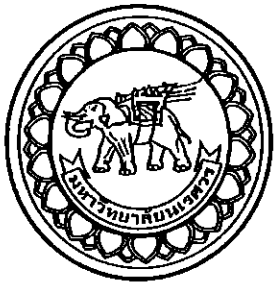


การลดอุณหภูมิคอนเดนเซอร์ โดยการระเหยของน้ำโดยใช้ใยบวบ

Reducing condensing temperature by evaporative cooling system with luffa

นายคาวี	จินาวงค์	รหัส	51383454
นายวัธนะกิจ	จันขันธ์	รหัส	51383645
นายณัฐพล	พรมวังขวา	รหัส	51384680

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 10 ก.ค. 2555
เลขทะเบียน 15997094
เลขเรียกหนังสือ ปร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร 03449 2554

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2554

ใบรับรองโครงงานวิศวกรรม

หัวข้อโครงงาน	: การลดอุณหภูมิคอนเดนเซอร์โดยการระเหยของน้ำ โดยใช้ใยบวบ			
ผู้ดำเนินโครงงาน	: 1. นายคาวี	จินาวงค์	รหัส	51383454
	2. นายวัธนะกิจ	จันขันธ์	รหัส	51383645
	3. นายณัฐพล	พรมวังขวา	รหัส	51384680
อาจารย์ที่ปรึกษา	: ดร.นินนาท	ราชประดิษฐ์		
ภาควิชา	: วิศวกรรมเครื่องกล			
ปีการศึกษา	: 2554			

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้โครงงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ การศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะกรรมการสอบโครงงาน

..... ประธานกรรมการ
(ดร.นินนาท ราชประดิษฐ์)

..... กรรมการ
(รศ.ดร.ปฐมศก วิไลพล)

..... กรรมการ
(ผศ.ดร.ปิยะนันท์ เจริญสวรรค์)

หัวข้อโครงงาน	:	การลดอุณหภูมิคอนเดนเซอร์ โดยการระเหยของน้ำ โดยใช้ใยบวบ		
ผู้ดำเนินโครงงาน	:	1. นายคาวี	จินาวงค์	รหัส 51383454
		2. นายวัธนะกิจ	จันขันธ์	รหัส 51383645
		3. นายณัฐพล	พรมวังขวา	รหัส 51384680
อาจารย์ที่ปรึกษา	:	ดร.นินนาท	ราชประดิษฐ์	
ภาควิชา	:	วิศวกรรมเครื่องกล		
ปีการศึกษา	:	2554		

บทคัดย่อ

โครงงานนี้ทำการออกแบบ, สร้าง และทดสอบระบบการทำความเย็นแบบระเหยน้ำเพื่อลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องคอนเดนเซอร์ของระบบปรับอากาศ การทดสอบแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ 1. การหาตัวกลางที่จะนำใช้เป็นแผ่นระเหยน้ำ และ 2. การทดสอบการใช้งานกับเครื่องปรับอากาศ

การทดสอบหาตัวกลางที่นำมาใช้เป็นแผ่นระเหยน้ำ ทำการทดลองโดยให้น้ำผ่านตัวกลาง 4 รูปแบบคือ แผ่นทำความเย็น (Cooling Pad), ใยบวบ, อิฐ และไม่ใช้ตัวกลาง การเปรียบเทียบใช้ค่าอุณหภูมิที่ลดลงได้ การทดสอบภายใต้อุณหภูมิอากาศภายนอกอยู่ในช่วง $30 \pm 2^{\circ}C$ และความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 60 ± 5 %RH และเปรียบอัตราการไหลของน้ำที่ 0.12 , 0.15 , 0.16 ลิตรต่อวินาที พบว่าอัตราการไหลน้ำมีผลต่อการลดอุณหภูมิอากาศเพียงเล็กน้อย และที่อัตราการไหลน้ำที่ 0.16 ลิตรต่อวินาที ถ้าไม่ใช้ตัวกลางจะลดอุณหภูมิได้ 4.9 $^{\circ}C$ อิฐลดอุณหภูมิได้ 4.6 $^{\circ}C$ ใยบวบลดอุณหภูมิได้ 5.7 $^{\circ}C$ และแผ่นทำความเย็น (Cooling Pad) ลดอุณหภูมิได้ 6.6 $^{\circ}C$ และค่าประสิทธิภาพการทำระเหยพบว่าใยบวบมีค่าใกล้เคียงกับแผ่นทำความเย็น และสูงว่ากรณีไม่ใช้ตัวกลางและอิฐ การศึกษานี้จึงเลือกใช้ใยบวบซึ่งมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับแผ่นทำความเย็น นอกจากนี้การทดสอบที่ช่วงเวลาของวันพบว่าช่วงบ่ายสามารถทำความเย็นแบบระเหยได้ดีสุด

การทดสอบการใช้งานกับเครื่องปรับอากาศ ได้นำใยบวบมาติดตั้งกับเครื่องปรับอากาศขนาด 30,000 BTU/hr เพื่อทดสอบการใช้พลังงานไฟฟ้า และค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ พบว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าเครื่องปรับอากาศปกติ 2.1 kW และเครื่องปรับอากาศแบบติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยใช้ใยบวบ 1.84 kW ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) ของเครื่องปรับอากาศปกติจะมีค่า COP 1.86 และเมื่อติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยใช้ใยบวบจะมีค่า COP 2.29 เมื่อรวมการใช้พลังงานไฟฟ้าจากปั๊มน้ำ 0.02 kW จะมีค่า COP 2.26 ตามลำดับ เห็นได้ว่าใยบวบเป็น

ทางเลือกหนึ่งที่เหมาะสมในการนำมาใช้ทำเครื่องทำความเย็นแบบระเหย เพื่อลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ได้เป็นอย่างดี

Project Title	:	Reducing condensing temperature by evaporative system with luffa		
Name	:	Mr. Kawee	Jinawong	Code 51383454
		Mr. Wattanakit	Jankan	Code 51383645
		Mr. Nutthapon	Promwungkwa	Code 51384680
Project Advisors	:	Dr. Ninnart	Rachapradit	
Department	:	Mechanical Engineering		
Academic Year	:	2011		

Abstract

The objective of the study is to design, build and test evaporative cooling medias for condensing unit of split type air conditioning. The study work derives into two parts: 1) evaporative media selection, and 2) testing the evaporative media with air conditioning.

The evaporative media selection is selected from cooling pad, luffa, brick, and non-media. The test parameter is temperature difference between before and after passing media. The control parameters are air flow rate and ambient temperature and RH. Water flow rates are 0.12 , 0.15 , 0.16 L/s. The results show that water flow rate is less effect to the temperature difference. At water flow rate of 0.16 L/s, the temperature drops of non-media, brick, luffa, and cooling pad are 4.9, 4.6, 5.7 and 6.6 $^{\circ}$C respectively. Evaporative efficiency for the case of luffa and cooling are very similar. Thus in the study luffa will be used as cooling media for air conditioning condensing unit.

The test of evaporative cooling using luffa as media is carried out. Air condition unit used in the study is 30,000 BTU/hr. Electricity power consumption and COP of the air condition unit are observed. The result shows that normal power consumption without evaporative cooling is 2.1 kW. For the case of using cooling pad, the power consumption is reduced to 1.84 kW and COP of the air condition is 1.86. For the case of luffa as media, COP of the air condition is 2.26. It can be

concluded that luffa could be used as evaporative media which gives the result comparable with commercial cooling pad.

กิตติกรรมประกาศ

กลุ่มโครงงานการลดอุณหภูมิคอนเดนเซอร์ โดยการระเหยของน้ำโดยใช้ไยบวบ สามารถทำงานสำเร็จได้ดี ทางคณะผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณ อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.นินนาท ราชประดิษฐ์ พร้อมคณะอาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้คำปรึกษาและคำแนะนำต่างๆ และขอขอบคุณศูนย์วิจัยด้านพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือทดสอบที่ใช้ในโครงงานนี้ รวมทั้งขอขอบพระคุณครูช่างและแม่บ้านประจำอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่านที่อำนวยความสะดวกทางด้านสถานที่ทำการทดลอง และต้องขอขอบคุณเพื่อนๆ ที่มีส่วนช่วยเหลือให้โครงงานสำเร็จได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำต้องกราบขอบพระคุณบิดา และมารดา ที่คอยสนับสนุน พร้อมทั้งเป็นกำลังใจให้ทำโครงงานนี้ตลอดมา

นายคาวี จินาวงค์
นายวัธนะกิจ จันขันธ์
นายณัฐพล พรมวังขวา

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองโครงงาน	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ง
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฎ
สารบัญรูปภาพ	ฐ
สารบัญกราฟ	ฑ
ลำดับสัญลักษณ์	ฒ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	1
1.3 ขอบเขต	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานของโครงการ	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.6 งบประมาณที่ใช้	3
1.7 แผนขั้นตอนการดำเนินงาน	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ส่วนประกอบของอากาศ	5
2.2 ความชื้นสัมพัทธ์	5
2.3 อัตราส่วนความชื้นหรือความชื้นจำเพาะ	5
2.4 อุณหภูมิกระเปาะแห้ง	6
2.5 อุณหภูมิจุดน้ำค้าง	6
2.6 อุณหภูมิกระเปาะเปียก	6
2.7 เอนทัลปีของอากาศ	6

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
	2.8 ความร้อนสัมผัส และความร้อนแฝง	7
	2.9 ทฤษฎีในการพิจารณาวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ	8
	2.10 สมมติฐานในการวิเคราะห์ระบบปรับอากาศแบบอัดไอ	10
	2.11 ระบบทำความเย็นแบบระเหย	12
	2.12 ประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นแบบระเหย	14
	2.13 การเลือกใช้ปั๊มน้ำ	14
	2.14 วิเคราะห์ผลตอบแทนในการลงทุน	15
	2.15 บวบ	16
	2.16 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
บทที่ 3	วิธีการดำเนินโครงงาน	
	3.1 การออกแบบชุดทดลองเครื่องทำความเย็นแบบระเหย	23
	3.1.1 การออกแบบชุดทดลองเครื่องทำความเย็นแบบระเหย	23
	3.1.2 การออกแบบติดตั้งท่อน้ำในชุดทดลองเครื่องทำความเย็นแบบระเหย	24
	3.1.3 การเลือกปั๊มน้ำ	25
	3.1.4 รูปแบบวิธีการทำความเย็นที่ใช้	25
	3.1.5 ตำแหน่งการวัดและบันทึกข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ	25
	3.1.6 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบชุดทดลองเครื่องทำความเย็นแบบระเหย	26
	3.1.7 การทดสอบชุดทดลองเครื่องทำความเย็นแบบระเหยน้ำ	28
	3.2 การออกแบบเครื่องทำความเย็นแบบระเหย	31
	3.2.1 การออกแบบเครื่องทำความเย็นแบบระเหย	31
	3.2.2 การออกแบบถาดใส่น้ำด้านล่างของเครื่องทำความเย็นแบบระเหย	32
	3.2.3 การออกแบบติดตั้งท่อน้ำในเครื่องทำความเย็นแบบระเหย	33
	3.2.4 การเลือกปั๊มน้ำ	33
	3.2.5 ตำแหน่งการวัดและบันทึกข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ	34
	3.2.6 การวัดและบันทึกข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า	35
	3.2.7 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำโครงงาน	35

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.8 การทดสอบเครื่องปรับอากาศปรกติ	37
3.2.9 การทดสอบเครื่องปรับอากาศเมื่อติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบระเหย	37
3.2.10 สถานที่ทำโครงงาน	38
3.2.11 ตัวอย่างตารางบันทึกผลการทดลอง	38
บทที่ 4 ผลและการวิเคราะห์การทดลอง	
4.1 ผลการทดสอบชุดทดลองเครื่องทำความเย็นแบบระเหยน้ำ	40
4.1.1 ผลรูปแบบวิธีทำความเย็นแบบระเหยที่ใช้	40
4.1.2 ผลประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นแบบระเหย	42
4.1.3 ผลช่วงเวลาทำความเย็นแบบระเหย	43
4.2 ผลการทดสอบเครื่องปรับอากาศเมื่อติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบระเหย	44
4.2.1 ผลของเครื่องทำความเย็นแบบระเหยต่อพลังงานการใช้ไฟฟ้า	44
4.2.2 อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์	45
4.2.3 อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของพัดลมคอนเดนเซอร์	46
4.2.4 อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบเครื่องปรับอากาศที่ติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยใช้ใยบวบ	47
4.2.5 ผลของเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยใช้ใยบวบต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) ของเครื่องปรับอากาศ	48
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลโครงงาน	50
5.2 ข้อเสนอแนะ	51
เอกสารอ้างอิง	52

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก 54

ภาคผนวก ข 74

ภาคผนวก ค 82

ภาคผนวก ง 87

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน 97

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1.1	รายการอุปกรณ์และราคาอุปกรณ์ต่อหน่วย	3
ตารางที่ 1.2	ขั้นตอนการดำเนินงาน	4
ตารางที่ 3.1	แสดงเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบชุดทดลองเครื่องทำความเย็นแบบระเหย	26
ตารางที่ 3.2	แสดงเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบชุดทดลองเครื่องทำความเย็นแบบระเหย	35
ตารางที่ 4.1	แสดงอุณหภูมิที่สามารถลดลงได้	41
ตารางที่ 4.2	แสดงอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของแต่ละอุปกรณ์	48
ตารางที่ 4.3	เปรียบเทียบเครื่องปรับอากาศแบบปกติและติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยใช้ใยบวบ	49
ตารางที่ ก.1.1	หยดน้ำที่อัตราการไหล 0.12 ลิตรต่อวินาที	55
ตารางที่ ข.1.2	หยดน้ำที่อัตราการไหล 0.15 ลิตรต่อวินาที	56
ตารางที่ ก.1.3	หยดน้ำที่อัตราการไหล 0.16 ลิตรต่อวินาที	56
ตารางที่ ก.1.4	หยดน้ำผ่านอิฐที่อัตราการไหล 0.12 ลิตรต่อวินาที	57
ตารางที่ ก.1.5	หยดน้ำผ่านอิฐที่อัตราการไหล 0.15 ลิตรต่อวินาที	57
ตารางที่ ก.1.6	หยดน้ำผ่านอิฐที่อัตราการไหล 0.16 ลิตรต่อวินาที	58
ตารางที่ ก.1.7	หยดน้ำผ่านใยบวบที่อัตราการไหล 0.12 ลิตรต่อวินาที	59
ตารางที่ ก.1.8	หยดน้ำผ่านใยบวบที่อัตราการไหล 0.15 ลิตรต่อวินาที	59
ตารางที่ ก.1.9	หยดน้ำผ่านใยบวบที่อัตราการไหล 0.16 ลิตรต่อวินาที	60
ตารางที่ ก.1.10	หยดน้ำผ่านแผ่นทำความเย็น (Cooling Pad) ที่อัตราการไหล 0.12 ลิตรต่อวินาที	61
ตารางที่ ก.1.11	หยดน้ำผ่านแผ่นทำความเย็น (Cooling Pad) ที่อัตราการไหล 0.15 ลิตรต่อวินาที	61
ตารางที่ ก.1.12	หยดน้ำผ่านแผ่นทำความเย็น (Cooling Pad) ที่อัตราการไหล 0.16 ลิตรต่อวินาที	62
ตารางที่ ก.2.1	ช่วงเช้า	63
ตารางที่ ก.2.2	ช่วงบ่าย	63

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ ก.2.3	ช่วงเย็น	64
ตารางที่ ก.2.4	ช่วงกลางคืน	65
ตารางที่ ก.3	ข้อมูลเครื่องปรับอากาศปกติ	66
ตารางที่ ก.4	ข้อมูลเครื่องปรับอากาศติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบระเหย	68
ตารางที่ ก.5	ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศเมื่อติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยทำการเปิดและปิด	70
ตารางที่ ค.1	ความยาวสมมูลของข้อต่อ และอุปกรณ์เป็นเมตร	84
ตารางที่ ค.2	ขนาดต่างๆของมอเตอร์ที่เป็นมาตรฐาน	84
ตารางที่ ค.3	การใช้ไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	85

สารบัญรูปภาพ

		หน้า
รูปที่ 2.1	วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอเบื้องต้น	9
รูปที่ 2.2	ไดอะแกรมความดันและเอนทัลปีของสารทำความเย็น	9
รูปที่ 2.3	ไดอะแกรมความดันและเอนทัลปีของสารทำความเย็น	10
รูปที่ 2.4	กระบวนการทำความเย็นแบบระเหย	13
รูปที่ 2.5	บวบเหลี่ยม	16
รูปที่ 2.6	บวบหอมหรือบวบกลม	17
รูปที่ 2.7	บวบขม	18
รูปที่ 2.9	บวบงู	18
รูปที่ 3.1	แสดงหลักการทำงานเครื่องทำความเย็นแบบระเหย	23
รูปที่ 3.2	แบบชุดทดลองเครื่องทำความเย็นแบบระเหย	24
รูปที่ 3.3	การติดตั้งท่อน้ำในชุดทดลองเครื่องทำความเย็นแบบระเหย	24
รูปที่ 3.4	แสดงตำแหน่งการวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ	25
รูปที่ 3.5	เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์	27
รูปที่ 3.6	ปั๊มน้ำ	27
รูปที่ 3.7	พัดลม	28
รูปที่ 3.8	หยดน้ำ	29
รูปที่ 3.9	หยดน้ำผ่านใยบวบ	30
รูปที่ 3.10	หยดน้ำผ่านอิฐ	30
รูปที่ 3.11	หยดน้ำลงแผ่นทำความเย็น (Cooling Pad)	31
รูปที่ 3.12	เครื่องทำความเย็นแบบระเหย	32
รูปที่ 3.13	ถาดใส่น้ำด้านล่างของเครื่องทำความเย็นแบบระเหย	32
รูปที่ 3.14	การติดตั้งท่อน้ำในเครื่องทำความเย็นแบบระเหย	33
รูปที่ 3.15	แสดงตำแหน่งการวัดและบันทึกข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์	34
รูปที่ 3.16	เครื่องปรับอากาศ	36
รูปที่ 3.17	เครื่องมือวัดไฟฟ้า	36
รูปที่ ข.1	การหาค่าคุณสมบัติในไซโครเมตริก	80

สารบัญกราฟ

		หน้า
กราฟที่ 4.1	เปรียบเทียบวัสดุทำความเย็นแบบระเหย	40
กราฟที่ 4.2	แสดงประสิทธิภาพการระเหยของแต่วัสดุ	42
กราฟที่ 4.3	ช่วงเวลาทำความเย็นแบบระเหยได้ดีสุด	43
กราฟที่ 4.4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ที่มีผลต่อพลังงานไฟฟ้าเครื่องปรับอากาศ	44
กราฟที่ 4.5	เปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ ระหว่างเครื่องปรับอากาศปกติกับเครื่องปรับอากาศติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยใช้ใยบวบ	45
กราฟที่ 4.6	เปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าของพัดลมคอนเดนเซอร์ ระหว่างเครื่องปรับอากาศปกติกับเครื่องปรับอากาศติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยใช้ใยบวบ	46
กราฟที่ 4.7	แสดงอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศเมื่อติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยใช้ใยบวบ	47
กราฟที่ 4.8	แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปรับอากาศ ของเครื่องปรับอากาศปกติและเครื่องปรับอากาศติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบระเหย	48
กราฟที่ ค.1	Operating Characteristics of various direct evaporative coolers	83
กราฟที่ ค.2	กราฟไซโครเมตริก	86

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีสภาพอากาศค่อนข้างร้อน โดยเฉพาะในช่วงฤดูร้อนมีการใช้เครื่องปรับอากาศมาก เครื่องปรับอากาศสำหรับอาคารขนาดเล็กและบ้านพักอาศัยจะเป็นชนิดแยกส่วน (Split Type) เครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วนที่มีจำหน่ายในปัจจุบันนั้นมีการพัฒนาโดยการลดอุณหภูมิคอนเดนเซอร์โดยการระเหยของน้ำ ซึ่งโดยส่วนใหญ่ใช้แผ่นทำความเย็น (Cooling Pad)[1],[2],[3] หรืออาจจะใช้วัสดุอื่นเป็นตัวกลางในการระเหยน้ำ[10],[11] ซึ่งโครงงานนี้มีแนวคิดหาวัสดุจากธรรมชาติมาแก้ปัญหาทางวิศวกรรม จึงพิจารณาใช้ใยบวบ ซึ่งยังไม่มีการนำมาใช้ในลักษณะการระเหยน้ำสำหรับการปรับอากาศ โดยใยบวบมีราคาถูกไม่มีกระบวนการผลิตที่เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม มีความปลอดภัยในการใช้งาน และเป็นวัสดุธรรมชาติที่มีอยู่ทั่วไปภายในประเทศ ซึ่งมีชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ Luffa. พร้อมทั้งยังมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับแผ่นทำความเย็น (Cooling Pad) โดยใยบวบมีลักษณะเป็นเส้นใยต่อกันเป็นช่องเล็กๆ อากาศสามารถผ่านได้ และเส้นใยบวบเมื่อเปียกน้ำจะสามารถอุ้มน้ำได้ดี น่าจะสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุตัวกลางในการระเหยของน้ำได้ ดังนั้นโครงงานนี้จึงใช้แนวคิดทางด้านวิศวกรรมการปรับอากาศนำมาประยุกต์ใช้เพื่อช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วน (Split Type) โดยจะศึกษาถึงการลดอุณหภูมิคอนเดนเซอร์โดยใช้การระเหยน้ำโดยใช้ใยบวบ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

ศึกษาการลดอุณหภูมิก่อนเข้าคอนเดนเซอร์โดยการระเหยของน้ำโดยไม่ใช้แผ่นทำความเย็นเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลง และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบปรับอากาศ

1.3 ขอบเขต

1.3.1 ศึกษาทดลองระบบทำความเย็นแบบระเหยของน้ำจากวัสดุทำความเย็น เพื่อเปรียบเทียบการระเหยของน้ำ

1.3.2 สร้างชุดทดลองทำความเย็นแบบระเหยน้ำ เพื่อลดอุณหภูมิอากาศ

1.3.3 เครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วน ยี่ห้อ TRANE ขนาด 30,000 บีทียูต่อชั่วโมง ภายในอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล

1.3.4 ศึกษาเปรียบเทียบ ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ และอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานของโครงงาน

1.4.1 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการระเหยของน้ำ

1.4.2 ทำการออกแบบสร้างชุดทดลองเครื่องทำความเย็นแบบระเหยของน้ำ โดยให้น้ำไหลผ่านวัสดุตัวกลางทำความเย็นต่างกันจำนวน 4 รูปแบบ ได้แก่ หยดน้ำ หยดน้ำผ่านใยบวบ หยดน้ำผ่านอิฐ และหยดน้ำผ่านแผ่นทำความเย็น (Cooling pad)

1.4.3 นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบกับการระเหยน้ำโดยใช้แผ่นทำความเย็น (Cooling pad)

1.4.4 ได้วิธีการทดลองระบบทำความเย็นแบบระเหยของน้ำ โดยไม่ใช้แผ่นทำความเย็น (Cooling pad) จากวัสดุตัวกลางทำความเย็น 1 ชนิด นำไปติดตั้งกับเครื่องทำความเย็นแบบระเหยของน้ำ เพื่อลดอุณหภูมิที่คอนเดนเซอร์

1.4.5 ศึกษาการทำงานของเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วนขนาด 30,000 บีทียูต่อชั่วโมง และหลักการระเหยของน้ำ

1.4.6 ทำการวัดและบันทึกข้อมูลต่างๆ ของเครื่องปรับอากาศปกติ

1.4.7 ทำการวัดและบันทึกข้อมูลต่างๆ ของเครื่องปรับอากาศที่ได้รับการติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบระเหย

1.4.8 วิเคราะห์ข้อมูลหาพลังงานการใช้ไฟฟ้า และค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ เพื่อทำการเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างเครื่องปรับอากาศปกติและเครื่องปรับอากาศที่ได้รับการติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบระเหย

1.4.9 สรุปผลและจัดทำรายงาน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ และค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะมีค่าเพิ่มขึ้น โดยอัตราใช้พลังงานไฟฟ้าลดลง และการทำงานของระบบปรับอากาศมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

1.6 งบประมาณที่ใช้

ตารางที่ 1.1 รายการอุปกรณ์และราคาอุปกรณ์ต่อหน่วย

ลำดับที่	รายการวัสดุ	จำนวน	หน่วย	ราคา/หน่วย (บาท)	รวม (บาท)
1	แผ่นอะคริลิก	3	แผ่น	370	1113
2	ปั๊มน้ำ	1	เครื่อง	550	550
3	พัดลม	1	เครื่อง	250	250
4	ท่อ พีอี	5	เมตร	30	150
5	ซิลิโคน	1	แท่ง	80	80
6	ตะข่ายพลาสติก	2.5	เมตร	40	100
7	อิฐมอญ	25	ก้อน	3.5	87.5
8	ใยบวบขม	1	กิโลกรัม	100	100
9	ฟิวเจอร์บอร์ด	1	แผ่น	80	80
10	ค่าเอกสาร	-	-	-	500
				รวม	3010.5

1.7 แผนขั้นตอนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ลำดับที่	ขั้นตอนการดำเนินงาน	เดือน								
		พ.ศ 2554							พ.ศ 2555	
		มิ.ย	ก.ค	ส.ค	ก.ย	ต.ค	พ.ย	ธ.ค	ม.ค	ก.พ
1	ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการระเหยของน้ำ									
2	สร้างชุดทดลองระบบทำความเย็นแบบระเหยของน้ำ									
3	ทดลองวัสดุตัวกลางทำความเย็น									
4	วิเคราะห์ผลการทดลอง									
5	สร้างเครื่องทำความเย็นแบบระเหยของน้ำ									
6	ศึกษาการทำงานของเครื่องปรับอากาศ (Spit Type)									
7	เก็บและบันทึกข้อมูลเครื่องปรับอากาศก่อนการปรับปรุง									
8	วิเคราะห์เครื่องปรับอากาศก่อนและหลังปรับปรุง									
9	สรุปผลและจัดทำรายงาน									

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ส่วนประกอบของอากาศ[4]

อากาศเป็นส่วนผสมของก๊าซและไอน้ำ ส่วนใหญ่ประกอบด้วย ไนโตรเจน (ประมาณร้อยละ 78% โดยปริมาตร) และออกซิเจน (ประมาณร้อยละ 21%) ส่วนที่เหลืออีก ร้อยละ 1% ประกอบด้วย คาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซอื่นๆ เช่น ไฮโดรเจน ฮีเลี่ยม นีออน และอาร์กอน ส่วนประกอบอากาศทั่วๆไปจะเป็นไปตามนี้

2.2 ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity , ϕ)

ความชื้นสัมพัทธ์ หมายถึง อัตราส่วนระหว่างความชื้นที่มีอยู่จริงในอากาศต่อปริมาณความชื้นที่สามารถมีได้มากที่สุดในอากาศที่อุณหภูมิเดียวกัน

$$\phi = \frac{m_v}{m_g} = \frac{P_v}{P_g} \qquad (1)$$

โดยที่ ϕ = ความชื้นสัมพัทธ์ , $\%RH$

P_v = ความดันของน้ำอิ่มตัวจริงที่อุณหภูมินั้นๆ , Pa

P_g = ความดันของน้ำอิ่มตัวในอุดมคติ ($P_{sat\ @\ T}$) , Pa

2.3 อัตราส่วนความชื้นหรือความชื้นจำเพาะ (Humidity Ratio , ω)

อัตราส่วนความชื้นหรือความชื้นจำเพาะ หมายถึง มวลของไอน้ำต่อมวลของอากาศแห้ง โดยปกติจะมีหน่วยเป็นกิโลกรัมไอน้ำต่อกิโลกรัมของอากาศแห้ง จะแปรผันตรงกับความดันของบรรยากาศ และความหนาแน่นของไอน้ำจะแปรผันตรงกับปริมาตรมวลของไอน้ำ ดังนั้นความหนาแน่นไอน้ำและความดันไอน้ำจะเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันด้วย

$$\omega = \frac{(0.622)P_w}{P - P_w} \quad (2)$$

โดยที่ ω = อัตราส่วนความชื้น , $kg\ water\ vapor / kg\ dry\ air$

P_w = ความดันของไอน้ำที่อุณหภูมิจุดน้ำค้างมีหน่วยเป็น , Pa

P = ความดันของบรรยากาศมีหน่วยเป็น , Pa

2.4 อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry bulb temperature , DB)

