์ตอยู่ตลอดเวลา คำสั่ง Inp และ Out ใน DLL ก็ยังทำงานได้ดีและมีรูปแบบการใช้งานที่ง่ายกว่า

4.2 การติดต่ออุปกรณ์อินพุตเอาต์พุตอย่างง่าย

รีจิสเตอร์ขนานสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 รีจิสเตอร์ คือ

1. รีจิสเตอร์ Data ทำหน้าที่เป็นเอาต์พุต
2. รีจิสเตอร์ Status ทำหน้าที่เป็นเอาต์พุต
3. รีจิสเตอร์ Control ทำหน้าที่เป็นเอาต์พุต

ดังนั้นถ้าผู้ใช้งานต้องการส่งค่าออกเอาต์พุตก็ต้องใช้รีจิสเตอร์ Data หรือรีจิสเตอร์ Control ส่วนถ้าต้องการรับค่าจากอินพุต ผู้ใช้งานต้องใช้รีจิสเตอร์ Status ในการอ่านค่าอินพุต การจะอ้างถึงรีจิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ละตัวนั้น ผู้ใช้แต่ละตัวนั้น ผู้ใช้งานจะต้องใช้ตำแหน่งแอดเดรสเป็นตัวอ้างอิง ดังมีรายละเอียดแสดงในตารางที่ 4-2

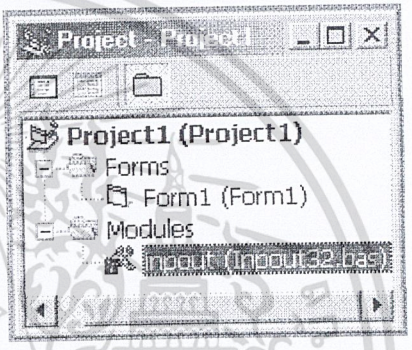
โดยปกติแล้ว Visual Basic ไม่มีคำสั่ง Out เหมือนกับ Qbasic ดังนั้นเพื่อให้ Visual Basic สามารถใช้คำสั่งนี้ได้จำเป็นต้องเพิ่มไฟล์ INPOUT32.BAS เข้าไปใน PROJECT ของ Visual Basic ที่กำลังใช้งานอยู่ โดยต้องทำตามขั้นตอนดังนี้

1. ไปที่เมนู Project เรียกคำสั่ง Add File แล้วเพิ่มไฟล์ INPOUT32.BAS ลงไปใน Project ที่หน้าต่าง Project จะปรากฏไฟล์ INPOUT32.BAS ดังแสดงในรูปที่ 2-1

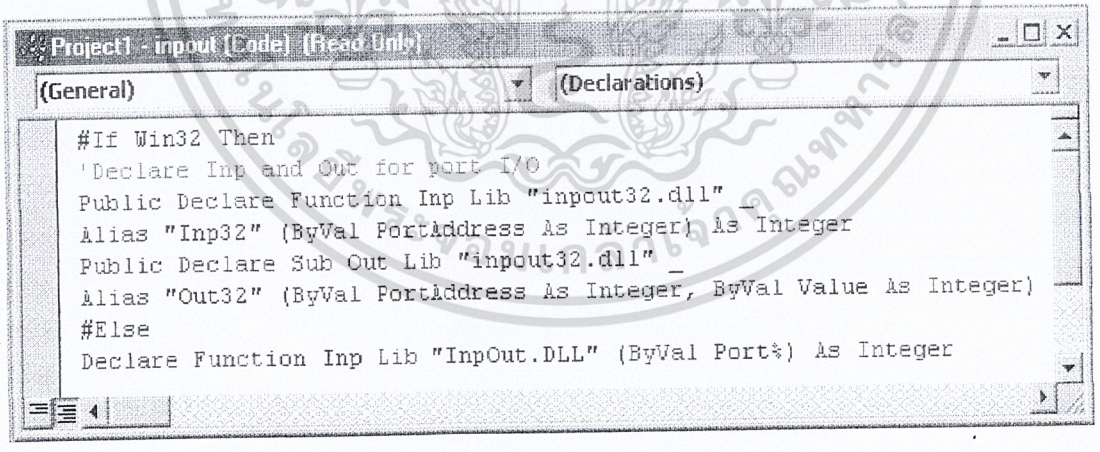
2. เมื่อเลือกชี้ที่ไฟล์ INPOUT32.BAS แล้วใช้คำสั่ง View Code เพื่อดูรายละเอียดภายในของไฟล์ INPOUT32.BAS ดังในรูปที่ 4-7

รีจิสเตอร์	LPT1	LPT2	LPT3
DATA	378H	3BCH	278H
TATUS	379H	3BDH	279H
CONTROL	37AH	3BEH	27AH

ตารางที่ 4-2 แสดงแอดเดรสจิสเตอร์ของพอร์ขนาน



รูปที่ 4-6 การเรียกไฟล์ INPOUT.BAS



รูปที่ 4-7 รายละเอียดของไฟล์ INPOUT.BAS

3. สำหรับไฟล์ INPOUT32.BAS นั้นจะไปกำหนดคำสั่ง INP และOUT ให้กับ Visual Basic โดยจะต้องมีไฟล์ inpout32.dll บรรจุอยู่ในไดเรกเตอร์รี่ SYSTEM อยู่ก่อนแล้ว

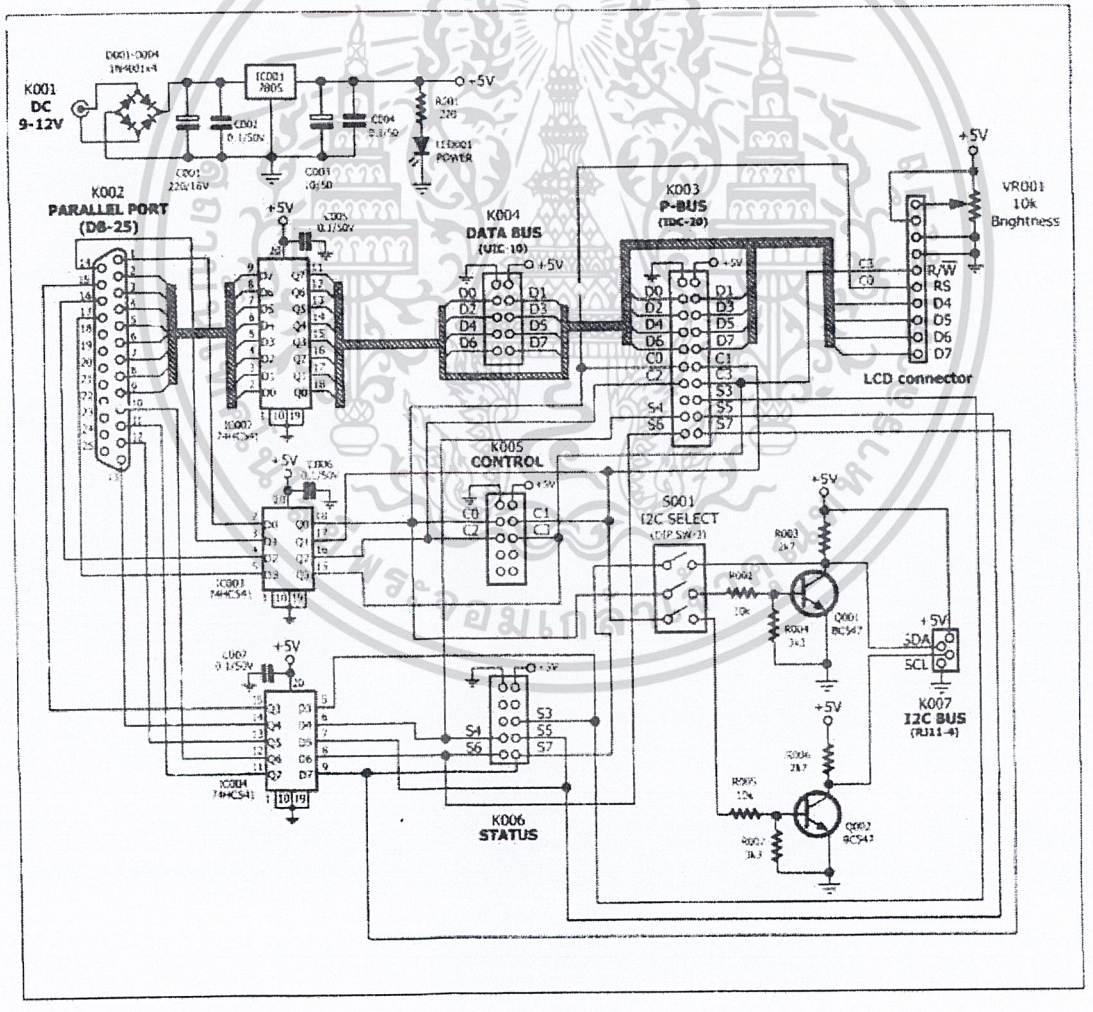
4. เมื่อถึงขั้นตอนนี้ผู้ใช้งานสามารถใช้คำสั่ง INP และ คำสั่ง OUT ในโปรแกรมเพื่อรับและส่งค่ากับพอร์ตขนานได้แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 P-BOARD บอร์ดเชื่อมต่อพอร์ตขนาน

วงจรของ P-BOARD แสดงในรูปที่ 2-3 โดยเริ่มจากคอนเน็กเตอร์ K002 แบบ DB – 25 ตัวเมีย อันเป็นจุดที่ใช้ต่อเชื่อมกับพอร์ตขนานของคอมพิวเตอร์ ซึ่งได้รับการจัดสรรออกเป็น 3 ส่วนคือ

1. พอร์ต DATA มีตำแหน่งอยู่ที่ขา 2 ถึงขา 9 ใช้ทำหน้าที่เป็นเอาต์พุต สัญญาณข้อมูลจะถูกส่งเข้าสู่ไอซีบัฟเฟอร์ เบอร์ 74HC541 เพื่อขยายกระแสให้กับขาเอาต์พุต D0 – D7 ทั้ง ขา นอกจากนั้นยังทำหน้าที่เป็นตัวป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดกับพอร์ตขนานอีกด้วย เอาต์พุตจากไอซี 74HC541 ส่งออกไปยังคอนเน็กเตอร์ DATA BUS ซึ่งมีการจัดขาตามมาตรฐาน UIC – 10 และส่งออกไปรวมกับคอนเน็กเตอร์ P- BUS โดยคอนเน็กเตอร์ DATA BUS และ P – BUS จะใช้ประโยชน์ในการเชื่อมต่อกับบอร์ด EX- SERIES ซึ่งเป็นอุปกรณ์อินพุตเอาต์พุต มีทั้งสิ้น 8 เบอร์สำหรับทำการทดลองการเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอก ซึ่งจะได้กล่าวถึงในรายละเอียดในบทต่อ ๆ ไป



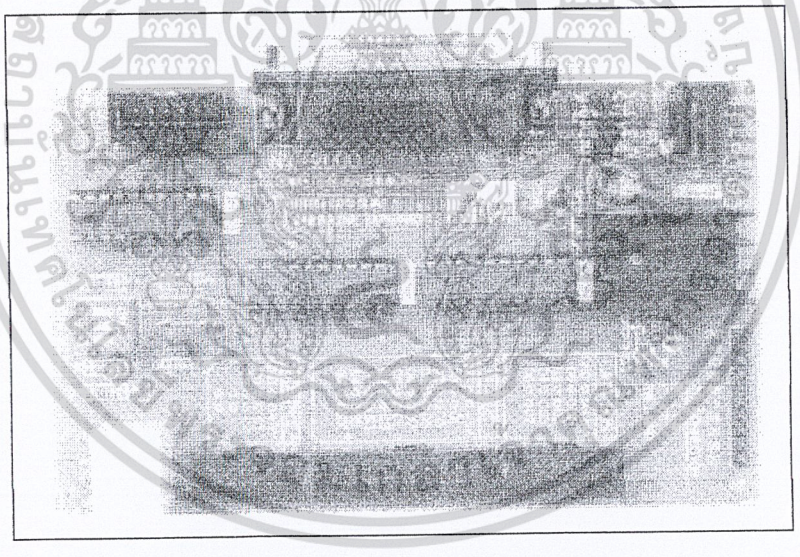
รูปที่ 4-8 วงจรสมบูรณ์ของ P- BOARD บอร์ดเชื่อมต่อพอร์ตขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. พอร์ต Control ใช้ตำแหน่งขา 1 , 14 , 16 และ 17 ทำหน้าที่เป็นขาเอาต์พุตเช่นกันโดยต่อเข้ากับไอซี 74HC541 เพื่อทำหน้าที่ขยายกระแสและป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับพอร์ตขนาน แล้วต่อสายเอาต์พุตไปเข้าคอนเน็กเตอร์ CONTROL จะเห็นได้ว่าใช้เฉพาะขา C0 – C3 เท่านั้น พร้อมกันนั้นยังส่งต่อไปรวมกันที่คอนเน็กเตอร์ P-BUS ด้วย

นอกจากนี้พอร์ต Control ยังถูกใช้งานเพื่อเป็นขาเอาต์พุตสำหรับการติดต่อสื่อสารด้วยระบบบัสแบบ I^2C ด้วย โดยใช้จะใช้ขา C1 ในการสร้างสัญญาณ SCL (สัญญาณนาฬิกา) และขา C0 ในการสร้างสัญญาณ SDA (ส่งข้อมูล) โดยใช้ขา S7 ซึ่งอยู่ในส่วนของพอร์ต Status รับข้อมูลจาก SDA การใช้งานระบบบัส I^2C จะเลือกผ่านดิปสวิตช์ เนื่องจากต้องการให้สามารถใช้งานพอร์ต Control และพอร์ต Status ในงานปกติได้ เมื่อไม่มีการใช้งาน ระบบบัส I^2C

วงจรของส่วนเชื่อมต่อระบบบัส I^2C ของ P –BOARD จะใช้ทรานซิสเตอร์จะไม่ทำงาน และเอาต์พุตของขา SAD และ SCL จะมีลอจิก “1” ให้ทรานซิสเตอร์ทำงาน และให้เอาต์พุตของบัส I^2C ออกมาเป็น “0” เนื่องจากทรานซิสเตอร์จะทำการลัดวงจรขาเอาต์พุตลงกราวด์ สำหรับรายละเอียดการใช้งานระบบบัส I^2C จะกล่าวถึงอีกครั้งในภายหลัง



รูปที่ 4-9 แสดง บอร์ดเชื่อมต่อพอร์ตขนานหรือ P- BOARD

3. พอร์ต Status ใช้ตำแหน่งขา 15 , 13 , 12 , 10 และ 11 ของพอร์ตขนาน โดยขาเหล่านี้ทำหน้าที่เป็นขาอินพุต ดังนั้นไอซีบัฟเฟอร์ที่นำมาต่อด้วยจะเป็นการรับสัญญาณอินพุตจากภายนอกและส่งสัญญาณไปให้กับพอร์ตขนาน ซึ่งตรงกันข้ามกับ 2 พอร์ตแรก โดยใช้ไอซีบัฟเฟอร์ที่ใช้ยังเป็นเบอร์ 74HC541 ส่วนอินพุตของพอร์ต Status จะต่อเชื่อมกับคอนเนกเตอร์ Status ซึ่งมีการจัดขาตามมาตรฐาน UIC – 10 เช่นกันโดยใช้งานเพียง 5 ตำแหน่งเท่านั้นคือ S3 ,S4 ,S5 , S6 และ S7 โดยที่ขา S 7 ทำหน้าที่เป็นขาอินพุตให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับบัส I^2C ด้วย โดยขาของพอร์ต Status ทั้งหมดหลังจากผ่านบัฟเฟอร์แล้วจะไปรวมกันที่คอนเน็กเตอร์ P- BUS

นอกเหนือจากนี้ P – BOARD ได้เตรียมคอนเน็กเตอร์สำหรับเชื่อมต่อกับโมดูล LCD แบบอักขระขนาด 16 ตัวอักษร 1 หรือ 2 บรรทัดเอาไว้ โดยกำหนดโหมดการติดต่อกับโมดูล LCD เป็นแบบ 4 บิต ซึ่งได้สายสัญญาณ D4- D7 จากพอร์ต DATA จะต่อเข้ากับขา D4 – D7 ของโมดูล LCD ส่วนขา C0 ของพอร์ต Control จะต่อเข้ากับขา E ของโมดูล LCD ขา C3 ของพอร์ต Control จะต่อเข้ากับขา RS ของโมดูล LCD และเนื่องจากการติดต่อกับโมดูล LCD จะเป็นการเขียนข้อมูลไปอย่างเดียว ดังนั้นขา R/W ของโมดูล LCD จึงไม่ต้องใช้งานขานี้ ให้ต่อลงกราวด์ P – BOARD ใช้ไฟเลี้ยงจากภายนอกป้อนเข้ามาทางแจ็กอะเดปเตอร์ ผ่านไดโอดซึ่งต่อกันในลักษณะบริดจ์เพื่อจัดขั้วของไฟเลี้ยงบน P-BOARD ใหม่จากนั้นจะส่งผ่านไปยังวงจรเรกกูเลเตอร์เพื่อแปลงแรงดันให้เท่ากับ +5V สำหรับเป็นไฟเลี้ยงอุปกรณ์บนบอร์ด และเป็นไฟเลี้ยงให้กับวงจรต่อพ่วงต่างๆ ที่เชื่อมต่อกันผ่านคอนเน็กเตอร์ P-BUS , DATA BUS และบัส I^2C

สรุป

การติดต่อกับพอร์ตขนานเบื้องต้นนั้นผู้ใช้งานสามารถใช้คำสั่งพื้นฐานใน Visual Basic มาช่วยในการติดต่อได้ และเพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ คำสั่งการทำงานทางลอจิกมีประโยชน์อย่างมากในการกำหนดข้อมูลในระดับบิต เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามต้องการ

4.3 การขับอุปกรณ์เอาต์พุตกระแสสูง

โดยความสามารถพื้นฐานของพอร์ตขนานแล้ว ไม่สามารถนำไปขับอุปกรณ์เอาต์พุตโดยตรงได้ เนื่องจากข้อจำกัดด้านความสามารถในการจ่ายกระแส ดังนั้นถ้าต้องการนำเอาพอร์ตขนานของคอมพิวเตอร์ไปขับอุปกรณ์ภายนอก จะต้องมีวงจรบัฟเฟอร์ที่จ่ายกระแสให้เพียงพอแก่ความต้องการของอุปกรณ์เอาต์พุตนั้น อย่างไรก็ตามในส่วนของวงจรบัฟเฟอร์นั้นก็มีขีดความสามารถในการจ่ายกระแสได้ระดับหนึ่งเท่านั้น กรณีที่ต้องการจ่ายพลังงานสูงจะต้องมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่จ่ายแรงดันและกระแสสูงโดยเฉพาะเรียกอุปกรณ์เหล่านี้ว่า อุปกรณ์ขับ หรือไดรเวอร์ (Driver) ซึ่งในที่นี้นำมาอธิบายทั้งสิ้น 3 รูปแบบ คือ ใช้ทรานซิสเตอร์ขับ , ใช้ไอซีขับ และใช้อุปกรณ์เชื่อมโยงทางแสง หรือออปโต้คัปเปอร์ (Opto – Coupler) สำหรับโหลดที่ต้องการกระแสสูงมากๆ ทำให้ต้องมีการแยกระบบกราวด์ของระบบคอมพิวเตอร์ออกจากวงจรเอาต์พุต เพื่อลดสัญญาณรบกวนและป้องกันการย้อนกลับของแรงดันและกระแสสูง ที่อาจเข้ามาทำความเสียหายแก่พอร์ตขนานของคอมพิวเตอร์

การใช้ทรานซิสเตอร์ขับ

มีด้วยกัน 3 รูปแบบ คือ ใช้ขับแบบเดี่ยว , แบบดาสเลด และแบบดาร์ลิงตัน

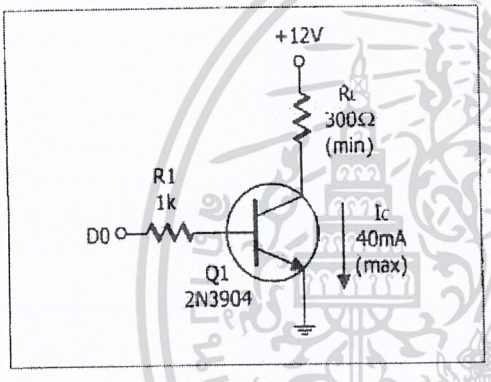
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้ทรานซิสเตอร์ขับแบบเดี่ยว

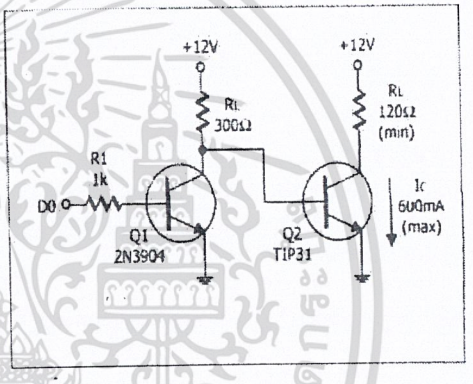
การขับโดยวิธีนี้เหมาะสมสำหรับโหลดที่มีความต้องการกระแสปานกลาง ตั้งแต่ 30 – 200 mA อาทิ รีเลย์กำลังต่ำไปจนถึงปานกลาง ที่มีค่าความต้านทานของขดลวดภายในรีเลย์ไม่ต่ำกว่า 100 Ω, หลอดไฟกำลังต่ำ และมอเตอร์ไฟตรงขนาดเล็ก มีวงจรตัวอย่างตามรูปที่ 4-10

ในรูปที่ 4-10 เป็นการการต่อทรานซิสเตอร์เข้ากับขาพอร์ต DATA บิต D0 โดยมีตัวต้านทาน R1 ทำหน้าที่ที่จำกัดกระแสที่ไหลเข้าขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q1 ซึ่งจะทำงานก็ต่อเมื่อบิต D0 มีสถานะลอจิกเป็น " 1" เมื่อ Q1 ทำงาน ก็จะเกิดกระแสไหลผ่าน R_L ซึ่งเป็นโหลดต่ออยู่ทางเอาต์พุตที่ขาคอลเล็กเตอร์ของ Q1 กระแสโหลดสูงสุด (I_{lmax}) มีค่าเท่ากับ 12 V/300 Ω = 400 mA

ถึงแม้ว่า Q1 เบอร์ 2N3904 มีค่ากระแสคอลเล็กเตอร์สูงสุดถึง 100 mA แต่ในทางปฏิบัติจริงไม่ควรที่จะออกแบบให้ทรานซิสเตอร์ทำงานถึงพิกัดสูงสุด ที่ย่านปลอดภัยของทรานซิสเตอร์ควรอยู่ไม่เกิน



รูปที่4-10 การขับโหลดโดยใช้ทรานซิสเตอร์ตัวเดียวต่อกันแบบดาสเตอร์



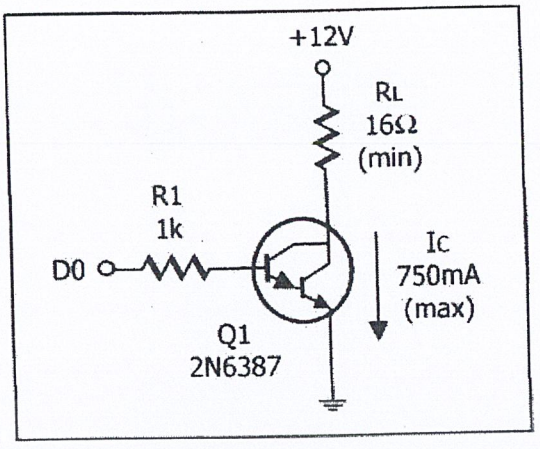
รูปที่ 4-11 การขับโหลดโดยใช้ทรานซิสเตอร์

ครึ่งหนึ่งของอัตราการทนได้สูงสุด ด้วยการจัดวงจรตามรูปที่ 4-10 สามารถใช้สัญญาณจากวงจรบัฟเฟอร์ภายในพอร์ตขนานกระตุ้นให้ทรานซิสเตอร์ทำงานเพื่อขับรีเลย์ขนาดเล็กได้อย่างโปรดภัย

4.3.1 การใช้ทรานซิสเตอร์ขับแบบดาสเลด

เนื่องจากข้อจำกัดของทรานซิสเตอร์ขนาดเล็ก ทำให้ไม่สามารถขับโหลดที่ต้องการกระแสสูงได้ จึงต้องใช้ทรานซิสเตอร์ที่มีอัตราการทนทานกระแสคอลเล็กเตอร์ที่สูงขึ้นมาใช้ขับแต่ทรานซิสเตอร์ที่สามารถขับโหลดกำลังปานกลางไปจนถึงกำลังสูง จะมีความเร็วในการทำงานช้ากว่าทรานซิสเตอร์กำลังต่ำ ในระบบคอมพิวเตอร์ที่มีความเร็วในการทำงานสูงเมื่อต้องการนำมาขับโหลดกำลังปานกลาง จึงต้องมีการใช้การขับแบบดาสเลดโดยให้คอมพิวเตอร์กระตุ้นทรานซิสเตอร์กำลังต่ำทำงานเพื่อไปขับทรานซิสเตอร์กำลังปานกลางต่อไป ดังแสดงวงจรในรูปที่ 4-11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

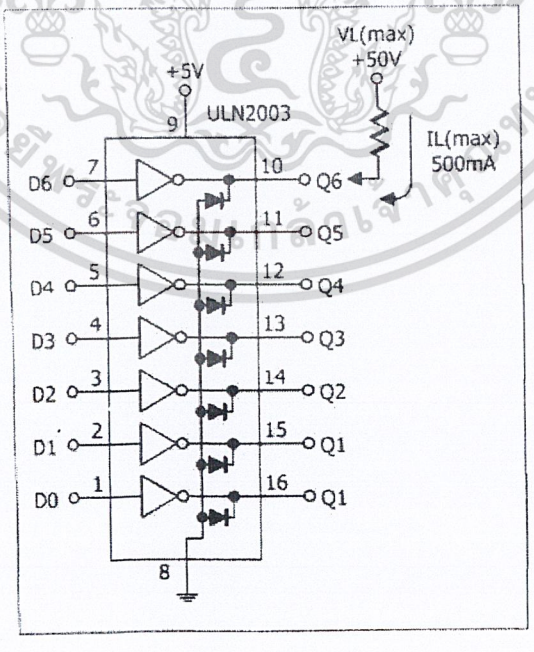


รูปที่ 4-12 การขับโหลดโดยใช้ทรานซิสเตอร์แบบดาร์ลิงตัน

จากวงจรเมื่อทรานซิสเตอร์ Q_1 ทำงานด้วยการป้อนลอจิก " 1 " ออกทางบิต D0 ของพอร์ต DATA จะเกิดกระแสไหลผ่าน R_2 ไปเข้ายังเบสของทรานซิสเตอร์ Q_2 เพื่อกระตุ้นให้ Q_2 ทำงาน เกิดกระแสไหลผ่านโหลด R_L มีค่าเท่ากับ 600 mA ทำให้สามารถนำไปขับมอเตอร์ไฟตรงหรือสเตปเปอร์มอเตอร์ขนาดเล็กได้

4.3.2 การใช้ทรานซิสเตอร์แบบดาร์ลิงตันขับโหลดกระแสสูง

จากการใช้ทรานซิสเตอร์ต่อกันแบบคาสเคดเพื่อเพิ่มความสามารถในการขับกระแสให้สูงขึ้น



รูปที่ 4-13 การจัดขาของไอซีเบอร์ ULN2003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

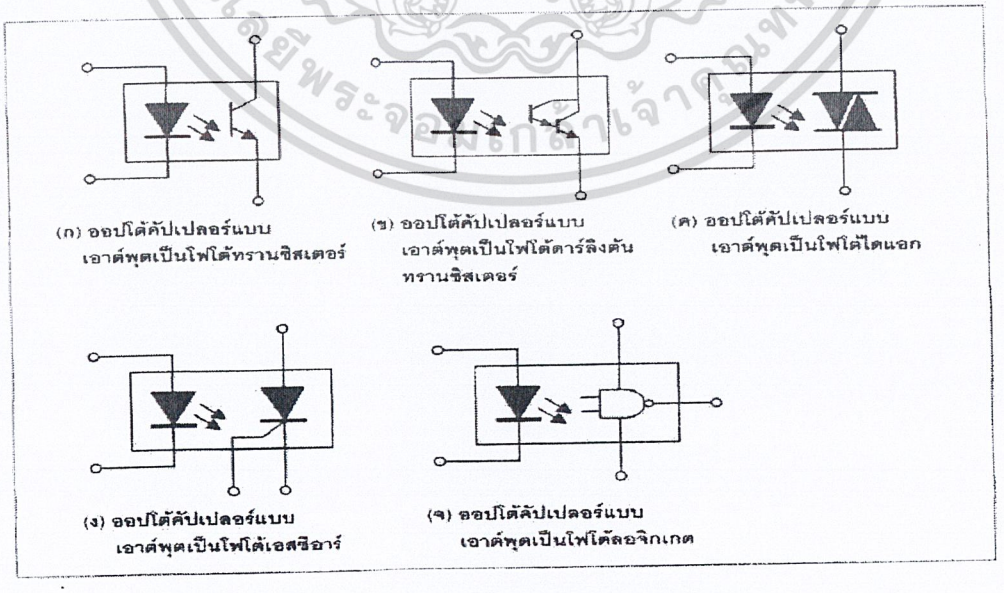
นำมาสู่การใช้ทรานซิสเตอร์อีกแบบหนึ่งที่บรรจุทรานซิสเตอร์ 2 ตัวต่อกันแบบดาร์ลิงตัน ภายใต้ตัวถังเดียวกัน ทำให้สามารถขับกระแสเอาต์พุตได้สูงและมีความเร็วในการทำงานสูงด้วยโดยใช้อุปกรณ์เพียงตัวเดียว ส่งผลให้ขนาดของวงจรเล็กลง ดังแสดงวงจรตามรูปที่ 4-12

จากวงจรทรานซิสเตอร์ Q_1 ซึ่งเป็นทรานซิสเตอร์แบบดาร์ลิงตันสามารถขับกระแสเอาต์พุตได้สูงถึง 750 mA ด้วยการต่อเข้ากับขาพอร์ตขนานของคอมพิวเตอร์โดยผ่านตัวต้านทานจำกัดกระแสเพียงตัวเดียวและไม่ต้องต่อทรานซิสเตอร์แบบคาสเคด ทำให้มีความเร็วในการทำงานสูง ตลอดจนยังสามารถขับกระแสเอาต์พุตได้สูงพอสมควร ไอซีที่ใช้ในการขับโหลดกระแสสูงมักมีวงจรทางเอาต์พุตเป็นแบบคอลเล็กเตอร์เปิด ทำให้สามารถใช้กับแรงดันไม่ต่ำกว่า 30 V ขึ้นอยู่กับไอซีในแต่ละเบอร์ สำหรับไอซีขับหรือไอซีไดรเวอร์ที่ยกมาอธิบายคือเบอร์ ULN2003 เป็นไอซีอินเวอร์เตอร์ไดรเวอร์ ภายในบรรจุอินเวอร์เตอร์เกต 7 ตัว สำหรับรายละเอียดของ ULN2003 มีดังนี้

ULN2003 มีรูปแบบการจัดขาและวงจรภายในแสดงในรูปที่ 3-4 ภายใน ULN2003 บรรจุอินเวอร์เตอร์เกตแบบคอลเล็กเตอร์เปิด 7 ตัว สามารถใช้กับแรงดันได้สูงสุด +50V กระแสเอาต์พุตสูงสุดในแต่ละขาเท่ากับ 500 mA ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถในการจ่ายกระแสของแหล่งจ่ายไฟด้วย นอกจากนั้นยังต่อไดโอดป้องกันแรงดันย้อนกลับ จากอุปกรณ์เอาต์พุตที่มีโครงสร้างเป็นขดลวดไว้ที่ทุกขาเอาท์พุต ทำให้สามารถขับโหลดที่เป็นขดลวด อาทิ รีเลย์ หรือมอเตอร์ไฟตรงขนาดเล็กถึงขนาดกลางได้ทันที

4.3.3 การขับโหลดโดยใช้ออปโต้คัปเปลอร์

ในงานที่ต้องการใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมโหลดที่ต้องการแรงดันและกระแสไฟฟ้าสูงมาก ๆ หรือเป็นโหลดทางไฟสลับ หากใช้พอร์ตขนานเข้าไปควบคุมโดยตรงอาจส่งผลเสียต่อระบบคอมพิวเตอร์ได้ เนื่องจากที่โหลดกำลังไฟฟ้าสูงนั้นเมื่อเริ่มต้นสิ้นสุดการทำงานจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันและกระแส



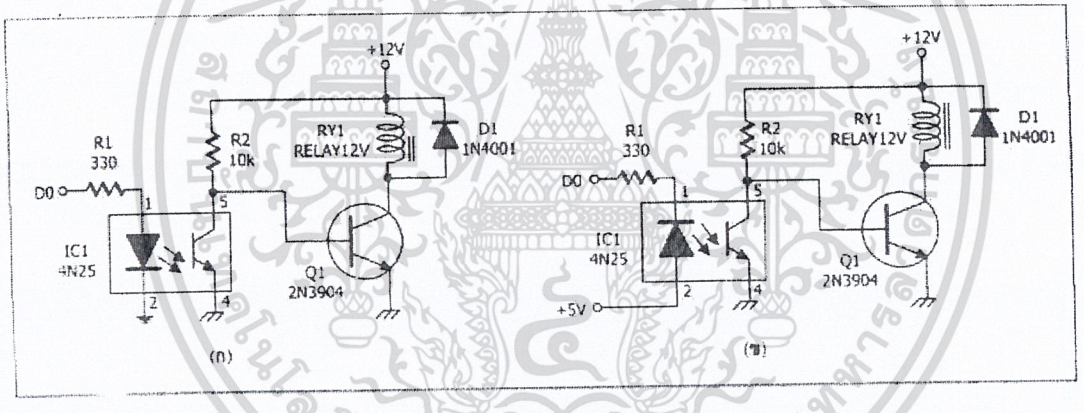
รูปที่ 4-14 สัญลักษณ์ของออปโต้คัปเปลอร์ในแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟฟ้าอย่างมากและรวดเร็ว ซึ่งอาจทำอันตรายรต่อระบบคอมพิวเตอร์ได้หรือในการนำคอมพิวเตอร์ไปควบคุมโหลดที่ไวต่อสัญญาณรบกวน อาจไม่สามารถใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมการทำงานของโหลดประเภทนี้ได้ ทำให้การขับโหลดเหล่านี้จึงต้องอาศัยอุปกรณ์ขับอีกแบบหนึ่งที่สามารถแยกระบบกราวด์ทางไฟฟ้าของคอมพิวเตอร์ออกจากโหลดได้ ทำให้ระบบคอมพิวเตอร์ปลอดภัยจากกระแสไฟฟ้ากระชากหรือทรานเซียนต์ (Transient) และโหลดที่ไวต่อสัญญาณรบกวนก็สามารถร่วมกับคอมพิวเตอร์ได้ อุปกรณ์ขับตัวนี้คือ อุปกรณ์เชื่อมโยงทางแสง หรือ ออปโต้คัปเปลอร์ (Optp – Couple)

ออปโต้คัปเปลอร์เป็นอุปกรณ์ที่มีการแบ่งส่วนอินพุตและเอาต์ออกจากกันทางไฟฟ้าอย่างสิ้นเชิง การถ่ายทอดสัญญาณระหว่างส่วนอินพุตและเอาต์พุต จะใช้การเชื่อมโยงทางแสงเท่านั้น ทำให้กราวด์ของอินพุตและเอาต์พุตไม่เชื่อมต่อกัน ดังนั้นจึงสามารถกำหนดให้ทางอินพุตเป็นวงจรไฟฟ้ากระแสตรง และวงจรทางเอาต์พุตเป็นวงจรไฟฟ้ากระแสสลับได้

ภาคอินพุตของออปโต้คัปเปลอร์โดยส่วนใหญ่จะเป็น LED อินฟราเรด ส่วนภาคเอาต์พุตจะเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่ทำงานเมื่อมีแสงมาตกกระทบ เช่น โฟโต้ทรานซิสเตอร์ , โฟโต้ดาร์ลิงตัน , โฟโต้ลอจิก และโฟโต้ไดแอกหรือโฟโต้ไทริสเตอร์ ดังแสดงสัญลักษณ์ของออปโต้คัปเปลอร์แบบต่าง ๆ ในรูปที่ 4-14



รูปที่4-15 (ก) การใช้ออปโต้คัปเปลอร์ขับโหลดด้วยลอจิค "1"
(ข) การใช้ออปโต้คัปเปลอร์ขับโหลดด้วยลอจิก "0"

การทำงานจะเริ่มต้นด้วยการจ่ายแรงดันไบแอสตรงให้แก่ LED อินฟราเรดภายในออปโต้คัปเปลอร์ เมื่อ LED นำกระแส ก็จะกำเนิดแสงอินฟราเรดส่องไปตกกระทบที่ขาเบสของโฟโต้ทรานซิสเตอร์ (ในกรณีที่ภาคเอาต์พุตเป็นโฟโต้ทรานซิสเตอร์หรือโฟโต้ดาร์ลิงตัน) ทำให้โฟโต้ทรานซิสเตอร์นำกระแสเกิดกระแสไหลผ่านจากขาคอลเล็กเตอร์มายังอิมิเตอร์ โดยแหล่งจ่ายแรงดันทางเอาต์พุตสามารถที่จะใช้แยกกับทางอินพุตได้อย่างอิสระไม่ต้องต่อกราวด์ถึงกัน จึงสามารถต่อกับแหล่งกำเนิดแรงดันสูงหรือแหล่งกำเนิดไฟสลับได้ โดยไม่มีการรบกวนย้อนกลับมาทางอินพุตอย่างเด็ดขาด และยังสามารถป้องกันการรบกวนจากอินพุตโดยผ่านทางสายกราวด์ได้ด้วย

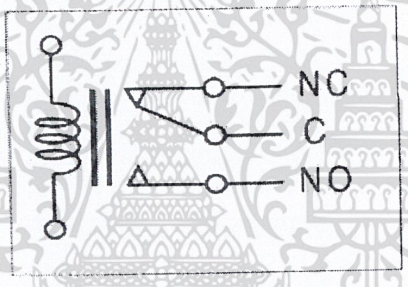
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 4-15 เป็นวงจรตัวอย่างของการนำพอร์ตขนานขับออปโต้คัปเปลอร์เพื่อทำการขับโหลดรีเลย์กำลังไฟฟ้าสูง จะเห็นได้ว่าการใช้คอมพิวเตอร์กระตุ้นให้ออปโต้คัปเปลอร์ทำงานสามารถทำได้ 2 รูปแบบ คือ ใช้ลอจิก "1" ดังแสดงในรูปที่ 4-15 (ก) และใช้ลอจิก "0" ดังแสดงในรูปที่ 4-15 (ข)

ข้อควรจำในการใช้พอร์ตขนานร่วมกับออปโต้คัปเปลอร์ จะต้องต่อตัวต้านทานเพื่อจำกัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน LED ทางส่วนอินพุตของออปโต้คัปเปลอร์ด้วยเสมอ กระแสทางอินพุตสูงสุดไม่ควรมากกว่า 15 mA

4.3.4 ตัวอย่างการใช้งานอุปกรณ์ไดรเวอร์ ควบคุมรีเลย์โดยใช้ทรานซิสเตอร์

รีเลย์เป็นอุปกรณ์แม่เหล็กไฟฟ้าแบบหนึ่งที่ใช้ในการตัดต่อวงจรมีสัญลักษณ์แสดงตามรูปที่ 4-16 เมื่อขดลวดรีเลย์มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน จะเกิดสนามแม่เหล็กขึ้น ทำให้หน้าสัมผัสโลหะที่ปกติเปิดวงจรแยกจากกันอยู่ ถูกดูดติดกันเกิดการต่อวงจรขึ้น ส่วนหน้าสัมผัสที่ปกติต่อวงจรอยู่ก็จะแยกออกจากกันเกิดการเปิดวงจรขึ้นแทน



รูปที่ 4-16 สัญลักษณ์ของรีเลย์

รีเลย์โดยทั่วไปจะมีหน้าสัมผัสทางเอาต์พุต 2 แบบที่มีความเกี่ยวข้องกันคือ หน้าสัมผัสปกติต่อวงจรหรือ NC (Normaly Closed) และหน้าสัมผัสปกติเปิดวงจรหรือ NO (Normally Opened) ในกรณีของหน้าสัมผัสปกติต่อวงจรเมื่อรีเลย์ทำงาน หน้าสัมผัสชุดนี้จะแยกจากกัน กลายเป็นเปิดวงจร หน้าสัมผัสชุดนี้จึงใช้ก็ต่อเมื่อมีจุดประสงค์ให้รีเลย์ทำการตัดวงจรเมื่อทำงาน ส่วนหน้าสัมผัสปกติเปิดวงจรเมื่อรีเลย์ทำงาน หน้าสัมผัสชุดนี้จะต่อกัน กลายเป็นปิดวงจร ดังนั้นจึงใช้หน้าสัมผัสชุดนี้ก็ต่อเมื่อต้องการรีเลย์ต่อวงจรเมื่อทำงาน ดังนั้นหน้าสัมผัสรีเลย์ 1 ชุดจึงเสมือนกับสวิตช์ 2 ทางหรือ DPST (Double Pole Single Throw)

รีเลย์ที่มีจำหน่ายอยู่ทั่วไปมีขดลวด 1 ขด ในขณะที่หน้าสัมผัสมีตั้งแต่ 1 ชุด (หน้าสัมผัส 1ชุด ประกอบด้วย NO และ NC) จำนวน 5 ขา ไปจนถึง 4 ชุด ส่วนอัตราการทนกำลังไฟฟ้าของหน้าสัมผัสมีให้เลือกมากมาย ถ้าเป็นขนาดของแรงดันจะมีตั้งแต่ 30 V ขึ้นไปจนถึง 1,000V ส่วนขนาดของกระแสมีตั้งแต่ไม่กี่แอมป์ไปจนถึงหลาย ๆ สิบแอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรขับรีเลย์โดยใช้ทรานซิสเตอร์สามารถนำวงจรขับในรูปที่ 4-11 มาใช้ได้ โดยต่อขาพอร์ต Data บิต D0 เข้ากับขาเบสของทรานซิสเตอร์ ขดลวดรีเลย์จะต่อเข้าที่คอลเล็กเตอร์ โดยมีไดโอดต่อคร่อมขดลวดรีเลย์เพื่อป้องกันกระแสไหลย้อนกลับจากขดลวดรีเลย์มาเข้าทรานซิสเตอร์ เมื่อรีเลย์หยุดทำงาน

เมื่อต้องการสั่งให้รีเลย์ทำงาน ต้องเขียนโปรแกรมเพื่อส่งลอจิก "1" ออกไปทางขา D0 ทรานซิสเตอร์จะนำกระแส ทำให้เกิดกระแสไหลผ่านขดลวดรีเลย์ รีเลย์จึงทำงาน เมื่อต้องการควบคุมให้รีเลย์หยุดทำงาน ทำให้เกิดการเขียนข้อมูล "0" ออกไปทางขา D0 อีกครั้ง ทรานซิสเตอร์ ก็จะหยุดนำกระแส ทำให้รีเลย์ หยุดทำงาน

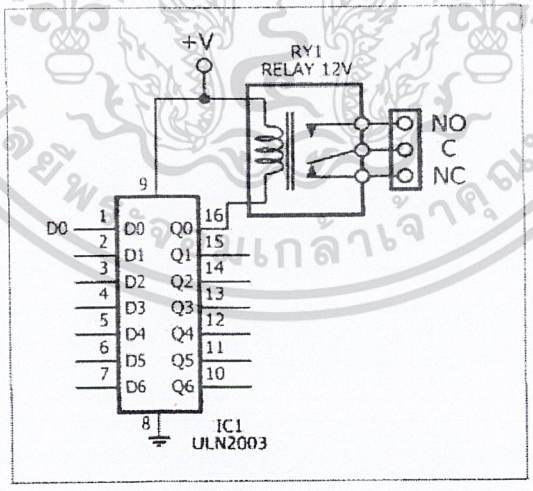
4.4 การเขียนโปรแกรมเพื่อขับรีเลย์อย่างง่ายด้วย Visual Basic

สามารถเขียนโปรแกรมด้วย Visual Basic ให้กับปุ่ม Command1 เพื่อใช้ในการกระตุ้นให้รีเลย์ทำงานได้ดังนี้

```
Private sub command1_click()
Out  &h378,1
End sub
```

สำหรับโปรแกรมตัวอย่างเพื่อหยุดการทำงานของรีเลย์โดยใช้ปุ่ม command2 มีดังนี้

```
Private sub command2_click()
Out &h378 ,0
End sub
```



รูปที่ 4-17 วงจรขับรีเลย์โดยใช้ ULN2003

จากโปรแกรมตัวอย่างจะเห็นว่าต้องใช้ Command ถึง 2 ตัวในการควบคุมการทำงานรีเลย์เพียงตัวเดียว และการเขียนโปรแกรมในลักษณะนี้ทำให้บิตที่ไม่เกี่ยวข้องบิตอื่นๆ มีการเปลี่ยนแปลงไปด้วย ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บางครั้งในการควบคุมไม่ต้องการให้บิตที่ไม่เกี่ยวข้องเหล่านั้นเกิดการเปลี่ยนแปลง ผู้ใช้งานสามารถแก้ไขโปรแกรมให้มีความกระชับขึ้นโดยใช้การอ่านค่ากลับและใช้คำสั่ง Xor เข้ามาช่วยได้ดังนี้

```
Private sub commad1_click( )
Out &h378,Inp(&H378) Xor &H1
End Sub
```

จากโปรแกรมตัวอย่างข้างต้นนี้ จะใช้ Command1 เพียงตัวเดียวในการควบคุมการทำงานของรีเลย์ โดยจะอ่านค่าข้อมูลเดิมที่เอาต์พุตของพอร์ต DATA ออกมาก่อน จากนั้นใช้คำสั่ง XOr ในการสลับบิต โดยจะทำการสลับเฉพาะบิต D0 เพียงบิตเดียวเท่านั้น

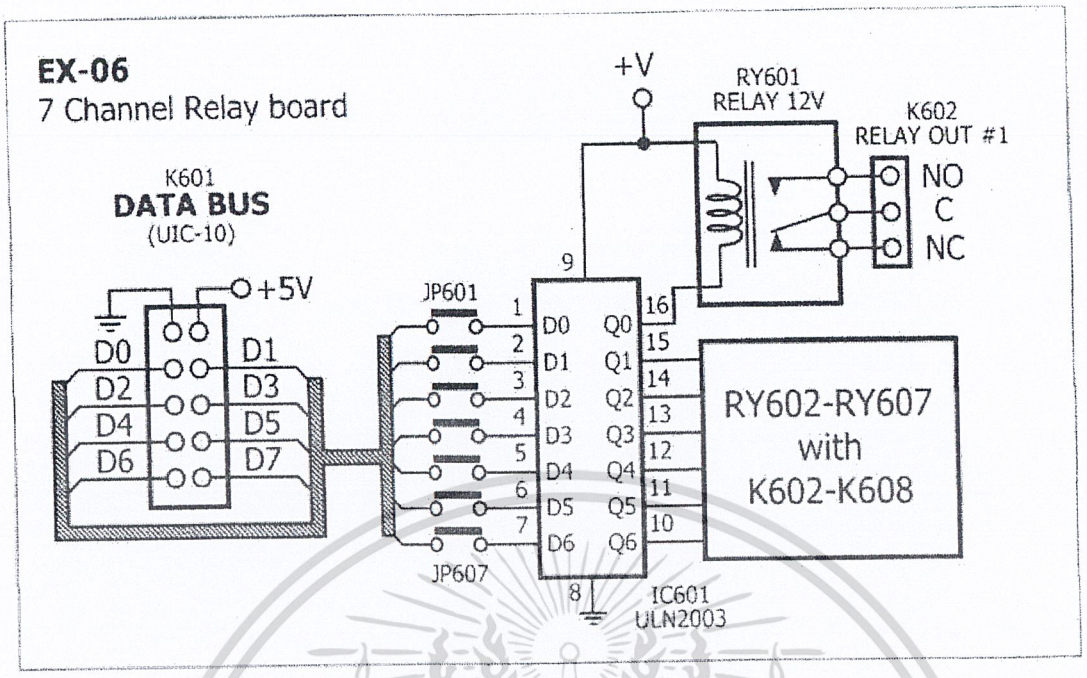
ควบคุมรีเลย์โดยใช้ ULN2003

สามารถทำได้อย่างง่ายๆ ดังแสดงในรูปที่ 4-17 ต่อขาพอร์ต DATA บิตใดบิตหนึ่งมาเข้าที่ขาอินพุตของ ULN2003 ส่วนอีกขาที่เหลือให้ต่อกับไฟเลี้ยงขดลวดรีเลย์ เหตุผลที่ต้องต่อแบบนี้เนื่องจากหากต้องการขับรีเลย์ให้ทำงานโดยไม่สร้างภาระให้แก่วงจรจ่ายไฟเลี้ยงของพอร์ตขนานควรต่อแหล่งจ่ายไฟสำหรับรีเลย์แยกต่างหาก เมื่อเป็นเช่นนี้จึงต้องกำหนดให้ ULN2003 ทำการจ่ายกระแสในลักษณะกระแสซิงก์ (Sink Current) กับอุปกรณ์ภายใน ULN2003 เป็นอินเวอร์เตอร์หรือนอตเกต เมื่อต้องการสั่งให้เกิดการครบวงจร มีกระแสไฟฟ้าไหลจากแหล่งจ่ายไฟของรีเลย์ผ่านขดลวดรีเลย์มาครบวงจรที่ขาเอาต์พุตของ ULN2003 ซึ่งในขณะนี้เป็นลอจิก “0” สามารถเทียบเป็นกราวด์ได้ เมื่อเกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดรีเลย์ได้ รีเลย์ก็จะทำงาน

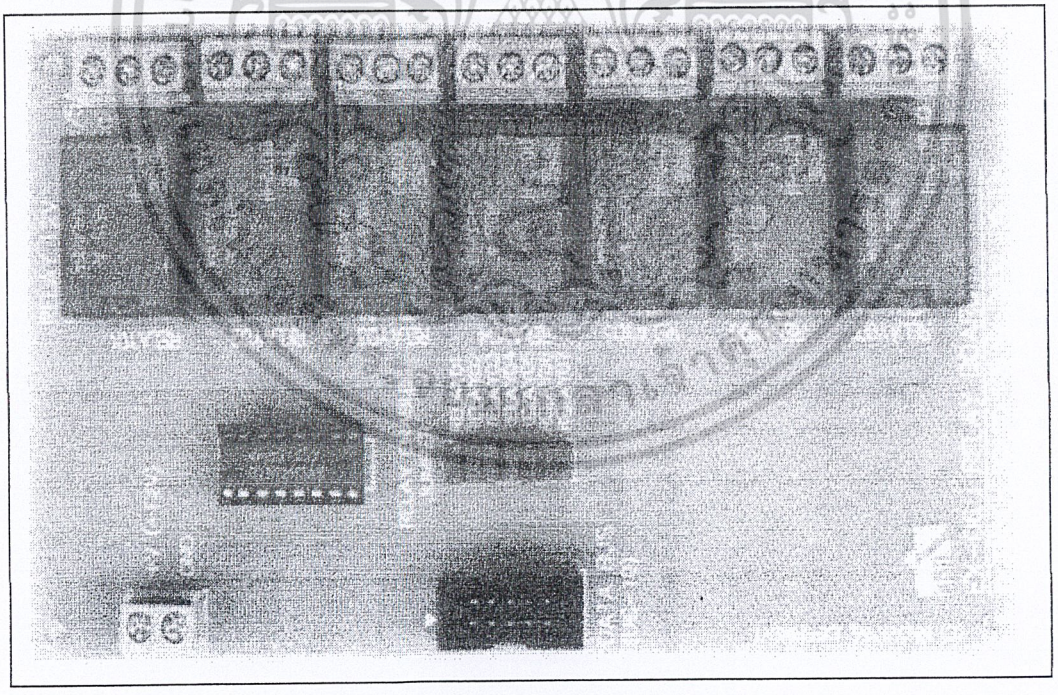
EX-06 บอร์ดขับรีเลย์ 7 ช่อง

บอร์ด EX-06 ทำหน้าที่เป็นวงจรขับ โดยถ้าผู้ใช้งานต้องการใช้งานรีเลย์ตัวใดก็ให้ใช้จัมเปอร์ต่อในตำแหน่งนั้น การควบคุมรีเลย์ให้ทำงานสามารถใช้พอร์ต DATA หรือพอร์ต Control ก็ได้ ถ้าใช้งานพอร์ต DATA ขาที่ใช้ในการควบคุมจะใช้ขา D0-D6 เนื่องจากว่ามีรีเลย์ทั้งหมด 7 ตัว สำหรับพอร์ต Control ที่มีขาเอาต์ พุต 4 ขา ตัวเท่านั้นคือ รีเลย์ที่ 1-4 โดยต้องพิจารณาถึงการกลับสถานะลอจิกของบิตต่างๆ ภายในพอร์ต Control ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-18 วงจรสมบูรณ์ของ EX –06



รูปที่ 4-19 EX –06 บอร์ดรีเลย์ 7 ช่อง

หัวใจของบอร์ดนี้ คือ ULN2003 ซึ่งเป็นไอซีอินเวอร์เตอร์ไดร์เวอร์ 7 ตัว ขาอินพุตทั้งหมดต่อจั๊ม กับจั๊มเปอร์ JP601-JP607 เพื่อใช้ในการเลือกว่าต้องการควบคุมรีเลย์ตัวใด โดย JP601 ใช้เลือกคิดต่อกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รีเลย์ RY601 หรือรีเลย์ตัวที่ 1 เรียงลำดับไปจนถึง JP607 ใช้เลือกการติดต่อกับ RY607 หรือรีเลย์ตัวที่ 7 อีกด้านหนึ่งของจัมเปอร์จะต่อกับคอนเนกเตอร์ DATA BUS เพื่อเชื่อมต่อกับ P – BOARD เพื่อทำการควบคุมต่อไป

สรุป

ตัวอย่างการนำพอร์ตขนานมาควบคุมการทำงานรีเลย์นี้ ช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถนำไปประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับต่าง ๆ ได้โดยง่าย ยกตัวอย่าง สามารถนำหลักการนี้สร้างระบบบ้านอัตโนมัติมีการเปิดระบบไฟฟ้าภายในบ้านเองตามเวลาที่กำหนด เป็นต้น โดยอาจมีการเพิ่มเติมอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์อีกเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

4.5 การติดต่อพอร์ตขนานกับระบบบัสแบบ I^2C

I^2C ย่อมาจาก Inter – IC Communication หมายถึง การติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี โดยบัส I^2C ได้รับการพัฒนาขึ้นโดยฟิลิปส์ (Philips) ด้วยจุดมุ่งหมายหลักคือ ต้องการให้ไอซีหรือโมดูลสามารถติดต่อสั่งงานและควบคุมภายใต้สายสัญญาณเพียงสองเส้น เส้นที่หนึ่งคือสายข้อมูล อีกเส้นหนึ่งคือสายสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ในการกำหนดจังหวะการทำงาน การต่อร่วมกันของอุปกรณ์บนบัส I^2C ทำได้ง่ายมาก เพียงต่อสายข้อมูลและสายสัญญาณนาฬิกาของอุปกรณ์แต่ละตัวขนานหรือพ่วงกันไป ส่วนการกำหนดแอดเดรสหรือตำแหน่งสำหรับต่ออุปกรณ์แต่ละตัว จะใช้รหัสข้อมูลและการกำหนดสภาวะลอจิกที่ขาแอดเดรสของอุปกรณ์แต่ละตัว

สายข้อมูลบนบัส I^2C มีชื่อเรียกเป็นทางการว่า สายข้อมูลอนุกรมหรือ SDA (Serial Data Line) ส่วนสายสัญญาณนาฬิกาอนุกรมหรือ SCL (Serial Clock Line) ในการอธิบายต่อไปนี้เรียกสัญญาณทั้งสองว่า สาย SDA และ SCL

4.5.1 คุณสมบัติโดยทั่วไปของบัส I^2C

สาย SDA และ SCL เป็นสายสัญญาณ 2 ทิศทาง(bi – direction line) ต้องมีการต่อตัวต้านทานพูลอัปกับแรงดัน +5V ไว้ตลอดเวลา เพื่อให้สายมีสถานะลอจิกสูงในขณะที่ไม่มีการติดต่อใช้งาน ทั้งยังช่วยในการป้องกันสัญญาณรบกวนที่อาจมีเข้ามาในสายสัญญาณทั้งสอง วงจรเอาต์พุตของอุปกรณ์ที่ต่ออยู่บนบัส I^2C ต้องมีลักษณะเป็นวงจรเดรนเปิด (open – drain) หรือคอลเล็กเตอร์เปิด (open – collector) ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 4-20

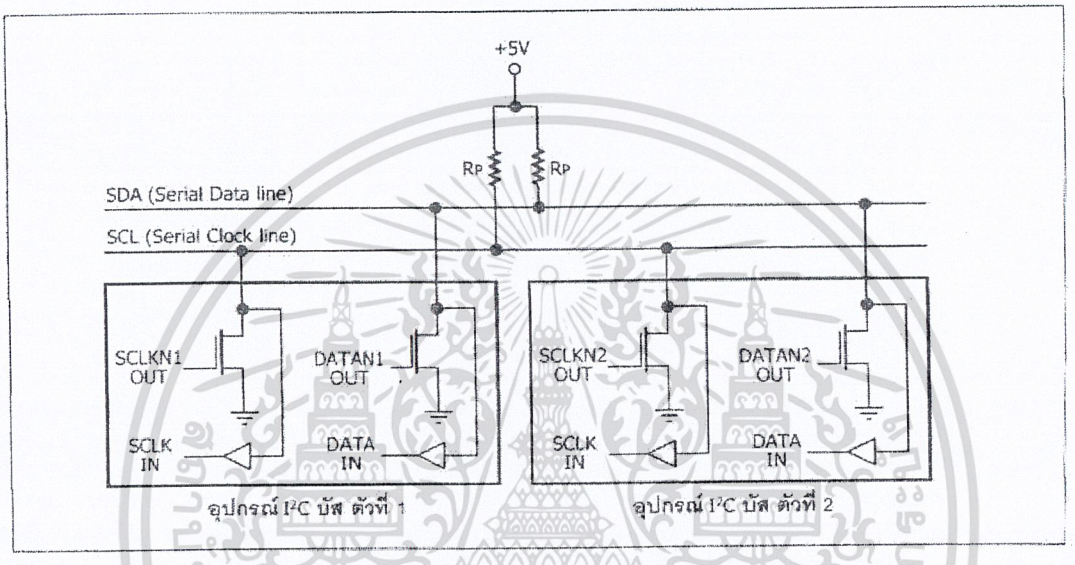
อัตราการถ่ายทอดข้อมูลบนบัส I^2C สูงถึง 100 กิโลบิตต่อวินาทีในโหมดปกติ (standard mode) และสูงถึง 400 กิโลบิตต่อวินาทีในโหมดความเร็วสูง (fast mode) อุปกรณ์ที่ต่อร่วมอยู่บนบัส I^2C จะต้องมีค่าความจุไฟฟ้ารวมที่เกิดขึ้นระหว่างสาย SDA และ SCL ไม่เกิน 400pF การเข้าถึงอุปกรณ์บนบัส I^2C ข้อมูลสำหรับการเข้าถึง 2 แบบคือ 7บิต (7-bit addressing) หรือ 10 บิต (10 – bit addressing)

ข้อเด่นอีกประการหนึ่งของบัส I^2C คือ สามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่ใช้ไฟเลี้ยงไม่เท่ากันให้สามารถติดต่อสื่อสารกันได้ โดยอุปกรณ์บัส I^2C ตัวหนึ่งอาจใช้ไฟเลี้ยง +5V ในขณะที่อีกตัวหนึ่งใช้ไฟเลี้ยง +12V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การติดต่อร่วมกันบนบัส I^2C สามารถกระทำได้ในลักษณะเดียวกับกรณีที่อุปกรณ์ทั้งสองใช้ไฟเลี้ยงเท่ากัน กล่าวคือ ให้ต่อสาย SDA และSCL ของอุปกรณ์แต่ละตัวเข้าด้วยกันและต้องต่อตัวต้านทานพูลอัป (Rp) เข้ากับแรงดัน +5V ไว้ด้วยเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 4-21

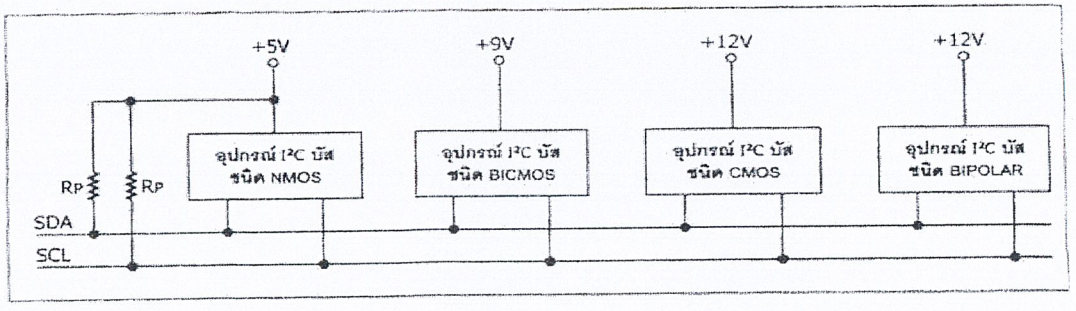
ในกรณีที่อาจมีแรงดันไฟกระชากขนาดใหญ่ปะปนเข้ามาในบัส I^2C ที่ขา SDA และ SCL ของอุปกรณ์แต่ละตัวต้องต่อตัวต้านทานอนุกรมกับขา SDA และ SCL เรียกว่า RS ก่อนต่อเข้าสู่บัส I^2C ดังแสดงในรูปที่ 4-22



รูปที่ 4-20 วงจรเอาท์พุตของอุปกรณ์บนระบบบัส I^2C

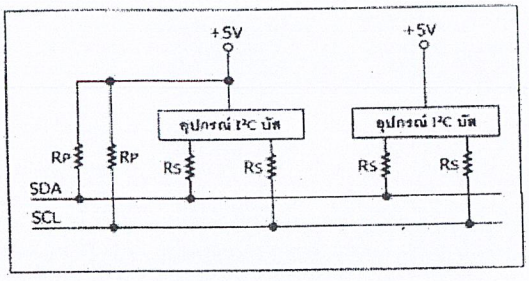
4.5.2 หลักการของบัส I^2C

บัส I^2C ประกอบด้วยสายสัญญาณ 2 เส้น ดังที่ได้กล่าวมาแล้วคือ SDA และ SCL อุปกรณ์ที่ต่อพ่วงบนบัสสามารถมีได้มากมาย ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดรูปแบบของการติดต่อบนบัส หรือ เรียกว่า โปรโตคอล (protocol) เพื่อให้ผู้ใช้งานทราบว่า ขณะนี้อุปกรณ์ใดติดต่อกันอยู่ และอุปกรณ์ตัวใดเป็นตัวรับหรือตัวส่ง ต่อไปนี้จะขออธิบายลักษณะ หน้าที่ และนิยามของอุปกรณ์ที่ต่ออยู่บนบัส I^2C เพื่อเป็นข้อตกลงพื้นฐานก่อนที่จะอธิบายการทำงานของบัส I^2C ต่อไป



รูปที่ 4-21การต่อพ่วงอุปกรณ์ระบบบัส I^2C ที่ใช้ไฟเลี้ยงไม่เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-22 การต่อตัวต้านทานอนุกรมกับขาสัญญาณของอุปกรณ์บนระบบบัส I^2C เพื่อลดสัญญาณรบกวน

อุปกรณ์ที่เป็นผู้สร้างข้อมูลหรือส่งข้อมูลเรียกว่า ตัวส่ง (transmitter) อุปกรณ์ที่เป็นผู้รับข้อมูลเรียกว่า ตัวรับ(reciever) ในอุปกรณ์บนบัส I^2C สามารถเป็นได้ทั้งตัวรับและตัวส่ง บางอุปกรณ์ทำหน้าที่เป็นตัวรับเพียงอย่างเดียว จะไม่มีอุปกรณ์ใดบนบัส I^2C ที่ทำหน้าที่เป็นตัวส่งเพียงอย่างเดียว อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ควบคุมจังหวะการติดต่อบนบัส I^2C เรียกว่า มาสเตอร์ (master) อุปกรณ์ที่ถูกควบคุมหรืออุปกรณ์ที่ต่อพ่วงเข้าไปบนบัส I^2C สเลฟ (slave)

ข้อกำหนด 2 ประการสำคัญของการติดต่อบนบัส I^2C คือ

(1) การถ่ายทอดข้อมูลจะเกิดขึ้นได้เมื่อบัสว่างเท่านั้น

(2) ในระหว่างการถ่ายทอดข้อมูล เมื่อใดก็ตามที่สาย SCL มีสถานะเป็นลอจิกสูง สายข้อมูลต้องรักษาข้อมูลไว้อย่าให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นเด็ดขาด มิฉะนั้น สัญญาณที่เกิดขึ้นจำได้รับการแปลความหมายเป็นสัญญาณควบคุมแทน

สภาวะที่เกิดขึ้นบนบัส I^2C มีด้วยกัน 5 สภาวะ ดังนี้

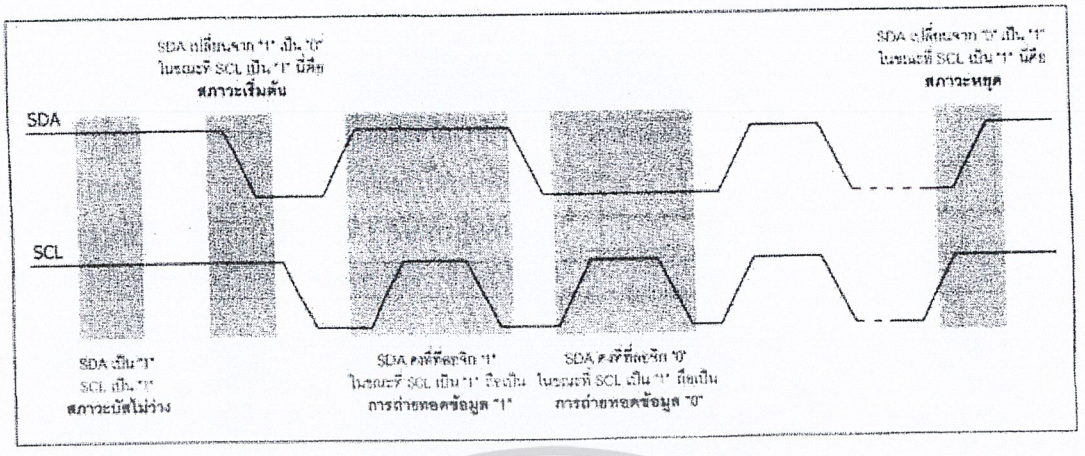
(1) บัสว่าง (Bus not busy) สภาวะนี้เกิดขึ้นเมื่อสภาวะลอจิกบนสาย SDA และ SCL เป็นลอจิกสูงทั้งคู่ นั่นหมายความว่า การถ่ายทอดข้อมูลสามารถเริ่มต้นขึ้นได้

(2) เริ่มต้นการถ่ายทอดข้อมูล (start data transfer) เกิดขึ้นเมื่อสาย SDA มีการเปลี่ยนแปลงระดับลอจิกจากสูงไปต่ำ ในขณะที่สาย SCL มีสถานะลอจิกสูง เรียกสภาวะนี้ว่า สภาวะเริ่มต้น (START)

(3) หยุดการถ่ายทอดข้อมูล (stop data transfer) เกิดขึ้นเมื่อสาย SDA มีการเปลี่ยนแปลงระดับลอจิกจากต่ำไปสูง ในขณะที่สาย SCL มีสถานะลอจิกสูงเรียกสภาวะที่เกิดขึ้นนี้ว่า สภาวะหยุด (STOP)

(4) ข้อมูลดำรงอยู่บนบัส (data valid) สภาวะนี้เกิดขึ้นถัดจากสภาวะเริ่มต้น โดยสถานะลอจิกที่เกิดขึ้นบนสาย SDA ก็คือข้อมูลที่ทำการถ่ายทอด เมื่อสาย SCL เป็นลอจิกสูง สถานะที่สาย SDA ต้องคงที่ เพื่อให้อุปกรณ์รับรู้ข้อมูลในจังหวะนั้นว่า เป็น “0” หรือ “1” ข้อมูลเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ในขณะที่สาย SCL เป็นลอจิกต่ำ แต่เมื่อใดก็ตามที่ต้องการให้เกิดการถ่ายทอดข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4-23 ไดอะแกรมแสดงสถานะต่างๆ บนบัส I^2C

อย่างสมบูรณ์ สถานะลอจิกที่ขา SDA ต้องคงที่ตลอดช่วงเวลาที่สาย SCL มีสถานะลอจิกสูง หากเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะลอจิกในขณะที่สาย SCL มีลอจิกสูงอยู่นั้น อุปกรณ์มาสเตอร์ที่ทำการควบคุมการถ่ายทอดข้อมูลจะแปลความหมายเป็นสภาวะหยุดหรือสภาวะเริ่มต้นก็ได้ ทำให้ข้อมูลที่ทำการถ่ายทอดนั้นเกิดความผิดพลาดขึ้น

(5) รับข้อมูล(acknowledge) เกิดขึ้นหลังจากที่การถ่ายทอดข้อมูลจากตัวส่งมายังตัวรับเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ โดยตัวส่งจะทำการส่งข้อมูลมา 1 บิตเรียกว่า บิตรับรู้ (acknowledge bit) มีสถานะเป็นลอจิก หลังจากส่งข้อมูลมาครบถ้วน ส่วนอุปกรณ์มาสเตอร์จะทำการส่งสัญญาณรับรู้พิเศษซึ่งสัมพันธ์กับสัญญาณนาฬิกา เพื่อตอบสนองบิตรับรู้ที่ส่งมาจากตัวส่ง ทางด้านตัวรับจะส่งบิตรับรู้ที่มีสถานะลอจิกต่ำลงบนบัส อุปกรณ์สเลฟที่ถูกอ้างถึงในการติดต่อหรือกำลังหรือกำลังติดต่อหรือกำลังติดต่ออยู่ในขณะนั้นก็จะกำเนิดบิตรับรู้เพื่อตอบสนองให้ทราบ ว่าได้รับข้อมูลในแต่ละไบต์เรียบร้อยแล้ว

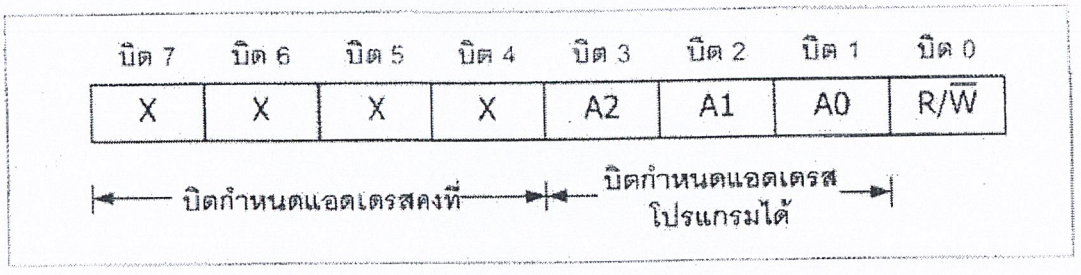
ในรูปที่ 4-23 เป็นไดอะแกรมเวลาที่แสดงถึงการเกิดสภาวะต่างๆ บนบัส I^2C ไม่ว่าจะเป็นสภาวะบัสว่าง , เริ่มต้น , ถ่ายทอดข้อมูล , รับรู้ และหยุดการถ่ายทอดข้อมูล

4.5.3 การทำงานบนบัส I^2C

ก่อนที่จะเริ่มต้นการถ่ายทอดข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ ที่ต่ออยู่บนบัส ต้องมีการอ้างอิงถึงเสียก่อน โดยการอ้างอิงถึงอุปกรณ์บนบัส I^2C นั้นจะใช้การอ้างอิงถึงแบบ 7 บิตหรือ 10 บิต ในกรณีที่มีอุปกรณ์ต่ออยู่บนบัสไม่มากใช้การอ้างอิงถึงแบบ 7 บิตก็เพียงพอ แต่ถ้ามีอุปกรณ์ต่ออยู่บนบัสมากกว่า 127 แอดเดรส จำเป็นต้องใช้การอ้างถึงแบบ 10 บิต หลังจากที่ติดต่ออุปกรณ์แต่ละตัวได้เรียบร้อยแล้ว ก็จะเริ่มต้นการถ่ายทอดข้อมูลกันต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นหัวใจสำคัญในอันดับแรกของการทำงานบนบัส I^2C คือการอ้างอิงถึงอุปกรณ์แต่ละตัวต่อไปนี้จะอธิบายรายละเอียดของการอ้างอิงทั้ง 2 รูปแบบ



รูปที่ 4-24 รูปแบบของข้อมูลกำหนดแอดเดรสของอุปกรณ์บนบัส I^2C

4.5.4 การอ้างอิงถึงแบบ 7 บิต (7 –bit addressing)

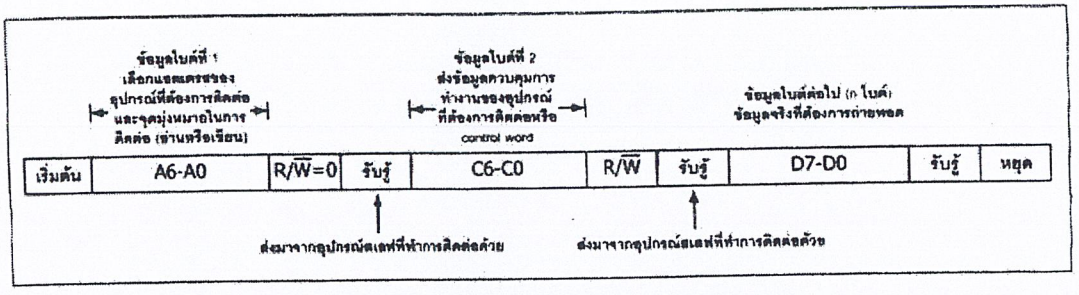
ข้อมูลไบต์แรกที่เกิดขึ้นหลังสภาวะเริ่มต้นคือ ข้อมูลที่ใช้ในการอ้างถึงอุปกรณ์ที่ต้องการติดต่อหรือ ข้อมูลกำหนดแอดเดรส โดยมีรูปแบบแสดงในรูปที่ 8-5 ใน 7 บิต บนรวมทั้งบิต MSB ด้วยจะเป็นข้อมูลแอดเดรสของอุปกรณ์สเลฟที่ต้องการติดต่อ โดยแบ่งเป็นบิตกำหนดแอดเดรสคงที่ (Fixedd address bit) จำนวน 4 บิต ซึ่งข้อมูลนี้อุปกรณ์แต่ละตัวจะถูกกำหนดมาจากผู้ผลิต ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขได้ ถัดมาอีก 3 บิตเป็นบิตกำหนดแอดเดรสที่สามารถโปรแกรมได้ (programmable address bit) โดยผู้ใช้งานต้องกำหนดสถานะลอจิกให้แก่ขา A0 – A2 ของอุปกรณ์ที่มีการเชื่อมต่อแบบบัส I^2C ส่วนในบิต LSB เป็นบิตที่ใช้กำหนดการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับอุปกรณ์สเลฟตัวนั้นๆ หากบิต LSB เป็น “0” หมายถึงต้องการเขียนข้อมูลไปยังอุปกรณ์นั้น ถ้าเป็น “1” จะเป็นการอ่านข้อมูลจากอุปกรณ์สเลฟ

ข้อมูลในไบต์ต่อมาคือ ข้อมูลควบคุม (control byte) ในอุปกรณ์แต่ละตัวมีการกำหนดข้อมูลควบคุมที่แตกต่างกันไป ยกตัวอย่าง ไอซีขยายพอร์ตมีข้อมูลควบคุมที่ใช้กำหนดว่าบิตใดเป็นอินพุตบิตใดเป็นเอาต์พุต ในขณะที่ไอซี ADC/DAC ต้องการข้อมูลควบคุมเพื่อกำหนดให้ทำงานเป็นวงจร ADC หรือ DAC เป็นต้น

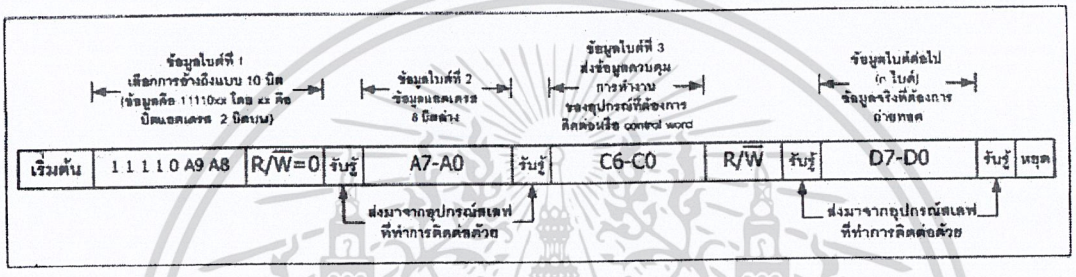
ข้อมูลในไบต์ต่อมาคือ ข้อมูลที่ทำการถ่ายทอดจริง

หลังจากที่มีการถ่ายทอดข้อมูลในแต่ละไบต์ อุปกรณ์ที่ได้รับการติดต่อต้องส่งสัญญาณรับรู้ตอบกลับมาด้วยทุกครั้ง เพื่อให้กระบวนการถ่ายทอดข้อมูลยังคงสามารถดำเนินต่อไปได้ ในรูปที่ 8-6 แสดงรูปแบบข้อมูลที่เกิดขึ้นในการติดต่อบนบัส I^2C ของการอ้างถึงแบบ 7 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-25 รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการอ้างถึงแบบ 7 บิตของบัส I^2C



รูปที่ 4-26 รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการอ้างถึงแบบ 10 บิตของระบบบัส I^2C

4.5.5 การอ้างอิงถึงแบบ 10 บิต

ในการอ้างถึงแบบนี้ ยังคงใช้รูปแบบข้อมูลอนุกรมที่เหมือนกับแบบ 7 บิต หากแต่จะมีข้อมูลเพิ่มเติมขึ้นมาเล็กน้อย โดยในข้อมูลไบต์แรกหลักจากเกิดสภาวะเริ่มต้น ต้องกำหนดให้ 5 บิตบนมีข้อมูลเป็น 1110 ส่วนอีก 2 บิตถัดมาเป็นบิตแอดเดรสของอุปกรณ์ที่ต้องการติดต่อ ในบิต LSB ของข้อมูลไบต์แรกยังคงเป็นการกำหนดว่า ต้องการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับอุปกรณ์สเลฟตัวที่ต้องการติดต่อด้วย ข้อมูลไบต์ต่อมาเป็นข้อมูลแอดเดรสในไบต์ที่ 2 ของอุปกรณ์ที่ต้องการติดต่อด้วย ข้อมูลไบต์ถัดไปจึงเป็นข้อมูลควบคุมข้อมูลหลังจากเป็นข้อมูลจริงที่ใช้ในการติดต่อ

เช่นเดียวกับการอ้างอิงถึงแบบ 7 บิต หลังจากถ่ายทอดข้อมูลครบทุกไบต์ ต้องมีสภาวะรับรู้เกิดขึ้น เพื่อให้กระบวนการถ่ายทอดข้อมูลสามารถดำเนินต่อไปได้ ในรูปที่ 4-26 แสดงรูปแบบข้อมูลอนุกรมของการอ้างถึงแบบ 10 บิต

อุปกรณ์ที่ใช้การเชื่อมแบบบัส I^2C

ในปัจจุบันบัส I^2C ได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ด้วยข้อดีที่ชัดเจนคือ ใช้สายสัญญาณเพียง 2 เส้นเท่านั้น และการขยายระบบควบคุมที่มีจำนวนอินพุตเอาต์พุตและหน่วยความจำจำกัดสามารถทำได้ง่ายขึ้นด้วยระบบบัส I^2C เมื่อเป็นเช่นนี้จึงมีอุปกรณ์ต่อร่วมที่ใช้การเชื่อมต่อแบบบัส I^2C เกิดขึ้นมากมายหลายผู้ผลิต ดังมีตัวอย่างต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไอซีขยายพอร์ตอินพุตเอาต์พุต (I/O expander) : PCF8574 , PCF8582 , PCF8584

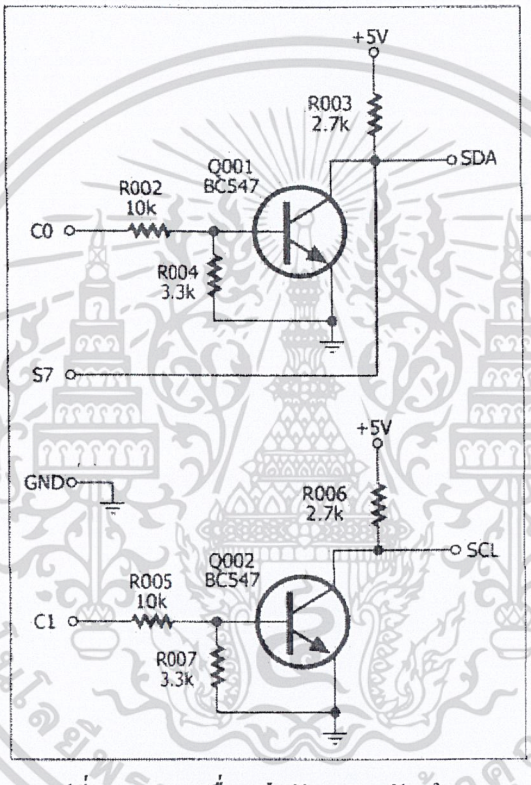
ไอซีหน่วยความจำอีอีพรอมอนุกรม (Serial EEPROM) : 24Cxx , PCF8570 , PCF72/73 , PCF8582

ไอซี ADC/DAC : PCF8591

ไอซี รีลไทม์ล็อก (Real – time clock : RTC) : PCF8583 , PCF8593 , PCF 8598 , 41T56c

ไอซีขับ LCD โมดูล (LCD driver) : PCF8466 , PCF8577/78 , PCF8579

ไอซีกำเนิดสัญญาณ DTMF (generator) : PCD3311/12



รูปที่ 4-27 วงจรเชื่อมต่อกับระบบบัส I^2C ของ p-board บอร์ดเชื่อมต่อพอร์ตขนาน

การต่ออุปกรณ์ระบบบัส I^2C กับพอร์ตขนานผ่าน P- Board

เพื่อให้สายสัญญาณของพอร์ตขนานสามารถติดต่อกับอุปกรณ์ที่มีการเชื่อมต่อเป็นบัส I^2C จะต้องสร้างวงจรเชื่อมต่อขนาดเล็กขึ้นมาเพื่อให้เอาต์พุตที่จะติดต่อด้วยเป็นแบบคอลเล็กเตอร์เปิด

ทรานซิสเตอร์ Q_{001} และ $\%Q_{002}$ ได้รับการจัดวงจรให้มีลักษณะเป็นวงจรบัฟเฟอร์แบบคอลเล็กเตอร์เปิดตามข้อกำหนดของวงจรเอาต์พุตของบัส I^2C โดย Q001 ใช้สำหรับถ่ายทอดสัญญาณของสายสัญญาณของ SDA ในขณะที่ Q002 ทำหน้าที่ถ่ายทอดสัญญาณของสาย SCL ไฟเลี้ยงของวงจรคือ +5 V จึงสามารถใช้ทรานซิสเตอร์ NPN แบบมาตรฐานเบอร์ใดก็ได้ ที่สามารถตอบสนองความถี่สูงสุดถึง 100 KHz

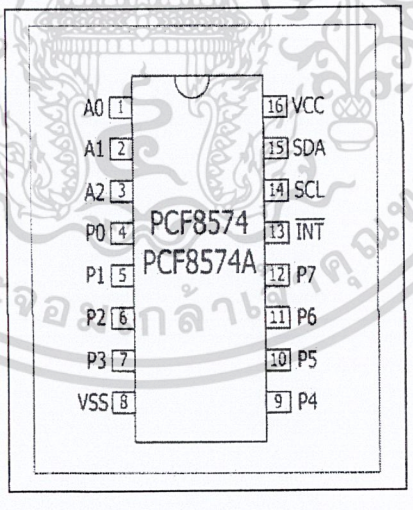
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การขยายจำนวนพอร์ตอินพุตเอาต์พุตด้วย PCF8574 และ PCF8574A

สำหรับการใช้งานอินพุตเอาต์พุตจำนวนมากนั้น ขาของพอร์ตขนานมีจำนวนไม่มากพอที่จะนำไปใช้ในการควบคุมโดยตรง จึงจำเป็นต้องต่ออุปกรณ์ภายนอกเพิ่มเติมเพื่อขยายจำนวนพอร์ตอินพุตเอาต์พุต ไอซีขยายพอร์ตผ่านระบบบัส I^2C เบอร์ PCF8574 และPCF8574A ที่สามารถขยายพอร์ตอินพุตเอาต์พุตได้ตัวละ 8 ช่อง และสามารถต่อพ่วงกันได้มากถึง 8 ตัว ทำให้สามารถต่อพอร์ตอินพุตเอาต์พุตได้มากถึง 64 ช่อง จึงถูกเลือกมาใช้ โดย PCF8574 และPCF8574A มีการทำงานเหมือนกันทุกประการ ต่างกันเพียงข้อมูลแอดเดรสประจำตัวเท่านั้น

ข้อมูลเบื้องต้นของ PCF8574 และ PCF8574A มีดังนี้

1. ทำงานที่ระดับแรงดันตั้งแต่ 2.5 V ถึง 6 V
2. กินกระแสในสภาวะสแตนด์บายต่ำเพียง 10 μA
3. ใช้การเชื่อมต่อแบบบัส I^2C
4. มีเอาท์พุตอินเวอร์เตอร์รัปต์แบบเดรนเปิด
5. เอาต์พุตสามารถแลตช์ค่าได้ ขับกระแสได้ 100 μA ถ้าต้องการขับ LED โดยตรงต้องต่อตัวต้านพูลอัปค่า 4.7 kΩ -10 kΩ เข้าที่ขาที่กำหนดให้เป็นเอาต์พุต
6. สามารถกำหนดตำแหน่งแอดเดรสของไอซีทางฮาร์ดแวร์ด้วยขา A0- A2 ทำให้สามารถต่อพ่วงกันได้ถึง 8 ตัว



รูปที่ 4-28 การจัดขาของ PCF8574/8574a

การจัดขาของไอซี PCF8574/8574A แสดงในรูปที่ 4-28 หน้าที่การทำงานของแต่ละขาในรูปที่ 4-20 ขาพอร์ตทั้ง 8 ขาของ PCF8574A สามารถกำหนดให้เป็นอินพุตหรือเอาต์พุตได้โดยอิสระ ลักษณะวงจรภายในของพอร์ตอินพุตสแสดงในรูปที่ 4-29 เมื่อจ่ายไฟให้กับ PCF8574 และ PCF8574A ครั้งแรกขาพอร์ตทั้ง 8 ขานะมีลอจิก "1" ซึ่งจะเป็นการจ่ายกระแสมาจากแหล่งจ่ายกระแสคงที่ภายในตัวไอซี ทำให้มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสในขณะลอจิก “1” นี้เพียง 100μAเท่านั้น ในกรณีที่ต้องการให้มีการจ่ายกระแสสูงๆ จำเป็นต้องต่อตัวต้านทานพูลอัปเอาไว้ที่ขาพอร์ตเหล่านี้ด้วยเมื่อต้องการให้ขาพอร์ตเหล่านี้ทำหน้าที่เป็นอินพุตจะต้องส่งสัญญาณให้ขาเหล่านี้มีลอจิก “1” เสียก่อน เมื่อขาอินพุตได้รับสัญญาณจากภายนอกป้อนเข้ามา ไอซี PCF8574A จะสร้างสัญญาณอินเตอร์รัปต์ (INT) ป้อนให้คอมพิวเตอร์รับรู้แทนการต้องคอยตรวจสอบขาอินพุตตลอดเวลา สัญญาณอินเตอร์รัปนี้จะถูกรีเซตเมื่อมีการอ่านค่าข้อมูลหรือมีการเปลี่ยนค่าอินพุตไปสู่ค่าเดิม

ชื่อ	ตำแหน่งขา	หน้าที่
A0	1	อินพุตแอดเดรสตัวที่ 1
A1	2	อินพุตแอดเดรสตัวที่ 2
A2	3	อินพุตแอดเดรสตัวที่ 3
P0	4	พอร์ตอินพุตเอาต์พุต 2 ทิศทางบิต 0
P1	5	พอร์ตอินพุตเอาต์พุต 2 ทิศทางบิต 1
P2	6	พอร์ตอินพุตเอาต์พุต 2 ทิศทางบิต 2
P3	7	พอร์ตอินพุตเอาต์พุต 2 ทิศทางบิต 3
VSS	8	กราวด์
P4	9	พอร์ตอินพุตเอาต์พุต 2 ทิศทางบิต 4
P5	10	พอร์ตอินพุตเอาต์พุต 2 ทิศทางบิต 5
P6	11	พอร์ตอินพุตเอาต์พุต 2 ทิศทางบิต 6
P7	12	พอร์ตอินพุตเอาต์พุต 2 ทิศทางบิต 7
INT	13	ขาเอาต์พุตอินเตอร์รัปต์(ทำงานที่ลอจิก 0)
SCL	14	ขาสัญญาณนาฬิกาสำหรับ I^2C บัส
SDA	15	ขาข้อมูลสำหรับ I^2C บัส
VDD	16	ไฟเลี้ยง

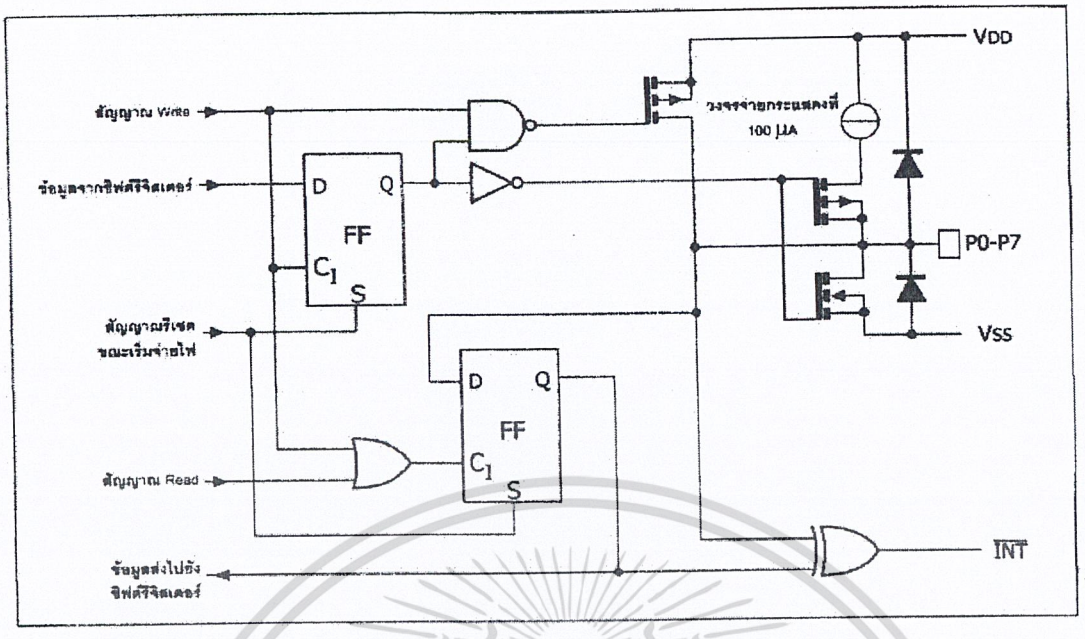
ตารางที่ 4-3 แสดงหน้าที่ของขาการใช้งานไอซีเบอร์ PCF8574/8574A