อุณหภูมิกระเปาะแห้ง หมายถึง อุณหภูมิอากาศที่อ่านจากเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะแห้ง ในการวัดจะต้องให้กระเปาะอยู่ในที่อากาศถ่ายเทได้สะดวก เพื่อให้ค่าที่อ่านได้ถูกต้องและป้องกันค่าที่ผิดพลาดจากการแผ่รังสี

2.5 อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew Point temperature)

อุณหภูมิจุดน้ำค้าง หมายถึง อุณหภูมิขณะที่ไอน้ำในอากาศกลั่นตัว เมื่อทำให้อากาศเย็นลงที่อัตราส่วนความชื้นจำเพาะและความดันคงที่

2.6 อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet bulb temperature ,WB)

อุณหภูมิกระเปาะเปียก หมายถึง อุณหภูมิที่อ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์ซึ่งกระเปาะถูกหุ้มไว้ด้วยผ้าสำลีเปียก จะเรียกอุปกรณ์ที่ใช้วัดอุณหภูมิกระเปาะเปียกไซโครเมตริกนี้ว่า ไซโครมิเตอร์

2.7 เอนทัลปีของอากาศ (Enthalpy of air)

เอนทัลปีของอากาศ คือ ผลรวมของค่าเอนทัลปีของอากาศแห้งและไอน้ำ

$$h = h_a + \omega h_g \quad (3)$$

โดยที่ h = เอนทัลปีของอากาศ , $kJ / kg\ dry\ air$

h_a = เอนทัลปีของอากาศแห้ง , $kJ / kg\ dry\ air$

ω = อัตราส่วนความชื้น , $kg\ water\ vapor / kg\ dry\ air$

h_g = เอนทัลปีของไอน้ำอิ่มตัว , kJ / kg

2.8 ความร้อนสัมผัส[5] (Sensible heat of air , Q_s) และความร้อนแฝง (Latent heat of air , Q_L)

ความร้อนสัมผัสของอากาศชื้น หมายถึง ผลรวมของความร้อนสัมผัสของอากาศแห้งและความร้อนสัมผัสของไอน้ำ

ความร้อนแฝง หมายถึง ในการระเหยน้ำเข้าไปในอากาศหรือการกลั่นตัวของน้ำออกจากอากาศน้ำจำเป็นต้องดูดหรือคายความร้อนแฝง

$$q_t = h_2 - h_1 = (T_2 - T_1) + 2501(\omega_2 - \omega_1) + 1.86(T_2\omega_2 - T_1\omega_1)$$

$$q_t = (1 + 1.86\omega_m)(T_2 - T_1) + (2501 + 1.86T_m) + (\omega_2 - \omega_1) \quad (4)$$

เนื่องจากอากาศที่เกี่ยวข้องกับงานปรับอากาศมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับอากาศมาตรฐาน ดังนั้นค่าของความชื้นจำเพาะ ($\omega_m = 0.01\ kg\ water\ vapor / kg\ dry\ air$) และอุณหภูมิ ($T_m = 24^oC$)

$$q_t = 1.02(T_2 - T_1) + 2546(\omega_2 - \omega_1) \quad (5)$$

ปกติในงานปรับอากาศแทนที่จะวัดอัตราการไหลของอากาศในเทอม m_a แต่กลับนิยมวัดในเทอม $\dot{V}$ กันมากกว่าจึงได้

$$\dot{V} = \frac{m_a}{1.2} \quad (6)$$

ดังนั้น จะได้สมการความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงของอากาศในรูปที่สะดวกต่อการคำนวณ คือ

$$Q_s = 1.23\dot{V}\Delta T \quad (7)$$

โดยที่ Q_s = ความร้อนสัมผัสที่เพิ่มหรือลดของอากาศ , kW

$\dot{V}$ = อัตราการไหลเชิงปริมาตรต่อหน่วยเวลา , m/s

ΔT = ผลต่างของอุณหภูมิ , $^{\circ}C$

$$Q_L = 3055\dot{V}\Delta\omega \quad (8)$$

โดยที่ Q_L = ความร้อนแฝงของน้ำ , kW

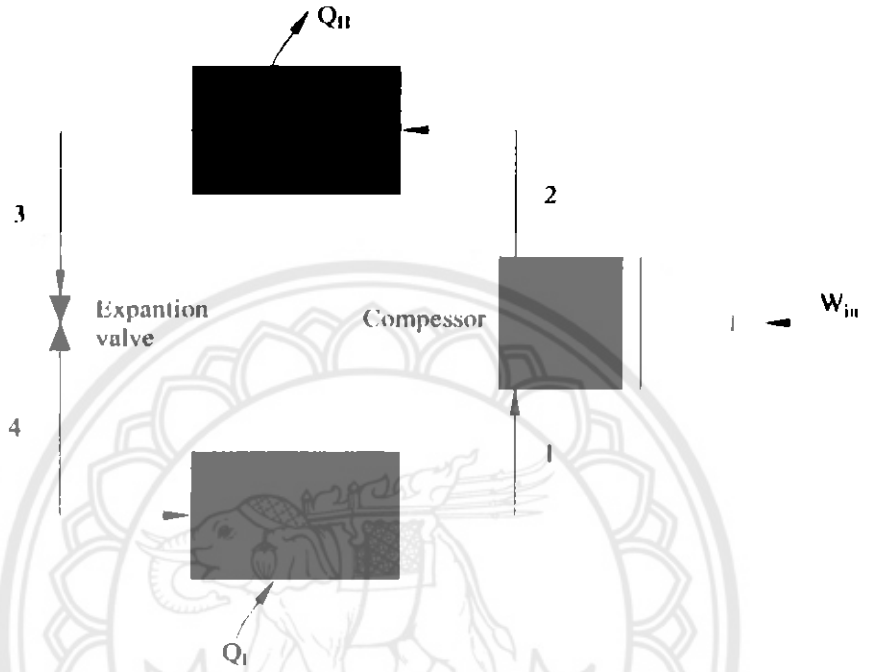
$\Delta\omega$ = ผลต่างอัตราส่วนความชื้น , $kg\ water\ vapor / kg\ dry\ air$

2.9 ทฤษฎีในการพิจารณาวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ (Vapor Compression refrigeration)

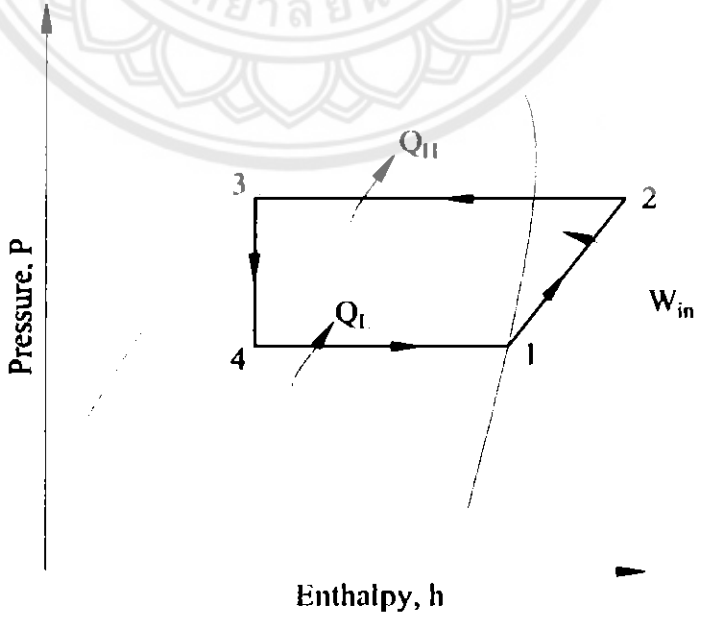
ทฤษฎีที่ใช้ในการวิเคราะห์ซึ่งจะวิเคราะห์ตามกฎข้อที่หนึ่งทางเทอร์โมไดนามิกส์ โดยจะวิเคราะห์วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอเบื้องต้น ซึ่งอุปกรณ์หลัก จะประกอบด้วย คอมเพรสเซอร์ คอนเดนเซอร์ เอ็กเพนชั่นวาล์ว และอีวาโปเรเตอร์ ตามแผนภาพ (T-s diagram)

จากแผนภาพอุณหภูมิ-เอนโทรปี การทำงานของวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ เริ่มจากสารทำความเย็นไหลเข้าคอมเพรสเซอร์ สภาวะที่ 1 โดยคอมเพรสเซอร์ทำการดูดสารทำความเย็นจากอีวาโปเรเตอร์ ซึ่งการอัดนี้จะดำเนินการภายใต้กระบวนการไอเซนโทรปิค (Isentropic Process) จากนั้นทำการอัดจนสารทำความเย็นมีความดันสูงถึงความดันของคอนเดนเซอร์ในสภาวะไอร้อนยวดยิ่ง สภาวะที่ 2 และออกจากคอนเดนเซอร์ในสถานะของเหลวอิ่มตัว สภาวะที่ 3 จะบีบผ่านเอ็กเพนชั่นวาล์วจนกระทั่งมีความดันเท่ากับความดันของอีวาโปเรเตอร์ ในช่วงกระบวนการนี้อุณหภูมิของสารทำความเย็นจะลดต่ำกว่าอุณหภูมิของบริเวณทำความเย็น หลังจากนั้นสารทำความเย็นจะไหลเข้าอีวาโปเรเตอร์ สภาวะที่ 4 ในสภาวะของผสมที่มีคุณภาพไอต่ำ สารทำความเย็นนี้จะระเหยอย่างสมบูรณ์โดยการดูดความร้อนออกจากบริเวณทำความเย็นและออกจากเครื่องในสภาวะไออิ่มตัว

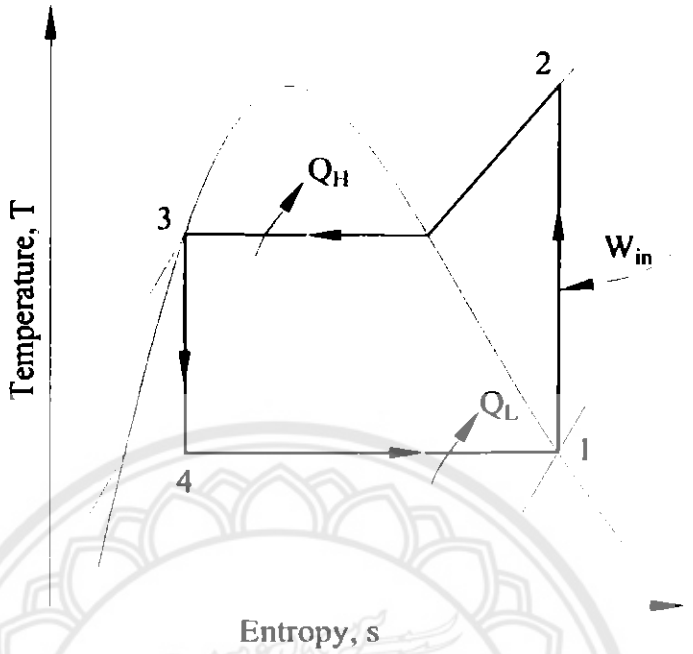
หลังจากนั้นก็จะไหลกลับเข้าสู่คอมเพรสเซอร์อีกครั้งซึ่งเป็นการทำงานครบวัฏจักรพอดี ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอเบื้องต้น



รูปที่ 2.2 ไดอะแกรมความดันและเอนทัลปีของสารทำความเย็น



รูปที่ 2.3 ไดอะแกรมอุณหภูมิและเอนโทรปีของสารทำความเย็น

ในการพิจารณาความสัมพันธ์ของความดันและเอนโทรปี ดังรูปที่ 2.2 และ อุณหภูมิและเอนโทรปี ดังรูปที่ 2.3 สามารถอธิบายได้เช่นเดียวกัน

2.10 สมมติฐานในการวิเคราะห์ระบบปรับอากาศแบบอัดไอ

ในการวิเคราะห์ตามกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ จะถือว่า

1. ไม่คิดการเปลี่ยนแปลงของพลังงานจลน์และพลังงานศักย์
2. ไม่คิดความดันตกคร่อมผ่านอุปกรณ์ทดสอบ
3. สภาวะของสารทำความเย็นก่อนเข้าและออกจากคอมเพรสเซอร์เป็นไออิ่มตัวและไอร้อนยวดยิ่งตามลำดับ
4. สภาวะของเหลวที่ออกจากคอนเดนเซอร์มีสภาวะเป็นของเหลวอิ่มตัวหรือของเหลวเย็นเยือก

จากกระบวนการทางทฤษฎีที่ใช้ในการวิเคราะห์ตามกฎข้อที่หนึ่งทางเทอร์โมไดนามิกส์สำหรับอุปกรณ์ความร้อนต่างๆ ถือว่าเป็นปริมาตรควบคุม อาศัยสมการการไหลแบบสม่ำเสมอจะได้

จากกระบวนการ 1-2 เป็นการอัดสารทำงานตามกระบวนการไอเซนโทรปิก (Isentropic Process)

$$\dot{W}_{1-2} = \dot{W}_c = \dot{m}_r(h_2 - h_1) \tag{9}$$

โดยที่ $\dot{W}_c$ = งานของคอมเพรสเซอร์ , kW

h_1, h_2 = เอนทัลปีจำเพาะของสารทำงานที่เข้าและออกจากคอมเพรสเซอร์ตามลำดับ , kJ/kg

$\dot{m}_r$ = อัตราการไหลของสารทำงาน , kg/s

จากกระบวนการ 2-3 เป็นการระบายความร้อนออกจากสารทำงานตามกระบวนการความดันคงที่ (Isentropic Process)

$$\dot{Q}_{2-3} = \dot{Q}_H = \dot{m}_r(h_2 - h_3) \tag{10}$$

โดยที่ $\dot{Q}_H$ = อัตราความร้อนทิ้งของคอนเดนเซอร์ , kW

h_2, h_3 = เอนทัลปีจำเพาะของสารทำงานที่เข้าและออกจากคอมเพรสเซอร์ตามลำดับ , kJ/kg

จากกระบวนการ 3-4 เป็นการขยายตัวของสารทำงานตามกระบวนการเอนทัลปีคงที่ (Constant Enthalpy)

$$h_3 = h_4 \tag{11}$$

โดยที่ h_4 = เอนทัลปีจำเพาะของสารทำงานออกจากเอ็กเพนชั่นวาล์ว , kJ/kg

จากกระบวนการ 4-1 เป็นการรับความร้อน ของสารทำงานเพื่อเปลี่ยนสถานะตามกระบวนการความดันคงที่ (Isentropic Process)

$$\dot{Q}_{4-1} = \dot{Q}_L = \dot{m}_r(h_1 - h_4) \tag{12}$$

โดยที่ $\dot{Q}_L$ = อัตราดึงความร้อนของอีวาโปเรเตอร์ , kW

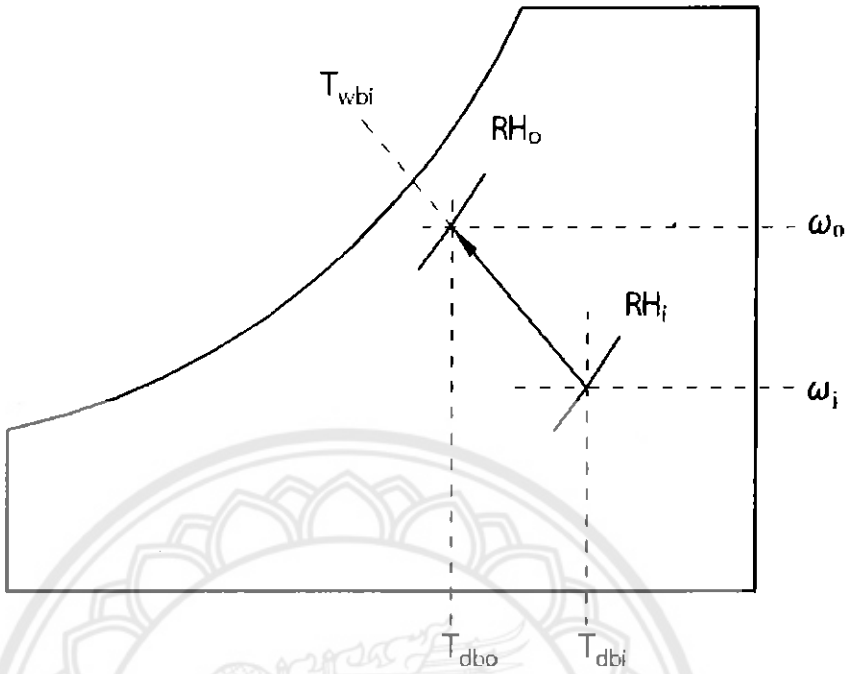
สมรรถนะของวัฏจักรในเทอมสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) การทำความเย็นจะได้

$$COP = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}_C} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \tag{13}$$

2.11 ระบบทำความเย็นแบบระเหย[3],[11] (Evaporative cooling)

การทำความเย็นแบบระเหยของน้ำจะเป็นการลดอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศเป็นไปตามทฤษฎีไซโครเมตริก เมื่ออากาศเคลื่อนที่ผ่านน้ำ น้ำจะดึงความร้อนจากอากาศมาใช้เปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ ถึงแม้ว่าจะช่วยทำให้ความร้อนอากาศลดลง ซึ่งระบบแบบระเหย ไม่มีการลดความชื้นสัมพัทธ์ แต่ในทางตรงกันข้ามมีการเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ให้กับอากาศ การทำความเย็นแบบระเหย เป็นการทำให้เกิดความสบายในอากาศที่ร้อนและแห้ง

กระบวนการทำความเย็นแบบระเหยนี้ ทำให้ความร้อนแฝงของอากาศเพิ่มขึ้นและความร้อนสัมผัสลดลง ซึ่งไม่มีแหล่งความร้อนภายนอกมาเกี่ยวข้อง โดยการปล่อยน้ำให้ไหลจากด้านบนของเครื่องทำความเย็นแบบระเหย น้ำบางส่วนจะระเหยทำให้อากาศมีความชื้นสูงขึ้นและมีอุณหภูมิต่ำลง น้ำบางส่วนไม่ระเหยจะถูกปั๊มน้ำดูดไปปล่อยให้ตกลงมาวนเวียนเช่นนี้อย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 2.4 กระบวนการทำความเย็นแบบระเหย

โดยการสมดุลมวลสามารถหาอัตราการระเหยของน้ำ ได้สมการ

$$\dot{m}_w = \dot{m}_a(\omega_o - \omega_i) \tag{14}$$

โดยที่ $\dot{m}_w$ = อัตราการระเหยของน้ำ , kg/s

$\dot{m}_a$ = อัตราการไหลโดยมวลของอากาศ , $kg_{dry\ air}/s$

ω_o = อัตราส่วนความชื้นของอากาศหลังผ่านระบบการระเหยของน้ำ , *kg water vapor / kg dry air*

ω_i = อัตราส่วนความชื้นของอากาศก่อนผ่านระบบการระเหยของน้ำ , *kg water vapor / kg dry air*

โดยที่อัตราการไหลโดยมวลของอากาศหาได้จากสมการ

$$\dot{m}_a = \rho_a A v \tag{15}$$

โดยที่ ρ_a = ความหนาแน่นของอากาศ 1.255 kg/m^3

A = พื้นที่หน้าตัดที่อากาศไหลผ่าน , m^3

v = ความเร็วของอากาศไหลผ่าน, m/s

2.12 ประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นแบบระเหย (Efficiency of Evaporative cooling)

ประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นแบบระเหย โดยทั่วไปจะแสดงอยู่ในรูปของประสิทธิภาพอิ่มตัว (Saturating Efficiency) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างอุณหภูมิที่ลดได้จริงของระบบต่ออุณหภูมิที่ลดได้สูงสุดตามทฤษฎี โดยอุณหภูมิที่ลดได้จริงของระบบก็คือผลต่างระหว่างอุณหภูมิกระเปาะแห้งก่อนเข้าและหลังจากผ่านระบบ ส่วนอุณหภูมิที่ลดได้สูงสุดตามทฤษฎีก็คือผลต่างของอุณหภูมิกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียกก่อนเข้าระบบ เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\varepsilon = \frac{T_{dbi} - T_{dbo}}{T_{dbi} - T_{wbi}} \tag{16}$$

โดยที่ ε = ประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นแบบระเหย

T_{dbi} = อุณหภูมิกระเปาะแห้งก่อนผ่านระบบการระเหยของน้ำ , $^{\circ}C$

T_{dbo} = อุณหภูมิกระเปาะแห้งหลังผ่านระบบการระเหยของน้ำ , $^{\circ}C$

T_{wbi} = อุณหภูมิกระเปาะเปียกก่อนผ่านระบบการระเหยของน้ำ , $^{\circ}C$

2.13 การเลือกใช้ปั๊มน้ำ[6]

ปั๊มน้ำหรือเครื่องสูบน้ำ เป็นเครื่องมือที่ทำหน้าที่เพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวเพื่อให้ของเหลวนั้นไหลจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้ตามความต้องการ พลังงานที่นำมาเพิ่มให้แก่ของเหลวนั้น อาจได้มาจากเครื่องยนต์ มอเตอร์ แรงลม แรงคน หรือ พลังงานแหล่งอื่นๆ ก็ได้

เมื่อได้ความสูงที่ต้องจ่ายน้ำ และอัตราการสูบน้ำที่ต้องการแล้วก็จะสามารถคำนวณหาขนาดของมอเตอร์ปั๊มน้ำได้จากสมการได้ดังนี้

$$HP = \frac{QH}{3960\eta} \tag{17}$$

โดยที่ HP = แรงม้าของมอเตอร์ปั๊มน้ำ

Q = อัตราการไหลน้ำ , gpm

H = แรงดันสุทธิ , ft

η = ประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำ

$$kW = \frac{QH}{102\eta} \tag{18}$$

โดยที่ kW = กิโลวัตต์ของมอเตอร์ปั๊มน้ำ

Q = อัตราการไหลน้ำ , m^3/s

H = แรงดันสุทธิ , m

2.14 วิเคราะห์ผลตอบแทนในการลงทุน

ในการวิเคราะห์การลงทุน มีจุดประสงค์ด้านการเงิน เพื่อต้องการทราบว่าโครงงานที่ลงทุนนี้มีความเหมาะสมหรือไม่ โดยพิจารณาจากผลตอบแทนการลงทุน และผลการดำเนินโครงงานนี้สามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลาเท่าใด โดยใช้ระยะเวลาคืนทุนเป็นเกณฑ์ ที่ใช้ในการวิเคราะห์

2.14.1 ระยะเวลาการคืนทุน (Simple Payback Period)

ระยะเวลาการตอบแทนสุทธิสะสมจากการดำเนินงานมีค่าเท่ากับเงินลงทุน ผลที่ได้รับจากการประเมินการลงทุน จะทำให้ทราบว่าจะได้รับเงินคืนทุนช้าหรือเร็วเท่าใด ถ้าคืนทุนเร็วเท่าใดก็จะดีมากขึ้นเท่านั้น เพราะโอกาสเสี่ยงต่อการขาดทุนในอนาคตมีน้อยลง และสามารถนำเงินที่คืนทุนไปลงทุนในกิจการอื่นได้ วิธีการหาระยะเวลาการคืนทุนเบื้องต้น เป็นวิธีคิดแบบง่ายๆ และเป็นที่นิยมใช้ แต่มีข้อเสียคือ ไม่ได้พิจารณาถึงผลตอบแทนที่ได้รับหลังระยะเวลาคืนทุนแล้ว และไม่ได้พิจารณาถึงผลตอบแทนที่ได้รับหลังระยะเวลาคืนทุน หาได้ดังนี้

สำหรับในกรณีที่ผลตอบแทนและค่าใช้จ่ายในแต่ละปีมีค่าเท่ากันทุกๆปี ระยะเวลาคืนทุนหาได้ดังนี้

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินลงทุน}}{\text{กระแสเงินสุทธิต่อปี}} \tag{19}$$

กรณีที่ผลตอบแทนสุทธิที่ได้รับต่อปีไม่เท่ากัน เนื่องจากค่าราคาไฟฟ้าของแต่ละปีไม่เท่ากัน และเงินลงทุนคือค่าวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ

2.15 บวบ[7]

บวบมีชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ Luffa ซึ่งเป็นพืชเถาเลื้อย เดิมเป็นวัชพืช เป็นพืชที่งอกเองตามป่า สามารถนำผลอ่อนมารับประทานได้ บวบที่ถูกปล่อยจนแก่แห้งแล้วเนื้อจะหลุดหายไปเหลือแต่เส้นใย เรียกว่า รังบวบหรือใยบวบ ถูกนำมาใช้ในการอาบน้ำขัดขี้ไคล

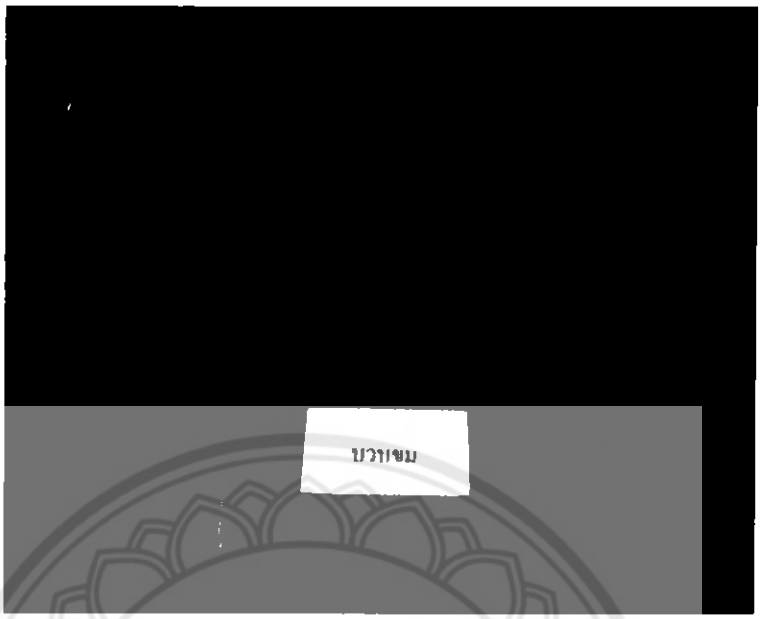
2.15.1 บวบเหลี่ยม มีชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ Luffa acutangula (Linn.)Roxb. เป็นพืชไม้เกาะเลื้อย สามารถเกาะไปตามต้นไม้ มีขนปกคลุม ดอกสีเหลืองอ่อนผลยาว โคนเล็กกว่าปลาย มีเหลี่ยมเป็นสันคมตามยาวของผล ในประเทศไทยนิยมปลูกทั่วทุกภาค ภาคเหนือเรียกว่า มะนอยเหลี่ยมหรือมะนอยข้องเป็นบวบสามารถใช้ผลนำมารับประทานได้

รูปที่ 2.5 บวบเหลี่ยม

2.15.2 บวบหอมหรือบวบกลม มีชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ Luffa cylindrica Roem. ลักษณะต่างๆ คล้ายกับบวบแหลี่ยม แต่ผลกลมยาวไม่มีเหลี่ยม เป็นรูปทรงกระบอก ประเทศไทยนิยมปลูกภาคเหนือและภาคอีสานมากกว่าภาคอื่นๆ ภาคเหนือเรียกว่า มะนอยอ้มหรือมะบวบอ้ม เป็นบวบที่นิยมปลูกกันสามารถใช้ผลและผักมากินได้ และใช้ในการนำใยบวบมาขัดผิว นำมาขัดถูหม้อจาน เพราะผลบวบหอมมีขนาดใหญ่

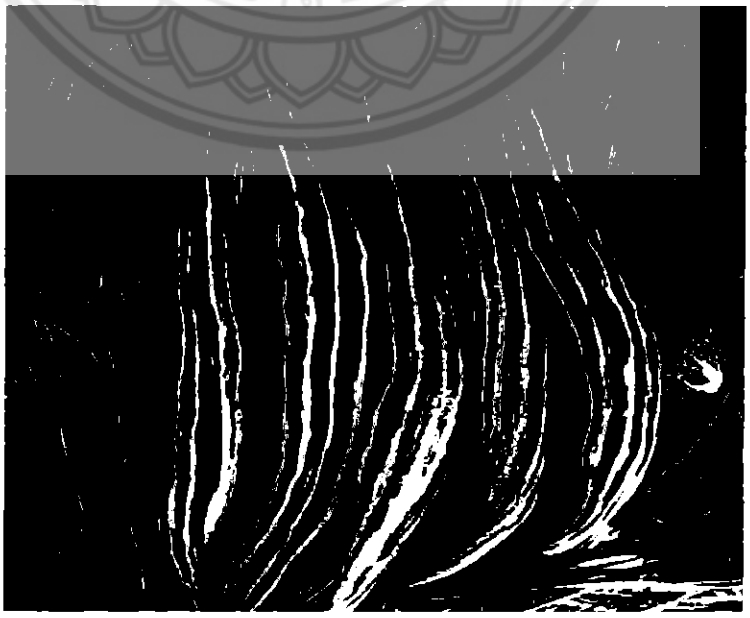
รูปที่ 2.6 บวบหอมหรือบวบกลม

2.15.3 บวบขม มีชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ Trichosanthes cucumerina Linn. เป็นบวบผลเล็กสั้นและมีรสขมมาก ขึ้นตามป่าและที่รกร้าง ใช้เป็นยาสมุนไพร หรือประโยชน์ด้านอื่นๆ ภาคเหนือเรียกว่า มะนอยขม สามารถนำใยบวบมาขัดผิว นำมาขัดถูหม้อจาน เพราะผลบวบขมมีขนาดใหญ่รองจากบวบหอม



รูปที่ 2.7 บวบขม

2.15.4 **บวบงู** มีชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ Trichosanthes anguia Linn. **มีลักษณะดอกเล็กกว่าบวบ**เหลี่ยม ผลกลมยาวปลายแหลมและบิด สีผลเขียวลายขาว เมื่อสุกมีสีแ**สดแดงและนิ่ม นิยมปลูกทั่ว**ไปโดยเฉพาะภาคอีสาน ภาคเหนือเรียกว่า มะนอยงู



รูปที่ 2.8 บวบงู

จากการทำระบบทำความเย็นแบบระเหยได้ใช้ใยบวบอยู่ด้วยกัน 2 ชนิด คือ ใยบวบหอม และใยบวบขม

2.16 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

E. Hajidavalloo และ H. Eghtedari[1] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงประสิทธิภาพระบบทำความเย็นด้วยอากาศโดยใช้ระบบทำความเย็นแบบระเหยมาช่วยทำความเย็น พบว่าในสภาพภูมิอากาศร้อนมาก จึงได้ทำการติดตั้งระบบทำความเย็นแบบระเหยควบคู่กับระบบทำความเย็นด้วยอากาศให้กับเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วน (Split Type ยี่ห้อ Mitsubitshi ขนาด 1.5 ตัน) ซึ่งระบบทำความเย็นแบบระเหยมีกระบวนการทำงานโดยปล่อยหยดน้ำผ่านแผ่นทำความเย็น (Cooling Pad) เพื่อลดอุณหภูมิอากาศก่อนแลกเปลี่ยนความร้อนกับคอยล์ร้อนที่คอนเดนเซอร์ หลังจากติดตั้งระบบทำความเย็นแบบระเหยควบคู่กับระบบทำความเย็นด้วยอากาศแล้ว พบว่าสามารถลดการใช้พลังงานได้ถึง 20 % และเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) ได้ประมาณ 50 % ซึ่งช่วยลด (Peak Load) ของการใช้พลังงานไฟฟ้าในพื้นที่ที่มีสภาพภูมิอากาศร้อนมาก เนื่องจากเครื่องปรับอากาศชนิดอัดไอมีภาระการใช้ไฟฟ้าสูง

Ebrahim Hajidavalloo[2] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ระบบทำความเย็นแบบระเหยกับเครื่องควบแน่นของเครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่าง (Window Type) เพื่อเชิงพาณิชย์ โดยติดตั้งแผ่นทำความเย็นไว้ที่ช่องลมดูดเข้าทางด้านซ้ายและด้านขวา โดยปล่อยหยดน้ำผ่านแผ่นทำความเย็น (Cooling Pad) เมื่อพัดลมดูดอากาศผ่านแผ่นทำความเย็น (Cooling Pad) ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศลดลงก่อนที่จะแลกเปลี่ยนความร้อนกันคอยล์ร้อนที่คอนเดนเซอร์ ซึ่งสามารถเปรียบเทียบการใช้พลังงานและค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) ของระบบก่อนได้รับการติดตั้งระบบทำความเย็นแบบระเหยและหลังการติดตั้งระบบทำความเย็นแบบระเหย พบว่าหลังจากที่ติดตั้งระบบทำความเย็นแบบระเหยทำให้การใช้พลังงานลดลงถึง 16 % และค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะเพิ่มขึ้นประมาณ 55 %

นายวีระวุฒิ อรุณวรรธนะ[3] ได้ทำการศึกษาเรื่อง การปรับปรุงการระบายความร้อนที่คอนเดนเซอร์โดยใช้การระเหยของน้ำแบบหยดน้ำ ซึ่งได้ทำการทดสอบกับเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วน และมีการปรับปรุงเครื่องปรับอากาศโดยเพิ่มระบบทำความเย็นโดยใช้การระเหยของน้ำแบบหยดน้ำผ่านแผ่นทำความเย็น (Cooling Pad) เข้าช่วยลดอุณหภูมิก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ การทดสอบนี้ได้วัดค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of Performance, COP) การใช้ไฟฟ้า และ

อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน เพื่อเปรียบเทียบกับเครื่องปรับอากาศเดิม พบว่า ช่วงกลางวัน เครื่องปรับอากาศที่ได้รับการปรับปรุงนั้นมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) เฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก เครื่องปรับอากาศเดิม 8.5 % การใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยลดลง 8.2 % และอัตราส่วนประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 11.7 % ช่วงกลางคืนเครื่องปรับอากาศที่ได้รับการปรับปรุงมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) เฉลี่ย เพิ่มขึ้นจากเครื่องปรับอากาศเดิม 2.9 % การใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยลดลง 9.9 % และอัตราส่วน ประสิทธิภาพพลังงานเพิ่มขึ้น 52 % เมื่อประเมินค่าเชิงเศรษฐศาสตร์มีระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 2.85 ปี และยังพบว่าการปรับปรุงเครื่องปรับอากาศยังช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

M.Horsoz และ Kilicarslan[8] ได้ทำการประเมินค่าประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นโดย ใช้น้ำเย็น อากาศ และการระเหย ซึ่งระบบทำความเย็นมีกระบวนการทดสอบโดยการทำเป็นเครื่อง แลกเปลี่ยนความร้อนกับคอยล์ร้อนที่คอนเดนเซอร์ ระบบทำความเย็นด้วยอากาศมีกระบวนการ ทดสอบโดยเป่าลมเย็นผ่านคอยล์ร้อนที่คอนเดนเซอร์ ระบบทำความเย็นแบบระเหยมีกระบวนการ ทดสอบโดยปล่อยหยดน้ำผ่านคอยล์ร้อนที่คอนเดนเซอร์แล้วเป่าลมผ่าน และทำการวัดค่า ความสามารถการทำความเย็น (Refrigeration Capacity , RC) กับค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of Performance , COP) ของระบบทำความเย็นทั้ง 3 ระบบ ซึ่งพบว่าระบบที่ สามารถทำความเย็นได้ดีที่สุดคือ ระบบทำความเย็นด้วยน้ำเย็น เนื่องจากระบบทำความเย็นด้วยน้ำ สามารถทำให้ค่าความสามารถการทำความเย็น (RC) และค่าสัมประสิทธ์สมรรถนะ (COP) สูงขึ้น 2.9 – 14.4 % และ 1.5 – 10.2 %

Chainarong Chaktranond และ Peachrakha Doungsong[9] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการ ประเมินผลการทดลองการประหยัดพลังงานของเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วน (Split Type) โดยใช้ ระบบทำความเย็นแบบระเหย พบว่าจากการวิจัยนี้ได้มีการทดสอบกับเครื่องปรับอากาศชนิดแยก ส่วน (Split Type) ที่มีความสามารถทำความเย็น 30,165.49 บีทียูต่อชั่วโมง และขนาดพัดลม คอนเดนเซอร์ 174 วัตต์ ได้สร้างเครื่องทำความเย็นแบบระเหยขึ้นเพื่อลดอุณหภูมิอากาศก่อน แลกเปลี่ยนความร้อนกับคอยล์ร้อนที่คอนเดนเซอร์ โดยใช้แผ่นทำความเย็น (Cooling Pad) หนา 0.15 m และปั๊มน้ำที่มีอัตราการไหลเท่ากับ 0.07 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที ซึ่งมีการทดลองระบบทำ ความเย็นแบบระเหยด้วยการเปลี่ยนวิธีทำความเย็นเป็น 6 วิธีได้แก่ น้ำ , แผ่นทำความเย็น (Cooling Pad) , ม่านน้ำ , ม่านน้ำไหลลงแผ่นทำความเย็น (Cooling Pad) , ฉีดน้ำ , ฉีด , น้ำให้กับแผ่นทำ ความเย็น (Cooling Pad) จากการทดลองและการวัดค่าการใช้ไฟฟ้ากับค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) พบว่าเมื่อใช้น้ำฉีดให้กับแผ่นทำความเย็น (Cooling Pad) ส่งผลให้ระบบทำความเย็นแบบ ระเหยมีการใช้ไฟฟ้าลดลง 4 -15 % กับค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) เพิ่มขึ้นประมาณ 6 - 48 %

และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 10 °C ทำให้การใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นถึง 4 % แสดงว่าอุณหภูมิมีผลต่อการทำงานของเครื่องปรับอากาศ

นายเอกชัย ใจปันธิ และน.ส.นัยนา จอมแปง[10] ได้ทำโครงงานเรื่องสมรรถนะเครื่องปรับอากาศระบบอินเวอร์เตอร์ภายใต้การระบายความร้อนออกจากคอนเดนเซอร์โดยการทำความเย็นแบบระเหย ได้นำเอาเครื่องทำความเย็นแบบระเหยมาติดตั้งที่คอนเดนเซอร์ เพื่อเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of performance , COP) ของเครื่องปรับอากาศ จากการติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบระเหยจะส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) สูงขึ้นเมื่อเทียบกับเครื่องปรับอากาศระบบอินเวอร์เตอร์ธรรมดาซึ่งจะได้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) ที่ 4.048 และ 3.88 ตามลำดับ

นายชำนาญ นางาม นายณัฐวุฒิ บัวสะอาด และนายศุภวิทย์ หน่อแก้ว[11] ได้ทำโครงงานเรื่อง ระบบความเย็นแบบระเหยสำหรับระบายความร้อนจากคอนเดนเซอร์ โดยได้ใช้วัสดุตัวกลางในการทำความเย็นแบบระเหยได้แก่ ผ้ามุ้งตาข่าย มุ้งลวด ผ้าคลุมโรงเพาะชำ และไม่ใช้วัสดุ เพื่อระบายความร้อนของอากาศก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ซึ่งใช้ทดลองกับเครื่องปรับอากาศ ขนาด 30,000 Btu/hr โดยติดตั้งทางด้านหลัง ชุดคอนเดนเซอร์ของเครื่องปรับอากาศ จากการทดลองวันที่ 26 – 29 มีนาคม 2545 ตั้งแต่เวลา 8.00 น. - 16.00 น. ได้ทำการทดลองเครื่องทำความเย็นแบบระเหย พบว่าเครื่องทำความเย็นแบบระเหยที่ไม่ติดวัสดุ มีค่าผลต่างอุณหภูมิก่อนเข้าและหลังออกจากเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยเฉลี่ยสูงสุด 6.1°C ดังนั้นจึงเลือกเครื่องทำความเย็นแบบระเหยที่ไม่ติดตั้งวัสดุ มาทำการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of Performance , COP) จากการทดลองวันที่ 1 – 4 เมษายน 2545 ตั้งแต่เวลา 8.00น. – 16.00น. ได้ทำการทดลอง พบว่าเครื่องปรับอากาศปรกติและเครื่องปรับอากาศที่ติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบระเหย เครื่องปรับอากาศปรกติมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) เท่ากับ 3.12 และเมื่อติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบระเหยแล้วมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) เท่ากับ 3.29 นั่นคือค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) เพิ่มขึ้น 5.45 % ในขณะที่อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมของเครื่องปรับอากาศปรกติจะมีค่าเท่ากับ 2.45 kW แต่เมื่อติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบระเหยแล้วจะเพิ่มเป็น 2.56 kW เนื่องจากปั๊มน้ำที่ใช้มีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าสูง แต่หากวิเคราะห์โดยปั๊มน้ำซึ่งมีขายตามท้องตลาดขนาด 0.030 kW (Life tech รุ่น Ap 2000) ซึ่งมีขนาดใกล้เคียงที่ได้ออกแบบไว้จะทำให้อัตราการใช้ไฟฟ้าโดยรวมเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 2.34 kW ส่งผลให้อัตราการใช้ไฟฟ้าโดยรวมลดลง 4.5 % จะใช้เวลาในการคืนทุนประมาณ 3.6 ปี

นายพงศ์ธร บรรยงค์ และนายธีรพันธุ์ ลิ้มวัฒนาพิบูลย์[12] ได้ทำโครงงานการศึกษาวิธีที่เหมาะสมสำหรับการหาค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (EER) ของเครื่องปรับอากาศโดยวิธีวัดภาคสนาม จะได้ว่าเนื่องจากในการหาค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศโดยทั่วไปนั้นจะต้องมีการวัดค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจากเครื่องปรับอากาศ ซึ่งขั้นตอนและวิธีการวัดนั้นมักจะมีความยุ่งยากและซับซ้อนกว่าจะได้ข้อมูลที่เป็นจริง และในบางครั้งข้อมูลที่ได้จากการวัดอาจมีความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงมาก ดังนั้นโครงการนี้จึงได้ศึกษาหาแนวทางในการแก้ปัญหาโดยได้ทำการทดลองการวัดประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศขึ้น เพื่อหาวิธีที่เหมาะสมที่สุด และได้พบว่าวิธีวัดค่าความเร็วลมบริเวณพื้นที่หน้ากากด้าน Supply Air โดยใช้กล่องคลอบสามารถให้ค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศได้ถูกต้องและแม่นยำที่สุด แต่มีความยุ่งยากและซับซ้อนในการวัดและวิธีวัดความเร็วลมแบบ 5 จุด ตรงกลางสามารถให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน และวิธีการนี้ก็มีความสะดวกสบายในการวัดมากกว่าซึ่งสามารถนำมาใช้ในการวัดได้จริง

จากการศึกษาเอกสารทั้ง 8 ฉบับ เป็นแนวทางให้คณะผู้จัดทำในการสร้างเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยไม่ใช้แผ่นทำความเย็น (Cooling Pad) เพื่อตอบสนองต่อจุดประสงค์หลักคือ การลดอุณหภูมิคอนเดนเซอร์ ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลง และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบปรับอากาศ

บทที่ 3
วิธีการดำเนินโครงงาน

การออกแบบเครื่องทำความเย็นแบบระเหย ใช้การลดอุณหภูมิอากาศสิ่งแวดล้อมก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ (Condensing Unit) โดยอากาศสิ่งแวดล้อมผ่านวัสดุตัวกลางทำความเย็นต่างๆ ซึ่งวัสดุตัวกลางทำความเย็นแบบระเหย โดยให้น้ำไหลผ่าน เมื่ออากาศไหลผ่านทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำกับอากาศ โดยมีหลักการทำงานดังรูปที่ 3.1

รูปที่ 3.1 แสดงหลักการทำงานเครื่องทำความเย็นแบบระเหย

แบ่งเป็นการทดสอบแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ การออกแบบชุดทดลองเครื่องทำความเย็นแบบระเหย และการออกแบบเครื่องทำความเย็นแบบระเหย

3.1 การออกแบบชุดทดลองเครื่องทำความเย็นแบบระเหย

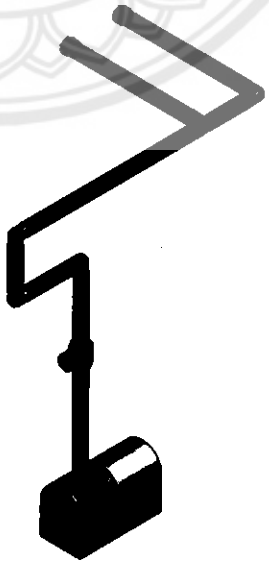
3.1.1 การออกแบบชุดทดลองเครื่องทำความเย็นแบบระเหย

ใช้แผ่นอะคริลิกขนาด 60×120 เซนติเมตร หนา 2 มิลลิเมตร จำนวน 3 แผ่น โดยออกแบบให้มีช่องด้านบน เพื่อให้สามารถเปลี่ยนใส่วัสดุตัวกลางทำความเย็นได้ ในชุดทดลองจะติดตั้งพัดลมไว้ด้านหลังเพื่อดูดอากาศออกและติดตั้งปั๊มน้ำเพื่อดูดน้ำขึ้นมาหยดผ่านวัสดุตัวกลาง ซึ่งชุดทดลองมีลักษณะเป็นรูปทรงกล่องขนาด กว้าง 30 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร และสูง 45 เซนติเมตร ช่องสำหรับใส่วัสดุตัวกลางขนาดกว้าง 30 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร สูง 25 เซนติเมตร ซึ่งระยะห่างระหว่างวัสดุกับพัดลมที่ดูดลมออกมีระยะห่าง 15 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.2

รูปที่ 3.2 แบบชุดทดลองเครื่องทำความเย็นแบบระเหย

3.1.2 การออกแบบติดตั้งท่อน้ำในชุดทดลองเครื่องทำความเย็นแบบระเหย

ในการติดตั้งท่อน้ำในชุดทดลองใช้ท่อ พีอี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 19 มิลลิเมตร ทำการต่อจากปั๊มน้ำ ผ่านวาล์วเพื่อปรับอัตราการไหล ต่อข้องอ แล้วเดินท่อขึ้นด้านบนของชุดทดลอง และต่อสามทางแยกท่อหยดน้ำเป็น 2 ท่อ โดยทำการเจาะท่อเพื่อให้น้ำหยด โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรู 2 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 การติดตั้งท่อน้ำในชุดทดลองเครื่องทำความเย็นแบบระเหย

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

3.1.3 การเลือกปั๊มน้ำ

จากการคำนวณขนาดของปั๊มน้ำโดยใช้ทฤษฎีจากบทที่ 2.13 จะแสดงการคำนวณในภาคผนวก ข โดยการคำนวณจะได้ค่าขนาดของปั๊ม 9.08×10^{-3} kW ดังนั้นในการเลือกปั๊มใช้งานนั้นได้นำปั๊มน้ำที่ใช้ในตู้ปลา ที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไปมีการใช้พลังงานไฟฟ้าอยู่ที่ 90 W ดังรูปที่ 3.6

3.1.4 รูปแบบวิธีทำความเย็นแบบระเหยที่ใช้

1. หยดน้ำ
2. หยดน้ำผ่านอิฐ
3. หยดน้ำผ่านใยบวบ
4. หยดน้ำผ่านแผ่นทำความเย็น (Cooling Pad)

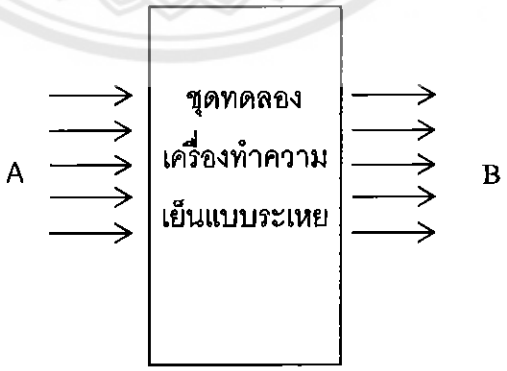
3.1.5 ตำแหน่งการวัดและบันทึกข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

ในการวัดและบันทึกข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ในชุดทดลองจะมีตำแหน่งการวัด 2 ตำแหน่งคือ

ตำแหน่ง A ด้านหน้าของชุดทดลองวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศสิ่งแวดล้อม

ตำแหน่ง B ด้านหลังของชุดทดลองวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ผ่านเครื่องทำความเย็นแบบระเหย

ดังแสดงตามรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงตำแหน่งการวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

i5997094
ฝร.
ส3442
2541

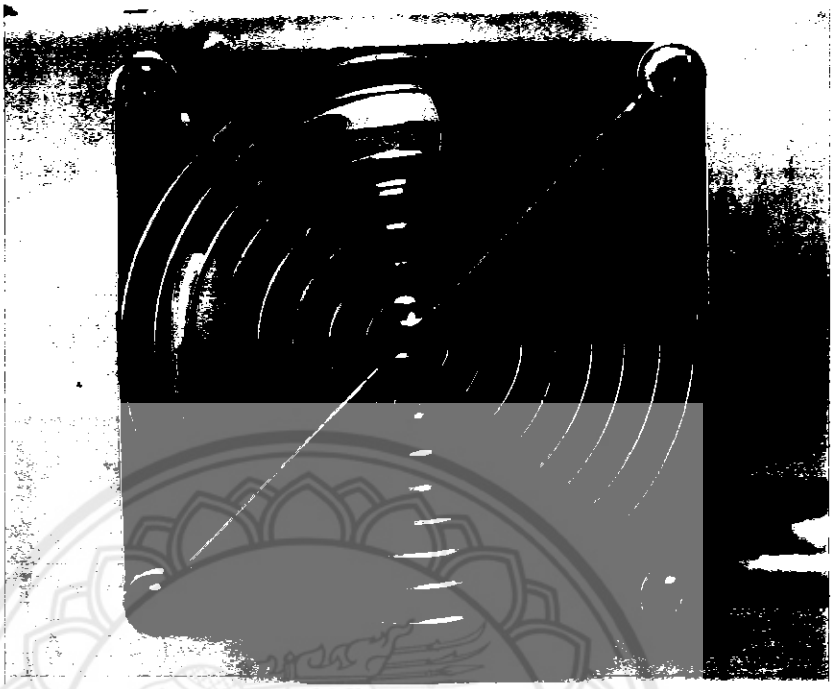
3.1.6 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบชุดทดลองเครื่องทำความเย็นแบบระเหย

ตารางที่ 3.1 แสดงเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบชุดทดลองเครื่องทำความเย็นแบบระเหย

เครื่องมือ/อุปกรณ์	ยี่ห้อรุ่น	คุณสมบัติ
1. ชุดทดลองเครื่องทำความเย็นแบบระเหย	-	ทดลองระบบทำความเย็นแบบระเหย โดยสามารถเปลี่ยนวัสดุตัวกลางทำความเย็นได้ดังรูปที่ 3.8 – 3.11
2. เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์	SILA รุ่น AP-104	สามารถวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ได้ถึง 5 Channel ดังรูปที่ 3.5
3. ปั๊มน้ำ	JUN รุ่น Power Head HX-5000	AC 220V/50Hz Power 90 W 2.5 m/2000KL/H ดังรูปที่ 3.6
4. พัดลม	SUNON รุ่น DP200A P/N 2123HSL	AC 220-240 V 56/60 Hz Power 22/21 W Speed 2700/3100 RPM Air Flow 95/115 CFM ดังรูปที่ 3.7

รูปที่ 3.5 เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

รูปที่ 3.6 ปั๊มน้ำ



รูปที่ 3.7 พัดลม

3.1.7 การทดสอบชุดทดลองเครื่องทำความเย็นแบบระเหยน้ำ

ในการทดสอบชุดทดลองเครื่องทำความเย็นแบบระเหยจะทำการทดสอบใน ช่วงเวลาเช้า ช่วงเวลากลางวัน ช่วงเวลาเย็น และช่วงเวลากลางคืน ในการทดสอบแต่ละช่วงจะมีขั้นตอนดังนี้

1. ติดตั้งปั๊มน้ำ ท่อ และวาล์ว เข้ากับชุดทดลองเครื่องทำความเย็นแบบระเหย

2. เติมน้ำใส่ชุดทดลองเครื่องทำความเย็นแบบระเหยให้ระดับน้ำมีความสูง 15-20 เซนติเมตร

3. ติดตั้งสายวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (SILA AP-104) เข้าตามตำแหน่ง A , B ดังรูปที่ 3.4 และต่อสาย (RS-232) ของเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (SILA AP-104) เข้ากับคอมพิวเตอร์

4. ติดตั้งวัสดุทำความเย็นแบบระเหยให้กับชุดทดลองเครื่องทำความเย็นแบบระเหย

5. ปรับวาล์ว เพื่อปรับอัตราการไหลเป็น 0.12 , 0.15 และ0.16 ลิตรต่อวินาทีตามลำดับ

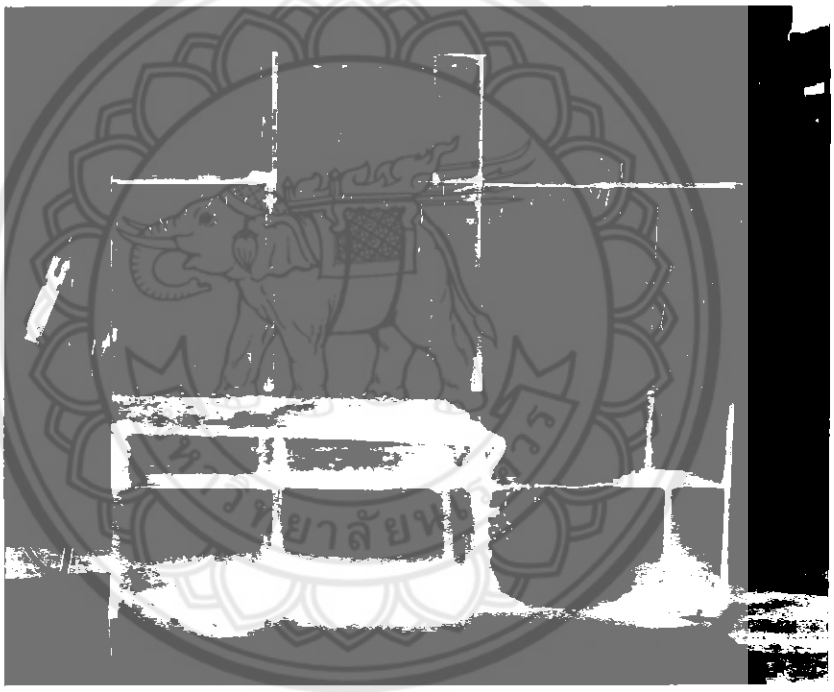
6. ทำการเปิดปั๊มน้ำ และพัดลม เพื่อให้ระบบชุดทดลองเครื่องทำความเย็นแบบระเหยทำงาน และเปิดเครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (SILA AP-104) ให้เริ่มทำงาน

7. เปิดโปรแกรม SILA ตั้งค่าช่วงเวลาโดยบันทึกข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ทุกๆ 1 นาที เป็นเวลา 20 นาที เพื่อบันทึกข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เข้าคอมพิวเตอร์

8. เปลี่ยนวิธีทำความเย็นแบบระเหยเป็น หยดน้ำดังรูปที่ 3.8 หยดน้ำผ่านใยบวบดังรูปที่ 3.9 หยดน้ำผ่านอิฐดังรูปที่ 3.10 และหยดน้ำผ่านแผ่นทำความเย็น (Cooling Pad) ดังรูปที่ 3.11 โดยทำซ้ำขั้นตอนที่ 3-6 ตามลำดับ