4.6.1 การเขียนโปรแกรมควบคุม

PCF8574A ด้วย Visual Basic

เนื่องจาก PCF8574 และ PCF8574A มีการเชื่อมต่อเป็นแบบบัส I^2C ดังนั้นการติดต่อจึงต้องอ้างถึงโปรแกรมย่อยดังที่กล่าวไปแล้วในตอนต้น โดยจะต้องส่งข้อมูลแอดเดรสเพื่อติดต่อกับ PCF8574A ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-29 รายละเอียดวงจรขาพอร์ตของไอซี PCF8574/8574A

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
0	1	1	1	A2	A1	A0	R/$\overline{W}$

ในกรณีติดต่อกับ PCF8574 ต้องส่งข้อมูลดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
0	1	0	0	A2	A1	A0	R/$\overline{W}$

บิต A0 , A1 , A2ใช้ในการระบุ PCF8574A ที่ใช้บนบอร์ดในกรณีที่มีการติดต่อ PCF8574 มากกว่า 1 ตัว โดยค่าของ A0- A2 จะมีความแตกต่างกันไปในแต่ละตัว

บิต R/W ใช้กำหนดว่าต้องการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับไอซี PCF8574

จากการกำหนดแอดเดรส A0 –A2 จะให้สามารถขยายพอร์ตอินพุตเอาต์พุตได้มากถึง 128 จุด โดยการใช้ PCF8574 ร่วมกับ PCF8574A

4.7 การเชื่อมต่อกับสัญญาณอะนาลอกพอร์ตขนานผ่านระบบบัส I^2C

ปกติแล้วข้อมูลในการติดต่อกับพอร์ตขนานของคอมพิวเตอร์นั้น จะเป็นสัญญาณดิจิตอลทั้งสิ้น แต่เมื่อนำมาเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกแล้ว ย่อมต้องเชื่อมต่อและประมวลผลกับสัญญาณอะนาลอกด้วย ในการเชื่อมต่อกับสัญญาณอะนาลอกต้องใช้ไอซีพิเศษ ที่ทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลหรือที่เรียกว่า ADC (Analog to Digital Converter) ในบทนี้จะเป็นการแนะนำและเรียนรู้เพื่อใช้งานไอซี ADC เชื่อมต่อกับพอร์ตขนาน เพื่อให้พอร์ตสามารถอ่านค่าสัญญาณอะนาลอกอจากภายนอกเข้ามาประมวลผลได้ โดยไอซี ADC ที่ใช้เบอร์ PCF8591 ซึ่งมีรูปแบบการเชื่อมต่อแบบบัส I^2C

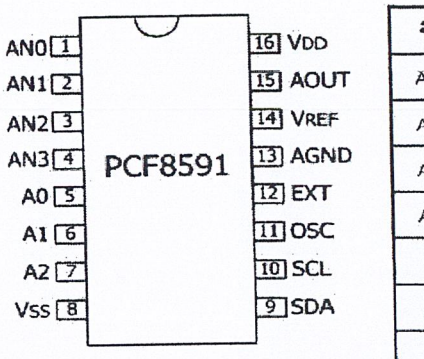
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.1 ข้อมูลเบื้องต้นของ PCF8591

PCF8591 เป็นไอซีทำหน้าที่แปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลและแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอะนาลอกในตัวเดียวกัน เป็นผลงานของฟิลิปส์ เซมิคอนดักเตอร์ ผู้พัฒนาระบบบัส I^2C นั่นเองด้วยความสามารถที่รวมเอาวงจร ADC และ ADC เข้าไว้ในไอซีเพียงตัวเดียว ทำให้สามารถนำ PCF8591 ไปประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวาง โดยคุณสมบัติทางเทคนิคที่สำคัญของ PCF8591 มีดังนี้

1. ทำงานด้วยความละเอียดของข้อมูลดิจิตอลขนาด 8บิต
2. มีวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล (ADC) ขนาด 8 บิต 4 ช่อง
3. มีวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอะนาลอก (DAC) ขนาด 8 บิต 1 ช่อง
4. ทำงานโดยใช้แหล่งจ่ายไฟชุดเดียว ตั้งแต่ 2.5 6 V
5. กินกระแสไฟฟ้าขณะอยู่ในสภาวะสแตนบายค์ต่ำ
6. ติดต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์หรือไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านระบบบัส I^2C
7. สามารถเลือกตำแหน่งแอดเดรสทางฮาร์ดแวร์จากขา A0 , A1 ,A2 ทำให้สามารถต่อพ่วงกันได้ สูงสุดถึง 8 ตัว จึงขยายจำนวนช่องอินพุตของสัญญาณอะนาลอกได้สูงถึง 32 ช่อง และช่องเอาต์พุตของสัญญาณอะนาลอกจากวงจร DAC สูงถึง 8 ช่อง
8. อัตราการสุ่มข้อมูล (SAMPING) ขึ้นอยู่กับความเร็วของสัญญาณนาฬิกาบนบัส I^2C
9. วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล (DAC) สามารถเลือกการทำงานเป็นแบบแยกช่องหรือทำงานเป็นวงจรดิฟเฟอร์เรนเชียลได้ ในกรณีที่กำหนดเป็นดิฟเฟอเรนเชียล จำนวนช่องอินพุตจะลดลงเหลือ 2 ช่อง
10. การอ่านค่าสามารถกำหนดให้เลื่อนช่องอินพุตโดยอัตโนมัติได้
11. สามารถรับสัญญาณอะนาลอกระดับแรงดันตั้งแต่ V_{SS} ไปจนถึง V_{DD}
12. วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลเป็นแบบซักเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ชื่อ	ตำแหน่งขา	หน้าที่
AN0	1	อะนาลอกอินพุตช่องที่ 1
AN1	2	อะนาลอกอินพุตช่องที่ 2
AN2	3	อะนาลอกอินพุตช่องที่ 3
AN3	4	อะนาลอกอินพุตช่องที่ 4
A0	5	ขากำหนดแอดเดรสทางฮาร์ดแวร์บิต 0
A1	6	ขากำหนดแอดเดรสทางฮาร์ดแวร์บิต 1
A2	7	ขากำหนดแอดเดรสทางฮาร์ดแวร์บิต 2
VSS	8	กราวด์
SDA	9	ขาข้อมูลสำหรับ I2C บัส
SCL	10	ขาสัญญาณนาฬิกาสำหรับ I2C บัส
OSC	11	ขาอินพุตเอาต์พุตออสซิลเลเตอร์
EXT	12	ขาเลือกออสซิลเลเตอร์ภายในหรือภายนอก
AGND	13	กราวด์อะนาลอก
VREF	14	ขาอินพุตสำหรับแรงดันอ้างอิง
AOUT	15	ขาอะนาลอกเอาต์พุต(วงจร D/A)
VDD	16	ไฟเลี้ยง

รูปที่ 4-30 การจัดขาและตารางแสดงชื่อขาสัญญาณของ PCF8591

PCF8591 สามารถทำหน้าที่เป็นไอซีแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลขนาด 8 บิต 4 ช่องและทำหน้าที่เป็นไอซีแปลงสัญญาณดิจิตอลได้ในคราวเดียวกัน ด้วยการควบคุมผ่านระบบบัส I^2C ทำให้สามารถพ่วงไอซี PCF8591 ได้สูงสุดถึง 8 ตัว รองรับการอ่านค่าสัญญาณอะนาลอกอินพุตได้สูงสุดถึง 32 ช่อง และสามารถส่งสัญญาณอะนาลอกเอาต์พุตสูงสุดถึง 8 ช่องด้วยการกำหนดแอดเดรสจากขา A0 , A1 และ A2 การจัดขาและรายละเอียดตำแหน่งขาของ PCF8591 แสดงในรูปที่ 4-28

4.7.2 รายละเอียดฟังก์ชั่นต่างๆ ของ PCF8591

ตำแหน่งแอดเดรส

ในระบบบัส I^2C การติดต่อกับอุปกรณ์แต่ละตัวต้องระบุแอดเดรสของอุปกรณ์เหล่านั้นอย่างชัดเจน ถ้าเป็นการอ้างถึงแบบ 7 บิต ข้อมูลกำหนดแอดเดรส 4 บิตบนจะเป็นค่าของแอดเดรสเฉพาะของอุปกรณ์ตัวนั้นๆ ที่กำหนดมาจากผู้ผลิต ผู้ใช้งานไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ สำหรับไอซี PCF8591 จะมีค่าเท่ากับ 1001 (ฐานสอง) ข้อมูล 3 บิตถัดมาเป็นค่าของแอดเดรสที่ผู้ใช้งานสามารถกำหนดได้ทางฮาร์ดแวร์เพื่อเลือกไอซี PCF8591 ที่ต้องการติดต่อด้วยในกรณีที่มีการต่อใช้งาน PCF8591 มากกว่า 1 ตัว ส่วนบิต LSB ใช้ในการกำหนดว่าต้องการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับไอซีตัวนั้นๆ โดยมีรูปแบบการกำหนดค่าดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการอ่านข้อมูลชิปที่กำหนดแอดเดรสไว้เป็น 000 จะต้องป้อนข้อมูลแอดเดรสเท่ากับ &H91 เป็นต้น

ข้อมูลควบคุม

หลังจากส่งข้อมูลกำหนดแอดเดรสให้แก่ PCF8591 แล้ว ต้องส่งข้อมูลควบคุมตามไปด้วยเพื่อกำหนดคุณสมบัติของวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลและวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอะนาลอกภายใน PCF8591 โดยมีรายละเอียดของข้อมูลในแต่ละบิตดังในรูปที่ 4-31

บิต 6 ของข้อมูลควบคุมใช้สำหรับหาอีนาเบิลขาอะนาลอกเอาต์พุต เมื่อต้องการการอีนาเบิลต้องกำหนดให้ขานี้เป็น “1”

บิต 4 และบิต 5 ของข้อมูลควบคุมใช้สำหรับการกำหนดรูปแบบของสัญญาณอะนาลอกอินพุตที่ป้อนให้แก่ PCF8591

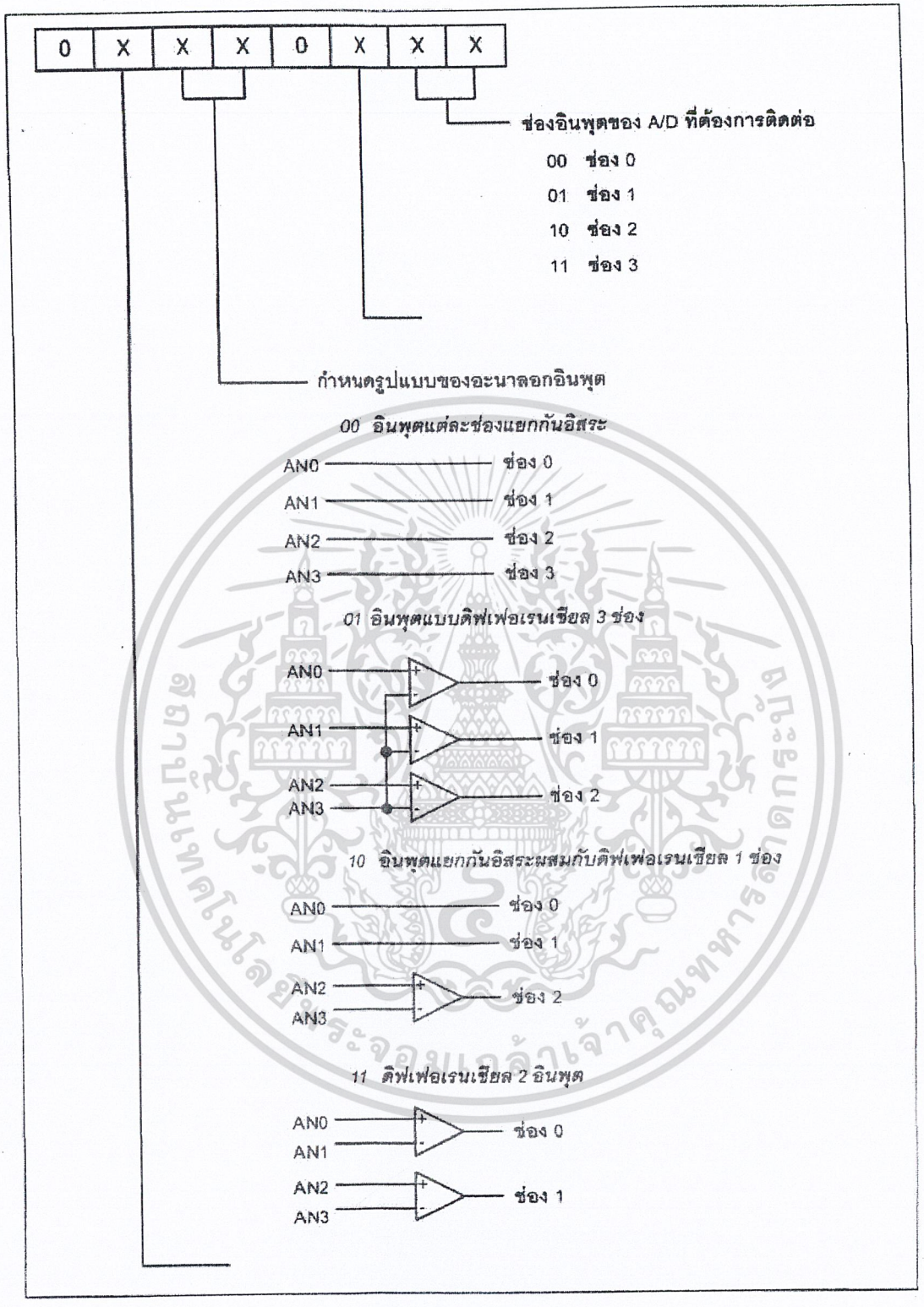
บิต 2 ใช้สำหรับเลือกรูปแบบการอ่านข้อมูลจากขาอินพุตอะนาลอกว่าจะเป็นการอ่านจากเพียงอินพุตเดียวหรืออ่านแบบเรียงลำดับทุกอินพุต ถ้าต้องการเลือกให้อ่านแบบเรียงลำดับต้องกำหนดให้บิตนี้เป็น “1”

บิต 0 และบิต 1ใช้สำหรับกำหนดช่องอินพุตอะนาลอกที่ต้องการอ่าน ถ้ากำหนดให้บิต2 เป็น “1” หลังจากอ่านค่าของบิต “0” และบิต “1” แล้วในการอ่านค่าครั้งต่อไปจะเป็นการอ่านค่าอินพุตจากช่องที่ 1

ข้อมูลควบคุมทั้งหมดจะถูกเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ควบคุมภายใน PCF8591

เมื่อจ่ายไฟให้แก่ PCF8591 ครั้งแรก บิตต่าง ๆ ข้อมูลภายในรีจิสเตอร์ควบคุมจะถูกกำหนดให้เป็น “0”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

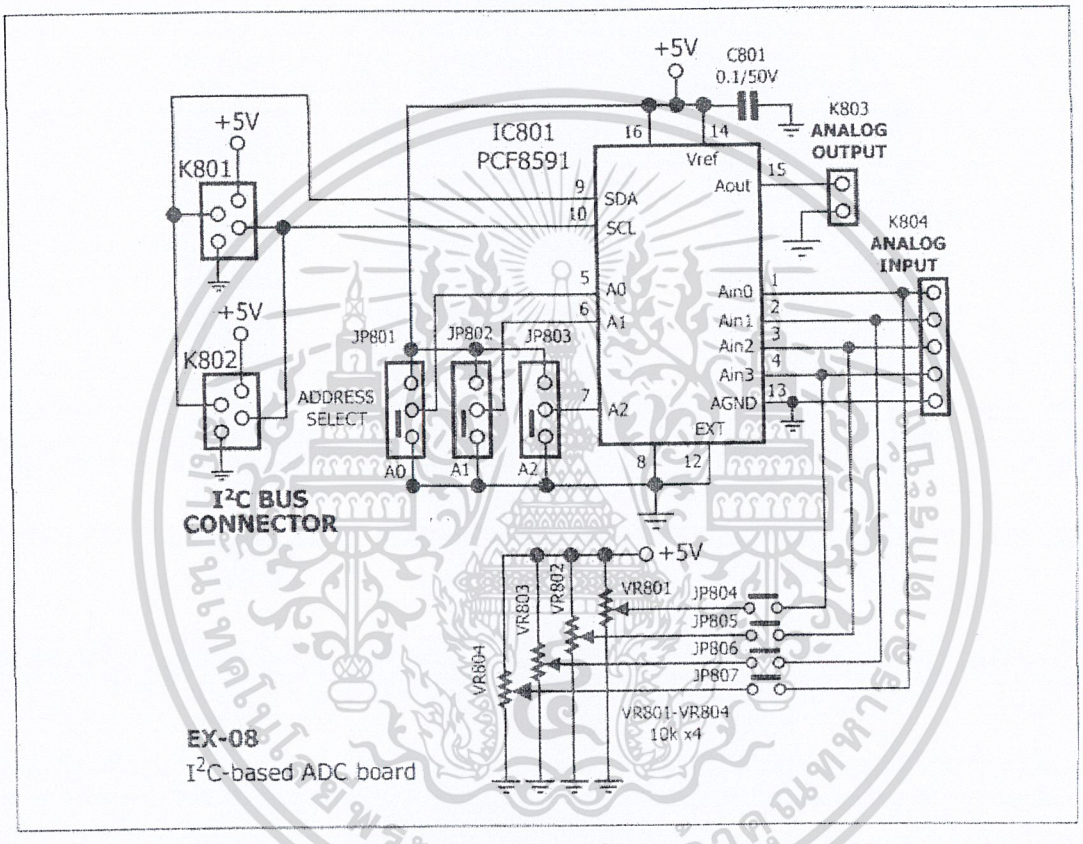


รูปที่ 4-31 รายละเอียดข้อมูลควบคุมการทำงานของ PCF8591

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออสซิลเลเตอร์

วงจรออสซิลเลเตอร์ภายใน PCF8591 จะสร้างสัญญาณนาฬิกาสำหรับการแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล เมื่อต้องการใช้วงจรออกสซิลเลเตอร์ภายในขา EXT ต้องต่อกราวด์ ถ้าต้องการการใช้ออสซิลเลเตอร์จากภายนอกขา EXT ต้องต่อเข้ากับไฟบวก แล้วป้อนสัญญาณนาฬิกาเข้าที่ขา OSC ของ PCF8591 โดยความถี่ของสัญญาณนาฬิกาสูงสุดที่ป้อนให้กับออสซิลเลเตอร์เท่ากับ 1.25



รูปที่ 4-32 วงจรสมบูรณ์ของ EX – 08 บอร์ด ADC/DAC ผ่านระบบบัส I^2C

4.7.3 บอร์ด EX –08 บอร์ด ADC/DAC ผ่านระบบบัส I^2C

บอร์ด EX – 08 มีวงจรแสดงในรูปที่ 4-32 บนบอร์ดมีไอซี PCF8591 ซึ่งสามารถกำหนดตำแหน่งแอดเดรสทางฮาร์ดแวร์ได้ตามต้องการผ่านจั๊มเปอร์ JP801 – JP803 โดยปกติถ้าใช้ PCF8591 เพียงตัวเดียวมักจะกำหนดค่าแอดเดรสเอาไว้เท่ากับ 000 การเชื่อมต่ออร์ด EX – 08 กับ P- BOARD จะใช้การเชื่อมต่อผ่านแจ๊กโทรศัพท์เช่นเดียวกับบอร์ด EX –07 และสามารถต่อพ่วงบอร์ดร่วมกันได้มากถึง 8 บอร์ดจากการกำหนดแอดเดรสของแต่ละบอร์ดคนและตำแหน่งกัน อินพุตอะนาลอกที่ป้อนไปยัง PCF8591 มีทั้งหมด 4 จุดด้วยกัน ผู้ใช้งานสามารถเลือกการป้อนอินพุตอะนาลอก 0-5 V จากภายนอกหรือใช้การป้อนจากตัวต้านทานปรับค่าได้ซึ่งใช้สำหรับปรับค่าแรงดันระหว่าง 0-5 V จากแหล่งจ่ายไฟภายในบอร์ด โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเลือกการอ่านค่าจากตัวต้านทานปรับค่าได้หรือจากภายนอกนั้นมาจากจั๊มเปอร์ JP704 – JP707 บนตัวบอร์ด

นอกจากนี้ PCF8591 ยังมีเอาต์พุตแบบอะนาลอกอีก 1 จุดเพื่อส่งแรงดันเอาต์พุตออกไปโดยค่าแรงดันจะมีค่าเปลี่ยนแปลงระหว่าง 0-5 V ขึ้นอยู่กับการส่งข้อมูลมาควบคุมบอร์ด EX-08 แหล่งจ่ายไฟที่ใช้เลี้ยงบอร์ด EX –08 จะมาจากระบบบัส I^2C ซึ่งเป็นแจ็กโมดูล่าร์ 4 ขา เช่นเดียวกับบอร์ด EX-07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่5

แนวคิดของโปรแกรมควบคุมของหอระบายความร้อน

5.1 โครงสร้างของโปรแกรม

การทำงานของโปรแกรมสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ

5.1.1 ส่วนการรับสัญญาณอะนาลอก (Analog) จากภายนอก

ในส่วนนี้ใช้บอร์ดแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลซึ่งเป็นตัวจับสัญญาณที่เข้ามาจากภายนอก โดยสัญญาณที่รับเข้ามาจากภายนอก ซึ่งเป็นสัญญาณอะนาลอกจะถูกแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอล เพื่อที่คอมพิวเตอร์สามารถนำค่าสัญญาณมาใช้ในการประมวลผล ทั้งนี้เพื่อที่จะปรับระดับความถี่ของมอเตอร์เพื่อที่จะเพิ่มหรือลดปริมาณการถ่ายเทของอากาศและเพื่อที่จะปรับระดับความสูงของการตกของระดับน้ำ

5.1.2 ส่วนประมวลผลข้อมูล

เมื่อได้ข้อมูลเบื้องต้นจากส่วนการรับสัญญาณอะนาลอกแล้ว ในส่วนประมวลผลจะนำข้อมูลดังกล่าวมาเปรียบเทียบกับค่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้ (Set Temp.) เพื่อที่จะทำการตัดสินใจในการส่งข้อมูลออกไปเพื่อขับรีเลย์ ทั้งนี้เพื่อที่จะเพิ่มหรือลดปริมาณการถ่ายเทของอากาศหรือเพื่อปรับระดับการตกของน้ำ

5.1.3 ส่วนการส่งสัญญาณควบคุม

สำหรับการส่งสัญญาณนั้นจะเป็นสัญญาณแบบ 8 บิต ซึ่ง 1 บิตก็คือสวิตช์ 1 ตัวซึ่งเราใช้สวิตช์ทั้งหมด 4 ตัวนั่นก็คือส่งสัญญาณออกไป 4 บิต ซึ่งจะประกอบดังต่อไปนี้

1. สัญญาณลดความถี่ของมอเตอร์เพื่อลดปริมาณการถ่ายเทของอากาศ

   ที่ 50 Hz สัญญาณออกไปเป็นเลขฐาน 2 คือ 1000
   สัญญาณออกไปเป็นเลขฐาน 10 คือ 8

   ที่ 30 Hz สัญญาณออกไปเป็นเลขฐาน 2 คือ 0100
   สัญญาณออกไปเป็นเลขฐาน 10 คือ 4

   ที่ 20 Hz สัญญาณออกไปเป็นเลขฐาน 2 คือ 1100
   สัญญาณออกไปเป็นเลขฐาน 10 คือ 12

2. สัญญาณลดระดับการตกของน้ำ

   สถานะสวิตช์ทำงานปรับระดับการตกของน้ำ คือ 1110(เลขฐาน 2)

   สถานะสวิตช์หยุดทำงานปรับระดับการตกของน้ำ คือ 1100(เลขฐาน 2)

3. สัญญาณเพิ่มความถี่ของมอเตอร์เพื่อเพิ่มปริมาณการถ่ายเทของอากาศ

   ที่ 20 Hz สัญญาณออกไปเป็นเลขฐาน 2 คือ 1100
   สัญญาณออกไปเป็นเลขฐาน 10 คือ 12

   ที่ 30 Hz สัญญาณออกไปเป็นเลขฐาน 2 คือ 0100
   สัญญาณออกไปเป็นเลขฐาน 10 คือ 4

   ที่ 50 Hz สัญญาณออกไปเป็นเลขฐาน 2 คือ 1000
   สัญญาณออกไปเป็นเลขฐาน 10 คือ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

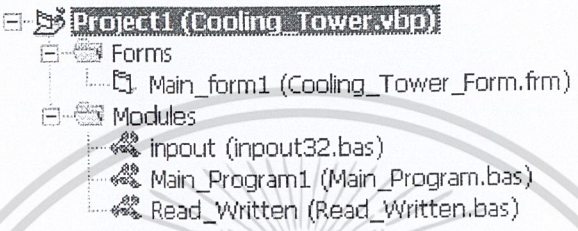
4. สัญญาณเพิ่มระดับการตกของน้ำ

สถานะสวิตช์ทำงานปรับระดับการตกของน้ำ คือ 1001(เลขฐาน 2)

สถานะสวิตช์หยุดทำงานปรับระดับการตกของน้ำ คือ 1000(เลขฐาน 2)

5.1.4 ลักษณะของโปรแกรมควบคุมการระบายความร้อนของหอระบายความร้อน

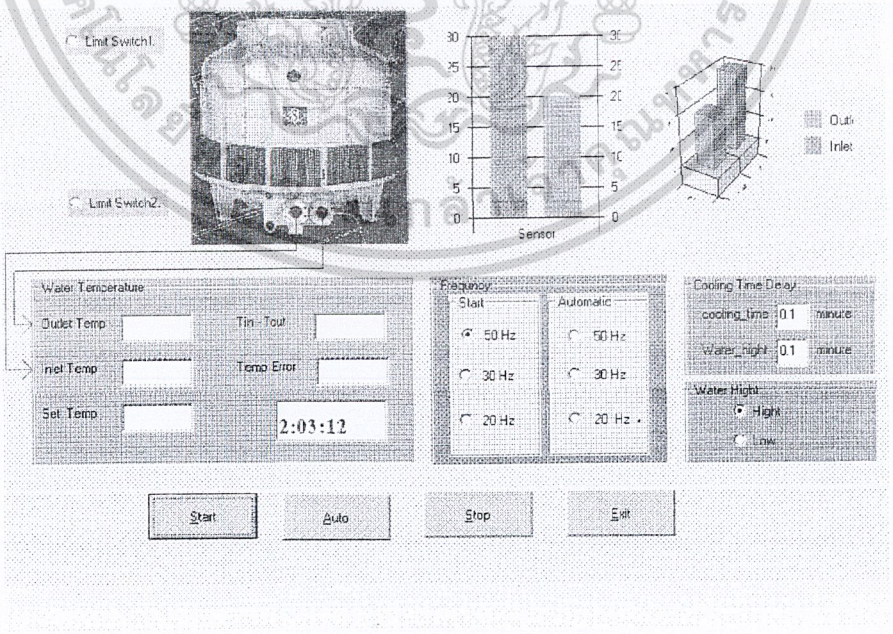
1. โครงสร้างต่าง ๆ ของโปรแกรม



รูปที่ 5.1 แสดงโครงสร้างของโปรแกรม

โปรแกรมได้ทำการสร้างขึ้นเป็นโมดูลย่อย ๆ เพื่อสะดวกต่อการปรับปรุงแก้ไข ซึ่งโมดูลที่ทำการใช้นั้นประกอบด้วยโมดูลทั้งสิ้น 3 โมดูลด้วยกัน ซึ่งสามารถดูรายละเอียดของโปรแกรมได้ที่ภาคผนวก ก.

2. ลักษณะของตัวโปรแกรมที่ใช้งาน



รูปที่ 5.2 แสดงหน้าต่างของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.5 วิธีการใช้งานของโปรแกรม

ในการใช้งานของโปรแกรมควบคุมนั้น จะแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วน คือ หมวดการทำงานแบบปกติ และหมวดการทำงานแบบอัตโนมัติ

1. หมวดการทำงานแบบปกติ

1.1 ทำการต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ให้เรียบร้อยอยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน

1.2 ทำการเปิดโปรแกรม

1.3 เลือกระดับความถี่ที่ต้องการใช้งานซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ 20 Hz , 30 Hz , 50 Hz

1.4 เลือกระดับความสูงของการตกของน้ำ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ระดับ ระดับสูงสุด (Hight) และระดับต่ำสุด (Low)

1.5 เมื่อเลือกแล้วจึงกดปุ่ม START

2. หมวดการทำงานแบบอัตโนมัติ

2.1 ทำการต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ให้เรียบร้อยอยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน

2.2 ทำการเปิดโปรแกรม

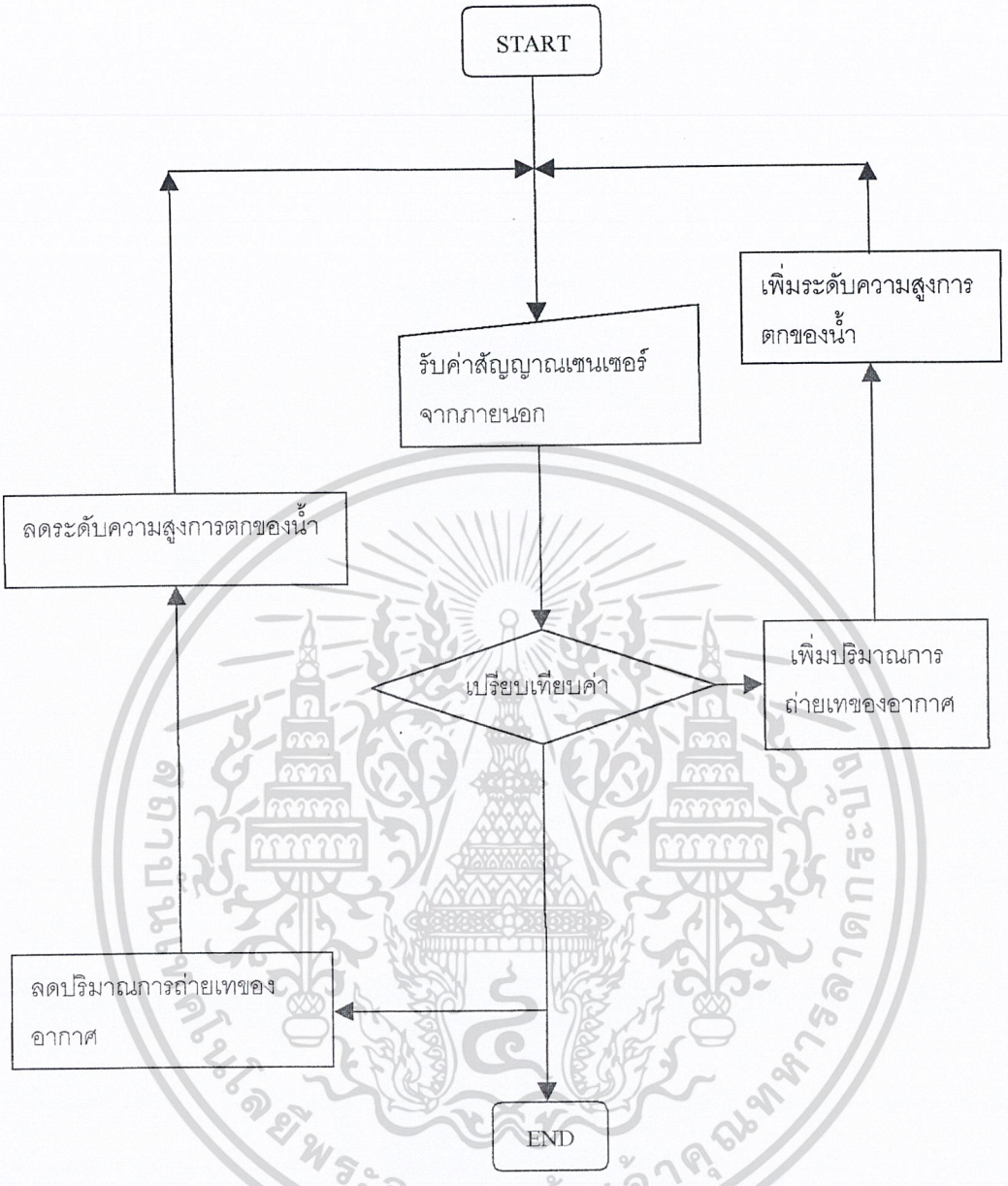
2.3 ทำการใส่ค่าอุนหภูมิที่ต้องการที่จุด (Set Point)

2.4 ใส่ค่าเวลาที่ต้องการหน่วงในการปรับระดับความถี่ของมอเตอร์เพื่อเพิ่ม ปริมาณการถ่ายเทของอากาศ

2.5 ใส่ค่าเวลาที่ต้องการหน่วงในการปรับระดับความสูงของระดับการตกของน้ำ

2.6 กดปุ่ม Auto เพื่อทำการควบคุมอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 แสดงการทำงานหลักของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
ผลการทดลอง

จากผลการทดลองทั้งหมดได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วนดังต่อไปนี้

6.1 การทดลองโดยใช้ระบบปรับด้วยมือ (Manual)

การทดลองโดยระบบปรับด้วยมือครั้งที่ 1 ระยะการตกของน้ำ 50 cm.

Q_{AIR}(cfm)	Inlet R.H.%	Outlet R.H.%	Inlet(องศาF) T_{WATER}	outlet(องศาF) T_{WATER}	ΔT	make up water(m^3)
0	80.4	90.1	95.18	92	3.18	0.0123
1675	82.8	91.2	95	91.5	3.5	0.0123
2790	83.1	93	95.2	89.6	5.6	0.0145
3910	82.8	93.9	95	87.2	7.8	0.0166
5026	83.8	95	96	85.2	10.8	0.0178
5585	82.8	96.2	95.26	84.1	11.16	0.019

ระยะการตกของน้ำ 60 cm.

Q_{AIR}(cfm)	Inlet R.H.%	Outlet R.H.%	Inlet(องศาF) T_{WATER}	outlet(องศาF) T_{WATER}	ΔT	make up water(m^3)
0	83.1	90.2	95	91.8	3.2	0.0125
1675	82.8	91.9	94.82	89.8	5.02	0.0133
2790	80.2	93.1	96	89	7	0.0166
3910	82.8	94.2	95	87	8	0.0178
5026	82.5	95.3	95.38	84.6	10.78	0.0186
5585	82.3	96.9	95.18	83.9	11.28	0.019

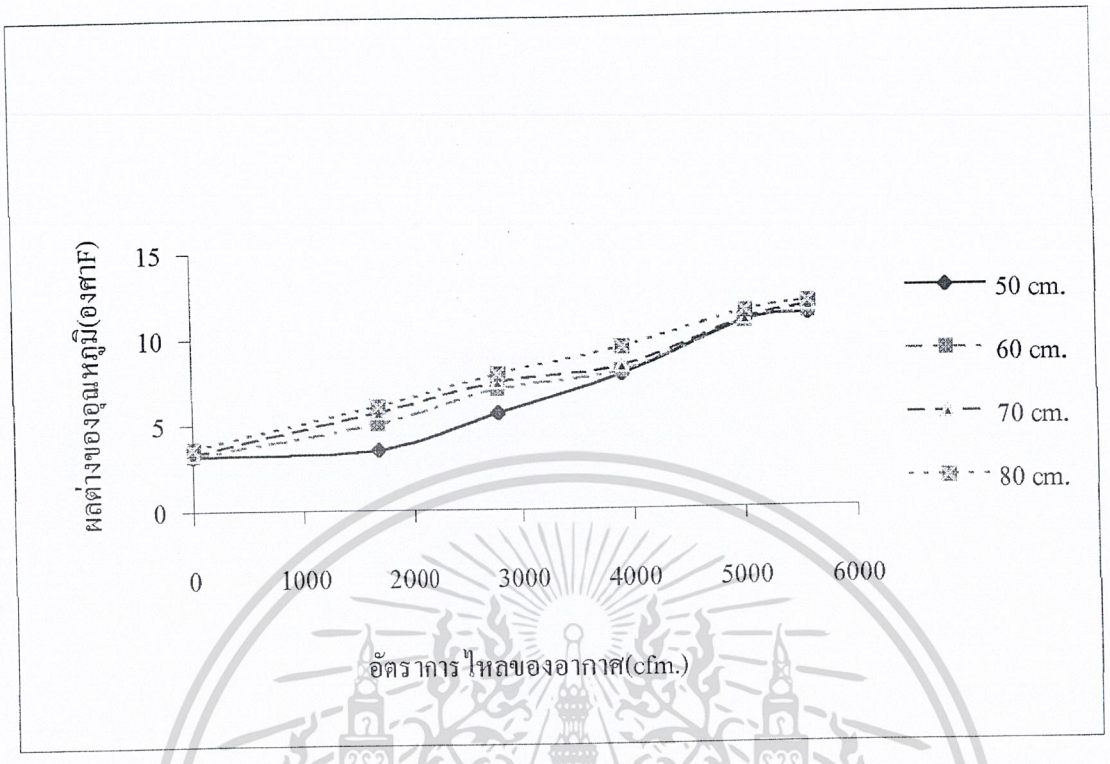
ระยะการตกของน้ำ 70 cm.

Q_{AIR}(cfm)	Inlet R.H.%	Outlet R.H.%	Inlet(องศาF) T_{WATER}	outlet(องศาF) T_{WATER}	ΔT	make up water(m^3)
0	82.1	90.8	95	91.7	3.3	0.013
1675	83.1	92.6	95.18	89.5	5.68	0.0135
2790	82.2	93.2	96	88.6	7.4	0.0167
3910	80.2	94.8	95	86.7	8.3	0.0178
5026	83.4	96	95	84.1	10.9	0.0188
5585	82.2	97.1	95	83.34	11.66	0.0192

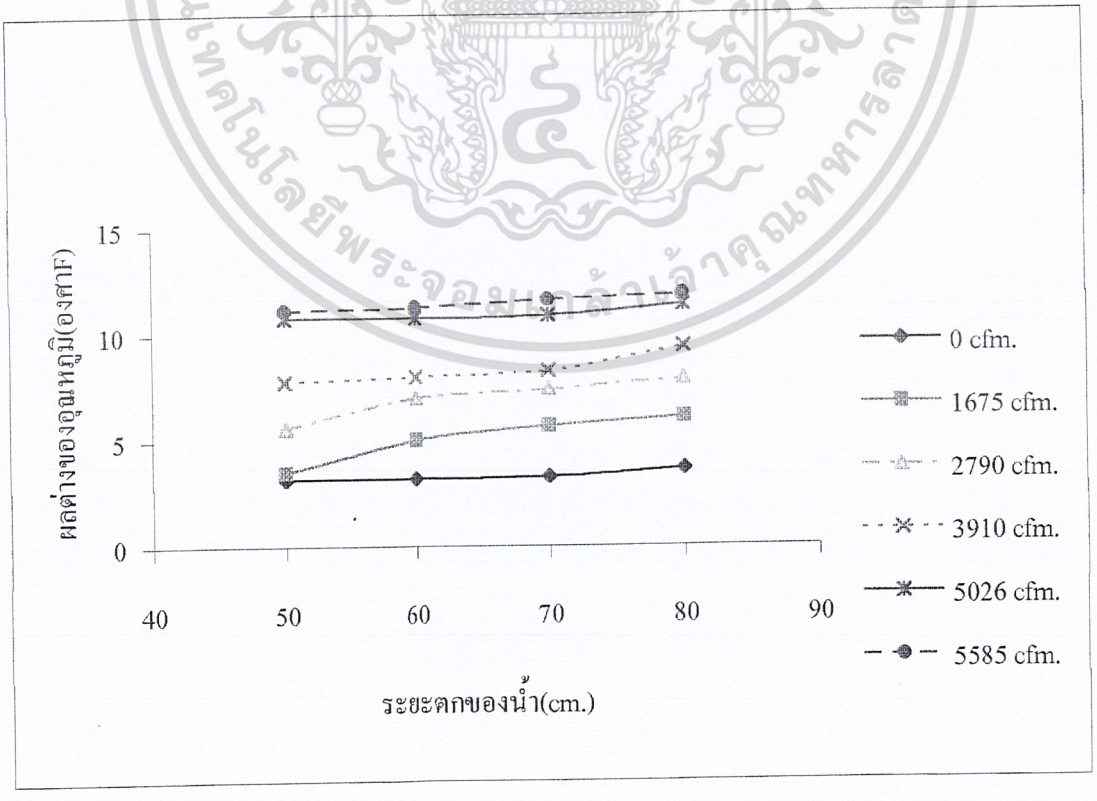
ระยะการตกของน้ำ 80 cm.

Q_{AIR}(cfm)	Inlet R.H.%	Outlet R.H.%	Inlet(องศาF) T_{WATER}	outlet(องศาF) T_{WATER}	ΔT	make up water(m^3)
0	80.4	91	95.18	91.54	3.64	0.0132
1675	82.2	92.8	95.18	89.12	6.06	0.0137
2790	83.1	93.3	96	88.1	7.9	0.0168
3910	81.6	95.2	95.64	86.23	9.41	0.0179
5026	82.2	96.2	95.36	83.98	11.38	0.0192
5585	82.2	97.9	95	83.1	11.9	0.0198

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

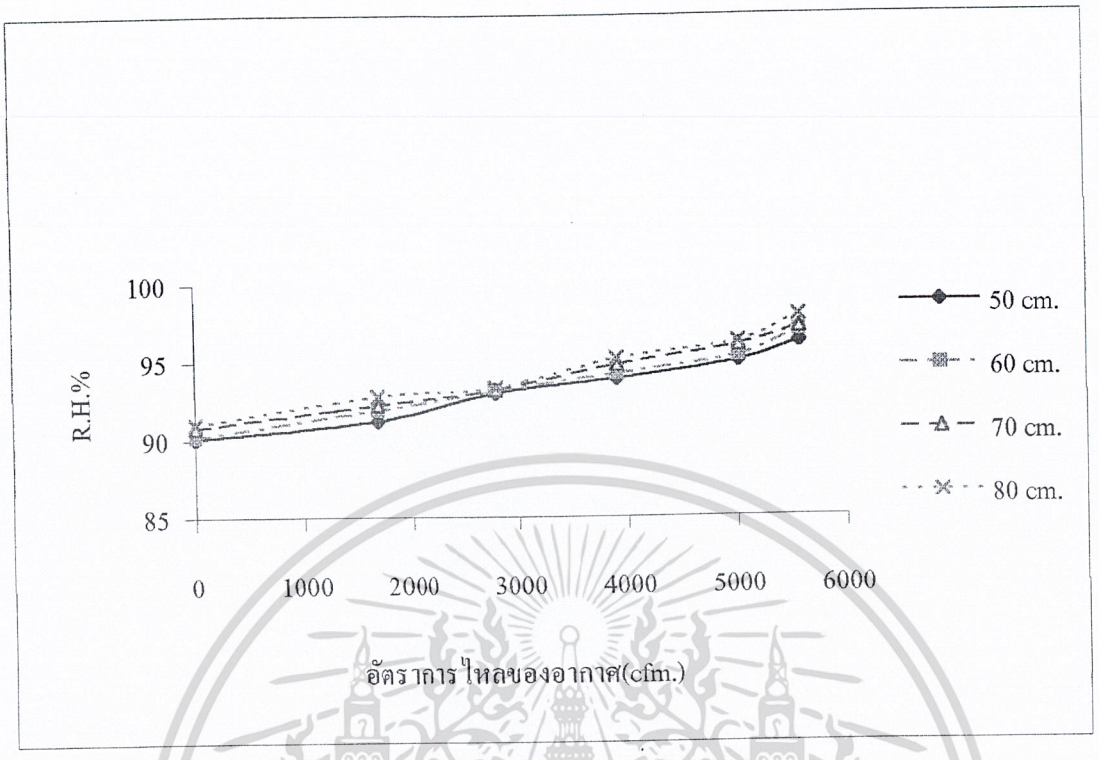


กราฟที่ 6-1-1 ความสัมพันธ์ระหว่าง cfm. - ΔT

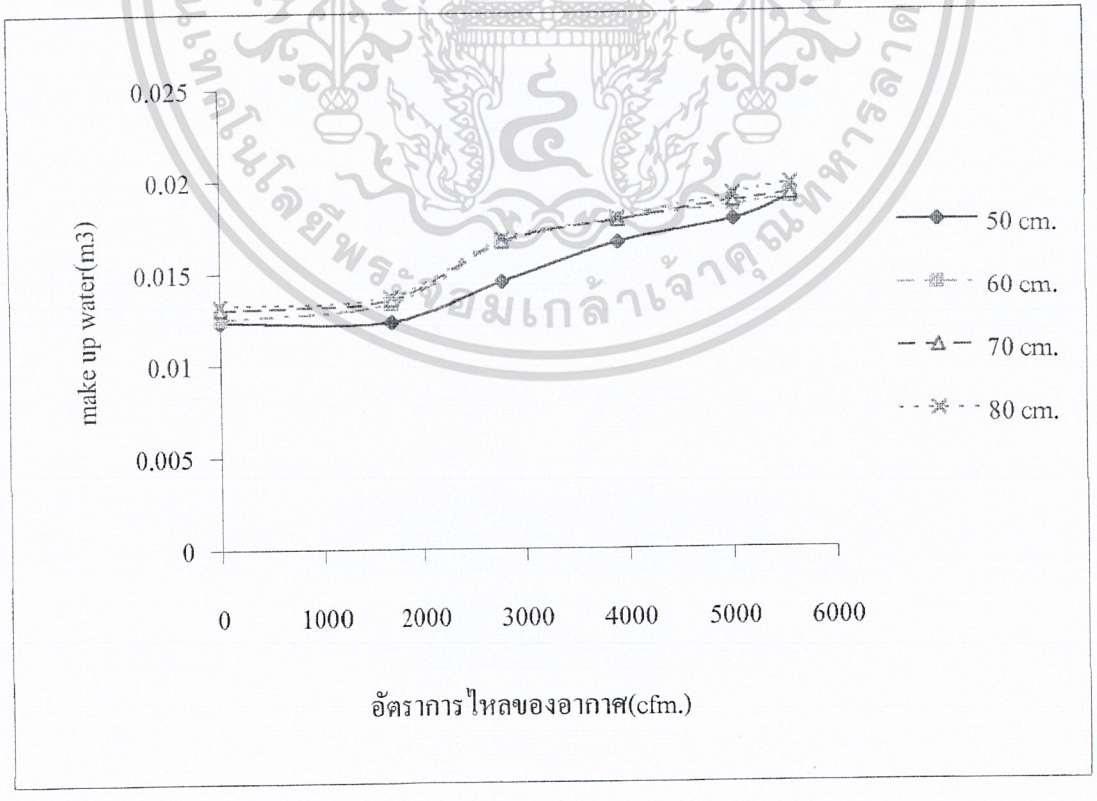


กราฟที่ 6-1-2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะตกของน้ำ - ΔT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 6-1-3 ความสัมพันธ์ระหว่าง cfm.- R.H.%(Outlet)



กราฟที่ 6-1-4 ความสัมพันธ์ระหว่าง cfm.- make up water(m^3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองโดยระบบปรับด้วยมือครั้งที่ 2

ระยะการตกของน้ำ 50 cm.