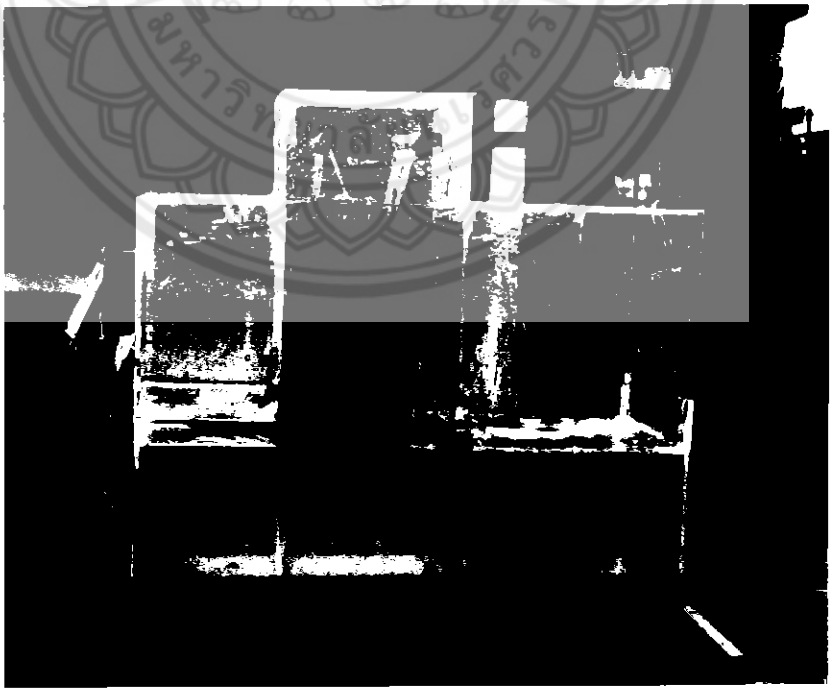
9. เมื่อทำการทดสอบเสร็จแล้ว ให้หยุดการวัด และทำการจัดเรียงข้อมูลโดยใช้โปรแกรมเอกเซลล์ (Excel) บันทึกข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

10. ทำการวิเคราะห์ผลการทดสอบวัสดุตัวกลางทำความเย็นแบบระเหย เพื่อทำเครื่องทำความเย็นแบบระเหยนำไปลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ต่อไป

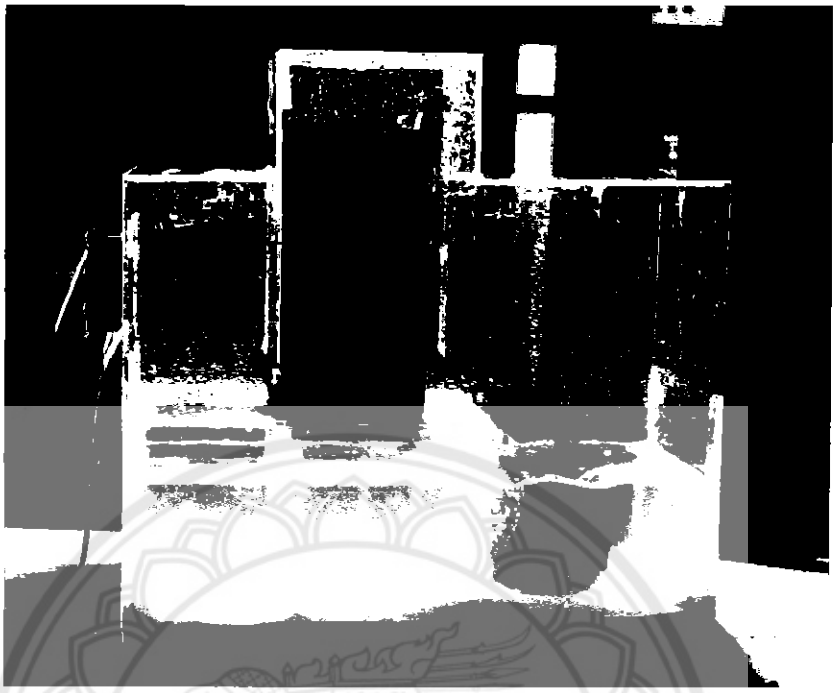


รูปที่ 3.8 หยดน้ำ

รูปที่ 3.9 หยดน้ำผ่านใยบวบ



รูปที่ 3.10 หยดน้ำผ่านอิฐ

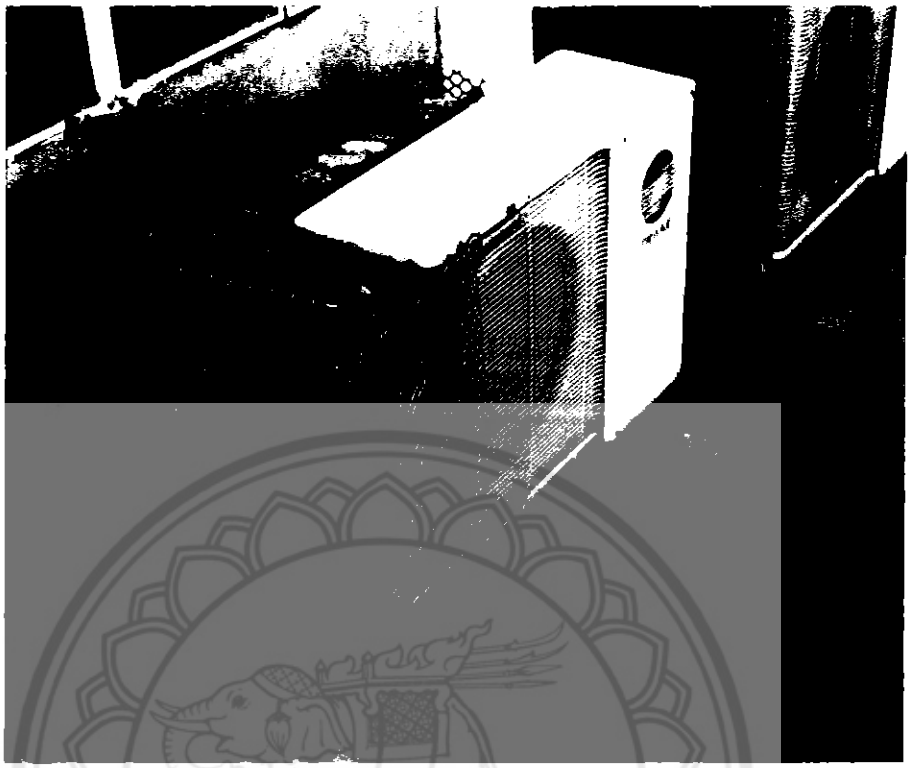


รูปที่ 3.11 หยดน้ำผ่านแผ่นทำความเย็น (Cooling Pad)

3.2 การออกแบบเครื่องทำความเย็นแบบระเหย

3.2.1 การออกแบบเครื่องทำความเย็นแบบระเหย

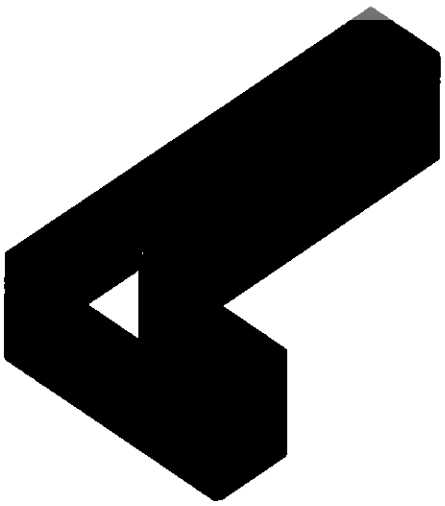
การทดลองส่วนนี้จะทำการติดตั้งเครื่องปรับอากาศจริงดังรูปที่ 3.12 โดยใช้โครงตะข่ายพลาสติกล้อมด้านหลังแผงคอยล์ร้อนที่เครื่องคอนเดนเซอร์ โดยเป็นอุปกรณ์ที่ใส่ไยบวบบรรจุอยู่ด้านหลังเครื่องคอนเดนเซอร์ โดยใช้ไม้ไผ่ยึดกับตัวคอนเดนเซอร์ มีขนาดกว้าง 55 เซนติเมตร ยาว 95 เซนติเมตร สูง 75 เซนติเมตร และใช้ตะข่ายพลาสติกคลุม ซึ่งลักษณะของเครื่องทำความเย็นจะเป็นรูปทรงตัวแอล ดังแสดงตามรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 เครื่องทำความเย็นแบบระเหย

3.2.2 การออกแบบถาดใส่น้ำด้านล่างของเครื่องทำความเย็นแบบระเหย

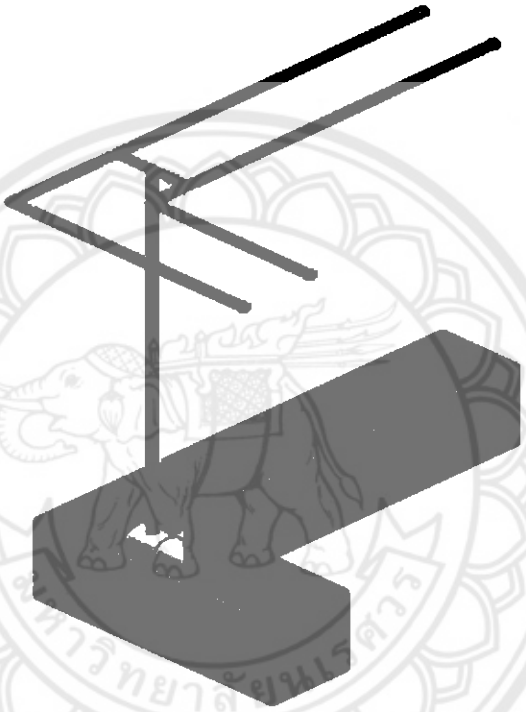
ในการออกแบบถาดใส่น้ำด้านล่างของเครื่องทำความเย็นแบบระเหยใช้ฟิวเจอร์บอร์ดหนา 5 มิลลิเมตร ต่อกันเป็นรูปทรงตัวแอลโดยใช้ซิลิโคนเป็นตัวเชื่อม ซึ่งมีขนาดกว้าง 18 เซนติเมตร ยาว 151 เซนติเมตร และสูง 20 เซนติเมตร ดังแสดงตามรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 ถาดใส่น้ำด้านล่างของเครื่องทำความเย็นแบบระเหย

3.2.3 การออกแบบติดตั้งท่อน้ำในเครื่องทำความเย็นแบบระเหย

ในการออกแบบติดตั้งท่อน้ำในเครื่องทำความเย็นแบบระเหย ใช้ท่อพีอี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 19 มิลลิเมตร ซึ่งจะต่อจากปั๊มขึ้นด้านบน และต่อด้วยข้อต่อสามทาง เพื่อแยกออกไปด้านละ 2 ท่อ โดยจะเจาะรูเพื่อหยดน้ำลง ซึ่งรูที่เจาะจะมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ดังแสดงตามรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 การติดตั้งท่อน้ำในเครื่องทำความเย็นแบบระเหย

3.2.4 การเลือกปั๊มน้ำ

จากการคำนวณขนาดของปั๊มน้ำโดยใช้ทฤษฎีจากบทที่ 2.13 จะแสดงการคำนวณในภาคผนวก ข โดยการคำนวณจะได้ค่าขนาดของปั๊ม 9.24×10^{-3} kW ดังนั้นจากการคำนวณปั๊มน้ำค่าขนาดของปั๊มน้ำในการทดลองในส่วนที่สองมีค่าใกล้เคียงกับการทดลองในส่วนแรก จึงสามารถใช้ปั๊มขนาดเดียวกันร่วมกันได้ ซึ่งปั๊มน้ำมีการใช้พลังงานไฟฟ้าอยู่ที่ 90 W ดังรูปที่ 3.6

3.2.5 ตำแหน่งการวัดและบันทึกข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

ในการวัดและบันทึกข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ มีตำแหน่งการวัด 5 ตำแหน่ง คือ

ตำแหน่ง A อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศบริเวณทางออกของอีวาโปเรเตอร์

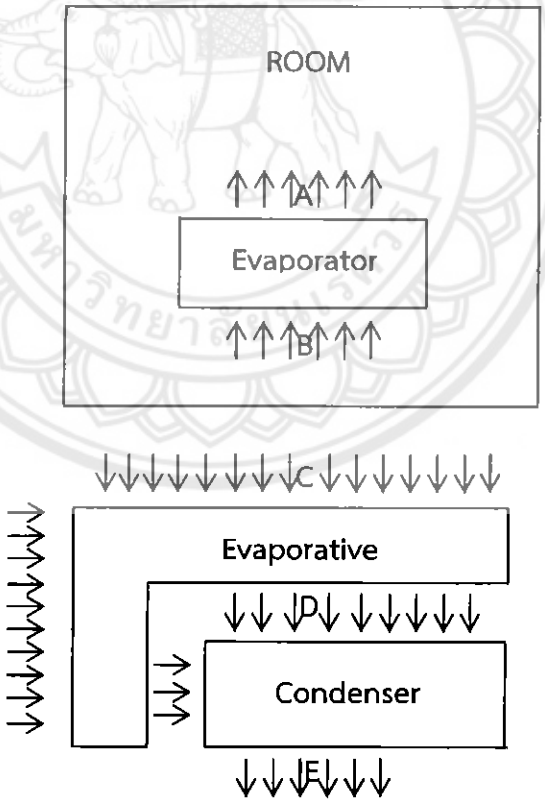
ตำแหน่ง B อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศบริเวณทางเข้าของอีวาโปเรเตอร์

ตำแหน่ง C อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศสิ่งแวดล้อมก่อนเข้าเครื่องทำความเย็นแบบระเหย

ตำแหน่ง D อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศบริเวณทางออกของเครื่องทำความเย็นแบบระเหย หรืออากาศก่อนเข้าคอนเดนเซอร์

ตำแหน่ง E อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศบริเวณทางออกของคอนเดนเซอร์

ดังแสดงตามรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 แสดงตำแหน่งการวัดและบันทึกข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์

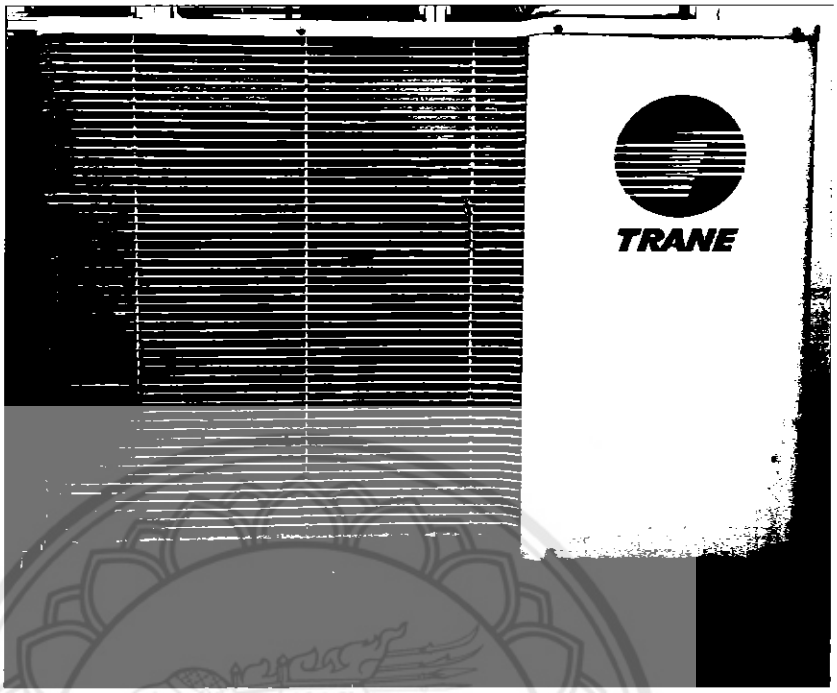
3.2.6 การวัดและบันทึกข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า

ในการวัดและบันทึกข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า ทำการวัดพลังงานไฟฟ้าจากอุปกรณ์ทั้งหมด ได้แก่ พัดลมคอนเดนเซอร์ พัดลมอีวาโปเรเตอร์ คอมเพรสเซอร์ ปั๊มน้ำ และพลังงานไฟฟ้ารวมทั้งระบบปรับอากาศ ซึ่งการทดลองได้ทำการบันทึกข้อมูลทุก 5 นาที

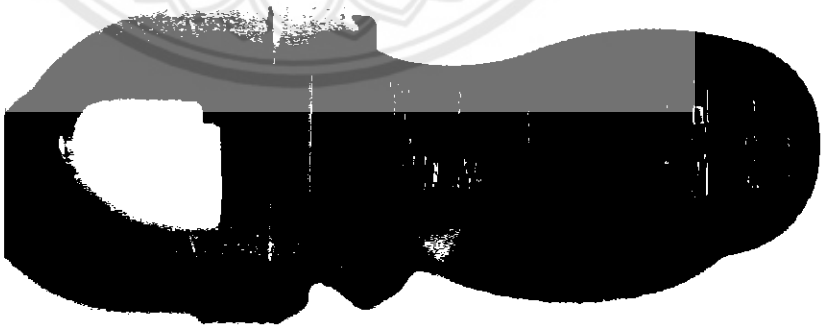
3.2.7 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำโครงงาน

ตารางที่ 3.2 แสดงเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบชุดทดลองเครื่องทำความเย็นแบบระเหย

เครื่องมือ/อุปกรณ์	ยี่ห้อรุ่น	คุณสมบัติ
1. เครื่องปรับอากาศ	TRANE รุ่น MCX530BAOWC	30,000 Btu-hr,ประสิทธิภาพความเย็นสูงสุด 2.2 W/W , ขีดความสามารถทำความเย็นสูงสุด 8.8 kW) ดังรูป 3.16
2. เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์	SILA รุ่น AP-104	สามารถวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ได้ถึง 5 Channel ดังรูปที่ 3.5
3. เครื่องมือวัดไฟฟ้า	AMPROBE รุ่น ACD-41PQ	วัดค่า อุณหภูมิ (^{o}C , ^{O}F) แรงดันตกคร่อม (V) กำลังไฟฟ้า (W) กระแส (A) ความต้านทาน (Ω) ดังรูปที่ 3.17
4. ปั๊มน้ำ	JUN รุ่น Power Head HX-5000	AC 220V/50Hz Power 90 W 2.5 m/2000KL/H ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.16 เครื่องปรับอากาศ



รูปที่ 3.17 เครื่องมือวัดพลังงานไฟฟ้า

3.2.8 การทดสอบเครื่องปรับอากาศปรกติ

ในการทดสอบเครื่องปรับอากาศปกติจะทำการทดสอบตั้งแต่เวลา 9.00 น. – 16.00 น. โดยมีขั้นตอนในการทดสอบดังนี้

1. ติดตั้งสายวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (SILA) ที่ตำแหน่ง A B D E ดังรูปที่ 3.15 และต่อสาย (RS-232) ของเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เข้ากับคอมพิวเตอร์

2. เปิดเครื่องปรับอากาศ และเปิดเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (SILA AP-104) ให้เริ่มทำงาน

3. เปิดโปรแกรม SILA ตั้งค่าช่วงเวลาโดยบันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ทุกๆ 5 นาที เพื่อบันทึกข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เข้าคอมพิวเตอร์

4. จดบันทึกอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยใช้เครื่องมือวัดไฟฟ้า (AMPROBE รุ่น ACD-41PQ) วัดพลังงานไฟฟ้าจากอุปกรณ์ทั้งหมดได้แก่ พัดลมคอนเดนเซอร์ พัดลมอีวาโปเรเตอร์ คอมเพรสเซอร์ และปั๊มน้ำ ซึ่งทำการจดบันทึกอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าทุกๆ 5 นาที

5. เมื่อทำการทดสอบเสร็จแล้ว ให้หยุดการวัด และทำการจัดเรียงข้อมูลโดยใช้โปรแกรมเอกเซลล์ บันทึกข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

6. นำผลการทดสอบที่ได้มาวิเคราะห์ การใช้พลังงานไฟฟ้า อุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ที่ตำแหน่งต่างๆ ที่เวลาเดียวกัน

3.2.9 การทดสอบเครื่องปรับอากาศเมื่อติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบระเหย

ในการทดสอบเครื่องปรับอากาศเมื่อติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบระเหย โดยใช้ใยบวบ จะทำการทดสอบตั้งแต่เวลา 9.00 น. – 16.00 น. โดยมีขั้นตอนในการทดสอบดังนี้

1. ติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบระเหย โดยใช้ใยบวบที่ด้านหลังคอนเดนเซอร์

2. ทำการต่อสายไฟของปั๊มน้ำเข้ากับคอนเดนเซอร์ โดยใช้พลังงานไฟฟ้าร่วมกับคอมเพรสเซอร์ พัดลมคอนเดนเซอร์

3. เติมน้ำใส่ถาดเก็บน้ำ ในส่วนของด้านล่างเครื่องทำความเย็นแบบระเหยให้เต็ม

4. ติดตั้งสายวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ SILA ที่ตำแหน่ง A B C D E ดังรูปที่ 3.15 และต่อสาย (RS-232) ของเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เข้ากับคอมพิวเตอร์

5. เปิดเครื่องปรับอากาศ และเปิดเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (SILA AP-104) ให้เริ่มทำงาน

6. เปิดโปรแกรม SILA ตั้งค่าช่วงเวลาโดยบันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ทุกๆ 5 นาที เพื่อบันทึกข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เข้าคอมพิวเตอร์

7. จดบันทึกอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยใช้เครื่องมือวัดไฟฟ้า (AMPROBE รุ่น ACD-41PQ) วัดพลังงานไฟฟ้าจากอุปกรณ์ทั้งหมดได้แก่ พัดลมคอนเดนเซอร์ พัดลมอีวาโปเรเตอร์ คอมเพรสเซอร์ และปั๊มน้ำ ซึ่งทำการจดบันทึกอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าทุกๆ 5 นาที

8. เมื่อทำการทดสอบเสร็จแล้ว ให้หยุดการวัด และทำการจัดเรียงข้อมูลโดยใช้โปรแกรมเอกเซลล์ บันทึกข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

9. นำผลการทดสอบที่ได้มาวิเคราะห์ การใช้พลังงานไฟฟ้า อุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ที่ตำแหน่งต่างๆ ที่เวลาเดียวกัน

3.2.10 สถานที่ทำโครงงาน

อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

3.2.11 ตัวอย่างตารางบันทึกผลการทดลอง

ในการทดลอง ได้ทำการวัดอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า ของแต่ละอุปกรณ์ในระบบปรับอากาศ จากตารางผลการทดลองดังกล่าวได้แสดงดังตารางบันทึกผลการทดลองดังนี้

ตารางบันทึกผลการทดลองอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศ

วัน.....ที่.....เดือน.....พ.ศ..... เวลา..... สถานที่ทำการทดลอง.....

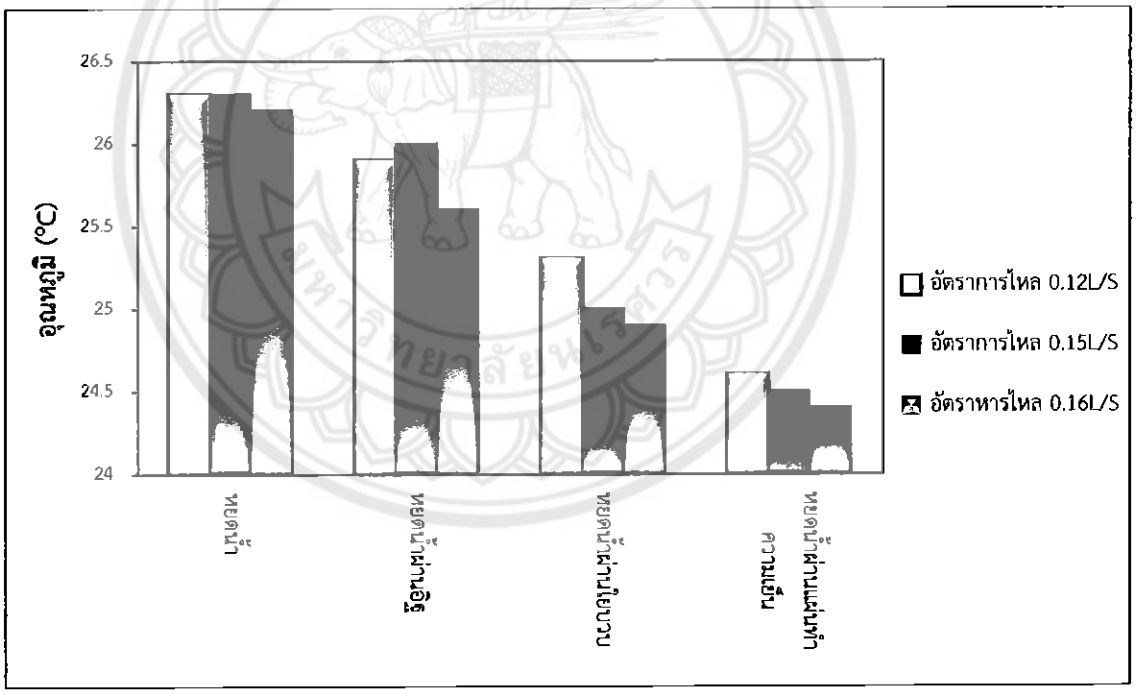
เวลา	คอมเพรสเซอร์ (kW)	พัดลมคอนเดนเซอร์ (kW)	ปั๊มน้ำ (kW)	พัดลมอีวาโปเรเตอร์ (kW)	พลังงานไฟฟ้ารวม (kW)

บทที่ 4
ผลและการวิเคราะห์การทดลอง

4.1 ผลการทดสอบชุดทดลองเครื่องทำความเย็นแบบระเหยน้ำ

4.1.1 ผลรูปแบบวิธีทำความเย็นแบบระเหยที่ใช้

ในการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการลดอุณหภูมิของอากาศของชุดทดลองเมื่อติดตั้งวัสดุต่างๆ โดยใช้อัตราการไหลของน้ำที่ 0.12 , 0.15 , 0.16 ลิตรต่อวินาที โดยพิจารณาอุณหภูมิอากาศอยู่ในช่วง $30 \pm 2\ ^{\circ}C$ และค่าความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 60 ± 5 %RH ได้ผลตามกราฟที่ 4.1



กราฟที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบวัสดุทำความเย็นแบบระเหย

จากกราฟที่ 4.1 เมื่อทำการทดลองติดตั้งรูปแบบวิธีทำความเย็นแบบระเหยต่างๆ ในเครื่องทำความเย็นแบบระเหย จากหยดน้ำ หยดน้ำผ่านอิฐ หยดน้ำผ่านใยบวบ และหยดน้ำผ่านแผ่นทำความเย็น (Cooling Pad) จะเห็นได้ว่าจากการทดสอบอัตราการไหลของน้ำมีผลต่อการลดอุณหภูมิเพียงเล็กน้อย แต่พบว่าวัสดุที่เป็นตัวกลางทำความเย็นแบบระเหยจะมีผลต่อการลดอุณหภูมิมากกว่า

เนื่องจากวัสดุตัวกลางทำความเย็นมีคุณสมบัติอุ้มน้ำไว้ทำให้น้ำมีพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศมาก จึงทำให้หยดน้ำผ่านแผ่นทำความเย็นสามารถลดอุณหภูมิอากาศได้ดี รองมาคือหยดน้ำผ่านใยบวบ หยดน้ำผ่านอิฐ และหยดน้ำ ตามลำดับ

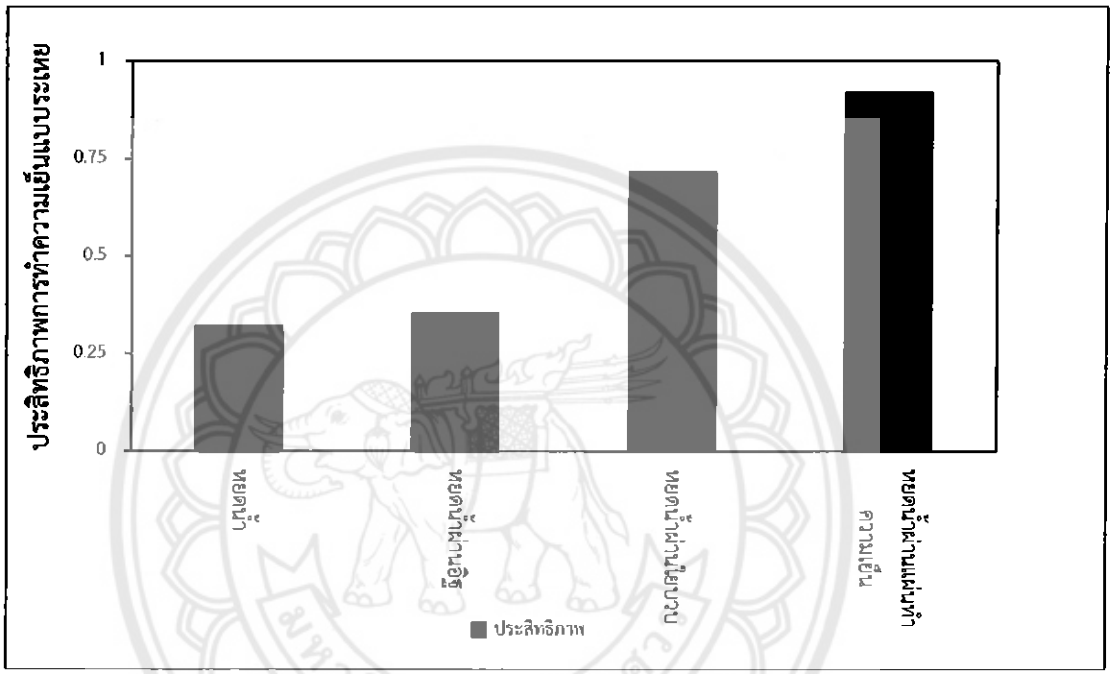
ในการทดสอบในชุดทดลองทำความเย็นแบบระเหย จากวัสดุต่างๆ จะมีค่าอุณหภูมิที่สามารถลดลงได้ตามตารางที่ 4.1 จะได้ว่าหยดน้ำผ่านแผ่นความเย็น (Cooling Pad) จะมีพื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำกับอากาศอยู่มาก เพื่อน้ำจะเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ สามารถลดอุณหภูมิของอากาศมากสุด รองลงมาคือหยดน้ำผ่านใยบวบ หยดผ่านน้ำลงอิฐ และหยดน้ำโดยไม่มีตัวกลาง เป็นไปตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 แสดงอุณหภูมิที่สามารถลดลงได้

ลำดับที่	อัตราการไหล (ลิตรต่อวินาที)	หยดน้ำ (^{o}C)	หยดน้ำลงอิฐ (^{o}C)	หยดน้ำลงใยบวบ (^{o}C)	หยดน้ำลงแผ่นทำความเย็น (^{o}C)
1	0.12	4.9	4.8	5.8	6.6
2.	0.15	4.8	4.6	5.7	6.6
3.	0.16	4.9	4.6	5.7	6.6

4.1.2 ผลประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นแบบระเหย

ประสิทธิภาพการทำความเย็นแบบระเหยจากวัสดุต่างๆ โดยทำการทดสอบโดยใช้อัตราการไหล 0.16 ลิตรต่อวินาที พิจารณาอุณหภูมิอากาศอยู่ในช่วง 30 ± 2 °C และค่าความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 60 ± 5 %RH จะได้ข้อมูลตามกราฟที่ 4.2

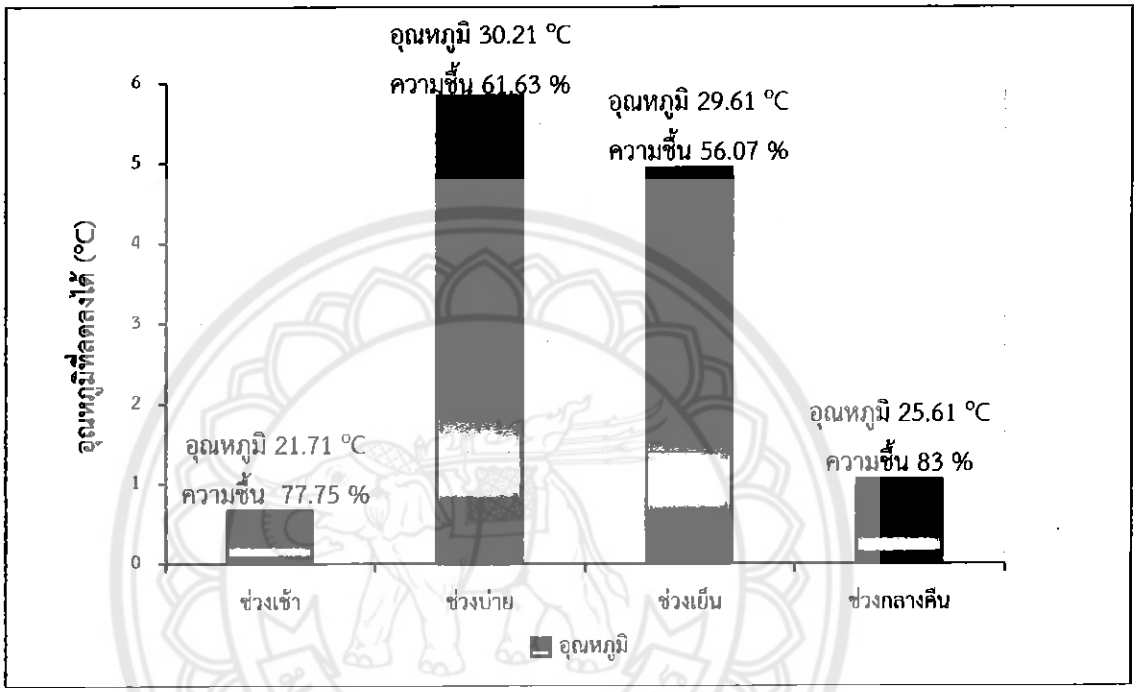


กราฟที่ 4.2 แสดงประสิทธิภาพการระเหยของแต่วัสดุ

จากกราฟที่ 4.2 เครื่องทำความเย็นแบบระเหยเมื่อติดตั้งวัสดุต่างๆ จะเห็นว่าหยดน้ำผ่านแผ่นทำความเย็น (Cooling Pad) จะมีประสิทธิภาพการทำความเย็นแบบระเหยได้ดีกว่าวัสดุอื่นๆ รองลงมาก็คือหยดน้ำผ่านใยบวบ ซึ่งมีค่าประสิทธิภาพการทำความเย็นของวัสดุต่างๆดังนี้ หยดน้ำผ่านแผ่นทำความเย็น (Cooling Pad) อยู่ที่ 0.92 หยดน้ำผ่านใยบวบอยู่ที่ 0.71 หยดน้ำผ่านอิฐอยู่ที่ 0.35 และหยดน้ำอยู่ที่ 0.32 ตามลำดับ เนื่องจากหยดน้ำลงแผ่นทำความเย็นสามารถลดอุณหภูมิได้มากจึงทำให้ประสิทธิภาพการทำความเย็นแบบระเหยมีค่าสูง จึงเป็นไปตามอัตราส่วนอุณหภูมิที่ลดได้จริงกับอุณหภูมิที่ลดลงได้สูงสุดตามทฤษฎีบทที่ 2.12

4.1.3 ผลช่วงเวลาทำความเย็นแบบระเหย

ในการทดสอบช่วงเวลาทำความเย็นแบบระเหยโดยใช้ใยบวบ ทำการทดลองเป็น 4 ช่วงเวลา คือ เช้า บ่าย เย็น กลางคืน โดยใช้อัตราการไหลที่ 0.16 ลิตรต่อวินาที จะได้ผลตามกราฟที่ 4.3



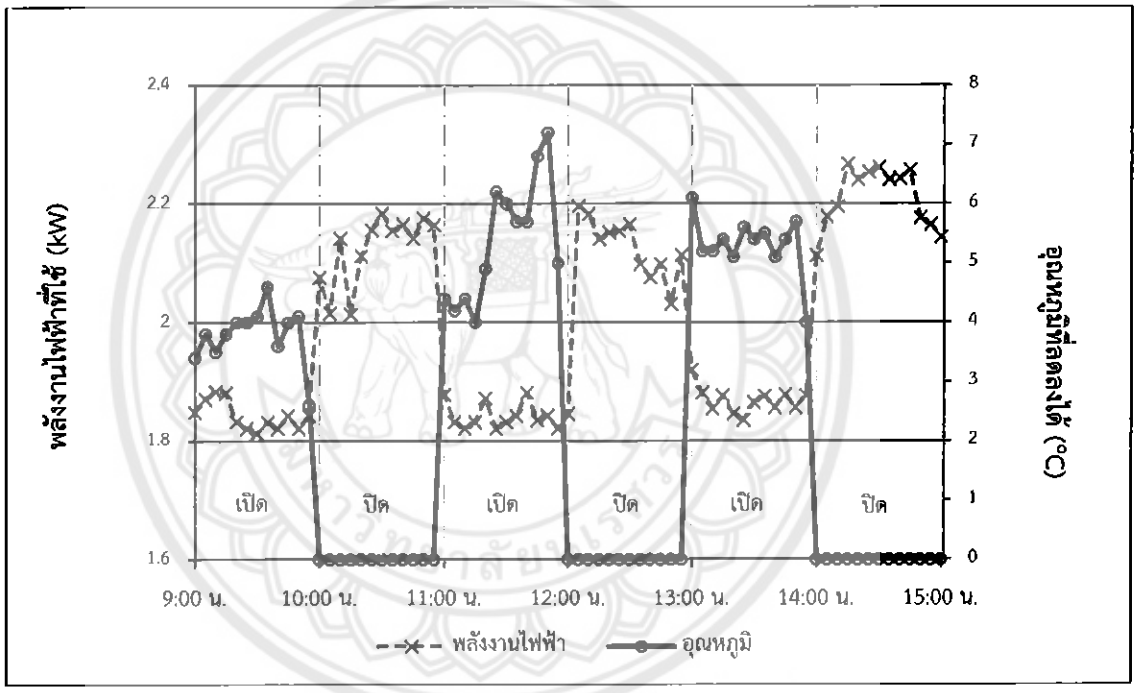
กราฟที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบช่วงเวลาทำความเย็นแบบระเหยได้ดีสุด

จากกราฟที่ 4.3 จะเห็นได้ว่า ช่วงเวลาบ่ายสามารถทำความเย็นแบบระเหยได้ดีสุด เนื่องจากมีอุณหภูมิที่สูงและความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำลดอุณหภูมิได้ 5.8 °C จึงทำให้สามารถลดอุณหภูมิได้ดี เป็นไปตามทฤษฎีบทที่ 2.11 รองมาคือ ช่วงเย็นลดอุณหภูมิได้ 4.9 °C ช่วงกลางคืนลดอุณหภูมิได้ 1.1 °C และช่วงเช้าลดอุณหภูมิได้ 0.7 °C ตามลำดับ เนื่องจากช่วงเช้ามีอุณหภูมิที่ต่ำและความชื้นสัมพัทธ์มีค่าสูง จึงทำให้ความสามารถลดอุณหภูมิได้ไม่ดี

4.2 ผลการทดสอบเครื่องปรับอากาศเมื่อติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบระเหย

4.2.1 ผลของเครื่องทำความเย็นแบบระเหยต่อพลังงานการใช้ไฟฟ้า

ในการทดสอบระบบทำความเย็นแบบระเหยโดยใช้ใยบวบ ซึ่งมีวิธีการทดสอบด้วยการเปิดและปิดเครื่องทำความเย็นแบบระเหย โดยสลับกันอย่างละ 1 ชั่วโมง โดยพิจารณาอุณหภูมิอากาศอยู่ในช่วง 29 ± 3 °C และค่าความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 60 ± 10 %RH ได้ผลการทดลองตามกราฟที่ 4.4

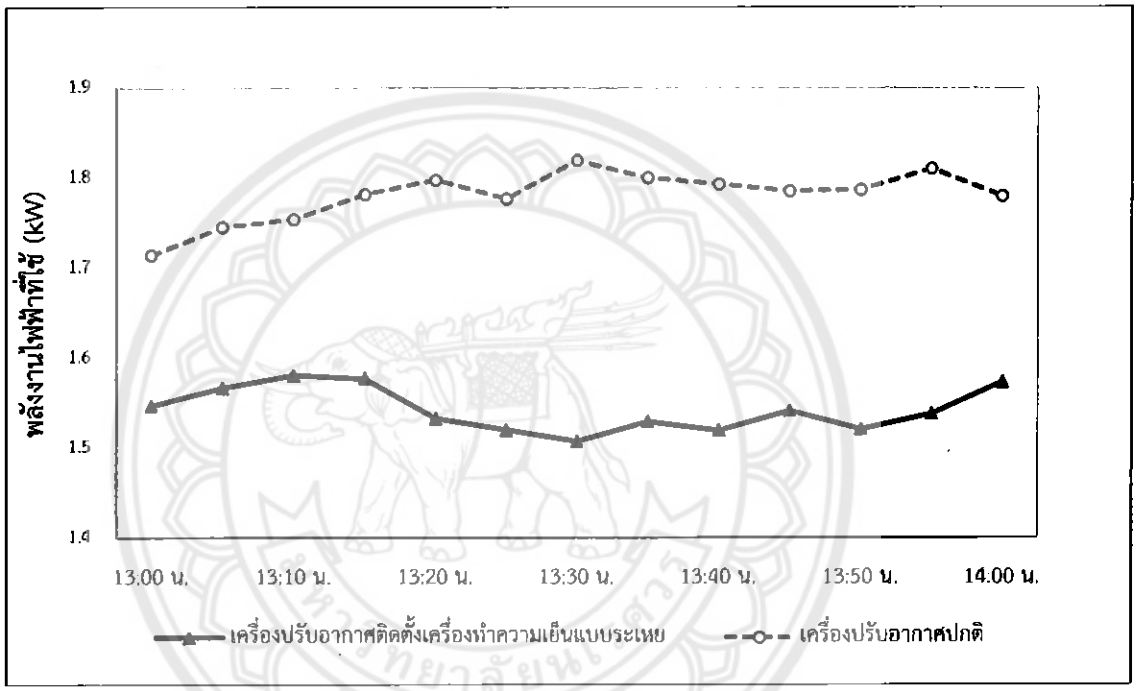


กราฟที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ที่มีผลต่อพลังงานไฟฟ้าเครื่องปรับอากาศ

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าเมื่อเปิดเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยใช้ใยบวบ ช่วงการลดลงของอุณหภูมิมากขึ้น และพลังงานการใช้ไฟฟ้าจะลดลง ทั้งนี้เพราะหากอุณหภูมิก่อนเข้าคอนเดนเซอร์มีค่าต่ำลง จะทำให้การใช้พลังงานไฟฟ้าที่คอมเพรสเซอร์ลดลง

4.2.2 อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์

เมื่อทำการทดสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศ โดยทดสอบเปรียบเทียบระหว่างเครื่องปรับอากาศปกติ กับเครื่องปรับอากาศที่ติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยใช้ใยบวบ โดยพิจารณาอุณหภูมิอากาศอยู่ในช่วง 30 ± 2 °C และค่าความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 60 ± 5 %RH ได้ผลตามกราฟที่ 4.5

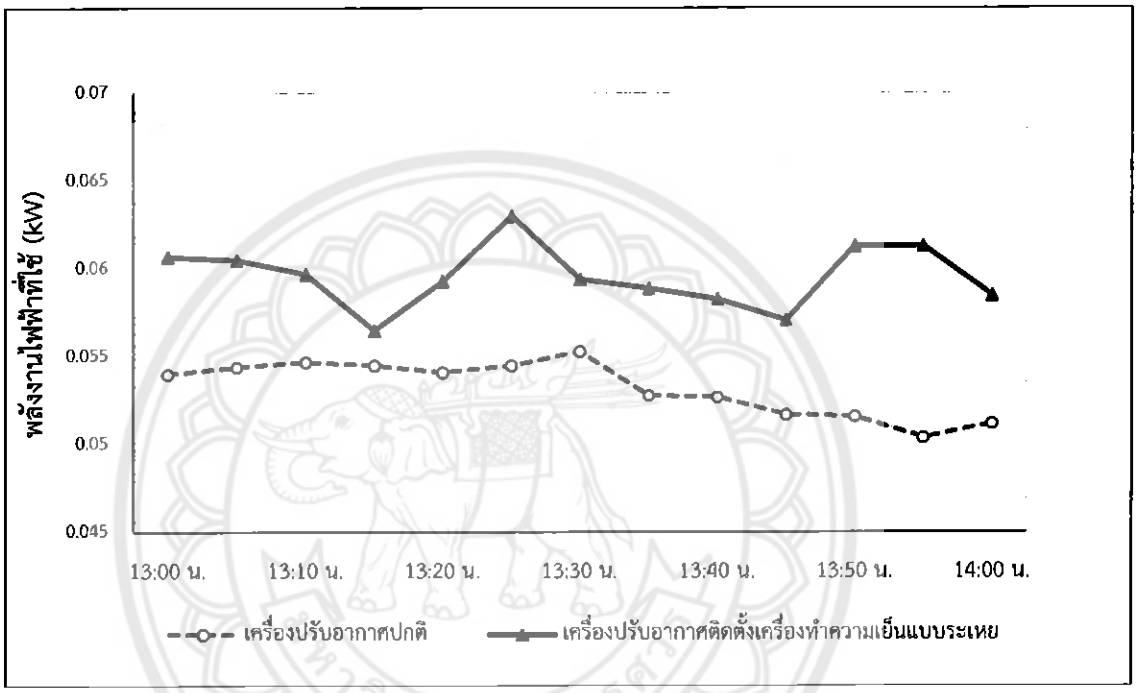


กราฟที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ ระหว่างเครื่องปรับอากาศปกติกับเครื่องปรับอากาศติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยใช้ใยบวบ

จากกราฟที่ 4.5 จะเห็นได้ว่า อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์เมื่อติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยใช้ใยบวบ พบว่าอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์มีค่าต่ำลง เนื่องจากเมื่อติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยใช้ใยบวบทำให้ลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องคอนเดนเซอร์ จึงทำให้การทำงานของคอมเพรสเซอร์ลดลง และอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าคอมเพรสเซอร์ลดลงไปด้วย

4.2.3 อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของพัดลมคอนเดนเซอร์

ในการศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าของพัดลมคอนเดนเซอร์ ซึ่งจะทดสอบแบบปกติ กับแบบติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยใช้ใยบวบ โดยพิจารณาอุณหภูมิอากาศอยู่ในช่วง 30 ± 2 °C และค่าความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 60 ± 5 %RH ได้ผลตามกราฟที่ 4.6

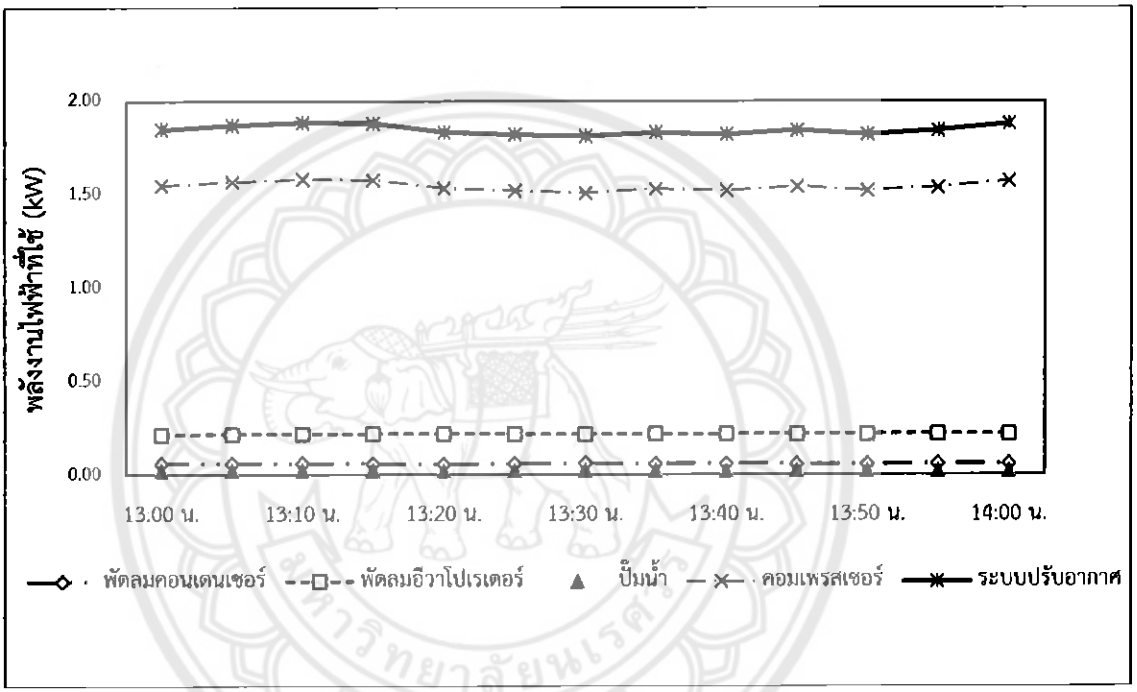


กราฟที่ 4.6 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าของพัดลมคอนเดนเซอร์ ระหว่างเครื่องปรับอากาศปกติกับเครื่องปรับอากาศติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยใช้ใยบวบ

จากกราฟที่ 4.6 จะเห็นได้ว่า ในการติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยใช้ใยบวบ จะทำให้อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของพัดลมคอนเดนเซอร์ มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากการติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยใช้ใยบวบ ทำให้ด้านการไหลของอากาศ จึงทำให้อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของพัดลมที่คอนเดนเซอร์มีค่าสูงขึ้นแต่ไม่มากนัก

4.2.4 อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบเครื่องปรับอากาศที่ติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยใช้ใยบวบ

ในการศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ ในเครื่องปรับอากาศปกติ กับเครื่องปรับอากาศติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยใช้ใยบวบ โดยพิจารณาอุณหภูมิอากาศอยู่ในช่วง $30 \pm 2\ ^{\circ}C$ และค่าความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 60 ± 5 %RH ได้ผลตามกราฟที่ 4.7



กราฟที่ 4.7 แสดงอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศเมื่อติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยใช้ใยบวบ

จากกราฟที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศ คอมเพรสเซอร์จะใช้พลังงานไฟฟ้าสูงที่สุด ในระบบปรับอากาศ ถ้าสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ลดลงจะช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศได้

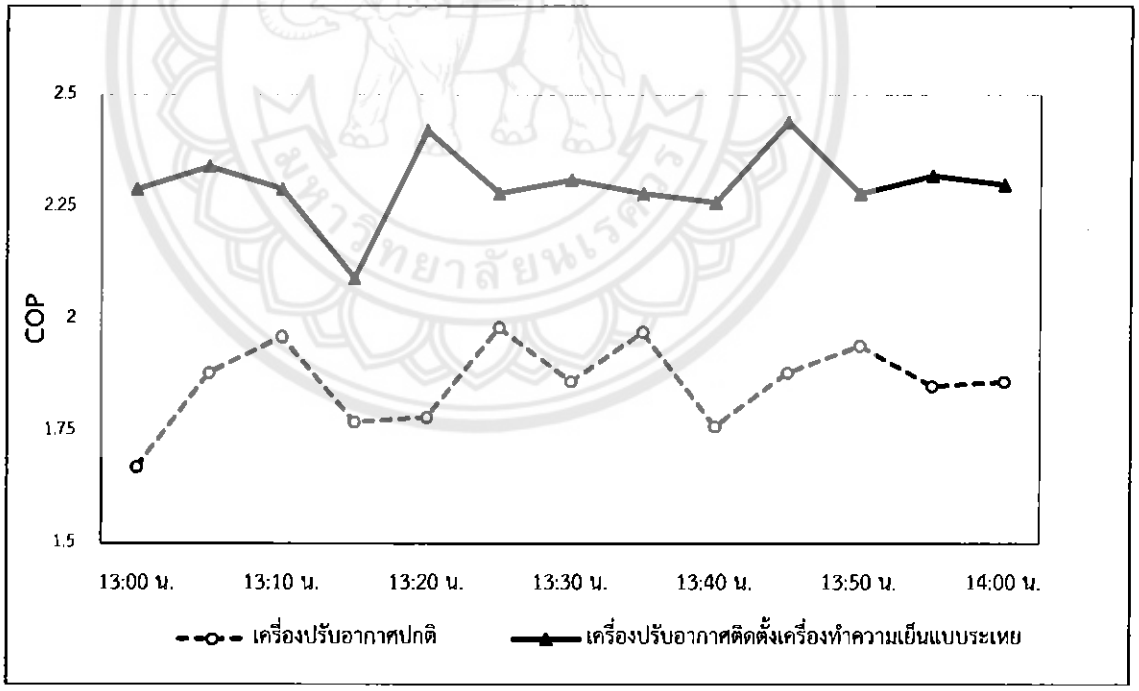
ในการทดสอบอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า ของอุปกรณ์ในระบบปรับอากาศที่ติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบระเหย จะได้ข้อมูลตามตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของแต่ละอุปกรณ์

อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า	คอมเพรสเซอร์ (kW)	พัดลมอีวาโปเรเตอร์ (kW)	พัดลมคอนเดนเซอร์ (kW)	ปั๊มน้ำ (kW)	รวม (kW)
เฉลี่ย	1.54	0.22	0.06	0.02	1.84

4.2.5 ผลของเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยใช้ใยบวบต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) ของเครื่องปรับอากาศ

ในการทดลองเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องปรับอากาศ จะทำการเปรียบเทียบ โดยใช้เครื่องปรับอากาศแบบปกติกับเครื่องปรับอากาศที่ติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยใช้ใยบวบ โดยพิจารณาอุณหภูมิอากาศอยู่ในช่วง 30 ± 2 °C และค่าความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 60 ± 5 %RH ได้ผลตามกราฟที่ 4.8



กราฟที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปรับอากาศ ของเครื่องปรับอากาศปกติและเครื่องปรับอากาศติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบระเหย

จากกราฟที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่า ในระบบเครื่องปรับอากาศเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยใช้ใยบวบ จะมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) เพิ่มขึ้น เนื่องจากการที่ได้ติดตั้งเครื่องทำความ

เย็นแบบระเหยโดยใช้ใยบวบ จะทำให้ลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องคอนเดนเซอร์ จึงทำให้คอมเพรสเซอร์ทำงานลดลง ซึ่งจะทำให้คอมเพรสเซอร์มีการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลง จึงทำให้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปรับอากาศที่ติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบระเหยมีค่าสูงขึ้น

ในการทดสอบเปรียบเทียบเครื่องปรับอากาศแบบปกติและติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยใช้ใยบวบ จะได้ดังตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าเครื่องปรับอากาศปกติกับติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยใช้ใยบวบ เครื่องอากาศปกติ อัตราการทำความเย็นต่ำกว่า พลังงานการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศสูงกว่าและค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) ต่ำกว่า ถ้าเทียบกับเครื่องปรับอากาศที่ติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยใช้ใยบวบ

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบเครื่องปรับอากาศแบบปกติและติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยใช้ใยบวบ

ลักษณะเครื่องปรับอากาศ	Q_e (kW)	Power (kW)	COP	Pump (kW)	COP_t
1. เครื่องปรับอากาศปกติ	3.91	2.1	1.86	-	1.86
2. เครื่องปรับอากาศที่ติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยใช้ใยบวบ	4.16	1.82	2.29	0.02	2.26

จากตารางที่ 4.3 สรุปได้ว่าเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยใช้ใยบวบสามารถลดอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมของเครื่องปรับอากาศลง 0.28 kW และค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) เพิ่มขึ้น 0.4 เมื่อเทียบกับเครื่องปรับอากาศปกติ

บทที่ 5
สรุปผลโครงงานและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลโครงงาน

โครงงานนี้เป็นการศึกษาและออกแบบชุดทดลองทำความเย็นแบบระเหยโดยไม่ใช้แผ่นทำความเย็น (Cooling Pad) เพื่อทดลองหาค่าของอุณหภูมิก่อนเข้า และหลังออกจากชุดทดลองทำความเย็นแบบระเหย โดยเปรียบเทียบกับความสามารถในการลดอุณหภูมิอากาศของแผ่นทำความเย็น (Cooling Pad) เพื่อนำไปใช้ในการลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ จากการทดลองในช่วงอุณหภูมิอากาศอยู่ในช่วง 30 ± 2 °C และค่าความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 60 ± 5 %RH จากการทดสอบอัตราการไหลของน้ำที่ 0.12 , 0.15 , 0.16 ลิตรต่อวินาที พบว่าอัตราการไหลน้ำมีผลต่อการลดอุณหภูมิอากาศเพียงเล็กน้อย แต่วัสดุที่เป็นตัวกลางทำความเย็นแบบระเหยมีผลต่อการลดอุณหภูมิอากาศ จากชุดทดลองเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยใช้อัตราการไหลน้ำที่ 0.16 ลิตรต่อวินาที โดยใช้รูปแบบวิธีทำความเย็นแบบระเหย 4 วิธีคือ หยดน้ำ หยดน้ำผ่านอิฐ หยดน้ำผ่านใยบวบ และหยดน้ำผ่านแผ่นทำความเย็น (Cooling Pad) พบว่า หยดน้ำลดอุณหภูมิได้ 4.9 °C หยดน้ำผ่านอิฐลดอุณหภูมิได้ 4.6 °C หยดน้ำผ่านใยบวบลดอุณหภูมิได้ 5.7 °C และหยดน้ำผ่านแผ่นทำความเย็น (Cooling Pad) ลดอุณหภูมิได้ 6.6 °C จากประสิทธิภาพการทำความเย็นแบบระเหยหยดน้ำอยู่ที่ 0.32 ประสิทธิภาพการทำความเย็นแบบระเหยหยดน้ำผ่านอิฐอยู่ที่ 0.35 ประสิทธิภาพการทำความเย็นแบบระเหยหยดน้ำผ่านใยบวบอยู่ที่ 0.71 และประสิทธิภาพการทำความเย็นแบบระเหยหยดน้ำผ่านแผ่นทำความเย็น (Cooling pad) อยู่ที่ 0.92 ดังนั้นการทำความเย็นแบบระเหยจึงใช้ใยบวบเป็นวัสดุตัวกลางทำความเย็นเนื่องจากใยบวบสามารถลดอุณหภูมิอากาศ และประสิทธิภาพของการระเหยได้ใกล้เคียงกับแผ่นทำความเย็น (Cooling Pad) ในการทดสอบหาช่วงเวลาที่เหมาะสม โดยทดสอบช่วงเวลาทำความเย็นแบบระเหยโดยใช้ใยบวบ ทำการทดลองเป็น 4 ช่วงเวลาคือ เช้า บ่าย เย็น กลางคืน โดยใช้อัตราการไหลที่ 0.16 ลิตรต่อวินาที จะได้ว่า ช่วงเวลาบ่าย สามารถทำความเย็นแบบระเหยได้ดีสุด เนื่องจากมีอุณหภูมิที่สูงและความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำ จึงทำให้สามารถลดอุณหภูมิได้ดีรองมาคือ ช่วงเย็น ช่วงกลางคืน และช่วงเช้า ตามลำดับ เนื่องจากช่วงเช้ามีอุณหภูมิที่ต่ำและความชื้นสัมพัทธ์มีค่าสูง จึงทำให้ความสามารถลดอุณหภูมิได้ไม่มาก จากการศึกษาเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วน (Split Type) เพื่อทดสอบ พลังงานการใช้พลังงานไฟฟ้า และค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) พบว่าพลังงานไฟฟ้าเครื่องปรับอากาศปกติ 2.1 kW และเครื่องปรับอากาศแบบติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยใช้ใยบวบ 1.8 kW ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) ของเครื่องปรับอากาศปกติจะ

มีค่า COP 1.86 และเมื่อติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยใช้ใยบวบจะมีค่า COP 2.29 เมื่อรวมพลังงานไฟฟ้าจากปั๊มน้ำ 0.02 kW จะมีค่า COP 2.26 ตามลำดับ ซึ่งโครงงานนี้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของโครงงาน

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การทำแท้งค์น้ำฝนไว้ในถังที่สูงแล้วปล่อยให้น้ำตกลงมาด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก จะเป็นการประหยัดพลังงานจากการใช้ปั๊มน้ำได้

5.2.2 น้ำที่กลั่นตัวจากอีวาโปเรเตอร์ นำมามารวมกับน้ำในระบบเพื่อที่จะทำให้น้ำในระบบมีอุณหภูมิต่ำลง ซึ่งจะช่วยในการลดอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าคอนเดนเซอร์

5.2.3 นำอากาศระบายทิ้งจากห้องปรับอากาศมาผสมกับอากาศก่อนเข้าเครื่องทำความเย็นแบบระเหย เพื่อลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าชุดคอนเดนเซอร์

เอกสารอ้างอิง

[1] E. Hajidavalloo , H. Eghtedari , Performance improvement of air-cooled refrigeration system by using evaporatively cooled air condenser , Chamran University , 12 February 2010.

[2] Ebrahim Hajidavalloo , Application of evaporative cooling on the condenser of window-air-conditioner , Shahid Chamran University , 10 January 2007.

[3] วีระวุฒิ อรุณวรรธนะ , การปรับปรุงการระบายความร้อนที่คอนเดนเซอร์ , วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต , มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี , 2543.

[4] YUNUS A. CENGEL AND MICHAEL A. BOLES , THERMODY : An Engineering Approach 6th edition Chapter 11, 14.

[5] สุรพล พฤกษพานิช , หลักการและระบบการปรับอากาศ การปรับอากาศ อากาศและกระบวนการปรับอากาศ , หน้า 1-30 , มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ , เมษายน 2529.

[6] วริทธิ์ อึ้งภากรณ์ , การออกแบบระบบท่อภายในอาคาร , หน้า 33 – 52 , วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ , มกราคม 2551.

[7] สำนักพิมพ์หมอชาวบ้าน , บวบ: ผักผลพื้นบ้าน ดอกนั้นสีงาม (ออนไลน์) , แหล่งที่มา http://www.doctor.or.th/node/3956 (วันที่สืบค้นข้อมูล 12 สิงหาคม 2554)

[8] M.Horsoz and Kilicarslan , Performance evaluations of refrigeration systems with air-cooled, water-cooled and evaporative condensers , Kocaeli Universitesi , 2004.

[9] Chainarong Chaktranond and Peachrakha Doungsong , An Experimental Evaluation of Energy Saving in a Split-type Air Conditioner with Evaporative Cooling Systems , Thammasat University , 2010

[10] นายเอกชัย ใจปันธิ และน.ส.นัยนา จอมแปง , สมรรถนะเครื่องปรับอากาศระบบอินเวอร์เตอร์ภายใต้การระบายความร้อนออกจากคอนเดนเซอร์โดยการทาความเย็นแบบระเหย , ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต , มหาวิทยาลัยนเรศวร , 2550.

[11] นายชำนาญ นางาม นายณัฐวุฒิ บัวสะอาด และนายศุภวิทย์ หน่อแก้ว , ระบบความเย็นแบบระเหยสำหรับระบายความร้อนจากคอนเดนเซอร์ , ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต , มหาวิทยาลัยนเรศวร , 2544.

[12] นายพงศ์ธร บรรยงค์ และนายธีรพันธุ์ ลิ้มวัฒนาพิบูลย์ , การศึกษาวิธีที่เหมาะสมสำหรับการหาค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (EER) ของเครื่องปรับอากาศโดยวิธีวัดภาคสนาม , รายงานนี้เป็นรายงาน งานโครงการของนักศึกษาชั้นปีที่ 4 ซึ่งเสนอเป็นส่วนหนึ่งในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต , ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น , 2546.

ภาคผนวก ก
ข้อมูลการทดสอบ

ภาคผนวก ก
ข้อมูลการทดสอบ

ก.1 ผลการทดสอบชุดทดลองเครื่องทำเย็นแบบระเหย

ก.1.1 หยดน้ำที่อัตราการไหล 0.12 ลิตรต่อวินาที

Number	Date	Time	Temperature, in (°C)	Humidity, in (%RH)	Temperature, out (°C)	Humidity, out (%RH)
1	12/1/1955	14:31:00	30.3	52	28.9	64
2	12/1/1955	14:32:00	30.4	51	29.3	61
3	12/1/1955	14:33:00	30.4	52	29.2	63
4	12/1/1955	14:34:00	30.4	51	28.9	63
5	12/1/1955	14:35:00	30.4	51	28.8	63
6	12/1/1955	14:36:00	30.4	52	28.7	65
7	12/1/1955	14:37:00	30.4	51	28.8	63
8	12/1/1955	14:38:00	30.4	52	28.8	64
9	12/1/1955	14:39:00	30.5	52	28.9	64
10	12/1/1955	14:40:00	30.5	52	29.3	61
11	12/1/1955	14:41:00	30.5	50	29.2	61
12	12/1/1955	14:42:00	30.5	52	28.9	63
13	12/1/1955	14:43:00	30.5	52	28.7	65
14	12/1/1955	14:44:00	30.6	52	28.7	65
15	12/1/1955	14:45:00	30.5	53	28.9	64

ข.1.2 หยดน้ำที่อัตราการไหล 0.15 ลิตรต่อวินาที

Number	Date	Time	Temperature, in (°C)	Humidity, in (%RH)	Temperature, out (°C)	Humidity, out (%RH)
1	12/1/1955	14:49:00	30.5	52	28.2	65
2	12/1/1955	14:50:00	30.5	52	27.8	67
3	12/1/1955	14:51:00	30.4	53	28.3	67
4	12/1/1955	14:52:00	30.4	52	27.6	70
5	12/1/1955	14:53:00	30.5	53	27.5	70
6	12/1/1955	14:54:00	30.5	53	28.2	68
7	12/1/1955	14:55:00	30.6	53	28.6	66
8	12/1/1955	14:56:00	30.6	53	28.3	67
9	12/1/1955	14:57:00	30.6	53	28.1	68
10	12/1/1955	14:58:00	30.6	53	28.2	67
11	12/1/1955	14:59:00	30.6	53	28.2	67
12	12/1/1955	15:00:00	30.6	53	27.9	71
13	12/1/1955	15:01:00	30.5	53	28.1	70
14	12/1/1955	15:02:00	30.5	53	27.5	70
15	12/1/1955	15:03:00	30.5	53	27.2	71
16	12/1/1955	15:03:00	30.5	53	27.4	70

ก.1.3 หยดน้ำที่อัตราการไหล 0.16 ลิตรต่อวินาที

Number	Date	Time	Temperature, in (°C)	Humidity, in (%RH)	Temperature, out (°C)	Humidity, out (%RH)
1	12/1/1955	15:08:00	30.5	53	28	69
2	12/1/1955	15:09:00	30.5	53	27	72
3	12/1/1955	15:10:00	30.5	52	27.2	71
4	12/1/1955	15:11:00	30.5	52	27.6	69
5	12/1/1955	15:12:00	30.5	52	27.3	84
6	12/1/1955	15:13:00	30.5	52	27.3	84
7	12/1/1955	15:14:00	30.6	52	27.3	82
8	12/1/1955	15:15:00	30.6	52	28.2	79
9	12/1/1955	15:16:00	30.7	52	27.9	69
10	12/1/1955	15:17:00	30.7	53	27.6	70
11	12/1/1955	15:18:00	30.7	52	27.5	71

12	12/1/1955	15:19:00	30.7	52	27.7	87
13	12/1/1955	15:20:00	30.6	52	27.9	86
14	12/1/1955	15:21:00	30.6	52	27.7	73
15	12/1/1955	15:22:00	30.5	51	27.5	73
16	12/1/1955	15:23:00	30.5	52	27.4	71

ก.1.4 หยดน้ำผ่านอิฐที่อัตราการไหล 0.12 ลิตรต่อวินาที

Number	Date	Time	Temperature, in (°C)	Humidity, in (%RH)	Temperature, out (°C)	Humidity, out (%RH)
1	14/1/1955	14:39:00	27.8	69	25.3	84
2	14/1/1955	14:40:00	27.8	68	25.3	84
3	14/1/1955	14:41:00	27.9	68	25.3	84
4	14/1/1955	14:42:00	27.9	65	25.3	83
5	14/1/1955	14:43:00	27.9	66	25.3	83
6	14/1/1955	14:44:00	27.9	67	25.3	83
7	14/1/1955	14:45:00	27.9	65	25.2	83
8	14/1/1955	14:46:00	27.9	66	25.2	83
9	14/1/1955	14:47:01	27.9	65	25.2	83
10	14/1/1955	14:48:01	27.9	66	25.2	83
11	14/1/1955	14:49:01	27.9	65	25.3	83
12	14/1/1955	14:50:01	28	66	25.3	83
13	14/1/1955	14:51:01	28	67	25.3	83
14	14/1/1955	14:52:01	28	66	25.3	83
15	14/1/1955	14:53:01	27.9	65	25.2	83

ก.1.5 หยดน้ำผ่านอิฐที่อัตราการไหล 0.15 ลิตรต่อวินาที

Number	Date	Time	Temperature, in (°C)	Humidity, in (%RH)	Temperature, out (°C)	Humidity, out (%RH)
1	14/1/1955	13:59:00	27.7	65	25.7	85
2	14/1/1955	14:00:00	27.7	65	25.7	85
3	14/1/1955	14:01:00	27.7	65	25.7	84
4	14/1/1955	14:02:00	27.6	65	25.6	84
5	14/1/1955	14:03:00	27.6	65	25.6	84
6	14/1/1955	14:04:00	27.6	66	25.6	84

7	14/1/1955	14:05:00	27.6	67	25.6	85
8	14/1/1955	14:06:00	27.6	67	25.6	84
9	14/1/1955	14:07:00	27.6	65	25.6	84
10	14/1/1955	14:08:00	27.6	66	25.5	84
11	14/1/1955	14:09:00	27.6	65	25.5	84
12	14/1/1955	14:10:00	27.6	66	25.5	84
13	14/1/1955	14:11:00	27.6	67	25.5	85
14	14/1/1955	14:12:00	27.6	67	25.5	85
15	14/1/1955	14:13:00	27.6	67	25.5	84
16	14/1/1955	14:14:00	27.6	67	25.5	85

ก.1.6 หยดน้ำผ่านอิฐที่อัตราการไหล 0.16 ลิตรต่อวินาที

Number	Date	Time	Temperature, in (°C)	Humidity, in (%RH)	Temperature, out (°C)	Humidity, out (%RH)
1	14/1/1955	13:33:00	28.2	66	27	87
2	15/1/1955	13:34:00	28.2	66	27	87
3	16/1/1955	13:35:00	28.1	65	26.9	87
4	17/1/1955	13:36:00	28.1	65	26.6	89
5	18/1/1955	13:37:00	28.2	65	26.5	89
6	19/1/1955	13:38:00	28.2	65	26.4	89
7	20/1/1955	13:39:00	28.2	64	26.3	89
8	21/1/1955	13:40:00	28.2	65	26.2	89
9	22/1/1955	13:41:00	28.2	65	26.1	89
10	23/1/1955	13:42:00	28.2	63	26	89
11	24/1/1955	13:43:00	28.3	63	26	89
12	25/1/1955	13:44:00	28.3	63	25.9	89
13	26/1/1955	13:45:00	28.2	64	25.9	89
14	27/1/1955	13:46:00	28.2	63	26.1	87
15	28/1/1955	13:47:00	28.2	64	26.2	86
16	29/1/1955	13:48:00	28.2	66	26.2	86

ก.1.7 หยดน้ำผ่านใยบวบที่อัตราการไหล 0.12 ลิตรต่อวินาที

Number	Date	Time	Temperature, in (°C)	Humidity, in (%RH)	Temperature, out (°C)	Humidity, out (%RH)
1	15/1/1955	14:33:00	31.3	54	26.5	81
2	15/1/1955	14:34:00	31.3	55	26.4	81
3	15/1/1955	14:35:00	31.3	55	26.4	81
4	15/1/1955	14:36:00	31.2	55	26.3	81
5	15/1/1955	14:37:00	31.2	54	26.3	81
6	15/1/1955	14:38:00	31.2	53	26.3	80
7	15/1/1955	14:39:00	31.2	53	26.3	80
8	15/1/1955	14:40:00	31.2	53	26.3	80
9	15/1/1955	14:41:00	31.2	51	26.3	80
10	15/1/1955	14:42:00	31.2	53	26.3	80
11	15/1/1955	14:43:00	31.2	54	26.3	80
12	15/1/1955	14:44:00	31.2	52	26.2	80
13	15/1/1955	14:45:00	31.1	53	26.2	80
14	15/1/1955	14:46:00	31.1	54	26.2	80
15	15/1/1955	14:47:00	31.1	53	26.2	80

ก.1.8 หยดน้ำผ่านใยบวบที่อัตราการไหล 0.15 ลิตรต่อวินาที

Number	Date	Time	Temperature, in (°C)	Humidity, in (%RH)	Temperature, out (°C)	Humidity, out (%RH)
1	15/1/1955	14:11:00	31.1	56	26.2	84
2	15/1/1955	14:12:00	31.1	56	26.2	84
3	15/1/1955	14:13:00	31.1	57	26.2	85
4	15/1/1955	14:14:00	31.2	58	26.2	84
5	15/1/1955	14:15:00	31.2	57	26.2	84
6	15/1/1955	14:16:00	31.2	57	26.3	84
7	15/1/1955	14:17:00	31.3	57	26.3	84
8	15/1/1955	14:18:00	31.3	56	26.3	83
9	15/1/1955	14:19:00	31.3	55	26.4	82
10	15/1/1955	14:20:00	31.3	55	26.4	82
11	15/1/1955	14:21:00	31.3	54	26.2	82
12	15/1/1955	14:22:00	31.3	54	26.3	83

13	15/1/1955	14:23:00	31.2	54	26.2	81
14	15/1/1955	14:24:00	31.2	54	26.3	82
15	15/1/1955	14:25:00	31.2	55	26.2	82
16	15/1/1955	14:26:00	31.2	55	26.2	82

ก.1.9 หยดน้ำผ่านใยบวบที่อัตราการไหล 0.16 ลิตรต่อวินาที

Number	Date	Time	Temperature, in (°C)	Humidity, in (%RH)	Temperature, out (°C)	Humidity, out (%RH)
1	15/1/1955	13:41:00	29.1	65	25.8	90
2	15/1/1955	13:42:00	29.4	64	25.6	90
3	15/1/1955	13:43:00	29.6	64	25.5	90
4	15/1/1955	13:44:00	29.8	63	25.5	90
5	15/1/1955	13:45:00	29.9	63	25.5	90
6	15/1/1955	13:46:00	30	62	25.6	90
7	15/1/1955	13:47:00	30.2	61	25.7	90
8	15/1/1955	13:48:00	30.4	60	25.7	89
9	15/1/1955	13:49:00	30.5	61	25.6	89
10	15/1/1955	13:50:00	30.5	60	25.7	89
11	15/1/1955	13:51:00	30.5	60	25.7	89
12	15/1/1955	13:52:00	30.6	61	25.8	89
13	15/1/1955	13:53:00	30.6	61	25.8	89
14	15/1/1955	13:54:00	30.7	61	25.8	88
15	15/1/1955	13:55:00	30.8	60	25.8	88
16	15/1/1955	13:56:00	30.8	60	25.9	88

ก.1.10 หยดน้ำผ่านแผ่นทำความเย็น (Cooling Pad) ที่อัตราการไหล 0.12 ลิตรต่อวินาที

Number	Date	Time	Temperature, in (°C)	Humidity, in (%RH)	Temperature, out (°C)	Humidity, out (%RH)
1	15/1/1955	15:41:00	31.2	45	23.2	90
2	15/1/1955	15:42:01	31.2	45	23.1	90
3	15/1/1955	15:43:01	31.2	43	23.1	89
4	15/1/1955	15:44:01	31.2	44	23	90
5	15/1/1955	15:45:01	31.2	43	23.1	89
6	15/1/1955	15:46:01	31.2	43	23.2	89
7	15/1/1955	15:47:01	31.2	43	23.2	89
8	15/1/1955	15:48:01	31.3	43	23.1	89
9	15/1/1955	15:49:01	31.3	42	23	89
10	15/1/1955	15:50:01	31.3	42	22.9	89
11	15/1/1955	15:51:01	31.2	41	22.9	89
12	15/1/1955	15:52:01	31.2	30	22.9	87
13	15/1/1955	15:53:01	31.2	39	22.7	89
14	15/1/1955	15:54:01	31.2	40	22.6	89
15	15/1/1955	15:55:01	31.1	31	22.6	88

ก.1.11 หยดน้ำผ่านแผ่นทำความเย็น (Cooling Pad) ที่อัตราการไหล 0.15 ลิตรต่อวินาที

Number	Date	Time	Temperature, in (°C)	Humidity, in (%RH)	Temperature, out (°C)	Humidity, out (%RH)
1	15/1/1955	15:22:00	31.4	48	23.9	90
2	15/1/1955	15:23:00	31.3	48	23.8	91
3	15/1/1955	15:24:00	31.3	48	23.8	91
4	15/1/1955	15:25:00	31.2	47	23.7	90
5	15/1/1955	15:26:00	31.1	46	23.7	90
6	15/1/1955	15:27:00	31.1	47	23.7	90
7	15/1/1955	15:28:00	31.1	46	23.7	90
8	15/1/1955	15:29:00	31.1	47	23.6	91
9	15/1/1955	15:30:01	31.1	48	23.6	90
10	15/1/1955	15:31:01	31.1	47	23.6	90

11	15/1/1955	15:32:01	31.1	47	23.6	90
12	15/1/1955	15:33:01	31.1	47	23.6	90
13	15/1/1955	15:34:01	31.1	46	23.5	90
14	15/1/1955	15:35:01	31	43	23.4	90
15	15/1/1955	15:36:01	31	46	23.3	89

ก.1.12 หยดน้ำผ่านแผ่นทำความเย็น (Cooling Pad) ที่อัตราการไหล 0.16 ลิตรต่อวินาที

Number	Date	Time	Temperature, in (°C)	Humidity, in (%RH)	Temperature, out (°C)	Humidity, out (%RH)
1	15/1/1955	15:01:00	31.3	49	25.3	88
2	15/1/1955	15:02:00	31.4	50	24.9	89
3	15/1/1955	15:03:00	31.4	51	24.8	90
4	15/1/1955	15:04:00	31.4	52	24.7	91
5	15/1/1955	15:05:00	31.4	53	24.6	91
6	15/1/1955	15:06:00	31.3	52	24.5	91
7	15/1/1955	15:07:00	31.3	52	24.5	91
8	15/1/1955	15:08:00	31.3	52	24.5	91
9	15/1/1955	15:09:00	31.3	52	24.4	91
10	15/1/1955	15:10:00	31.3	52	24.5	91
11	15/1/1955	15:11:00	31.2	52	24.4	91
12	15/1/1955	15:12:00	31.2	52	24.4	91
13	15/1/1955	15:13:00	31.3	51	24.4	91
14	15/1/1955	15:14:00	31.3	50	24.4	91
15	15/1/1955	15:15:00	31.4	49	24.3	91

ก.2 ข้อมูลการทดสอบช่วงเวลาการทำความเย็นแบบระเหยโดยใช้ใยบวบ

ก.2.1 ช่วงเช้า

Number	Date	Time	Temperature in (°C)	Humidity in (%RH)	Temperature out (°C)	Humidity out (%RH)
1	18/1/1955	5:27:00	23.5	67	22.3	85
2	18/1/1955	5:28:00	23.3	68	22.1	86
3	18/1/1955	5:29:00	23.2	69	22.1	86
4	18/1/1955	5:30:00	23	69	22	87
5	18/1/1955	5:31:00	22.9	70	21.9	87
6	18/1/1955	5:32:00	22.8	71	21.8	87
7	18/1/1955	5:33:00	22.7	72	21.8	87
8	18/1/1955	5:34:00	22.6	72	21.7	88
9	18/1/1955	5:35:00	22.5	73	21.7	88
10	18/1/1955	5:36:00	22.4	73	21.7	88
11	18/1/1955	5:37:00	22.4	74	21.7	88
12	18/1/1955	5:38:00	22.3	74	21.6	88
13	18/1/1955	5:39:00	22.3	75	21.6	88
14	18/1/1955	5:40:00	22.2	75	21.5	88
15	18/1/1955	5:41:00	22.2	76	21.5	88

ก.2.2 ช่วงบ่าย

Number	Date	Time	Temperature in (°C)	Humidity in (%RH)	Temperature out (°C)	Humidity out (%RH)
1	15/1/1955	13:41:00	29.1	65	25.8	90
2	15/1/1955	13:42:00	29.4	64	25.6	90
3	15/1/1955	13:43:00	29.6	64	25.5	90
4	15/1/1955	13:44:00	29.8	63	25.5	90
5	15/1/1955	13:45:00	29.9	63	25.5	90
6	15/1/1955	13:46:00	30	62	25.6	90
7	15/1/1955	13:47:00	30.2	61	25.7	90
8	15/1/1955	13:48:00	30.4	60	25.7	89
9	15/1/1955	13:49:00	30.5	61	25.6	89
10	15/1/1955	13:50:00	30.5	60	25.7	89

11	15/1/1955	13:51:00	30.5	60	25.7	89
12	15/1/1955	13:52:00	30.6	61	25.8	89
13	15/1/1955	13:53:00	30.6	61	25.8	89
14	15/1/1955	13:54:00	30.7	61	25.8	88
15	15/1/1955	13:55:00	30.8	60	25.8	88
16	15/1/1955	13:56:00	30.8	60	25.9	88

ก.2.3 ช่วงเย็น

Number	Date	Time	Temperature in (°C)	Humidity in (%RH)	Temperature out (°C)	Humidity out (%RH)
1	12/1/1955	16:22:00	30.4	53	26.2	81
2	12/1/1955	16:23:00	30.4	53	26	82
3	12/1/1955	16:24:00	30.3	53	26	82
4	12/1/1955	16:25:00	30.3	53	25.9	82
5	12/1/1955	16:26:00	30.3	54	25.9	82
6	12/1/1955	16:27:00	30.2	53	25.9	82
7	12/1/1955	16:28:00	30.1	54	25.9	82
8	12/1/1955	16:29:00	30.1	54	25.8	82
9	12/1/1955	16:30:00	30.1	55	25.9	82
10	12/1/1955	16:31:00	30.1	55	25.9	82
11	12/1/1955	16:32:00	30	54	25.9	81
12	12/1/1955	16:33:00	30	54	25.9	82
13	12/1/1955	16:34:01	29.9	55	25.9	82
14	12/1/1955	16:35:01	29.9	55	25.8	82
15	12/1/1955	16:36:01	29.9	55	25.8	82

ก.2.4 ช่วงกลางคืน

Number	Date	Time	Temperature in (°C)	Humidity in (%RH)	Temperature out (°C)	Humidity out (%RH)
1	14/1/1955	22:33:00	25.1	84	24.2	90
2	14/1/1955	22:34:00	25.1	83	24.1	90
3	14/1/1955	22:35:00	25.1	83	24.1	90
4	14/1/1955	22:36:00	25	83	24.2	90
5	14/1/1955	22:37:00	25.1	83	24.1	90
6	14/1/1955	22:38:00	25	83	24.2	90
7	14/1/1955	22:39:00	25.1	84	24.2	90
8	14/1/1955	22:40:00	25	84	24.2	90
9	14/1/1955	22:41:00	25	83	24.2	90
10	14/1/1955	22:42:00	25	84	24.2	90
11	14/1/1955	22:43:00	25	84	24.2	90
12	14/1/1955	22:44:00	25	84	24.1	90
13	14/1/1955	22:45:01	25	84	24.2	90
14	14/1/1955	22:46:01	25	84	24.2	90
15	14/1/1955	22:47:01	25	84	24.3	90