Q_{AIR}(cfm)	Inlet R.H.%	Outlet R.H.%	Inlet(องศาF) T_{WATER}	outlet(องศาF) T_{WATER}	ΔT	make up water(m^3)
0	75.9	89	95	93.38	1.62	0.0123
1675	75.9	89.9	95	92.3	2.7	0.0132
2790	76.2	90	94.82	91.04	3.78	0.0155
3910	76.2	91.2	95	89.78	5.22	0.0157
5026	74.5	91.6	95	89.24	5.76	0.0178
5585	79.4	92.5	94.82	87.98	6.84	0.018

ระยะการตกของน้ำ 60 cm.

Q_{AIR}(cfm)	Inlet R.H.%	Outlet R.H.%	Inlet(องศาF) T_{WATER}	outlet(องศาF) T_{WATER}	ΔT	make up water(m^3)
0	78.8	89.3	95.18	93.2	1.98	0.013
1675	76.2	90.2	95	91.94	3.06	0.0132
2790	78.8	90.9	95	90.68	4.32	0.0162
3910	76.6	91.9	95.18	89.6	5.58	0.017
5026	74.8	92.5	94.82	88.52	6.3	0.0187
5585	74.5	93	94.64	86.9	7.74	0.022

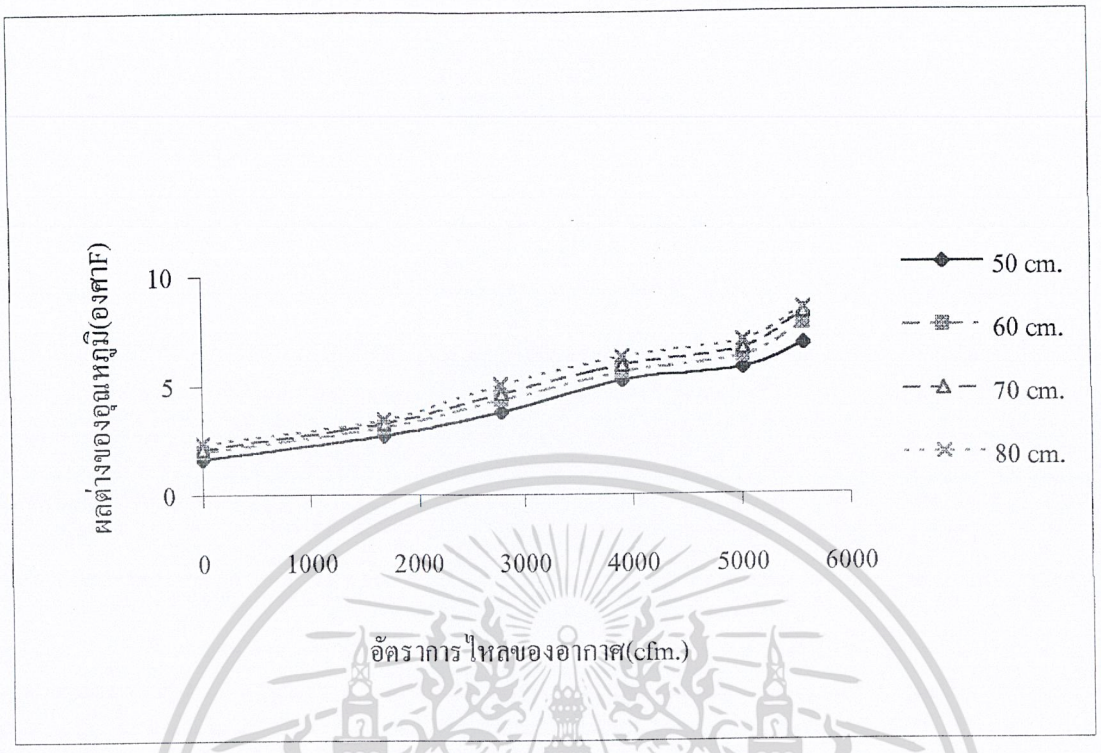
ระยะการตกของน้ำ 70 cm.

Q_{AIR}(cfm)	Inlet R.H.%	Outlet R.H.%	Inlet(องศาF) T_{WATER}	outlet(องศาF) T_{WATER}	ΔT	make up water(m^3)
0	77.2	90	95.12	93.02	2.1	0.0132
1675	79.4	90.9	95.36	92.12	3.24	0.0135
2790	74.5	91.5	95.48	90.86	4.62	0.0164
3910	71.7	92.2	95.7	89.78	5.92	0.0172
5026	73.8	93	94.64	87.98	6.66	0.0189
5585	74.5	93.6	94.64	86.36	8.28	0.024

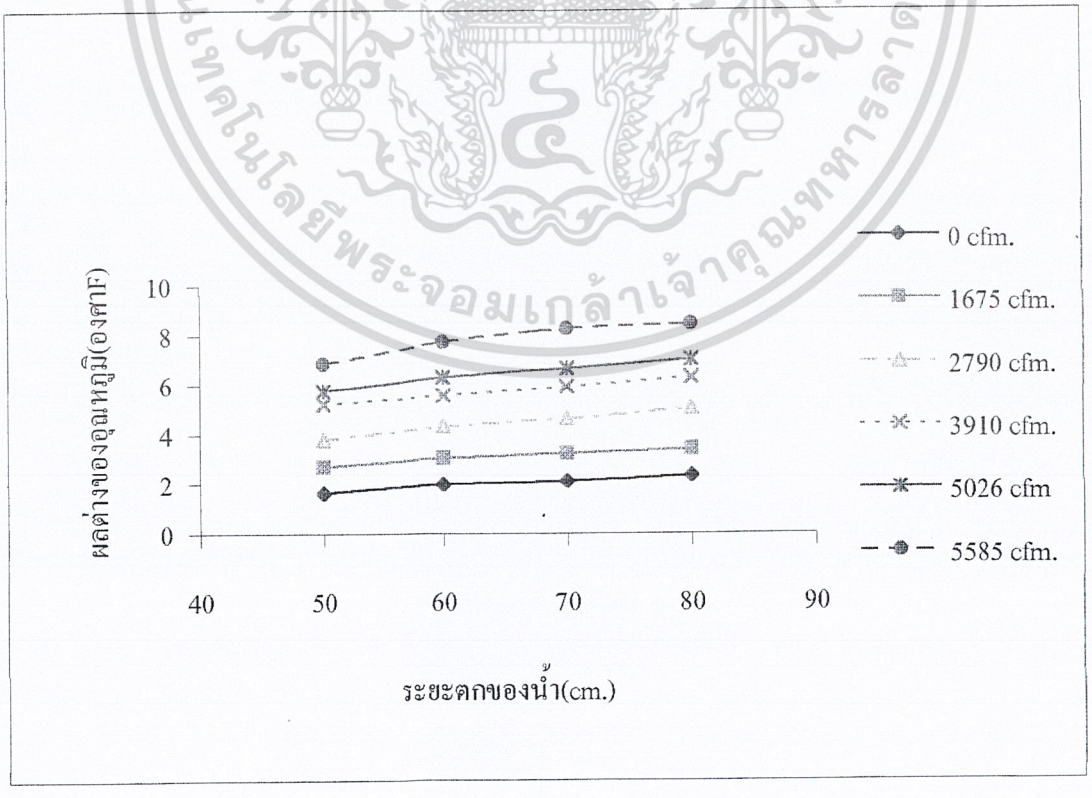
ระยะการตกของน้ำ 80 cm.

Q_{AIR}(cfm)	Inlet R.H.%	Outlet R.H.%	Inlet(องศาF) T_{WATER}	outlet(องศาF) T_{WATER}	ΔT	make up water(m^3)
0	79.4	90.1	95.18	92.84	2.34	0.0132
1675	74.8	91.3	95	91.58	3.42	0.0155
2790	78.5	92	95	89.96	5.04	0.0166
3910	72.5	92.9	95.36	89.06	6.3	0.0176
5026	72.5	94	95	87.98	7.02	0.019
5585	75.5	95	95	86.54	8.46	0.024

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

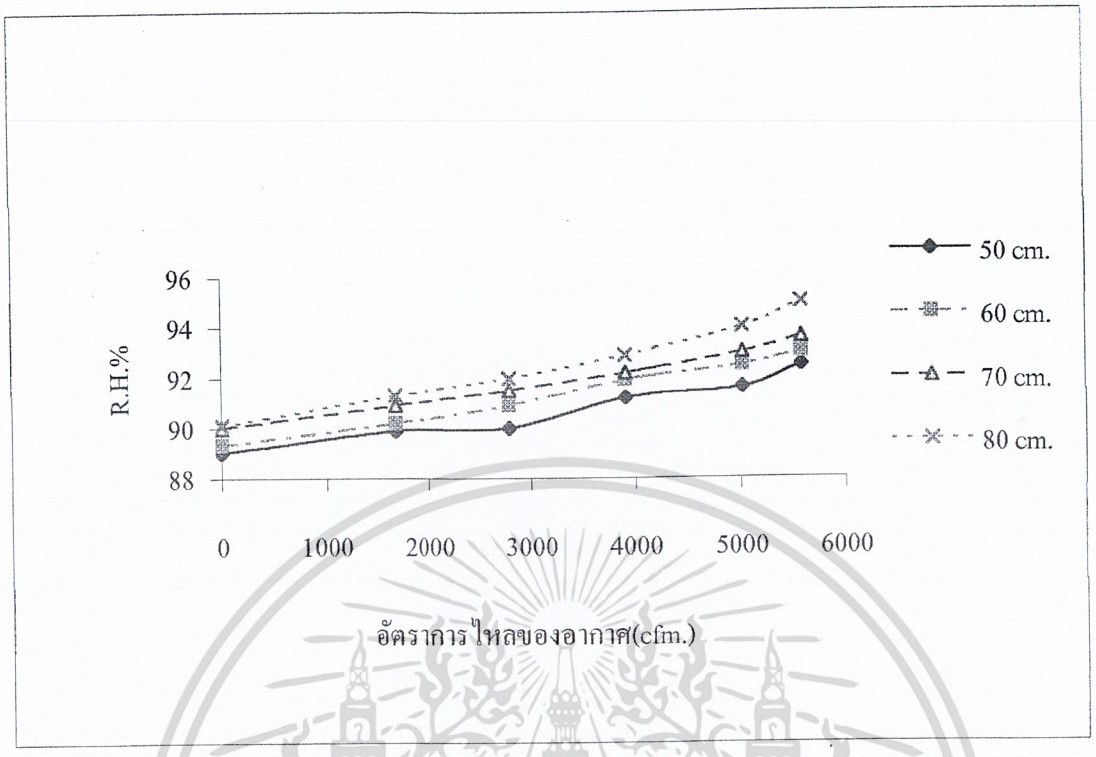


กราฟที่ 6-2-1 ความสัมพันธ์ระหว่าง cfm. - Δ T

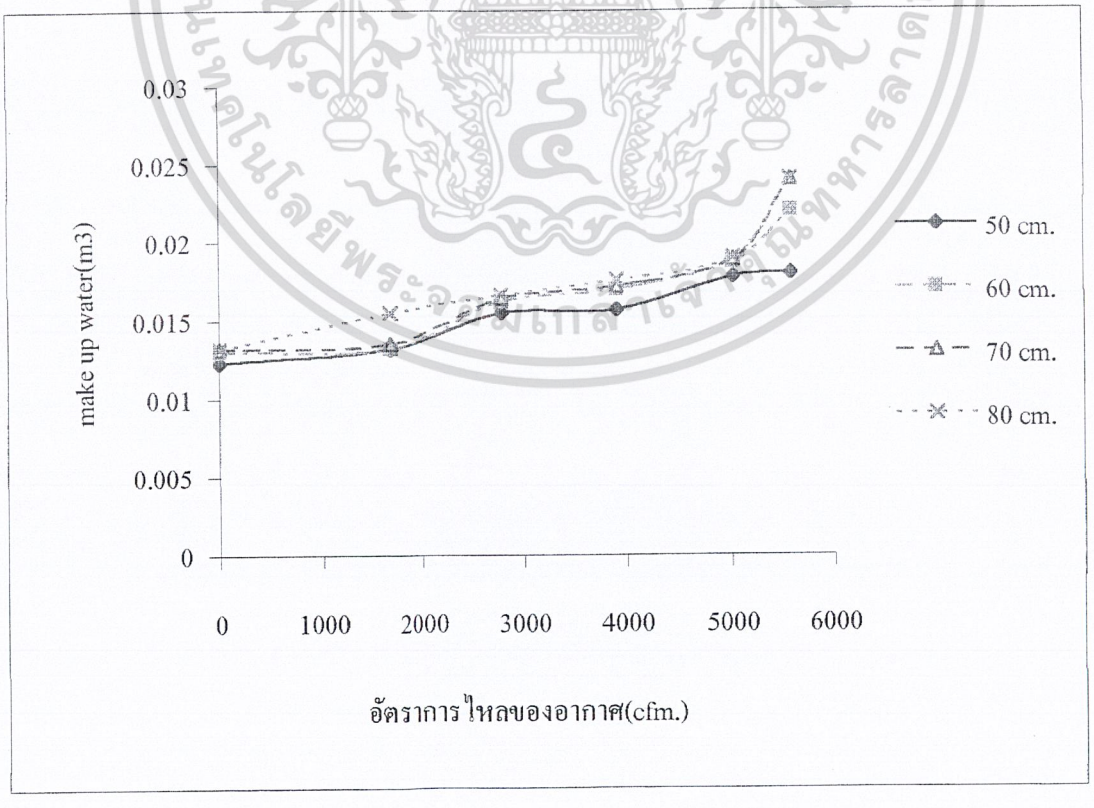


กราฟที่ 6-2-2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะตกของน้ำ - Δ T

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 6-2-3 ความสัมพันธ์ระหว่าง cfm.- R.H.%(Outlet)



กราฟที่ 6-2-4 ความสัมพันธ์ระหว่าง cfm.- make up water(m^3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองโดยระบบปรับด้วยมือครั้งที่ 3

ระยะการตกของน้ำ 50 cm.

Q_{AIR}(cfm)	Inlet R.H.%	Outlet R.H.%	Inlet(องศาF) T_{WATER}	outlet(องศาF) T_{WATER}	ΔT	make up water(m^3)
0	80.4	88.9	95	93.1	1.9	0.012
1675	84.8	90.4	94.82	91.6	3.22	0.013
2790	85.1	92.4	95	90.2	4.8	0.014
3910	84.8	93.7	94.64	89.1	5.54	0.0163
5026	84.8	94.4	94.64	88.6	6.04	0.018
5585	84.8	96	95	87.9	7.1	0.0185

ระยะการตกของน้ำ 60 cm.

Q_{AIR}(cfm)	Inlet R.H.%	Outlet R.H.%	Inlet(องศาF) T_{WATER}	outlet(องศาF) T_{WATER}	ΔT	make up water(m^3)
0	87.9	89.8	95	93	2	0.013
1675	74.8	92.4	94.86	91.3	3.56	0.013
2790	78.9	93	95.12	90	5.12	0.0143
3910	74.8	94	95	88.9	6.1	0.0166
5026	79.9	94.9	95	88.3	6.7	0.018
5585	79.9	96.2	95.48	87.8	7.68	0.0188

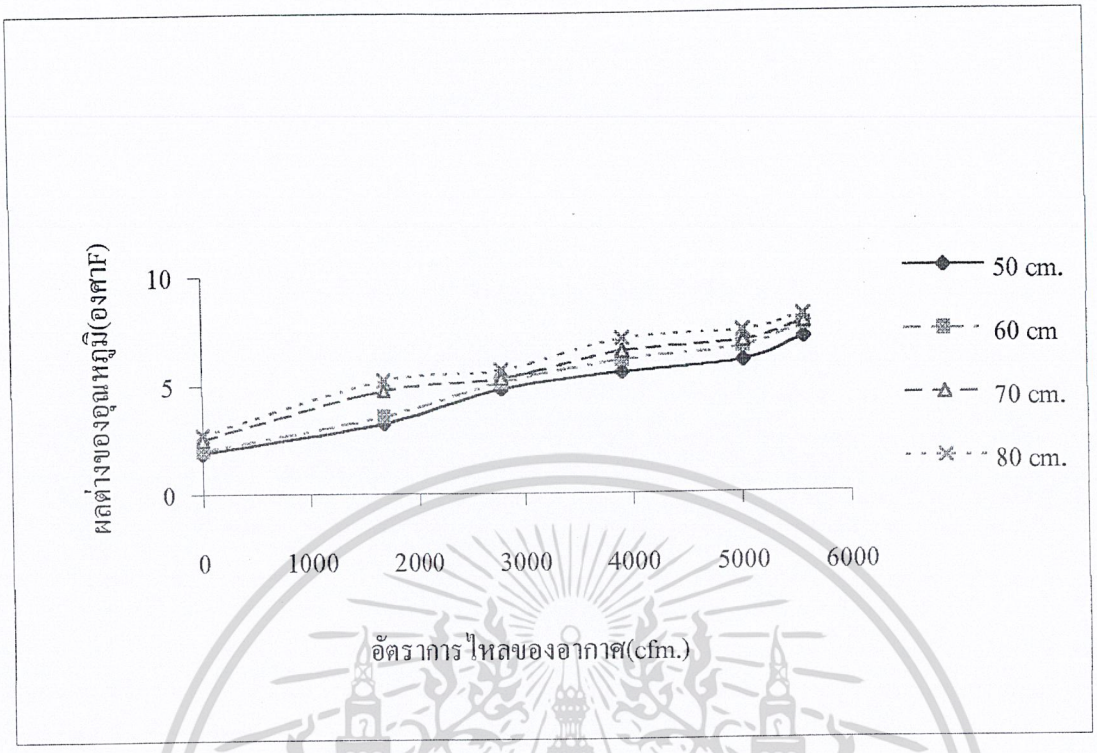
ระยะการตกของน้ำ 70 cm.

Q_{AIR}(cfm)	Inlet R.H.%	Outlet R.H.%	Inlet(องศาF) T_{WATER}	outlet(องศาF) T_{WATER}	ΔT	make up water(m^3)
0	80.2	90.4	95	92.5	2.5	0.013
1675	82.9	92.8	94.64	89.9	4.74	0.0132
2790	82.2	93.8	95	89.7	5.3	0.0143
3910	77.9	94.7	95	88.5	6.5	0.0168
5026	82	95.1	94.96	88	6.96	0.0185
5585	82.2	96.9	95	87.2	7.8	0.0189

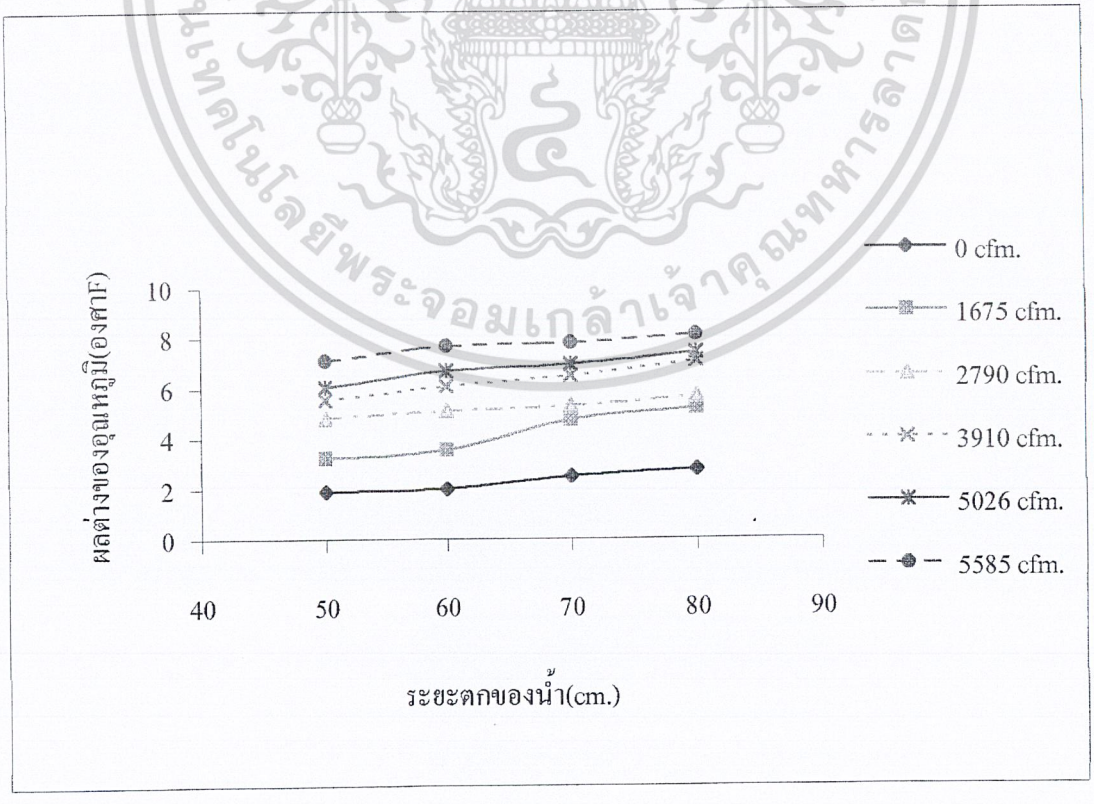
ระยะการตกของน้ำ 80 cm.

Q_{AIR}(cfm)	Inlet R.H.%	Outlet R.H.%	Inlet(องศาF) T_{WATER}	outlet(องศาF) T_{WATER}	ΔT	make up water(m^3)
0	85.6	91	94.84	92.1	2.74	0.0132
1675	79.1	93	95.48	89.8	5.68	0.0134
2790	79	95	94.64	89.4	5.24	0.0145
3910	82.5	95.3	95.18	88.1	7.08	0.017
5026	82.5	95.9	95	87.6	7.4	0.0187
5585	82.2	97.1	95	86.9	8.1	0.019

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

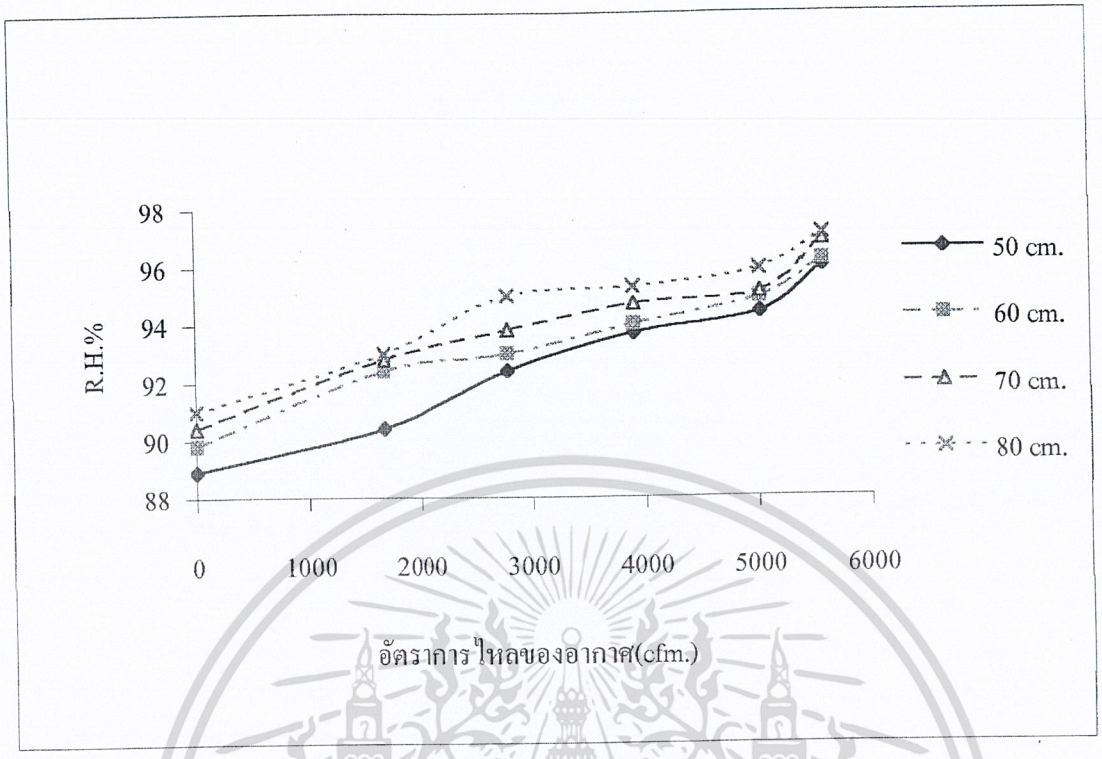


กราฟที่ 6-3-1 ความสัมพันธ์ระหว่าง cfm. - Δ T

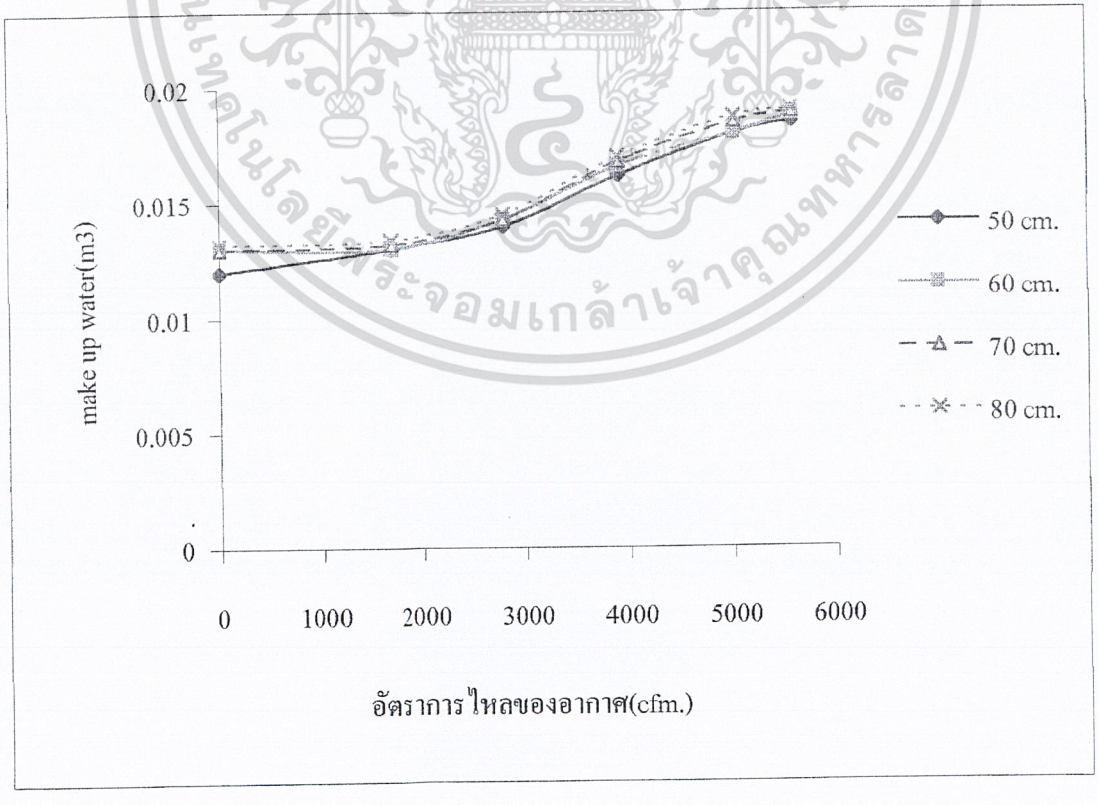


กราฟที่ 6-3-2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะตกของน้ำ - Δ T

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 6-3-3 ความสัมพันธ์ระหว่าง cfm.- R.H.%(Outlet)



กราฟที่ 6-3-4 ความสัมพันธ์ระหว่าง cfm.- make up water(m^3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองโดยระบบปรับด้วยมือครั้งที่ 4

ระยะการตกของน้ำ 50 cm.

Q_{AIR}(cfm)	Inlet R.H.%	Outlet R.H.%	Inlet(องศาF) T_{WATER}	outlet(องศาF) T_{WATER}	ΔT	make up water(m^3)
0	75.6	90	95	93.2	1.8	0.013
1675	75.6	92	95.18	92.48	2.7	0.0134
2790	75.8	93.1	95	89.42	5.58	0.0142
3910	79.5	94.5	95	87.8	7.2	0.0167
5026	76.7	95.8	95	85.82	9.18	0.0178
5585	72.3	97	94.46	85.1	9.36	0.0189

ระยะการตกของน้ำ 60 cm.

Q_{AIR}(cfm)	Inlet R.H.%	Outlet R.H.%	Inlet(องศาF) T_{WATER}	outlet(องศาF) T_{WATER}	ΔT	make up water(m^3)
0	79.2	90.2	94.48	92.48	2	0.0131
1675	72.3	92.1	94.24	91.22	3.02	0.0135
2790	79.5	93.5	94.82	89.24	5.58	0.0144
3910	72.3	94.9	95	87.62	7.38	0.017
5026	76.1	96	94.68	85.46	9.22	0.0188
5585	79.2	97.3	94.86	85.46	9.4	0.019

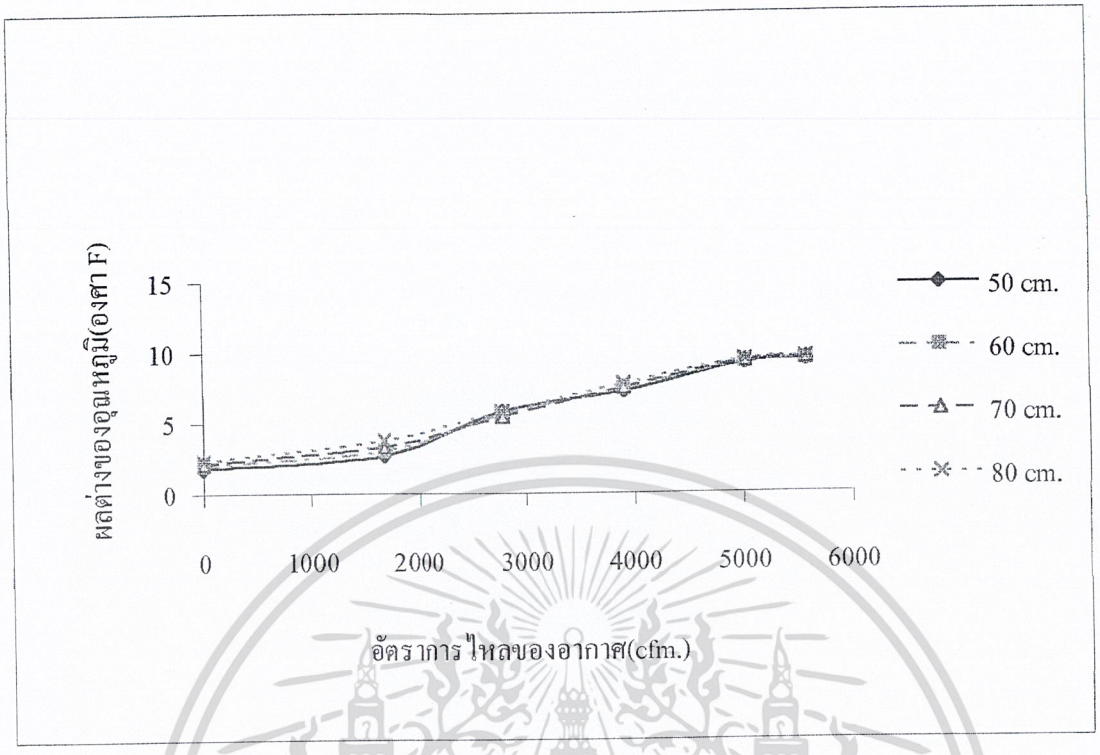
ระยะการตกของน้ำ 70 cm.

Q_{AIR}(cfm)	Inlet R.H.%	Outlet R.H.%	Inlet(องศาF) T_{WATER}	outlet(องศาF) T_{WATER}	ΔT	make up water(m^3)
0	79.2	90.4	95	92.84	2.16	0.0132
1675	79.2	92.2	94.54	91.22	3.32	0.0137
2790	78.2	93.8	94.82	89.42	5.4	0.0146
3910	76.1	95	94.2	86.72	7.48	0.0177
5026	75.1	96.3	95.12	85.82	9.3	0.0189
5585	78.1	97.4	94.96	85.46	9.5	0.0198

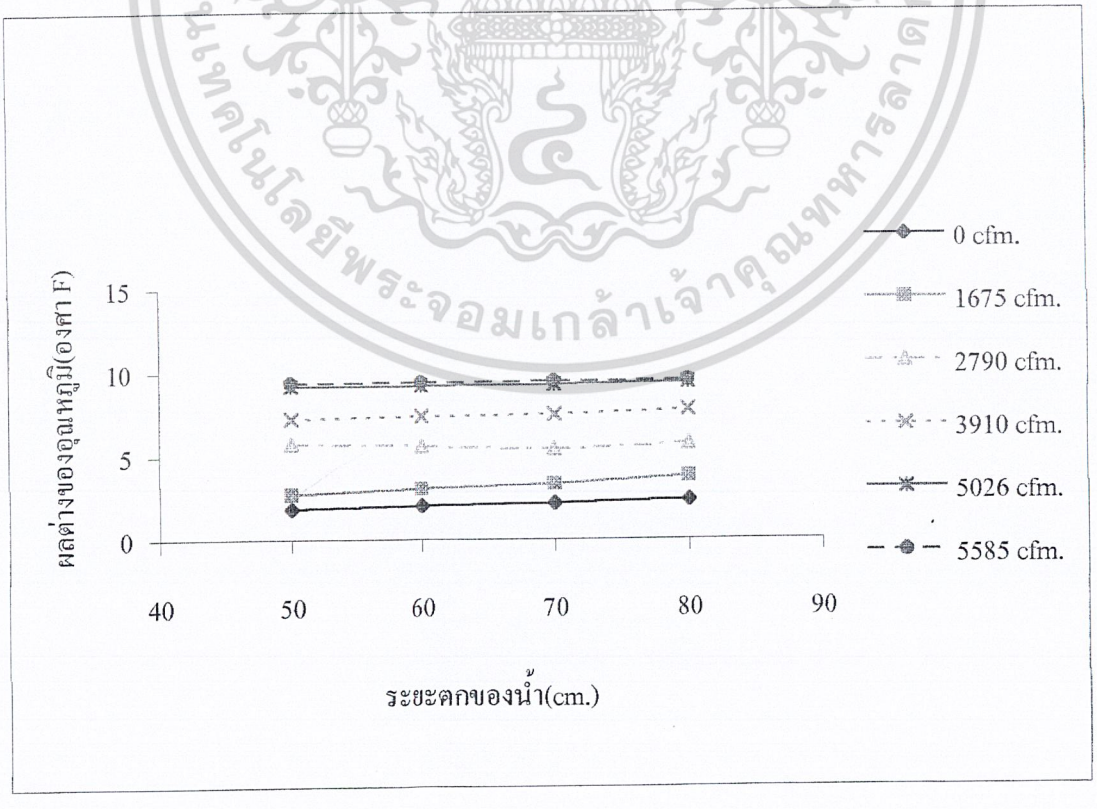
ระยะการตกของน้ำ 80 cm.

Q_{AIR}(cfm)	Inlet R.H.%	Outlet R.H.%	Inlet(องศาF) T_{WATER}	outlet(องศาF) T_{WATER}	ΔT	make up water(m^3)
0	72.1	90.6	95	92.66	2.34	0.0134
1675	71.8	92.4	94.82	91.04	3.78	0.0139
2790	72.1	93.9	95	89.24	5.76	0.015
3910	72.2	95.3	95	87.26	7.74	0.0178
5026	72.1	96.9	95.24	85.82	9.42	0.019
5585	71.8	98	94.82	85.28	9.54	0.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

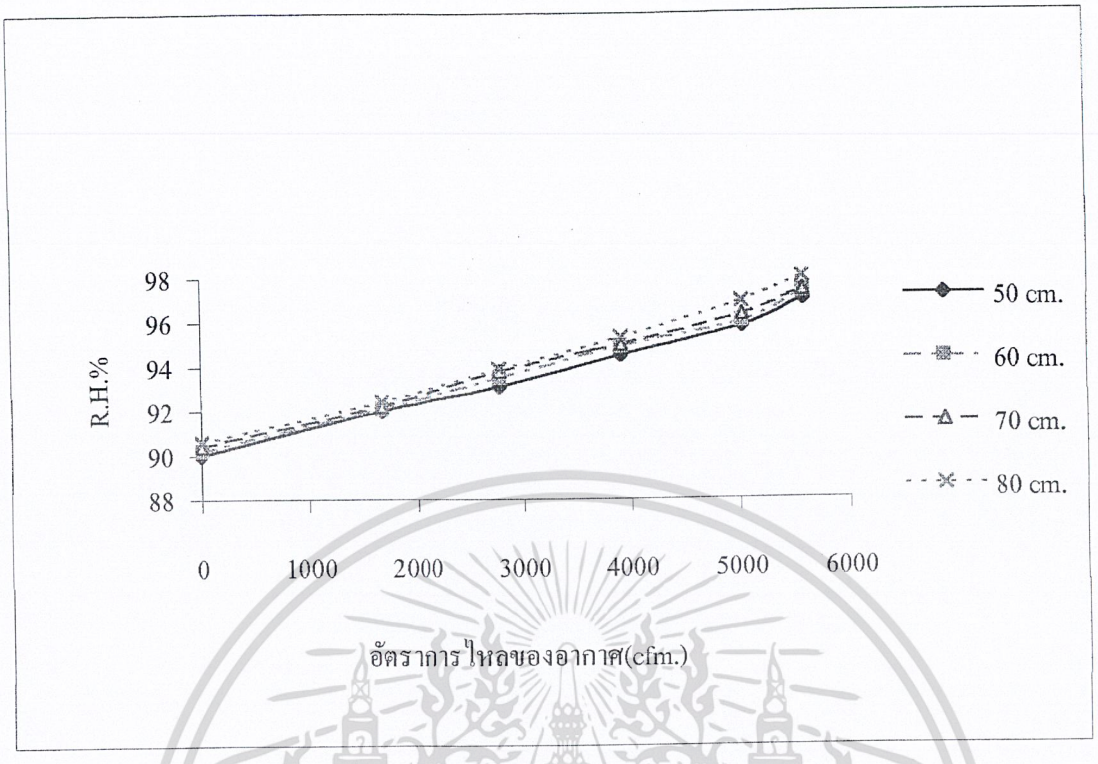


กราฟที่ 6-4-1 ความสัมพันธ์ระหว่าง cfm. - Δ T

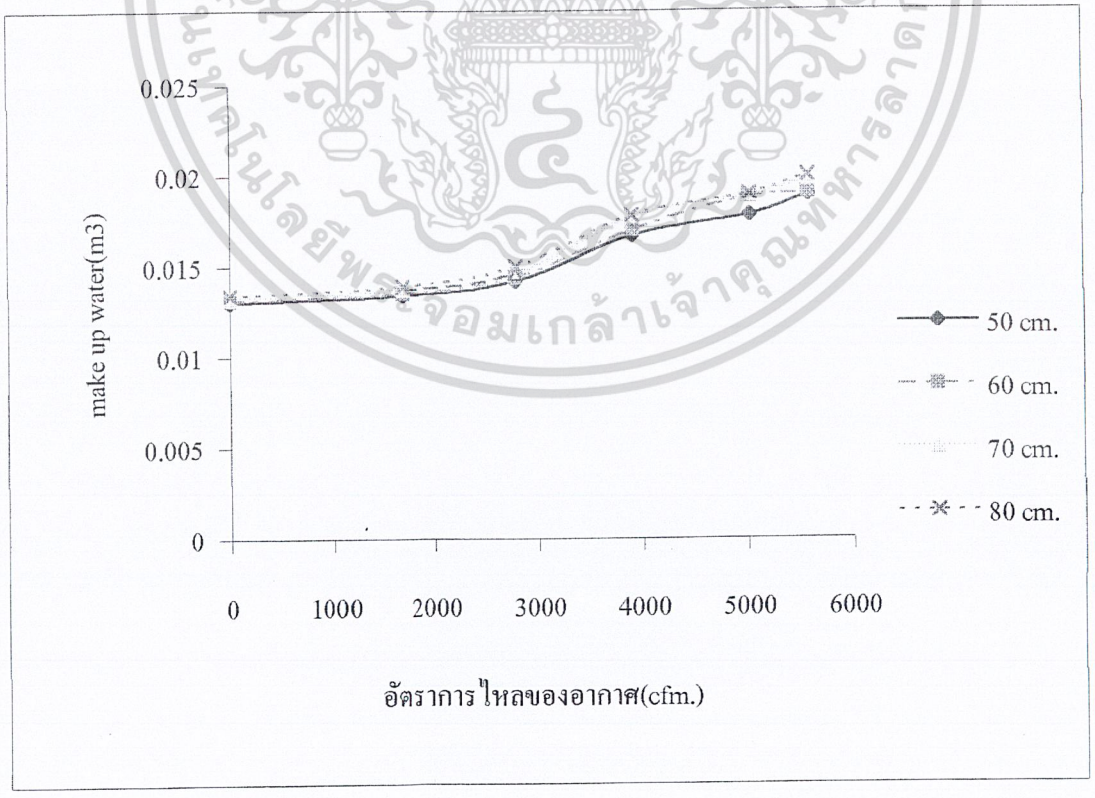


กราฟที่ 6-4-2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะตกของน้ำ - Δ T

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 6-4-3 ความสัมพันธ์ระหว่าง cfm.- R.H.%(Outlet)



กราฟที่ 6-4-4 ความสัมพันธ์ระหว่าง cfm.- make up water(m^3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองโดยระบบปรับด้วยมือครั้งที่ 5

ระยะการตกของน้ำ 50 cm.

Q_{AIR}(cfm)	Inlet R.H.%	Outlet R.H.%	Inlet(องศาF) T_{WATER}	outlet(องศาF) T_{WATER}	ΔT	make up water(m^3)
0	80.2	89.9	95.18	93.38	1.8	0.0132
1675	82.2	90.3	94.72	91.22	3.5	0.0135
2790	80.2	92	94.82	87.98	6.84	0.0155
3910	82.4	93.5	94.82	86.9	7.92	0.0168
5026	81.6	95	94.82	85.64	9.18	0.0185
5585	80.1	96.4	94.28	84.74	9.54	0.0189

ระยะการตกของน้ำ 60 cm.

Q_{AIR}(cfm)	Inlet R.H.%	Outlet R.H.%	Inlet(องศาF) T_{WATER}	outlet(องศาF) T_{WATER}	ΔT	make up water(m^3)
0	81.5	90	95	93.02	1.98	0.0132
1675	82.5	91.1	94.82	91.22	3.6	0.0137
2790	82.2	92.3	94.82	87.62	7.2	0.0166
3910	80.3	93.9	95	86.9	8.1	0.0178
5026	82.1	95.8	94.54	85.28	9.26	0.0187
5585	79.9	97	94.82	84.02	10.8	0.0195

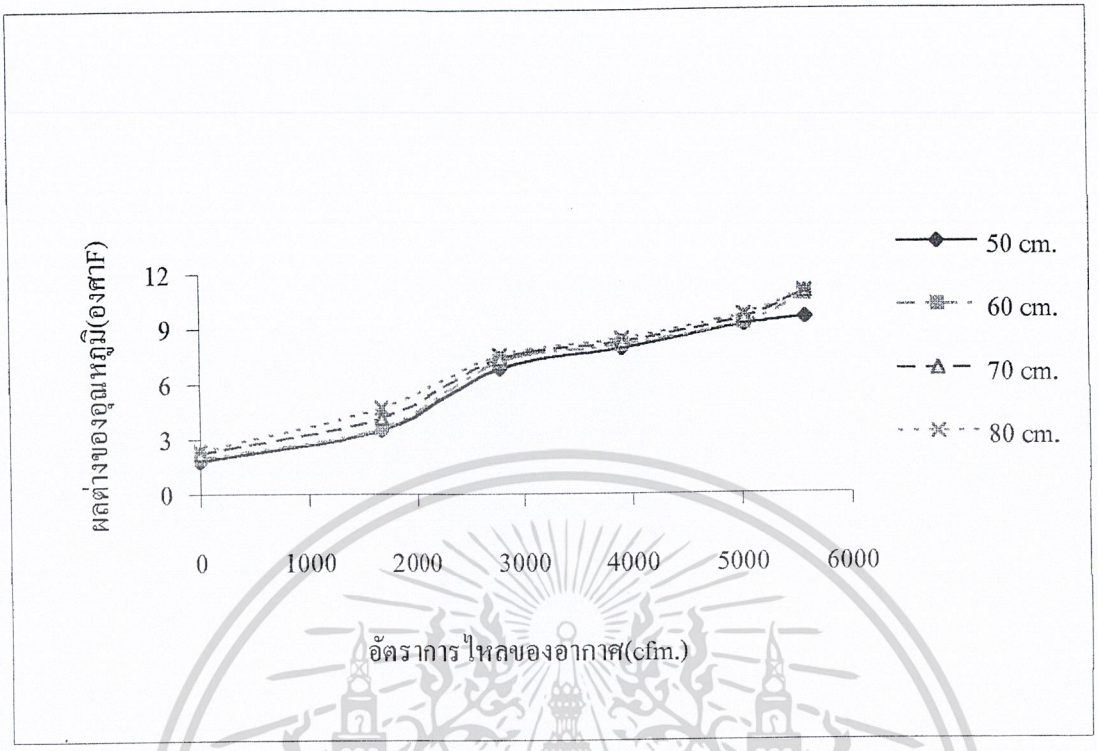
ระยะการตกของน้ำ 70 cm.

Q_{AIR}(cfm)	Inlet R.H.%	Outlet R.H.%	Inlet(องศาF) T_{WATER}	outlet(องศาF) T_{WATER}	ΔT	make up water(m^3)
0	79.8	90.3	94.86	92.66	2.2	0.013
1675	80.2	91.6	94.82	90.68	4.14	0.0138
2790	80.1	93	94.82	87.44	7.38	0.0168
3910	82.2	94.1	95	86.72	8.28	0.0189
5026	81.1	96.2	95	85.46	9.54	0.0188
5585	79.8	97.3	95	84.02	10.98	0.0198

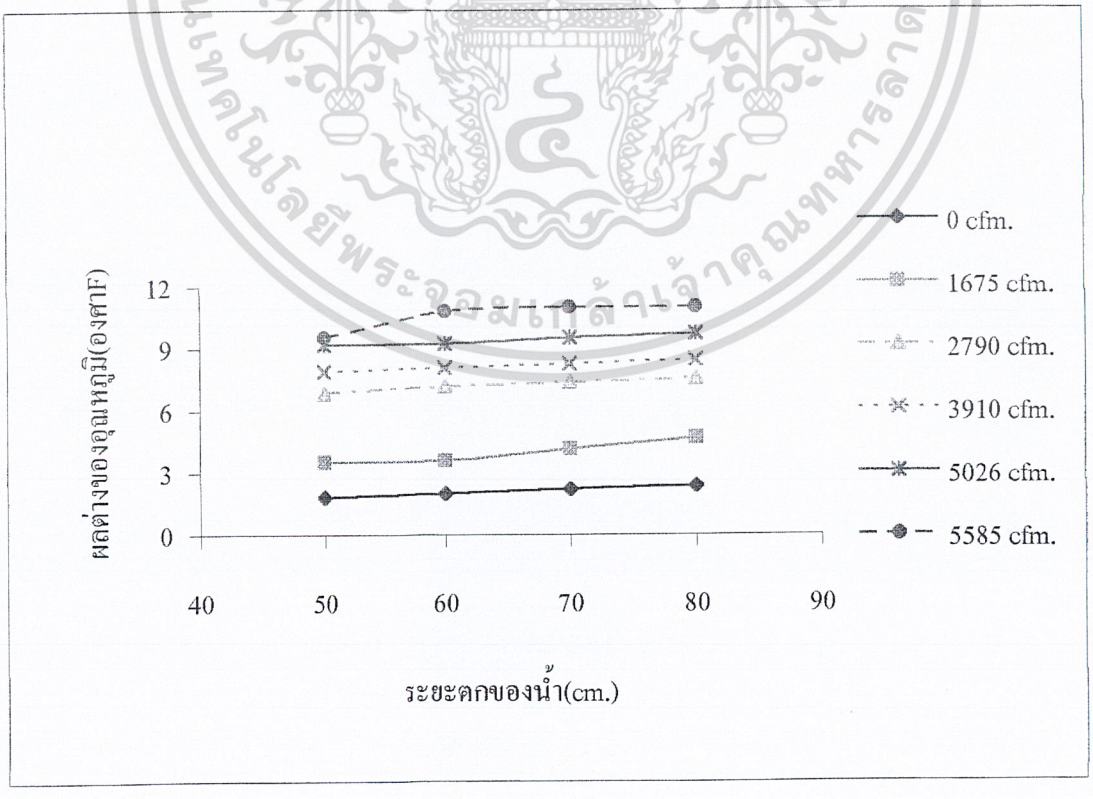
ระยะการตกของน้ำ 80 cm.

Q_{AIR}(cfm)	Inlet R.H.%	Outlet R.H.%	Inlet(องศาF) T_{WATER}	outlet(องศาF) T_{WATER}	ΔT	make up water(m^3)
0	82.2	90.7	95.18	92.84	2.34	0.0133
1675	83.2	92	95.18	90.5	4.68	0.0142
2790	81.2	93.6	94.82	87.26	7.56	0.017
3910	80.2	94.5	95.18	86.72	8.46	0.0191
5026	79.9	96.9	95	85.28	9.72	0.019
5585	83.4	97.6	96	85	11	0.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

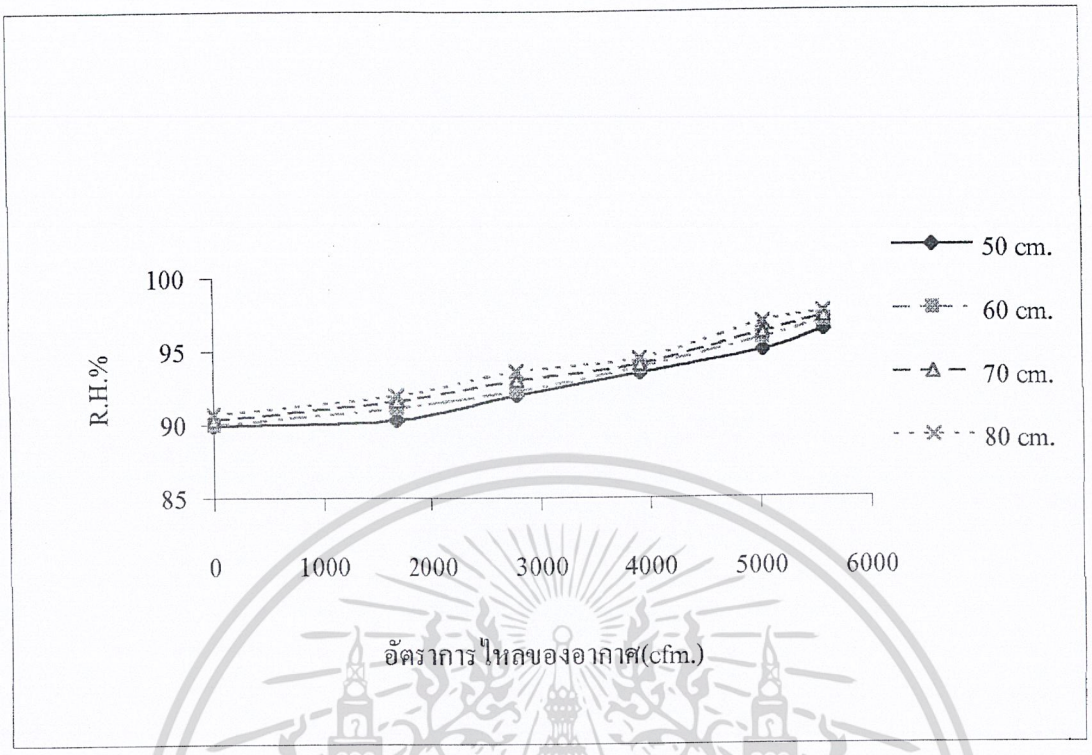


กราฟที่ 6-5-1 ความสัมพันธ์ระหว่าง cfm. - Δ T

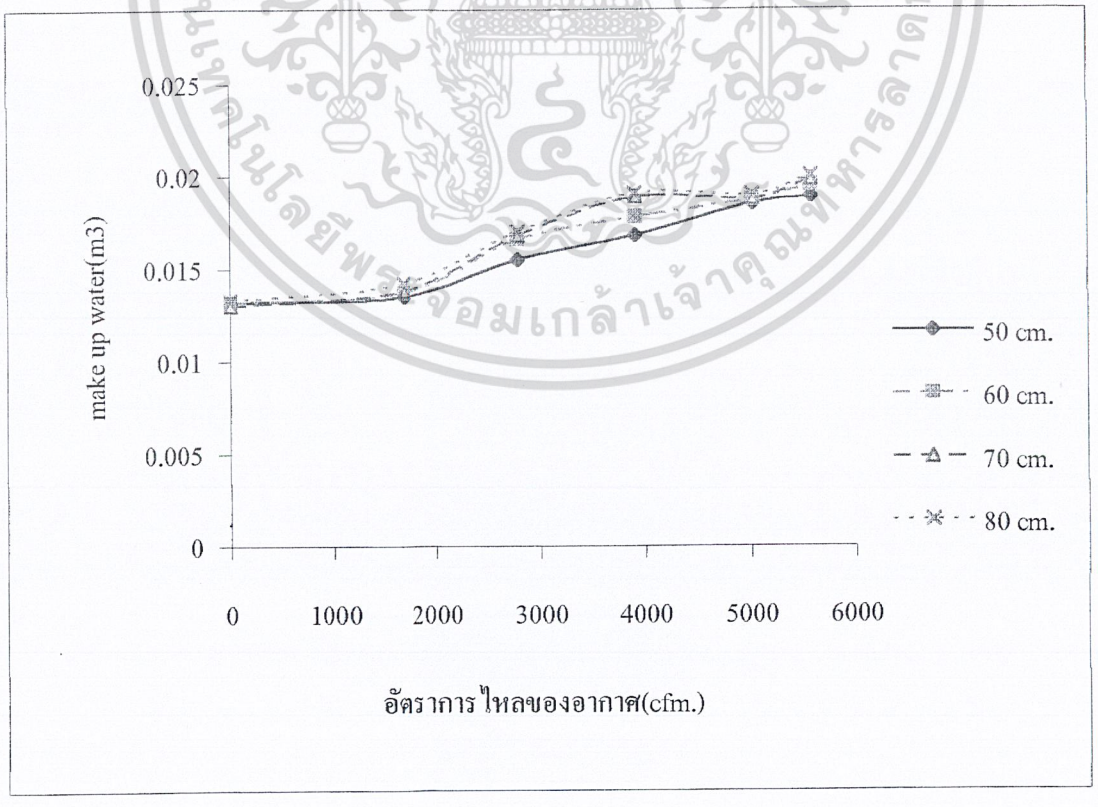


กราฟที่ 6-5-2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะตกของน้ำ - Δ T

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 6-5-3 ความสัมพันธ์ระหว่าง cfm.- R.H.%(Outlet)



กราฟที่ 6-5-4 ความสัมพันธ์ระหว่าง cfm.- make up water(m^3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองโดยระบบปรับด้วยมือครั้งที่ 6

ระยะการตกของน้ำ 50 cm.

Q_{AIR}(cfm)	Inlet R.H.%	Outlet R.H.%	Inlet(องศาF) T_{WATER}	outlet(องศาF) T_{WATER}	ΔT	make up water(m^3)
0	71.7	89	95.18	92.84	2.34	0.0123
1675	73.4	90.3	95	91.22	3.78	0.0133
2790	75.6	92	95	88.52	6.48	0.0159
3910	73.9	93.4	94.82	86.9	7.92	0.0166
5026	71.7	96	94.2	84.2	10	0.0178
5585	71.7	96.5	94.56	84.02	10.54	0.0185

ระยะการตกของน้ำ 60 cm.

Q_{AIR}(cfm)	Inlet R.H.%	Outlet R.H.%	Inlet(องศาF) T_{WATER}	outlet(องศาF) T_{WATER}	ΔT	make up water(m^3)
0	75.4	89.4	95	92.66	2.34	0.0126
1675	77.6	90.5	94.82	90.86	3.96	0.014
2790	78.6	92.1	94.64	89.42	5.22	0.0162
3910	76.7	93.8	95	86.9	8.1	0.0168
5026	74.3	95.5	94.82	85.28	9.54	0.018
5585	75.2	96.8	94.58	84.02	10.56	0.0188

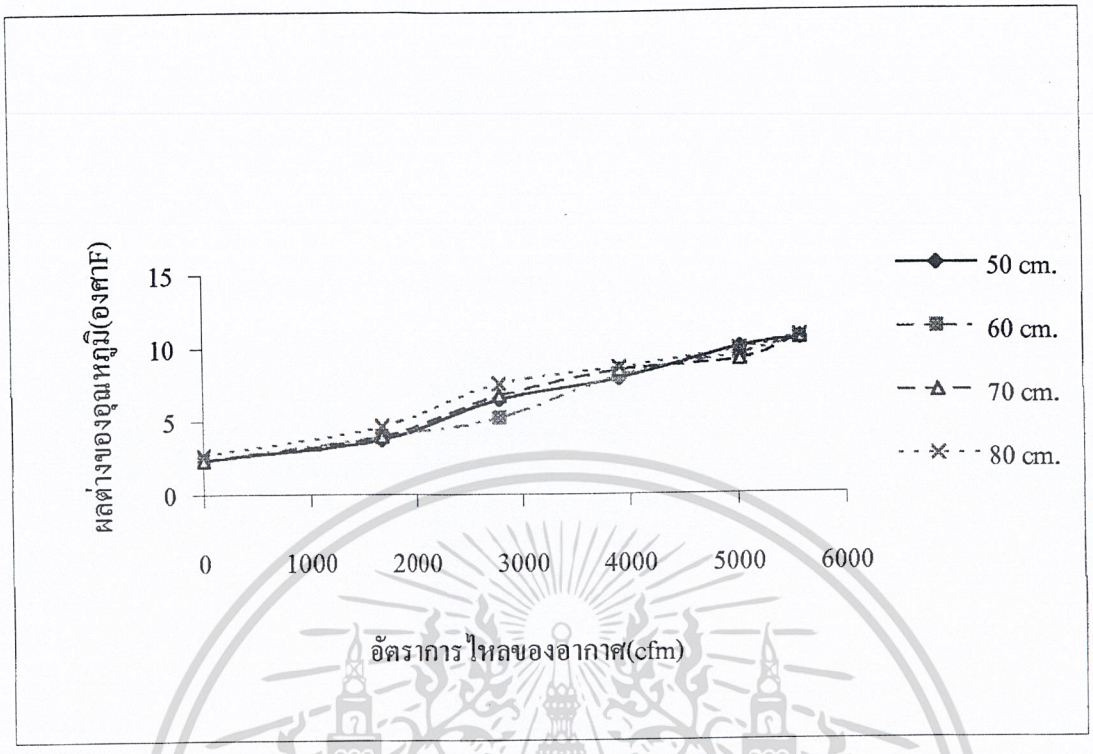
ระยะการตกของน้ำ 70 cm.

Q_{AIR}(cfm)	Inlet R.H.%	Outlet R.H.%	Inlet(องศาF) T_{WATER}	outlet(องศาF) T_{WATER}	ΔT	make up water(m^3)
0	76.7	89.5	95	92.66	2.34	0.0127
1675	75.6	90.6	94.64	90.68	3.96	0.0145
2790	76	92.3	94.2	87.44	6.76	0.0166
3910	76	94	95	86.54	8.46	0.0178
5026	75.2	93.5	94	85.64	8.36	0.0187
5585	75.2	97	94.64	84.02	10.62	0.019

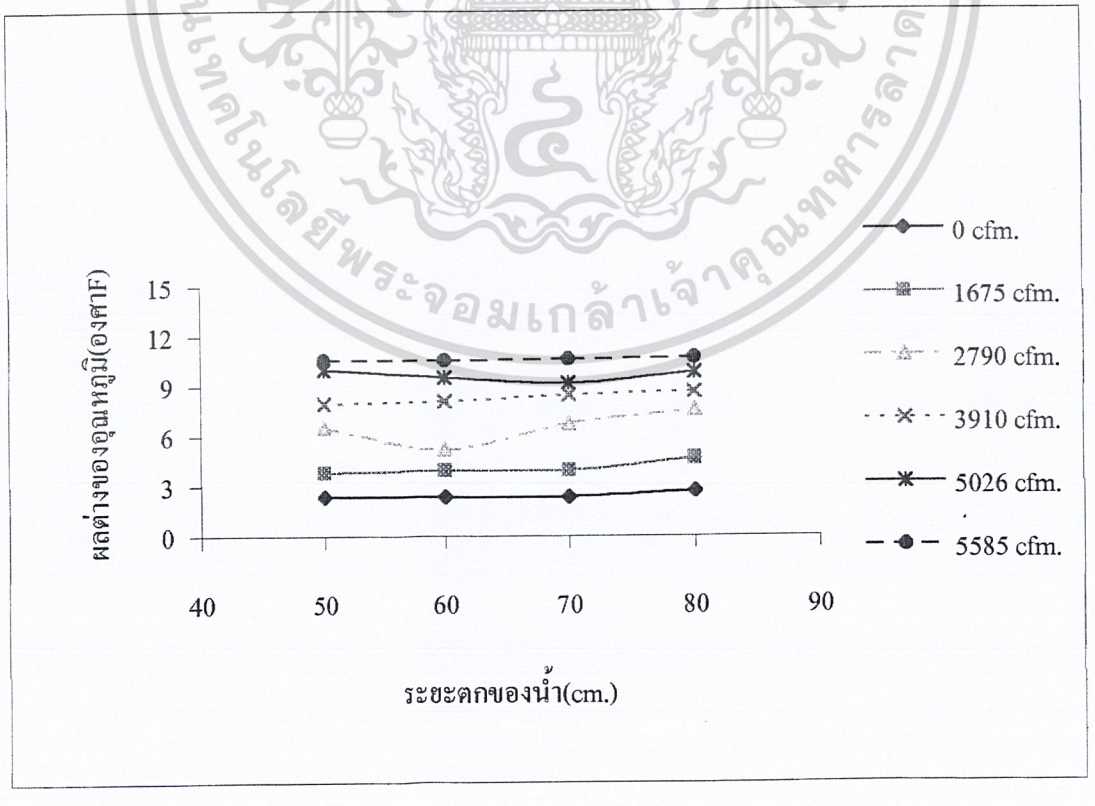
ระยะการตกของน้ำ 80 cm.

Q_{AIR}(cfm)	Inlet R.H.%	Outlet R.H.%	Inlet(องศาF) T_{WATER}	outlet(องศาF) T_{WATER}	ΔT	make up water(m^3)
0	75.8	89.9	95.18	92.48	2.7	0.013
1675	79	91	95.18	90.5	4.68	0.0147
2790	74.3	92.8	95.18	87.62	7.56	0.0169
3910	76.3	94.3	95	86.36	8.64	0.018
5026	76.2	96.1	95.48	85.64	9.84	0.0189
5585	74.3	97.3	96	85.28	10.72	0.0199

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

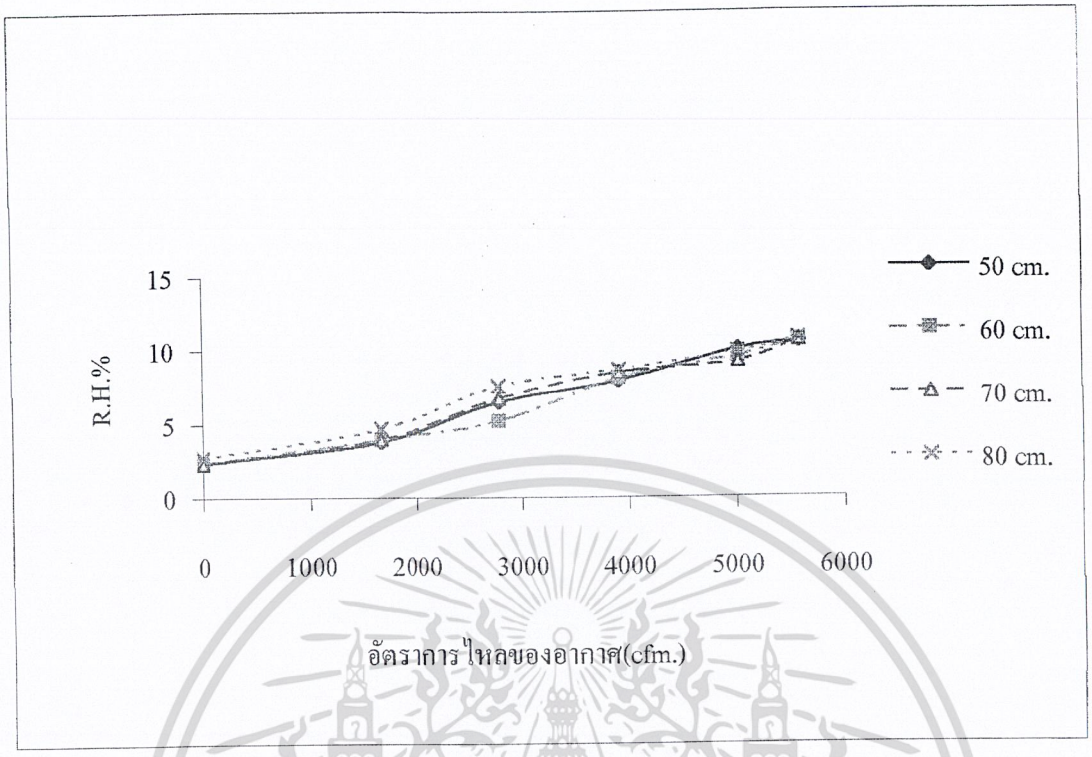


กราฟที่ 6-6-1 ความสัมพันธ์ระหว่าง cfm. - Δ T

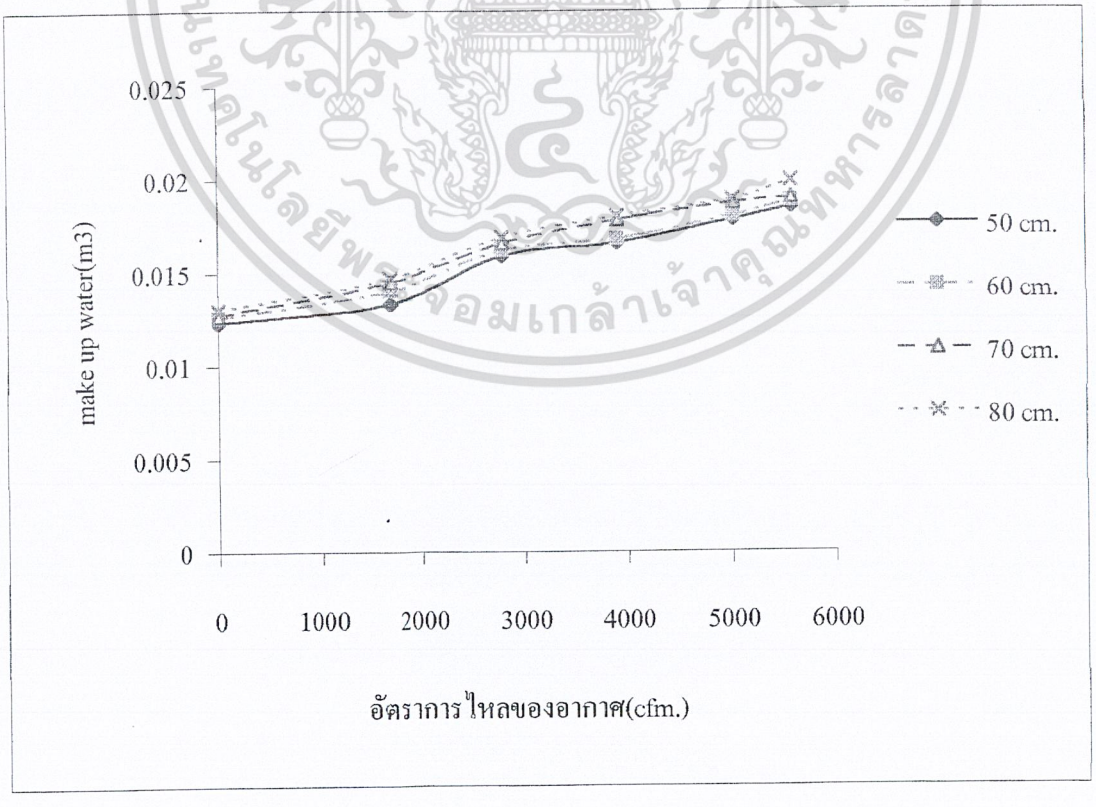


กราฟที่ 6-6-2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะตกของน้ำ - Δ T

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 6-6-3 ความสัมพันธ์ระหว่าง cfm.- R.H.%(Outlet)



กราฟที่ 6-6-4 ความสัมพันธ์ระหว่าง cfm.- make up water(m^3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1.1 การทดลองเพื่อหาค่าเปรียบเทียบกับเวลา

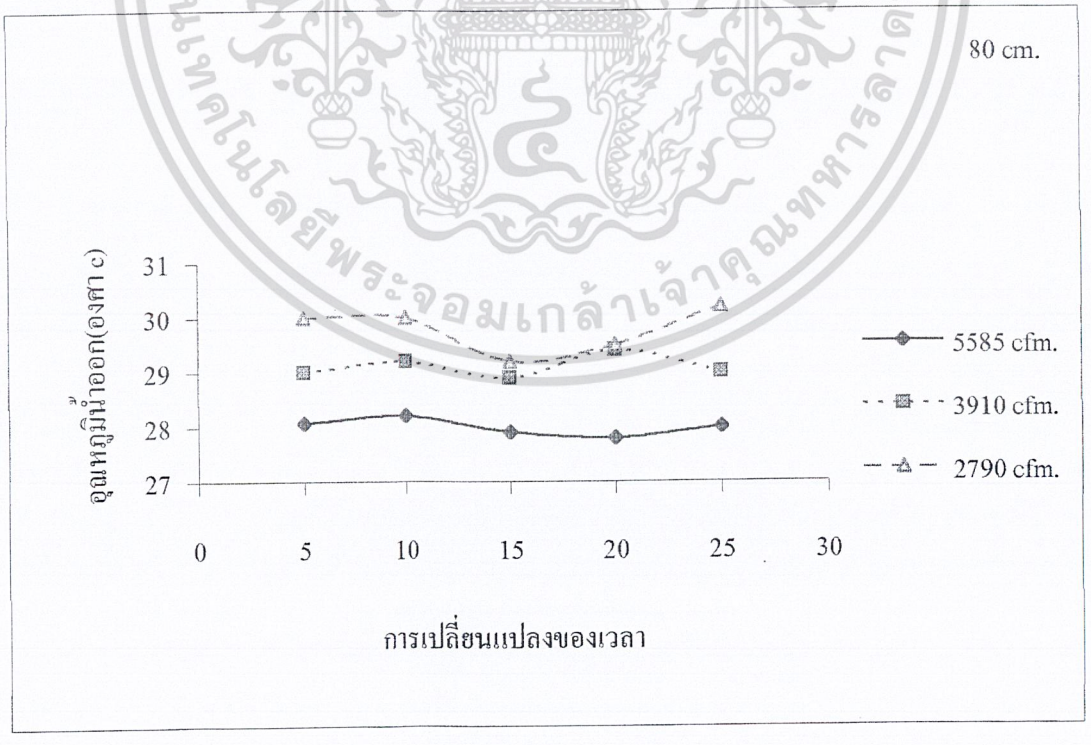
<u>การทดลองเพื่อหาค่าเปรียบเทียบกับเวลาครั้งที่ 1</u>

Q_{AIR} / ความสูง	5585 cfm.				
	Inlet	Outlet	Water		
	R.H.%	R.H.%	Inlet (องศาc)	Outlet(องศาc)	ΔT
80 cm.	80.2	96.8	34.61	28.06	6.55
	79.9	97	35	28.2	6.8
	81.1	97.1	35.06	27.9	7.16
	79.9	96.5	34.5	27.8	6.7
	80.2	96.8	34.72	28	6.72
65 cm.	83.2	92.3	35	29	6
	84.1	93.3	35.1	29.1	6
	82.2	91.1	34.57	28.67	5.9
	81.1	93.4	34.4	28.33	6.07
	80.1	93.6	35	28.84	6.16
50 cm.	82.2	90.2	35	30	5
	80.1	89.9	35.1	30.2	4.9
	80.1	91.2	35	29.4	5.6
	82.2	92.3	35	29.3	5.7
	79.8	90	35	29.5	5.5

Q_{AIR} / ความสูง	3910 cfm.				
	Inlet	Outlet	Water		
	R.H.%	R.H.%	Inlet (องศาc)	Outlet(องศาc)	ΔT
80 cm.	80.1	96.8	34.72	29	5.72
	80.2	97	35	29.2	5.8
	80.4	96.4	34.61	28.9	5.71
	81	96.1	35.05	29.4	5.65
	81.1	97.1	35.13	29	6.13
65 cm.	82.2	92.3	34.98	29.3	5.68
	83.1	93.3	35.06	29.51	5.55
	82.2	91.1	34.5	29.1	5.4
	81.1	93.1	35.07	29.6	5.47
	81.1	91.8	34	29	5
50 cm.	81.1	90.2	35	30.16	4.84
	82.1	89.9	35	30.5	4.5
	79.9	91.2	35	30	5
	82.2	91	35.61	31	4.61
	80.2	89.6	34.92	30.5	4.42

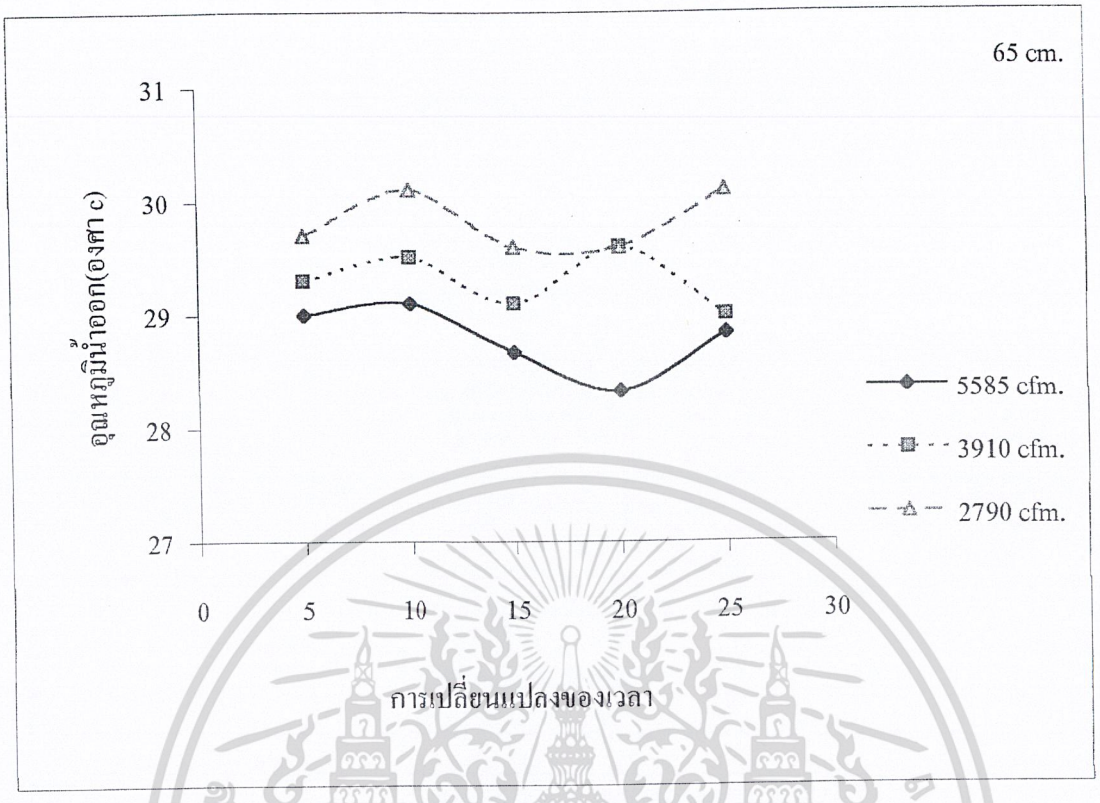
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Q_{AIR} / ความสูง	2790 cfm.				
	Inlet R.H.%	Outlet R.H.%	Water		
			Inlet (องศาc)	Outlet(องศาc)	ΔT
80 cm.	79.9	91	35	29.7	5.3
	79.9	89.9	34.72	30	4.72
	80.1	91.2	34.39	29.2	5.19
	79.9	89.6	34.2	29.5	4.7
	82.1	90	35	30.2	4.8
65 cm.	82.2	89.8	35	29.7	5.3
	81.1	89.9	34.2	30.1	4.1
	80.2	89.9	35	29.6	5.4
	81.1	89.2	35.33	29.6	5.73
	80.1	89	35.57	30.1	5.47
50 cm.	80.1	88.9	35	31.1	3.9
	82.3	89.1	35	31	4
	79.9	90.6	35.5	31.5	4
	79.8	90.9	35.5	31	4.5
	80.1	91.2	35.5	30.8	4.7

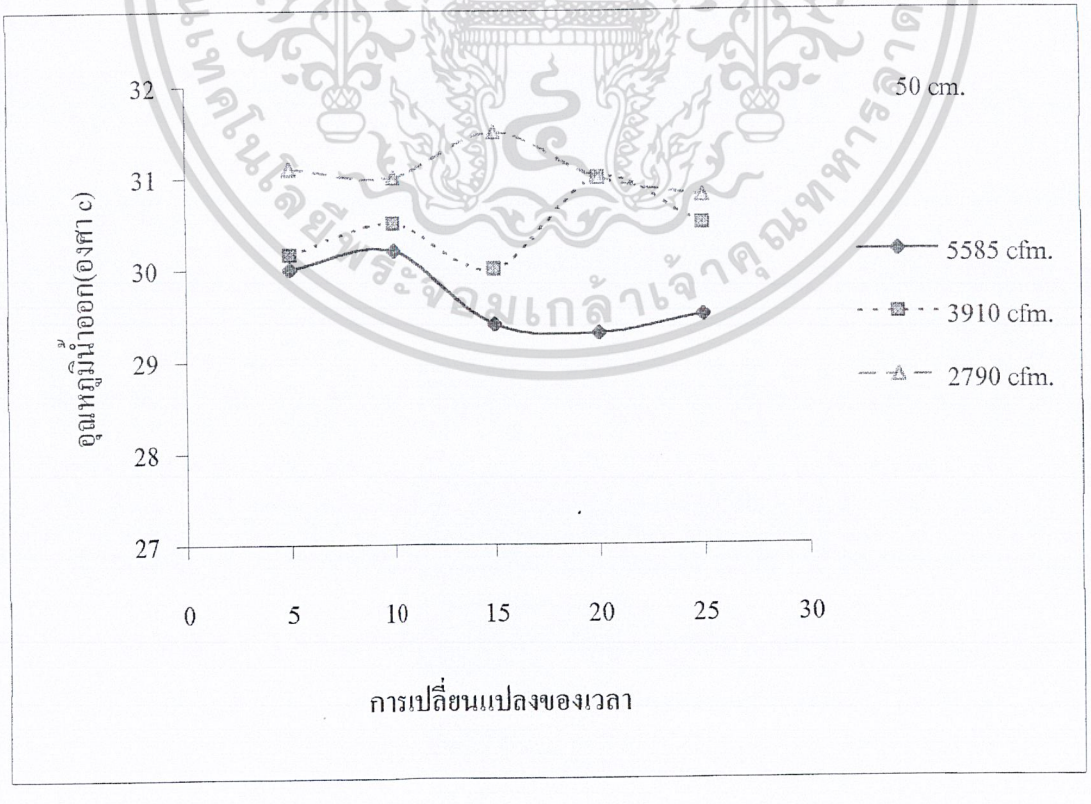


กราฟที่ 6-7-1 ความสัมพันธ์ระหว่าง ΔT - T_{outlet} (องศา c)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 6-7-2 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\Delta T - T_{outlet}$ (องศา c)



กราฟที่ 6-7-3 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\Delta T - T_{outlet}$ (องศา c)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

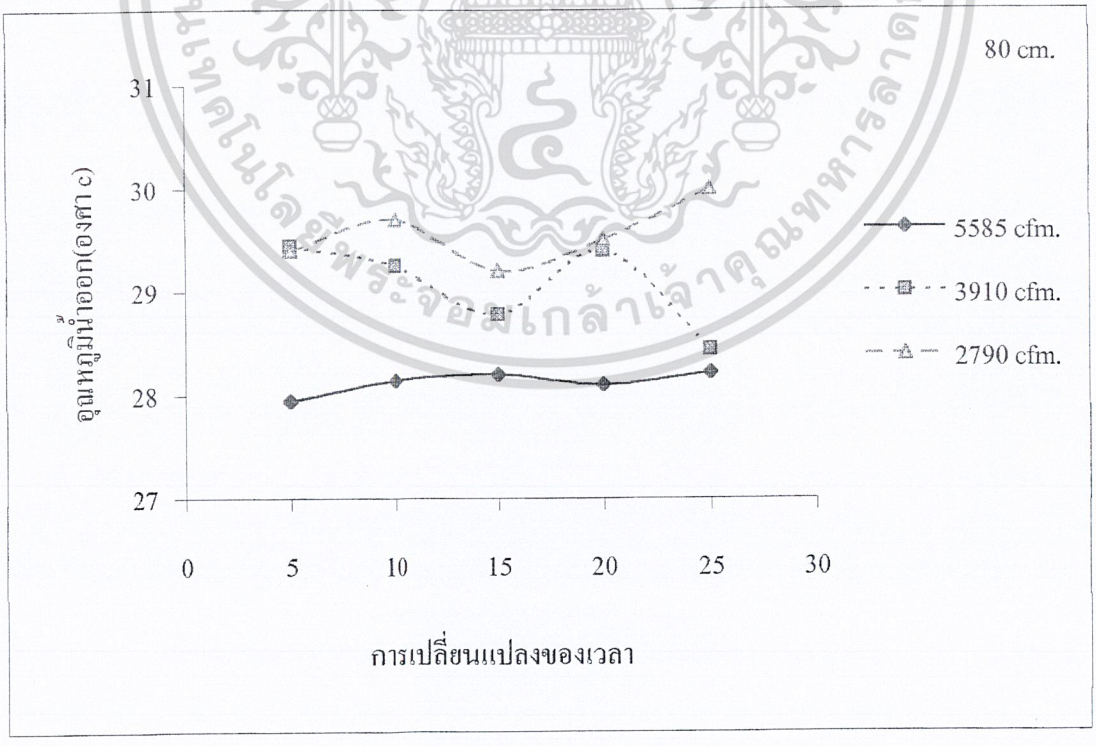
การทดลองเพื่อหาค่าเทียบกับเวลาครั้งที่ 2

Q_{AIR} / ความสูง	5585 cfm.				
	Inlet	Outlet	Water		
	R.H.%	R.H.%	Inlet (องศาc)	Outlet(องศาc)	ΔT
80 cm.	79.9	97	35	27.94	7.06
	81.1	96.8	34.82	28.14	6.68
	80.2	97.2	35	28.2	6.8
	79.9	97.1	35.05	28.1	6.95
	81.1	96.8	34.94	28.22	6.72
65 cm.	82.4	93.3	35	28.55	6.45
	80.5	92.3	35.11	28.89	6.22
	82.2	92.5	35	28.67	6.33
	80.1	93.4	35	28.4	6.6
	81.1	93.5	35	28.45	6.55
50 cm.	79.9	89.9	34.89	29.5	5.39
	82.5	91.2	35.11	29.9	5.21
	83.1	90.2	34.94	29.4	5.54
	82.2	91	35.12	29.3	5.82
	80.2	90	35.2	29.78	5.42

Q_{AIR} / ความสูง	3910 cfm.				
	Inlet	Outlet	Water		
	R.H.%	R.H.%	Inlet (องศาc)	Outlet(องศาc)	ΔT
80 cm.	80.2	96.8	34.99	29.44	5.55
	81.1	97	35.05	29.25	5.8
	80.4	96.4	34.5	28.78	5.72
	82.2	96.1	35.06	29.4	5.66
	83.1	97.1	34	28.44	5.56
65 cm.	81.1	92.3	35.22	30	5.22
	82.1	93.3	35.11	29.5	5.61
	79.9	91.1	35	30.11	4.89
	82.2	93.1	35.61	29.67	5.94
	80.2	91.8	34.92	29.72	5.2
50 cm.	83.1	90.2	34.72	30.13	4.59
	81.2	89.9	34.72	30.13	4.59
	81	91.2	34.78	30.4	4.38
	82.2	91	34.5	29.8	4.7
	81.1	89.6	34.33	30.6	3.73

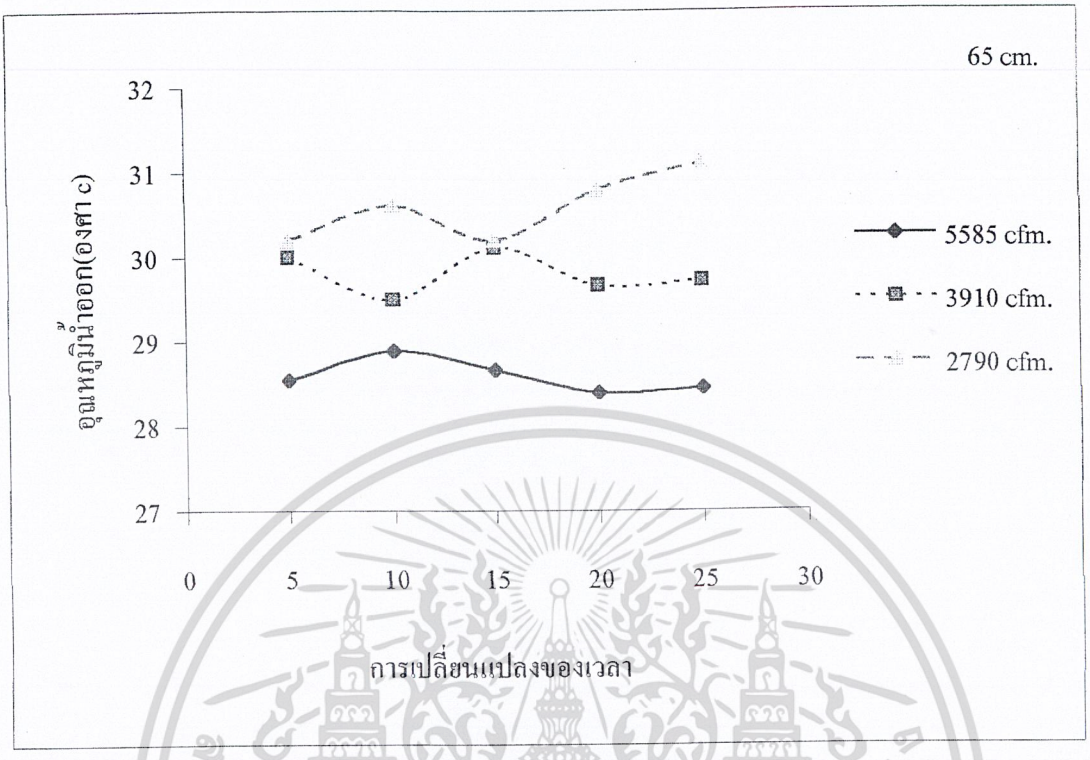
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Q_{AIR} / ความสูง	2790 cfm.				
	Inlet R.H.%	Outlet R.H.%	Water		
			Inlet (องศาc)	Outlet(องศาc)	ΔT
80 cm.	80.2	91.1	34.75	29.4	5.35
	81.1	89.9	34.57	29.7	4.87
	82.3	91	34.4	29.2	5.2
	82.1	89.6	34.2	29.5	4.7
	82.1	90	35	30	5
65 cm.	82.2	89.8	34.5	30.2	4.3
	81.1	89.9	34.2	30.6	3.6
	80.2	89.4	34.56	30.2	4.36
	81.1	89	35	30.8	4.2
	80.1	89	35.1	31.1	4
50 cm.	79.9	88.9	35	30.8	4.2
	83.1	89.1	35	31.3	3.7
	80	90.6	34.4	30.56	3.84
	82	90.9	34.6	30.56	4.04
	81.1	91.2	34.3	31.4	2.9

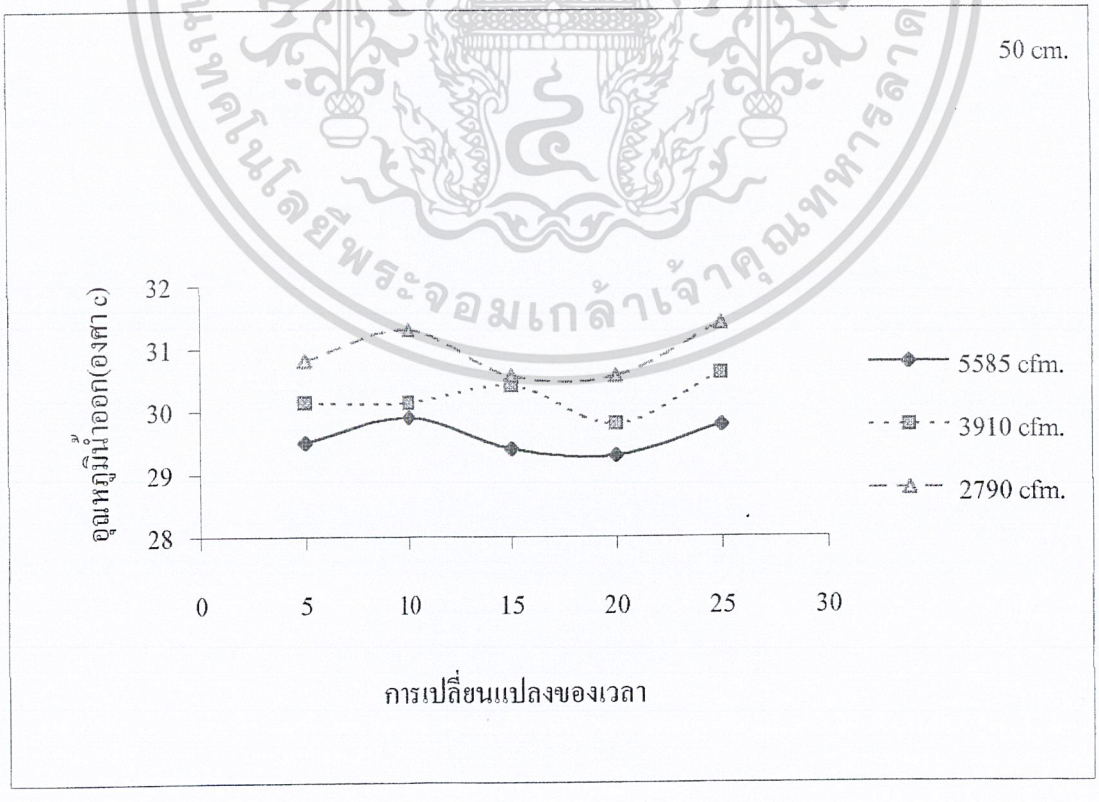


กราฟที่ 6-8-1 ความสัมพันธ์ระหว่าง ΔT - T_{outlet} (องศา c)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 6-8-2 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\Delta T - T_{outlet}$ (องศา c)



กราฟที่ 6-8-3 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\Delta T - T_{outlet}$ (องศา c)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 การทดลองโดยระบบควบคุมอัตโนมัติ

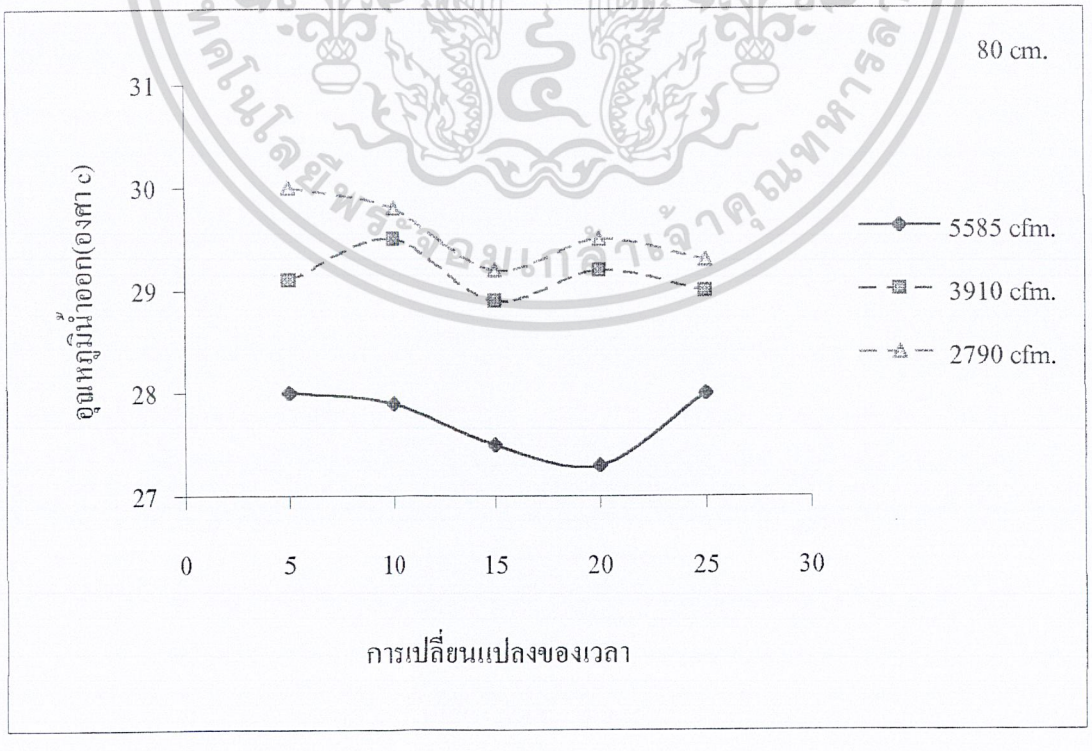
<u>การทดลองโดยระบบควบคุมอัตโนมัติครั้งที่ 1</u>

Q_{AIR} / ความสูง	5585 cfm.				
	Inlet R.H.%	Outlet R.H.%	Water		
			Inlet (องศาc)	Outlet(องศาc)	∆ T
80 cm.	84.1	96.8	35	28	7
	83.2	97	35.2	27.9	7.3
	82.2	97.1	34.5	27.5	7
	84	96.5	34.5	27.3	7.2
	80.1	96.8	35	28	7
65 cm.	81.1	92.3	35.6	29.1	6.5
	82.2	93.3	35.1	29.2	5.9
	80.1	91.1	34.9	29.2	5.7
	81.1	93.4	34.6	28.9	5.7
	80.1	93.6	35	29	6
50 cm.	82.2	90.2	35	30	5
	82.3	89.9	35.1	30	5.1
	82.1	91.2	34.9	29.7	5.2
	82.2	92.3	35.1	29.6	5.5
	79.8	90	35.1	29.7	5.4

Q_{AIR} / ความสูง	3910 cfm.				
	Inlet R.H.%	Outlet R.H.%	Water		
			Inlet (องศาc)	Outlet(องศาc)	∆ T
80 cm.	81.1	96.8	35	29.1	5.9
	82.2	97	34.6	29.5	5.1
	83.1	96.4	34.61	28.9	5.71
	811	96.1	35.05	29.2	5.85
	81.1	97.1	35	29	6
65 cm.	82.2	92.3	34.98	29.4	5.58
	83.1	93.3	35	29.6	5.4
	82.2	91.1	34.5	29.3	5.2
	82.2	93.1	35	29.4	5.6
	83.1	91.8	34.8	29.2	5.6
50 cm.	81.1	90.2	34.9	30.3	4.6
	82.1	89.9	35.1	30.5	4.6
	79.9	91.2	35	30.2	4.8
	79.9	91	35.89	30.6	5.29
	80.2	89.6	35	30.5	4.5

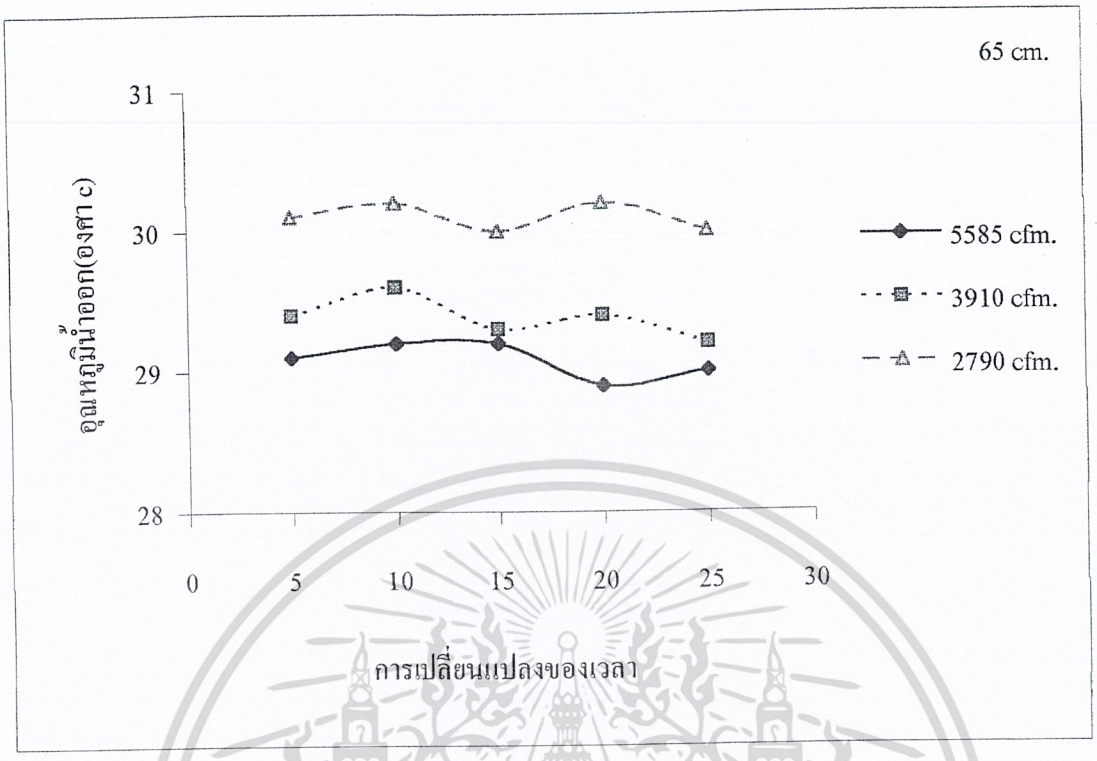
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Q_{AIR} / ความสูง	2790 cfm.				
	Inlet	Outlet	Water		
	R.H.%	R.H.%	Inlet (องศาc)	Outlet(องศาc)	ΔT
80 cm.	80.1	91	34.98	30	4.98
	79.9	89.9	35	29.8	5.2
	79.9	91.2	35.1	29.2	5.9
	82.1	89.6	35	29.5	5.5
	80.1	90	35.2	29.3	5.9
65 cm.	82.2	89.8	35	30.1	4.9
	81.1	89.9	34.5	30.2	4.3
	79.8	89.9	35	30	5
	80.1	89.2	35.33	30.2	5.13
	82.2	89	35.21	30	5.21
50 cm.	79.9	88.9	35	31	4
	81.1	89.1	34.7	31.1	3.6
	79.9	90.6	35.5	30.8	4.7
	80.1	90.9	35	31	4
	82.5	91.2	35.5	30.9	4.6

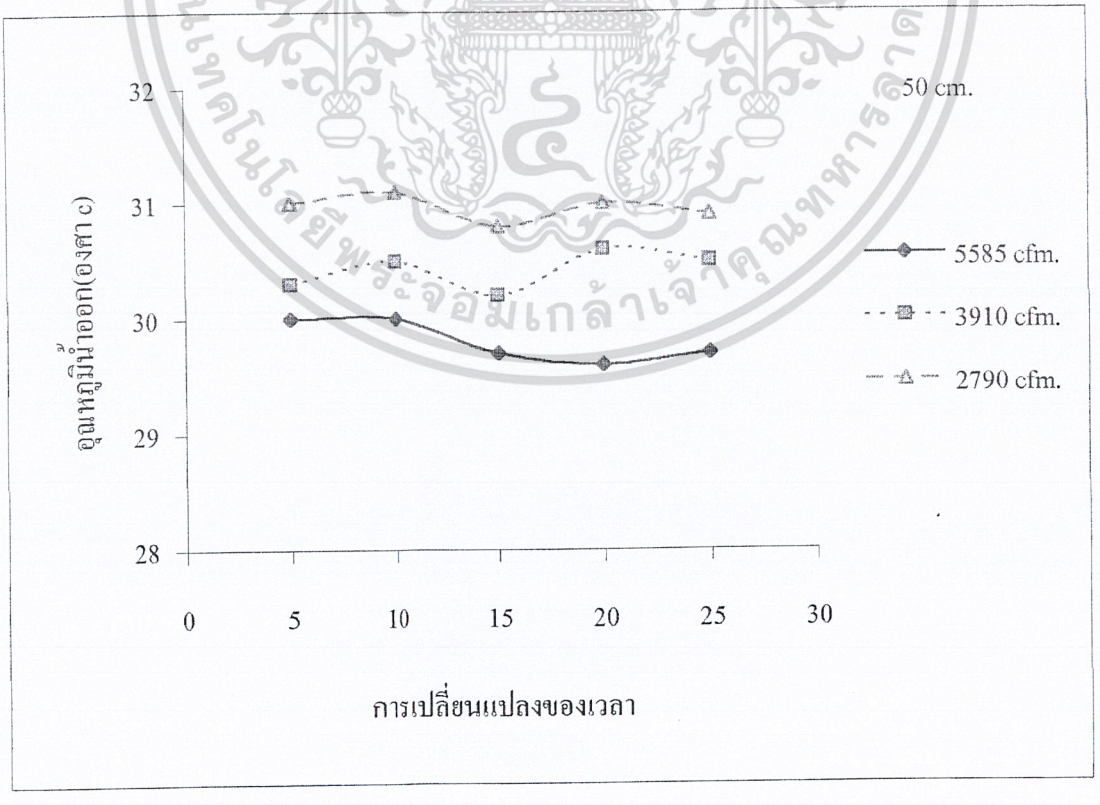


กราฟที่ 6-9-1 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\Delta T = T_{outlet}$ (องศา c)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 6-9-2 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\Delta T - T_{outlet}$ (องศา c)



กราฟที่ 6-9-3 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\Delta T - T_{outlet}$ (องศา c)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

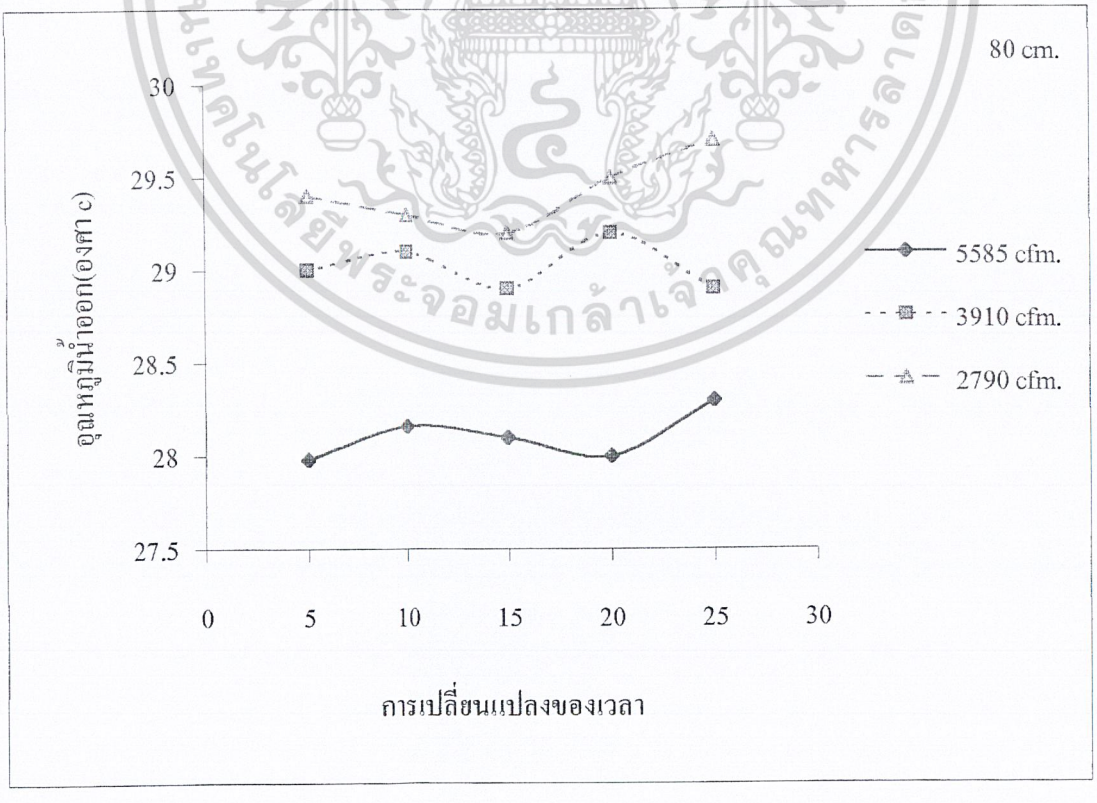
การทดลองโดยระบบควบคุมอัตโนมัติครั้งที่ 2

Q_{AIR} / ความสูง	5585 cfm.				
	Inlet	Outlet	Water		
	R.H.%	R.H.%	Inlet (องศาc)	Outlet(องศาc)	ΔT
80 cm.	82.4	97	35	27.98	7.02
	81.1	96.8	35.11	28.16	6.95
	80.5	97.2	34.94	28.1	6.84
	79.9	97.1	35	28	7
	81.1	96.8	34.94	28.3	6.64
65 cm.	80.5	93.3	35.1	28.6	6.5
	79.8	92.3	35.5	28.9	6.6
	81.1	92.5	34.98	28.54	6.44
	80.1	93.4	34.65	28.4	6.25
	81.1	93.5	35	28.45	6.55
50 cm.	80.1	89.9	34.89	29.6	5.29
	82.2	91.2	35	29.8	5.2
	81.3	90.2	34.94	29.4	5.54
	79.9	91	35	29.3	5.7
	80.2	90	35.2	29.5	5.7

Q_{AIR} / ความสูง	3910 cfm.				
	Inlet	Outlet	Water		
	R.H.%	R.H.%	Inlet (องศาc)	Outlet(องศาc)	ΔT
80 cm.	81.1	96.8	35	29	6
	80.2	97	35.05	29.1	5.95
	82.2	96.4	34.5	28.9	5.6
	82.2	96.1	35.06	29.2	5.86
	81.1	97.1	34.5	28.9	5.6
65 cm.	79.9	92.3	35.1	29.9	5.2
	82.1	93.3	35.11	30	5.11
	79.9	91.1	35	29.8	5.2
	82.2	93.1	35	30	5
	81.1	91.8	34.92	29.72	5.2
50 cm.	82.1	90.2	35	30	5
	81.2	89.9	34.98	30.13	4.85
	81.1	91.2	34.78	30.2	4.58
	81	91	34.5	30.4	4.1
	81.1	89.6	34.6	30.1	4.5

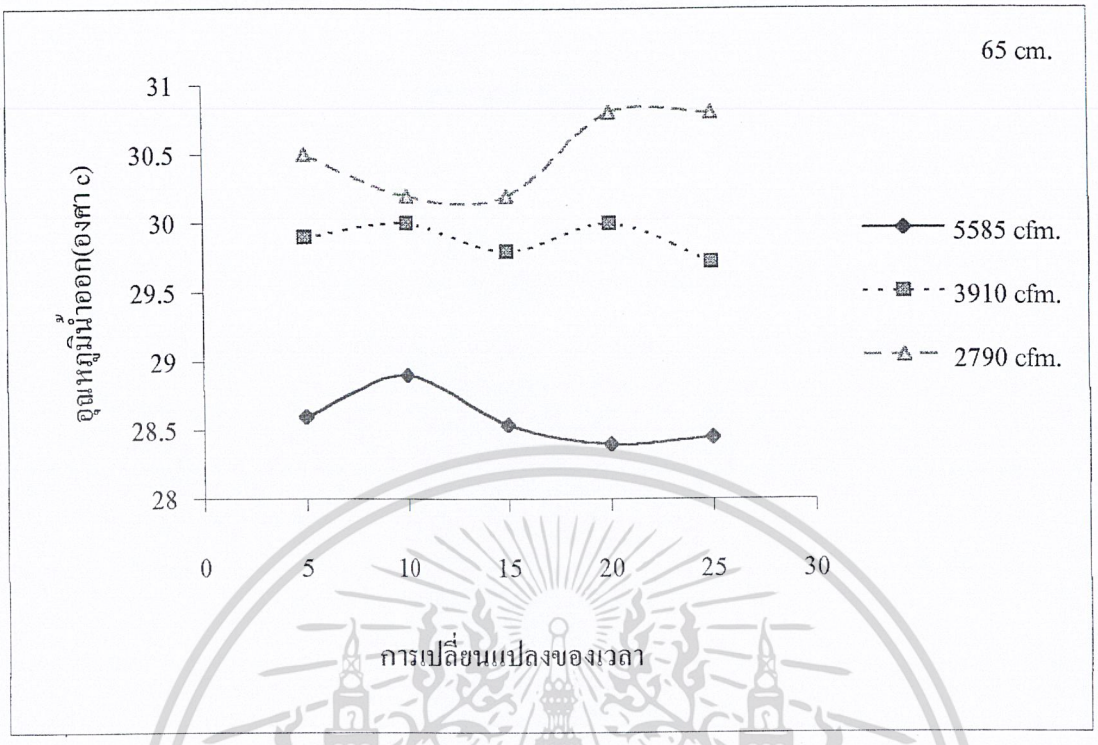
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Q_{AIR} / ความสูง	2790 cfm.				
	Inlet	Outlet	Water		
	R.H.%	R.H.%	Inlet (องศาc)	Outlet(องศาc)	Δ T
80 cm.	79.9	91.1	34.5	29.4	5.1
	83.1	89.9	34.2	29.3	4.9
	80	91	34.56	29.2	5.36
	81.1	89.6	35	29.5	5.5
	82.1	90	35.1	29.7	5.4
65 cm.	83.1	89.8	35	30.5	4.5
	80.2	89.9	34.4	30.2	4.2
	80.1	89.4	35	30.2	4.8
	79.9	89	35	30.8	4.2
	80	89	35.1	30.8	4.3
50 cm.	79.9	88.9	35	30.8	4.2
	83.1	89.1	34.9	30.6	4.3
	81	90.6	35.12	30.9	4.22
	81.1	90.9	34.6	30.9	3.7
	80.2	91.2	35	31	4

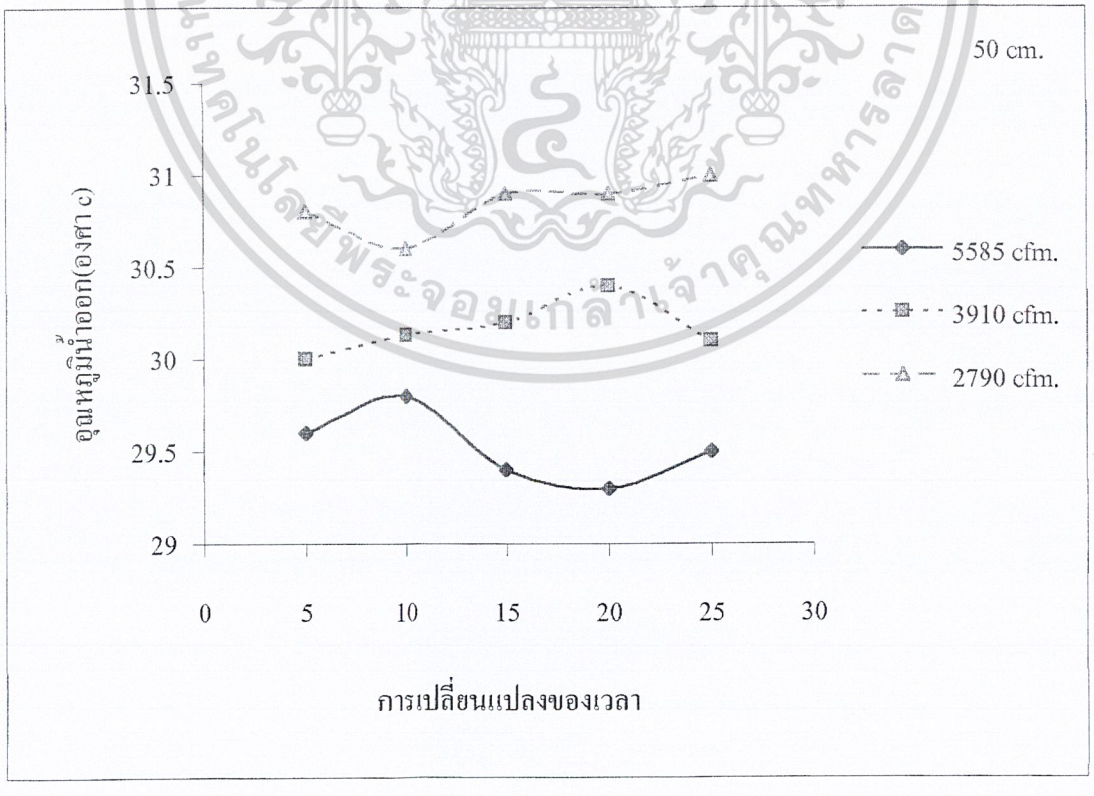


กราฟที่ 6-10-1 ความสัมพันธ์ระหว่าง ΔT - T_{outlet} (องศา c)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 6-10-2 ความสัมพันธ์ระหว่าง ΔT - T_{outlet} (องศา c)



กราฟที่ 6-10-3 ความสัมพันธ์ระหว่าง ΔT - T_{outlet} (องศา c)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7
สรุปผลการทดลอง

7.1 การทดลองโดยใช้ระบบปรับด้วยมือ (Manual)

ระยะการตกของน้ำ 50 cm.

Q_{AIR}(cfm)	Inlet R.H.%	Outlet R.H.%	Inlet(องศาF) T_{WATER}	outlet(องศาF) T_{WATER}	Δ T	make up water(m^3)
0	77.4	89.48	95.09	92.98	2.11	0.0123
1675	79.12	90.68	94.97	91.72	3.23	0.0132
2790	79.33	92.08	94.97	89.46	5.51	0.0143
3910	79.93	93.37	94.88	87.95	6.93	0.0164
5026	78.85	94.63	94.94	86.45	8.49	0.0175
5585	78.82	95.77	94.73	85.64	9.09	0.018

ระยะการตกของน้ำ 60 cm.

Q_{AIR}(cfm)	Inlet R.H.%	Outlet R.H.%	Inlet(องศาF) T_{WATER}	outlet(องศาF) T_{WATER}	Δ T	make up water(m^3)
0	80.3	89.92	94.94	92.63	2.25	0.0125
1675	77.7	91.37	94.76	91.06	3.7	0.0137
2790	79.7	92.48	95.07	89.33	5.74	0.0147
3910	77.25	93.78	95.03	87.82	7.21	0.0165
5026	78.28	95	94.87	86.24	8.63	0.0183
5585	78.5	96.2	94.93	85.35	9.58	0.0192

ระยะการตกของน้ำ 70 cm.

Q_{AIR}(cfm)	Inlet R.H.%	Outlet R.H.%	Inlet(องศาF) T_{WATER}	outlet(องศาF) T_{WATER}	Δ T	make up water(m^3)
0	79.2	90.23	95	92.56	2.43	0.013
1675	80.07	91.78	94.87	90.68	4.18	0.0135
2790	78.87	92.93	95.05	88.91	6.14	0.015
3910	77.35	94.13	94.98	87.49	7.49	0.0171
5026	78.43	95.02	94.79	86.17	8.62	0.0188
5585	78.67	96.55	94.87	85.07	9.81	0.0196

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

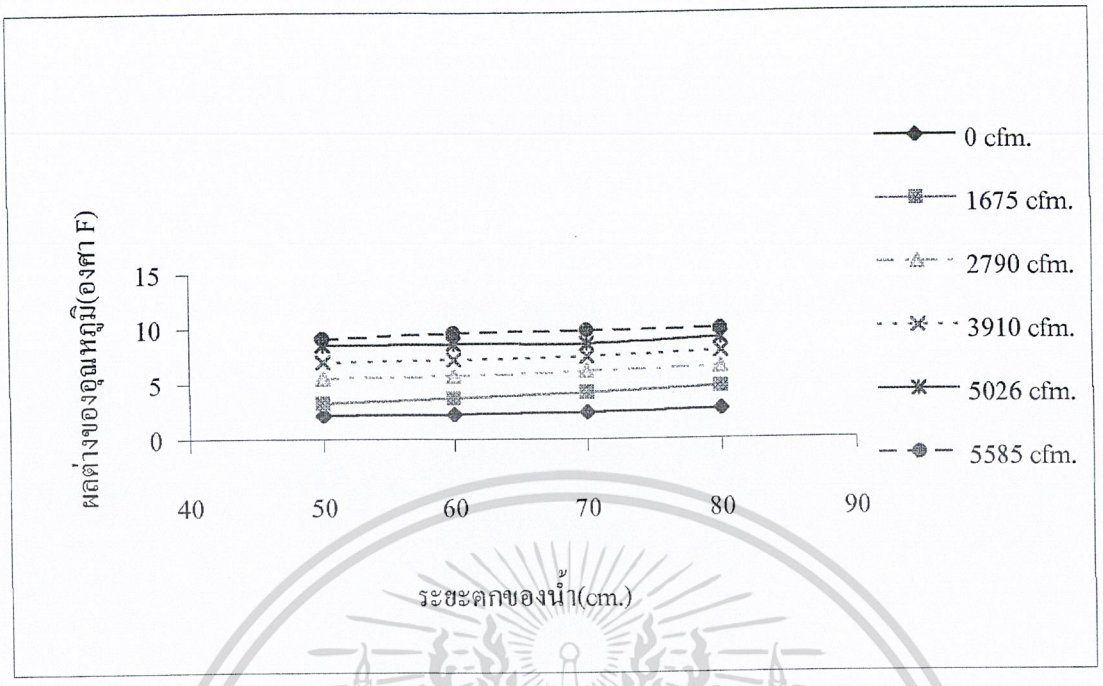
ระยะการตกของน้ำ 80 cm.

Q_{AIR}(cfm)	Inlet R.H.%	Outlet R.H.%	Inlet(องศาF) T_{WATER}	outlet(องศาF) T_{WATER}	Δ T	make up water(m^3)
0	79.25	90.55	95.09	92.41	2.68	0.0133
1675	78.35	92.08	95.14	90.42	4.717	0.0136
2790	78.03	93.43	95.11	88.6	6.51	0.0155
3910	77.55	94.58	95.23	87.29	7.94	0.0173
5026	77.57	96	95.18	86.05	9.13	0.0189
5585	78.23	97.15	95.3	85.35	9.95	0.02

กราฟที่ 7-1-1 ความสัมพันธ์ระหว่าง cfm. -Δ T

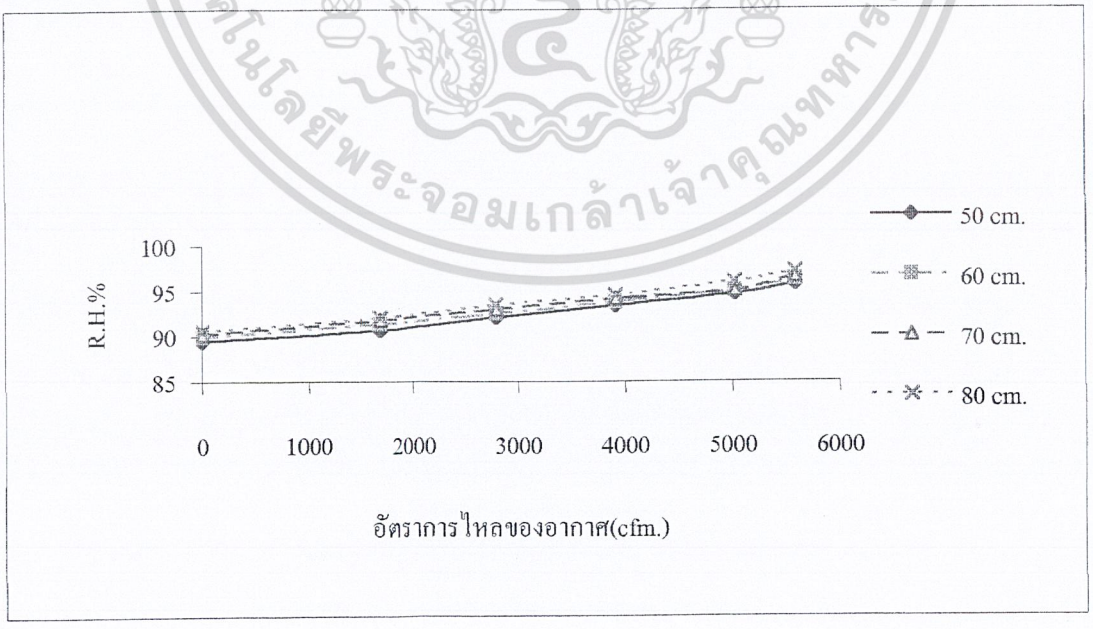
จากกราฟที่ 7-1-1จะเห็นว่าอัตราการไหลของอากาศ (cfm.) เมื่อเทียบกับผลต่างของอุณหภูมิน้ำเข้าและออกของหอทำน้ำเย็น (องศา F) นั้น เมื่ออัตราการไหลของอากาศเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆจะมีผลทำให้ ผลต่างของอุณหภูมิที่เข้าและออกของหอทำน้ำเย็นจะมีค่าเพิ่มมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 7-1-2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะตกของน้ำ - ΔT

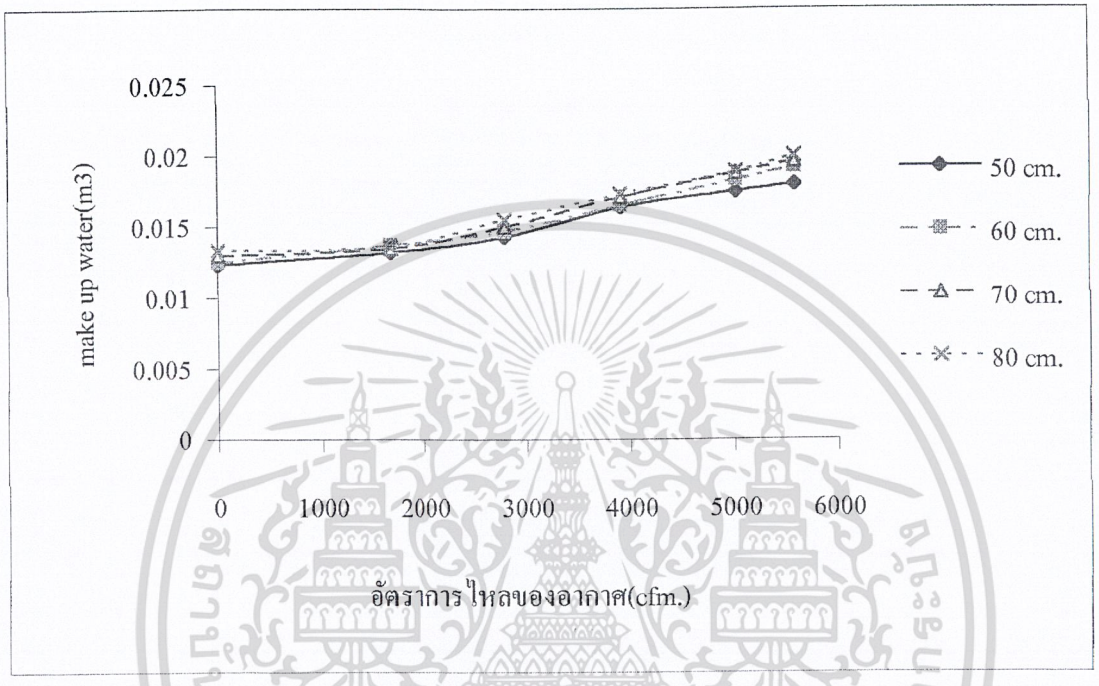
จากกราฟที่ 7-1-2 จะเห็นว่าความสูงของแผงกระจายน้ำ (cm.) เมื่อเทียบกับผลต่างของอุณหภูมิน้ำที่เข้าและออกของหอทำน้ำเย็น(องศา F) เมื่อระยะตกของน้ำที่เพิ่มมากขึ้นแล้วจะเห็นว่าความสูงมีผลทำให้ผลต่างของอุณหภูมิน้ำที่เข้าและออกของหอทำน้ำเย็นมีค่าน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการไหลของอากาศ



กราฟที่ 7-1-3 ความสัมพันธ์ระหว่าง cfm.- R.H.%(Outlet)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟที่ 7-1-3 จะเห็นว่าอัตราการไหลอากาศ (cfm.) เมื่อเทียบกับความชื้นที่ทางออกของหอทำน้ำเย็น (องศา F) จะมีค่าความชื้นเข้าใกล้ร้อยเปอร์เซนต์



กราฟที่ 7-1-4 ความสัมพันธ์ระหว่าง cfm.- make up water(m^3)

จากกราฟที่ 7-1-4 จะเห็นว่าเมื่ออัตราการไหลของอากาศ (cfm.) เพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้น้ำที่อยู่ในถาด ด้านล่างของหอทำน้ำเย็นมีปริมาณลดลงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2 การทดลองเพื่อหาค่าเปรียบเทียบกับเวลาที่ระบบปรับด้วยมือ(Manual)

Q_{AIR} / ความสูง	5585 cfm.				
	Inlet	Outlet	Water		
	R.H.%	R.H.%	Inlet (องศาc)	Outlet(องศาc)	ΔT
80 cm.	80.05	96.9	34.81	28	6.81
	80.5	96.9	34.91	28.17	6.74
	80.65	97.15	35.03	28.05	6.98
	79.9	96.8	34.78	27.95	6.83
	80.65	96.8	34.83	28.11	6.72
65 cm.	82.8	92.8	35	28.78	6.23
	82.3	92.8	35.11	29	6.11
	82.2	91.8	34.79	28.67	6.12
	80.6	93.4	34.7	28.37	6.34
	80.6	93.55	35	28.65	6.36
80 cm.	81.05	90.05	34.95	29.75	5.2
	81.3	90.55	35.11	30.05	5.06
	81.6	90.7	34.97	29.4	5.57
	82.2	91.65	35.06	29.3	5.76
	80	90	35.1	29.64	5.46

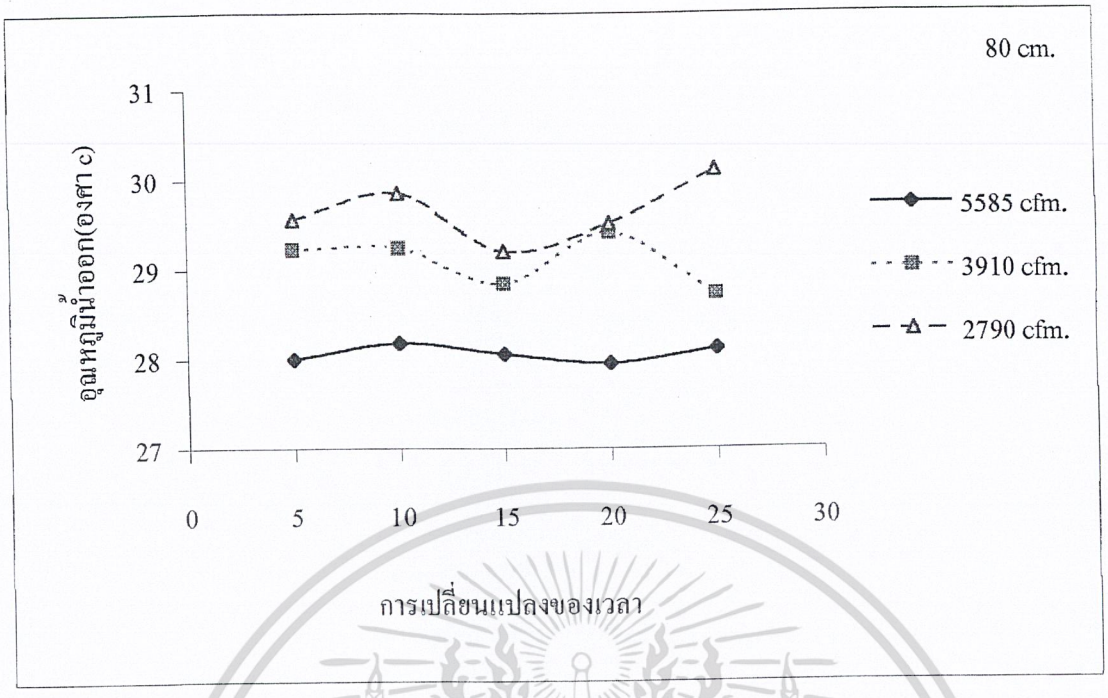
Q_{AIR} / ความสูง	3910 cfm.				
	Inlet	Outlet	Water		
	R.H.%	R.H.%	Inlet (องศาc)	Outlet(องศาc)	ΔT
80 cm.	80.15	96.8	34.86	29.22	5.64
	80.65	97	35.03	29.23	5.8
	80.4	96.4	34.56	28.84	5.72
	81.6	96.1	35.06	29.4	5.66
	82.1	97.1	34.57	28.72	5.85
65 cm.	81.65	92.3	35.1	29.65	5.45
	82.6	93.3	35.09	29.51	5.58
	81.05	91.1	34.75	29.61	5.15
	81.65	93.1	35.34	29.64	5.71
	80.65	91.8	34.46	29.36	5.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

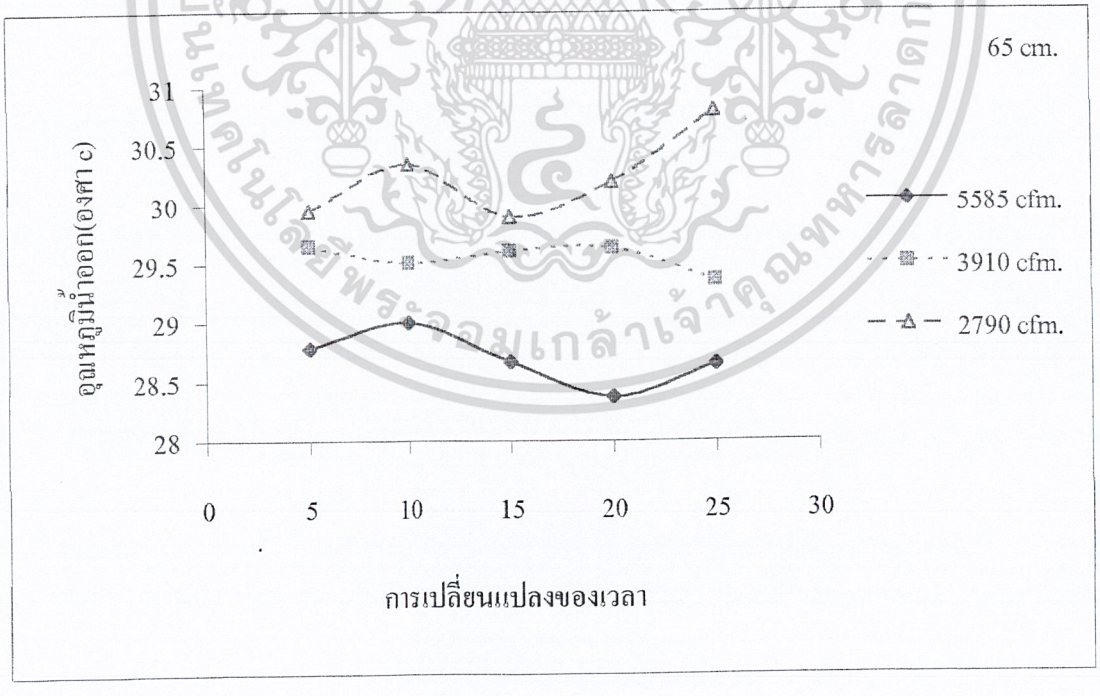
50 cm.	82.1	90.2	34.86	30.15	4.72
	81.65	89.9	34.86	30.32	4.55
	80.45	91.2	34.89	30.2	4.69
	82.2	91	35.06	30.4	4.66
	80.65	89.6	34.63	30.55	4.08

Q_{AIR} / ความสูง	2790 cfm.				
	Inlet	Outlet	Water		
	R.H.%	R.H.%	Inlet (องศาc)	Outlet(องศาc)	Δ T
80 cm.	80.05	91.05	34.88	29.55	5.33
	80.5	89.9	34.65	29.85	4.795
	81.2	91.1	34.4	29.2	5.2
	81	89.6	34.2	29.5	4.7
	82.1	90	35	30.1	4.9
65 cm.	82.2	89.8	34.75	29.95	4.8
	81.1	89.9	34.2	30.35	3.85
	80.2	89.65	34.78	29.9	4.88
	81.1	89.1	35.17	30.2	4.97
	80.1	89	35.34	30.8	4.54
50 cm.	80	88.9	35	30.95	4.05
	82.7	89.1	35	31.15	3.85
	79.95	90.6	34.95	31.03	3.92
	80.9	90.9	35.05	30.78	4.27
	80.6	91.2	34.9	31.1	3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

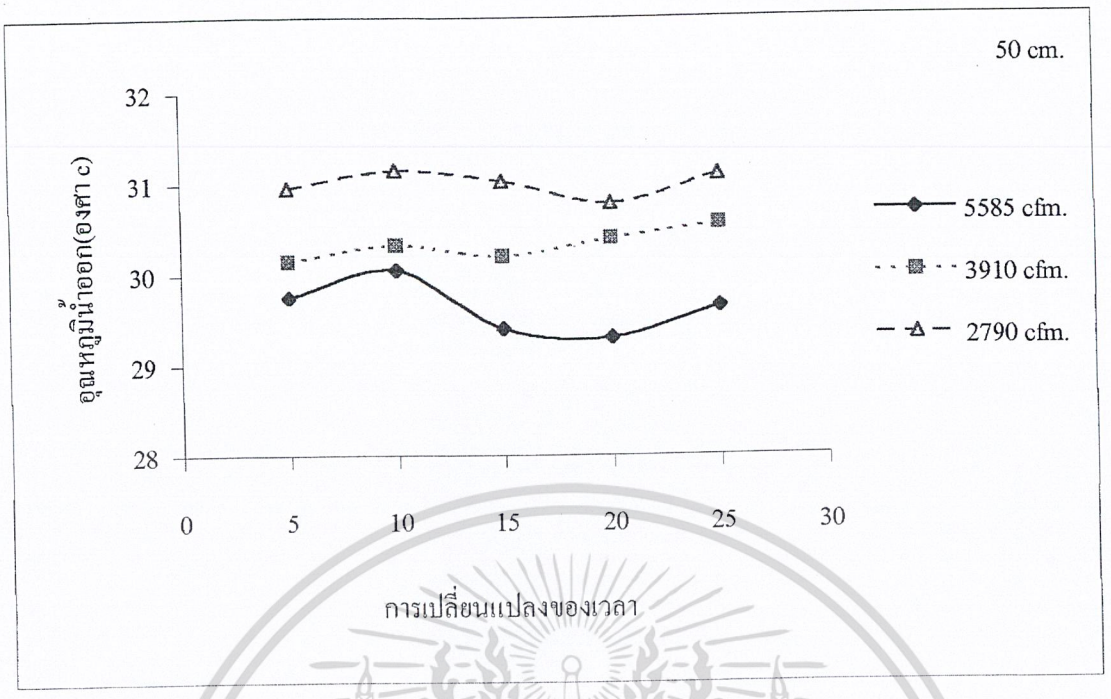


กราฟที่ 7-2-1 ความสัมพันธ์ระหว่าง T - T_{outlet} (องศา c)



กราฟที่ 7-2-2 ความสัมพันธ์ระหว่าง T - T_{outlet} (องศา c)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 7-2-3 ความสัมพันธ์ระหว่าง $T - T_{outlet}$ (องศา c)

จากกราฟที่ 7-2-3 จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของเวลา เมื่อเทียบอุณหภูมิของน้ำที่ทางออกของหอทำน้ำเย็น (องศา C) ที่ระดับความสูงของแผงกระจายน้ำต่ำอุณหภูมิของน้ำจะมีค่าไม่คงที่ แต่ถ้าเมื่อระดับความสูงของแผงกระจายน้ำอยู่ในระดับสูงแล้ว จะส่งผลให้อุณหภูมิของน้ำที่ทางออกของหอทำน้ำเย็นมีค่าเปลี่ยนแปลงน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3 การทดลองโดยระบบควบคุมอัตโนมัติ

Q_{AIR} / ความสูง	5585 cfm.				
	Inlet	Outlet	Water		
	R.H.%	R.H.%	Inlet (องศาc)	Outlet(องศาc)	ΔT
80 cm.	83.25	96.9	35	27.99	7.01
	82.15	96.9	35.16	28.03	7.13
	81.35	97.15	34.72	27.8	6.92
	81.95	96.8	34.75	27.65	7.1
	90.6	96.8	74.97	28.15	6.82
65 cm.	80.8	92.8	35.35	28.85	6.5
	81	92.8	35.3	29.05	6.25
	80.6	91.8	34.94	28.87	6.07
	80.6	93.4	34.63	28.65	5.98
	80.6	93.55	35	28.73	6.28
50 cm.	81.15	90.05	34.95	29.8	5.15
	82.25	90.55	35.05	29.9	5.15
	81.7	90.7	34.92	29.55	5.37
	81.05	91.65	35.05	29.45	5.6
	80	90	35.15	29.6	5.55

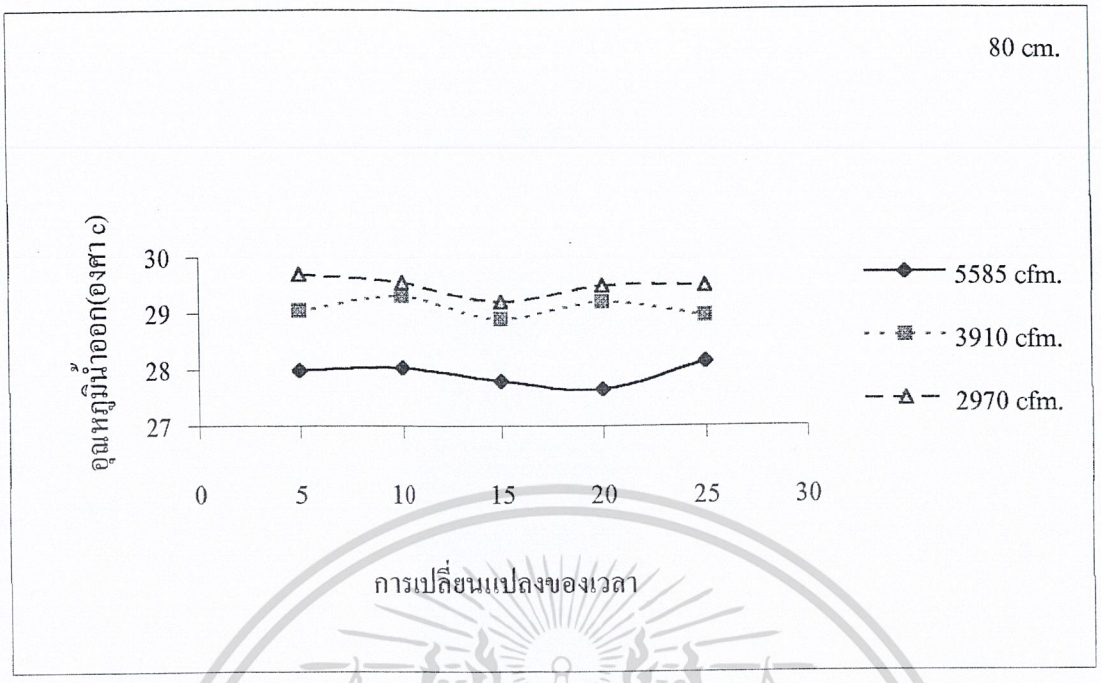
Q_{AIR} / ความสูง	3910 cfm.				
	Inlet	Outlet	Water		
	R.H.%	R.H.%	Inlet (องศาc)	Outlet(องศาc)	ΔT
80 cm.	81.1	96.8	35	29.05	5.95
	81.2	97	34.83	29.3	5.53
	82.65	96.4	34.56	28.9	5.66
	81.65	96.1	35.06	29.2	5.86
	81.1	97.1	34.75	28.95	5.8
65 cm.	81.05	92.3	35.04	29.65	5.39
	82.6	93.3	35.06	29.8	5.26
	81.05	91.1	34.75	29.55	5.2
	82.2	93.1	35	29.7	5.3
	82.1	91.8	34.86	29.46	5.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

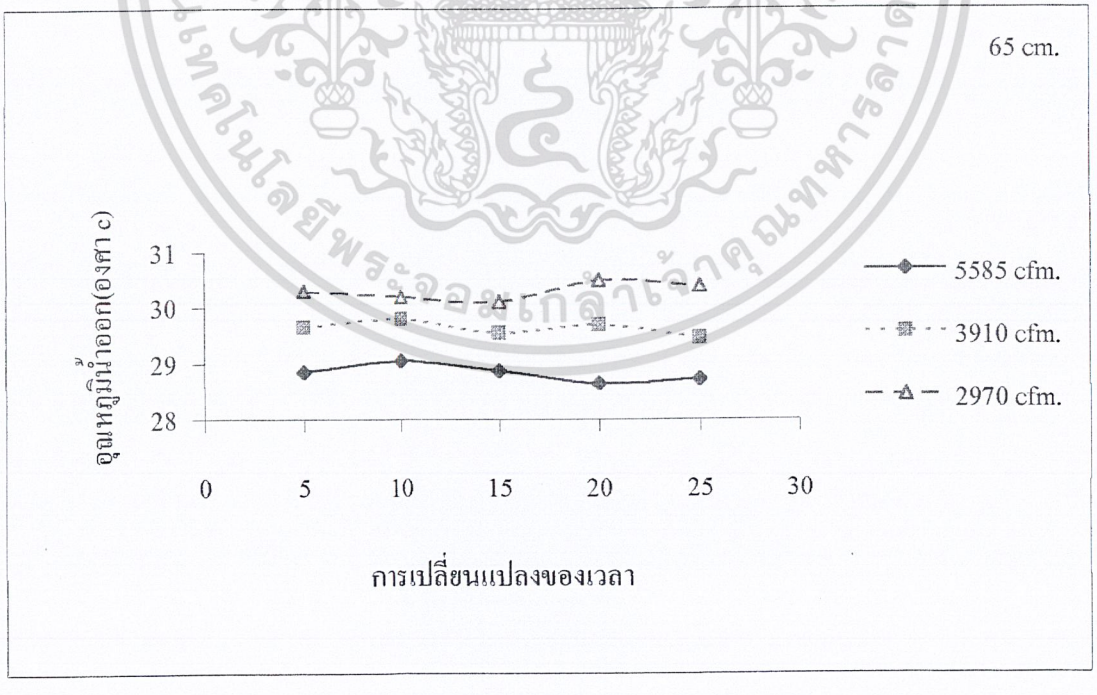
50 cm.	81.6	90.2	34.95	30.15	4.8
	81.65	89.9	35.04	30.32	4.73
	80.5	91.2	34.89	30.2	4.69
	80.45	91	35.195	30.5	4.7
	80.65	89.6	34.8	30.3	4.5

Q_{AIR} / ความสูง	2790 cfm.				
	Inlet	Outlet	Water		
	R.H.%	R.H.%	Inlet (องศาc)	Outlet(องศาc)	Δ T
80 cm.	80	91.05	34.74	29.7	5.04
	81.5	89.9	34.6	29.55	5.05
	79.95	91.1	34.83	29.2	5.63
	81.6	89.6	35	29.5	5.5
	81.1	90	35.15	29.5	5.65
65 cm.	82.65	89.8	35	30.3	4.7
	80.65	89.9	34.45	30.2	4.25
	79.95	89.65	35	30.1	4.9
	80	89.1	35.17	30.5	4.67
	81.1	89	35.16	30.4	4.76
50 cm.	79.9	88.9	35	30.9	4.1
	82.1	89.1	34.8	30.85	3.95
	80.45	90.6	35.31	30.85	4.46
	80.6	90.9	34.8	30.95	3.85
	81.35	91.2	35.25	30.95	4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

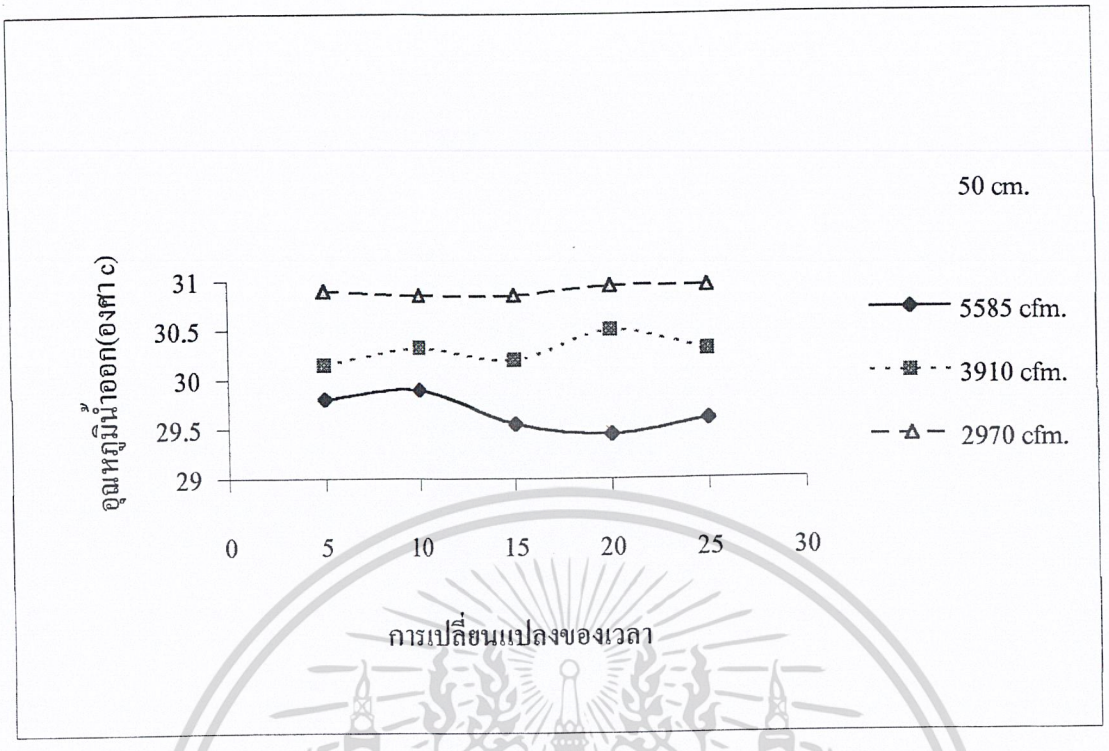


กราฟที่ 7-3-1 ความสัมพันธ์ระหว่าง ΔT - T_{outlet} (องศา c)



กราฟที่ 7-3-2 ความสัมพันธ์ระหว่าง ΔT - T_{outlet} (องศา c)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 7-3-3 ความสัมพันธ์ระหว่าง ΔT - T_{outlet} (องศา c)

จากกราฟที่ 7-3-3 จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของเวลา เมื่อเทียบอุณหภูมิของน้ำที่ทางออกของหอทำน้ำเย็น (องศา C) เมื่อมีระบบควบคุมอัตโนมัติน้ำที่ออกมาจากหอทำน้ำเย็นจะมีล่าค่อนข้างจะคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง

1.จากการศึกษาการหาปัจจัยเพื่อเพิ่มประสิทธิ์ภาพให้หอทำน้ำเย็นนั้น โดยมีปัจจัยที่ช่วยในการทดสอบอยู่ 2 ปัจจัยด้วยกัน คือปัจจัยแรกปรับอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านหอทำน้ำเย็นและปัจจัยที่สองคือเพิ่มระยะการตกของน้ำ จากการศึกษาจะพบว่าปัจจัยที่ช่วยระบายความร้อนของน้ำได้ดีที่สุดคือ การปรับอัตราการไหลของอากาศ จะเห็นผลที่ชัดเจนกว่าการเพิ่มระยะการตกของน้ำเพราะฉะนั้นถ้าจะมีการพัฒนาระบบให้ดียิ่งขึ้นนั้น ก็ควรจะหาวิธีการปรับอัตราการไหลของอากาศให้มีการไหลที่ดียิ่งขึ้นอย่างเช่น การปรับเปลี่ยนมุมของใบพัดลมดูดอากาศของหอทำน้ำเย็นโดยให้มีการดูดอากาศที่ดียิ่งขึ้นเป็นต้น

2.ในการควบคุมอัตโนมัติให้กับหอทำความเย็นนั้นจากการทดลองสามารถที่จะทำได้จริง แต่การควบคุมนั้นจะพบว่าค่าอุณหภูมิที่วัดได้นั้น ยังมีการแกว่งตัวขึ้นลงตลอดเวลา เป็นผลมาจากการที่วงจรขยายแรงดันที่ตัววัดอุณหภูมินั้นถูกรบกวนจากสัญญาณต่างๆ เช่น สัญญาณคลื่นความถี่ที่มีอยู่ในอากาศโดยรอบและสัญญาณความถี่ที่ตัว supply จึงทำให้ค่าสัญญาณที่ออกมาไม่นิ่งและให้ค่าที่ผิดพลาด

3.ในอุตสาหกรรมที่มีการระบายความร้อนให้กับเครื่องจักรนั้น จำเป็นจะต้องใช้หอทำความเย็นที่มีขนาดใหญ่ ดังนั้นสำหรับการที่จะควบคุมให้หอทำความเย็นสามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงนั้นคงเป็นไปได้ยาก หากแต่การทดลองในครั้งนี้ได้ใช้หอทำความเย็นขนาด 5 Ton ซึ่งมีขนาดที่เล็กพอสมควรซึ่งสะดวกต่อการเพิ่มความสูงของการตกของน้ำ จึงทำให้เราทราบถึงผลของการเพิ่มความความสูงของการตกของน้ำ ว่ามีส่วนที่จะเพิ่มการระบายความร้อนให้กับน้ำหรือไม่ เพราะฉะนั้นนอกเหนือจากการเพิ่มระยะการตกของน้ำแล้ว ยังมีอีกหลายวิธีที่จะเพิ่มประสิทธิภาพให้กับหอทำความเย็น คือ การเปลี่ยนความเร็วรอบของมอเตอร์เพื่อเปลี่ยนอัตราการถ่ายเทของอากาศ การทำให้การฉีดของน้ำเป็นละอองฝอยมากขึ้น การปรับสภาพ PH ของน้ำให้มีค่าที่เหมาะสมเพื่อลดแรงตึงผิวของน้ำซึ่งจะมีผลต่อการระเหยตัวของน้ำ และการเพิ่มขนาดของ Filler ซึ่งเป็นตัวเพิ่มพื้นที่การถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำ เป็นต้น

7.5 สรุปผลการทดลอง

1.จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศ (cfm) กับผลต่างของอุณหภูมิน้ำที่เข้าและออกของหอทำน้ำเย็น (องศา F) มีผลทำให้อุณหภูมิของน้ำที่ออกจากหอทำน้ำเย็นมีค่าลดลง

2.จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะตกของน้ำ (cm) กับผลต่างของอุณหภูมิน้ำที่เข้าและออกของหอทำน้ำเย็น (องศา F) มีผลทำให้อุณหภูมิของน้ำที่ออกจากหอทำน้ำเย็นมีค่าลดต่ำลงด้วย

3.จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศ (cfm) กับความชื้นที่ทางออกของหอทำน้ำเย็น ในขณะที่สภาวะสิ่งแวดล้อมไม่เปลี่ยนแปลงมากนักและโหลดที่หอทำน้ำเย็นได้รับมีค่าค่อนข้างสูงการระบายความร้อนก็จะยิ่งดีขึ้น

4. เมื่ออัตราการไหลของน้ำคงที่สามารถควบคุมอุณหภูมิการทำงานให้เป็นระบบอัตโนมัติได้

5. สามารถควบคุมอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากหอทำน้ำเย็นให้ได้ค่าที่ในระดับหนึ่ง

6. สามารถประหยัดพลังงานที่ให้กับหอทำน้ำเย็นได้เป็นอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. สามารถประหยัดพลังงานที่ให้กับหอทำน้ำเย็นได้เป็นอย่างดี

7.6 ข้อเสนอแนะ

1.ในการทดลองนั้นควรที่จะมีเครื่องมือวัดที่ได้มาตราฐาน มีความเที่ยงตรงสูงเพื่อลดความผิดพลาดจากการอ่านให้น้อยลง

2. ในการอ่านค่าการทดลองนั้น ควรอ่านคนเดียวเพื่อลดความผิดพลาด

3.ชุดอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ทดลองการควบคุมอัตโนมัตินั้น ค่อนข้างมีความบอบบางเสียหายง่าย ควรศึกษาวิธีการใช้งานและการต่อพ่วงให้ดี

3.ในการทำโครงงานเกี่ยวกับระบบควบคุม นั้นสิ่งสำคัญที่ต้องรู้ คือ ภาษาที่ใช้เขียนควบคุมและความรู้ทางด้านอิเลคทรอนิคส์ ซึ่งมีความจำเป็นมากต้องศึกษาแต่เริ่มแรกของการทำโครงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

Source Code ของโปรแกรมควบคุม
เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของหอทำน้ำเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Source Code ของ Cooling_Form

```
Public tex1, tex2, tex3, tex4, tex5, tex6, tex9, t1, t11, t2 As Single
-------------------------------------------------------------------------------------
Private Sub I2CStart()
Out &H37A, Inp(&H37A) Or 1              'SDA=1
Out &H37A, Inp(&H37A) Or 2              'SCL=1
Out &H37A, Inp(&H37A) And &HFE          'SDA=0
Out &H37A, Inp(&H37A) And &HFD          'SCL=0
End Sub
-------------------------------------------------------------------------------------
Private Sub I2CStop()
Out &H37A, Inp(&H37A) And &HFE          'SDA=0
Out &H37A, Inp(&H37A) Or 2              'SCL=1
Out &H37A, Inp(&H37A) Or 1              'SDA=1
End Sub
-------------------------------------------------------------------------------------
Private Sub send0()
Out &H37A, Inp(&H37A) And &HFE          'SDA=0
Out &H37A, Inp(&H37A) Or 2              'SCL=1
Out &H37A, Inp(&H37A) And &HFD          'SCL=0
End Sub
-------------------------------------------------------------------------------------
Private Sub Send1()
Out &H37A, Inp(&H37A) Or 1              'SDA=1
Out &H37A, Inp(&H37A) Or 2              'SCL=1
Out &H37A, Inp(&H37A) And &HFD          'SCL=0
End Sub
-------------------------------------------------------------------------------------
Private Sub Ack()
Out &H37A, Inp(&H37A) Or 1              'SDA=1
Out &H37A, Inp(&H37A) Or 2              'SCL=1
Out &H37A, Inp(&H37A) And &HFD          'SCL=0
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
---------------------------------------------------------------------------------------------

Private Sub MAck()
Out &H37A, Inp(&H37A) And &HFE        'SDA=0
Out &H37A, Inp(&H37A) Or 2            'SCL=1
Out &H37A, Inp(&H37A) And &HFD        'SCL=0
Out &H37A, Inp(&H37A) Or 1            'SDA=1
End Sub
---------------------------------------------------------------------------------------------

Private Function DAT()
 For i = 7 To 0 Step -1
  Out &H37A, Inp(&H37A) Or 1              'SDA=1
  Out &H37A, Inp(&H37A) Or 2              'SCL=1
   If (Inp(&H379) And &H80) <> &H80 Then  'Read SDA
     dat1 = 2 ^ i Or dat1
   End If
  Out &H37A, Inp(&H37A) And &HFD          'SCL=0
 Next i
 DAT = dat1                               'Data 8 Bit
End Function
---------------------------------------------------------------------------------------------

Private Sub Send8BIT(Add As Integer)
 For i = 7 To 0 Step -1                   ' Loop 7 Cycle
   If (Add And 2 ^ i) = 2 ^ i Then        'Test Bit 0 OR 1
     Call Send1
   Else
     Call send0
   End If
 Next i
End Sub
---------------------------------------------------------------------------------------------

Private Sub Sendout(b As Integer)
 Call I2CStart                            'Start
 Call Send8BIT(&H42)                      'Send Control Word
 Call Ack                                 'Acknowledge
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Call Send8BIT(b)                    'Send Data
Call Ack                            'Acknowledge
Call I2CStop                        'Stop
End Sub
-----------------------------------------------------------------------------------------

Public Sub Cmd_Exit_Click()
Dim stop1 As Integer
Out &H378, 0
stop1 = 1
End
End Sub
-----------------------------------------------------------------------------------------

Public Sub Com_Auto_Click()
Dim response As Variant
Timer1.Enabled = True
If Text3.Text = "" Then
  response = MsgBox("Please enter number in set point value", vbCritical + vbOKCancel +
vbDefaultButton1, "Error")
  End If
Call Main_Program
End Sub
-----------------------------------------------------------------------------------------

Public Sub Com_Start_Click()
  Timer1.Enabled = True
  If Opt_In50.Value = True Then
    Call Program_Start
      ElseIf Opt_In30.Value = True Then
          Call Program_Start
          ElseIf Opt_In20.Value = True Then
              Call Program_Start
              Else
               Call Program_Start
    End If
  End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
---------------------------------------------------------------------------------------------

Private Sub Com_Stop_Click()
Timer1.Enabled = False
Out &H378, 0
End Sub
---------------------------------------------------------------------------------------------

Private Sub Form_Load()
'Com_Auto.Enabled = False
Timer1.Enabled = False
End Sub
---------------------------------------------------------------------------------------------

Private Sub MSChart1_ChartUpdated(updateFlags As Integer)
End
End Sub
---------------------------------------------------------------------------------------------

Private Sub MSChart1_PlotUpdated(updateFlags As Integer)
End
End Sub
---------------------------------------------------------------------------------------------

Private Sub Textsetpoint_Click()
Timer1.Enabled = False
End Sub
---------------------------------------------------------------------------------------------

Private Sub Text3_Change()
If Text3.Text = "" Then
Timer1.Enabled = False
End If
End Sub
---------------------------------------------------------------------------------------------

Private Sub Timer1_Timer()
Call I2CStart
Call Send8BIT(&H90)        '1001 0000
Call Ack
Call Send8BIT(&H44)        '0100 0100
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Call Ack
Call I2CStop
Call I2CStart
Call Send8BIT(&H91)          '1001 0001
Call Ack
tex1 = (DAT * 5) / 255       'Transmission o previously converted byte
Call MAck
tex1 = (DAT * 5) / 255       'Temperature's water out (Sensor 4) ,Chanel_1
Call MAck
tex2 = (DAT * 5) / 255       'Temperature's water in (Sensor 3) ,Chanel_2
Call MAck
tex4 = (DAT * 5) / 255       'Limit switch 1 ( TOP ) ,Chanel_3
Call MAck
tex9 = (DAT * 5) / 255       'Limit switch 2 ( DOWN ) ,Chanel_4
Call Ack                     'Master not ack
Call I2CStop

tex3 = Text3.Text
tex5 = tex2 - tex1
tex6 = tex1 - tex3
t1 = 50.619 - 41.052 * tex1 + 21.109 * tex1 ^ 2 - 2.941 * tex1 ^ 3
t2 = -7.189 * tex2 + 32.523 + 3.308 * tex2 ^ 2 - 0.369 * tex2 ^ 3
Text1.Text = Round(t1, 2)          'Show Value of temperature's water out (Sensor 4)
Text2.Text = Round(t2, 2)          'Show Value of temperature's water in (Sensor 3)
Text4.Text = Round(tex5, 2)        'Delta t_in - t_out
Text5.Text = Round(tex6, 2)

Chart1.Column = 1
Chart1.Data = Text2.Text
Chart1.Column = 2
Chart1.Data = Text1.Text

Chart2.Column = 1
Chart2.Data = Text2.Text
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Chart2.Column = 2
Chart2.Data = Text1.Text
End Sub
-----------------------------------------------------------------------------------------------
Sub Program_Start()
  If Opt_In50.Value = True Then
       Opt_Pr50.Value = True
       If Opt_Hight.Value = True Then
          Out &H378, 1 '01          'The motor is incresing water's hight
          Call delay02              'Delay03 is a delay of water_hight at start program
          Out &H378, 8 '1000        'The motor is been working at 50 Hz
          ElseIf Opt_Low.Value = True Then
             Out &H378, 2 '10       'The motor is decresing water's hight
             Call delay02           'Delay03 is a delay of  water_hight
             Out &H378, 8 '1000     'The motor is been working at 50 Hz
          End If

    ElseIf Opt_In30.Value = True Then
       Opt_Pr30.Value = True
       If Opt_Hight.Value = True Then
          Out &H378, 1  '01         'The motor is incresing water's hight
          Call delay02              'Delay03 is a delay  of water_hight
          Out &H378, 4  '100        'The motor is been working at 30 Hz
          Call delay00              'Delay00 is cooling time
          ElseIf Opt_Low.Value = True Then
             Out &H378, 2 '10       'The motor is decresing water's hight
             Call delay02           'Delay03 is a delay of water_hight
             Out &H378, 4  '100     'The motor is been working at 30 Hz
             Call delay00           'Delay00 is cooling time
          End If
    ElseIf Opt_In20.Value = True Then
       Opt_Pr20.Value = True
       If Opt_Hight.Value = True Then
          Out &H378, 1  '01         'The motor is incresing water's hight
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            Call delay02                'Delay02 is a delay of water_hight
            Out &H378, 12 '1100         'The motor is been working at 20 Hz
            ElseIf Opt_Low.Value = True Then
                Out &H378, 2  '10       'The motor is decresing water's hight
                Call delay02            'Delay02 is a delay of water_hight
                Out &H378, 12 '1100     'The motor is been working at 20 Hz
            End If
        Else
End If
End Sub
-------------------------------------------------------------------------------

Private Sub Timer2_Timer()
Text8.Text = Time
End Sub
-------------------------------------------------------------------------------
```

2. Source Code ของ Win32 (Module)

```
#If Win32 Then
'Declare Inp and Out for port I/O
Public Declare Function Inp Lib "inpout32.dll" _
Alias "Inp32" (ByVal PortAddress As Integer) As Integer
Public Declare Sub Out Lib "inpout32.dll" _
Alias "Out32" (ByVal PortAddress As Integer, ByVal Value As Integer)
#Else
Declare Function Inp Lib "InpOut.DLL" (ByVal Port%) As Integer
Declare Sub Out Lib "InpOut.DLL" (ByVal Port%, ByVal Value%)
#End If
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Source Code ของ Main_Program(Module)

```
Public tsetpoint, tout As Single
----------------------------------------------------------------------------------------------------
Sub Main_Program()
Dim stoped As Integer
Dim tsetpoint As Single
Dim tout As Single

Do
DoEvents
tsetpoint = Main_form1.Text3
tout = Main_form1.Text1

If tsetpoint > tout Then                        'Progrm reduce the frequncy
   If Main_form1.Opt_Pr50.Value = True Then     'The motor was done at 50 Hz
     Main_form1.Opt_Pr30.Value = True           'Option Buttom 30 Hz is been working
       Out &H378, 4                             'The motor is been working at 30Hz
       Call delay00                             'Delay00 is a cooling timer

      ElseIf Main_form1.Opt_Pr30.Value = True Then  'The motor was done at 30 Hz
           Main_form1.Opt_Pr20.Value = True         'Option Buttom 20 Hz is been working
           Out &H378, 12                            'The motor is been working at 20Hz
           Call delay00                             'Delay00 is cooling time

           ElseIf Main_form1.Opt_Pr20.Value = True Then 'Program reduce the water's hight
              If (Main_form1.Text4.Text < 4) Then       'Text4 recives value from up's limits switch
                Call delay00                            'Delay00 is cooling time
                Out &H378, 14                           'Water's hight is reducing
                Call delay01                            'Delay01 is water'hight timer
                Out &H378, 12                           'The motor is been working at 20Hz
              Else
                Main_form1.Opt_lim2.Value = True
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            End If
        Else
End If
Else

    ' In case of temperature's set point lessthen outlet's temperature
    ' Progtm icrease frequency
  If Main_form1.Opt_Pr20.Value = True Then 'The motor was done at 20 Hz
    Main_form1.Opt_Pr30.Value = True      'Option Buttom 30 Hz is been working
    Out &H378, 4                          'The motor is been working at 30Hz
    Call delay00                          'Delay00 is a cooling timer
     ElseIf Main_form1.Opt_Pr30.Value = True Then 'The motor was done at 30 Hz
       Main_form1.Opt_Pr50.Value = True   'Option Buttom 50 Hz is been working
        Out &H378, 8                      'The motor is been working at 50Hz
        Call delay00                      'Delay00 is a cooling timer

        ElseIf Main_form1.Opt_Pr50.Value = True Then 'Program increse the water's hight
            If (Main_form1.Text3.Text < 4) Then 'Text4 recives value from up's limits switch
              Call delay00                'Delay00 is cooling time
              Out &H378, 9                'Water's hight is reducing
              Call delay01                'Delay01 is water'hight timer
              Out &H378, 8                'The motor is been working at 50Hz
            Else
             Main_form1.Opt_lim1.Value = True
            End If
        End If
End If
Loop While stoped = stop1
End Sub
-------------------------------------------------------------------------------------------------
Public Sub delay00()                      'Delay00 is a cooling timer
Dim timecooling As Single
Dim cooling_time As Single
timecooling = (Main_form1.Text6.Text) * 60
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
cooling_time = Timer()
While Timer() - cooling_time < timecooling
DoEvents
Wend
End Sub
```

```
Public Sub delay01()                    'Delay01 is water's hight timer
Dim time_hight As Single
Dim Water_hight As Single
Water_hight = (Main_form1.Text7.Text)
time_hight = Timer()
While Timer() - time_hight < Water_hight
DoEvents
Wend
End Sub
```

```
Public Sub delay02()                    'Delay01 is water's hight timer at start
Dim time_hight As Single
Dim Water_hight As Single
Water_hight = 27        '(Main_form1.Text7.Text) * 60
time_hight = Timer()
While Timer() - time_hight < Water_hight
DoEvents
Wend
End Sub
```

---

4. Source Code ของ Read_Write (Module)

```
Dim i As Integer
Dim dat1 As Single
```

```
Public Sub I2CStart()
Out &H37A, Inp(&H37A) Or 1              'SDA=1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Out &H37A, Inp(&H37A) Or 2              'SCL=1
Out &H37A, Inp(&H37A) And &HFE          'SDA=0
Out &H37A, Inp(&H37A) And &HFD          'SCL=0
End Sub
-------------------------------------------------------------------------------

Public Sub I2CStop()
Out &H37A, Inp(&H37A) And &HFE          'SDA=0
Out &H37A, Inp(&H37A) Or 2              'SCL=1
Out &H37A, Inp(&H37A) Or 1              'SDA=1
End Sub
-------------------------------------------------------------------------------

Public Sub send0()
Out &H37A, Inp(&H37A) And &HFE          'SDA=0
Out &H37A, Inp(&H37A) Or 2              'SCL=1
Out &H37A, Inp(&H37A) And &HFD          'SCL=0
End Sub
-------------------------------------------------------------------------------

Public Sub Send1()
Out &H37A, Inp(&H37A) Or 1              'SDA=1
Out &H37A, Inp(&H37A) Or 2              'SCL=1
Out &H37A, Inp(&H37A) And &HFD          'SCL=0
End Sub
-------------------------------------------------------------------------------

Public Sub Ack()
Out &H37A, Inp(&H37A) Or 1              'SDA=1
Out &H37A, Inp(&H37A) Or 2              'SCL=1
Out &H37A, Inp(&H37A) And &HFD          'SCL=0
End Sub
-------------------------------------------------------------------------------

Public Sub MAck()
Out &H37A, Inp(&H37A) And &HFE          'SDA=0
Out &H37A, Inp(&H37A) Or 2              'SCL=1
Out &H37A, Inp(&H37A) And &HFD          'SCL=0
Out &H37A, Inp(&H37A) Or 1              'SDA=1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
End Sub
Public Function DAT()
 For i = 7 To 0 Step -1
  Out &H37A, Inp(&H37A) Or 1                    'SDA=1
  Out &H37A, Inp(&H37A) Or 2                    'SCL=1
   If (Inp(&H379) And &H80) <> &H80 Then        'Read SDA
     dat1 = 2 ^ i Or dat1
   End If
  Out &H37A, Inp(&H37A) And &HFD                'SCL=0
 Next i
 DAT = dat1                                     'Data 8 Bit
End Function
-------------------------------------------------------------------------------
Public Sub Send8BIT(Add As Integer)
 For i = 7 To 0 Step -1                         ' Loop 7 Cycle
   If (Add And 2 ^ i) = 2 ^ i Then              ' Test Bit 0 OR 1
     Call Send1
   Else
     Call send0
   End If
 Next i
End Sub
-------------------------------------------------------------------------------
```

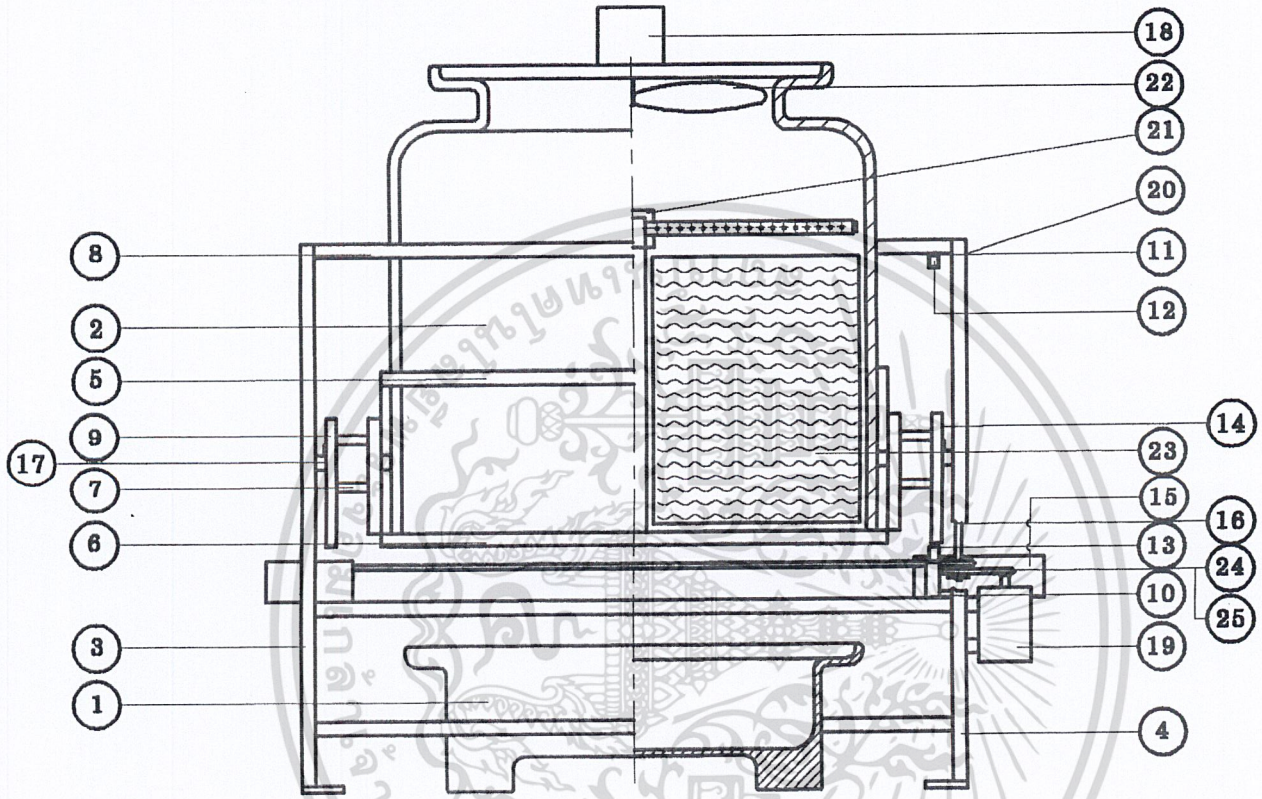
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

แบบภาพชุดทดลองของ

COOLING TOWER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Pos	Part Name and Remark	Dimension	Material	Req.	Drawing No.

Scale: 1:10	Drawn	Name	
		Surajit Ratirungsee	42515793
			ME 3Q/2
Gen Tolerance ISO 2768			
	Checked		

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

Title: COOLING TOWER

Drawing No. ME-01

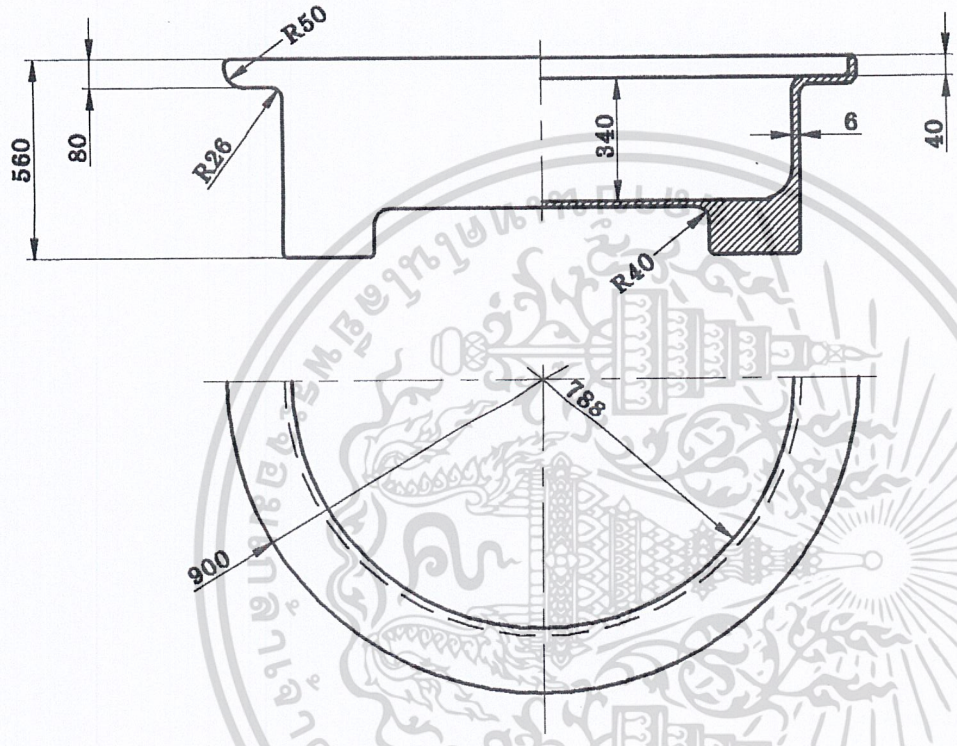
Pos	Part Name and Remark	Dimension	Material	Req.	Drawing No.
29	Screw	M10x150	DIN961	1	ME-01-29
28	Screw	M4x20	DIN963	4	ME-01-28
27	Screw	M6x40	DIN933	10	ME-01-27
26	Screw	M6x40	DIN933	90	ME-01-26
25	Chain			1	ME-01-25
24	Gear			1	ME-01-24
23	Filler			2	ME-01-23
22	Fan			1	ME-01-22
21	Springer			1	ME-01-21
20	Bearing			4	ME-01-20
19	Motor			1	ME-01-19
18	Fan Motor			1	ME-01-18
17	Fix Bush	55x140x14	St 37	2	ME-01-17
16	Shaft	M25.4x1000	St 37	2	ME-01-16
15	Motor Cover	L50x5	St 37	1	ME-01-15
14	Bush	∅45x80	Brass	2	ME-01-14
13	Fix Limit Switch Buttom	L50x5	St 37	1	ME-01-13
12	Fix Limit Switch Upper	L50x5	St 37	1	ME-01-12
11	Limit Switch Cover	L50x5	Metal	2	ME-01-11
10	Adjust Chain	L50x5	St 37	1	ME-01-10
9	Fix Plate	L40x4	St 37	2	ME-01-09
8	L-Beam	L40x4 DIN1028	St 37	4	ME-01-08
7	L-Beam	L40x4 DIN1028	St 37	8	ME-01-07
6	Suport Frame Cooling Tower	∅ 800	St 37	1	ME-01-06
5	Hold Frame Cooling Tower	L50x5	St 37	1	ME-01-05
4	Frame leg right	1100x1500x50	St 37	1	ME-01-04
3	Frame leg left	1100x1500x50	St 37	1	ME-01-03
2	Frame Cooling Tower	∅ 800x1000	Fiberglass	1	ME-01-02
1	Base support water	∅ 800x560	Fiberglass	1	ME-01-01

Scale:		Name		KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
Gen Tolerance ISO 2768	Drawn	Surajit Ratirungsee	42515793	
			ME 3Q/2	
	Checked			
	Title: COOLING TOWER			Drawing No. ME-01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำ ดัดแปลง หรือนำไปใช้ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

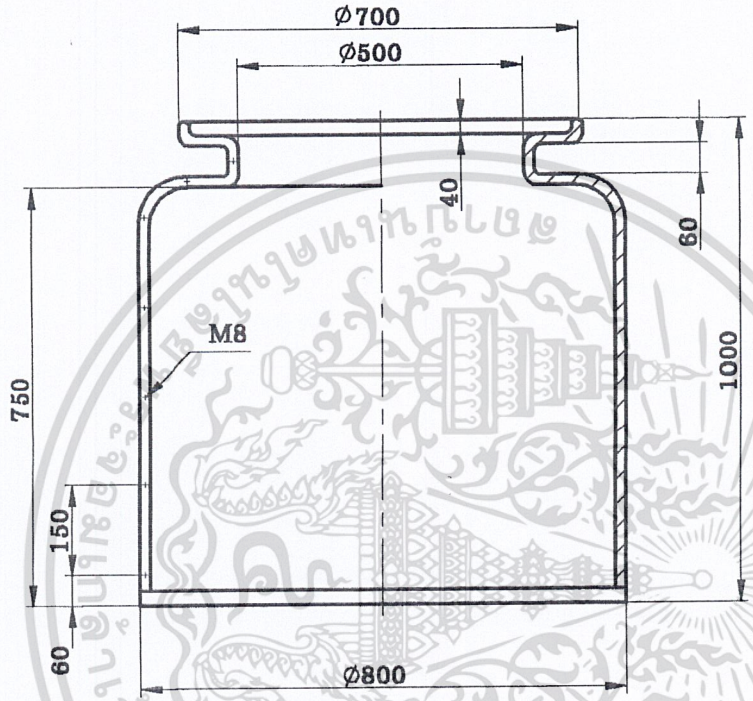
1



1	Base support water	⌀800x560	st37	1	ME-01-01
Pos	Part Name and Remark	Dimension	Material	Req.	Drawing No.

Scale: 1 : 10		Name		KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
Gen Tolerance ISO 2768	Drawn	Surajit Ratirungsee	42515793	
			ME 3Q/2	
	Checked			
Title: COOLING TOWER				Drawing No. ME-01

(2)



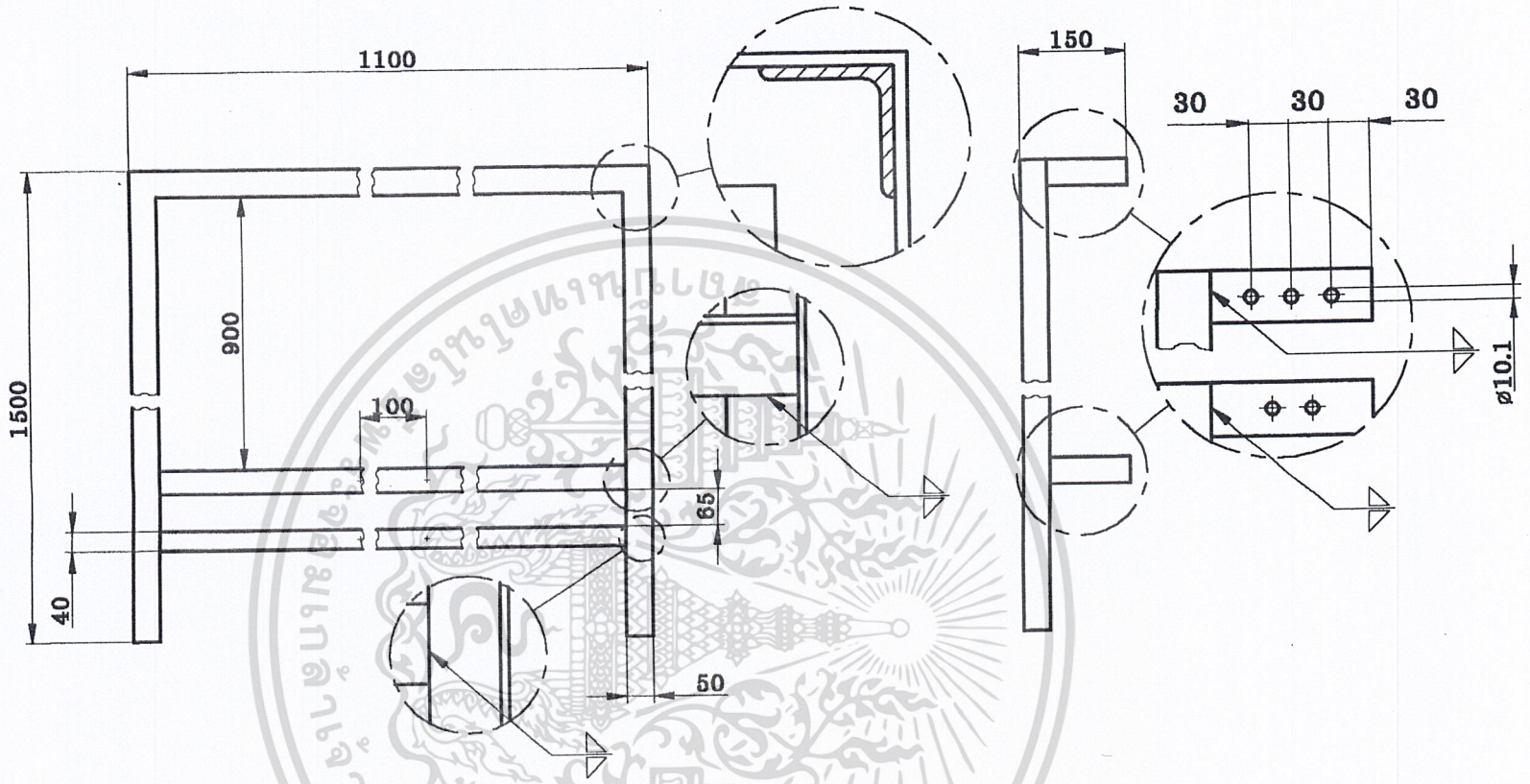
2	Frame Cooling Tower	Ø800x1000	Fiberglass	1	ME-01-02
Pos	Part Name and Remark	Dimension	Material	Req.	Drawing No.

Scale: 1:10		Name		KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
Gen Tolerance ISO 2768	Drawn	Surajit Ratirungsee	42515793	
			ME 3Q/2	
	Checked			

Title: COOLING TOWER

Drawing No. ME-01

3



Pos	Part Name and Remark	Dimension	Material	Req.	Drawing No.
3	Frame leg left	1100x1500x50	st37	1	ME-01-03

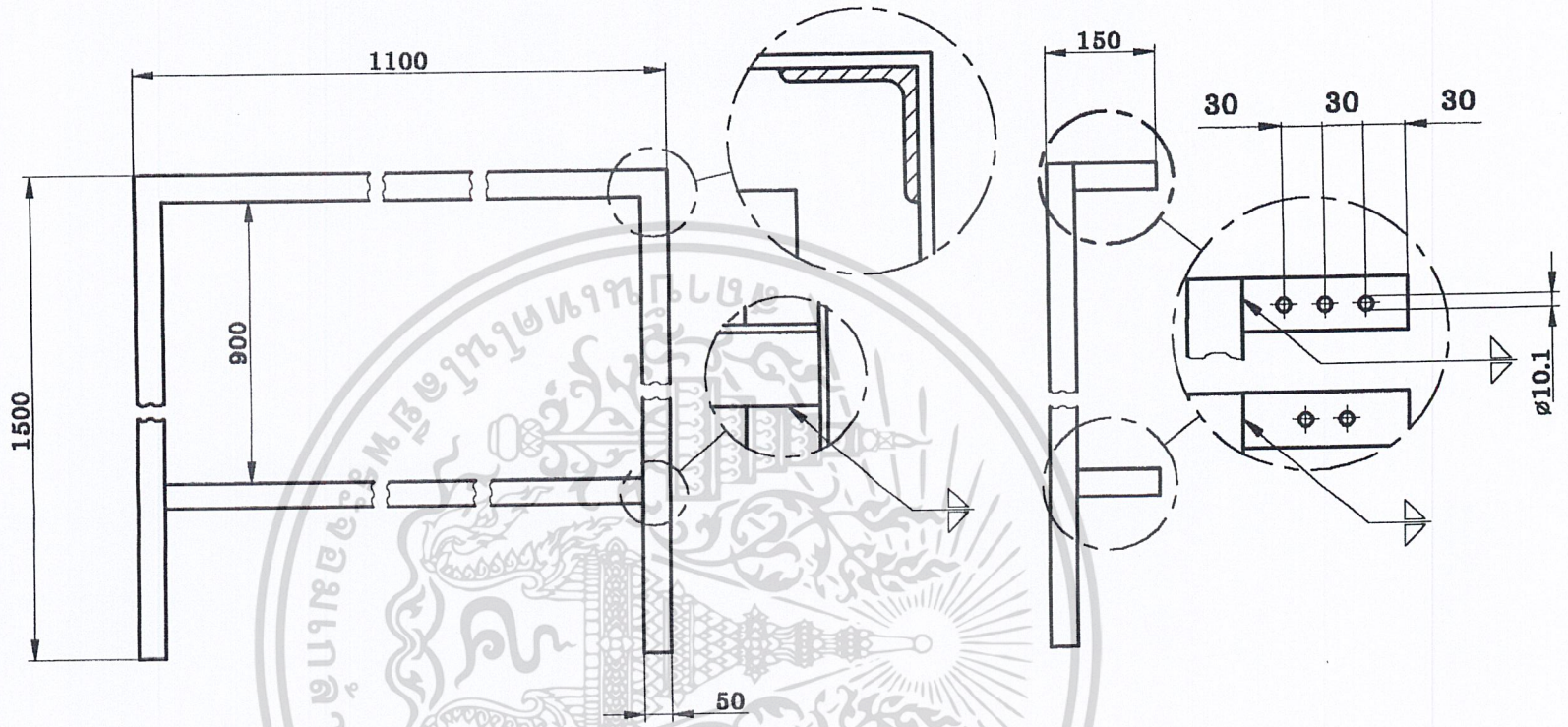
Scale: 1 : 10	Drawn	Name	
		Surajit Ratirungsee	42515793
			ME 3Q/2
Gen Tolerance ISO 2768			
	Checked		

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

Title: COOLING TOWER

Drawing No. ME-01

4



Pos	Part Name and Remark	Dimension	Material	Req.	Drawing No.
4	Frame leg right	1100x1500x50	st37	1	ME-01-04

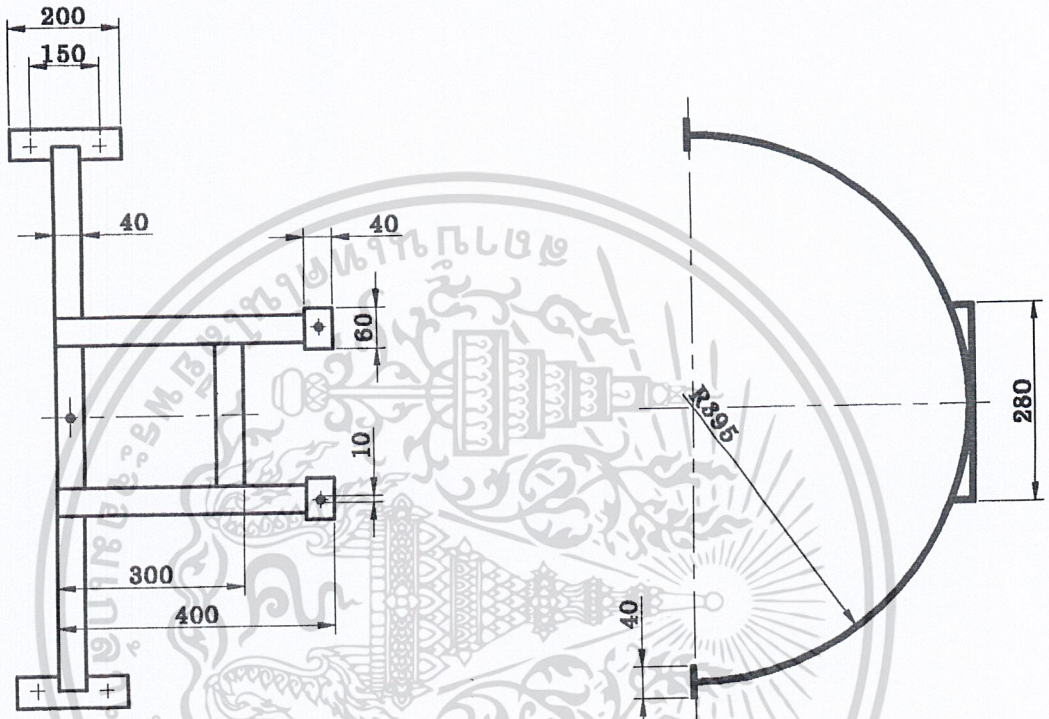
Scale: 1 : 10	Drawn	Name	
		Surajit Ratirungsee	42515793
			ME 3Q/2
Gen Tolerance ISO 2768			
	Checked		

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

Title: COOLING TOWER

Drawing No. ME-01

5



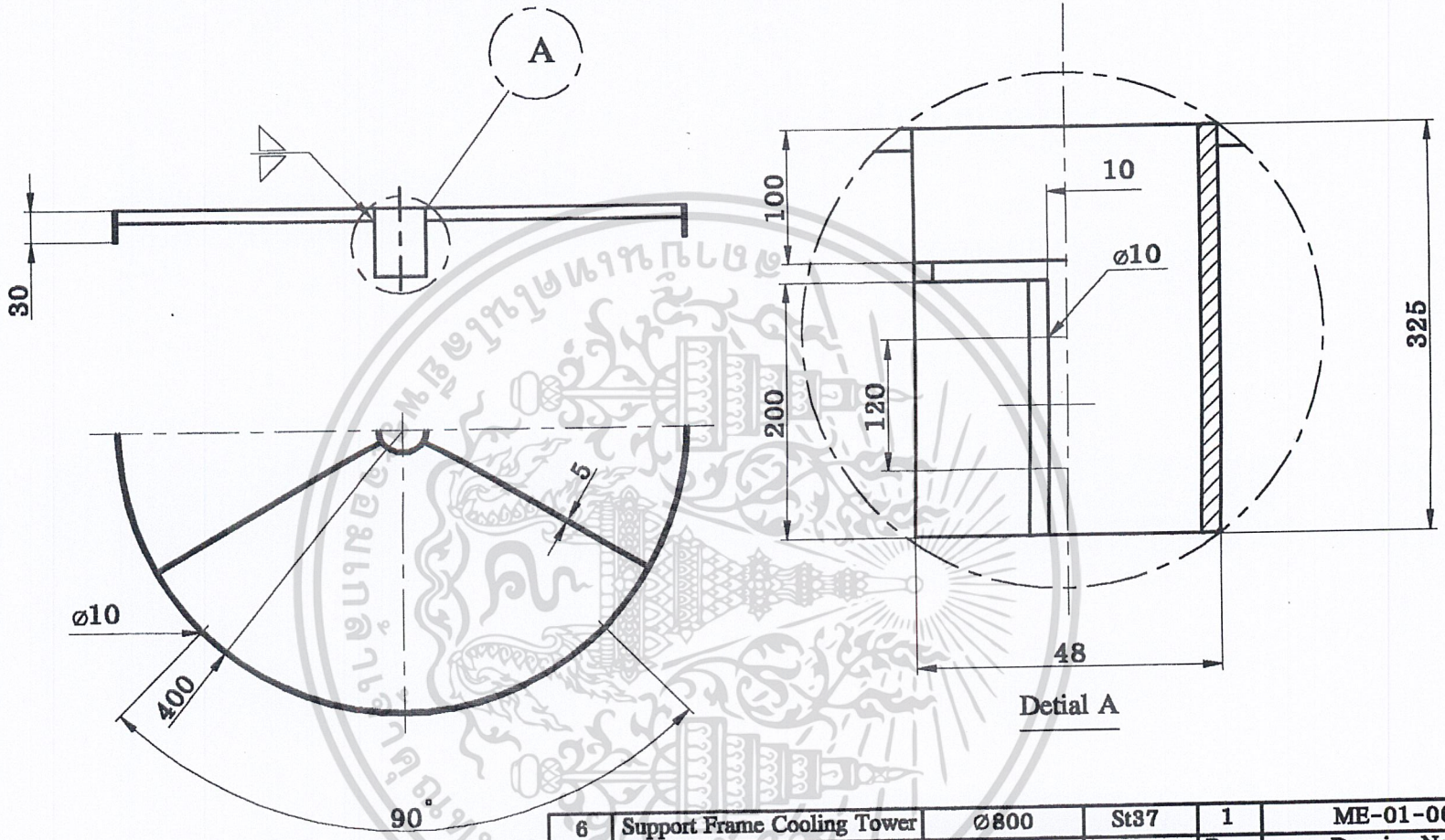
5	Hold Frame Cooling Tower	L50x5	st37	1	ME-01-05
Pos	Part Name and Remark	Dimension	Material	Req.	Drawing No.

Scale: 1 : 5		Name		KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
	Drawn	Surajit Ratirungsee	42515793	
Gen Tolerance ISO 2768			ME 3Q/2	
	Checked			

Title: COOLING TOWER

Drawing No. ME-01

6



Detial A

6	Support Frame Cooling Tower	ø800	St37	1	ME-01-06
Pos	Part Name and Remark	Dimension	Material	Req.	Drawing No.

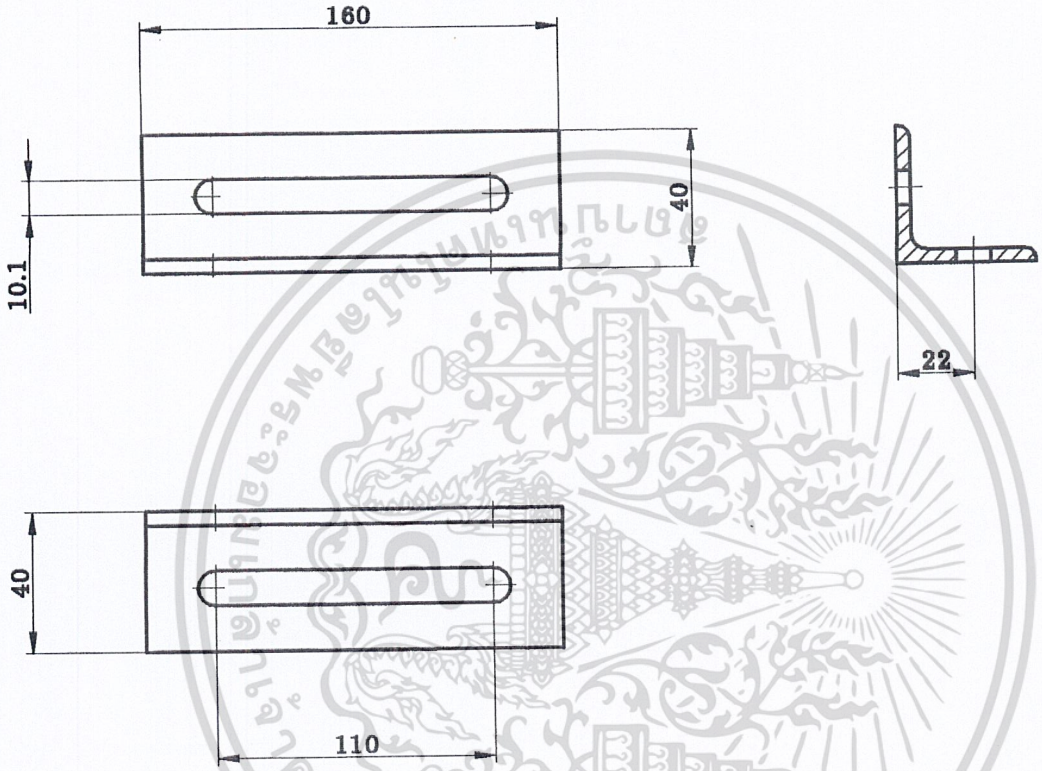
Scale: 1 : 5	Drawn	Name	
		Surajit Ratirungsee	42515793
			ME 3Q/2
Gen Tolerance ISO 2768			
	Checked		

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

Title: COOLING TOWER

Drawing No. ME-01

(7)

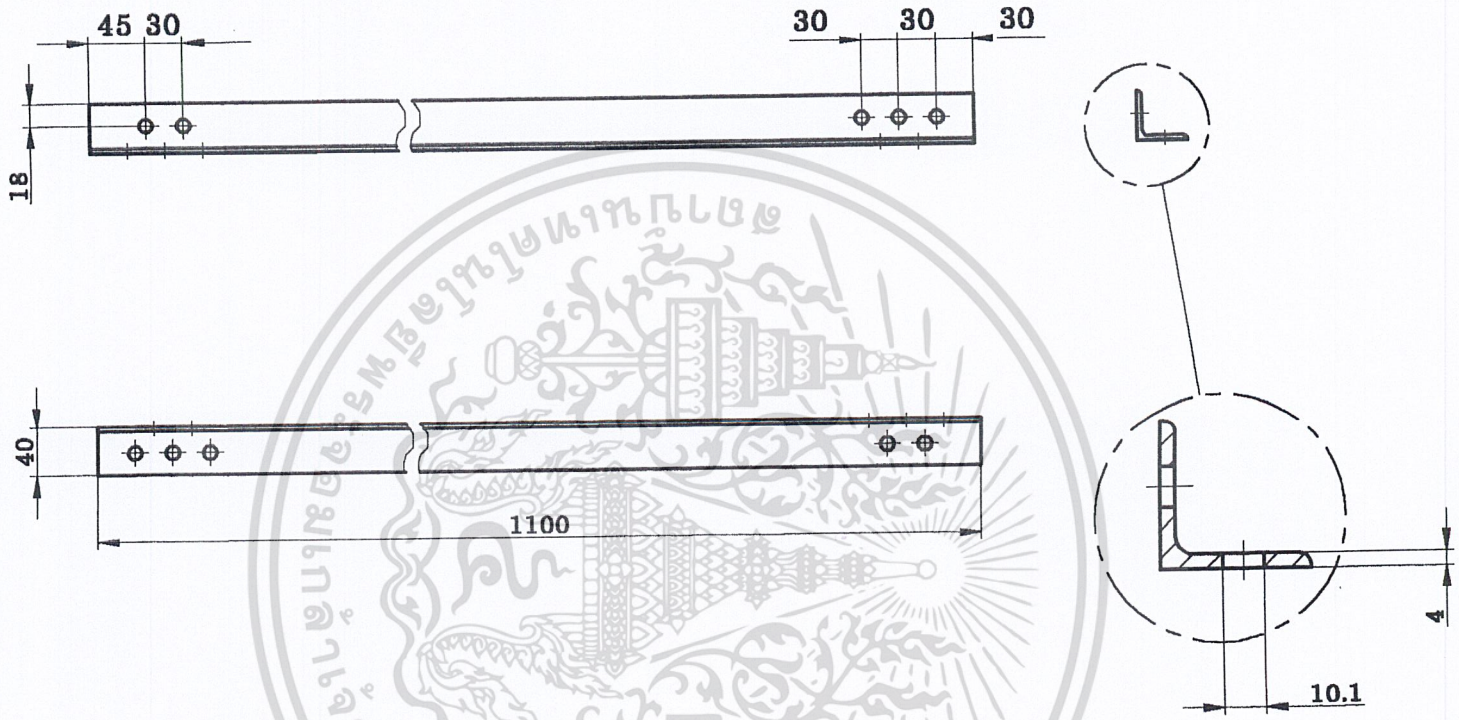


7	L-Beam	L40x4 DIN 1028	St37	8	ME-01-07
Pos	Part Name and Remark	Dimension	Material	Req.	Drawing No.

Scale: 1 : 2		Name		KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
	Drawn	Surajit Ratirungsee	42515793	
Gen Tolerance ISO 2768			ME 3Q/2	
	Checked			

	Title: COOLING TOWER	Drawing No. ME-01

8



8	L-Beam	L40x4 DIN1028	St37	4	ME-01-08
Pos	Part Name and Remark	Dimension	Material	Req.	Drawing No.

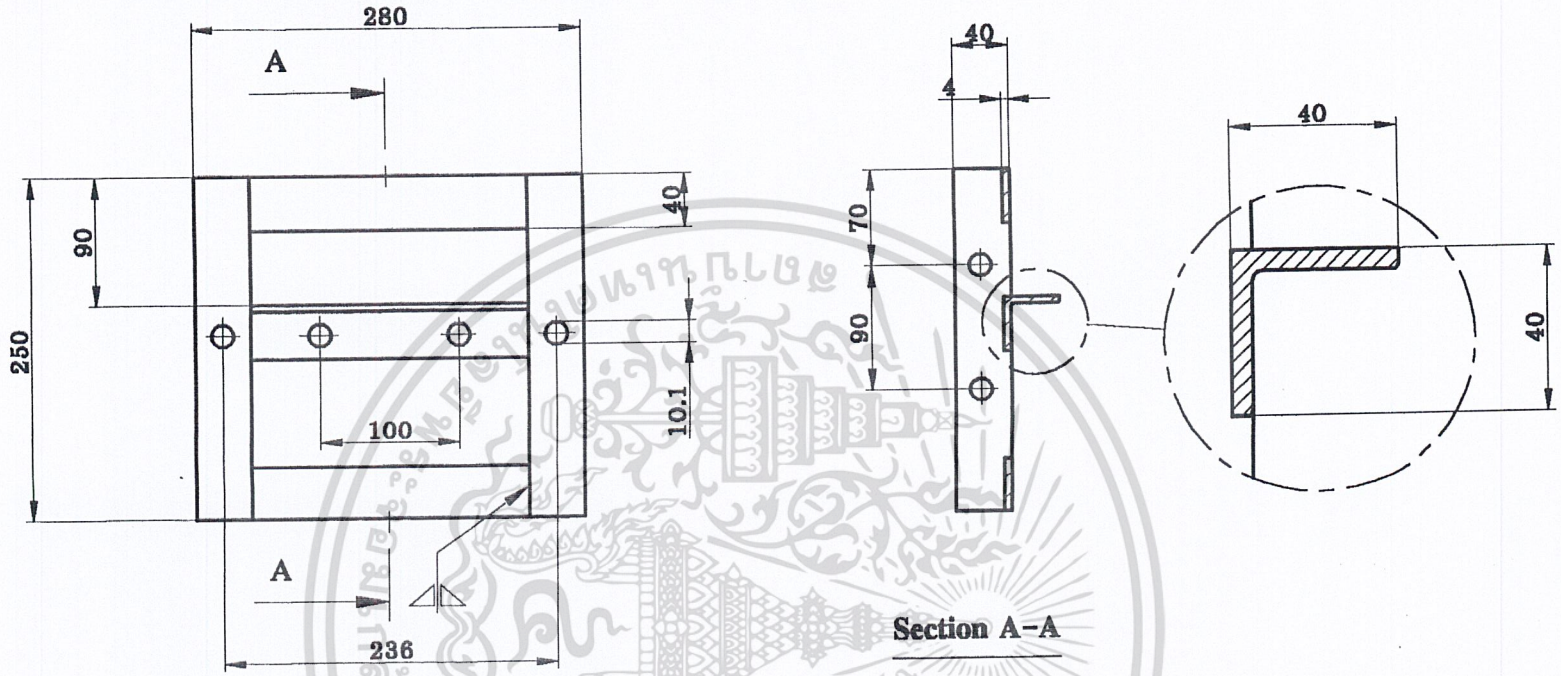
Scale: 1:10	Drawn	Name	
		Surajit Ratirungsee	42515793
			ME 3Q/2
Gen Tolerance ISO 2768			
	Checked		

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

Title: COOLING TOWER

Drawing No. ME-01

9



Section A-A

9	Fix Plate	L40x4	St37	2	ME-01-08
Pos	Part Name and Remark	Dimension	Material	Req.	Drawing No.

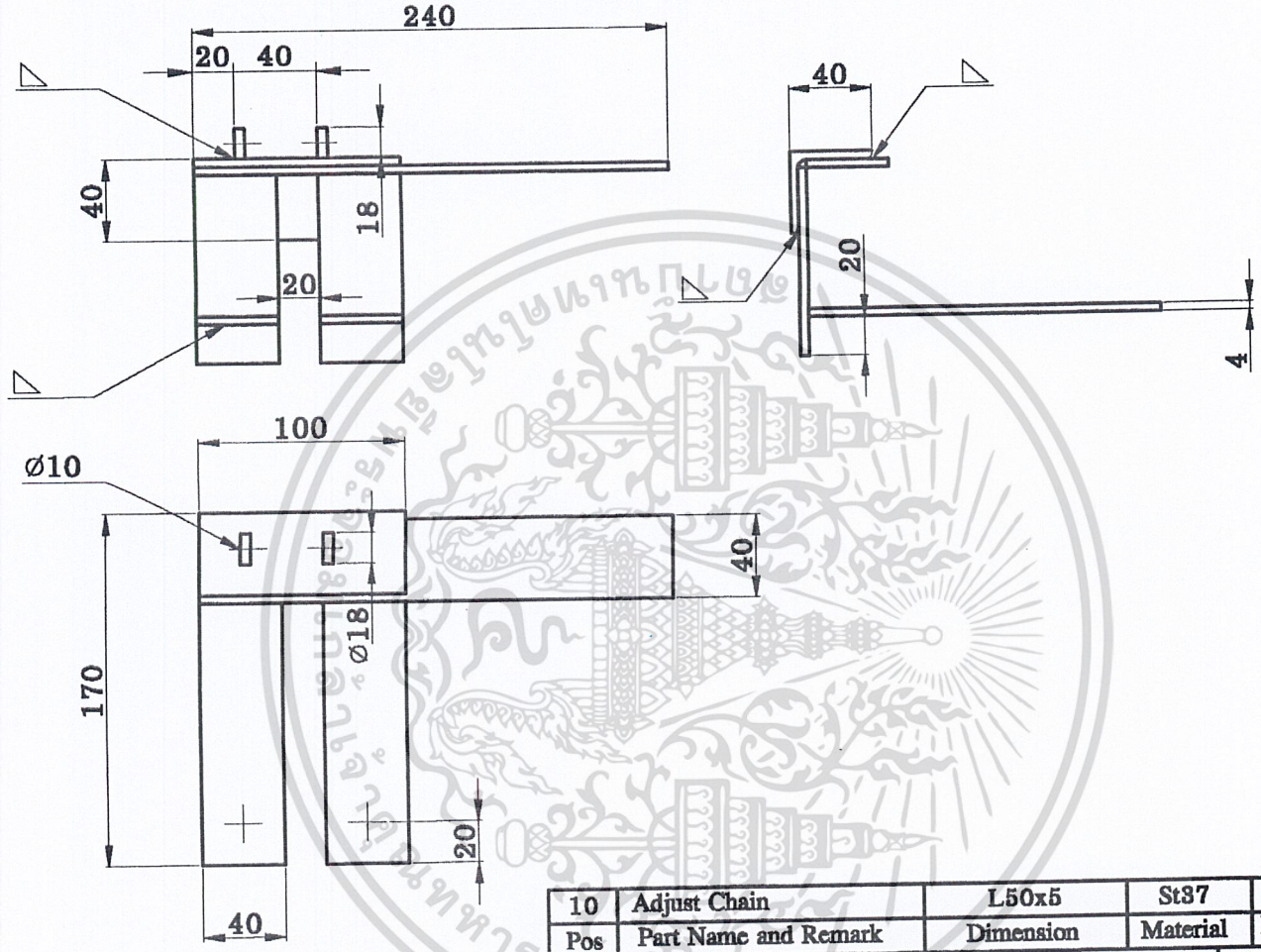
Scale: 1 : 5		Name	
	Drawn	Surajit Ratirungsee	42515793
Gen Tolerance ISO 2768			ME 3Q/2
	Checked		

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

Title: COOLING TOWER

Drawing No. ME-01

10



Pos	Part Name and Remark	Dimension	Material	Req.	Drawing No.
10	Adjust Chain	L50x5	St37	1	ME-01-10

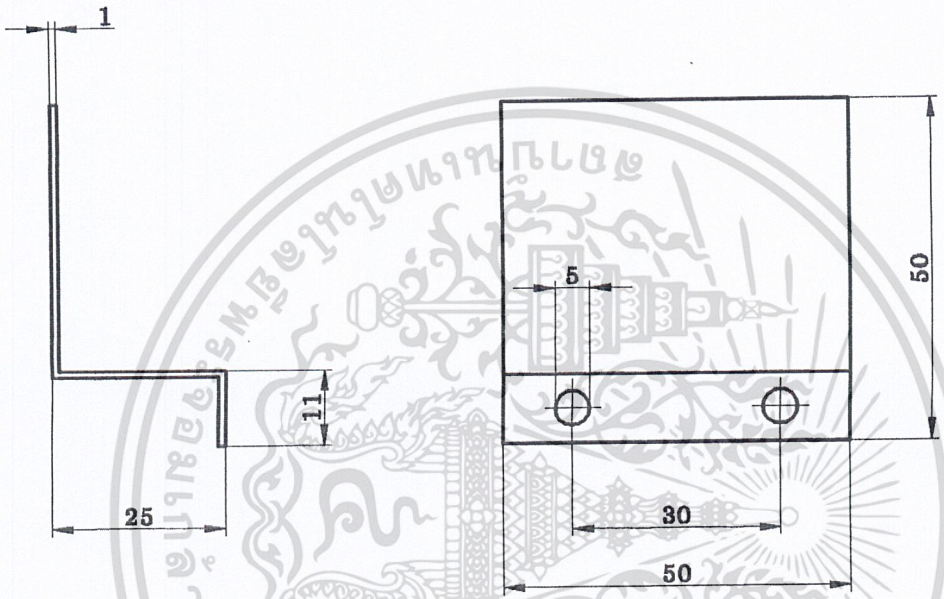
Scale: 1 : 2	Drawn	Name	
		Surajit Ratirungsee	42515793
			ME 3Q/2
Gen Tolerance ISO 2768			
	Checked		

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

Title: COOLING TOWER

Drawing No. ME-01

(11)



11	Limit Switch Cover	L50x5	St37	1	ME-01-11
Pos	Part Name and Remark	Dimension	Material	Req.	Drawing No.

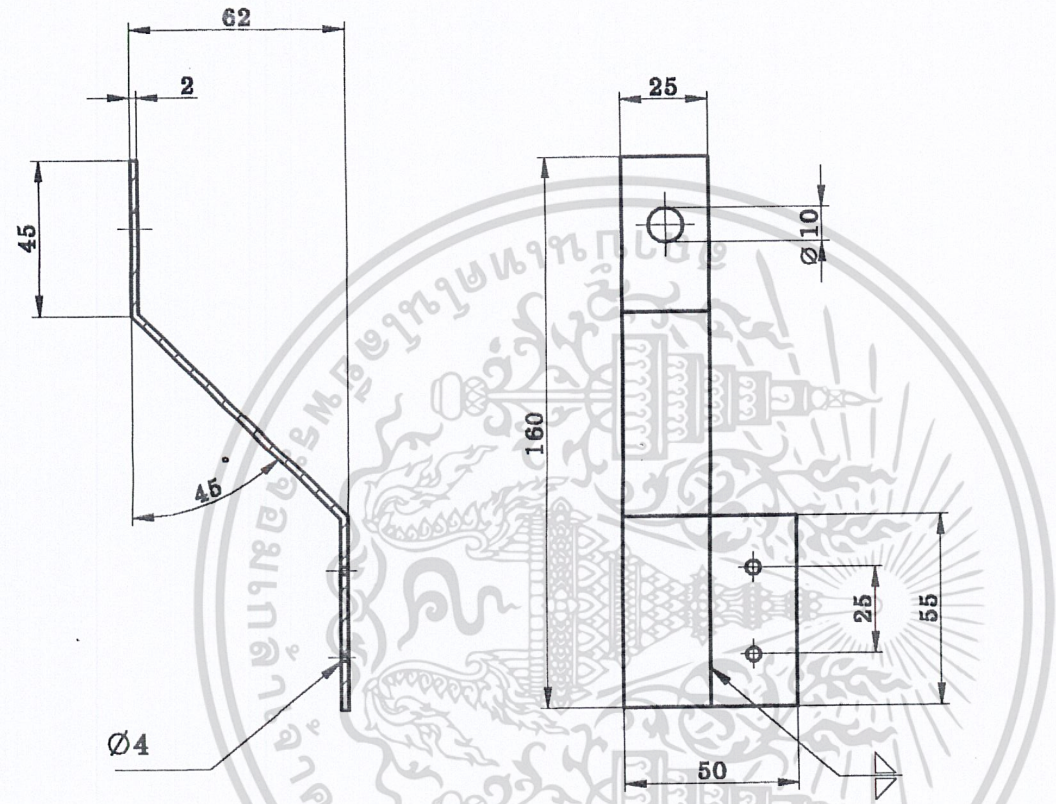
Scale: 1 : 1	Drawn	Name	
		Surajit Ratirungsee	42515793
Gen Tolerance ISO 2768			ME 3Q/2
	Checked		

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

Title: COOLING TOWER

Drawing No. ME-01

12

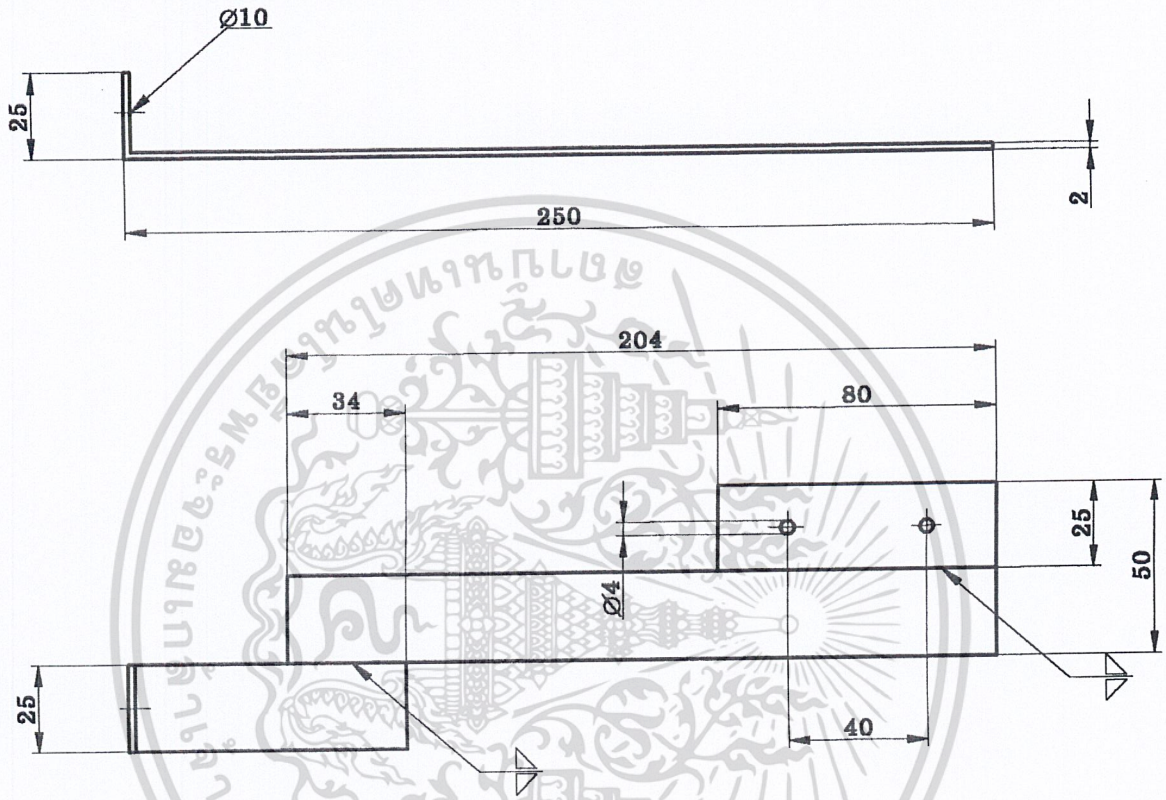


12	Fix Limit Switch Upper	L50x5	St37	1	ME-01-12
Pos	Part Name and Remark	Dimension	Material	Req.	Drawing No.

Scale: 1 : 2		Name		KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
	Drawn	Surajit Ratirungsee	42515793	
Gen Tolerance ISO 2768			ME 3Q/2	
	Checked			

	Title: COOLING TOWER	Drawing No. ME-01

13



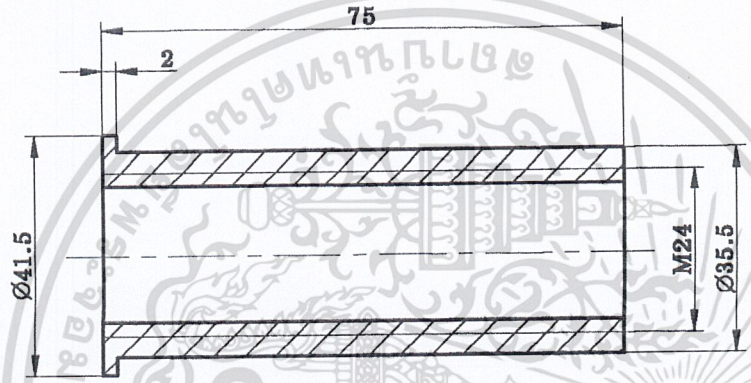
13	Fix Limit Switch Buttom	L50x5	St37	1	ME-01-13
Pos	Part Name and Remark	Dimension	Material	Req.	Drawing No.

Scale: 1 : 2		Name		KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
Gen Tolerance ISO 2768	Drawn	Surajit Ratirungsee	42515793	
			ME 3Q/2	
	Checked			

Title: COOLING TOWER

Drawing No. ME-01

14



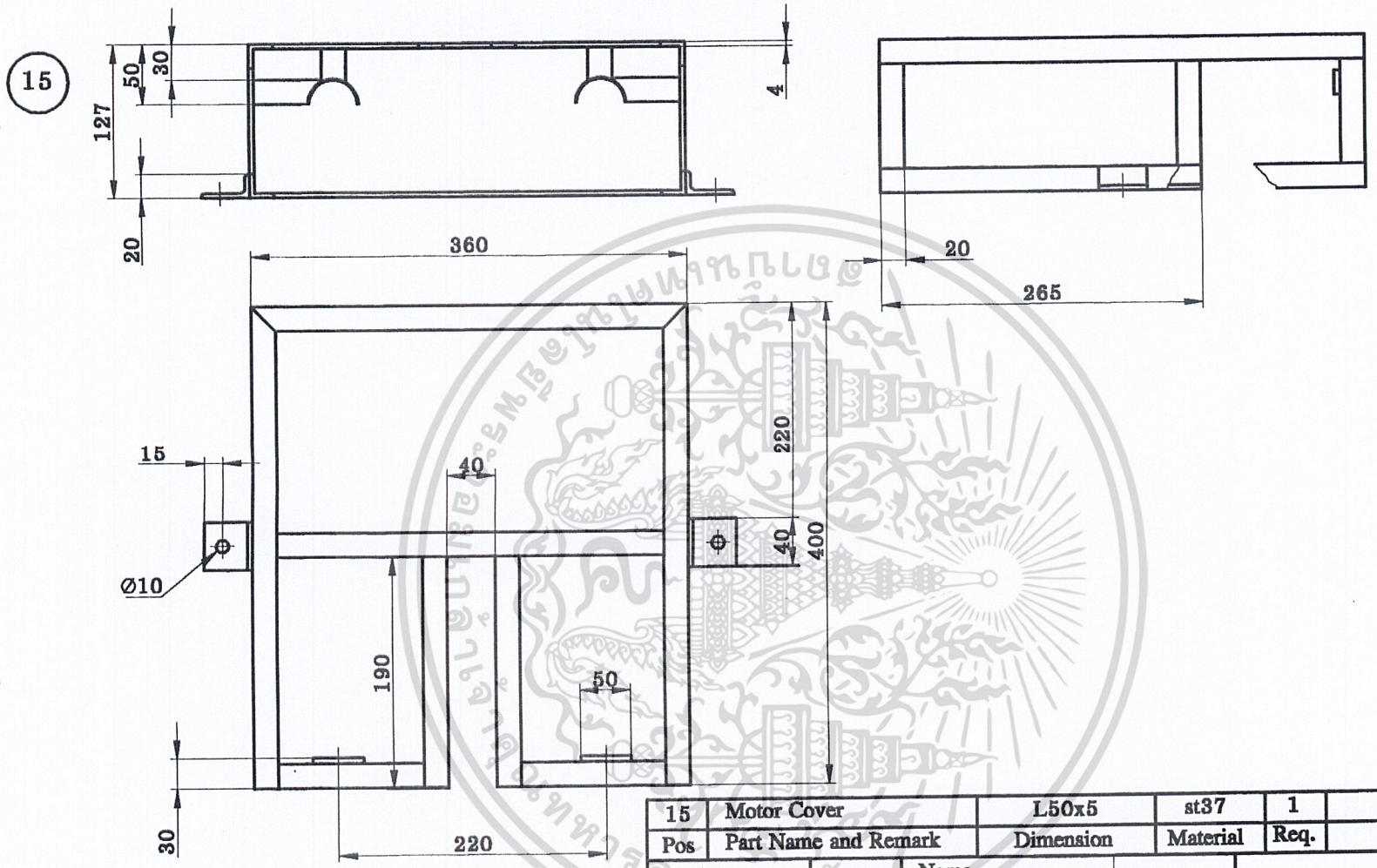
Pos	Part Name and Remark	Dimension	Material	Req.	Drawing No.
14	Bush	Ø45x80	Brass	2	ME-01-14

Scale: 1 : 1	Drawn	Name	
		Surajit Ratirungsee	42515793
			ME 3Q/2
Gen Tolerance ISO 2768			
	Checked		

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

Title: COOLING TOWER

Drawing No. ME-01



Pos	Part Name and Remark	Dimension	Material	Req.	Drawing No.
15	Motor Cover	L50x5	st37	1	ME-01-15

Scale: 1 : 5

Gen Tolerance ISO 2768

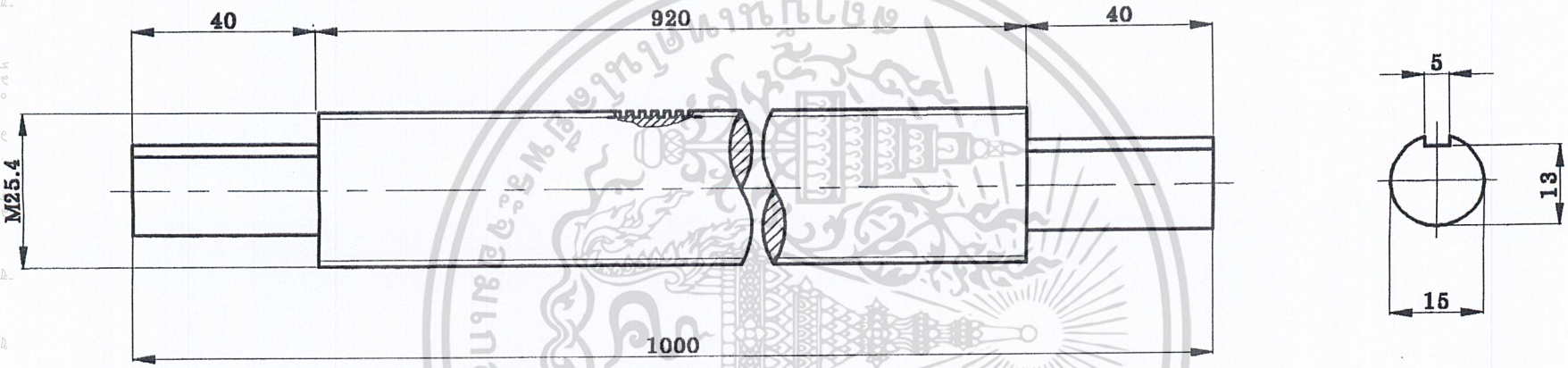
	Name	
Drawn	Surajit Ratirungsee	42515793
		ME 3Q/2
Checked		

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

Title: COOLING TOWER

Drawing No. ME-01

16



Pos	Part Name and Remark	Dimension	Material	Req.	Drawing No.
16	Shaft	M25.4x1000	St37	2	ME-01-16

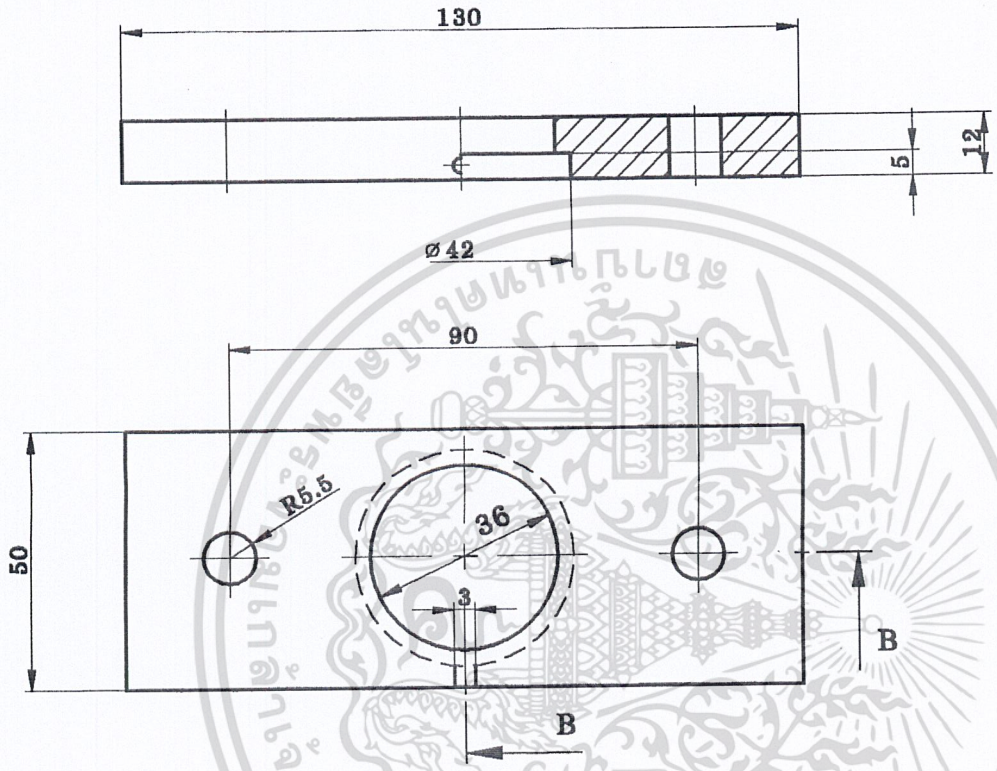
Scale: 1 : 2	Drawn	Name	
		Surajit Ratirungsee	42515793
Gen Tolerance ISO 2768			ME 3Q/2
	Checked		

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

Title: COOLING TOWER

Drawing No. ME-01

17



17	Fix Bush	55x140x14	St37	2	ME-01-17
Pos	Part Name and Remark	Dimension	Material	Req.	Drawing No.

Scale: 1 : 2		Name		KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
Gen Tolerance ISO 2768	Drawn	Surajit Ratirungsee	42515793	
			ME 3Q/2	
	Checked			

	Title: COOLING TOWER	Drawing No. ME-01

บรรณานุกรม

[1] กฤษดา ใจเย็น, ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล,"*เรียนรู้และปฏิบัติการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ตขนาน*", บริษัท อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด

[2] ฉันทวุฒิ พืชผล, พิชิต สันติกุลานนท์, "คู่มือเรียน Visual Basic 6" , บริษัท เอช เอ็น กรุ๊ป จำกัด

[3] อัครเดช สินธุภัค, "*การทำความเย็น*", ตำราชุดวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[4] อัครเดช สินธุภัค, "*การปรับอากาศ*", ตำราชุดวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้