ก.3 ข้อมูลเครื่องปรับอากาศปกติ

เวลา	Tevap, in (°C)	%RHevap, in	Tevap, out (°C)	%RH evap,out	Tconden, in(°C)	%RH conden,in	Tconden, out(°C)	%RH conden,out	Power (kW)
13:00	28.1	55	17.8	63	30.9	60	32.9	55	1.981
13:05	27.4	55	15.5	62	30.5	61	33.2	55	2.017
13:10	26.8	54	15	61	30.6	60	33.3	54	2.027
13:15	26.4	53	15.5	61	30.6	62	33.6	54	2.056
13:20	26.5	55	16.3	62	30.4	61	33.5	54	2.072
13:25	26.4	55	15.6	62	30.4	62	33.6	55	2.05
13:30	26.3	55	15.9	62	30.4	62	33.6	54	2.092
13:35	26.3	56	17.2	63	30.4	62	33.6	54	2.074
13:40	26.2	56	17.1	63	30.2	62	33.7	53	2.065
13:45	26	57	19.5	64	30.1	61	33.2	54	2.057
13:50	26	57	17.6	64	30.1	62	33.1	55	2.058
13:55	26	58	16	65	29.9	64	33.2	56	2.081
14:00	26	57	17.6	65	29.8	65	33	57	2.049
14:05	26	57	15.9	64	29.7	65	32.8	57	2.08
14:10	26	57	16.1	64	29.9	66	33.2	58	2.1
14:15	26	57	16.6	64	29.9	65	33.5	56	2.085
14:20	26	58	16.9	64	29.8	65	33.3	56	2.06
14:25	26	58	17.5	65	30	65	33.4	56	2.062
14:30	26.1	58	17.2	65	30	67	33.3	58	2.065
14:35	26	58	17	64	30.1	69	33.5	60	2.073
14:40	25.9	58	17.3	64	29.9	69	33.3	60	2.082
14:45	25.9	58	15.6	65	29.7	68	33	60	2.073
14:50	25.9	58	16.1	65	29.4	70	32.6	62	2.102
14:55	26	58	16	65	29.4	70	32.6	61	2.087
15:00	26	57	17.3	65	29.3	71	32.9	61	2.075
15:05	26	57	17.1	65	29.5	71	32.8	62	2.058
15:10	26	58	17.7	65	29.4	72	32.7	63	2.069
15:15	25.9	58	16.8	66	29.5	72	33.2	61	2.053
15:20	26	58	18.2	66	29.6	72	33.4	61	2.052
15:25	26	59	16.4	66	29.7	67	33.4	57	2.068
15:30	26	59	16.7	65	29.8	66	32.9	58	2.082

15:35	26	59	16.8	65	29.6	67	32.8	58	2.063
15:40	25.9	59	16.2	65	29.7	67	33.1	58	2.067
15:45	25.9	59	16.1	65	29.8	67	33.7	57	2.085
15:50	25.9	58	16.8	65	29.9	67	33.2	58	2.083
15:55	26	59	17.5	65	30	67	32.1	58	2.079
16:00	26	59	17.6	65	29.9	67	32.2	58	2.065

ก.4 ข้อมูลเครื่องปรับอากาศติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบระเหย

เวลา	Tevap, in(°C)	%RH evap,in	Tevap, out(°C)	%RH evap,out	Tconden, in(°C)	%RH conden,in	Tconden,out (°C)	%RH conden,out	Toutdoor (°C)	%RH outdoor	Power (W)
13:00	26.6	59	15.3	77	24.1	100	27.8	78	30.1	66	1.848
13:05	26.2	60	15.7	77	25.5	100	28.5	74	30.6	65	1.87
13:10	26.1	60	15.3	76	26	100	28.4	75	30.6	64	1.883
13:15	26	60	14.6	75	24.8	100	28.6	76	30.8	64	1.881
13:20	26	60	15.7	76	24.6	100	28.1	74	30.8	64	1.832
13:25	25.9	60	15.7	75	24.7	100	28.9	74	30.9	65	1.821
13:30	25.9	60	17.1	76	24.6	100	28.8	75	31	64	1.812
13:35	25.9	60	16.5	76	24.7	100	29.4	74	31	65	1.831
13:40	25.9	60	15.4	76	24.4	100	29.4	74	31	63	1.821
13:45	25.9	60	16.2	76	24.2	100	29	74	31.2	64	1.842
13:50	26	60	14.7	76	24.5	100	29.6	71	31.2	65	1.821
13:55	25.9	60	14.9	74	24.4	100	29.9	69	31.5	65	1.842
14:00	25.9	60	15.3	75	24.4	100	29.6	72	31.5	57	1.878
14:05	25.9	60	15.3	75	24	100	29.4	72	31.6	57	1.831
14:10	26	60	15.6	75	24	100	29.4	72	31.8	58	1.821
14:15	25.9	60	15	75	24.1	100	30.1	69	31.8	56	1.831
14:20	25.9	60	15.3	75	23.9	100	30.1	68	31.8	56	1.871
14:25	26	60	15.2	74	24.1	100	30	71	31.8	56	1.821

14:30	26	60	15.3	75	24.1	100	29.7	71	31.9	58	1.831
14:35	26	60	15.6	75	23.9	100	29.4	70	31.9	60	1.842
14:40	25.9	60	15.7	75	24.1	100	29.7	69	31.9	60	1.881
14:45	25.8	60	15.4	75	24.2	100	29.9	71	31.9	60	1.835
14:50	25.9	59	15.6	75	24.1	100	30.1	68	31.9	62	1.842
14:55	25.9	60	15.6	75	24.3	100	30.3	70	31.9	61	1.821
15:00	25.8	60	15.5	75	24.3	100	30	71	31.9	61	1.845
15:05	25.9	60	15.7	75	24.2	100	29.8	71	32	62	1.842
15:10	25.9	60	15.7	75	24.3	100	30	71	32.2	63	1.821
15:15	25.9	59	15.8	76	24.3	100	30.2	68	32.2	61	1.842
15:20	26	59	15.7	76	24.3	100	30.4	67	32.1	61	1.878
15:25	26	60	15.9	76	24.1	100	29.9	69	31.5	57	1.831
15:30	26	60	16.3	75	24.4	100	30.2	69	31.6	58	1.821
15:35	26	60	15.7	75	24.4	100	30.3	68	31.4	58	1.831
15:40	26	60	15.7	76	24.6	100	30.4	70	31.2	58	1.871
15:45	26	60	15.9	75	24.6	100	30.1	70	31.2	57	1.821
15:50	25.9	60	15.6	76	24.7	100	30.1	71	31.1	58	1.831
15:55	25.9	60	15.6	75	24.7	100	30	70	29.8	58	1.842
16:00	25.9	60	15.6	75	24.7	100	30	70	29.6	69	1.865

ก.5 ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศเมื่อติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยทำการเปิดและปิด

เวลา	Tevap, in(°C)	%RH evap,in	Tevap, out(°C)	%RH evap,out	Tconden, in(°C)	%RHconden, in	Tconden, out(°C)	%RHconden, out	Toutdoor (°C)	%RH outdoor(°C)	Power (kW)
9:00	27	62	16.8	68	25	70	27.6	82	28.4	68	1.848
9:05	26.6	63	16.7	73	24.6	52	28	81	28.4	68	1.87
9:10	26.4	63	16.4	74	24.9	40	28.2	81	28.4	66	1.883
9:15	26.3	63	17.5	74	24.9	34	28.4	81	28.7	66	1.881
9:20	26.2	62	17.5	74	24.7	33	28.6	80	28.7	66	1.832
9:25	26.3	62	17.1	75	24.5	32	28.4	80	28.5	65	1.821
9:30	26.2	61	17.3	74	24.2	31	28.7	79	28.3	65	1.812
9:35	26.2	61	17.1	76	24	30	29.5	75	28.6	64	1.831
9:40	26.2	61	17.2	76	24.9	28	30.2	76	28.5	64	1.821
9:45	26.2	60	17.3	76	24.9	28	29.2	77	28.9	64	1.842
9:50	26.2	60	17.1	77	24.7	28	29.1	77	28.8	63	1.821
9:55	26.1	60	16	77	26.5	80	31.6	65	29.1	63	1.842
10:00	26	60	16.9	76	29.1	77	32.9	61	29.1	60	2.076
10:05	26	60	16.5	76	29.1	78	33.1	61	29.1	57	2.016
10:10	26.2	60	17.6	76	29.2	77	33.2	61	29.2	57	2.142
10:15	26.2	60	18.1	77	29.4	73	33.4	59	29.4	57	2.013
10:20	26.1	60	17	77	29.3	74	33.1	61	29.3	57	2.112
10:25	26.1	60	17.1	77	29.8	74	33.3	61	29.8	57	2.156

10:30	26	61	16.9	77	29.6	73	33.4	60	29.6	55	2.184
10:35	25.9	61	16.5	77	29.7	73	33.1	61	29.7	55	2.154
10:40	25.9	61	16.6	76	29.8	74	33.2	61	29.8	54	2.165
10:45	25.9	61	16.8	76	30.2	73	33.1	61	30.2	54	2.142
10:50	25.8	61	16.1	77	30.1	73	32.5	61	30.1	54	2.175
10:55	25.9	61	16.7	77	29.6	72	32.4	64	29.6	55	2.164
11:00	25.9	60	17.4	76	26	59	29.4	77	30.4	54	1.878
11:05	25.9	60	16.4	77	25.7	43	29.9	76	29.9	54	1.831
11:10	25.9	60	15.5	77	25.8	51	29.9	76	30.2	53	1.821
11:15	25.9	60	16.4	76	26.1	58	30.8	73	30.1	54	1.831
11:20	25.9	61	15.7	77	25.2	35	29.7	78	30.1	55	1.871
11:25	25.9	61	16.8	76	24.3	31	29.4	78	30.5	56	1.821
11:30	26	61	15.9	77	24.3	29	29.7	77	30.3	57	1.831
11:35	26.1	60	16.8	77	24.4	29	29.8	76	30.1	57	1.842
11:40	26	60	17	77	24.5	28	30	76	30.2	58	1.881
11:45	25.9	58	16.5	77	24.8	30	30.1	76	31.6	56	1.835
11:50	25.7	57	16.2	77	24.6	40	30.7	68	31.8	56	1.842
11:55	25.6	56	15.8	78	27	77	34.3	57	32	56	1.821
12:00	25.3	55	14.9	78	32.8	76	34.8	55	32.8	58	1.845
12:05	25.3	58	15.9	77	32.7	75	33.9	57	32.7	60	2.196
12:10	25.4	56	15.8	77	32.7	69	34.8	55	32.7	60	2.183

12:15	25.3	55	15.8	78	32.6	66	35.3	54	32.6	60	2.141
12:20	25.2	57	16	78	32.7	63	35.1	53	32.7	62	2.151
12:25	25.4	56	16	77	32.9	62	35.3	52	32.9	61	2.154
12:30	25.3	55	15.7	77	32.8	62	35.3	52	32.8	61	2.165
12:35	25.3	58	16.2	78	33.1	63	35.1	53	33.1	62	2.098
12:40	25.4	56	15.7	78	33.7	62	35.6	51	33.7	63	2.076
12:45	25.2	55	15.7	77	33.2	62	35.5	52	33.2	61	2.098
12:50	25.2	58	16	76	32.1	61	35.8	52	32.1	61	2.031
12:55	25.3	56	16.9	77	32.2	72	31.3	69	32.2	57	2.114
13:00	25.3	55	15.9	76	26.8	70	30.3	76	32.9	58	1.92
13:05	25.4	57	15.3	76	26.5	74	30.3	73	31.7	58	1.881
13:10	25.5	56	15.2	76	26.5	76	30.5	71	31.7	58	1.854
13:15	25.3	55	14.3	78	26.2	62	30.3	73	31.6	57	1.876
13:20	25.3	54	15.7	76	26.7	76	30.2	73	31.8	58	1.845
13:25	25.4	56	16.6	77	26.2	58	30.4	73	31.8	58	1.835
13:30	25.4	55	16.2	75	26.4	70	30.7	71	31.8	58	1.865
13:35	25.4	54	16.4	76	26.4	73	30.7	71	31.9	58	1.876
13:40	25.2	53	16.1	76	26.8	77	30.6	72	31.9	58	1.856
13:45	25.3	56	16.1	77	26.5	67	30.6	72	31.9	58	1.878
13:50	25.4	55	16.3	77	26.2	56	30.3	74	31.9	58	1.856
13:55	25.4	54	16.7	76	27.9	76	32.2	64	31.9	58	1.876

14:00	25.2	56	15.2	77	31.9	72	34.4	56	31.9	58	2.113
14:05	25.3	56	16.1	77	31.9	70	35.2	55	31.9	58	2.178
14:10	25.2	55	15.5	78	32.9	66	35.4	54	32.9	57	2.195
14:15	25.2	58	15.5	77	31.9	63	35.5	53	31.9	57	2.267
14:20	25.4	55	15.6	77	31.7	61	35.6	52	31.7	57	2.241
14:25	25.3	54	15.4	78	31.7	62	35.7	51	31.7	58	2.254
14:30	25.3	57	15.6	78	31.8	62	36	52	31.8	58	2.261
14:35	25.4	55	16	78	31.9	62	35.9	52	31.9	59	2.241
14:40	25.4	55	16	78	31.9	62	35.9	52	31.9	59	2.243
14:45	25.4	56	16	78	31.9	62	35.9	52	31.9	59	2.257
14:50	25.5	55	16	78	31.9	62	35.9	52	31.9	59	2.176
14:55	25.4	58	16	78	31.9	62	35.9	52	31.9	59	2.165
15:00	25.6	55	16	78	31.9	62	35.9	52	31.9	60	2.144

ผลการทดลองส่วนอื่นๆ ได้ทำการเก็บบันทึกไว้ที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยนเรศวร

ภาคผนวก ข
การคำนวณ

ภาคผนวก ข

การคำนวณ

ข.1 คำนวณหาขนาดปั๊มที่ใช้จริง

ข.1.1 คำนวณหาอัตราการไหล

จะหาได้จากสมการเบื้องต้นทางกลศาสตร์ของไหลคือ

จากสมการ $Q = VA$

โดยที่ Q = อัตราการไหล , m^3/s

V = ความเร็วของน้ำภายในท่อ , m/s

A = พื้นที่หน้าตัดของท่อ , m^3/s

ค่าความเร็วที่ออกแบบไว้ในทางปฏิบัติควรอยู่ระหว่าง 1.2 m/s ถึง 2.4 m/s

เลือกความเร็วที่ $V = 1.2$, m/s

จาก 3.2.3 รูปที่ 3.14 ท่อมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 19 mm

จะได้ $$A = \frac{\pi \times (19 \times 10^{-3})^2}{4} = 0.000284 \ m^2$$

แทนค่า V, A ลงในสมการ

จะได้ $$Q = 1.2\, m/s \times 0.00284\, m^2$$
$$= 0.0003408\, m^3/s \text{ หรือ } 0.3408\, lps$$

ข.1.2 คำนวณหา Head ในท่อของชุดทดลองเครื่องทำความเย็นแบบระเหย

ข 1.2.1 คำนวณ Static Head

จากความสูงของท่อ $= 0.35\, m$

ข.1.2.2 คำนวณหา Friction Loss

กราฟที่ ค.1 ท่อขนาด 3/4 นิ้ว โดยใช้อัตราการไหล 0.3408 lps สามารถเปิดหาค่า Head Loss , m/100m ของท่อขนาด 3/4 นิ้ว ได้ Head Loss, m/100m ประมาณ 16 m/100m

จากตารางที่ ค.1 เปิดหาค่า Equivalent length ของอุปกรณ์ทั้งหมดได้ ดังนี้

ข้อต่อ 3 ทาง 3/4 นิ้ว	จำนวน 1 ตัว	มีค่า Equivalent length	0.25×1	=0.25 m
ข้องอ 90 องศา 3/4 นิ้ว	จำนวน 4 ตัว	มีค่า Equivalent length	0.8×4	=0.32 m
Angle Valve Open	จำนวน 1 ตัว	มีค่า Equivalent length	0.36×1	=3.6 m

ใช้ท่อ 3/4 นิ้วความยาว 0.96 m รวมความยาวทั้งหมด $= 0.96m + 0.25m + 3.2m + 3.6m$

$= 8.01\ m$

หา Friction Loss

ท่อขนาด 3/4 นิ้ว ยาว $= 8.01m \times \frac{16\ m}{100\ m} = 1.28\ m$

$$Total\ Head = Static\ Head + Friction\ loss$$
$$= 0.35\ m + 1.28\ m$$
$$= 1.63\ m$$

ข.1.3 คำนวณหากิโลวัตต์ของมอเตอร์ปั๊มน้ำของชุดทดลองเครื่องทำความเย็นแบบระเหย

จากทฤษฎีบทที่ 2.13 การเลือกใช้ปั๊มน้ำ จะได้สมการที่ (18)

$$kW = \frac{QH}{102\eta}$$

โดยกำหนดประสิทธิภาพของปั๊มน้ำสูงสุด 60%

แทนค่าในสมการ

$$kW = \frac{0.3408\ lps \times 1.63\ m}{102 \times 0.6} = 9.08 \times 10^{-3}\ kW$$

ข.1.4 คำนวณหา Head ในท่อของเครื่องทำความเย็นแบบระเหยใช้กับเครื่องปรับอากาศจริง

ข 1.4.1 คำนวณ Static Head

จากความสูงของท่อ $= 0.9\ m$

ข.1.4.2 คำนวณหา Friction Loss

กราฟที่ ค.1 ท่อขนาด 3/4 นิ้ว โดยใช้อัตราการไหล 0.3408 *lps* สามารถเปิดหาค่า Head Loss , m/100m ของท่อขนาด 3/4 นิ้ว ได้ Head Loss , m/100m ประมาณ 16 m/100m

จากตารางที่ ค.1 เปิดหาค่า Equivalent length ของอุปกรณ์ทั้งหมดได้ ดังนี้

ข้อต่อ 3 ทาง 3/4 นิ้ว	จำนวน 3 ตัว	มีค่า Equivalent length	0.25×3	=0 75 *m*
ข้องอ 90 องศา 3/4 นิ้ว	จำนวน 2 ตัว	มีค่า Equivalent length	0.8×2	=1 6 *m*

ใช้ท่อ 3/4 นิ้วความยาว 2.4 *m* รวมความยาวทั้งหมด =2.4 *m* + 0.75 *m* +1.6 *m* = 4.75 *m*

หา Friction Loss

ท่อขนาด 3/4 นิ้ว ยาว $= 4.75\,m \times \frac{16\,m}{100\,m} = 0.76\,m$

$$\begin{aligned} Total\ Head &= Static\ Head + Friction\ loss \\ &= 0.9\,m + 0.76\,m \\ &= 1.66\,m \end{aligned}$$

ข.1.5 คำนวณหากิโลวัตต์ของมอเตอร์ปั๊มน้ำของเครื่องทำความเย็นแบบระเหยใช้กับเครื่องปรับอากาศจริง

จากทฤษฎีบทที่ 2.13 การเลือกใช้ปั๊มน้ำ จะได้สมการที่ (18)

$$kW = \frac{QH}{102\eta}$$

โดยกำหนดประสิทธิภาพของปั๊มน้ำสูงสุด 60%

แทนค่าในสมการ

$$kW = \frac{0.3408\ lps \times 1.66\ m}{102 \times 0.6} = 9.24 \times 10^{-3}\ kW$$

ข.2 คำนวณหาสมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องอีวาโปเรเตอร์

จากแผนภูมิไซโครเมตริกทฤษฎีที่ 2.11 จะได้สมการการคำนวณหาสมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องอีวาโปเรเตอร์ มาทำการคำนวณดังนี้

จากทฤษฎีที่ 2.11 จะได้สมการการที่ (15) คำนวณหาอัตราการไหลของอากาศ

$$\dot{m}_a = \rho_a A v$$

โดยที่ $\rho_a = 1.255\ kg/m^3$

$A = 0.37\ m^2$

$v = 3.55\ m/s$

แทนค่าในสมการ

$$\dot{m}_a = 1.255\ kg_{dry\,air}/m^3 \times 0.37\ m^2 \times 3.55\ m/s$$
$$\dot{m}_a = 1.61\ kg_{dry\,air}/s$$

จากสมการ $\dot{Q}_e = \dot{m}_a \Delta h$

จาก ไซโครเมตริกกราฟที่ ค.2 จะได้ค่าเอนทัลปีดังนี้

โดยที่ $T_{in} = 26.61\ ^oC$ จะได้ $h_{in} = 57.34\ kJ/kg_{dry\,air}$

$\phi_{in} = 57.22\ \%RH$

$T_{out} = 24.08\ ^oC$ จะได้ $h_{out} = 54.91\ kJ/kg_{dry\,air}$

$\phi_{out} = 64.16\ \%RH$

แทนค่าในสมการ

$$\dot{Q}_e = 1.61\ kg_{dry\,air}/s \times \left(57.34\ kJ/kg_{dry\,air} - 54.91\ kJ/kg_{dry\,air}\right)$$
$$\dot{Q}_e = 3.91\ kW$$

ข.2.1 คำนวณหาสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) ของระบบปรับอากาศ

จากทฤษฎีที่ 2.10 จะได้สมการ การคำนวณหาสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) ของระบบปรับอากาศ ดังนี้

$$COP = \frac{\dot{Q}_e}{\dot{W}_C}$$

โดยที่ $\dot{W}$ = 2.1 kw

แทนค่าในสมการ

$$COP = \frac{3.91\ kw}{2.1\ kw}$$

$$COP = 1.86$$

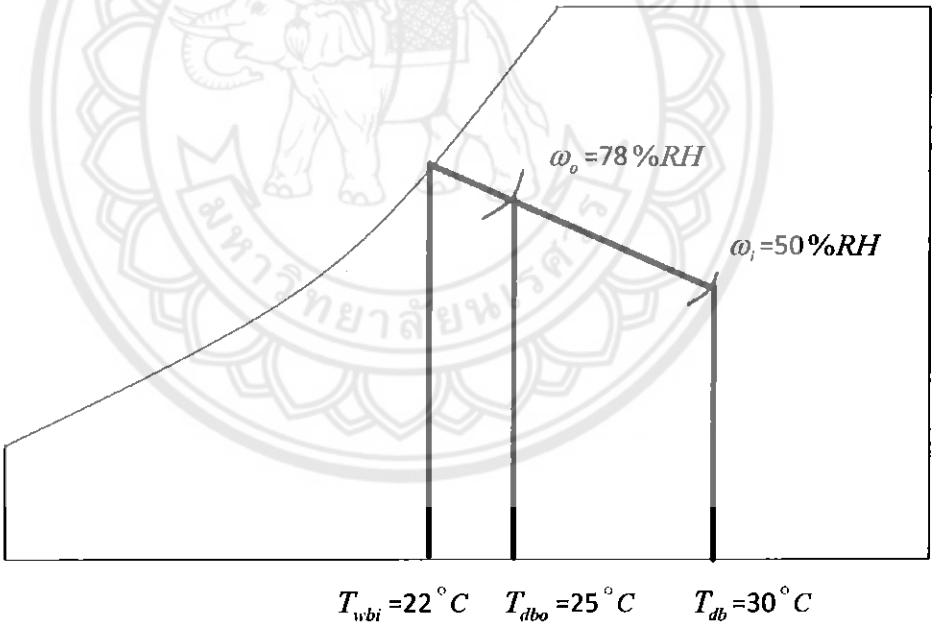
ข.3 คำนวณประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นแบบระเหย

จากทฤษฎีที่ 2.12 จะได้สมการ การคำนวณหาประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นแบบระเหย ดังนี้

$$\varepsilon = \frac{T_{dbi} - T_{dbo}}{T_{dbi} - T_{wbi}}$$

จากไซโครเมติก ค.2 จะได้ผลตามรูปที่ ข.1 ดังนี้

จากไซโครเมตริก จะเห็นได้ว่าที่จุดอุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew Point temperature) จะทำให้อุณหภูมิกระแปะแห้ง (T_{db}) มีค่าเท่ากับอุณหภูมิกระเปาะเปียก (T_{wb})



รูปที่ ข.1 การหาค่าคุณสมบัติในไซโครเมตริก

แทนค่าลงในสมการ

$$\varepsilon = \frac{30°C - 25°C}{30°C - 22°C}$$

$$\varepsilon = 0.63$$

ข.4 ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

การคำนวณหาผลตอบแทนการลงทุน และระยะเวลาการคืนทุน โดยกำหนดให้การทำงานเครื่องปรับอากาศทำงานวันละ 8 ชั่วโมงตั้งแต่เวลา 8.00 น. – 16.00 น. และให้ 1 ปีมี 365 วัน

กระแสเงินสุทธิต่อปี = ค่าไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ต่อปี

= อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงได้ × จำนวนชั่วโมงการทำงาน × อัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วย[1]

จากตารางที่ ค 3 ใช้ไฟฟ้า 150-400 หน่วย อัตราค่าไฟฟ้า 3.7362 บาทต่อหน่วย

ดังนั้น กระแสเงินสุทธิต่อปี = 0.28 kW × 8 × 365 × 3.7362

= 3054.72 บาทต่อปี

เงินลงทุนค่าอุปกรณ์ = ตาข่ายพลาสติก+ปั๊มน้ำ+ท่อพีอี+ฟิวเจอร์บอร์ด

= 100 + 550 + 150 + 80 บาท

= 880 บาท

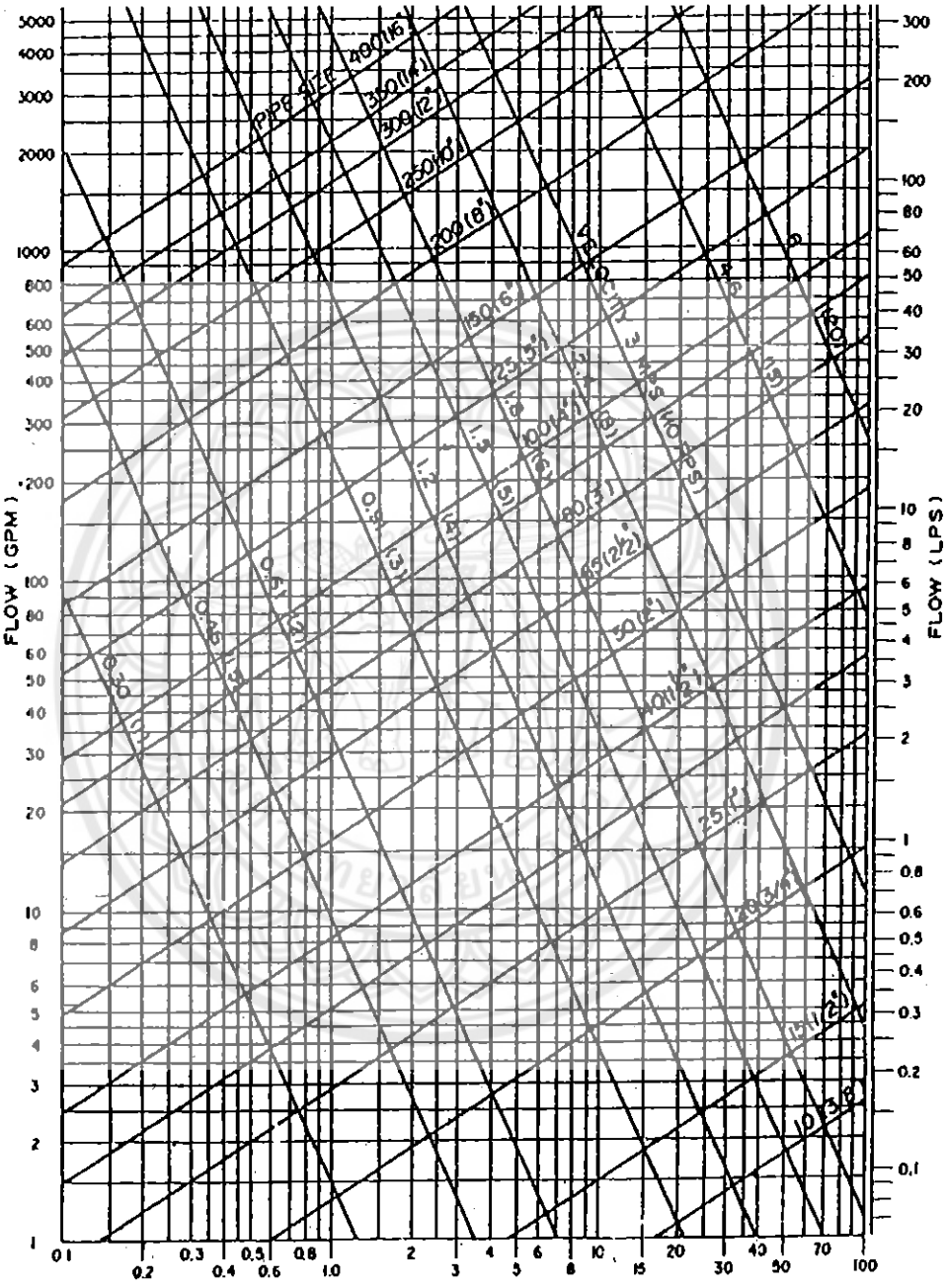
ระยะเวลาคืนทุน $= \frac{\text{เงินลงทุน}}{\text{กระแสเงินสุทธิต่อ}}$

= 880/3054.72 = 0.29 ปี

ภาคผนวก ค

ตารางพร้อมกราฟคุณสมบัติ ราคาใยบวบ และอัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วย

กราฟที่ ค.1 Operating Characteristics of various direct evaporative coolers



(ที่มา : รูปที่ 2.13 , หน้า 33 จากหนังสือการออกแบบระบบท่อภายในอาคาร , ดร.วริทธ์ อึงภากรณ์)

รูปที่ 2.13 FRICTION LOSS, FT. PER 100 FT. OR M. PER 100 M.

(FAIRLY ROUGH STEEL PIPE)

ตารางที่ ค.1 ความยาวสมมูลของข้อต่อ และอุปกรณ์เป็นเมตร

ขนาด มม. (นิ้ว)	ข้องอ		สามตา (90° tee)		Gate valve	Globe valve	Angle valve
	90°	45°	Side branch	Straight run			
10(3/8)	0.8	0.2	0.5	0.1	0.06	2.4	1.2
15(1/2)	0.6	0.4	0.9	0.2	0.12	4.5	2.4
20(3/4)	0.8	0.5	1.2	0.25	0.15	6.0	3.6
25(1)	0.9	0.6	1.5	0.3	0.18	7.6	4.5
$30(1\frac{1}{4})$	1.2	0.7	1.8	0.4	0.25	11.0	5.5
$40(1\frac{1}{2})$	1.5	0.9	2.1	0.5	0.3	14.0	6.7
50(2)	2.1	1.2	3.0	0.6	0.4	17.0	8.5
$65(2\frac{1}{2})$	2.4	1.5	3.6	0.8	0.5	20.0	10.0
80(3)	3.0	1.8	4.5	0.9	0.6	24.0	12.0
100(4)	4.2	2.4	6.4	1.2	0.8	38.0	17.0
125(5)	5.1	3.0	7.6	1.5	1.0	42.0	21.0
150(6)	6.0	3.6	9.0	1.8	1.2	50.0	24.0

(ที่มา: หน้า 34 บทที่ 2 จากหนังสือการออกแบบระบบท่อภายในอาคาร , ดร.วริทธิ์ อึ้งภากรณ์)

ตารางที่ ค.2 ขนาดต่างๆของมอเตอร์ที่เป็นมาตรฐาน

0.5 HP (0.37 KW)	1HP (0.75 KW)	1.5HP (1.12 KW)
2 HP (1.49 KW)	3HP (2.24 KW)	5HP (3.73 KW)
7.5 HP (5.60 KW)	10HP (7.46 KW)	15HP (11.19 KW)
20 HP (14.92 KW)	25HP (18.65 KW)	30HP (22.38 KW)
40 HP (29.84 KW)	50HP (37.30 KW)	60HP (44.76 KW)
75 HP (55.95 KW)	100HP (74.60 KW)	

(ที่มา : บทที่ 3 , หน้า 52 , จากหนังสือการออกแบบระบบท่อภายในอาคาร , ดร.วริทธิ์ อึ้งภากรณ์)

ตารางที่ ค.3 การใช้ไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

อัตราค่าไฟฟ้าปกติ		ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาทต่อหน่วย)	ค่าบริการ (บาทต่อเดือน)
(ใช้พลังงานไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน)			8.19
15 หน่วยแรก	หน่วยที่ (0-15)	1.8632	
10 หน่วยต่อไป	หน่วยที่ (16-25)	2.5026	
10 หน่วยต่อไป	หน่วยที่ (26-35)	2.7549	
65 หน่วยต่อไป	หน่วยที่ (36-100)	3.1381	
50 หน่วยต่อไป	หน่วยที่ (101-150)	3.2315	
250 หน่วยต่อไป	หน่วยที่ (151-400)	3.7362	
เกิน 400 หน่วยขึ้นไป	หน่วยที่ (400 ขึ้นไป)	3.9361	
(ใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 หน่วยต่อเดือน)			38.22
150 หน่วยแรก	หน่วยที่ (0-150)	2.7629	
250 หน่วยต่อไป	หน่วยที่ (151-400)	3.7362	
เกิน 400 หน่วยขึ้นไป	หน่วยที่ (400 ขึ้นไป)	3.9361	

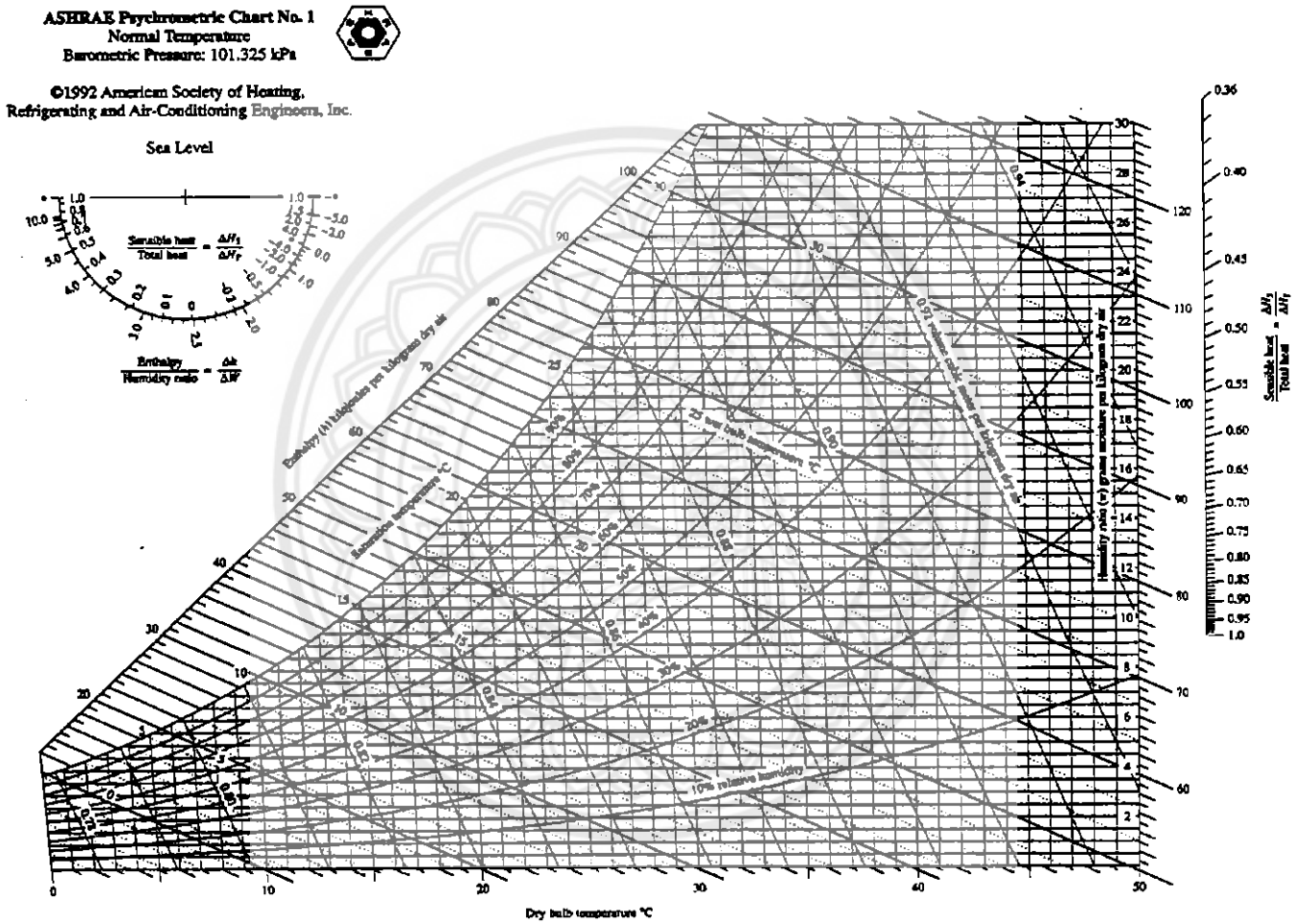
หมายเหตุ : การใช้ไฟฟ้าไม่เกิน 90 หน่วยต่อเดือน ได้รับสิทธิฟรีในเดือนนั้น

(ที่มา : ค่าอัตราไฟฟ้าส่วนภูมิภาค , ค่าไฟฟ้าประจำเดือน กรกฎาคม 2554)

ค.1 ราคาใยบวบ

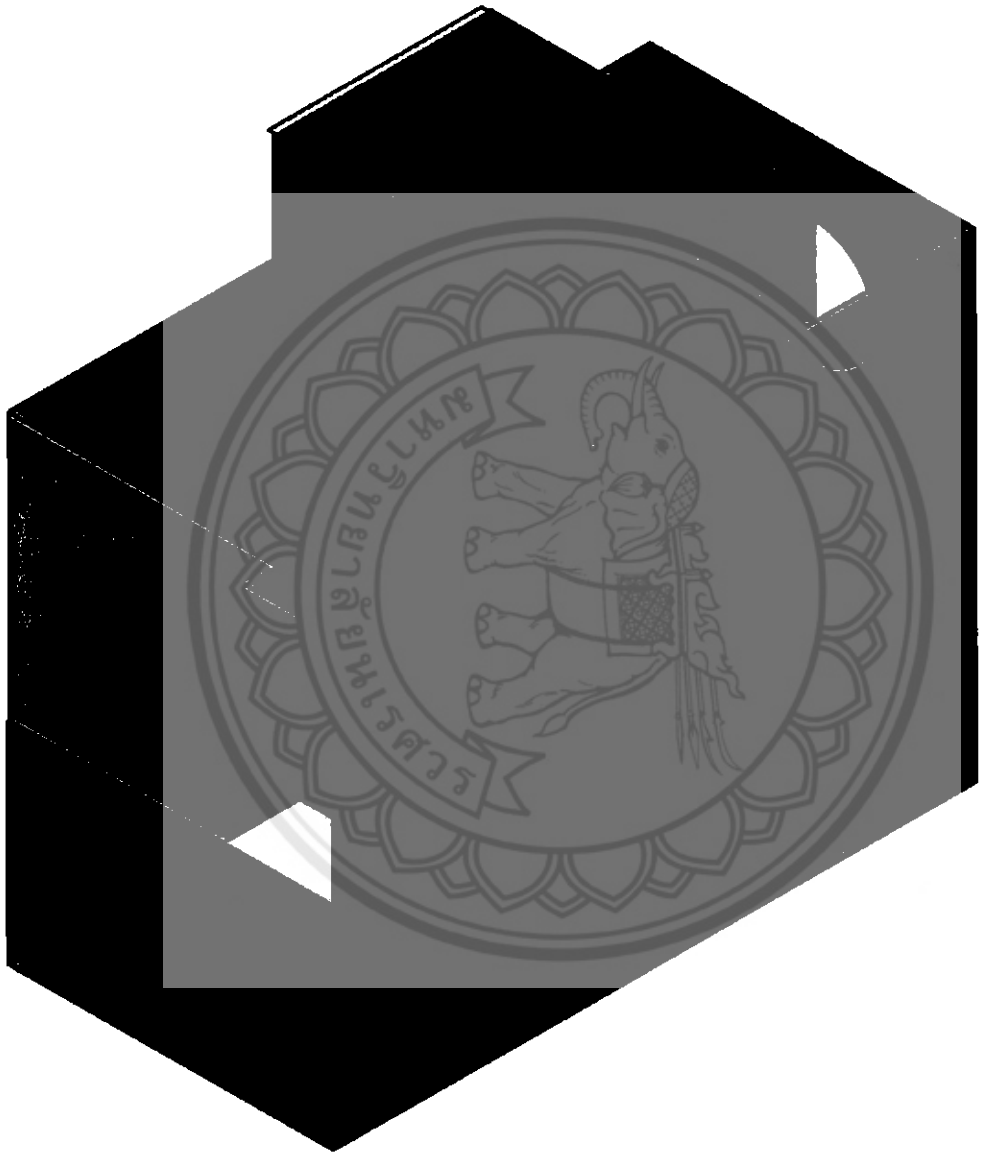
จาก บริษัท วอเตอร์ก๊าซไฮบริด (ประเทศไทย) จำกัด ราคาใยบวบขายเป็นกิโลกรัม มีใยบวบหอมและใยบวบขม โดยที่ราคาใยบวบหอมอยู่ที่กิโลกรัมละ 500 บาท และใยบวบขมอยู่ที่กิโลกรัมละ 100 บาท

กราฟที่ ค.2 กราฟไซโครเมตริก

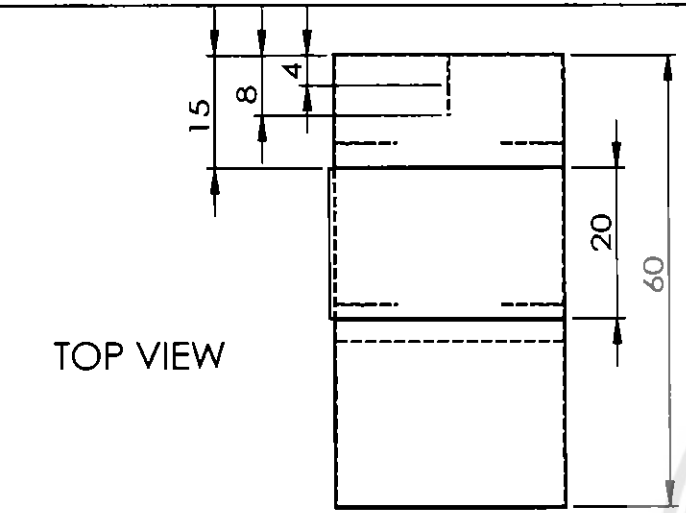


(ที่มา : FIGURE A-31 , หน้า 738 , หนังสือเทอร์โมไดนามิกส์ , YUNUS A. CENGEL AND MICHAEL A. BOLES , ผู้แปล สมชัย อัครทิวา และขวัญจิต วงษ์ชารี)

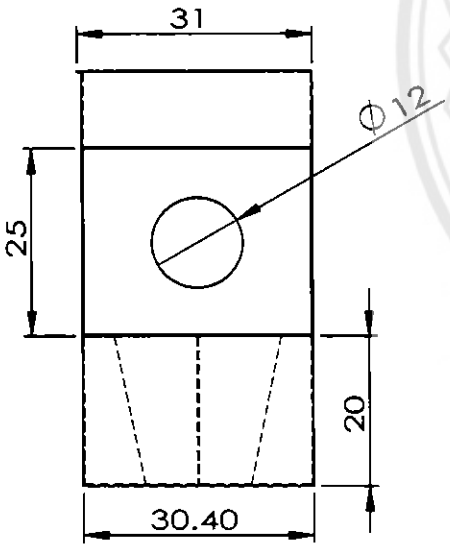
ภาคผนวก ง
แบบโครงสร้างชุดทดลองและเครื่องทำความเย็นแบบระเหย



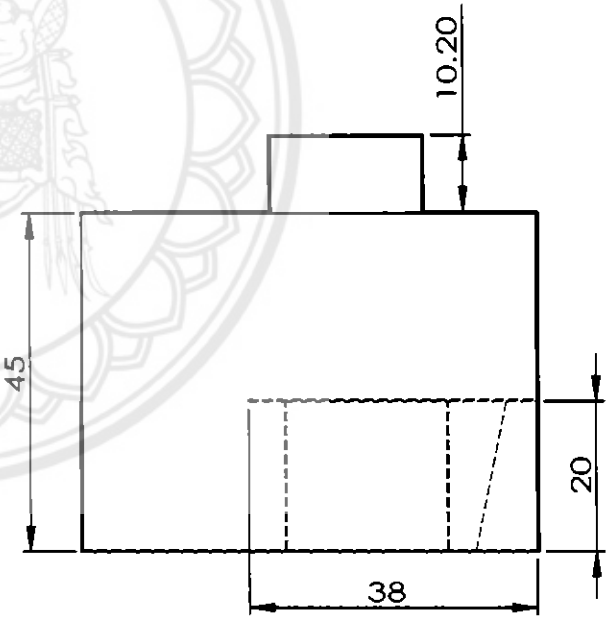
FACUTY OF ENGINEERING **NARESUAN UNIVERSITY**	Isometic Evapolative cooling experiment	SCALE: 1:5	ME PROJECT
		DATE: 17/03/12	PLATE:



TOP VIEW



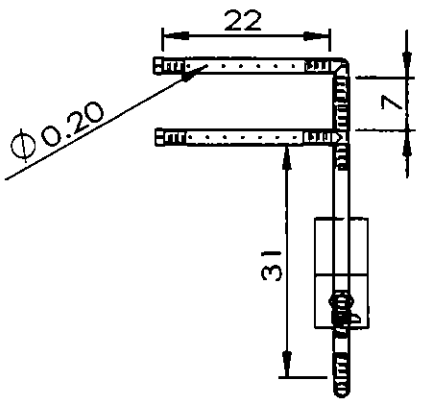
FRONT VIEW



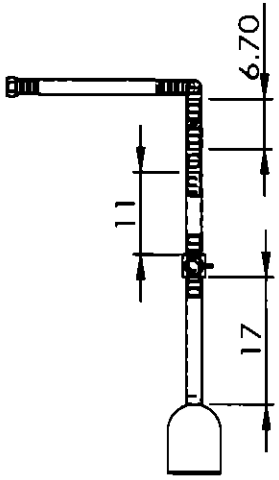
SIDE VIEW

FACUTY OF ENGINEERING	Evapolative cooling experiment	SCALE: 1:10	ME PROJECT
NARESUAN UNIVERSITY	All dimensions are in centimeters	DATE: 17/03/12	PLATE:

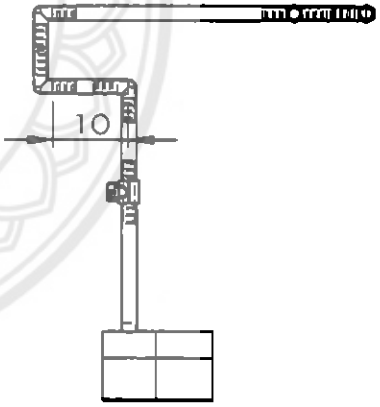
FACUTY OF ENGINEERING **NARESUAN UNIVERSITY**	Isometic Piping system for evaporative experiment	SCALE: 1: 5	ME PROJECT
		DATE: 17/03/12	PLATE:



TOP VIEW



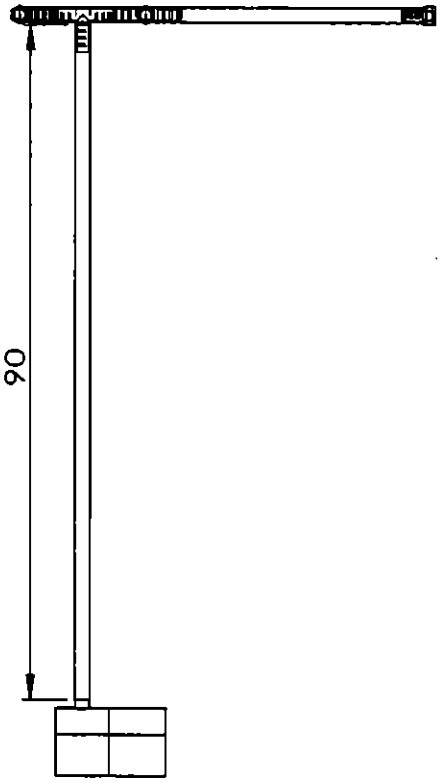
FRONT VIEW



SIDE VIEW

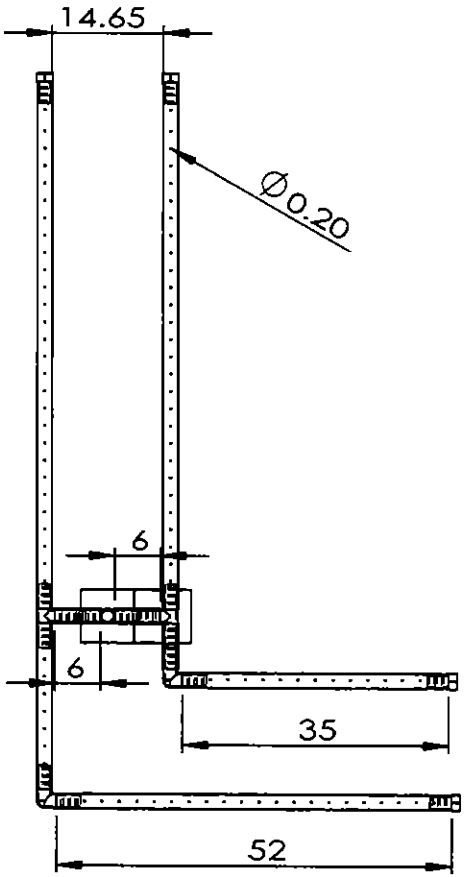
FACUTY OF ENGINEERING	Piping system for evaporative experiment	SCALE: 1:10	ME PROJECT
NARESUAN UNIVERSITY	All dimensions are in centimeters	DATE: 17/03/12	PLATE:

FACUTY OF ENGINEERING **NARESUAN UNIVERSITY**	Isometic Piping system for Evapolative	SCALE: 1:10	ME PROJECT
		DATE: 17/03/12	PLATE:



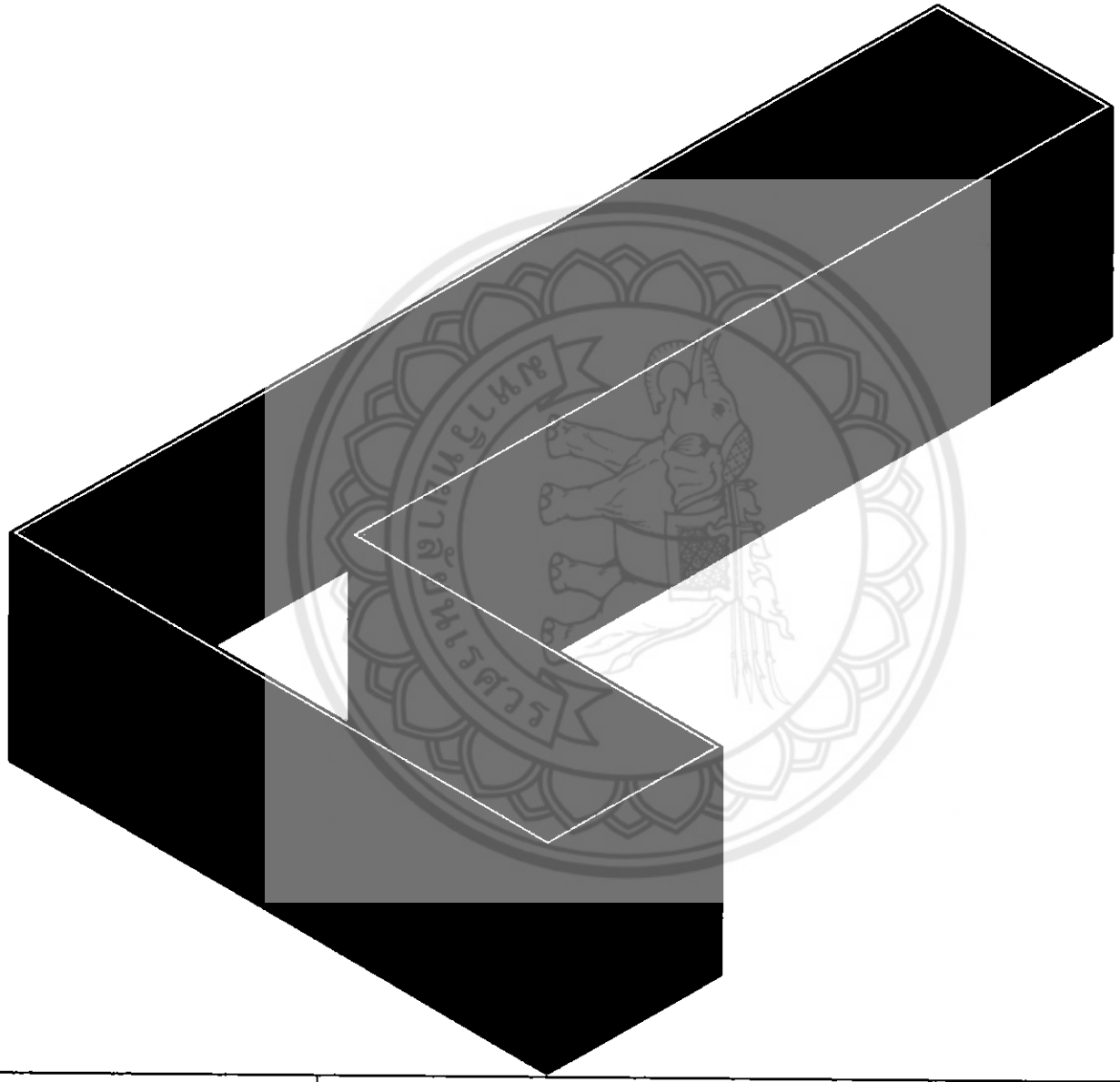
FRONT VIEW

SIDE VIEW

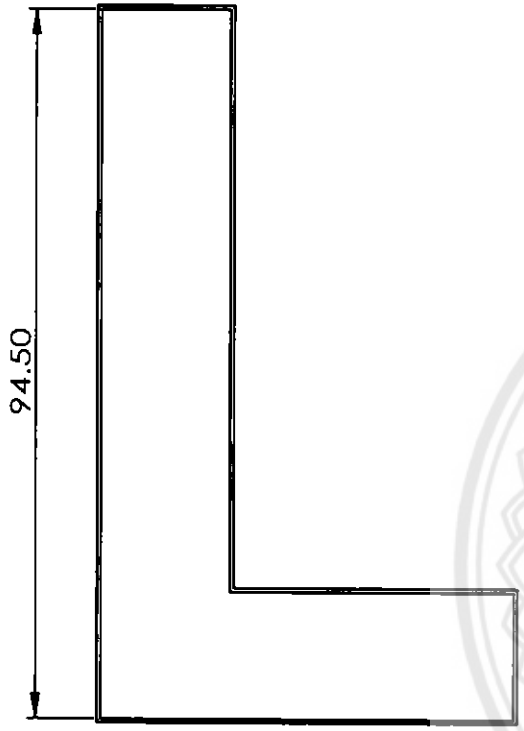


TOP VIEW

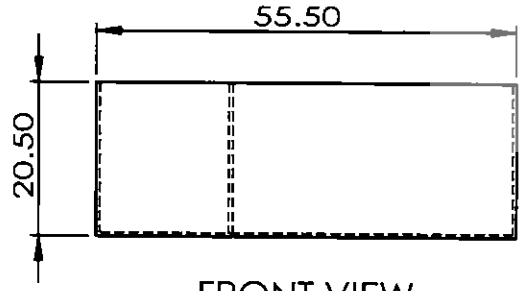
FACUTY OF ENGINEERING	Pump and pipe for Evapolative	SCALE: 1:10	ME PROJECT
NARESUAN UNIVERSITY	All dimensions are in centimeters	DATE: 17/03/12	PLATE:



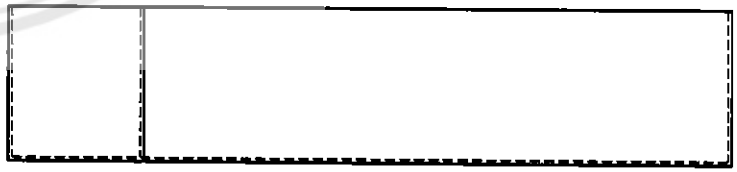
FACUTY OF ENGINEERING **NARESUAN UNIVERSITY**	Isometic Tray of water	SCALE: 1:5	ME PROJECT
		DATE: 17/03/12	PLATE:



TOP VIEW



FRONT VIEW



SIDE VIEW

FACUTY OF ENGINEERING	Tray of water	SCALE: 1:10	ME PROJECT
NARESUAN UNIVERSITY	All dimensions are in centimeters	DATE: 17/03/12	PLATE:

ข้อต่อ 3 ทาง 3/4 นิ้ว

ท่อพีอี 3/4 นิ้ว

ข้องอ 90 องศา 3/4 นิ้ว

จุกปิดท่อพีอี 3/4 นิ้ว

Angle Valve Open ขนาด 3/4 นิ้ว

FACUTY OF ENGINEERING	Accessories for evapolative system	SCALE: 1:5	ME PROJECT
NARESUAN UNIVERSITY	All dimensions are in inches.	DATE: 17/03/12	PLATE: