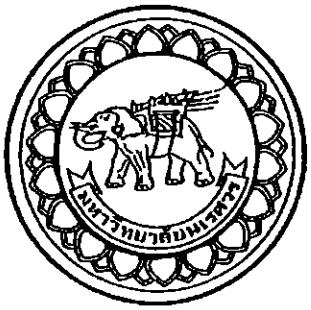


การควบคุมความชื้นโดยการปรับอัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องระเหย สำหรับเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์

Humidity control by air volume flow rate adjustment in evaporator for inverter air conditioner

นายกฤษณะ วิชาพร รหัส 50360494

นายฐนิศร์ สมีเพ็ชร รหัส 50360838

นายเอกลักษณ์ ยอดยิ่ง รหัส 50364416

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2553

15503930
ปร.
ก 2811
2553

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 2 บ มิ.ย. 2554
เลขทะเบียน 15503930
เลขเรียกหนังสือ ปร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ก281 ก
2553

ใบรับรองโครงงานวิศวกรรมเครื่องกล

ชื่อหัวข้อโครงงาน	**การควบคุมความชื้นโดยการปรับอัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องระเหยสำหรับเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์**		
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายกฤษณะ	วิชาพร	รหัส 50360494
	นายฐนิศร์	สมีเพ็ชร	รหัส 50360838
	นายเอกลักษณ์	ยอดยิ่ง	รหัส 50364416
ที่ปรึกษาโครงงาน	อาจารย์นินนาท ราชประดิษฐ์		
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล		
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร		
ปีการศึกษา	2553		

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต วิศวกรรมเครื่องกล

.....ที่ปรึกษาโครงงาน
(อาจารย์นินนาท ราชประดิษฐ์)

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

.....กรรมการ
(อาจารย์อนันต์ชัย อยู่แก้ว)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การควบคุมความชื้นโดยการปรับอัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องระเหยสำหรับเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์		
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายกฤษณะ	วิชาพร	รหัส 50360494
	นายฐนิศร์	สมีเพ็ชร	รหัส 50360838
	นายเอกลักษณ์	ยอดยิ่ง	รหัส 50364416
ที่ปรึกษาโครงงาน	อาจารย์นินนาท ราชประดิษฐ์		
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล		
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร		
ปีการศึกษา	2553		

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการศึกษาและทดลองควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของห้องด้วยการปรับอัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องระเหยสำหรับเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ โดยการเริ่มศึกษาและทดลองเพื่อดูว่าอัตราการไหลของอากาศมีผลอย่างไรกับความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิห้อง ภาระการทำความเย็น อัตราการใช้พลังงาน และค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ จากนั้นทำการปรับอัตราการไหลของอากาศเพื่อควบคุมความชื้น โดยแบ่งการควบคุมความความชื้นออกเป็น 3 แบบ คือ 1) การควบคุมความชื้นด้วยโปรแกรมควบคุมอัตราการไหลของอากาศตามระดับความชื้นสัมพัทธ์ 2) การควบคุมความชื้นด้วยโปรแกรมควบคุมอัตราการไหลของอากาศตามค่าความชื้นสัมพัทธ์ แบบไม่มีการตรวจสอบกับข้อมูลที่ผ่านมา 3) การควบคุมความชื้นด้วยโปรแกรมควบคุมอัตราการไหลของอากาศตามค่าความชื้นสัมพัทธ์ แบบมีการตรวจสอบกับข้อมูลที่ผ่านมา

จากการศึกษาและทดลองพบว่าห้องที่ใช้อัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องระเหยคงที่ จะมีค่าความชื้นแปรผันตามความชื้นที่เพิ่มให้กับห้อง ซึ่งห้องที่ใช้อัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องระเหยในปริมาณมากจะทำให้ห้องมีความชื้นสูงกว่า สามารถสร้างภาระการทำความเย็นได้มากกว่าประหยัดพลังงานมากกว่า และทำให้เครื่องปรับอากาศมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะสูงกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับห้องที่ใช้อัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องระเหยในปริมาณน้อย แต่ที่อัตราการไหลทั้งสองสามารถรักษาอุณหภูมิของห้องในระดับที่ใกล้เคียงกันและสม่ำเสมอ และจากการทดลองควบคุมความชื้นพบว่าการการควบคุมความชื้นด้วยโปรแกรมควบคุมอัตราการไหลของ

อากาศตามค่าความชื้นสัมพัทธ์ แบบที่มีการตรวจสอบกับข้อมูลที่ผ่านมา สามารถควบคุมความชื้นของห้องได้ดีที่สุด แต่ความชื้นของห้องจะมีการแกว่งอยู่ในช่วงแคบๆประมาณ 1- 2% RH และจะไม่แปรผันตามความชื้นที่เพิ่มให้กับห้อง ส่วนอุณหภูมิของห้องจะมีการแกว่งเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับห้องที่ไม่ได้ใช้เครื่องควบคุมความชื้น

Project title	Humidity control by air volume flow rate adjustment in evaporator for inverter air conditioner		
Name	Mr. Kridsana	Wichaporn	ID. 50360494
	Mr. Thanid	Sameephet	ID. 50360838
	Mr. Aekkaluck	Yodying	ID. 50364416
Project advisor	Mr. Ninnart	Ratchapradit	
Major	Mechanical Engineering		
Department	Mechanical Engineering		
Academic year	2010		

Abstract

This project studies and relative humidity control of the room by adjusting the flow rate of air through the evaporator for inverter air conditioner. The studies and experiments to observe the characteristics of the air flow rate affect the relative humidity, Room temperature, Cooling capacity, Rate or energy consumption and the coefficient of performance. Then adjust the flow of air to control humidity. The control of moisture classification was into 3 experiments. 1) Moisture control with the driver of the air flow rate as the range relative humidity. 2) Moisture control with the driver of the air flow rate as the relative humidity by non-checked checked with past data. 3) Moisture control with the driver of the air flow rate as the relative humidity by checked with past data.

From the study and experiments showed that, Room at the constant flow rate of air through the evaporator, Moisture vary with moisture added to the room. The room at a high flow rate of air through evaporator, Room will have higher moisture content, Building cooling loan can be more, Save energy and the air conditioner has high coefficient of performance when compared with the room as a low flow rate of air through evaporator. However, the flow rate a both can maintain the temperature of the room in a similar and consistent. And humidity controlled trial, Found that the humidity control program to control air flow rate as the relative humidity by checked with past data, Can control the humidity of the room deter. But the humidity of the room

will be swinging in a narrow range around 1 - 2%RH. And does not vary with humidity added to the room. The temperature of the room is a little swing compared to the room that does not use humidity control.

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ดำเนินโครงงานขอขอบพระคุณคณะบุคคล และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ ให้คำปรึกษาให้โครงงานประสบความสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ซึ่งได้แก่

1.อาจารย์นินนาท ราชประดิษฐ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน

2.ผศ.ดร.ปิยะนันท์ เจริญสวรรค์

3.อาจารย์อนันต์ชัย อยู่แก้ว

4.คณาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ตลอดจนคำแนะนำ

5.มหาวิทยาลัยนเรศวร

6.สมาชิกในกลุ่มและเพื่อนทุกๆคน

รวมทั้งขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา รวมทั้งผู้มีพระคุณทุกๆท่านที่มิได้กล่าวนามไว้ ณ ที่นี้ ที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้เสมอมา

คณะผู้ดำเนินโครงงานวิศวกรรม

นายกฤษณะ วิชาพร

นายฐนิศร์ สมีเพ็ชร

นายเอกลักษณ์ ยอดยิ่ง

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์.....ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....ง
กิตติกรรมประกาศ.....จ
สารบัญ.....ช
สารบัญตาราง.....ฌ
สารบัญรูปภาพ.....ญ
สารบัญกราฟ.....ฎ
รายการสัญลักษณ์.....ฏ

บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน.....2
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน.....2
1.3 ขอบข่ายของโครงงาน.....2
1.4 แผนการดำเนินงาน.....2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....3
1.6 สถานที่ปฏิบัติงาน.....3
1.7 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินการ.....3
1.8 งบประมาณที่ใช้.....4

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น.....5
2.1 วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ.....5
2.2 เครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์.....6
2.3 คุณสมบัติของอากาศชื้นและกระบวนการในระบบปรับอากาศ.....7
2.4 ความรู้สึกสบายของมนุษย์และการปรับอากาศ.....9
2.5 ชุดควบคุมอัตราการไหลของอากาศ.....9

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงงาน 17

3.1 ห้องทดลอง, อุปกรณ์และเครื่องมือวัด 17

3.2 ขั้นตอนการทดลอง 24

บทที่ 4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง 29

4.1 ผลการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ที่มีการควบคุมภาระการทำความเย็นของห้องให้คงที่ตลอดการทดลอง 29

4.2 ผลการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์โดยมีการควบคุมความชื้น 33

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 39

5.1 สรุปผลการทดลอง 39

5.2 ข้อเสนอแนะ 40

เอกสารอ้างอิง 41

ภาคผนวก 42

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน 102

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่1.1 กิจกรรมการดำเนินงาน....2
ตารางที่2.1 ช่วงความชื้นสัมพัทธ์....13
ตารางที่3.1 ช่วงความชื้นสัมพัทธ์....26
ตารางภาคผนวก ข.1 ข้อมูลการทดลองที่ 1....48
ตารางภาคผนวก ข.2 ข้อมูลการทดลองที่ 2....67
ตารางภาคผนวก ค.1 แสดงข้อกำหนดของคอยล์คอนเดนเซอร์....91
ตารางภาคผนวก ค.2 แสดงข้อกำหนดของคอยล์เครื่องระเหย....92

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ..... 5

รูปที่ 2.2 แสดงการจับเวลาและการนับมุมของโปรแกรม..... 11

รูปที่ 2.3 แสดงการจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่เวลาหน่วงเท่ากับ 5 ms.....12

รูปที่ 2.4 แสดงการจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่เวลาหน่วงเท่ากับ 6.5 ms.....12

รูปที่ 2.5 แสดงการเปรียบเทียบค่าความชื้นสัมพัทธ์ของเครื่องควบคุม แบบกำหนดค่าความชื้น (ไม่มีการเปรียบเทียบความชื้นค่าใหม่กับความชื้นค่าเก่า) 15

รูปที่ 2.6 แสดงการเปรียบเทียบค่าความชื้นสัมพัทธ์ของเครื่องควบคุม แบบกำหนดค่าความชื้น (มีการเปรียบเทียบความชื้นค่าใหม่กับความชื้นค่าเก่า) 16

รูปที่ 3.1 แสดงรายละเอียดของห้องทดลอง.....17

รูปที่ 3.2 แสดงฮีทเตอร์.....18

รูปที่ 3.3 แสดงหลอดไฟ.....19

รูปที่ 3.4 แสดงเครื่องให้ความชื้น.....19

รูปที่ 3.5 แสดงพัดลมระบายความร้อน.....20

รูปที่ 3.6 แสดงเครื่อง AP-104.....20

รูปที่ 3.7 แสดงเครื่อง Data Logger.....21

รูปที่ 3.8 แสดงเครื่องวัดความเร็วลม.....21

รูปที่ 3.9 แสดงเครื่อง A unique AC Clamp-On Multimeter 22

รูปที่ 3.10 แสดง Watt hour-meter.....22

รูปที่ 3.11 แสดงชุดควบคุมอัตราการไหล.....23

สารบัญกราฟ

หน้า

กราฟที่ 4.1.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของห้องที่ใช้อัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องระเหยที่แตกต่างกัน.....30

กราฟที่ 4.1.2 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของห้องที่ใช้อัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องระเหยที่แตกต่างกัน..... 31

กราฟที่ 4.1.3 สมรรถนะของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์..... 32

กราฟที่ 4.2.1. การควบคุมอัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องเหยให้มีค่าเท่ากับ 7.722 m^3/min ตลอดการทดลอง..... 34

กราฟที่ 4.2.2 การควบคุมอัตราการไหลของอากาศตามระดับของความชื้นสัมพัทธ์ของห้องที่วัดได้ 35

กราฟที่ 4.2.3 การควบคุมอัตราการไหลของอากาศตามค่าความชื้นสัมพัทธ์ แบบไม่มีการตรวจสอบกับข้อมูลที่โปรแกรมได้อ่านครั้งที่ผ่านมา..... 36

กราฟที่ 4.2.4 การควบคุมอัตราการไหลของอากาศตามค่าความชื้นสัมพัทธ์ แบบมีการตรวจสอบกับข้อมูลที่โปรแกรมได้อ่านครั้งที่ผ่านมา..... 37

รายการสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
COP	สัมประสิทธิ์สมรรถนะ	
c_{pa}	ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ	$kJ/(kg \cdot K)$
f	ความถี่ทางไฟฟ้าที่ป้อนเข้าเครื่องคอมเพรสเซอร์	Hz
i_1	เอนทัลปีของสารทำความเย็นที่ทางเข้าคอมเพรสเซอร์	kJ/kg
i_2	เอนทัลปีของสารทำความเย็นที่ทางออกคอมเพรสเซอร์	kJ/kg
i_3	เอนทัลปีของสารทำความเย็นที่ทางออกคอนเดนเซอร์	kJ/kg
i_4	เอนทัลปีของสารทำความเย็นที่ทางออกจากวาล์วขยาย	kJ/kg
i_{fg}	เอนทัลปีจากการกลั่นตัว	kJ/kg
i_{ai}	เอนทัลปีของอากาศที่ทางเข้า	kJ/kg
m_a	อัตราการไหลของอากาศที่ผ่านเครื่องระเหย	kg/s
n	จำนวนรอบการหมุนของ Watt hour-meter	rev
P	ความดันบรรยากาศ	kPa
P_a	ความดันความดันย่อยของอากาศแห้ง	kPa
P_v	ความดันความดันย่อยของไอน้ำ	kPa
P_{vs}	ความดันความดันไออิ่มตัวของไอน้ำที่อุณหภูมิอากาศในขณะนั้น	kPa
Q_e	อัตราการถ่ายเทความร้อนที่เครื่องระเหย	kW
Q_l	อัตราการถ่ายเทความร้อน	kW
Q_s	อัตราการถ่ายเทความร้อนสัมผัส	kW
Q_T	อัตราการถ่ายเทความร้อนรวม	kW
Q_c	อัตราการถ่ายเทความร้อนที่คอนเดนเซอร์	kW
RH_{ei}	ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ทางเข้าเครื่องระเหย	%
RH_{eo}	ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ทางออกเครื่องระเหย	%
RH_r	ความชื้นสัมพัทธ์ของห้องปรับอากาศ	%

รายการสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
$RH_{setpoint}$	ความชื้นสัมพัทธ์ที่กำหนด	%
SHR	ความร้อนสัมผัส	
T	อุณหภูมิของอากาศ	K
T_r	อุณหภูมิของห้องปรับอากาศ	$^{\circ}C$
t	เวลาที่ Watt hour-meter หมุน	s
t_e	อุณหภูมิของเครื่องคอนเดนเซอร์	$^{\circ}C$
t_{ei}	อุณหภูมิของอากาศที่ทางเข้าเครื่องระเหย	$^{\circ}C$
t_{eo}	อุณหภูมิของอากาศที่ทางออกเครื่องระเหย	$^{\circ}C$
t_d	อุณหภูมิจุดน้ำค้าง	$^{\circ}C$
ω_{ei}	ความชื้นจำเพาะ ของอากาศชื้นที่ทางเข้าเครื่องระเหย	kJ/kg_{dryair}
ω_{eo}	ความชื้นจำเพาะ ของอากาศชื้นที่ทางออกเครื่องระเหย	kJ/kg_{dryair}
W_c	กำลังงานของคอมเพรสเซอร์	kW
ρ_a	ความหนาแน่นของอากาศ	kg/m^3
ϕ	ความชื้นสัมพัทธ์	

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

ในปัจจุบันสภาพอากาศของประเทศไทยมีแนวโน้มที่อุณหภูมิจะเพิ่มสูงขึ้น จึงทำให้เครื่องปรับอากาศเป็นอีกอุปกรณ์หนึ่งที่มีความสำคัญทั้งในอาคารที่พักอาศัย สำนักงาน และรวมไปถึงโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ที่มีการใช้เครื่องปรับอากาศเพื่อความรู้สึกสบายของมนุษย์ และเครื่องปรับอากาศที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายคือ เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเพราะเครื่องปรับอากาศประเภทนี้จะแยกเครื่องระเหยและคอนเดนเซอร์ออกจากกัน ทำให้สะดวกต่อการติดตั้งและขนาดเครื่องปรับอากาศที่ใช้อยู่ในประเทศไทย มีขนาดตั้งแต่ 8,500-24,000 Btu/hr ดังนั้นจึงมีการพัฒนาเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ที่สามารถปรับระดับความเร็วของคอมเพรสเซอร์ตามภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นภายในห้อง ซึ่งส่งผลให้เครื่องปรับอากาศมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น สามารถรักษาระดับอุณหภูมิที่สม่ำเสมอ และมีเสียงเงียบกว่าเครื่องปรับอากาศแบบธรรมดาที่ทำงานแบบ On-Off

เนื่องจากการปรับปริมาณความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ในเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์จะมีผลต่อ Sensible Heat Ratio (SHR) ของเครื่องปรับอากาศ โดยที่ค่า SHR ของเครื่องปรับอากาศจะมีค่าสูง เมื่อคอมเพรสเซอร์ทำงานที่ความเร็วรอบต่ำและค่า SHR ของเครื่องปรับอากาศจะมีค่าต่ำ เมื่อคอมเพรสเซอร์ทำงานที่ความเร็วรอบสูง นอกจากความเร็วของคอมเพรสเซอร์ที่มีผลต่อค่า SHR แล้ว การปรับอัตราการไหลของอากาศที่เครื่องระเหยก็จะมีผลต่อค่า SHR เช่นกัน โดยที่ค่า SHR ของเครื่องปรับอากาศจะเพิ่มขึ้น เมื่ออัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องระเหยเพิ่มขึ้น และค่า SHR ของเครื่องปรับอากาศจะลดลง เมื่ออัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องระเหยลดลง หากนำหลักการดังกล่าวที่ค่า SHR ของเครื่องปรับอากาศแปรผันกับอัตราการไหลของเครื่องปรับอากาศมาควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของห้อง ร่วมกับการควบคุมอุณหภูมิของห้องด้วยการปรับความเร็วของคอมเพรสเซอร์แล้ว จะสามารถทำให้ห้องมีความเหมาะสมกับสภาพความสบายเชิงความร้อนมากขึ้นอีกด้วย โดยเครื่องปรับอากาศจะประกอบด้วยอุปกรณ์หลักที่สำคัญ คือ คอมเพรสเซอร์ คอนเดนเซอร์ วาล์วขยายตัว(แคปทิวบ์) และอีวาโปเรเตอร์ (เครื่องระเหย) ซึ่งเครื่องระเหยเป็นอุปกรณ์ในการแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีผลต่ออุณหภูมิและความชื้นภายในห้องปรับอากาศ

ดังนั้นโครงงานนี้จึงมีความสนใจที่จะศึกษาและพัฒนาเครื่องปรับอากาศให้สามารถรักษาระดับความชื้นที่เหมาะสมกับความสบายเชิงความร้อน โดยการปรับอัตราการไหลของอากาศที่ผ่านเครื่องระเหยของเครื่องปรับอากาศตามความชื้นของห้อง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

เพื่อควบคุมความชื้นของห้องปรับอากาศโดยการปรับอัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องระเหยของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์

1.3 ขอบข่ายของโครงงาน

1.3.1 ศึกษาและควบคุมความชื้นของห้องโดยการปรับอัตราการไหลของอากาศ

1.3.2 ศึกษาและทำการทดลองกับเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ขนาด 11202.62 BTU/hr ยี่ห้อ DAIKIN

1.3.3 เก็บข้อมูลการทดลองจากห้องทดลองที่อยู่ภายในห้องที่สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้

1.3.4 วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลการทดลอง

1.4 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 กิจกรรมการดำเนินงาน

การดำเนินการ	2553					2554		
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1. ศึกษารวบรวมข้อมูล	■							
2. วางแผนการดำเนินงาน		■	■					
3. ดำเนินการทดลอง			■	■	■			
4. วิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลอง					■	■	■	
5.แก้ไขวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล							■	■

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 มีความรู้ความเข้าใจว่าปริมาณอัตราการไหลของอากาศมีผลอย่างไรกับความชื้นภายในห้อง

1.5.2 สามารถควบคุมความชื้นภายในห้องปรับอากาศด้วยเครื่องควบคุมอัตราการไหลของอากาศได้

1.5.3 นำหลักการควบคุมความชื้นด้วยการปรับอัตราการไหลของอากาศ มาใช้กับเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์เพื่อตอบสนองกับความต้องการของมนุษย์ได้มากยิ่งขึ้น

1.6 สถานที่ปฏิบัติงาน

มหาวิทยาลัยนเรศวร คณะวิศวกรรมศาสตร์ อาคารวิศวกรรมอุตสาหการ, เครื่องกล ห้อง IE 113

1.7 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินการ

1.7.1 เครื่องคอมพิวเตอร์ 2 เครื่อง

1.7.2 เครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ ขนาด 11202.62 BTU/hr ยี่ห้อ DAIKIN

1.7.3 ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมความเร็วของพัดลม

1.7.4 เครื่องวัดอุณหภูมิ Data logger

1.7.5 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ และความชื้น AP-104

1.7.6 เครื่องมือวัดความเร็วลม

1.7.7 เครื่องให้ความชื้น

1.7.8 เครื่องให้ความร้อน

1.7.9 พัดลมหมุนเวียนอากาศภายในห้อง

1.7.11 มิเตอร์วัดกระแสไฟฟ้า

1.7.12 สายวัดอุณหภูมิเทอร์โมคัปเปิล

1.7.13 เกจวัดความดัน

1.7.14 นาฬิกาจับเวลา

1.7.15 Watt-Hour Miter

1.8 งบประมาณที่ใช้

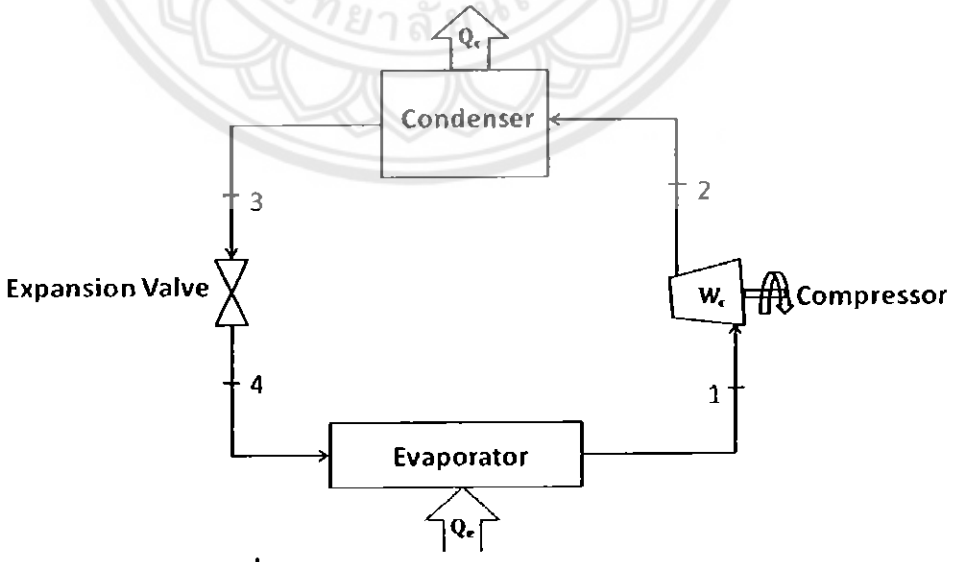
1.8.1 ค่าอุปกรณ์ต่างๆ	2,000	บาท
1.8.2 ค่าถ่ายเอกสาร	500	บาท
1.8.3 ค่าปริ้นงานและจัดทำรูปเล่ม	500	บาท
รวมเป็นเงิน	3,000	บาท (สามพันบาทถ้วน)

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

สำหรับโครงงานนี้ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาการควบคุมความชื้นโดยการปรับอัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องระเหยสำหรับเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ ซึ่งจะกล่าวถึงหลักการทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้องและสมการที่ใช้ในการคำนวณดังนี้

2.1 วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ

หลักการทำงานของเครื่องปรับอากาศมีพื้นฐานมาจากวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ ซึ่งวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ โดยพื้นฐานจะประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก 4 ส่วนคือ คอมเพรสเซอร์ คอนเดนเซอร์ วาล์วขยายตัว และอีวาโปเรเตอร์ ดังรูปที่ 2.1 การทำงานของวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ จะเริ่มจากคอมเพรสเซอร์อัดสารทำความเย็นที่อยู่ในสภาวะไออิ่มตัวที่จุดที่ 1 ให้มีความดันและอุณหภูมิสูงขึ้นตามกระบวนการไอเซนทรอปิก (Isentropic Process) มายังจุดที่ 2 สารความเย็นจะถูกระบายความร้อนออกที่คอนเดนเซอร์ตามกระบวนการความดันคงที่ มายังจุดที่ 3 จากนั้นสารทำความเย็นจะไหลผ่านวาล์วขยายตัวเพื่อลดความดันมายังที่จุด4 และไหลเข้าอีวาโปเรเตอร์เพื่อรับความร้อนและสารทำความเย็นจะระเหยกลายเป็นไออิ่มตัวกลับมายังจุดที่ 1



รูปที่ 2.1 แสดงวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ

สำหรับสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) ของวัฏจักรการทำความเย็นสามารถนิยามได้โดย

$$COP = \frac{\text{งานที่ระบบทำได้}}{\text{กำลังสุทธิที่ป้อนให้กับระบบ}} \tag{2.1}$$

$$COP = \frac{Q_e}{W_c} = \frac{Q_e}{Q_c - Q_e} = \frac{m_r(i_1 - i_4)}{m_r(i_2 - i_1)} = \frac{(i_1 - i_4)}{(i_2 - i_1)} \tag{2.2}$$

โดยที่ Q_e คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนของเครื่องระเหย, kW

Q_c คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์, kW

W_c คือ กำลังงานของคอมเพรสเซอร์, kW

m_r คือ อัตราการไหลของสารทำความเย็น, kg/s

i_1 คือ เอนทัลปีของสารทำความเย็นที่ทางเข้าคอมเพรสเซอร์, kJ/kg

i_2 คือ เอนทัลปีของสารทำความเย็นที่ทางออกคอมเพรสเซอร์, kJ/kg

$i_3 = i_4$ คือ เอนทัลปีของสารทำความเย็นที่ทางออกจากคอนเดนเซอร์, kJ/kg

2.2 เครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์ คือ คอนเวอร์เตอร์ชนิดหนึ่งซึ่งจะทำหน้าที่กลับสัญญาณหรือแปลงสัญญาณไฟฟ้า จากระบบหนึ่งเป็นอีกระบบหนึ่ง ซึ่งคอนเวอร์เตอร์จะแบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ

1. AC to DC converter (Rectifier)
2. DC to AC converter (Inverter)
3. AC to AC converter
4. DC to DC converter

ในระบบปรับอากาศ อินเวอร์เตอร์จะทำหน้าที่ควบคุมความเร็วมอเตอร์ของคอมเพรสเซอร์ด้วยการเปลี่ยนความถี่ของไฟฟ้าและกำลังที่จ่ายให้กับมอเตอร์ โดยจะมีความสอดคล้องกับภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นภายในห้องปรับอากาศ ดังนั้น เครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์จึงประหยัดไฟและสามารถควบคุมอุณหภูมิได้สม่ำเสมอมากกว่าเครื่องปรับอากาศแบบธรรมดาซึ่งทำงานแบบ On-Off

2.3 คุณสมบัติของอากาศชื้น และกระบวนการในระบบปรับอากาศ

ในระบบปรับอากาศจะพิจารณาอากาศเป็นอากาศชื้นซึ่งประกอบด้วยอากาศแห้งและไอน้ำ คุณสมบัติที่สำคัญมีดังนี้

จุดน้ำค้าง (Dew Point) คือ อุณหภูมิไออิ่มตัวของไอน้ำในอากาศของอากาศในขณะนั้น ซึ่งสามารถหาได้จากตารางไอน้ำหรือสมการ สำหรับอากาศในช่วง 0°C ถึง 93°C

$$t_d = 6.54 + 14.526(\ln P_v) + 0.7389(\ln P_v)^2 + 0.09486(\ln P_v)^3 + 0.4569(\ln P_v)^{0.1984} \quad (2.3)$$

โดยที่ P_v คือ ความดันไอน้ำในอากาศของอากาศในขณะนั้น, kPa

ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) คือ สัดส่วนโดยโมลของไอน้ำต่อโมลของไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิและความดันเดียวกันสามารถหาค่าได้จากสมการ

$$\phi = \frac{P_v}{P_{vs}} = \frac{P_v}{P - P_a} \quad (2.4)$$

โดยที่ ϕ คือ ค่าความชื้นสัมพัทธ์

P คือ ความดันบรรยากาศ, kPa

P_v คือ ความดันความดันย่อยของไอน้ำ, kPa

P_{vs} คือ ความดันความดันไออิ่มตัวของไอน้ำที่อุณหภูมิอากาศในขณะนั้น, kPa

P_a คือ ความดันความดันย่อยของอากาศแห้ง, kPa

สำหรับค่าของความดันไออิ่มตัวของไอน้ำในอากาศที่อุณหภูมิอากาศในขณะนั้นหาได้จากตารางไอน้ำหรือ สมการสำหรับอากาศ ช่วงอุณหภูมิ 0°C ถึง 200°C คือ

$$P_{vs} = \exp^{\left(\frac{c_1}{T} + c_2 + c_3 T + c_4 T^2 + c_5 T^3 + c_6 \ln T\right)} \quad (2.5)$$

โดยที่ T คือ อุณหภูมิของอากาศ, K

c คือ ค่าคงที่ ซึ่ง c_1 = -5008.2206, c_2 = 1.3914993, c_3 = -0.04860239, $c_4 = 4.1764768\times10^{-5}$, $c_5 = -1.445209\times10^{-8}$ และ c_6 = 6.5459673

ความชื้นจำเพาะ (Specific Humidity) คือ อัตราส่วนของมวลของไอน้ำต่อมวลของอากาศแห้งในอากาศ สามารถหาได้จากสมการ

$$\omega = \frac{0.622P_v}{(P - P_v)} = \frac{0.622\phi P_{vs}}{(P - \phi P_{vs})} \tag{2.6}$$

โดยที่ ω คือ อัตราส่วนความชื้น

ในระบบปรับอากาศเพื่อที่จะรักษาสภาวะพื้นที่ให้มีอุณหภูมิและความชื้นตามที่ออกแบบปริมาณ ความร้อนสัมผัส (Sensible heat) และความชื้นหรืออาจเรียกว่าความร้อนแฝง (latent heat) อัตราส่วนความร้อนสัมผัสต่อความร้อนทั้งหมด เรียกว่า ค่าความร้อนสัมผัส (Sensible-Heat Ratio, SHR) สามารถแสดงได้ดังสมการ

$$SHR = \frac{Q_s}{Q_s + Q_l} \tag{2.7}$$

โดยที่ Q_s คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนสัมผัส, kW

Q_l คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนแฝง, kW

หากพิจารณากระบวนการทำความเย็นและลดความชื้นที่เครื่องระเหยปริมาณความร้อนสัมผัสและปริมาณความร้อนแฝงที่ถ่ายเทที่เครื่องระเหย สามารถหาค่าได้จากสมการ

$$Q_s = m_a c_{pa}(t_{ai} - t_{ao}) \tag{2.8}$$

และ

$$Q_l = m_a(i_{fg})(\omega_i - \omega_o) \tag{2.9}$$

โดยที่ t_{ai} คือ อุณหภูมิของอากาศชื้นที่ทางเข้าเครื่องระเหย, °C

t_{ao} คือ อุณหภูมิของอากาศชื้นที่ทางออกเครื่องระเหย, °C

ω_i คือ ความชื้นจำเพาะ ของอากาศชื้นที่ทางเข้าเครื่องระเหย, kg/ kg_{dryair}

ω_o คือ ความชื้นจำเพาะ ของอากาศชื้นที่ทางออกเครื่องระเหย, kg/ kg_{dryair}

i_{fg} คือ ปริมาณเอนทัลปีจากการกลั่นตัว มีค่าเท่ากับ 2548 kJ/kg

t_{ai} คือ อุณหภูมิของอากาศชื้นที่ทางเข้าเครื่องระเหย, °C

c_{pa} คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ มีค่าเท่ากับ 1.005 kJ/(kg.°C)

2.4 ความรู้สึกสบายของมนุษย์ และการปรับอากาศ

คนเรามีความต้องการพื้นฐานที่อยากมีความรู้สึกที่สบาย กล่าวคือ เรามักต้องการที่จะอาศัยอยู่ในสภาวะแวดล้อมที่ไม่ร้อนหรือเย็นเกินไป สาเหตุของความรู้สึกไม่สบาย เช่น การมีอุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไป และมีความชื้นสูงหรือต่ำมากเกินไป เราสามารถที่จะเปลี่ยนแปลงสภาวะของอากาศในบริเวณที่มีขอบเขตจำกัดด้วยระบบปรับอากาศที่ทันสมัย สามารถที่จะให้ความร้อนหรือความเย็นเพิ่มความชื้น มีความสะอาด และแม้กระทั่งกำจัดกลิ่นของอากาศได้ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ การปรับอากาศได้ถูกออกแบบมาเพื่อให้คนเราเกิดความพึงพอใจ

ความรู้สึกสบายของร่างกายของมนุษย์จะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลักที่สำคัญ 3 ประการ คือ อุณหภูมิ (กระเปาะแห้ง) ความชื้นสัมพัทธ์และการเคลื่อนไหวของอากาศ อุณหภูมิของสภาวะแวดล้อมจะเป็นดัชนีหลักที่สำคัญที่สุดของความรู้สึกที่สบาย คนส่วนใหญ่จะรู้สึกสบายถ้าอุณหภูมิของสภาวะแวดล้อมอยู่ระหว่าง 22-27 °C ความชื้นสัมพัทธ์ก็จะเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่มีผลต่อความรู้สึกที่สบาย เนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์นี้จะมีผลต่อปริมาณของความร้อนของร่างกายที่จะสามารถระเหยออกได้โดยการระบาย ความชื้นสัมพัทธ์เป็นดัชนีที่ใช้ในการวัดความสามารถของอากาศในการดูดซึมความชื้น กล่าวคือ ถ้าอากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงก็จะมีผลทำให้การคายความร้อนออกจากร่างกายของคนเราโดยการระบายเกิดขึ้นช้าลง แต่ถ้าอากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำก็จะส่งผลในทางตรงกันข้ามคือ ทำให้การคายความร้อนเกิดขึ้นเร็วขึ้น คนส่วนใหญ่จะชอบอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 50-60%

2.5 ชุดควบคุมอัตราการไหลของอากาศ

การทำงานของเครื่องควบคุมอัตราการไหลจะแยกการทำงานของโปรแกรมออกเป็น2 ส่วน คือ โปรแกรมที่ทำหน้าที่คำนวณเวลาในการหน่วงก่อนจ่ายแรงดันไฟฟ้า(โปรแกรมรอง) โดยมีหลักการทำงานตามหัวข้อ 2.5.3, 2.5.4 และ 2.5.5 และโปรแกรมที่ทำหน้าที่จ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์พัดลมตามเวลาหน่วงที่โปรแกรมรองคำนวณได้(โปรแกรมหลัก) โดยจะมีหลักการทำงานตามหัวข้อ 2.5.2 ซึ่งโปรแกรมทั้งสองจะทำงานร่วมกันและจัดลำดับความสำคัญดังนี้ โปรแกรมจะอ่านคำสั่งในโปรแกรมรองทีละบรรทัดคำสั่ง แต่เมื่อครบทุกๆ 10 มิลลิวินาที โปรแกรมจะหยุดการอ่านคำสั่งที่โปรแกรมรองและจะข้ามไปอ่านคำสั่งที่โปรแกรมหลักโดยจะอ่านคำสั่งทีละบรรทัดเหมือนกันแต่จะอ่านคำสั่งในโปรแกรมหลักจนเสร็จ จากนั้นโปรแกรมจะข้ามกลับไปอ่านคำสั่งในโปรแกรมรองที่บรรทัดเดิมที่อ่านอยู่ก่อนหน้า ในการทดลองควบคุมความชื้นของห้องจะปรับอัตรา

การไหลของอากาศผ่านเครื่องระเหยจะมีโปรแกรมรองทั้งหมด 3 แบบและจะเรียกโปรแกรมเหล่านี้ว่า โปรแกรมควบคุมอัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องระเหยซึ่งประกอบไปด้วย

1) โปรแกรมควบคุมอัตราการไหลของอากาศตามระดับความชื้นสัมพัทธ์

2) โปรแกรมควบคุมอัตราการไหลของอากาศตามค่าความชื้นสัมพัทธ์ แบบไม่มีการตรวจสอบกับข้อมูลที่ผ่านมา

3) โปรแกรมควบคุมอัตราการไหลของอากาศตามค่าความชื้นสัมพัทธ์แบบมีการตรวจสอบกับข้อมูลที่ผ่านมา

2.5.1 การควบคุมความเร็วของมอเตอร์

การควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก ตามหลักการพื้นฐานแล้วตัวแปร 3 ตัวที่ส่งผลกระทบต่อความเร็วมอเตอร์ คือ จำนวนขั้วแม่เหล็ก (P) ความถี่ทางไฟฟ้า (f) และสลิป (Slip) โดยมีความสัมพันธ์ดังสมการ

$$Speed, N = (1 - Slip)\frac{120f}{P} \tag{2.10}$$

ซึ่งจากสมการความสัมพันธ์จะพบว่าเราสามารถควบคุมความเร็วมอเตอร์ได้ 3 วิธีด้วยกันคือ

2.5.1.1 การควบคุมความเร็วมอเตอร์ด้วยการปรับความถี่

2.5.1.2 การควบคุมความเร็วมอเตอร์ด้วยการปรับขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์

2.5.1.3 การควบคุมความเร็วมอเตอร์ด้วยการปรับสลิปซึ่งสามารถทำได้ 2 วิธีคือ

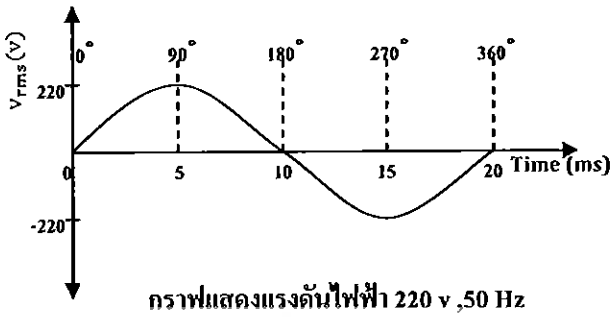
ก. การควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่สเตเตอร์เริ่มจ่ายไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ ข้อดีของการควบคุมด้วยวิธีนี้คือ ง่ายและราคาถูก แต่แรงบิดจะลดลงตามแรงดันไฟฟ้า

ข. การเพิ่มความต้านทานหรือเพิ่มกำลังสูญเสียในตัวโรเตอร์ซึ่งเป็นการเพิ่มค่าสลิป แต่การควบคุมด้วยวิธีนี้จะทำให้ประสิทธิภาพของมอเตอร์ลดลง

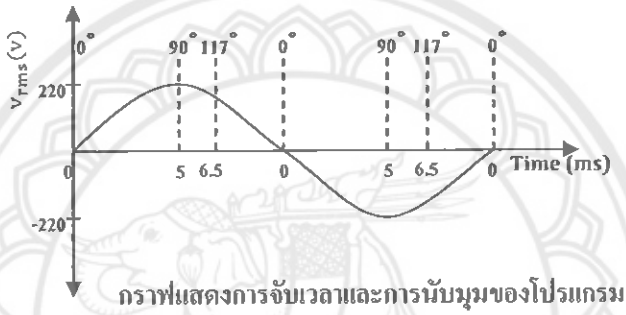
2.5.2 การควบคุมแรงดันไฟฟ้าเพื่อปรับความเร็วมอเตอร์

ในวงจรชุดควบคุมอัตราการไหลจะมีเซนเซอร์ตรวจจับแรงดันไฟฟ้าผ่านศูนย์(Zero crossing) เมื่อแรงดันไฟฟ้าผ่าน ณ ตำแหน่งนี้โปรแกรมจะเริ่มจับเวลาแต่จะยังไม่จ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ โปรแกรมจะเริ่มจ่ายแรงดันไฟฟ้าเมื่อเวลาที่จับ มีค่าเท่ากับเวลาที่กำหนดและจะเรียกระยะเวลาที่กำหนดนี้ว่า ระยะเวลาในการหน่วง ระยะเวลาในการหน่วงที่เหมาะสมมีค่าอยู่ระหว่าง

5-6.5 ms หรืออยู่ในช่วงมุมทริก 90-117 ° ซึ่งโปรแกรมสามารถแปลงค่าระหว่างระยะเวลาหน่วงและมุมทริก กลับไปกลับมาได้



กราฟแสดงแรงดันไฟฟ้า 220 v ,50 Hz

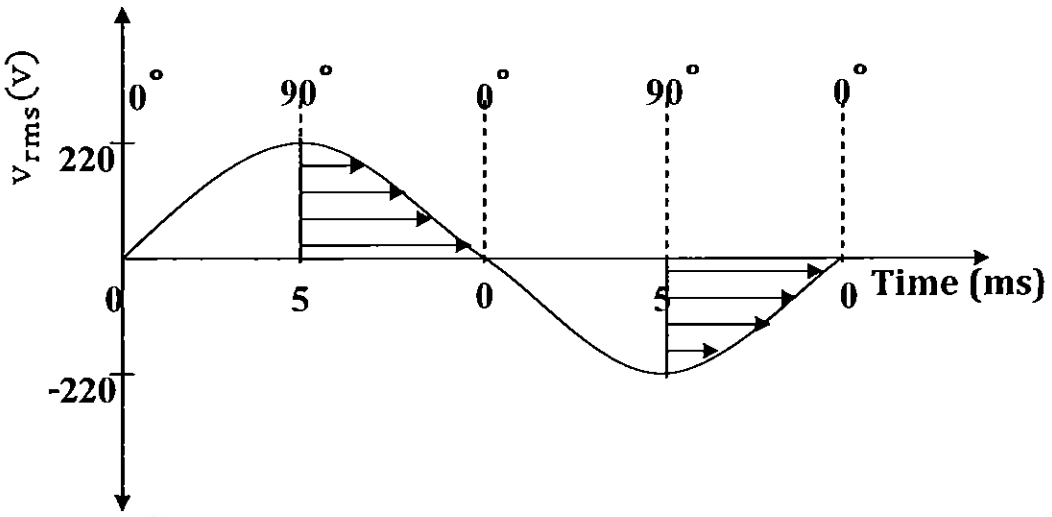


กราฟแสดงการจับเวลาและการนับมุมของโปรแกรม

รูปที่ 2.2 แสดงการจับเวลาและการนับมุมทริกของโปรแกรม

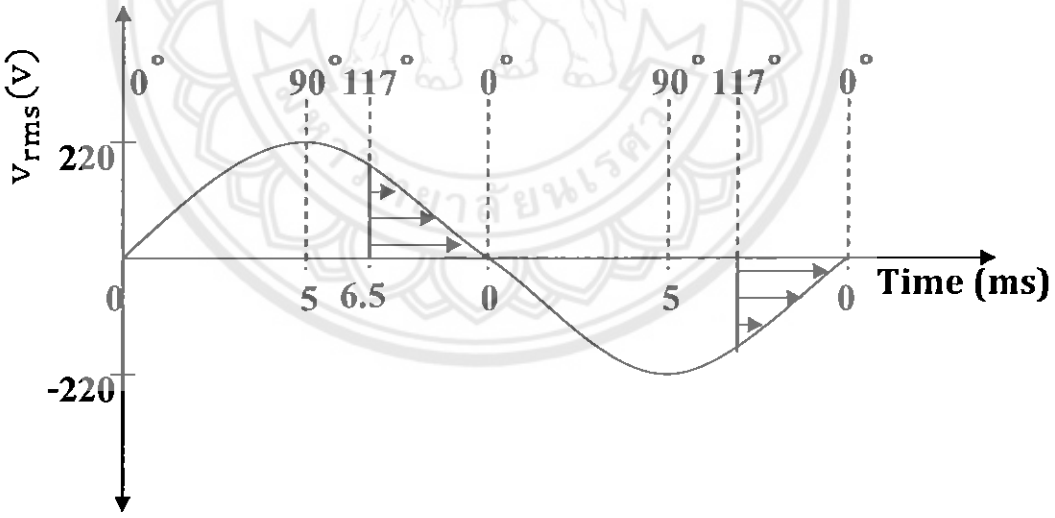
ดังนั้นการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ในชุดควบคุมอัตราการไหลสามารถทำได้โดยการกำหนดระยะเวลาในการจ่ายแรงดันไฟฟ้าหรือกำหนดมุมโดยความเร็วของมอเตอร์จะแปรผกผันกับระยะเวลาที่กำหนด(อยู่ในช่วง 5-6.5 ms) ตัวอย่างเช่น

กำหนดระยะเวลาในการจ่ายแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 5 ms หรือมีค่าเท่ากับมุม 90° โปรแกรมจะทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 2.3 และ จะทำให้มอเตอร์หมุนด้วยความเร็วรอบสูงสุด



รูปที่ 2.3 แสดงการจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่เวลาหน่วงเท่ากับ 5 ms

กำหนดระยะเวลาในการจ่ายแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 6.5 ms หรือมีค่าเท่ากับมุม 117°โปรแกรมจะทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้มอเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 2.4 และจะทำให้มอเตอร์หมุนด้วยความเร็วรอบต่ำสุด



รูปที่ 2.4 แสดงการจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่เวลาหน่วงเท่ากับ 6.5 ms

2.5.3 การทำงานของโปรแกรมควบคุมอัตราการไหลของอากาศตามช่วงความชื้นสัมพัทธ์

โปรแกรมจะอ่านค่าข้อมูลดิบของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์จากเซนเซอร์ SHT 15 (หัววัดความชื้นและอุณหภูมิ) ที่ความละเอียด 14 และ 12 บิต ตามลำดับ จากนั้นจะนำค่าข้อมูลไป

คำนวณเป็นค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เพื่อส่งไปแสดงที่หน้าจอ LCD และจะนำค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่อ่านได้ มาเปรียบเทียบกับช่วงความชื้นสัมพัทธ์ที่กำหนดมีค่าดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ช่วงความชื้นสัมพัทธ์

%RH	ระยะเวลาหน่วง(ms)	อัตราการไหลของอากาศ m^3/min
66-100	6.5	4.62
56-65	6.1	6.14
51-55	5.7	7.34
45-50	5.3	9.50
<45	5.0	10.32

ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ที่อ่านได้ตรงกับช่วงความชื้นสัมพัทธ์ในตารางโปรแกรมจะทำการหน่วงเวลาเท่ากับเวลาที่กำหนดในช่วงนั้นๆก่อนจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์พัดลม

2.5.4 การทำงานของโปรแกรมควบคุมอัตราการไหลของอากาศตามค่าความชื้นสัมพัทธ์แบบไม่มีการตรวจสอบกับข้อมูลที่ผ่านมา

โปรแกรมจะทำการอ่านค่าข้อมูลดิบของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์จากเซนเซอร์ SHT 15 (หัววัดความชื้นและอุณหภูมิ) ที่ความละเอียด 14 และ 12 บิต ตามลำดับ จากนั้นจะนำค่าข้อมูลไปคำนวณเป็นค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เพื่อส่งไปแสดงที่หน้าจอ LCD และจะนำค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่อ่านได้ไปเปรียบเทียบกับความชื้นสัมพัทธ์ที่กำหนดเพื่อทำการปรับองศาทางไฟฟ้า (มุมทริก) แล้วจะนำค่ามุมทริกไปเปลี่ยนค่าจากองศาทางไฟฟ้าเป็นระยะเวลาในการหน่วงก่อนจ่ายแรงดันไฟฟ้า โดยเริ่มต้นโปรแกรมจะกำหนดให้มุมทริกมีค่าเท่ากับ 90 ° (มีค่าเท่ากับการหน่วงเวลา 5 ms) และจะมีเงื่อนไขในการปรับมุมทริกดังนี้

- ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ที่อ่านได้มีค่าเท่ากับความชื้นสัมพัทธ์ที่กำหนดโปรแกรมจะใช้มุมทริกค่าเดิม

- ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ที่อ่านได้มีค่ามากกว่าความชื้นสัมพัทธ์ที่กำหนด โปรแกรมจะทำการเพิ่มมุมทริก 1 ° จากเดิม (มีค่าเท่ากับการเพิ่มระยะเวลาในการหน่วงประมาณ 0.056 ms) และทำการเพิ่มมุมทริกได้สูงสุดไม่เกิน 117 °

- ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ที่อ่านได้มีค่าน้อยกว่าความชื้นสัมพัทธ์ที่กำหนด โปรแกรมจะทำการลดมุมทริก 1 ° จากเดิม (มีค่าเท่ากับการลดระยะเวลาในการหน่วงประมาณ 0.056 ms) และทำการเพิ่มลดมุมทริกได้ต่ำสุดไม่เกิน 90°

- โปรแกรมจะทำการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ครั้งต่อไปเมื่อนับจำนวนรอบการทำงานของตัวโปรแกรมเอง (count) ได้เท่ากับจำนวนที่กำหนดไว้ ซึ่งหนึ่งรอบการทำงานของโปรแกรมจะมีค่าประมาณ 30 ms ดังนั้นถ้าต้องการให้มีการนำค่าความชื้นสัมพัทธ์มาเปรียบเทียบกันทุกๆ 15 วินาที จะต้องกำหนดให้นับจำนวนรอบการทำงานมีค่าเท่ากับ 50 รอบการทำงาน

2.5.5 การทำงานของโปรแกรมควบคุมอัตราการไหลของอากาศตามค่าความชื้นสัมพัทธ์ แบบที่มีการตรวจสอบกับข้อมูลที่ผ่านมา

โปรแกรมจะทำการอ่านค่าข้อมูลดิบของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์จากเซนเซอร์ SHT 15 (หัววัดความชื้นและอุณหภูมิ) ที่ความละเอียด 14 และ 12 บิต ตามลำดับ จากนั้นจะนำค่าข้อมูลไปคำนวณเป็นค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เพื่อส่งไปแสดงที่หน้าจอ LCD และจะนำค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่อ่านได้ไปเปรียบเทียบกับความชื้นสัมพัทธ์ที่กำหนดและความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้ก่อนหน้านี้เพื่อทำการปรับองศาทางไฟฟ้า (มุมทริก) แล้วจะนำค่ามุมทริกไปแปลงเป็นระยะเวลาในการหน่วงก่อนจ่ายแรงดันไฟฟ้า โดยเริ่มต้นโปรแกรมจะกำหนดให้มุมทริกมีค่าเท่ากับ 90 ° (มีค่าเท่ากับการหน่วงเวลา 5 ms) และจะมีเงื่อนไขในการปรับมุมทริกดังนี้

- ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ที่อ่านได้มีค่าเท่ากับความชื้นสัมพัทธ์ที่กำหนด โปรแกรมจะใช้มุมทริกค่าเดิม

- ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ที่อ่านได้มีค่ามากกว่าความชื้นสัมพัทธ์ที่กำหนดและมากกว่าหรือเท่ากับความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้ก่อนหน้านี้โปรแกรมจะทำการเพิ่มมุมทริก 1 ° จากเดิม (มีค่าเท่ากับการเพิ่มระยะเวลาในการหน่วงประมาณ 0.056 ms) และทำการเพิ่มมุมทริกได้สูงสุดไม่เกิน 117 °

- ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ที่อ่านได้มีค่ามากกว่าความชื้นสัมพัทธ์ที่กำหนดแต่น้อยกว่าความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้ก่อนหน้านี้โปรแกรมจะใช้มุมทริกค่าเดิม

- ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ที่อ่านได้มีค่าน้อยกว่าความชื้นสัมพัทธ์ที่กำหนดและน้อยกว่าหรือเท่ากับความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้ก่อนหน้า โปรแกรมจะทำการลดมุมทริก 1 ° จากเดิม (มีค่าเท่ากับการลดระยะเวลาในการหน่วงประมาณ 0.056 ms) และทำการเพลดมุมทริกได้ต่ำสุดไม่เกิน 90 °

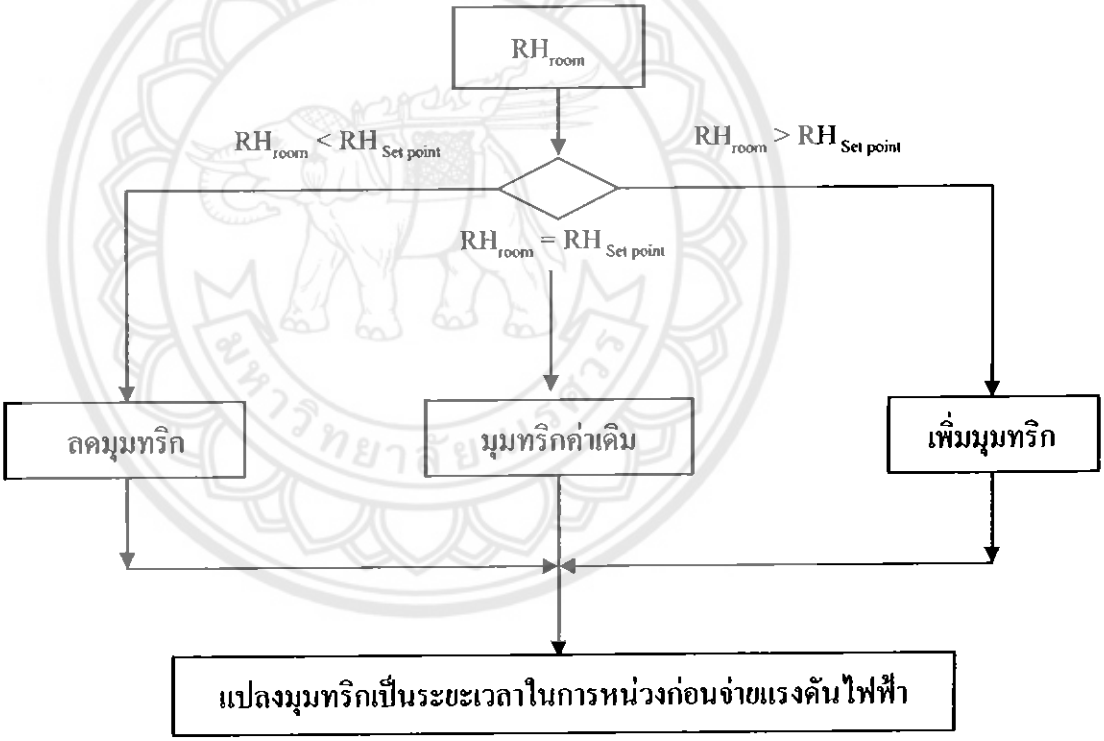
- ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ที่อ่านได้มีค่าน้อยกว่าความชื้นสัมพัทธ์ที่กำหนดแต่มากกว่าความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้ก่อนหน้า โปรแกรมจะใช้มุมทริกค่าเดิม

- โปรแกรมจะทำการเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ครั้งต่อไปเมื่อนับจำนวนรอบการทำงานของตัวโปรแกรม (count) ได้เท่ากับจำนวนที่กำหนดไว้ ซึ่งหนึ่งรอบการทำงานของโปรแกรมจะมีค่าประมาณ 30 ms ดังนั้นถ้าต้องการให้มีการนำค่าความชื้นสัมพัทธ์มาเปรียบเทียบกันทุกๆ 15 วินาที จะต้องกำหนดให้นับจำนวนรอบการทำงานมีค่าเท่ากับ 50 รอบการทำงาน

แผนภาพแสดงการเปรียบเทียบค่าความชื้นสัมพัทธ์ของเครื่องควบคุม แบบกำหนดค่าความชื้น แบบไม่มีการตรวจสอบกับข้อมูลที่ผ่านมา

กำหนด RH_{room} คือ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้ในปัจจุบัน

$RH_{Set\ point}$ คือ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่กำหนด



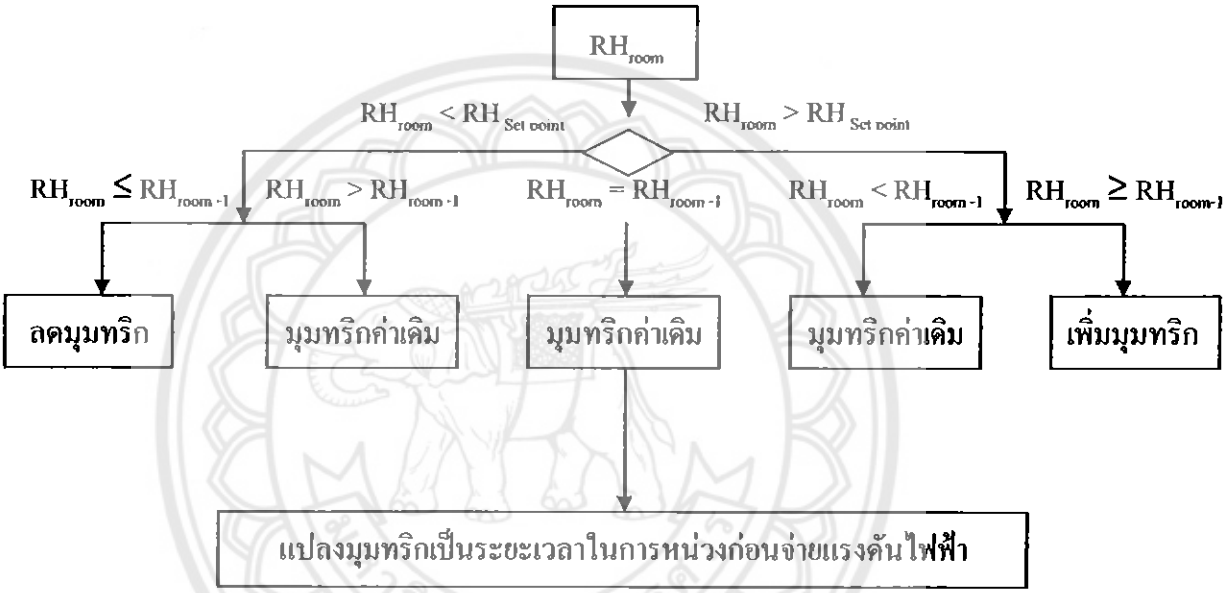
รูปที่ 2.5 แสดงการเปรียบเทียบค่าความชื้นสัมพัทธ์ของเครื่องควบคุม ของโปรแกรมกำหนดค่าความชื้น แบบไม่มีการตรวจสอบกับข้อมูลที่ผ่านมา

แผนภาพแสดงการเปรียบเทียบค่าความชื้นสัมพัทธ์ของเครื่องควบคุม แบบกำหนดค่าความชื้น แบบมีการตรวจสอบกับข้อมูลที่ผ่านมา

กำหนด RH_{room} คือ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้ในปัจจุบัน

$RH_{room\ -1}$ คือ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้ในครั้งก่อน

$RH_{Set\ point}$ คือ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่กำหนด



รูปที่ 2.6 แสดงการเปรียบเทียบค่าความชื้นสัมพัทธ์ของเครื่องควบคุม ของโปรแกรมกำหนดค่าความชื้น แบบมีการตรวจสอบกับข้อมูลที่ผ่านมา

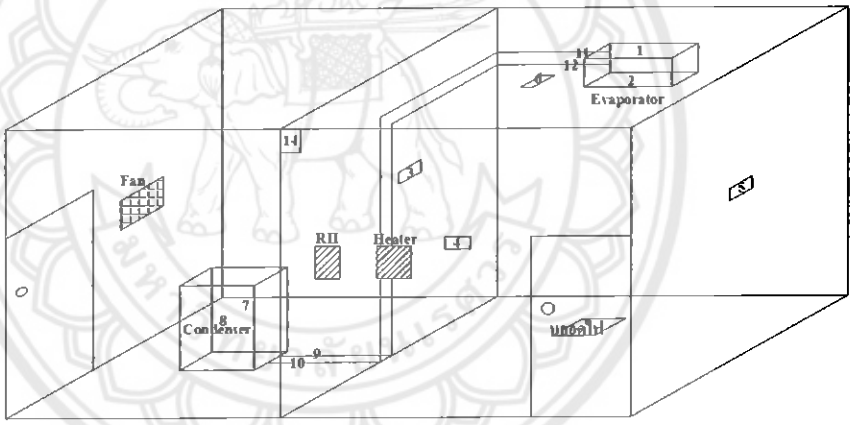
บทที่ 3
วิธีดำเนินโครงงาน

ในการทำโครงงานนี้เป็นการทำการทดลองเพื่อศึกษาการควบคุมความชื้นโดยการปรับอัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องระเหยสำหรับเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ ซึ่งจะมีวิธีการดำเนินงานดังต่อไปนี้

3.1 ห้องทดลอง, อุปกรณ์และเครื่องมือวัด

3.1.1 ห้องทดลอง

สำหรับการทดลองนี้ จะมีห้องทดลอง 2 ส่วนคือ ห้องเครื่องระเหย และห้องเครื่องระบายความร้อน โดยแสดงรายละเอียดดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงรายละเอียดของห้องทดลอง

3.1.1.1 ห้องเครื่องระเหย

มีขนาดกว้าง 2.2 เมตร ยาว 3 เมตร สูง 2.2 เมตร โดยมีผนังด้านหน้าและผนังด้านซ้ายมือ (ผนังกั้นห้องเครื่องระเหยกับห้องเครื่องระบายความร้อน) เป็นผนังยิปซั่มบอร์ดหนา 10 มิลลิเมตร ประกบกันโดยมีโฟมหนา 10 เซนติเมตร เป็นฉนวนกั้นอยู่ระหว่างกลาง ผนังด้านหลังและผนังด้านขวามือเป็นผนังคอนกรีตหนา 10 เซนติเมตร เพดานเป็นยิปซั่มหนา 10 มิลลิเมตร ภายในห้องติดตั้งอุปกรณ์ดังนี้ เครื่องระเหย, ฮีทเตอร์, หลอดไฟ และเครื่องให้ความชื้น ดังรูปที่ 3.1

3.1.1.2 ห้องเครื่องระบายความร้อน

มีขนาด กว้าง 2.2 เมตร ยาว 3 เมตร สูง 2.2 เมตร โดยมีผนังด้านหน้า ด้านขวามือและด้านซ้ายมือเป็นผนังยิปซั่มหนา 10 มิลลิเมตร ประกบกันโดยมีโฟมหนา10 เซนติเมตร เป็น

ฉนวนกั้นอยู่ระหว่างกลาง ผนังด้านหลังเป็นผนังคอนกรีตหนา 10 เซนติเมตร เพดานเป็นยิปซั่มหนา 10 มิลลิเมตร ภายในห้องติดตั้งอุปกรณ์ดังนี้ เครื่องคอนเดนเซอร์ พัดลมระบายความร้อนที่สามารถปรับความเร็วได้ ดังรูปที่ 3.1

3.1.2 ตำแหน่งที่ทำการเก็บข้อมูล

ในการทดลองนั้น จะทำการวัดและบันทึกค่าต่างๆตามตำแหน่งจากรูปที่ 3.1 ดังนี้คือ

ตำแหน่งที่ 1 วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ทางเข้าเครื่องระเหย

ตำแหน่งที่ 2 วัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และความเร็วลมที่ทางออกเครื่องระเหย

ตำแหน่งที่ 3, 4, 5 และ 6 วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในห้องทดลอง

ตำแหน่งที่ 7 วัดอุณหภูมิที่ทางเข้าเครื่องระบายความร้อน

ตำแหน่งที่ 8 วัดอุณหภูมิที่ทางออกเครื่องระบายความร้อน

ตำแหน่งที่ 9, 10, 11 และ12 วัดความดันของสารทำความเย็น

ตำแหน่งที่ 13 วัดความถี่ไฟฟ้าที่จ่ายให้คอมเพรสเซอร์

ตำแหน่งที่ 14 วัดอุณหภูมิและความชื้นนอกห้องทดลอง

3.1.3 อุปกรณ์ และเครื่องมือวัด

3.1.3.1 อุปกรณ์ในห้องเครื่องระเหย

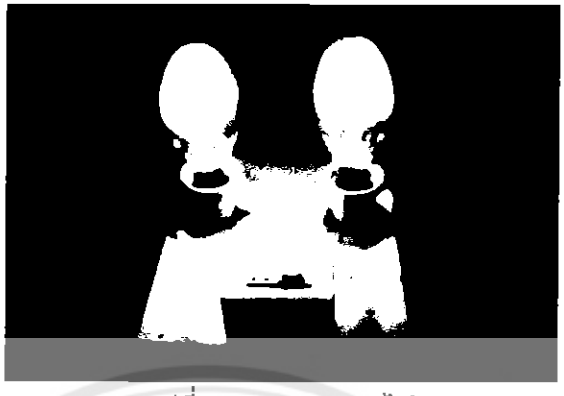
ก. ฮีทเตอร์แบบครีบ ขนาด 1.5 กิโลวัตต์

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เพิ่มความร้อนสัมพัทธ์ให้กับห้อง ดังรูปที่ 3.2 ทำงานโดยเป่าลมผ่านครีบความร้อนที่สามารถปรับอุณหภูมิได้ ฮีทเตอร์จะทำงานแบบอัตโนมัติ สามารถตั้งค่าให้ฮีทเตอร์ทำงานที่ อุณหภูมิห้องค่าต่างๆ เมื่ออุณหภูมิห้องสูงกว่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้ฮีทเตอร์จะหยุดทำงาน และถ้าเมื่ออุณหภูมิห้องต่ำกว่าที่ตั้งไว้ ฮีทเตอร์ก็จะทำงาน

รูปที่ 3.2 แสดงฮีทเตอร์

ข. หลอดไฟขนาด 500 วัตต์ จำนวน 2 หลอด

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เพิ่มความร้อนสัมพัทธ์ให้กับห้องดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงหลอดไฟ

ค. เครื่องให้ความชื้น ขนาด 100 วัตต์

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เพิ่มความชื้นให้กับห้อง ดังรูปที่ 3.4 โดยมีเครื่องกำเนิดคลื่นอุลตร้าโซนิคส์ เป็นตัวแตกอิออนของน้ำทำให้น้ำกลายเป็นไอน้ำ และที่ทางออกของเครื่องให้ความชื้นสามารถปรับปริมาณไอน้ำก่อนเข้าห้องได้

รูปที่ 3.4 แสดงเครื่องให้ความชื้น

3.1.3.2 อุปกรณ์ในห้องเครื่องระบายความร้อน

ง. พัดลมระบายความร้อน ขนาด 0.23 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ระบายความร้อนให้กับห้องเครื่องระบายความร้อน ดังรูปที่ 3.5 โดยจะทำการเป่าลมเย็นเข้ามาภายในห้อง ซึ่งสามารถทำงานอัตโนมัติภายใต้อุณหภูมิห้องเครื่องระบายความร้อนที่กำหนดได้ ถ้าอุณหภูมิในห้องสูงกว่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้ พัดลมก็จะทำงาน แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่าที่ตั้งไว้พัดลมจะหยุดทำงาน

รูปที่ 3.5 แสดงพัดลมระบายความร้อน

3.1.3.3 เครื่องมือวัด

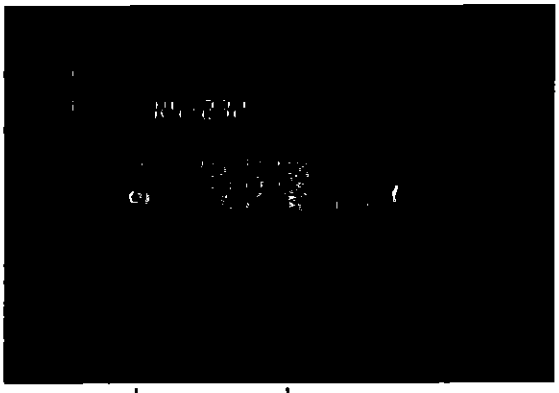
ก. SILA AP-104

เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดอุณหภูมิและความชื้นของอากาศ ดังรูปที่ 3.6 สามารถวัดอุณหภูมิและความชื้นได้โดยการเชื่อมต่อกับหัววัด SHT 15 สายที่เชื่อมต่อสามารถวัดอุณหภูมิและความชื้นได้ไกล 100 เมตร เครื่อง AP-104 จะมีช่องวัด 5 ช่อง สามารถวัดอุณหภูมิได้ตั้งแต่ -40 ถึง 120 °C ความละเอียด 0.1 °C และวัดค่าความชื้นได้ตั้งแต่ 10 ถึง 90 % ความละเอียด 1 % สามารถตั้งค่าเวลาในการวัดและบันทึกด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ ในการทดลองนี้ จะตั้งค่าให้บันทึกทุกๆ 10 วินาที

รูปที่ 3.6 แสดงเครื่อง AP-104

ข. Agilent Benchlink Data Logger

เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดอุณหภูมิ ดังรูปที่ 3.7 ซึ่งใช้ร่วมกับสายเทอร์โมคัปเปิล สามารถวัดอุณหภูมิในช่วง 0 ถึง 1250 °C ความละเอียด 0.001 °C ในขณะทำการทดลองสามารถแสดงข้อมูลที่วัดได้ในรูปของกราฟ ซึ่งจะแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.7 แสดงเครื่อง Data Logger

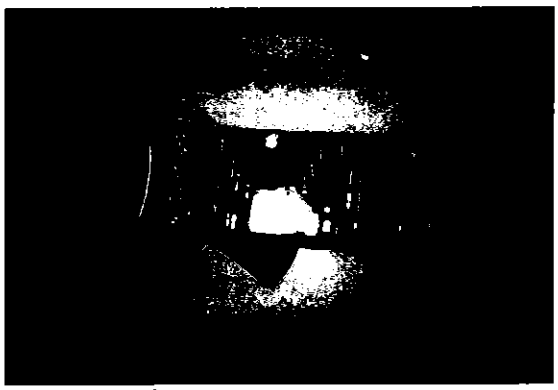
ค. เครื่องวัดความเร็วลม(ANEMOMETER)

เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับวัดความเร็วลม ดังรูปที่ 3.8 โดยสามารถวัดความเร็วลมได้ในช่วง 0.1-20 m/s หลังจากการวัดความเร็วลมแล้วจะแสดงผลเป็นแบบดิจิตอล

รูปที่ 3.8 แสดงเครื่องวัดความเร็วลม

ง. A unique AC Clamp-On Multimeter

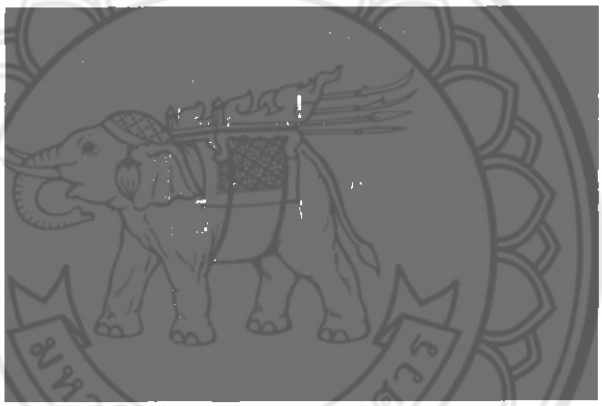
เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าทางไฟฟ้า ดังรูปที่ 3.9 ซึ่งในการทดลองจะใช้วัดความถี่ของไฟฟ้าที่จ่ายให้เครื่องคอมเพรสเซอร์ ทำการวัดโดยนำ Clamp-On Multimeter ไปคล้องกับสายไฟที่จ่ายไฟให้กับคอมเพรสเซอร์



รูปที่ 3.9 แสดงเครื่อง A unique AC Clamp-On Multimeter

จ. Watt hour-meter (Type MF-33F, 220 V, 50Hz, 5(15) A, 1200rev/kwh)

ใช้วัดกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับชุดคอมเพรสเซอร์ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แสดง Watt hour-meter

ฉ. ชุดควบคุมอัตราการไหลของอากาศ

ใช้ควบคุมอัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องระเหย ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ยี่ห้อ Philip ตระกูล MCS-51 เบอร์ P89V51RD2 โดยมีคุณสมบัติและข้อมูลทางเทคนิคดังนี้

1) เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ 8 บิต

2) หน่วยความจำโปรแกรมภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นแบบแฟลชลบและเขียนใหม่ได้ถึงหนึ่งหมื่นครั้ง มีขนาดหน่วยความจำ 64 กิโลไบต์

3) หน่วยความจำข้อมูลแรมภายใน มีขนาด 1 กิโลไบต์

4) ความถี่สัญญาณนาฬิกาสูงสุด 40 MHz ในกรณีทำงานด้วยสัญญาณนาฬิกาภายใน 12 ลูกต่อแมชีนไซเกิลและ20MHz ในกรณีทำงานด้วยสัญญาณนาฬิกาภายใน 6 ลูกต่อแมชีนไซเกิล

5) ขาพอร์ตมี 8 บิต 4 พอร์ต เป็นแบบกึ่งสองทิศทาง คือเป็นได้ทั้งอินพุตและเอาท์พุต

6) อุปกรณ์เพอริเฟอรัลภายในไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถทำงานด้วยความเร็ว 12 สัญญาณนาฬิกาต่อแมชีนไซเกิลได้ แม้ว่าซีพียูจะทำงานด้วยความเร็ว 6 สัญญาณนาฬิกาภายในต่อแมชีนไซเกิล

7) มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบฟูลดูเพล็กซ์

8) ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ขนาด 16 บิต 3 ตัว (ไทเมอร์ 0, 1 และ 2)

9) มีรีจิสเตอร์ตัวชี้ตำแหน่งข้อมูลหรือ DPTR 2 ตัว

10) สามารถรองรับแหล่งอินเตอร์รัปต์ได้

11) กำหนดนัยสำคัญของกาตอบสนองอินเตอร์รัปต์ได้ 4 ระดับ

12) สามารถติดต่อหน่วยความจำภายนอกได้สูงสุด 64 กิโลไบต์

13) มีวอตช์ด็อกไทเมอร์

14) มีโมดูลวงจรนับโปรแกรมได้ ซึ่งบรรจุวงจรตรวจจับสัญญาณ, เปรียบเทียบสัญญาณ, วงจรมอดูเลชั่นทางความกว้างของพัลส์ (PWM) และวอตช์ด็อกไทเมอร์ (watchdog timer)

15) ใช้หน้าจอLCD ขนาด 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด

16) ใช้แหล่งจ่ายไฟภายนอกจากอะแดปเตอร์ 12 V 500 mA ควบคุมไฟเลี้ยงบนบอร์ด +5 V

รูปที่ 3.11 แสดง ชุดควบคุมอัตราการไหลของอากาศ

3.2 ขั้นตอนการทดลอง

การทดลองในโครงงานนี้จะแบ่งเป็น 2 การทดลอง โดยการทดลองที่ 1 จะศึกษาผลของการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ และการทดลองที่ 2 จะศึกษาผลของการทำงานของเครื่องควบคุมอัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องระเหย โดยแบ่งออก เป็น 4 การทดลองย่อย และทุกๆการทดลองจะจำลองให้ห้องทดลองมีสภาวะที่คล้ายกับห้องที่ใช้งานจริงโดยห้องที่มีขนาด 3 เมตร × 3 เมตร และจะเก็บข้อมูลตลอด 24 ชั่วโมง เพื่อศึกษาผลการควบคุมอัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องระเหย

3.2.1 การทดลองที่ 1

ศึกษาผลการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์โดยการปรับอัตราการไหลของอากาศที่ผ่านเครื่องระเหยที่แตกต่างกัน 3 ค่า คือ6.32 m^3/min, 7.72 m^3/min และ 9.13 m^3/min โดยจะสร้างภาระการทำความเย็นให้กับห้องเครื่องระเหยในปริมาณที่ใกล้เคียงกันด้วย หลอดไฟฮีทเตอร์และเครื่องให้ความชื้น และจะควบคุมอุณหภูมิห้องเครื่องระเหยและห้องระบายความร้อนไว้ที่ 25°C และ 32°C ตามลำดับ โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1) เปิดอุปกรณ์ให้ความร้อนและความชื้นตามค่าที่ตั้งไว้

2) รอจนห้องมีอุณหภูมิ 30°C และความชื้นประมาณ 65 % ซึ่งหากค่าความชื้นยังไม่ได้ตามที่ต้องการจะปรับอุปกรณ์ให้ความชื้นจนได้ความชื้นของห้องตามต้องการแล้วจึงปรับมาเป็นค่าที่ตั้งไว้

3) เปิดเครื่องปรับอากาศและปรับอัตราการไหลของอากาศให้มีค่าเท่ากับ 6.32 m^3/min

4) เปิดพัดลมระบายอากาศที่ห้องเครื่องระบายความร้อน

5) บันทึกค่าอุณหภูมิ ความชื้น ความดัน ณ จุดต่างๆภายในห้อง และบันทึกค่าความถี่ทางไฟฟ้า และพลังงานที่จ่ายให้กับคอมเพรสเซอร์

6) รอจนอุณหภูมิในห้องคงที่ตามที่ได้ตั้งไว้คือ 25°C อย่างน้อย 30 นาที

7) ปิดอุปกรณ์ทุกอย่างให้เรียบร้อย

8) ทำการทดลองซ้ำ ข้อ 1-6 แต่ปรับอัตราการไหลของอากาศเป็น 7.72 m^3/min และ 9.13 m^3/min

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

3.2.2 การทดลองที่ 2

3.2.2.1 การทดลองที่ 2.1

ศึกษาผลการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์โดยการปรับอัตราการไหลของอากาศที่ผ่านเครื่องระเหยให้มีค่าเท่ากับ 7.72 m^3/min (เนื่องจากการทดลองที่ 1 พบว่าที่อัตราการไหลของอากาศที่ผ่านเครื่องระเหยที่มีค่าเท่ากับ 7.72 m^3/min จะทำให้ห้องปรับอากาศมีความชื้นประมาณ 55%) โดยจะสร้างภาระการทำความเย็นให้กับห้องเครื่องระเหยในปริมาณที่ใกล้เคียงกันด้วยหลอดไฟ ฮีทเตอร์ และเครื่องให้ความชื้น และจะควบคุมอุณหภูมิห้องเครื่องระเหยและห้องระบายความร้อนไว้ที่ 25°C และ 32°C ตามลำดับ โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1) เปิดอุปกรณ์ให้ความร้อนและความชื้นตามค่าที่ตั้งไว้

2) รอจนห้องมีอุณหภูมิ 30°C และความชื้นประมาณ 65% ซึ่งหากค่าความชื้นยังไม่ได้ตามที่ต้องการจะปรับอุปกรณ์ให้ความชื้นจนได้ความชื้นของห้องตามต้องการแล้วจึงปรับมาเป็นค่าที่ตั้งไว้ (เปิดเครื่องให้ความชื้นไว้ที่ 30%)

3) เปิดเครื่องปรับอากาศและปรับอัตราการไหลของอากาศให้มีค่าเท่ากับ 7.72 m^3/min เปิดพัดลมระบายอากาศที่ห้องเครื่องระบายความร้อน

4) เปิดพัดลมระบายอากาศที่ห้องระบายความร้อน

5) บันทึกค่าอุณหภูมิ ความชื้น ความดัน ณ จุดต่างๆภายในห้อง และบันทึกค่าความถี่ทางไฟฟ้า และพลังงานที่จ่ายให้คอมเพรสเซอร์

6) รอจนกว่าอุณหภูมิห้องมีค่าตามที่ตั้งไว้คือ 25°C และความชื้นของห้องเครื่องระเหย คงที่อย่างน้อย 30 นาที

7) เมื่ออุณหภูมิและความชื้นของห้องคงที่แล้ว ทำการเพิ่มภาระการทำความเย็นให้กับห้องเครื่องระเหย อีก 2 ระดับด้วยการเปิดเครื่องให้ความชื้นเพิ่มเป็น 50% และ 100%

8) ปิดและเก็บอุปกรณ์ทุกอย่างให้เรียบร้อย

3.2.2.2 การทดลองที่ 2.2

ศึกษาผลการทำงานของเครื่องควบคุมอัตราการไหลของอากาศด้วยโปรแกรมควบคุมอัตราการไหลของอากาศตามช่วงความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานดังหัวข้อ2.5.4 โดยการควบคุมอัตราการไหลของอากาศจะปรับตามค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ที่เกิดขึ้น ถ้าความชื้นสัมพัทธ์สูงพัดลมจะทำงานที่อัตราการไหลของอากาศต่ำ และถ้าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำพัดลมก็จะทำงานที่อัตราการไหลของอากาศสูง โดยเครื่องควบคุมจะทำงานตามช่วงความชื้นสัมพัทธ์ดังนี้

15503930
ว/ร.
ก7281ก
2553

ตารางที่ 3.1 ช่วงความชื้นสัมพัทธ์

%RH	ระยะเวลาหน่วง(ms)	อัตราการไหลของอากาศ m^3/min
66-100	6.5	4.62
56-55	6.1	6.14
51-55	5.7	7.34
45-50	5.3	9.50
<45	5.0	10.32

ซึ่งมีวิธีการทดลองเป็นขั้นตอนดังนี้

1) เปิดอุปกรณ์ที่ให้ความร้อนและความชื้นตามค่าที่ตั้งไว้

2) รอจนห้องมีอุณหภูมิ 30°C และความชื้นประมาณ 65% ซึ่งหากค่าความชื้นยังไม่ได้ตามที่ต้องการจะปรับอุปกรณ์ให้ความชื้นจนได้ความชื้นของห้องตามต้องการแล้วจึงปรับมาเป็นค่าที่ตั้งไว้ (เปิดเครื่องให้ความชื้นไว้ที่ 30%)

3) เปิดเครื่องปรับอากาศและปรับให้อยู่ในโหมดการควบคุมอัตราการไหลของอากาศอัตโนมัติ

4) เปิดพัดลมระบายอากาศที่ห้องระบายความร้อน

5) บันทึกค่าอุณหภูมิ ความชื้น ความดัน ณ จุดต่างๆภายในห้อง และบันทึกค่าความถี่ทางไฟฟ้า และพลังงานที่จ่ายให้คอมเพรสเซอร์

6) รอจนกว่าอุณหภูมิในห้องจะคงที่ที่ 25°C อย่างน้อย 30 นาที และทำการเพิ่มภาระการทำความเย็นให้กับห้องอีก 2 ระดับด้วยการเปิดเครื่องให้ความชื้นเพิ่มเป็น 50% และ 100%

7) ปิดอุปกรณ์ทุกอย่างให้เรียบร้อย

3.2.2.3 การทดลองที่ 2.3

ศึกษาผลการทำงานของเครื่องควบคุมอัตราการไหลของอากาศด้วยโปรแกรมควบคุมอัตราการไหลของอากาศตามค่าความชื้นสัมพัทธ์ แบบไม่มีการตรวจสอบกับข้อมูลที่ผ่าน (ตั้งค่าความชื้นของห้องไว้ที่ 55%) ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานดังหัวข้อ 2.5.5 โดยจะควบคุมให้อุณหภูมิ

ของห้องเครื่องระเหย และอุณหภูมิห้องระบายความร้อน มีอุณหภูมิเท่ากับ 25°C และ 32°C ตามลำดับซึ่งมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1) เปิดอุปกรณ์ที่ให้ความร้อนและความชื้นตามค่าที่ตั้งไว้

2) รอจนห้องมีอุณหภูมิ 30°C และความชื้นประมาณ 65 % ซึ่งหากค่าความชื้นยังไม่ได้ตามที่ต้องการจะปรับอุปกรณ์ให้ความชื้นจนได้ความชื้นของห้องตามที่ต้องการแล้วจึงปรับมาเป็นค่าที่ตั้งไว้ (เปิดเครื่องให้ความชื้นไว้ที่ 30%)

3) เปิดเครื่องปรับอากาศและปรับอยู่ในโหมดควบคุมอัตราการไหลของอากาศอัตโนมัติ โดยจะกำหนดค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ 55%

4) เปิดพัดลมระบายอากาศที่ห้องระบายความร้อน

5) บันทึกค่าอุณหภูมิ ความชื้น ความดัน ณ จุดต่างๆภายในห้องและบันทึกค่าความถี่ทางไฟฟ้าและพลังงานที่จ่ายให้คอมเพรสเซอร์

6) รอจนกว่าอุณหภูมิในห้องจะคงที่ที่ 25°C อย่างน้อย 30นาทีและทำการเพิ่มภาระการทำความเย็นให้กับห้อง อีก 2 ระดับด้วยการเปิดเครื่องให้ความชื้นเพิ่มเป็น 50% และ 100%

7) ปิดอุปกรณ์ทุกอย่างให้เรียบร้อย

3.2.2.4 การทดลองที่ 2.4

ศึกษาผลการทำงานของเครื่องควบคุมอัตราการไหลของอากาศด้วยโปรแกรมควบคุมอัตราการไหลของอากาศตามค่าความชื้นสัมพัทธ์ แบบมีการตรวจสอบกับข้อมูลที่ผ่านมา (ตั้งค่าความชื้นของห้องไว้ที่ 55%) ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานดังหัวข้อ 2.5.6 โดยจะควบคุมให้อุณหภูมิของห้องเครื่องระเหย และอุณหภูมิห้องระบายความร้อนมีอุณหภูมิเท่ากับ 25°C และ 32°C ตามลำดับ ซึ่งมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1) เปิดอุปกรณ์ที่ให้ความร้อนและความชื้นตามค่าที่ตั้งไว้

2) รอจนห้องมีอุณหภูมิ 30°C และความชื้นประมาณ 65% ซึ่งหากค่าความชื้นยังไม่ได้ตามที่ต้องการจะปรับอุปกรณ์ให้ความชื้นจนได้ความชื้นของห้องตามที่ต้องการแล้วจึงปรับมาเป็นค่าที่ตั้งไว้ (เปิดเครื่องให้ความชื้นไว้ที่ 30%)

3) เปิดเครื่องปรับอากาศและปรับอยู่ในโหมดควบคุมอัตราการไหลของอากาศอัตโนมัติ โดยจะกำหนดค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ 55%

4) เปิดพัดลมระบายอากาศที่ห้องระบายความร้อน

5) บันทึกค่าอุณหภูมิ ความชื้น ความดัน ณ จุดต่างๆภายในห้องและบันทึกค่าความถี่ทางไฟฟ้าและพลังงานที่จ่ายให้คอมเพรสเซอร์

6) รอจนกว่าอุณหภูมิในห้องจะคงที่ที่ 25°C อย่างน้อย 30นาทีและทำการเพิ่มภาระการทำความเย็นให้กับห้องอีก 2 ระดับด้วยการเปิดเครื่องให้ความชื้นเพิ่มเป็น50% และ 100%

7) ปิดอุปกรณ์ทุกอย่างให้เรียบร้อย

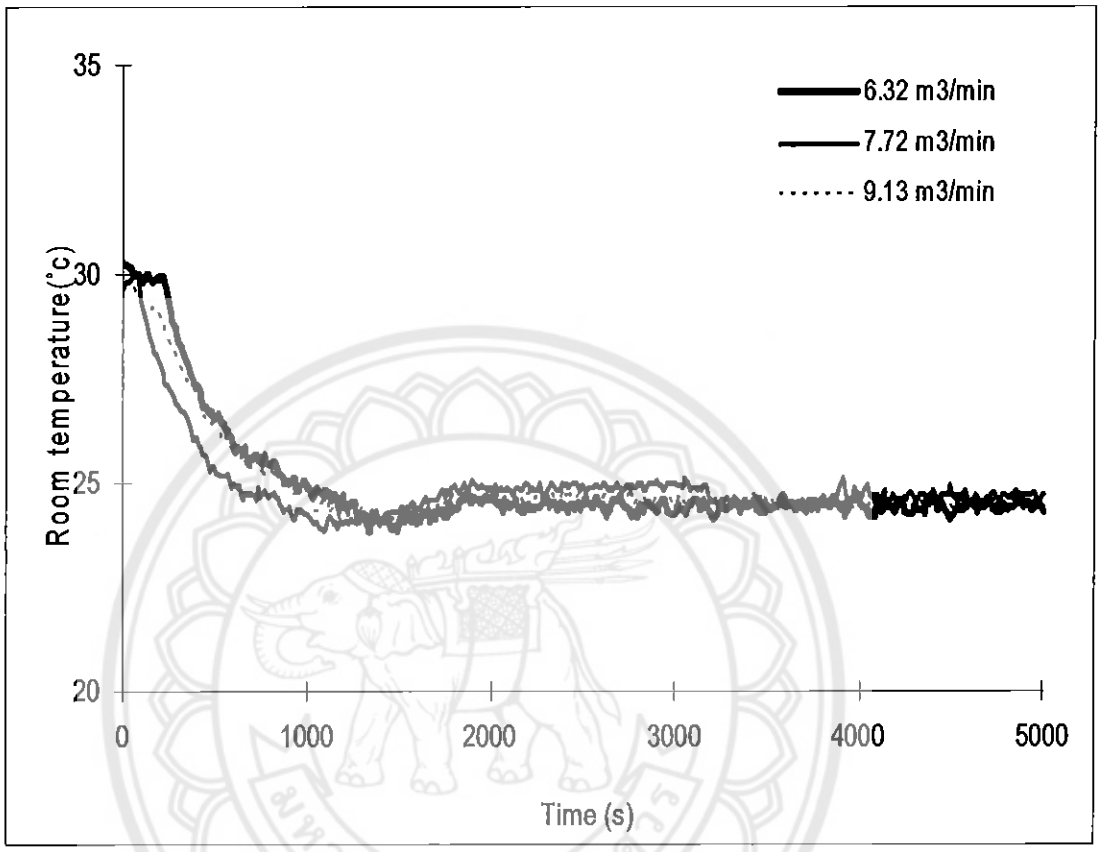
บทที่ 4
การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในบทนี้จะเป็นการวิเคราะห์ผลการทดลองของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ที่แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วนคือ การทดลองที่ไม่มีการควบคุมอัตราการไหลของอากาศ โดยมีการควบคุมภาระการทำความเย็นให้คงที่ตลอดการทดลอง และใช้อัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องระเหยจำนวน 3 ระดับ คือ6.32 m^3/min, 7.72 m^3/min และ9.13 m^3/min เพื่อศึกษาสภาวะของห้องปรับอากาศโดยจะพิจารณาที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของห้องปรับอากาศร่วมกับ สมรรถนะการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ และการทดลองที่มีการควบคุมอัตราการไหลของอากาศ โดยมีการเพิ่มภาระการทำความเย็นระหว่างการทดลองด้วยการเปิดเครื่องให้ความชื้นไว้ที่ 30% จากนั้นจะทำการเพิ่มเป็น 50% และ100% ตามลำดับ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

4.1 ผลการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ที่มีการควบคุมภาระการทำความเย็นของห้องให้คงที่ตลอดการทดลอง

ในการทดลองจะเปิดเครื่องปรับอากาศเมื่อห้องมีอุณหภูมิ 30°C ความชื้น 65% และปรับอัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องระเหย 3 ระดับ คือ 6.32 m^3/min, 7.72 m^3/min และ 9.13 m^3/min โดยตั้งค่าอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศไว้ที่ 25°C ควบคุมอุณหภูมิของอากาศที่ทางเข้าคอนเดนเซอร์ไว้ที่ 32°C และจะควบคุมภาระการทำความเย็นของห้องให้มีค่าใกล้เคียงกันทุกๆอัตราการไหล

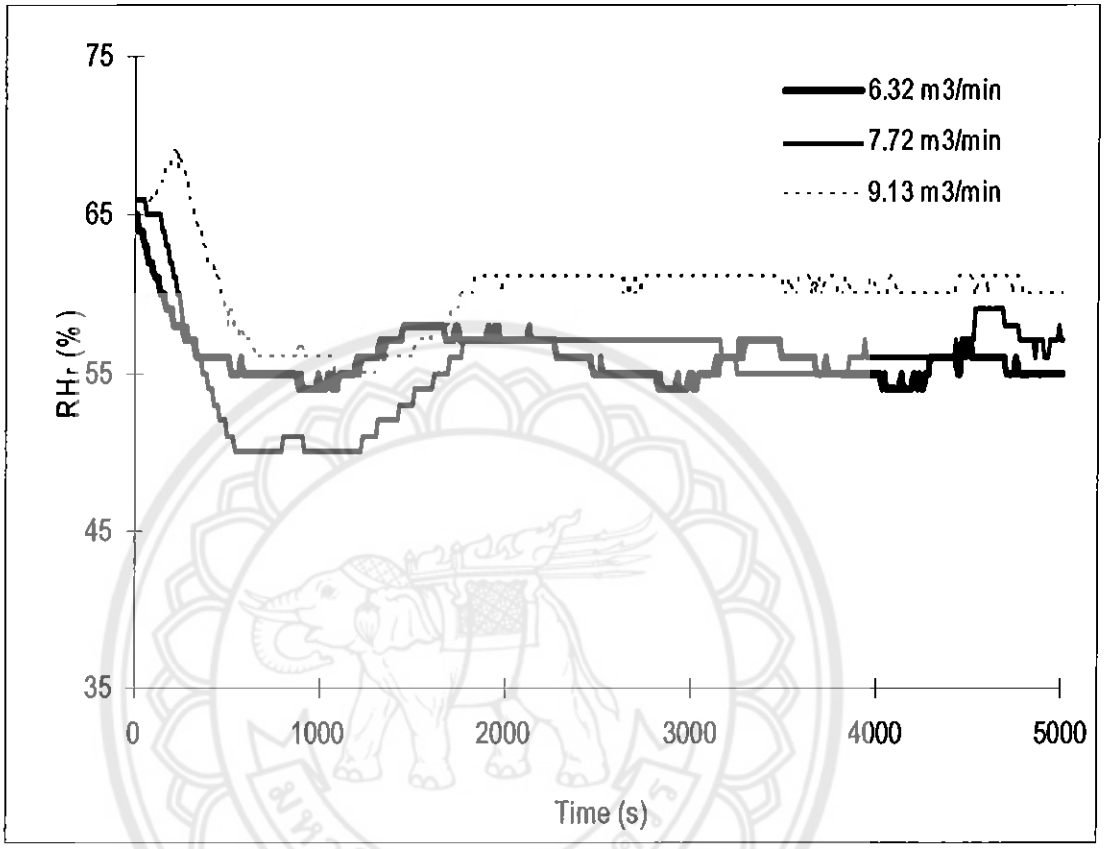
4.1.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของห้องที่ใช้อัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องระเหยที่แตกต่างกัน



กราฟที่ 4.1.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของห้องที่ใช้อัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องระเหยที่แตกต่างกัน

กราฟที่ 4.1.1 แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของห้องที่ใช้อัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องระเหยที่แตกต่างกัน จากกราฟจะพบว่าอุณหภูมิของห้อง ที่ใช้อัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องระเหยทั้ง 3 ระดับจะลดลง และเข้าสู่อุณหภูมิที่ตั้งค่าไว้และมีค่าค่อนข้างคงที่ เนื่องจากคอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์สามารถปรับความเร็วรอบเพื่อควบคุมอัตราการไหลของสารทำความเย็นให้เหมาะสมกับภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้น ไม่ว่าอัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องระเหยจะมากหรือน้อย

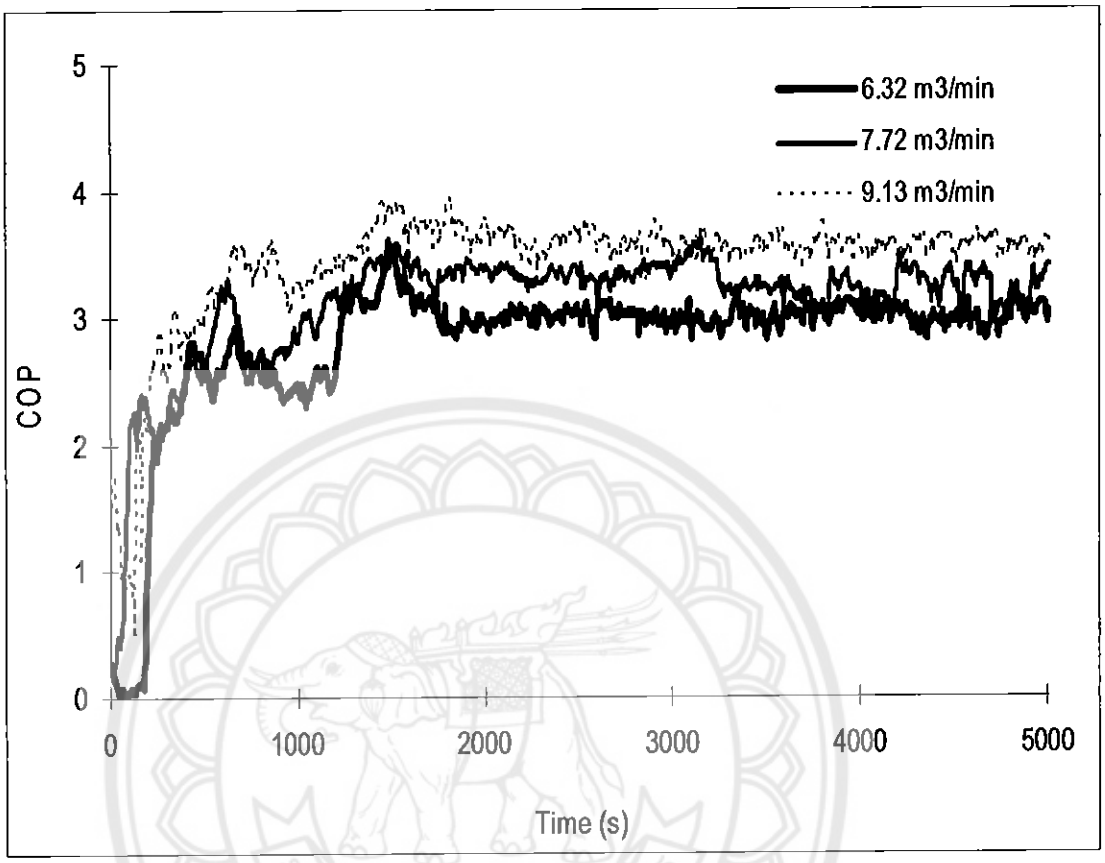
4.1.2 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของห้องที่ใช้อัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องระเหยที่แตกต่างกัน



กราฟที่ 4.1.2 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของห้องที่ใช้อัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องระเหยที่แตกต่างกัน

กราฟที่ 4.1.2 แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ของห้องที่ใช้อัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องระเหยที่แตกต่างกัน จากกราฟจะพบว่าเมื่อเปิดเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ คอมเพรสเซอร์จะทำงานที่ความเร็วรอบสูงสุด เครื่องปรับอากาศจึงสามารถดึงความชื้นจากอากาศได้มาก ทำให้ในช่วงเริ่มต้นความชื้นสัมพัทธ์ของห้องจะถูกดึงลงมาต่ำมาก จนเมื่ออุณหภูมิห้องเท่ากับค่าที่ตั้งไว้ คอมเพรสเซอร์จะลดความเร็วรอบลง ความชื้นสัมพัทธ์ของห้องก็จะเริ่มสูงขึ้น ซึ่งจากกราฟจะเห็นว่าการใช้อัตราการไหลของอากาศในระดับที่สูงกว่า จะส่งผลให้ระดับค่าความชื้นสัมพัทธ์ของห้องสูงกว่า ในทุกช่วงของการทำงาน

4.1.3 สมรรถนะของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์



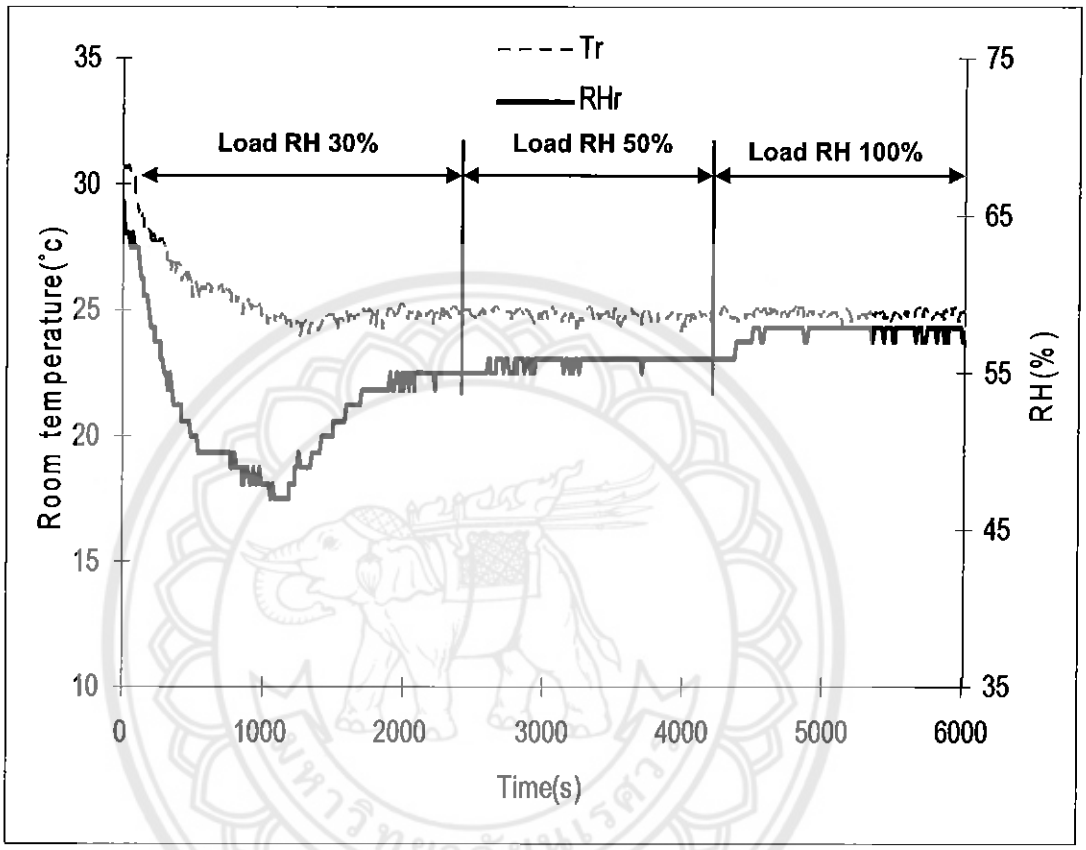
กราฟที่ 4.1.3 สมรรถนะของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์

กราฟที่ 4.1.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า COP ของเครื่องปรับอากาศที่ใช้อัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องระเหยที่แตกต่างกัน จากกราฟจะเห็นว่าค่า COP ของเครื่องปรับอากาศ ในช่วงแรกของการทำงานของเครื่องปรับอากาศจะสูงเนื่องจากการทำงานเต็มกำลังของคอมเพรสเซอร์ และจะค่อยๆสูงขึ้นเมื่อคอมเพรสเซอร์ลดความเร็วรอบลงเมื่ออุณหภูมิของห้องเข้าสู่ค่าอุณหภูมิที่ตั้งค่าไว้ แต่อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าการใช้อัตราการไหลของอากาศในระดับที่สูงกว่า จะส่งผลให้ระดับค่า COP สูงกว่าด้วย

4.2 ผลการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์โดยมีการควบคุมความชื้น

ในการทดลองศึกษาผลการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ ที่มีการปรับอัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องเหย เพื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลการทดลองเมื่อมีการควบคุมอัตราการไหลของอากาศที่ผ่านเครื่องระเหย ซึ่งโครงงานนี้จะมีรูปแบบการควบคุมแบบย้อนกลับ (Freed Back Control)ซึ่งมีข้อกำหนดในการควบคุม 2 แบบคือ แบบ Look Up Control โดยปรับปริมาณของอัตราการไหลของอากาศตามระดับของความชื้นสัมพัทธ์ของห้องที่วัดได้ และแบบที่ 2 คือ ควบคุม P โดยปรับเปลี่ยนปริมาณของอัตราการไหลของอากาศตามค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ตั้งค่าไว้ ซึ่งในการทดลองจะใช้อัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องเหยให้มีค่าที่เท่ากับ 7.72 m^3/min โดยตั้งค่าอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศไว้ที่ 25°C และควบคุมอุณหภูมิของอากาศที่ทางเข้าคอนเดนเซอร์ไว้ที่ 32°C ระหว่างการทดลองจะทำการเปิดเครื่องให้ความชื้นไว้ที่ 30% จากนั้นจะทำการเพิ่มเป็น 50% และ100% ตามลำดับ และจะทำการปรับเช่นนี้ในทุกๆรูปแบบของการควบคุมอัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องระเหย

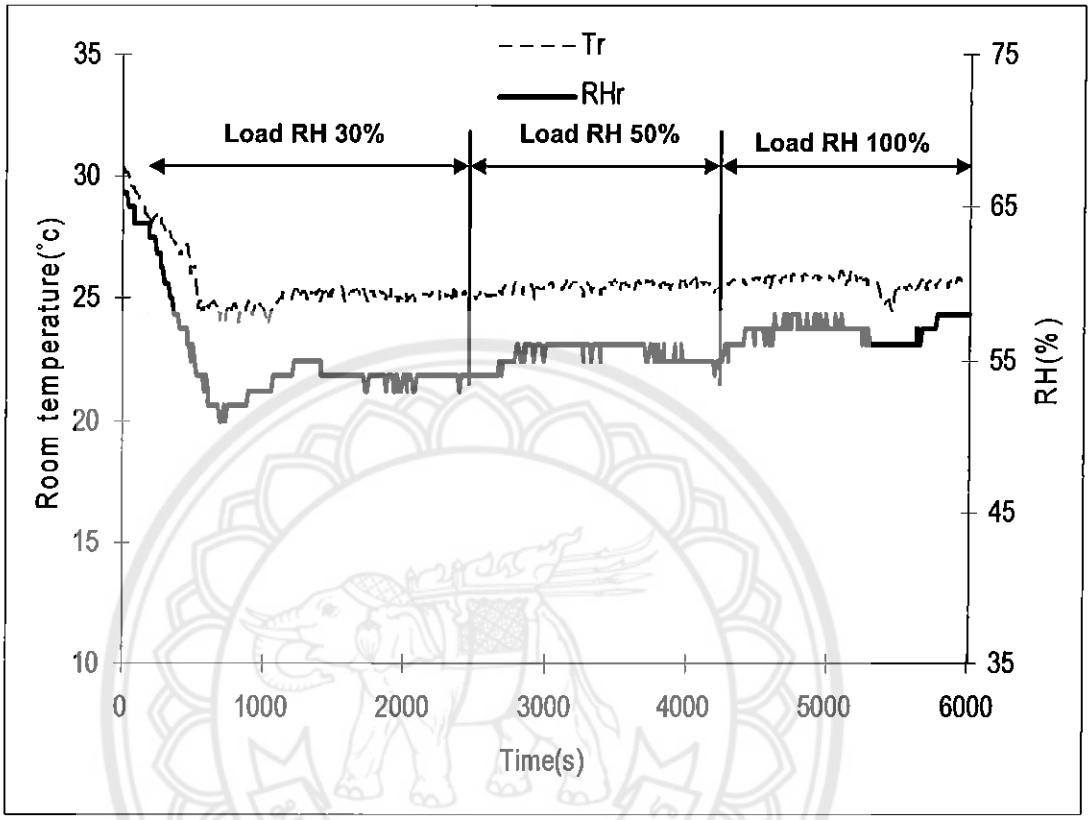
4.2.1. การควบคุมอัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องเหยให้มีค่าเท่ากับ 7.72 m^3/min ตลอดการทดลอง



กราฟที่ 4.2.1 การควบคุมอัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องเหยให้มีค่าเท่ากับ **7.72 m^3/min ตลอดการทดลอง**

กราฟที่ 4.2.1 แสดงค่าของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ห้องในกรณีที่ไม่มีการควบคุมอัตราการไหลของอากาศ จะเห็นว่าหากมีการเพิ่มค่าความชื้นเข้าสู่ห้องปรับอากาศจะทำให้ห้องปรับอากาศมีความชื้นสูงขึ้น เนื่องจากเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์จะรักษาอุณหภูมิห้องให้มีค่าคงที่โดยไม่ได้พิจารณาที่ความชื้นสัมพัทธ์

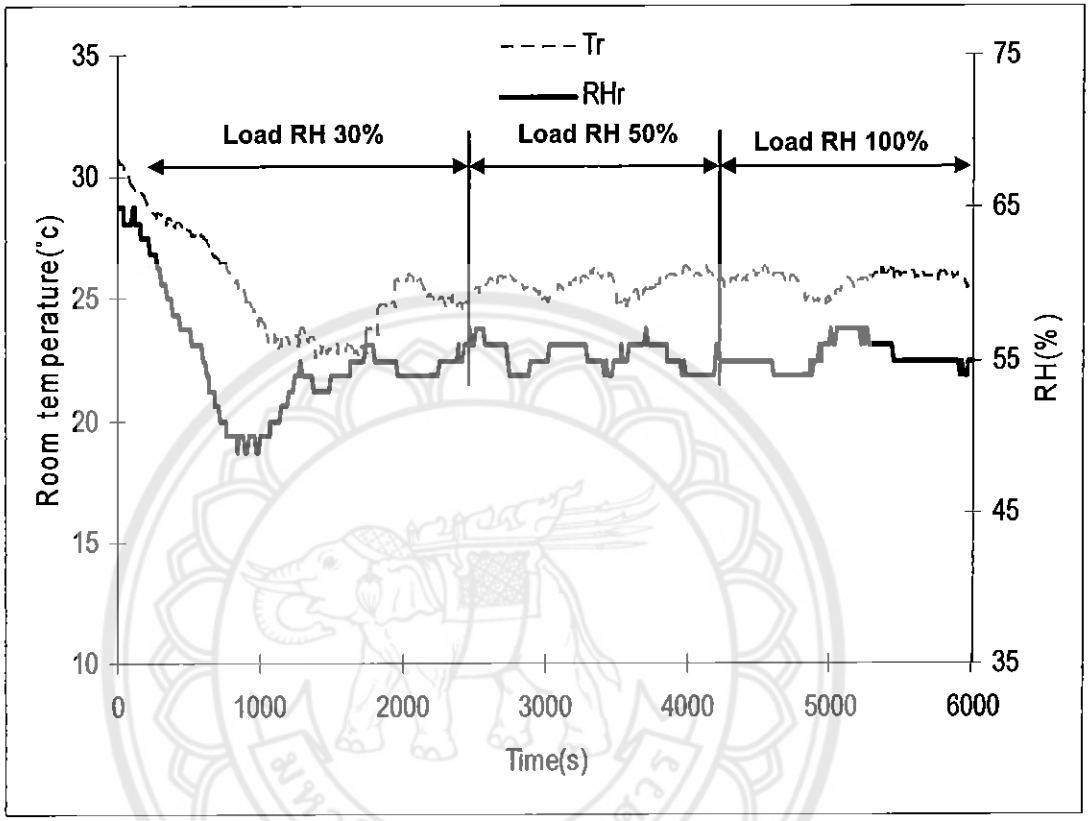
4.2.2 การควบคุมอัตราการไหลของอากาศตามระดับของความชื้นสัมพัทธ์ของห้องที่วัดได้



กราฟที่ 4.2.2 การควบคุมอัตราการไหลของอากาศตามระดับของความชื้นสัมพัทธ์ของห้องที่วัดได้

กราฟที่ 4.2.2 แสดงค่าของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของห้องในกรณีที่มีการควบคุมอัตราการไหลของอากาศตามระดับของความชื้นสัมพัทธ์ของห้องที่วัดได้ จะเห็นว่า ในช่วงแรกของการเพิ่มความชื้นเข้าสู่ห้องปรับอากาศจะทำให้ห้องปรับอากาศมีความชื้นสูงเนื่องจากค่าความชื้นที่เพิ่มขึ้นยังไม่เพียงพอที่จะทำให้พัดลมเปลี่ยนความเร็วรอบ ดังนั้นในช่วงนี้อากาศจะไหลผ่านเครื่องระเหยด้วยอัตราการไหลที่คงที่ และส่วนของการเพิ่มความชื้นเข้าสู่ห้องในช่วงสุดท้ายความชื้นของห้องจะก็ยังเพิ่มขึ้นแม้ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลที่ต่ำลง อย่างไรก็ตามแม้ว่าความชื้นและอุณหภูมิของห้องจะไม่มีการแกว่งแต่ก็ไม่สามารถกำหนดค่าความชื้นตามที่เราต้องการได้

4.2.3 การควบคุมอัตราการไหลของอากาศตามค่าความชื้นสัมพัทธ์ แบบไม่มีการตรวจสอบกับข้อมูลที่โปรแกรมได้อ่านครั้งที่ผ่านมา

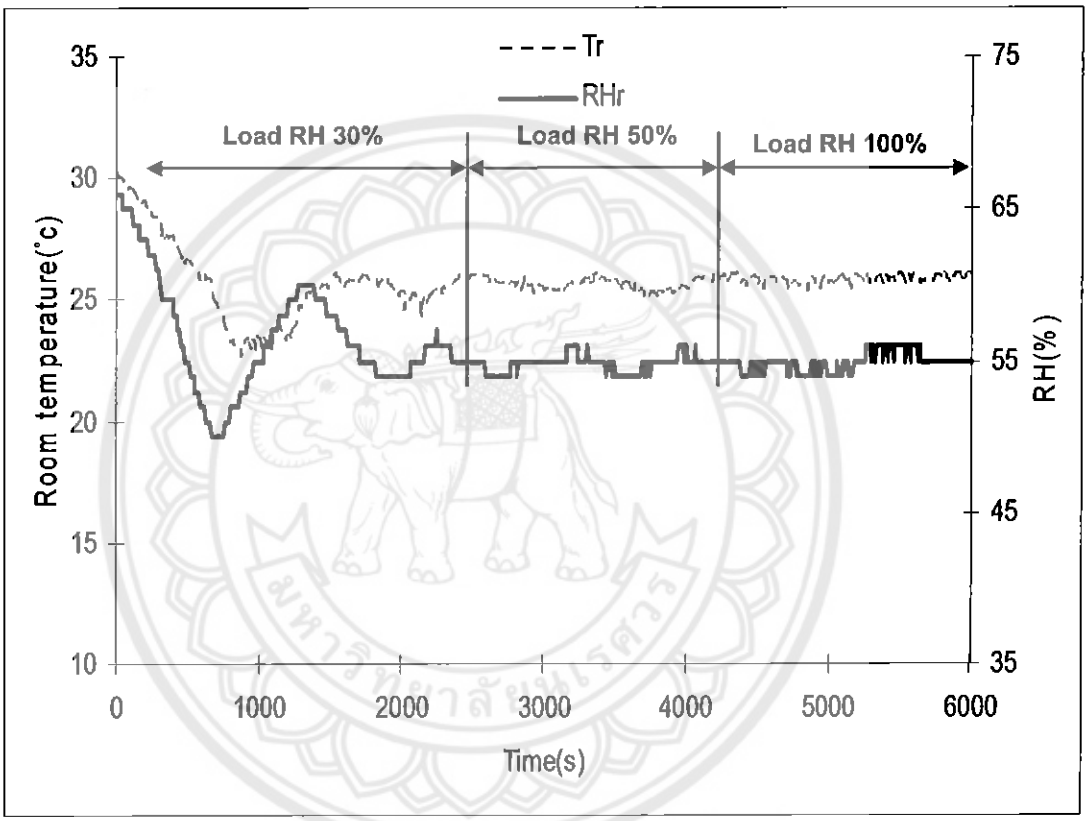


กราฟที่ 4.2.3 การควบคุมอัตราการไหลของอากาศตามค่าความชื้นสัมพัทธ์ แบบ**ไม่มีการตรวจสอบกับข้อมูลที่โปรแกรมได้อ่านครั้งที่ผ่านมา**

กราฟที่ 4.2.3 แสดงค่าของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ห้องในกรณีที่ใช้การควบคุมอัตราการไหลของอากาศตามค่าความชื้นสัมพัทธ์ แบบไม่มีการตรวจสอบกับข้อมูลที่ผ่านมา จะเห็นว่า มีการแกว่งทั้งค่าของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของห้อง ทั้งในช่วงแรกและช่วงการเพิ่มค่าความชื้น ทั้งนี้เนื่องจาก ช่วงเวลาการทำงานของโปรแกรมมีความรวดเร็วเกินไป ทำให้มีการสั่งเพิ่มหรือลดความเร็วรอบของพัดลมเร็วเกินหรือระยะในการรับข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์มีช่วงที่สั้นเกินไป เนื่องจาก วิธีการสั่งงานในรูปแบบนี้ หากโปรแกรมรับข้อมูลค่าความชื้นสัมพัทธ์มีค่ามากหรือน้อยกว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ตั้งไว้ โปรแกรมจะสั่งงานให้ลดหรือเพิ่มอัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องระเหย ทุกครั้งที่อ่านค่าข้อมูล โดยไม่ได้เปรียบเทียบกับข้อมูลที่อ่านครั้งก่อน ทำ

ให้มีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลน้อยหรือมากเกินไป จึงมีผลทำให้อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของห้องมีค่าแกว่งตามไปด้วย

4.2.4 การควบคุมอัตราการไหลของอากาศตามค่าความชื้นสัมพัทธ์ แบบมีการตรวจสอบกับข้อมูลที่โปรแกรมได้อ่านครั้งที่ผ่านมา



กราฟที่ 4.2.4 การควบคุมอัตราการไหลของอากาศตามค่าความชื้นสัมพัทธ์ แบบไม่มีการตรวจสอบกับข้อมูลที่โปรแกรมได้อ่านครั้งที่ผ่านมา

กราฟที่ 4.2.4 แสดงค่าของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ห้องในกรณีที่ใช้การควบคุมอัตราการไหลของอากาศตามค่าความชื้นสัมพัทธ์ แบบมีการตรวจสอบกับข้อมูลที่โปรแกรมได้อ่านในครั้งที่ผ่านมา ถ้าการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลจากการสั่งงานครั้งที่ผ่านมามีผลกับค่าความชื้นสัมพัทธ์ของห้องไปในทิศทางที่ต้องการแล้ว ก็จะรักษาอัตราการไหลค่านั้นไว้ จากรูปจะเห็นว่าอุณหภูมิของห้องจะลดลงและเข้าใกล้อุณหภูมิที่ตั้งไว้และมีการแกว่งไปมาในช่วงแคบๆอยู่ระหว่าง

25-26°C ส่วนความชื้นของห้องจะลดลงและมีค่าเข้าใกล้กับค่าความชื้นที่ตั้งไว้ โดยจะมีการแกว่งในช่วงแคบๆ ระหว่าง 55-56% ซึ่งอุณหภูมิและความชื้นของห้องจะมีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะเช่นนี้ตลอดการทดลอง ถึงแม้จะมีการเพิ่มภาระการทำความเย็นให้กับห้องระหว่างการทดลอง ทั้งนี้เนื่องจาก ช่วงการทำงานของโปรแกรมที่พอดี ทำให้มีการสั่งเพิ่มหรือลดความเร็วรอบของพัดลมอย่างเหมาะสม เนื่องจากวิธีการสั่งงานในรูปแบบนี้ หากโปรแกรมรับข้อมูลค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่มีค่ามากหรือน้อยกว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ตั้งไว้ โปรแกรมจะไม่สั่งงานให้ลดหรือเพิ่มอัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องระเหย แต่จะนำค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้มาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่อ่านได้ในครั้งที่ผ่านมาว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปในทางที่ต้องการแล้วหรือไม่ จากนั้นจึงทำการเพิ่มหรือลดอัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องระเหย จึงทำให้อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของห้องมีค่าแกว่งอยู่ในช่วงแคบๆดังกราฟ

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองศึกษาการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ที่ใช้อัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องระเหยที่แตกต่างกัน เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้นของห้อง และการควบคุมความชื้นของห้องด้วยการปรับอัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องระเหยสามารถสรุปได้ดังนี้

ผลจากการทดลองของการใช้อัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องระเหยพบว่าอุณหภูมิของห้องที่ใช้อัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องระเหยทั้ง 3 สามารถรักษาระดับอุณหภูมิของห้องได้ตามที่ตั้งไว้และจะมีค่าไม่แตกต่างกัน แต่ในส่วนของความชื้นของห้องจะพบว่าที่อัตราการไหลของอากาศต่ำจะทำให้ห้องมีความชื้นต่ำและที่อัตราการไหลของอากาศสูง จะทำให้ห้องมีความชื้นสูงขึ้นไปด้วย ในส่วนของค่า COP จะพบว่าที่อัตราการไหลของอากาศสูงจะมีค่า COP สูงกว่าที่อัตราการไหลต่ำ

ผลการทดลองของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ที่ใช้อัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องระเหยที่มีค่าเท่ากับ 7.722 m^3/min และระหว่างทดลองจะมีการเพิ่มภาระการทำความเย็นเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้นของห้อง พบว่าอุณหภูมิของห้องจะมีค่าคงที่ตามอุณหภูมิที่ตั้งไว้ (25 °C) แม้มีการเพิ่มภาระการทำความเย็นให้กับห้อง แต่ความชื้นของห้องจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มภาระการทำความเย็น

ผลการทดลองควบคุมความชื้นของห้องด้วยการปรับอัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องระเหยซึ่งแบ่งการควบคุมออกเป็น 3 แบบ พบว่าการควบคุมอัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องระเหยแบบที่ 3 สามารถควบคุมความชื้นของห้องให้มีค่าตามที่กำหนดได้และอุณหภูมิของห้องมีค่าค่อนข้างคงที่ดังนั้นสามารถนำการควบคุมอัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องระเหยแบบที่ 3 ไปใช้ในงานปรับอากาศเพื่อการประหยัดพลังงานและความสบายเชิงความร้อน

การประยุกต์ใช้การควบคุมความชื้นด้วยการปรับอัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องระเหยเพื่อลดการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ จะสามารถทำได้โดยการตั้งค่าความชื้นของห้องให้สูงเพื่อลดการกำจัดความชื้น (LH) ที่ไม่จำเป็น และสามารถนำมาควบคุมควบคุมความชื้นของห้องให้มีความเหมาะสมต่อผู้อยู่อาศัย

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากโครงงานเรื่องการควบคุมความชื้นของห้องโดยการปรับอัตราการไหลของอากาศที่ผ่านเครื่องระเหยของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์เราจะพบว่า อุปกรณ์การตรวจวัดอุณหภูมิของเครื่อง AP-104 ยังมีความละเอียดของค่าที่ได้จากการวัดน้อย จึงส่งผลให้ค่าที่ได้จากการวัดมีความคาดเคลื่อน และทำให้กราฟที่ได้มีความผิดพลาดของข้อมูลในบางส่วน ทำให้กราฟที่ได้เกิดการกระจุกตัวของข้อมูล หรือข้อมูลบางส่วนขาดหายไป เนื่องจากค่าที่ได้จากการวัดจะวัดค่าเป็นจำนวนเต็ม ถึงแม้ค่าความชื้นจะเปลี่ยนไปในระดับทศนิยมก็จะไม่มีผลต่อค่าที่ประมวลผลออกมา

เอกสารอ้างอิง

1. Rachapradit, N., Thepa S. and Monyakulb, V., "Effect of refrigerant flow and air flow on performance of inverter split type air-conditioner", Proceedings of the International Conference on Engineering, Applied Sciences, and Technology, Bangkok, Thailand, November 21 – 23, 2007, pp. 323-326.
2. ASHRAE, 1997, Fundamentals Handbook, Psychometrics, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, New York, CD Rom

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณ

ก.1 ตัวอย่างการคำนวณ

ความดันบรรยากาศ	P	$= 101$	kPa
ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ	c_{pa}	$= 1.02$	$kJ/(kg \cdot K)$
ปริมาณเอนทัลปีจากการกลั่นตัว	i_{fg}	$= 2548$	kJ/kg
อัตราการไหลของอากาศ	m_a	$= 0.11$	kg/s
จำนวนรอบการหมุนของ Watt hour-meter	n	$= 3$	rev
เวลาที่ Watt hour-meter หมุน	t	$= 19.69$	s
อุณหภูมิที่ทางเข้าเครื่องระเหย	t_{ei}	$= 26.49$	$^\circ C$
อุณหภูมิที่ทางออกเครื่องระเหย	t_{eo}	$= 18.04$	$^\circ C$
ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ทางเข้าเครื่องระเหย	RH_{ei}	$= 62\ \%$	
ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ทางออกเครื่องระเหย	RH_{eo}	$= 90\ \%$	

การคำนวณหาค่าความชื้นจำเพาะที่ทางเข้าและออกเครื่องระเหย (ω)

จากสมการ $$P_{vs} = \exp\left(\frac{c_1}{T} + c_2 + c_3 T + c_4 T^2 + c_5 T^3 + c_6 \ln T\right)$$

c คือ ค่าคงที่ ซึ่ง $c_1 = -5008.2206$, $c_2 = 1.3914993$, $c_3 = -0.04860239$, $c_4 = 4.1764768\times10^{-5}$, $c_5 = -1.445209\times10^{-8}$ และ $c_6 = 6.5459673$

$$P_{vsi} = \exp\left(\frac{-5008.2206}{(299.49)} + 1.3914993 - (0.04860239\times299.49) + (4.1764768\times10^{-5}\times299.49^2) - (1.445209\times10^{-8}\times299.49^3) + (6.5459673\ln299.49\right)$$

$$= 3.465\ \ kPa$$

$$P_{vso} = \exp\left(\frac{-5008.2206}{(291.04)} + 1.3914993 - (0.04860239\times291.04) + (4.1764768\times10^{-5}\times291.04^2) - (1.445209\times10^{-8}\times291.04^3) + (6.5459673\ln291.04)\right)$$

$$= 2.072\ \ kPa$$

จากสมการ $$\omega = \frac{0.622P_v}{(P - P_v)} = \frac{0.622\phi P_{vs}}{(P - \phi P_{vs})}$$

$$\omega_{ei} = \frac{0.622\times0.62\times3.465}{(101 - 0.62\times3.465)}$$

$$= 0.0135 \quad kJ/kg_{dryair}$$

$$\omega_{eo} = \frac{0.622 \times 0.90 \times 2.072}{(101 - 0.90 \times 2.072)}$$

$$= 0.0117 \quad kJ/kg_{dryair}$$

การคำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนแฝง (Q_l)

จากสมการ $Q_l = m_a(i_{fg})(\omega_{ei} - \omega_{eo})$

$$= 0.11 \times 2548(0.0137 - 0.0117)$$

$$= 0.561 \quad kW$$

การคำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนสัมผัส (Q_s)

จากสมการ $Q_s = m_a c_{pa}(t_{ai} - t_{ao})$

$$= 0.11 \times 1.02 \times (26.49 - 18.04)$$

$$= 0.948 \quad kW$$

การคำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนรวม (Q_T)

จากสมการ $Q_T = Q_l + Q_s$

$$= 0.561 + 0.948$$

$$= 1.509 \quad kW$$

การคำนวณกำลังที่จ่ายให้คอมเพรสเซอร์ (W_c)

จากสมการ $W_c = \frac{3600}{1200} \times \frac{n}{t}$

$$= \frac{3600}{1200} \times \frac{3}{19.69}$$

$$= 0.458 \quad kW$$

การคำนวณสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP)

จากสมการ $$COP = \frac{Q_T}{W_c}$$

$$= \frac{1.509}{0.458}$$

$$= 3.291$$

ภาคผนวก ข

ผลการทดลอง

ข.1 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ 1

Time (s)	Tr			RHr			COP		
	6.32 m^3/min	7.72 m^3/min	9.13 m^3/min	6.32 m^3/min	7.72 m^3/min	9.13 m^3/min	6.32 m^3/min	7.72 m^3/min	9.13 m^3/min
0	30.20	29.67	30.33	65	66	65	0.2666	0.2618	1.4421
10	30.22	29.76	30.25	65	66	65	0.2578	0.1570	1.5058
20	30.21	29.81	30.23	64	66	65	0.1506	0.1714	1.7528
30	30.16	29.82	30.03	64	66	65	0.1009	0.3196	1.3788
40	30.14	29.88	29.86	64	66	65	0.0639	0.4782	1.3338
50	30.05	29.94	29.74	63	66	65	0.0147	0.4112	1.1991
60	30.00	29.99	29.62	63	65	65	0.0760	0.4982	0.9528
70	29.97	29.98	29.50	62	65	65	0.0670	0.7258	1.0072
80	30.02	29.81	29.40	62	65	66	0.0082	1.2582	0.8691
90	29.96	29.36	29.33	62	65	66	0.0384	1.5717	0.9855
100	29.82	29.21	29.29	61	65	66	0.0342	2.0193	0.9227
110	29.86	29.01	29.25	61	65	66	0.0812	2.1912	0.8548
120	30.00	28.84	29.22	61	65	67	0.0464	2.2021	0.7567
130	29.98	28.63	29.23	60	65	67	0.0462	2.2586	0.5275
140	29.89	28.46	29.20	60	64	67	0.1042	1.9864	1.5536
150	29.84	28.36	29.15	60	64	67	0.0940	2.2615	2.2866
160	29.90	28.13	29.19	59	63	68	0.1077	2.4127	1.0858
170	29.88	28.12	29.25	59	63	68	0.0789	2.3009	1.7239
180	29.87	27.99	29.06	59	62	68	0.4419	2.3847	2.3670
190	29.95	27.87	28.93	59	62	68	1.1563	2.3079	2.1102
200	29.93	27.75	28.85	58	61	69	1.3433	2.2228	2.2011
210	29.92	27.58	28.83	58	61	69	1.6610	2.1200	2.5262
220	29.90	27.39	28.61	58	60	68	1.9532	2.1384	2.5834
230	29.69	27.36	28.58	58	60	69	2.0734	2.0296	2.6324
240	29.50	27.37	28.51	58	59	68	1.8800	1.9939	2.7567
250	29.23	27.24	28.34	58	59	68	2.0328	1.9920	2.7322

ข.1 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ 1 (ต่อ)

Time (s)	Tr			RHr			COP		
	6.32 m^3/min	7.72 m^3/min	9.13 m^3/min	6.32 m^3/min	7.72 m^3/min	9.13 m^3/min	6.32 m^3/min	7.72 m^3/min	9.13 m^3/min
260	29.01	27.19	28.15	58	58	68	2.1698	2.0643	2.8834
270	28.81	27.06	28.16	57	58	67	2.1413	2.0561	2.5594
280	28.75	26.92	28.03	57	58	67	2.1449	2.1142	2.5980
290	28.42	26.92	27.95	57	57	66	2.1668	2.1405	2.4938
300	28.35	26.75	27.88	57	57	66	2.1872	2.1405	2.5225
310	28.28	26.74	27.58	57	57	65	2.1933	2.2731	2.6529
320	28.11	26.70	27.57	57	56	65	2.2321	2.3417	2.6128
330	28.00	26.65	27.50	56	56	64	2.2902	2.4500	2.7714
340	27.87	26.54	27.38	56	56	64	2.2180	2.4481	3.0517
350	27.78	26.45	27.28	56	56	64	2.1908	2.3634	3.0458
360	27.61	26.28	27.27	56	55	63	2.2752	2.3597	2.8075
370	27.48	26.06	27.23	56	55	63	2.2621	2.3889	2.7171
380	27.39	26.04	27.16	56	55	62	2.4192	2.3955	2.6724
390	27.38	26.06	27.17	56	54	62	2.4288	2.4870	2.8962
400	27.28	25.93	27.03	56	54	62	2.5718	2.5517	2.8900
410	27.16	25.88	26.98	56	54	62	2.6839	2.6376	2.7697
420	26.86	25.69	26.88	56	53	61	2.8104	2.6130	2.8443
430	26.83	25.70	26.76	56	53	61	2.7302	2.6840	2.8591
440	26.86	25.66	26.57	56	53	61	2.8013	2.6584	2.9500
450	26.84	25.63	26.60	56	52	60	2.7233	2.6790	2.8796
460	26.75	25.45	26.49	56	52	60	2.6930	2.5637	2.9809
470	26.67	25.27	26.45	56	52	59	2.7400	2.5909	2.9904
480	26.74	25.38	26.36	56	52	59	2.7304	2.4996	2.9519
490	26.57	25.39	26.44	56	51	59	2.5685	2.5880	3.0155
500	26.57	25.24	26.45	56	51	59	2.6412	2.5178	2.9378
510	26.67	25.25	26.39	56	51	58	2.5692	2.6805	3.0818

ข.1 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ 1 (ต่อ)

Time (s)	Tr			RHr			COP		
	6.32 m^3/min	7.72 m^3/min	9.13 m^3/min	6.32 m^3/min	7.72 m^3/min	9.13 m^3/min	6.32 m^3/min	7.72 m^3/min	9.13 m^3/min
520	26.57	25.19	26.11	55	51	59	2.5484	2.7326	3.0853
530	26.44	25.16	26.09	55	51	58	2.3680	2.8237	3.2582
540	26.44	25.15	26.23	55	50	58	2.3701	2.9038	3.1494
550	26.29	25.18	25.98	55	50	58	2.4521	2.9552	3.0885
560	26.24	25.24	25.96	55	50	57	2.5925	3.0424	3.2136
570	26.14	25.08	25.90	56	50	58	2.5353	3.1422	3.1593
580	26.10	24.90	25.81	55	50	57	2.5869	3.2198	3.2699
590	25.94	25.00	25.84	55	50	57	2.5653	3.2452	3.1309
600	25.76	24.95	25.72	55	50	57	2.6768	3.1398	3.2077
610	25.84	24.88	25.68	55	50	57	2.7203	3.2866	3.1461
620	25.81	24.94	25.68	55	50	57	2.7473	3.2902	3.2724
630	25.82	24.74	25.54	55	50	57	2.7354	3.2116	3.2934
640	25.72	24.61	25.52	55	50	56	2.8220	3.1785	3.3805
650	25.74	24.78	25.61	55	50	56	2.8663	3.1839	3.4821
660	25.88	24.73	25.59	55	50	56	2.9019	3.1590	3.5263
670	25.56	24.75	25.54	55	50	56	2.9260	2.9847	3.5740
680	25.44	24.70	25.56	55	50	56	2.7408	3.0138	3.4669
690	25.58	24.77	25.36	55	50	56	2.7004	2.9175	3.5693
700	25.59	24.70	25.37	55	50	56	2.6617	2.8225	3.5504
710	25.68	24.70	25.59	55	50	56	2.6211	2.6697	3.5293
720	25.69	24.61	25.37	55	50	56	2.6734	2.5015	3.3976
730	25.59	24.87	25.32	55	50	56	2.7300	2.5084	3.4310
740	25.62	24.67	25.30	55	50	56	2.7072	2.5681	3.4021
750	25.47	24.74	25.23	55	50	56	2.5624	2.5065	3.3338
760	25.70	24.81	25.16	55	50	56	2.6139	2.5874	3.2531
770	25.49	24.69	25.31	55	50	56	2.6579	2.6464	3.3422

ข.1 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ 1 (ต่อ)

Time (s)	Tr			RHr			COP		
	6.32 m^3/min	7.72 m^3/min	9.13 m^3/min	6.32 m^3/min	7.72 m^3/min	9.13 m^3/min	6.32 m^3/min	7.72 m^3/min	9.13 m^3/min
780	25.44	24.66	25.35	55	50	56	2.6744	2.6413	3.3755
790	25.46	24.70	25.31	55	50	56	2.7102	2.5465	3.4314
800	25.47	24.74	25.25	55	51	56	2.7592	2.5022	3.5348
810	25.49	24.76	25.10	55	51	56	2.6699	2.5446	3.3836
820	25.44	24.64	25.13	55	51	56	2.5229	2.6776	3.3839
830	25.29	24.63	25.20	55	51	56	2.4892	2.6673	3.3244
840	25.25	24.48	25.07	55	51	56	2.6095	2.6630	3.4345
850	25.18	24.44	25.19	55	51	56	2.4952	2.6397	3.6175
860	25.10	24.34	25.18	55	51	56	2.5887	2.6534	3.5133
870	25.02	24.37	25.02	55	51	56	2.5832	2.7172	3.5545
880	25.03	24.39	24.90	54	51	56	2.4678	2.7570	3.4762
890	25.05	24.39	24.97	55	51	57	2.4819	2.7294	3.3226
900	24.98	24.44	25.08	54	51	56	2.4371	2.7620	3.3076
910	25.03	24.28	25.11	54	50	56	2.3511	2.7784	3.2938
920	25.09	24.16	24.85	54	50	56	2.3852	2.6960	3.1930
930	25.11	24.12	24.66	54	50	56	2.3746	2.7649	3.2022
940	24.96	24.39	24.87	54	50	56	2.3902	2.7198	3.1351
950	24.86	24.32	24.74	54	50	56	2.4298	2.7244	3.0515
960	24.95	24.39	24.94	54	50	56	2.4088	2.7671	3.0368
970	25.02	24.31	24.96	54	50	56	2.4407	2.8379	3.0897
980	25.08	24.27	24.81	55	50	56	2.4439	2.9205	3.2223
990	24.97	24.24	24.75	54	50	56	2.4902	2.8409	3.2839
1000	24.88	24.17	24.64	54	50	56	2.4829	2.8163	3.2676
1010	24.85	24.14	24.69	54	50	56	2.3912	2.9371	3.2548
1020	24.68	24.06	24.46	54	50	56	2.4892	2.9881	3.2073
1030	24.74	24.00	24.48	54	50	56	2.4443	3.0476	3.1681

ข.1 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ 1 (ต่อ)

Time (s)	Tr			RHr			COP		
	6.32 m^3/min	7.72 m^3/min	9.13 m^3/min	6.32 m^3/min	7.72 m^3/min	9.13 m^3/min	6.32 m^3/min	7.72 m^3/min	9.13 m^3/min
1040	24.91	24.09	24.30	55	50	56	2.3011	2.9978	3.2562
1050	24.84	23.97	24.48	55	50	56	2.4013	3.0276	3.2614
1060	24.80	23.88	24.53	54	50	56	2.3876	3.0709	3.2859
1070	24.79	23.89	24.49	55	50	55	2.4691	2.9565	3.2794
1080	24.68	23.85	24.62	54	50	55	2.5183	2.8805	3.2669
1090	24.82	23.83	24.67	54	50	55	2.5775	2.8508	3.3600
1100	24.84	23.92	24.64	55	50	55	2.6176	2.8658	3.3895
1110	24.75	24.12	24.47	55	50	55	2.5165	2.9985	3.4678
1120	24.77	24.17	24.28	55	50	55	2.5297	3.0039	3.3230
1130	24.57	24.12	24.39	55	50	55	2.5977	3.0896	3.3785
1140	24.64	24.01	24.35	55	50	55	2.6100	3.1601	3.3459
1150	24.71	24.10	24.34	55	50	55	2.5411	3.2024	3.3503
1160	24.54	23.92	24.36	55	50	55	2.4190	3.1951	3.3816
1170	24.38	24.04	24.11	55	50	55	2.4478	3.1562	3.3502
1180	24.62	24.06	24.18	55	50	55	2.4869	3.2103	3.3576
1190	24.69	24.02	24.34	56	50	55	2.5450	3.1817	3.4908
1200	24.49	24.10	24.21	55	50	55	2.6956	3.2268	3.3893
1210	24.37	24.08	24.20	56	50	55	2.7935	3.0835	3.5010
1220	24.42	24.01	24.20	56	51	55	2.9642	3.1297	3.3950
1230	24.52	24.12	24.25	56	51	55	3.0282	3.1993	3.4696
1240	24.50	24.06	24.39	56	51	55	3.1591	3.1809	3.3710
1250	24.53	24.11	24.19	56	51	55	3.0610	3.2695	3.3967
1260	24.21	24.04	24.12	56	51	55	3.1513	3.1425	3.4681
1270	24.06	24.15	24.24	56	51	55	3.1414	3.2534	3.4784
1280	24.26	24.20	24.24	56	51	55	3.0632	3.1563	3.4900
1290	24.27	24.21	24.43	56	51	55	3.1571	3.3399	3.4495

ข.1 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ 1 (ต่อ)

Time (s)	Tr			RHr			COP		
	6.32 m^3/min	7.72 m^3/min	9.13 m^3/min	6.32 m^3/min	7.72 m^3/min	9.13 m^3/min	6.32 m^3/min	7.72 m^3/min	9.13 m^3/min
1300	24.28	24.10	24.35	56	51	55	3.1909	3.1734	3.4800
1310	24.17	24.15	24.22	56	52	56	3.2528	3.2362	3.4413
1320	24.17	23.99	24.26	57	52	56	3.2107	3.2740	3.5541
1330	23.96	24.03	24.21	57	52	56	3.1564	3.2424	3.5592
1340	23.83	24.22	24.23	56	52	56	3.1280	3.2689	3.5432
1350	24.29	24.14	24.24	57	52	56	3.0544	3.3358	3.5113
1360	24.12	24.03	24.25	57	52	56	3.1370	3.4275	3.6734
1370	24.28	24.19	24.17	57	52	56	3.1268	3.4291	3.5338
1380	24.16	24.14	24.20	57	52	56	3.1018	3.4648	3.6175
1390	24.00	24.04	24.30	57	52	56	3.1080	3.4557	3.6773
1400	24.08	24.03	24.24	57	52	56	3.1226	3.4311	3.6913
1410	24.16	24.21	24.20	57	52	56	3.1097	3.3839	3.7321
1420	24.08	24.24	24.21	57	53	56	3.1413	3.4701	3.7461
1430	24.23	24.21	24.06	57	53	56	3.2615	3.4478	3.7708
1440	24.14	24.24	24.19	58	53	56	3.2606	3.4813	3.8936
1450	23.89	24.29	24.06	58	53	56	3.3373	3.3598	3.9123
1460	23.88	24.30	24.08	58	53	56	3.3967	3.4487	3.7467
1470	23.98	24.30	24.20	58	53	56	3.4889	3.5488	3.7710
1480	23.86	24.32	24.05	58	53	56	3.4204	3.6190	3.8305
1490	24.04	24.30	24.14	58	53	56	3.5520	3.5598	3.8771
1500	24.22	24.42	24.24	58	53	56	3.5204	3.5418	3.8241
1510	24.10	24.44	24.18	58	54	56	3.5074	3.5695	3.9151
1520	24.08	24.42	24.29	58	54	57	3.3493	3.5932	3.8296
1530	24.10	24.33	24.22	58	54	57	3.3278	3.5752	3.8491
1540	24.19	24.42	24.24	58	54	57	3.1913	3.4644	3.8673
1550	24.27	24.39	24.29	58	54	57	3.2630	3.4675	3.8584

ข.1 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ 1 (ต่อ)

Time (s)	Tr			RHr			COP		
	6.32 m^3/min	7.72 m^3/min	9.13 m^3/min	6.32 m^3/min	7.72 m^3/min	9.13 m^3/min	6.32 m^3/min	7.72 m^3/min	9.13 m^3/min
1560	24.14	24.50	24.24	58	54	57	3.2894	3.3540	3.6834
1570	24.09	24.55	24.33	58	54	57	3.3475	3.4009	3.6640
1580	24.34	24.47	24.28	58	54	57	3.2123	3.4475	3.6995
1590	24.01	24.39	24.35	58	54	57	3.2513	3.5272	3.6561
1600	24.22	24.38	24.25	58	54	57	3.2381	3.3419	3.5773
1610	24.11	24.42	24.13	58	55	58	3.2083	3.3733	3.7154
1620	24.22	24.47	24.15	58	55	58	3.0408	3.4459	3.8058
1630	24.33	24.58	24.50	58	55	58	3.1543	3.4161	3.7047
1640	24.27	24.64	24.42	58	55	58	3.1010	3.4783	3.7266
1650	24.36	24.53	24.31	58	55	58	3.1530	3.3797	3.6670
1660	24.08	24.58	24.28	58	55	58	3.1778	3.3213	3.7376
1670	24.12	24.62	24.42	57	55	58	3.0941	3.3609	3.7633
1680	24.31	24.62	24.34	57	55	58	3.0836	3.3735	3.7468
1690	24.13	24.58	24.37	57	56	58	3.1336	3.3561	3.7074
1700	24.23	24.60	24.37	57	56	59	3.1371	3.2796	3.7854
1710	24.37	24.73	24.52	57	56	59	3.1520	3.2542	3.6948
1720	24.28	24.80	24.48	58	56	59	3.0646	3.2394	3.5514
1730	24.35	24.85	24.53	58	56	59	3.1267	3.1667	3.7606
1740	24.22	24.76	24.56	57	56	59	3.1225	3.1873	3.7503
1750	24.31	24.64	24.51	57	56	59	2.9433	3.3695	3.5786
1760	24.18	24.81	24.64	57	56	60	2.9865	3.3012	3.6557
1770	24.54	24.71	24.55	57	57	60	2.8783	3.3103	3.7585
1780	24.33	24.87	24.61	57	57	60	3.0983	3.3406	3.7232
1790	24.41	24.88	24.65	57	57	60	2.8907	3.3366	3.8650
1800	24.35	24.95	24.69	57	57	60	2.9061	3.3941	3.9557
1810	24.39	24.84	24.74	57	57	60	2.9268	3.3936	3.8938

ข.1 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ 1 (ต่อ)

Time (s)	Tr			RHr			COP		
	6.32 m^3/min	7.72 m^3/min	9.13 m^3/min	6.32 m^3/min	7.72 m^3/min	9.13 m^3/min	6.32 m^3/min	7.72 m^3/min	9.13 m^3/min
1820	24.44	24.75	24.70	57	57	60	2.8901	3.3212	3.7394
1830	24.57	24.83	24.72	57	57	61	2.9049	3.3057	3.7701
1840	24.65	24.90	24.61	57	57	61	2.8521	3.4045	3.6346
1850	24.61	24.99	24.72	57	57	61	2.9504	3.3867	3.7314
1860	24.76	24.86	24.74	57	57	61	2.9042	3.4061	3.7549
1870	24.72	24.81	24.71	57	57	61	3.0150	3.2863	3.6526
1880	24.57	24.92	24.64	57	57	61	3.0612	3.3561	3.6137
1890	24.52	25.05	24.64	57	57	61	3.0325	3.3515	3.6076
1900	24.68	25.02	24.73	58	57	61	3.0358	3.4673	3.7194
1910	24.60	24.96	24.61	57	57	61	2.9638	3.4509	3.6110
1920	24.61	24.86	24.53	57	57	61	2.9670	3.4495	3.5996
1930	24.61	24.89	24.53	58	57	61	2.9403	3.3835	3.5067
1940	24.57	24.92	24.44	57	57	61	2.9101	3.3879	3.5778
1950	24.64	24.88	24.54	58	57	61	2.9119	3.3790	3.6691
1960	24.60	24.91	24.68	57	57	61	3.0240	3.3622	3.5891
1970	24.58	24.89	24.64	57	57	60	2.9429	3.3940	3.6196
1980	24.64	24.85	24.76	57	57	61	3.0248	3.4184	3.5891
1990	24.61	24.89	24.78	57	57	61	2.9919	3.3808	3.7919
2000	24.62	24.84	24.71	57	57	61	2.9661	3.4065	3.7387
2010	24.71	24.88	24.64	57	57	61	2.9419	3.3922	3.6809
2020	24.56	24.94	24.54	57	57	61	2.8800	3.3643	3.6364
2030	24.48	24.84	24.49	57	57	61	2.9898	3.2913	3.5625
2040	24.55	24.85	24.76	57	57	61	2.9796	3.3177	3.6886
2050	24.56	24.86	24.58	57	57	61	2.9384	3.3907	3.6148
2060	24.33	24.81	24.53	57	57	61	2.9889	3.3521	3.7101
2070	24.40	24.86	24.60	57	57	61	2.9927	3.3746	3.6873

ข.1 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ 1 (ต่อ)

Time (s)	Tr			RHr			COP		
	6.32 m^3/min	7.72 m^3/min	9.13 m^3/min	6.32 m^3/min	7.72 m^3/min	9.13 m^3/min	6.32 m^3/min	7.72 m^3/min	9.13 m^3/min
2080	24.54	24.91	24.65	57	57	61	3.0325	3.4312	3.6869
2090	24.41	24.84	24.77	57	57	61	2.9435	3.4002	3.6787
2100	24.40	24.83	24.77	57	57	61	3.0520	3.3952	3.6332
2110	24.47	24.71	24.72	57	57	61	3.0010	3.4252	3.6673
2120	24.51	24.81	24.50	58	57	61	2.9632	3.3991	3.6840
2130	24.57	24.86	24.73	57	57	61	3.0980	3.3610	3.7160
2140	24.38	24.86	24.77	57	57	61	3.0848	3.3982	3.6667
2150	24.42	24.84	24.57	57	57	61	3.0624	3.3197	3.6159
2160	24.31	24.84	24.52	57	57	61	3.0014	3.3561	3.5492
2170	24.46	24.96	24.58	57	57	61	3.0336	3.2955	3.6210
2180	24.31	24.96	24.38	57	57	61	3.0943	3.3317	3.5116
2190	24.39	24.97	24.69	57	57	61	3.0090	3.3302	3.4835
2200	24.47	24.96	24.74	57	57	61	3.0421	3.3204	3.4573
2210	24.35	24.84	24.69	57	57	61	3.0715	3.2942	3.5702
2220	24.42	24.89	24.54	57	57	61	3.0667	3.3106	3.5623
2230	24.34	24.85	24.58	57	57	61	3.0223	3.2119	3.4713
2240	24.42	24.80	24.57	57	57	61	2.9829	3.2911	3.4041
2250	24.40	24.85	24.64	57	57	61	2.9452	3.2651	3.4036
2260	24.40	24.98	24.80	57	57	61	3.0718	3.2599	3.6148
2270	24.49	24.77	24.75	56	57	61	2.9273	3.3108	3.4591
2280	24.54	24.72	24.64	56	57	61	2.9670	3.2828	3.3813
2290	24.71	24.78	24.59	56	57	61	3.0951	3.2731	3.4570
2300	24.64	24.82	24.60	56	57	61	3.0519	3.2715	3.5363
2310	24.44	24.90	24.69	56	57	61	3.0774	3.3208	3.4624
2320	24.53	25.03	24.71	56	57	61	3.0294	3.2892	3.4493
2330	24.48	24.96	24.64	56	57	61	3.0385	3.3383	3.4711

ข.1 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ 1 (ต่อ)

Time (s)	Tr			RHr			COP		
	6.32 m^3/min	7.72 m^3/min	9.13 m^3/min	6.32 m^3/min	7.72 m^3/min	9.13 m^3/min	6.32 m^3/min	7.72 m^3/min	9.13 m^3/min
2340	24.56	24.86	24.64	56	57	61	2.9520	3.3627	3.5187
2350	24.42	24.83	24.58	56	57	61	2.9733	3.4192	3.5506
2360	24.37	24.84	24.66	56	57	61	2.9976	3.3778	3.6071
2370	24.54	24.91	24.60	56	57	61	3.0145	3.3587	3.6215
2380	24.42	24.98	24.74	56	57	61	3.0099	3.3108	3.6442
2390	24.47	24.92	24.83	56	57	61	3.0493	3.3970	3.6124
2400	24.45	24.92	24.81	56	57	61	3.0057	3.3942	3.5568
2410	24.43	25.01	24.64	56	57	61	2.9576	3.3299	3.6122
2420	24.33	24.88	24.71	56	57	61	3.0717	3.2986	3.6479
2430	24.42	24.94	24.67	56	57	61	3.1002	3.2807	3.5800
2440	24.50	25.00	24.59	56	57	61	3.0534	3.3416	3.6791
2450	24.39	25.00	24.56	56	57	61	3.0519	3.3630	3.6366
2460	24.45	24.98	24.59	55	57	61	3.0182	3.4047	3.7153
2470	24.54	24.90	24.71	55	57	61	3.0481	3.4190	3.6858
2480	24.37	24.81	24.70	55	57	61	3.0964	3.3962	3.6632
2490	24.48	24.96	24.66	55	57	61	3.0294	3.3299	3.6372
2500	24.49	24.88	24.52	55	57	61	3.0372	3.4227	3.5871
2510	24.64	24.78	24.69	56	57	61	2.9929	3.2428	3.6590
2520	24.52	24.88	24.76	55	57	61	2.9379	3.3460	3.7238
2530	24.51	24.91	24.69	55	57	61	3.0888	3.2400	3.6973
2540	24.46	24.88	24.58	55	57	61	3.1106	3.3218	3.7361
2550	24.42	24.89	24.57	55	57	61	3.0332	3.2986	3.6566
2560	24.57	24.94	24.63	55	57	61	2.9968	3.3394	3.6530
2570	24.64	24.93	24.73	55	57	61	2.9051	3.3211	3.7166
2580	24.47	24.91	24.61	55	57	61	2.8692	3.2884	3.7125
2590	24.51	24.91	24.41	55	57	61	2.8423	3.2808	3.5119

ข.1 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ 1 (ต่อ)

Time (s)	Tr			RHr			COP		
	6.32 m^3/min	7.72 m^3/min	9.13 m^3/min	6.32 m^3/min	7.72 m^3/min	9.13 m^3/min	6.32 m^3/min	7.72 m^3/min	9.13 m^3/min
2600	24.38	25.00	24.48	55	57	61	3.1461	3.1491	3.5073
2610	24.46	24.94	24.63	55	57	61	3.0869	3.2914	3.5820
2620	24.43	24.98	24.67	55	57	61	3.1166	3.3247	3.6054
2630	24.20	24.89	24.70	55	57	60	3.0945	3.2896	3.6076
2640	24.36	24.83	24.66	55	57	61	3.1111	3.3620	3.6377
2650	24.35	24.88	24.63	55	57	60	3.0931	3.2952	3.5879
2660	24.62	24.82	24.60	55	57	60	3.1484	3.2260	3.4443
2670	24.60	24.86	24.49	55	57	60	3.0118	3.2861	3.4633
2680	24.61	24.98	24.52	55	57	61	3.0626	3.2585	3.5103
2690	24.59	24.86	24.42	55	57	60	3.0467	3.3773	3.5273
2700	24.71	24.88	24.45	55	57	61	2.9984	3.3331	3.4112
2710	24.51	24.85	24.66	55	57	61	3.0974	3.3147	3.3783
2720	24.44	24.82	24.71	55	57	60	3.0253	3.3872	3.5444
2730	24.43	24.93	24.68	55	57	61	3.0332	3.3780	3.5980
2740	24.35	24.92	24.63	55	57	61	3.0413	3.3004	3.6194
2750	24.39	24.85	24.70	55	57	61	3.0197	3.3391	3.5107
2760	24.19	24.92	24.65	55	57	61	3.0566	3.3606	3.5296
2770	24.31	24.91	24.68	55	57	61	3.0253	3.3124	3.5713
2780	24.20	24.90	24.51	55	57	61	3.0683	3.2674	3.5989
2790	24.22	25.01	24.59	55	57	61	3.0300	3.3246	3.5369
2800	24.51	24.94	24.69	55	57	61	3.0416	3.3700	3.5218
2810	24.44	25.00	24.69	55	57	61	3.0519	3.3493	3.5762
2820	24.34	24.86	24.58	54	57	61	2.8625	3.3781	3.6893
2830	24.37	24.82	24.58	55	57	61	3.0185	3.3285	3.5325
2840	24.45	24.84	24.60	54	57	61	3.0421	3.4400	3.4594
2850	24.53	24.94	24.64	54	57	61	2.9396	3.3704	3.4203

ข.1 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ 1 (ต่อ)

Time (s)	Tr			RHr			COP		
	6.32 m^3/min	7.72 m^3/min	9.13 m^3/min	6.32 m^3/min	7.72 m^3/min	9.13 m^3/min	6.32 m^3/min	7.72 m^3/min	9.13 m^3/min
2860	24.52	24.98	24.49	54	57	61	2.9567	3.4099	3.2876
2870	24.45	25.02	24.65	54	57	61	3.0313	3.3571	3.3918
2880	24.43	25.02	24.64	54	57	61	3.0172	3.4169	3.6431
2890	24.44	24.99	24.57	54	57	61	2.9734	3.4242	3.6353
2900	24.30	25.04	24.63	54	57	61	3.0023	3.4223	3.7830
2910	24.35	24.93	24.42	54	57	61	3.0640	3.3881	3.6073
2920	24.58	24.97	24.51	55	57	61	2.9424	3.4345	3.6184
2930	24.57	24.83	24.59	54	57	61	2.9846	3.3895	3.7133
2940	24.62	24.87	24.62	54	57	61	2.9523	3.4383	3.6148
2950	24.33	25.00	24.67	54	57	61	3.0460	3.3924	3.5553
2960	24.31	24.98	24.63	54	57	61	2.8919	3.4134	3.5726
2970	24.26	24.98	24.55	54	57	61	2.9920	3.4218	3.6090
2980	24.26	24.98	24.51	55	57	61	2.9207	3.3168	3.5569
2990	24.23	25.01	24.53	55	57	61	2.9186	3.3438	3.5305
3000	24.29	24.96	24.46	54	57	61	3.0485	3.4350	3.4666
3010	24.49	24.92	24.60	55	57	61	2.8835	3.3744	3.4833
3020	24.36	24.95	24.67	54	57	61	2.9518	3.4417	3.4349
3030	24.39	24.87	24.59	54	57	61	3.0517	3.4646	3.4861
3040	24.34	24.96	24.65	55	57	61	2.9628	3.4328	3.6339
3050	24.35	25.11	24.48	55	57	61	3.0226	3.4449	3.5908
3060	24.28	25.07	24.56	55	57	61	2.9697	3.4629	3.5681
3070	24.44	24.99	24.55	55	57	61	3.0464	3.5351	3.5708
3080	24.56	24.85	24.58	55	57	61	3.1360	3.5159	3.4882
3090	24.46	24.91	24.59	55	57	61	2.8258	3.4939	3.5418
3100	24.59	24.91	24.59	55	57	61	3.0052	3.5815	3.5572
3110	24.58	24.91	24.58	55	57	61	2.9758	3.5763	3.6199

ข.1 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ 1 (ต่อ)

Time (s)	Tr			RHr			COP		
	6.32 m^3/min	7.72 m^3/min	9.13 m^3/min	6.32 m^3/min	7.72 m^3/min	9.13 m^3/min	6.32 m^3/min	7.72 m^3/min	9.13 m^3/min
3120	24.62	24.84	24.53	55	57	61	3.0214	3.5898	3.6170
3130	24.45	24.86	24.57	56	57	61	3.0357	3.5438	3.4495
3140	24.35	24.84	24.49	55	57	61	2.9564	3.5637	3.6816
3150	24.61	24.94	24.57	56	57	61	3.0160	3.6213	3.6526
3160	24.46	24.92	24.57	56	56	61	2.9173	3.4510	3.6759
3170	24.36	24.78	24.62	56	56	61	2.9146	3.5045	3.6645
3180	24.34	24.56	24.55	56	56	61	2.9307	3.5041	3.5446
3190	24.26	24.59	24.55	56	56	61	2.9297	3.5472	3.4608
3200	24.16	24.53	24.61	56	56	61	2.9110	3.5047	3.4370
3210	24.19	24.59	24.54	56	56	61	2.9244	3.4546	3.5163
3220	24.28	24.48	24.38	56	56	61	3.0195	3.4557	3.5074
3230	24.34	24.44	24.49	56	56	61	2.9760	3.4570	3.6663
3240	24.42	24.60	24.61	56	55	61	2.9870	3.3329	3.6214
3250	24.44	24.61	24.62	56	55	61	2.8539	3.2414	3.5353
3260	24.38	24.60	24.42	57	55	61	2.8802	3.2632	3.5087
3270	24.40	24.62	24.30	57	55	61	2.9387	3.1633	3.5574
3280	24.39	24.65	24.51	56	55	61	2.9467	3.2421	3.5820
3290	24.43	24.59	24.57	57	55	61	2.9364	3.2258	3.5135
3300	24.41	24.53	24.52	57	55	61	2.9666	3.2592	3.4382
3310	24.56	24.58	24.52	57	55	61	3.0188	3.1757	3.4958
3320	24.48	24.63	24.42	57	55	61	3.1154	3.2118	3.5064
3330	24.55	24.60	24.44	57	55	61	3.1008	3.2387	3.5350
3340	24.56	24.53	24.40	57	55	61	3.2098	3.2445	3.5225
3350	24.33	24.54	24.48	57	55	61	3.0112	3.1916	3.5024
3360	24.40	24.55	24.50	57	55	61	3.0772	3.2645	3.4564
3370	24.54	24.58	24.46	57	55	61	3.1024	3.2390	3.5039

ข.1 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ 1 (ต่อ)

Time (s)	Tr			RHr			COP		
	6.32 m^3/min	7.72 m^3/min	9.13 m^3/min	6.32 m^3/min	7.72 m^3/min	9.13 m^3/min	6.32 m^3/min	7.72 m^3/min	9.13 m^3/min
3380	24.41	24.60	24.49	57	55	61	2.9813	3.2850	3.4930
3390	24.40	24.54	24.68	57	55	61	2.9149	3.2622	3.4942
3400	24.47	24.45	24.54	57	55	61	3.0823	3.2224	3.5530
3410	24.51	24.50	24.58	57	55	61	3.0226	3.2411	3.4871
3420	24.57	24.61	24.65	57	55	61	3.0395	3.2561	3.5117
3430	24.38	24.66	24.70	57	55	61	2.9831	3.2637	3.5756
3440	24.42	24.53	24.41	57	55	61	2.9266	3.3080	3.6070
3450	24.31	24.68	24.44	57	55	61	3.0485	3.2115	3.6280
3460	24.46	24.50	24.41	57	55	61	2.9963	3.3151	3.6310
3470	24.31	24.39	24.68	57	55	61	2.9514	3.2319	3.5191
3480	24.39	24.59	24.52	56	55	61	3.0210	3.2349	3.5960
3490	24.47	24.55	24.35	56	55	60	2.9247	3.2612	3.5150
3500	24.35	24.47	24.56	56	55	60	2.8302	3.2302	3.5404
3510	24.42	24.39	24.66	56	55	60	2.9072	3.2302	3.5357
3520	24.34	24.42	24.65	56	55	60	3.0029	3.1862	3.6579
3530	24.42	24.45	24.42	56	55	61	2.9584	3.2120	3.5928
3540	24.40	24.44	24.40	56	55	60	3.1074	3.2132	3.6086
3550	24.40	24.49	24.44	56	55	60	3.0121	3.2572	3.6995
3560	24.49	24.51	24.54	56	55	60	2.9509	3.2404	3.6664
3570	24.54	24.57	24.58	56	55	60	2.8643	3.2642	3.5805
3580	24.71	24.45	24.58	56	55	61	2.9130	3.3044	3.6940
3590	24.64	24.53	24.56	56	55	61	3.0581	3.0955	3.5330
3600	24.44	24.48	24.38	56	55	61	3.0051	3.2693	3.5242
3610	24.53	24.49	24.40	56	55	61	3.0114	3.3152	3.5568
3620	24.48	24.43	24.38	56	55	61	3.1014	3.2119	3.5124
3630	24.56	24.43	24.51	56	55	61	3.0866	3.2267	3.5826

ข.1 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ 1 (ต่อ)

Time (s)	Tr			RHr			COP		
	6.32 m^3/min	7.72 m^3/min	9.13 m^3/min	6.32 m^3/min	7.72 m^3/min	9.13 m^3/min	6.32 m^3/min	7.72 m^3/min	9.13 m^3/min
3640	24.42	24.52	24.43	56	55	60	3.0625	3.1898	3.4642
3650	24.37	24.48	24.40	56	55	60	2.9993	3.1326	3.4429
3660	24.54	24.56	24.32	56	55	61	3.0310	3.1672	3.4843
3670	24.42	24.37	24.29	55	55	60	3.0455	3.1923	3.5640
3680	24.47	24.60	24.67	55	55	61	3.0035	3.1164	3.4226
3690	24.45	24.53	24.58	55	55	60	2.9537	3.2295	3.3942
3700	24.43	24.53	24.58	55	55	60	3.1097	3.1420	3.5097
3710	24.33	24.48	24.56	55	55	60	3.1035	3.2002	3.5212
3720	24.42	24.57	24.43	56	55	61	3.0589	3.2240	3.5184
3730	24.50	24.61	24.49	55	55	61	3.0192	3.1720	3.4580
3740	24.39	24.59	24.46	55	55	61	2.8994	3.1079	3.4915
3750	24.45	24.56	24.33	55	55	61	3.1089	3.1173	3.6226
3760	24.54	24.60	24.45	55	55	61	3.0090	3.0907	3.5652
3770	24.37	24.44	24.34	55	55	61	3.0488	3.0408	3.5794
3780	24.48	24.59	24.57	55	55	60	3.0869	3.0397	3.5788
3790	24.49	24.60	24.38	55	55	60	3.0436	3.0872	3.6276
3800	24.64	24.59	24.35	55	55	60	3.1146	3.1071	3.7594
3810	24.52	24.61	24.39	55	55	60	2.9839	3.0370	3.6507
3820	24.51	24.57	24.48	55	55	60	3.0300	3.0611	3.5915
3830	24.46	24.62	24.48	55	55	61	2.9422	3.0834	3.4537
3840	24.42	24.63	24.56	55	55	61	3.0096	3.3790	3.4950
3850	24.57	24.61	24.58	55	56	60	3.0340	3.3746	3.5698
3860	24.64	24.60	24.50	55	56	60	3.0971	3.2587	3.5991
3870	24.47	24.66	24.56	55	56	60	3.0465	3.2658	3.5711
3880	24.51	24.88	24.55	55	56	60	3.1316	3.2103	3.6412
3890	24.38	25.03	24.52	55	56	60	3.0878	3.2363	3.5216

ข.1 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ 1 (ต่อ)

Time (s)	Tr			RHr			COP		
	6.32 m^3/min	7.72 m^3/min	9.13 m^3/min	6.32 m^3/min	7.72 m^3/min	9.13 m^3/min	6.32 m^3/min	7.72 m^3/min	9.13 m^3/min
3900	24.46	25.10	24.43	55	56	60	3.0391	3.2894	3.4810
3910	24.43	24.93	24.46	55	56	60	3.1088	3.3295	3.5124
3920	24.20	24.85	24.53	55	56	60	3.1376	3.3420	3.5738
3930	24.36	24.63	24.48	55	57	60	3.1361	3.3775	3.5579
3940	24.35	24.47	24.51	55	56	60	3.1339	3.2400	3.6042
3950	24.62	24.48	24.46	55	56	60	3.0995	3.2419	3.5966
3960	24.60	24.59	24.37	55	56	61	3.1298	3.2094	3.4457
3970	24.61	24.87	24.40	55	56	61	3.0964	3.2286	3.5617
3980	24.59	24.78	24.38	55	56	60	3.0294	3.2272	3.6407
3990	24.71	24.69	24.50	55	56	60	3.1197	3.2584	3.5421
4000	24.51	24.67	24.38	55	56	60	2.9929	3.2030	3.5029
4010	24.44	24.68	24.49	55	56	60	2.9834	3.1388	3.4914
4020	24.43	24.81	24.44	55	56	60	3.1788	3.1173	3.5426
4030	24.35	24.89	24.38	54	56	60	3.2004	3.1392	3.5089
4040	24.39	24.92	24.47	55	56	60	2.9968	3.1433	3.4497
4050	24.19	24.73	24.42	54	56	60	2.9968	3.1197	3.5317
4060	24.31	24.65	24.61	54	56	60	3.0325	3.0679	3.4783
4070	24.20	24.71	24.52	54	56	61	2.9962	3.0616	3.4967
4080	24.22	24.50	24.45	54	56	61	2.9697	3.1900	3.6099
4090	24.51	24.70	24.47	54	56	61	3.1461	3.1835	3.4927
4100	24.44	24.68	24.56	54	56	60	3.0869	3.1537	3.5376
4110	24.34	24.56	24.68	54	56	60	2.9893	3.1758	3.5783
4120	24.37	24.80	24.51	54	56	60	3.0494	3.1496	3.5556
4130	24.45	24.85	24.41	55	56	60	3.0659	3.1858	3.5740
4140	24.53	24.64	24.37	54	56	60	3.1384	3.1297	3.5006
4150	24.52	24.51	24.36	54	56	60	3.1484	3.0672	3.5415

ข.1 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ 1 (ต่อ)

Time (s)	Tr			RHr			COP		
	6.32 m^3/min	7.72 m^3/min	9.13 m^3/min	6.32 m^3/min	7.72 m^3/min	9.13 m^3/min	6.32 m^3/min	7.72 m^3/min	9.13 m^3/min
4160	24.45	24.58	24.51	54	56	60	2.9659	3.0849	3.5657
4170	24.43	24.58	24.48	54	56	60	3.0174	3.0444	3.5952
4180	24.44	24.73	24.54	54	56	60	3.0467	3.1777	3.6112
4190	24.30	24.67	24.59	55	56	60	3.0801	3.2195	3.4690
4200	24.35	24.42	24.57	55	56	60	3.0974	3.4653	3.4660
4210	24.58	24.45	24.49	54	56	60	3.0253	3.4859	3.5039
4220	24.57	24.55	24.36	55	56	60	3.0332	3.3803	3.5238
4230	24.62	24.62	24.41	54	56	60	3.0413	3.3495	3.4493
4240	24.33	24.66	24.57	54	56	60	3.1012	3.4236	3.4911
4250	24.31	24.58	24.37	55	56	60	3.0113	3.3541	3.5089
4260	24.26	24.74	24.54	55	56	60	3.0253	3.3377	3.5371
4270	24.26	24.80	24.44	55	56	60	2.9417	3.3623	3.4849
4280	24.23	24.77	24.43	55	56	60	2.9035	3.4051	3.5954
4290	24.29	24.67	24.38	56	56	60	2.9964	3.4070	3.6277
4300	24.49	24.61	24.52	56	56	60	2.9248	3.3798	3.5887
4310	24.36	24.58	24.55	56	56	60	2.8625	3.2614	3.6455
4320	24.39	24.73	24.59	56	56	60	2.9265	3.3244	3.5822
4330	24.34	24.71	24.38	56	56	60	2.9963	3.3355	3.6569
4340	24.35	24.71	24.51	56	56	60	2.8929	3.3061	3.4999
4350	24.28	24.69	24.57	56	56	60	2.8299	3.2920	3.4769
4360	24.44	24.64	24.47	56	56	60	2.9856	3.2276	3.5789
4370	24.56	24.66	24.56	56	56	60	2.9710	3.1205	3.5140
4380	24.46	24.73	24.47	56	56	60	2.9734	3.2031	3.5575
4390	24.59	24.73	24.60	56	56	60	3.0477	3.1990	3.5820
4400	24.58	24.81	24.53	56	56	60	2.9819	3.2833	3.5148
4410	24.62	24.69	24.44	56	56	60	2.9881	3.2552	3.6080

ข.1 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ 1 (ต่อ)

Time (s)	Tr			RHr			COP		
	6.32 m^3/min	7.72 m^3/min	9.13 m^3/min	6.32 m^3/min	7.72 m^3/min	9.13 m^3/min	6.32 m^3/min	7.72 m^3/min	9.13 m^3/min
4420	24.45	24.59	24.53	56	57	60	2.9846	3.0875	3.6018
4430	24.35	24.51	24.55	55	56	61	2.9523	3.1332	3.6233
4440	24.61	24.72	24.35	55	56	61	3.0460	3.2662	3.6368
4450	24.46	24.74	24.47	57	56	61	2.8919	3.3106	3.6232
4460	24.36	24.73	24.45	57	56	61	2.9920	3.3641	3.6165
4470	24.34	24.73	24.52	57	56	61	2.9207	3.3578	3.6449
4480	24.26	24.74	24.46	57	57	61	3.0000	3.4106	3.6363
4490	24.16	24.92	24.50	57	56	61	3.0030	3.3278	3.4852
4500	24.19	24.73	24.38	56	57	61	2.9646	3.2367	3.5022
4510	24.28	24.65	24.45	56	57	61	2.9879	3.2669	3.4780
4520	24.34	24.71	24.49	56	57	60	3.0517	3.2741	3.4091
4530	24.42	24.50	24.58	56	59	60	2.9169	3.1154	3.5124
4540	24.44	24.70	24.51	56	59	60	3.0226	3.0422	3.5370
4550	24.38	24.68	24.59	56	59	61	2.9697	3.1683	3.5839
4560	24.40	24.56	24.47	56	59	61	3.0464	3.4158	3.5671
4570	24.39	24.80	24.49	56	59	61	3.1360	3.4114	3.5677
4580	24.43	24.85	24.56	56	59	61	2.9070	3.4204	3.5488
4590	24.41	24.64	24.44	56	59	60	3.0052	3.3053	3.5911
4600	24.56	24.51	24.55	56	59	61	2.9758	3.3365	3.5870
4610	24.48	24.58	24.37	56	59	61	3.0214	3.2341	3.6959
4620	24.55	24.58	24.39	56	59	61	3.0357	3.2876	3.6491
4630	24.56	24.73	24.35	56	59	61	2.8747	3.3585	3.5855
4640	24.33	24.67	24.56	56	59	61	2.9343	3.3419	3.6196
4650	24.40	24.42	24.58	56	59	61	2.9173	3.4196	3.5947
4660	24.54	24.45	24.45	56	59	61	2.8329	3.3738	3.5577
4670	24.41	24.55	24.52	56	59	61	2.8489	3.2916	3.5857

ข.1 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ 1 (ต่อ)

Time (s)	Tr			RHr			COP		
	6.32 m^3/min	7.72 m^3/min	9.13 m^3/min	6.32 m^3/min	7.72 m^3/min	9.13 m^3/min	6.32 m^3/min	7.72 m^3/min	9.13 m^3/min
4680	24.40	24.62	24.48	56	58	61	2.9297	3.3286	3.5990
4690	24.47	24.66	24.41	55	58	61	2.9570	3.2687	3.6498
4700	24.51	24.58	24.37	55	58	61	2.9702	3.0676	3.6619
4710	24.57	24.74	24.62	55	58	61	3.0649	3.0431	3.5990
4720	24.38	24.80	24.59	55	58	60	2.9760	3.1089	3.6498
4730	24.42	24.77	24.50	55	58	60	2.9505	3.0317	3.6619
4740	24.31	24.67	24.45	56	58	61	2.8539	3.0859	3.4497
4750	24.46	24.61	24.47	55	58	61	2.9621	3.1133	3.5317
4760	24.31	24.58	24.56	55	58	61	2.9484	3.0768	3.4783
4770	24.39	24.73	24.68	55	57	61	2.9467	3.0313	3.4967
4780	24.47	24.71	24.51	55	57	60	3.0642	2.9610	3.6099
4790	24.35	24.71	24.41	55	57	60	3.0937	3.0430	3.4927
4800	24.42	24.69	24.37	55	57	60	2.9827	3.2594	3.5376
4810	24.34	24.64	24.36	55	57	60	3.1603	3.2074	3.5783
4820	24.42	24.66	24.51	55	57	60	3.1460	3.2331	3.5556
4830	24.40	24.73	24.48	55	57	60	3.2543	3.2037	3.5740
4840	24.40	24.73	24.54	55	57	60	3.1012	3.0436	3.5006
4850	24.49	24.81	24.59	55	56	60	3.1220	3.0693	3.5415
4860	24.54	24.69	24.57	55	57	60	3.1471	3.0498	3.5657
4870	24.71	24.59	24.49	55	57	60	2.9901	3.0352	3.5952
4880	24.64	24.51	24.36	55	57	60	3.0061	2.9485	3.6112
4890	24.44	24.72	24.41	55	57	60	3.1271	2.9946	3.4690
4900	24.53	24.74	24.57	55	56	60	3.1124	3.0292	3.4660
4910	24.48	24.73	24.37	55	56	60	3.0844	3.3363	3.5039
4920	24.56	24.73	24.54	55	56	60	3.0283	3.3941	3.5238
4930	24.42	24.74	24.44	55	57	60	3.0170	3.2598	3.4493

ข.1 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ 1 (ต่อ)

Time (s)	Tr			RHr			COP		
	6.32 m^3/min	7.72 m^3/min	9.13 m^3/min	6.32 m^3/min	7.72 m^3/min	9.13 m^3/min	6.32 m^3/min	7.72 m^3/min	9.13 m^3/min
4940	24.37	24.80	24.43	55	57	60	3.0937	3.2182	3.4911
4950	24.54	24.77	24.38	55	57	60	3.1234	3.3112	3.5089
4960	24.42	24.67	24.52	55	57	60	3.1237	3.2834	3.5371
4970	24.47	24.61	24.55	55	57	60	3.1118	3.3444	3.4849
4980	24.45	24.58	24.59	55	58	60	3.0974	3.3509	3.5954
4990	24.43	24.73	24.38	55	57	60	2.9580	3.4192	3.6277
5000	24.33	24.71	24.51	55	57	60	3.0345	3.4153	3.5887
4940	24.37	24.80	24.43	55	57	60	3.0937	3.2182	3.4911
4950	24.54	24.77	24.38	55	57	60	3.1234	3.3112	3.5089
4960	24.42	24.67	24.52	55	57	60	3.1237	3.2834	3.5371
4970	24.47	24.61	24.55	55	57	60	3.1118	3.3444	3.4849
4980	24.45	24.58	24.59	55	58	60	3.0974	3.3509	3.5954
4990	24.43	24.73	24.38	55	57	60	2.9580	3.4192	3.6277
5000	24.33	24.71	24.51	55	57	60	3.0345	3.4153	3.5887

ข.2 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ 2

Time (s)	9.13 m^3/min		การควบคุมแบบที่ 1		การควบคุมแบบที่ 2		การควบคุมแบบที่ 3	
	Tr	RHr	Tr	RHr	Tr	RHr	Tr	RHr
0	30.70	66	30.41	66	30.74	65	30.29	66
10	30.68	64	30.14	66	30.49	65	29.98	66
20	30.59	64	30.25	66	30.55	65	30.10	66
30	30.73	64	29.93	65	30.36	65	29.94	66
40	30.57	64	29.76	65	30.19	64	29.96	65
50	30.50	63	29.52	65	30.02	64	29.82	65
60	30.54	64	29.50	65	30.01	64	29.66	65

ข.2 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ 2 (ต่อ)

Time (s)	9.13 m^3/min		การควบคุมแบบที่ 1		การควบคุมแบบที่ 2		การควบคุมแบบที่ 3	
	Tr	RHr	Tr	RHr	Tr	RHr	Tr	RHr
70	29.98	63	29.47	65	29.97	64	29.64	65
80	29.56	63	29.33	64	29.85	64	29.54	65
90	29.45	63	29.24	64	29.66	64	29.54	65
100	28.87	63	29.22	64	29.50	65	29.61	65
110	28.83	62	29.18	64	29.49	65	29.42	64
120	29.11	62	28.84	64	29.44	64	29.41	64
130	28.66	61	28.82	64	29.36	64	29.39	64
140	28.66	61	28.74	64	29.29	64	29.17	64
150	28.17	60	28.49	64	29.42	64	29.09	64
160	28.34	60	28.35	64	29.38	63	28.97	63
170	28.14	60	28.34	64	29.23	63	28.84	63
180	28.20	59	28.26	64	29.18	63	28.94	63
190	27.99	59	28.17	63	28.99	63	29.15	63
200	27.60	58	27.79	63	28.82	63	28.94	63
210	28.08	58	28.11	63	28.91	63	28.77	63
220	27.67	58	28.25	63	28.78	62	28.92	62
230	27.72	57	28.40	63	28.60	62	28.65	62
240	28.00	57	28.23	62	28.49	62	28.53	62
250	27.72	57	28.39	62	28.45	62	28.39	62
260	27.86	57	28.18	62	28.42	62	28.37	62
270	27.83	56	28.03	61	28.32	61	28.36	61
280	27.69	56	28.00	61	28.46	61	28.46	61
290	27.54	55	27.63	60	28.45	61	28.24	61
300	27.56	55	27.74	60	28.42	60	28.29	60
310	26.95	55	27.84	60	28.28	60	27.59	59
320	26.90	54	27.77	60	28.06	60	27.72	59
330	26.79	55	27.63	59	28.13	60	27.47	59

ข.2 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ 2 (ต่อ)

Time (s)	9.13 m3/min		การควบคุมแบบที่ 1		การควบคุมแบบที่ 2		การควบคุมแบบที่ 3	
	Tr	RHr	Tr	RHr	Tr	RHr	Tr	RHr
340	26.57	54	27.42	59	28.04	59	27.60	59
350	26.43	54	27.46	59	28.36	59	27.60	59
360	26.97	53	27.27	58	28.37	59	27.52	59
370	26.31	53	27.08	58	28.15	59	27.54	59
380	26.79	53	27.06	58	28.03	58	27.61	59
390	26.92	53	27.15	58	28.10	58	27.52	59
400	26.72	53	26.79	57	27.90	58	27.37	58
410	26.24	53	26.97	57	27.96	58	27.23	58
420	26.16	52	26.80	57	28.18	58	27.33	58
430	26.37	52	26.77	57	28.03	57	27.15	57
440	26.32	52	26.92	57	28.00	57	26.99	57
450	26.03	52	27.24	57	27.85	57	26.80	56
460	26.49	52	26.85	56	27.79	57	26.69	56
470	26.22	52	26.43	56	27.68	57	26.85	56
480	25.93	51	25.95	55	27.77	57	26.50	55
490	25.46	51	26.19	56	27.80	57	26.54	55
500	25.97	51	26.25	56	27.76	57	26.62	55
510	26.28	51	26.22	55	27.74	56	26.55	55
520	25.81	51	25.06	54	27.56	56	26.44	54
530	25.40	50	24.74	54	27.58	56	26.37	54
540	25.44	50	24.58	54	27.52	56	26.46	54
550	25.63	50	24.93	54	27.55	56	26.44	53
560	25.96	50	24.43	54	27.59	56	26.47	53
570	25.75	50	24.66	54	27.53	56	26.06	53
580	25.88	50	24.50	53	27.50	56	25.84	52
590	25.72	50	24.68	54	27.61	55	26.10	52
600	26.05	50	24.43	53	27.46	55	26.27	52

ข.2 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ 2 (ต่อ)

Time (s)	9.13 m^3/min		การควบคุมแบบที่ 1		การควบคุมแบบที่ 2		การควบคุมแบบที่ 3	
	Tr	RHr	Tr	RHr	Tr	RHr	Tr	RHr
610	25.86	50	24.58	52	27.42	55	26.09	52
620	25.65	50	24.45	52	27.32	54	25.80	51
630	25.81	50	24.81	52	27.11	54	25.90	51
640	25.83	50	24.74	52	26.92	53	25.93	51
650	25.70	50	24.88	52	26.95	53	25.80	51
660	25.63	50	24.70	52	26.77	53	25.69	50
670	25.80	50	24.59	52	26.84	53	25.29	50
680	25.76	50	24.62	52	26.67	52	24.96	50
690	25.98	50	24.08	51	26.78	52	24.87	50
700	25.88	50	24.23	51	26.45	52	24.75	50
710	25.71	50	24.46	52	26.33	51	24.68	50
720	25.97	50	24.43	52	26.34	51	24.53	50
730	25.80	50	24.10	51	26.43	51	24.41	50
740	25.80	50	24.46	52	26.50	51	24.36	50
750	25.64	50	24.72	52	26.38	51	24.14	50
760	25.58	50	24.62	52	26.30	50	23.84	51
770	25.28	49	24.43	52	26.10	50	23.65	51
780	25.35	49	24.53	52	25.97	50	23.58	51
790	25.71	50	24.85	52	25.97	50	23.35	51
800	25.27	49	24.70	52	25.95	50	23.24	52
810	25.44	49	24.29	52	25.76	50	23.34	52
820	25.42	49	23.96	52	25.65	50	23.14	52
830	25.59	49	24.34	52	25.76	50	23.39	52
840	25.23	49	24.68	52	25.38	49	23.34	52
850	24.81	48	24.73	52	25.46	50	23.17	52
860	25.11	48	24.59	52	25.49	50	23.00	53
870	25.37	49	24.51	52	25.54	50	22.63	53

ข.2 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ 2 (ต่อ)

Time (s)	9.13 m^3/min		การควบคุมแบบที่ 1		การควบคุมแบบที่ 2		การควบคุมแบบที่ 3	
	Tr	RHr	Tr	RHr	Tr	RHr	Tr	RHr
880	25.32	49	24.49	52	25.50	50	22.62	53
890	25.23	49	24.76	53	25.00	49	23.01	53
900	25.10	48	24.80	53	24.86	49	23.13	53
910	24.96	48	24.58	53	25.12	50	23.43	53
920	25.12	48	24.26	53	25.10	50	23.27	54
930	25.15	49	24.34	53	24.70	50	23.06	54
940	24.92	48	24.66	53	24.70	50	22.92	54
950	25.05	48	24.91	53	24.48	50	23.21	54
960	25.20	48	24.71	53	24.52	50	23.37	55
970	25.13	49	24.62	53	24.36	49	22.95	55
980	24.76	48	24.69	53	23.93	49	23.08	55
990	24.86	48	24.68	53	24.04	50	23.44	55
1000	24.97	48	24.45	53	24.46	50	23.46	55
1010	24.82	48	24.16	53	23.98	50	23.03	55
1020	24.40	48	23.93	53	24.06	50	23.17	55
1030	24.51	48	24.01	53	23.55	50	23.48	56
1040	24.61	48	24.03	53	23.58	50	23.20	56
1050	24.59	47	24.35	53	23.25	50	23.21	56
1060	24.47	48	24.59	54	23.18	50	23.40	56
1070	24.79	47	24.70	54	23.34	51	23.22	56
1080	24.56	47	24.61	54	23.69	51	23.07	57
1090	24.64	47	24.79	54	23.54	51	22.91	57
1100	24.74	47	24.79	54	23.26	51	23.67	57
1110	24.89	47	24.85	54	23.34	51	23.58	57
1120	24.59	47	25.01	54	23.44	51	23.81	57
1130	24.72	47	24.93	54	22.90	51	24.08	58
1140	24.77	47	25.13	54	23.12	52	23.56	58

ข.2 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ 2 (ต่อ)

Time (s)	9.13 m^3/min		การควบคุมแบบที่ 1		การควบคุมแบบที่ 2		การควบคุมแบบที่ 3	
	Tr	RHr	Tr	RHr	Tr	RHr	Tr	RHr
1150	24.38	47	25.21	54	22.99	52	23.65	58
1160	24.51	47	25.16	54	23.60	52	23.65	58
1170	24.67	47	25.04	54	23.61	52	23.55	58
1180	24.48	47	25.06	54	23.45	52	23.27	58
1190	24.59	48	25.05	54	23.53	52	23.43	58
1200	24.35	48	24.93	54	23.17	53	23.59	59
1210	24.67	48	25.20	55	23.13	53	23.43	59
1220	24.58	48	25.26	55	23.24	53	23.60	59
1230	24.44	49	25.44	55	23.45	53	23.49	59
1240	24.42	49	25.25	55	23.48	54	23.85	59
1250	24.48	50	25.21	55	23.40	54	23.88	59
1260	24.02	49	25.11	55	23.39	54	24.11	60
1270	23.87	49	25.00	55	23.04	54	24.25	60
1280	24.27	49	25.34	55	23.39	55	24.85	60
1290	24.55	49	25.29	55	23.87	54	24.65	60
1300	24.52	49	25.15	55	23.51	54	24.67	60
1310	24.25	49	24.94	55	23.40	54	25.03	60
1320	24.06	49	25.37	55	23.48	54	24.95	60
1330	24.20	49	25.27	55	23.22	54	25.11	60
1340	24.53	50	25.11	55	23.34	54	25.31	60
1350	24.19	50	25.23	55	23.30	54	25.28	60
1360	24.23	50	25.10	55	23.47	54	25.18	60
1370	24.28	50	25.11	55	23.10	53	25.31	60
1380	24.18	50	25.15	55	22.65	53	25.25	60
1390	24.17	50	25.22	55	22.59	53	25.19	59
1400	24.24	50	25.34	55	23.14	53	25.28	59
1410	24.28	51	24.87	54	22.99	53	25.29	59

ข.2 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ 2 (ต่อ)

Time (s)	9.13 m^3/min		การควบคุมแบบที่ 1		การควบคุมแบบที่ 2		การควบคุมแบบที่ 3	
	Tr	RHr	Tr	RHr	Tr	RHr	Tr	RHr
1420	24.58	51	25.11	54	23.07	53	25.29	59
1430	24.66	51	25.25	54	22.73	53	25.51	59
1440	24.49	51	25.18	54	22.92	53	25.54	59
1450	24.50	51	24.98	54	23.11	53	25.64	59
1460	24.83	51	25.08	54	22.78	53	25.63	59
1470	24.74	51	25.32	54	22.90	53	25.52	58
1480	24.77	51	25.00	54	22.83	53	25.46	58
1490	24.69	51	25.24	54	22.86	54	25.50	58
1500	24.63	52	25.28	54	23.00	54	25.65	58
1510	24.49	52	25.30	54	23.17	54	25.73	58
1520	24.40	52	25.26	54	23.10	54	26.08	58
1530	24.18	52	25.29	54	23.19	54	26.04	58
1540	24.50	52	25.39	54	22.77	54	25.88	58
1550	24.70	52	25.38	54	23.02	54	25.95	57
1560	24.55	52	25.08	54	22.93	54	25.75	57
1570	24.69	52	24.83	54	22.89	54	25.79	57
1580	24.91	52	25.02	54	23.05	54	25.77	57
1590	24.85	53	25.08	54	22.98	54	25.68	57
1600	24.51	53	25.08	54	22.82	54	25.55	57
1610	25.04	53	25.26	54	23.00	54	25.81	56
1620	24.75	53	25.27	54	23.10	54	25.70	56
1630	24.82	53	25.19	54	23.13	55	25.72	56
1640	24.62	53	25.22	54	22.85	55	25.81	56
1650	24.78	53	25.28	54	22.60	55	25.75	56
1660	24.83	53	25.33	54	22.77	55	25.71	56
1670	24.75	53	25.30	54	22.89	55	25.71	56
1680	24.94	53	25.06	54	22.64	55	25.63	56

ข.2ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ 2 (ต่อ)

Time (s)	9.13 m^3/min		การควบคุมแบบที่ 1		การควบคุมแบบที่ 2		การควบคุมแบบที่ 3	
	Tr	RHr	Tr	RHr	Tr	RHr	Tr	RHr
1690	24.79	54	25.24	54	22.63	55	25.76	56
1700	24.84	54	25.38	54	23.14	55	25.74	55
1710	24.95	54	25.22	54	22.91	55	25.82	55
1720	24.99	54	25.04	53	23.03	55	25.88	55
1730	24.92	54	24.87	53	22.89	56	26.02	55
1740	24.89	54	25.00	54	22.71	56	26.00	55
1750	24.94	54	25.22	54	23.68	56	25.88	55
1760	24.96	54	25.24	54	23.76	56	25.79	55
1770	24.47	54	25.23	54	23.72	56	25.80	55
1780	24.78	54	25.06	54	23.67	56	25.88	55
1790	24.68	54	25.43	54	23.65	56	25.88	55
1800	24.27	54	25.26	54	23.59	55	25.89	55
1810	24.49	54	25.18	54	23.70	55	25.85	54
1820	24.95	54	25.25	54	23.54	55	25.67	54
1830	24.71	54	25.19	54	24.62	55	25.57	54
1840	24.21	54	25.14	54	24.62	55	25.59	54
1850	24.29	54	25.22	54	24.79	55	25.69	54
1860	24.73	54	25.20	54	24.75	55	25.72	54
1870	24.79	54	24.90	53	24.78	55	25.89	54
1880	24.70	54	25.21	54	24.65	55	25.89	54
1890	24.92	54	25.40	54	24.70	55	25.97	54
1900	24.96	55	25.08	54	24.59	55	25.63	54
1910	25.02	54	25.30	54	24.66	55	25.57	54
1920	24.70	54	25.02	53	24.86	55	25.55	54
1930	24.94	54	25.02	53	24.81	55	25.54	54
1940	24.88	55	25.10	54	24.69	55	25.35	54
1950	24.79	55	24.85	54	25.83	55	25.33	54

ข.2 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ 2 (ต่อ)

Time (s)	9.13 m^3/min		การควบคุมแบบที่ 1		การควบคุมแบบที่ 2		การควบคุมแบบที่ 3	
	Tr	RHr	Tr	RHr	Tr	RHr	Tr	RHr
1960	24.82	55	24.97	53	25.75	54	25.31	54
1970	25.02	54	25.06	53	25.69	54	25.31	54
1980	25.29	55	24.96	53	25.82	54	25.11	54
1990	25.04	55	24.95	54	25.86	54	25.24	54
2000	24.84	54	25.20	54	25.87	54	25.38	54
2010	24.82	55	24.86	53	25.85	54	25.08	54
2020	24.58	55	25.10	54	25.69	54	24.55	54
2030	24.69	54	25.21	54	25.70	54	24.94	54
2040	24.81	55	24.98	54	25.88	54	24.83	54
2050	24.88	55	25.17	54	25.97	54	24.79	54
2060	24.78	55	25.00	53	25.81	54	24.98	55
2070	24.91	54	24.87	53	25.68	54	25.05	55
2080	24.97	55	25.05	54	25.83	54	25.37	55
2090	24.64	55	25.08	54	25.91	54	25.14	55
2100	24.83	55	24.96	54	25.68	54	25.27	55
2110	24.94	55	25.02	54	25.76	54	25.22	55
2120	24.74	55	24.99	54	25.74	54	24.70	55
2130	24.98	55	25.11	54	25.47	54	24.20	55
2140	25.03	55	25.10	54	25.34	54	24.50	55
2150	24.81	55	25.10	54	25.31	54	24.74	55
2160	24.70	55	25.16	54	25.41	54	25.13	56
2170	24.85	55	25.04	54	25.08	54	24.87	56
2180	24.83	55	25.07	54	25.21	54	24.82	56
2190	25.00	55	25.10	54	25.08	54	24.99	56
2200	24.87	55	25.25	54	25.10	54	25.15	56
2210	24.43	55	25.12	54	24.93	54	25.15	56
2220	24.78	54	25.33	54	25.07	54	25.21	56

ข.2 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ 2 (ต่อ)

Time (s)	9.13 m^3/min		การควบคุมแบบที่ 1		การควบคุมแบบที่ 2		การควบคุมแบบที่ 3	
	Tr	RHr	Tr	RHr	Tr	RHr	Tr	RHr
2230	24.86	55	25.32	54	24.96	54	25.46	56
2240	24.83	55	24.92	54	24.96	54	25.26	57
2250	24.80	55	24.96	54	24.91	55	25.33	56
2260	24.82	55	25.35	54	25.18	55	25.43	56
2270	24.65	55	25.37	54	25.04	55	25.40	56
2280	25.07	55	25.08	54	24.98	55	25.25	56
2290	24.59	55	25.01	54	24.69	55	25.52	56
2300	25.03	55	25.08	54	25.02	55	25.38	56
2310	24.80	55	25.16	54	25.08	55	25.43	56
2320	24.67	55	25.09	54	24.94	55	25.35	56
2330	24.60	55	24.85	54	25.05	55	25.41	56
2340	24.89	55	25.20	54	24.89	55	25.56	56
2350	25.06	55	25.35	54	25.05	55	25.58	55
2360	25.05	55	25.07	54	25.14	55	25.59	55
2370	25.03	55	25.21	54	24.61	55	25.68	55
2380	25.03	55	25.00	53	24.69	56	25.67	55
2390	24.92	55	25.14	54	24.84	55	25.79	55
2400	24.84	55	25.21	54	24.75	55	25.83	55
2410	25.09	55	25.16	54	24.51	55	25.91	55
2420	24.98	55	25.35	54	24.49	56	26.12	55
2430	25.04	55	25.10	54	24.86	56	26.06	55
2440	24.94	55	25.29	54	24.71	56	26.04	55
2450	25.04	55	25.25	54	24.87	56	25.89	55
2460	24.94	55	25.11	54	25.01	56	25.92	55
2470	24.93	55	25.03	54	25.20	57	25.81	55
2480	24.67	55	25.10	54	25.21	56	25.78	55
2490	24.79	55	24.94	54	25.16	56	25.86	55

ข.2 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ 2 (ต่อ)

Time (s)	9.13 m^3/min		การควบคุมแบบที่ 1		การควบคุมแบบที่ 2		การควบคุมแบบที่ 3	
	Tr	RHr	Tr	RHr	Tr	RHr	Tr	RHr
2500	24.73	55	24.98	54	25.27	57	25.96	55
2510	24.56	55	24.94	54	25.42	57	26.04	55
2520	24.75	55	25.18	54	25.41	57	25.95	55
2530	24.70	55	25.15	54	25.25	57	26.09	55
2540	24.76	55	25.37	54	25.50	57	26.12	55
2550	24.80	55	25.11	54	25.59	57	26.04	55
2560	24.86	55	25.13	54	25.71	57	26.00	55
2570	24.99	55	25.11	54	25.60	56	25.99	55
2580	24.83	55	25.04	54	25.50	56	25.89	55
2590	25.00	55	25.10	54	25.64	56	25.96	54
2600	25.09	56	25.08	54	25.66	56	25.86	54
2610	24.92	56	25.03	54	25.87	56	25.85	54
2620	25.02	55	25.02	54	25.72	56	25.69	54
2630	24.92	55	25.18	54	25.72	56	25.87	54
2640	24.92	55	25.08	54	25.79	56	25.76	54
2650	25.17	55	25.26	54	25.64	56	25.89	54
2660	25.21	56	25.16	54	25.59	56	25.71	54
2670	25.05	56	25.31	55	25.81	56	25.75	54
2680	24.97	56	25.11	54	25.94	56	25.61	54
2690	25.00	56	25.22	55	25.93	56	25.63	54
2700	25.02	56	25.33	55	25.85	56	25.67	54
2710	24.88	55	25.39	55	25.86	56	25.63	54
2720	24.93	56	25.54	55	25.77	56	25.73	54
2730	24.91	56	25.27	55	26.01	55	25.61	54
2740	24.92	56	25.27	55	26.07	54	25.66	54
2750	24.92	55	25.26	55	25.87	54	25.53	54
2760	24.81	55	25.15	55	25.87	54	25.57	54

ข.2 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ 2 (ต่อ)

Time (s)	9.13 m^3/min		การควบคุมแบบที่ 1		การควบคุมแบบที่ 2		การควบคุมแบบที่ 3	
	Tr	RHr	Tr	RHr	Tr	RHr	Tr	RHr
2770	24.63	55	25.30	55	25.68	54	25.72	55
2780	24.98	55	25.49	55	25.79	54	25.72	55
2790	24.80	56	25.73	56	25.73	54	25.65	55
2800	24.96	55	25.61	56	25.72	54	25.48	55
2810	24.92	56	25.47	56	25.67	54	25.73	54
2820	24.96	56	25.47	55	25.49	54	25.53	55
2830	25.04	56	25.10	55	25.58	54	25.56	55
2840	24.70	56	25.26	56	25.39	54	25.33	55
2850	24.69	56	25.54	55	25.34	54	25.45	55
2860	24.86	55	25.45	56	25.47	54	25.52	55
2870	24.88	56	25.57	56	25.38	54	25.98	55
2880	24.99	56	25.65	56	25.43	54	25.69	55
2890	24.79	56	25.55	56	25.22	55	25.53	55
2900	24.75	55	25.45	56	25.36	55	25.58	55
2910	24.60	56	24.89	55	25.42	55	25.52	55
2920	24.38	55	25.14	56	25.32	55	25.34	55
2930	24.43	55	25.38	56	25.23	55	25.23	55
2940	24.70	56	25.46	56	25.29	55	25.41	55
2950	24.65	56	25.34	56	25.22	55	25.58	55
2960	24.63	56	25.46	56	25.15	55	25.49	55
2970	24.86	56	25.46	56	25.31	55	25.55	55
2980	24.56	56	25.31	55	24.93	55	25.60	55
2990	24.75	56	25.35	56	25.08	55	25.47	55
3000	24.99	56	25.41	56	24.96	55	25.34	55
3010	24.95	56	25.47	56	24.82	55	25.37	55
3020	24.64	56	25.51	56	24.81	55	25.47	55
3030	24.85	56	25.71	56	24.84	56	25.43	55

ข.2 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ 2 (ต่อ)

Time (s)	9.13 m^3/min		การควบคุมแบบที่ 1		การควบคุมแบบที่ 2		การควบคุมแบบที่ 3	
	Tr	RHr	Tr	RHr	Tr	RHr	Tr	RHr
3040	24.82	56	25.50	56	25.10	56	25.29	55
3050	25.13	56	25.41	56	25.20	56	25.55	55
3060	24.97	56	25.63	56	25.25	56	25.37	55
3070	24.96	56	25.52	56	25.37	56	25.41	55
3080	24.85	56	25.66	56	25.26	56	25.37	55
3090	24.84	56	25.64	56	25.44	56	25.41	55
3100	24.97	56	25.38	56	25.61	56	25.28	55
3110	24.90	56	25.34	56	25.44	56	25.30	55
3120	24.89	56	25.43	56	25.37	56	25.47	55
3130	24.56	56	25.42	56	25.34	56	25.36	55
3140	24.83	55	25.62	56	25.43	56	25.36	55
3150	24.73	56	25.81	56	25.58	56	25.55	55
3160	24.87	56	25.45	56	25.60	56	25.55	56
3170	24.71	56	25.46	56	25.61	56	25.49	56
3180	24.49	55	25.63	56	25.55	56	25.68	56
3190	24.87	56	25.64	56	25.66	56	25.58	56
3200	24.68	56	25.58	56	25.75	56	25.57	56
3210	24.47	55	25.61	56	25.73	56	25.63	56
3220	24.69	56	25.59	56	25.72	56	25.65	56
3230	24.25	56	25.67	56	25.84	56	25.56	56
3240	24.62	56	25.46	56	25.62	56	25.49	55
3250	24.34	55	25.38	56	25.54	56	25.75	55
3260	24.69	56	25.07	55	25.90	56	25.66	55
3270	24.65	56	25.38	56	25.85	56	25.82	55
3280	24.51	56	25.66	56	25.83	56	25.74	55
3290	24.60	56	25.54	56	25.95	55	25.81	55
3300	24.70	56	25.50	56	25.85	55	25.93	56

ข.2 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ 2 (ต่อ)

Time (s)	9.13 m^3/min		การควบคุมแบบที่ 1		การควบคุมแบบที่ 2		การควบคุมแบบที่ 3	
	Tr	RHr	Tr	RHr	Tr	RHr	Tr	RHr
3310	24.87	56	25.45	56	25.73	55	25.69	55
3320	25.06	56	25.21	55	26.18	55	25.76	55
3330	25.07	56	25.33	56	25.97	55	25.61	55
3340	24.76	56	25.53	56	25.99	55	25.69	55
3350	24.64	56	25.45	56	26.33	55	25.72	55
3360	24.84	56	25.38	56	26.04	55	26.09	55
3370	24.72	56	25.38	56	26.03	55	25.91	55
3380	24.88	56	25.18	55	26.00	55	25.99	55
3390	24.58	56	25.24	56	25.84	55	25.82	55
3400	24.64	56	25.45	56	25.79	55	25.94	55
3410	24.73	56	25.33	56	26.14	54	25.87	55
3420	24.94	56	25.45	56	26.19	54	25.76	55
3430	24.85	56	25.54	56	26.16	55	25.67	54
3440	24.75	56	25.51	56	26.02	54	25.70	54
3450	24.99	56	25.60	56	25.94	54	25.77	55
3460	24.73	56	25.71	56	26.03	54	25.75	55
3470	24.97	56	25.55	56	25.95	54	25.78	54
3480	24.83	56	25.67	56	25.42	55	25.90	54
3490	24.61	56	25.71	56	25.27	55	25.74	55
3500	24.72	56	25.47	56	24.89	55	25.89	54
3510	25.05	56	25.42	56	24.74	55	25.62	54
3520	24.68	56	25.33	56	24.86	55	25.65	54
3530	24.47	56	25.36	56	24.67	55	25.60	54
3540	24.79	56	25.52	56	24.81	56	25.32	54
3550	24.28	56	25.58	56	24.98	55	25.68	54
3560	24.41	56	25.51	56	24.88	55	25.60	54
3570	24.74	56	25.49	56	24.69	55	25.75	54

ข.2 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ 2 (ต่อ)

Time (s)	9.13 m^3/min		การควบคุมแบบที่ 1		การควบคุมแบบที่ 2		การควบคุมแบบที่ 3	
	Tr	RHr	Tr	RHr	Tr	RHr	Tr	RHr
3580	24.66	56	25.47	56	24.64	55	25.72	54
3590	24.81	56	25.45	56	24.84	56	25.61	54
3600	24.84	56	25.58	56	25.04	56	25.58	54
3610	25.02	56	25.63	56	25.15	56	25.30	54
3620	25.09	56	25.45	56	25.06	56	25.63	54
3630	24.85	56	25.37	56	25.19	56	25.50	54
3640	24.77	56	25.54	56	25.38	56	25.36	54
3650	24.86	56	25.69	56	24.97	56	25.67	54
3660	24.81	56	25.62	56	24.95	56	25.44	54
3670	24.69	56	25.56	56	25.04	56	25.36	54
3680	24.80	56	25.72	56	25.04	56	25.40	54
3690	24.47	56	25.77	56	25.06	56	25.40	55
3700	24.42	55	25.64	56	25.22	56	25.17	54
3710	24.87	56	25.58	55	25.29	57	25.33	54
3720	24.88	56	25.67	55	25.40	56	25.27	55
3730	24.88	56	25.64	55	25.32	56	25.36	55
3740	25.14	56	25.69	56	25.42	56	25.14	54
3750	24.76	56	25.59	56	25.32	56	25.35	55
3760	24.55	56	25.55	55	25.40	56	25.45	55
3770	24.67	56	25.57	56	25.59	56	25.26	55
3780	24.87	56	25.44	55	25.46	56	25.48	55
3790	24.78	56	25.50	56	25.59	56	25.17	55
3800	24.86	56	25.62	56	25.55	56	25.34	55
3810	24.50	56	25.47	55	25.64	56	25.32	55
3820	24.51	56	25.53	55	25.86	56	25.29	55
3830	24.67	56	25.71	56	25.74	56	25.22	55
3840	24.80	56	25.37	55	25.76	56	25.29	55

ข.2 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ 2 (ต่อ)

Time (s)	9.13 m^3/min		การควบคุมแบบที่ 1		การควบคุมแบบที่ 2		การควบคุมแบบที่ 3	
	Tr	RHr	Tr	RHr	Tr	RHr	Tr	RHr
3850	24.76	56	25.44	55	25.85	56	25.18	55
3860	24.80	56	25.59	55	25.79	55	25.40	55
3870	24.63	56	25.47	55	25.98	55	25.34	55
3880	24.76	56	25.34	55	25.87	55	25.46	55
3890	24.69	56	25.38	55	25.96	55	25.43	55
3900	24.72	56	25.58	55	25.98	55	25.19	55
3910	24.79	56	25.71	56	25.88	55	25.33	55
3920	24.97	56	25.57	55	25.88	55	25.22	55
3930	24.85	56	25.48	55	25.90	55	25.38	55
3940	24.88	56	25.38	55	25.95	55	25.41	56
3950	24.65	56	25.38	55	25.96	55	25.36	56
3960	24.91	56	25.61	56	25.86	54	25.52	56
3970	24.74	56	25.67	55	26.01	54	25.48	56
3980	24.16	56	25.66	55	26.13	55	25.48	55
3990	24.58	56	25.53	55	26.39	54	25.47	56
4000	24.62	56	25.39	55	26.18	54	25.44	56
4010	24.34	56	25.39	55	26.12	54	25.42	55
4020	24.71	56	25.62	55	25.96	54	25.45	55
4030	24.81	56	25.56	55	26.06	54	25.64	55
4040	24.70	56	25.63	55	25.92	54	25.49	55
4050	24.42	56	25.76	55	25.93	54	25.70	55
4060	24.78	56	25.72	55	25.99	54	25.77	56
4070	24.81	56	25.46	55	25.98	54	25.77	55
4080	24.66	56	25.60	55	25.90	54	25.88	55
4090	25.01	56	25.54	55	25.95	54	25.90	55
4100	25.03	56	25.67	55	25.89	54	25.82	55
4110	24.85	56	25.60	55	26.15	54	25.77	55

ข.2 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ 2 (ต่อ)

Time (s)	9.13 m^3/min		การควบคุมแบบที่ 1		การควบคุมแบบที่ 2		การควบคุมแบบที่ 3	
	Tr	RHr	Tr	RHr	Tr	RHr	Tr	RHr
4120	24.85	56	25.50	55	26.39	54	25.85	55
4130	24.73	56	25.63	55	26.18	54	25.96	55
4140	24.94	56	25.64	55	26.12	54	25.89	55
4150	24.70	56	25.63	55	25.96	54	25.93	55
4160	24.74	56	25.51	55	26.06	54	25.98	55
4170	24.69	56	25.57	55	25.92	54	26.09	55
4180	24.73	56	25.59	55	25.93	54	26.08	55
4190	24.55	56	25.39	55	25.99	54	25.69	55
4200	25.00	56	25.21	54	25.87	56	26.01	55
4210	24.79	56	25.41	55	25.75	56	25.99	55
4220	24.70	56	25.42	55	25.77	56	25.94	55
4230	24.67	56	25.37	55	25.81	55	25.73	55
4240	24.85	56	25.40	55	25.67	55	25.87	55
4250	24.82	56	25.43	55	25.60	55	25.90	55
4260	24.82	56	25.60	55	25.44	55	26.07	55
4270	24.94	56	25.70	56	25.55	55	25.82	55
4280	25.06	56	25.76	56	25.51	55	25.87	55
4290	25.09	56	25.57	55	25.39	55	25.70	55
4300	24.86	56	25.52	56	25.50	55	25.76	55
4310	24.95	56	25.66	56	25.69	55	25.84	55
4320	24.88	56	25.65	56	25.77	55	26.02	55
4330	24.61	56	25.81	56	25.78	55	26.10	55
4340	24.73	56	25.75	56	25.72	55	25.95	55
4350	24.66	56	25.68	56	25.80	55	26.08	55
4360	24.63	56	25.80	56	26.01	55	25.98	55
4370	24.71	57	25.71	56	25.75	55	25.92	55
4380	24.55	57	25.63	56	25.68	55	25.62	54

ข.2 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ 2 (ต่อ)

Time (s)	9.13 m^3/min		การควบคุมแบบที่ 1		การควบคุมแบบที่ 2		การควบคุมแบบที่ 3	
	Tr	RHr	Tr	RHr	Tr	RHr	Tr	RHr
4390	24.72	57	25.71	56	25.75	55	25.61	54
4400	24.84	57	25.62	56	25.87	55	25.76	54
4410	24.79	57	25.81	56	25.71	55	25.82	54
4420	24.93	57	25.54	57	25.83	55	25.56	54
4430	24.75	57	25.67	57	26.10	55	25.75	54
4440	24.64	57	25.69	57	25.95	55	25.70	54
4450	24.70	57	25.83	57	25.96	55	25.80	55
4460	24.89	57	25.83	57	26.06	55	25.83	54
4470	24.81	57	25.68	57	26.09	55	25.98	54
4480	24.95	57	25.69	56	25.92	55	25.92	55
4490	24.67	58	25.82	57	26.05	55	25.92	54
4500	24.79	58	25.80	57	26.02	55	25.83	55
4510	25.03	58	25.74	57	26.25	55	25.61	55
4520	24.97	58	25.83	57	26.07	55	25.90	54
4530	24.97	58	26.00	57	26.07	55	25.65	55
4540	24.68	57	25.92	57	26.24	55	25.56	54
4550	24.74	57	25.71	56	26.28	55	25.39	54
4560	24.93	57	25.66	56	26.00	55	25.83	55
4570	25.08	58	25.85	57	26.11	55	25.93	55
4580	25.03	58	25.79	56	25.98	55	26.05	55
4590	24.81	58	25.87	57	26.01	55	25.88	55
4600	24.89	58	25.47	56	25.90	54	25.94	55
4610	24.67	58	25.64	56	25.96	54	25.87	55
4620	25.05	58	25.96	58	25.98	54	25.88	55
4630	24.94	58	25.76	57	25.97	54	25.67	55
4640	24.92	58	25.79	57	26.03	54	25.66	55
4650	24.97	58	25.78	57	26.02	54	25.65	55

ข.2 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ 2 (ต่อ)

Time (s)	9.13 m^3/min		การควบคุมแบบที่ 1		การควบคุมแบบที่ 2		การควบคุมแบบที่ 3	
	Tr	RHr	Tr	RHr	Tr	RHr	Tr	RHr
4660	24.70	58	25.61	57	26.04	54	25.83	55
4670	24.61	58	25.60	57	25.87	54	25.87	55
4680	24.63	58	25.74	57	25.75	54	25.83	55
4690	24.77	58	25.95	58	25.78	54	25.78	55
4700	24.81	58	25.84	57	25.76	54	25.67	55
4710	24.91	58	26.01	58	25.60	54	25.41	54
4720	24.87	58	25.90	58	25.81	54	25.39	54
4730	24.72	58	25.87	57	25.86	54	25.60	54
4740	24.89	58	25.68	57	26.00	54	25.55	55
4750	24.62	58	26.01	58	25.76	54	25.73	55
4760	24.96	58	25.93	58	25.75	54	25.75	55
4770	24.87	58	25.89	58	25.61	54	25.70	54
4780	24.93	58	25.96	58	25.63	54	25.70	55
4790	25.02	58	25.87	57	25.50	54	25.56	54
4800	25.16	58	25.93	58	25.39	54	25.51	54
4810	24.77	58	25.77	57	25.19	54	25.68	54
4820	24.97	58	25.73	57	24.90	54	25.82	54
4830	25.07	58	25.99	57	24.88	54	25.67	54
4840	25.03	58	25.92	57	24.97	54	25.57	54
4850	24.79	58	25.93	58	25.22	54	25.52	54
4860	24.47	57	25.89	57	25.16	55	25.29	54
4870	24.61	57	25.68	57	25.17	54	25.98	54
4880	24.77	58	25.73	57	24.81	55	25.92	55
4890	24.88	58	25.79	57	24.88	55	25.92	54
4900	24.94	58	25.80	58	24.99	55	25.83	55
4910	24.82	58	25.86	57	24.83	55	25.61	55
4920	24.80	58	25.92	58	24.84	56	25.90	54

ข.2 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ 2 (ต่อ)

Time (s)	9.13 m^3/min		การควบคุมแบบที่ 1		การควบคุมแบบที่ 2		การควบคุมแบบที่ 3	
	Tr	RHr	Tr	RHr	Tr	RHr	Tr	RHr
4930	25.12	58	25.77	57	25.06	55	25.65	55
4940	24.98	58	25.74	57	25.07	56	25.56	54
4950	24.97	58	25.83	58	25.02	56	25.39	54
4960	24.78	58	25.79	57	24.87	56	25.83	55
4970	24.87	58	25.78	57	24.71	56	25.93	55
4980	24.74	58	25.78	57	25.04	56	26.05	55
4990	24.88	58	26.01	58	24.90	56	25.62	54
5000	24.87	58	25.97	57	24.89	57	25.61	54
5010	24.78	58	25.84	57	25.05	57	25.76	54
5020	24.64	58	25.89	57	25.17	56	25.82	54
5030	24.80	58	25.74	57	25.07	56	25.56	54
5040	24.83	58	25.69	57	25.20	57	25.75	54
5050	24.78	58	25.83	57	25.31	57	25.70	54
5060	24.80	58	25.97	58	25.31	57	25.80	55
5070	24.93	58	25.92	57	25.25	57	25.83	54
5080	24.77	58	25.77	57	25.31	57	25.98	54
5090	24.69	58	26.06	58	25.49	57	25.92	55
5100	24.75	58	26.18	58	25.62	57	25.92	54
5110	24.87	58	25.90	57	25.75	57	25.83	55
5120	24.79	58	25.76	57	25.66	57	25.61	55
5130	24.36	58	25.55	57	25.90	57	25.90	54
5140	24.72	58	25.65	57	25.67	57	25.65	55
5150	24.82	58	25.67	57	25.67	57	25.56	54
5160	24.98	58	25.71	57	25.47	57	25.39	54
5170	24.97	58	26.03	57	25.52	57	25.83	55
5180	24.84	58	26.17	57	25.62	57	25.93	55
5190	24.54	58	26.15	57	25.61	57	26.05	55

ข.2 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ 2 (ต่อ)

Time (s)	9.13 m^3/min		การควบคุมแบบที่ 1		การควบคุมแบบที่ 2		การควบคุมแบบที่ 3	
	Tr	RHr	Tr	RHr	Tr	RHr	Tr	RHr
5200	24.75	58	25.74	57	25.84	57	25.88	55
5210	24.73	58	25.74	57	25.78	57	25.94	55
5220	24.77	58	25.81	57	25.67	56	25.87	55
5230	24.78	58	25.84	57	25.70	57	25.88	55
5240	24.70	58	25.85	57	25.79	57	25.67	55
5250	24.65	58	25.55	56	25.86	56	25.66	55
5260	24.81	58	25.80	57	25.61	57	26.02	56
5270	24.81	58	25.70	56	25.76	56	25.88	56
5280	24.80	58	25.56	56	25.97	56	25.63	56
5290	24.74	58	25.72	57	25.91	56	25.75	55
5300	24.48	58	25.67	56	25.85	56	25.96	56
5310	24.68	58	25.63	56	25.93	56	25.91	56
5320	24.89	58	25.67	56	26.05	56	25.85	55
5330	24.80	58	25.60	56	25.90	56	25.68	56
5340	24.79	57	25.72	56	25.87	56	25.83	56
5350	24.84	58	25.41	56	26.09	56	26.02	56
5360	24.73	58	25.40	56	25.99	56	25.88	56
5370	24.82	58	24.95	56	26.30	56	25.63	56
5380	25.01	58	24.97	56	26.00	56	25.75	55
5390	24.83	58	24.81	56	26.01	56	25.96	56
5400	24.85	58	24.85	56	25.99	56	25.91	56
5410	24.95	58	24.78	56	25.89	56	25.85	55
5420	24.88	57	24.98	56	26.21	56	25.68	56
5430	24.61	57	24.89	56	26.18	56	25.83	56
5440	24.73	58	24.70	56	26.05	55	25.91	56
5450	24.66	58	24.50	56	25.85	55	25.85	55
5460	24.63	58	24.73	56	26.08	55	25.72	56

ข.2 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ 2 (ต่อ)

Time (s)	9.13 m^3/min		การควบคุมแบบที่ 1		การควบคุมแบบที่ 2		การควบคุมแบบที่ 3	
	Tr	RHr	Tr	RHr	Tr	RHr	Tr	RHr
5470	24.71	58	24.94	56	25.99	55	25.88	56
5480	24.55	58	25.11	56	26.06	55	26.14	56
5490	24.72	57	25.39	56	25.88	55	26.04	56
5500	24.84	57	25.34	56	25.92	55	26.14	56
5510	24.79	58	25.31	56	26.03	55	26.02	56
5520	24.93	58	25.35	56	25.95	55	25.88	56
5530	24.75	58	25.25	56	25.99	55	25.63	56
5540	24.64	58	25.43	56	25.99	55	25.75	55
5550	24.70	58	25.49	56	25.97	55	25.96	56
5560	24.89	58	25.33	56	26.08	55	25.91	56
5570	24.81	58	25.49	56	25.96	55	25.85	55
5580	24.95	58	25.55	56	26.16	55	25.68	56
5590	24.67	58	25.32	56	25.89	55	25.83	56
5600	24.79	58	25.36	56	25.81	55	26.08	56
5610	25.03	58	25.38	56	25.89	55	25.90	56
5620	24.97	58	25.32	56	25.81	55	25.86	56
5630	24.97	58	25.47	57	26.00	55	25.80	55
5640	24.68	58	25.41	57	25.97	55	25.71	56
5650	24.74	57	25.49	56	26.10	55	25.60	55
5660	24.93	57	25.79	57	25.93	55	25.73	55
5670	25.08	58	25.45	57	25.87	55	25.69	55
5680	25.03	58	25.42	57	25.86	55	25.73	55
5690	24.81	58	25.38	57	25.94	55	25.92	55
5700	24.89	57	25.37	57	25.94	55	26.01	55
5710	24.67	57	25.67	57	25.93	55	26.04	55
5720	25.05	57	25.56	57	25.94	55	25.98	55
5730	24.94	58	25.60	57	25.75	55	25.90	55

ข.2 ตารางแสดงข้อมูลการทดลองที่ 2 (ต่อ)

Time (s)	9.13 m^3/min		การควบคุมแบบที่ 1		การควบคุมแบบที่ 2		การควบคุมแบบที่ 3	
	Tr	RHr	Tr	RHr	Tr	RHr	Tr	RHr
5740	24.92	58	25.53	57	25.72	55	25.69	55
5750	24.97	58	25.65	57	25.73	55	25.88	55
5760	24.70	58	25.38	57	25.74	55	26.02	55
5770	24.61	58	25.42	58	25.89	55	26.01	55
5780	24.63	58	25.50	58	26.00	55	26.00	55
5790	24.77	58	25.66	58	26.07	55	25.82	55
5800	24.81	57	25.68	58	25.99	55	26.04	55
5810	24.91	58	25.62	58	25.98	55	26.12	55
5820	24.87	58	25.75	58	25.94	55	26.09	55
5830	24.72	58	25.69	58	25.91	55	25.79	55
5840	24.89	58	25.48	58	25.82	55	25.90	55
5850	24.62	57	25.38	58	26.03	55	25.71	55
5860	24.96	58	25.74	58	25.90	55	25.70	55
5870	24.87	58	25.65	58	25.83	55	25.72	55
5880	24.93	57	25.82	58	25.96	55	26.00	55
5890	25.02	58	25.76	58	25.90	55	25.93	55
5900	25.16	58	25.61	58	25.92	55	26.04	55
5910	24.77	58	25.60	58	25.97	54	26.09	55
5920	24.97	58	25.71	58	25.82	55	26.02	55
5930	25.07	58	25.88	58	25.89	55	25.96	55
5940	25.03	58	25.70	58	25.73	54	25.76	55
5950	24.79	58	25.76	58	25.48	54	26.04	55
5960	24.47	58	25.76	58	25.48	54	25.76	55
5970	24.61	58	25.75	58	25.46	55	25.81	55
5980	24.77	58	25.75	58	25.68	55	26.10	55
5990	24.88	57	25.75	58	25.73	55	26.08	55
6000	24.94	57	25.75	58	25.84	55	26.04	55

ภาคผนวก ค

อื่นๆ

ค.1 ตารางแสดงข้อกำหนดของคอยล์คอนเดนเซอร์

พารามิเตอร์ (Parameter)	สัญลักษณ์ (Symbol)	หน่วย (Unit)	ขนาด (Value)
Length of Coil	L	m	0.805
Height of Coil	W	m	0.530
Tube Diameter	D_r	m	0.0073
No. of Row	n_r	Row	1
No. of Tubes in Row	n_t	Tube	24
Total Tubes	n	Tube	24
Thick of Tube	δ_f	m	0.0003
Distance Between Tube	S_t	m	0.021
Height of Fin	L	m	0.08
Fin Density	FPI	Fins per inch	19
Distance Between Fin	s	m	0.0012
Fin Diameter Equivalent	D_f	m	0.05075

ค.2 ตารางแสดงข้อกำหนดของคอยล์เครื่องระเหย

พารามิเตอร์ (Parameter)	สัญลักษณ์ (Symbol)	หน่วย (Unit)	หน่วย (Value)
Length of Coil	L	m	0.65
Height of Coil	W	m	0.30
Tube Diameter	D_r	m	0.0067
No. of Row	n_r	Row	2
No. of Tubes in Row	n_t	Tube	14
Total Tubes	n	Tube	28
Thick of Tube	δ_f	m	0.0003
Distance Between Tube	S_t	m	0.0208
Height of Fin	L	m	0.06
Fin Density	FPI	Fins per inch	21
Distance Between Fin	s	m	0.0012
Fin Diameter Equivalent	D_f	m	0.0359

ค.3 การตั้งค่าโปรแกรม AP-104

- เปิดเครื่อง AP-104 และเปิดโปรแกรม AP-104 ในคอมพิวเตอร์พร้อมทั้งตั้งค่าโปรแกรม

- Setting>>Compact>>Com1

- ตั้งค่า Channel

- เลือก Channel 1 กำหนดเวลาเริ่มเก็บข้อมูล เช่น 13:00:00

- กำหนดเวลาหยุดการเก็บข้อมูล เช่น 18:00:00

- กำหนดระยะเวลาในการเก็บข้อมูลแต่ละครั้ง (ทุก 10 วินาที)

- กด Enable >> Set >> Start โปรแกรมจะเริ่มเก็บข้อมูลของ Channel 1 ตั้งแต่เวลา 13:00:00 – 18:00:00

- ทำการตั้งค่า Channel 2-5 ตามขั้นตอนข้างต้น

ค.4 การตั้งค่าโปรแกรม Agilent Benchlink Data logger Properties

-เสียบปลั๊กไฟของเครื่อง Agilent Benchlink Data logger Properties

-เปิดโปรแกรม Agilent Benchlink Data logger Properties ในคอมพิวเตอร์

-จะมีหน้าต่าง Welcome to Agilent Benchlink Data logger โชว์ที่หน้าจอให้ เลือก Open an existing setup แล้วคลิกที่ OK

-จะมีหน้าต่าง Open โชว์ที่หน้าจอให้เลือก Lab o.k. แล้วคลิกที่ Open

-จะมีหน้าต่าง Lab o.k.-Data โชว์ที่หน้าจอให้คลิกที่ Scan เลือก Start Scan

-จะมีหน้าต่าง Start Scanning –Scan status โชว์ที่หน้าจอให้คลิก Start

-จะมีหน้าต่าง Downloading Channel Configurations โชว์ที่หน้าจอ เมื่อ Download เสร็จ โปรแกรมจะเริ่มบันทึกข้อมูล โดยดูจากกราฟจะโชว์ที่หน้าจอ (ในการทดลองนี้จะตั้งเวลาเก็บข้อมูลทุกๆ 10 วินาที)

ค.5 ซอสโค้ดของโปรแกรมควบคุมอัตราการไหลของอากาศตามช่วงความชื้นสัมพัทธ์

```
unsigned char sp selec(int hm)// (High to Low Speed = 5 - 6.5 mSec)
{
        unsigned char spd;
        if (hm>=66 && hm<=100)          // humidity 66-100%
                {
                        TH0_val = 0xE8
                        TL0_val = 0x99;
                        spd = 1; // Fan speed
                }
        else if (hm>=56)                // humidity 56-65%
                {
                        TH0_val = 0xE9;
                        TL0_val = 0xF8;
                        spd = 2; // Fan speed
                }
        else if (hm>=51)                // humidity 51-55%
                {
                        TH0_val = 0xEB;
                        TL0_val = 0x55;
                        spd = 3; // Fan speed
                }
        else if (hm>=45)                // humidity 45-50%
                {
                        TH0_val = 0xEC;
                        TL0_val = 0x84;
                        spd = 4;  // Fan speed
```

```
            }
        else                        // humidity <45%
            {
                TH0_val = 0xEE;
                TL0_val = 0x00;
                spd = 5;            // Fan speed
            }
        return spd;
}
```

ค.6 ซอสโค้ดของการทำงานของโปรแกรมควบคุมอัตราการไหลของอากาศตามค่าความชื้นสัมพัทธ์ แบบไม่ที่มีการตรวจสอบกับข้อมูลที่ผ่านมา

```
while(1)
{
  s_connectionreset();
  s_measure((unsigned char *)&humi_val.i,&checksum,HUMI);   //measure humidity
  s_measure((unsigned char *)&temp_val.i,&checksum,TEMP);   //measure temperature
  humi_val.f=(float)humi_val.i;             //converts integer to float
  temp_val.f=(float)temp_val.i;             //converts integer to float
  calc_SHT15(&humi_val.f,&temp_val.f);//calculate humidity, temperature
  t = (int)temp_val.f;                      // Read temperature (integer format)
h = (int)humi_val.f;                        // Read humidity (integer format)
if (j != 0 && on_sw == 1)                   // for initial display speed
{
        j=0;
        TR1 = 1;                            // Timer1 Start
        lcd_puts(0xCB,"   ");               // Clear previous humidity display
        inttolcd(0xCC,DegreeAssign);        // Display new humidity value
```

```
}
if (j == 0 && on_sw == 0)                // for re-display speed stop
{
        j=1;
        TR1 = 0;                         // Timer1 Stop
        lcd_puts(0xCB,"STOP");           // Display stop fan speed
}
counter++;                               // Increase count index
if (counter >= 50)                       // check counter for 10 times
{
        counter = 0;
        if (h > RH_setpoint)
        {
                DegreeAssign++;// Increase Degree for Decrease fan speed
                if (DegreeAssign >= 117)// Degree Max Limit  117 Degree
                {
                        DegreeAssign = 117;// Assigned Degree Max Limit
                }
                DelayTimeCalc(DegreeAssign);// Delay time calculation in mSec
        }
        if (h < RH_setpoint)
        {
                DegreeAssign--; // Decrease Degree for Increase fan speed
                if (DegreeAssign <= 90) // Degree Min Limit 90 Degree
                {
                        DegreeAssign = 90;// Assigned Degree Min Limit
                }
```

```
            DelayTimeCalc(DegreeAssign);// Delay time calculation in mSec
        }
        }
        if (on_sw == 1)
        {
            lcd_puts(0x8D,"   ");    // Clear previous humidity display
            nttolcd(0x8D,h);         // Display new humidity value
            lcd_puts(0xCB,"   ");    // Clear previous humidity display
            inttolcd(0xCC,DegreeAssign);// Display new AngleTrig value
        }
        if (on_sw == 0)
        {
            lcd_puts(0xCB,"   ");    // Clear previous humidity display
            lcd_puts(0xCB,"STOP");// Display stop fan speed
        }
}
        if(old_t != t)               // Compare previous and new Temperature data equal?
        {
            lcd_puts(0xC3,"  ");     // Clear previous temperature display
            inttolcd(0xC3,t);        // Display new temperature value
        }
        if(old_h != h)               // Compare previous and new humidity data equal?
        {
            lcd_puts(0x8D,"  ");     // Clear previous humidity display
            inttolcd(0x8D,h);        // Display new humidity value

            if (on_sw == 1)
            {
```

```
                lcd_puts(0xCB,"    ");// Clear previous humidity display
                inttolcd(0xCC,DegreeAssign);// Display new humidity value
            }
            else
            {
                Trig = 1;                   // Trig off Active Low
                lcd_puts(0xCB,"STOP");      // Display stop fan speed
            }
        }
            old_t = t;      // Keep temperature value for next comparison
            old_h = h;      // Keep humidity value for next comparison
        }
}
```

ค.7 ซอสโค้ดของการทำงานของโปรแกรมควบคุมอัตราการไหลของอากาศตามค่าความชื้นสัมพัทธ์ แบบที่มีการตรวจสอบกับข้อมูลที่ผ่านมา

```
while(1)
{
  s_connectionreset();
  s_measure((unsigned char *)&humi_val.i,&checksum,HUMI);   //measure humidity
  s_measure((unsigned char *)&temp_val.i,&checksum,TEMP);   //measure temperature
  humi_val.f=(float)humi_val.i;             //converts integer to float
  temp_val.f=(float)temp_val.i;             //converts integer to float
  calc_SHT15(&humi_val.f,&temp_val.f);//calculate humidity, temperature
  t = (int)temp_val.f;                      // Read temperature (integer format)
h = (int)humi_val.f;                        // Read humidity (integer format)
```

```
if (j != 0 && on_sw == 1)                // for initial display speed
{
        j=0;
        TR1 = 1;                         // Timer1 Start
        lcd_puts(0xCB,"    ");           // Clear previous humidity display
        inttolcd(0xCC,DegreeAssign);     // Display new humidity value
}
if (j == 0 && on_sw == 0)                // for re-display speed stop
{
        j=1;
        TR1 = 0;                         // Timer1 Stop
        lcd_puts(0xCB,"STOP");           // Display stop fan speed
}
counter++;                               // Increase count index
if (counter >= 50)                       // check counter for 10 times
{
        counter = 0;
        if (h > RH_setpoint)
        {
                DegreeAssign++;// Increase Degree for Decrease fan speed
                if (DegreeAssign >= 117)// Degree Max Limit  117 Degree
                {
                        DegreeAssign = 117;// Assigned Degree Max Limit
                }
                DelayTimeCalc(DegreeAssign);// Delay time calculation in mSec
        }
        if (h < RH_setpoint)
```

```
        {
            DegreeAssign--; // Decrease Degree for Increase fan speed
            if (DegreeAssign <= 90) // Degree Min Limit 90 Degree
            {
                DegreeAssign = 90;// Assigned Degree Min Limit
            }
            DelayTimeCalc(DegreeAssign);// Delay time calculation in mSec
        }
        if (h = RH_setpoint)
        {
        DegreeAssign = DegreeAssign;// Increase Degree for Decrease fan speed
        DelayTimeCalc(DegreeAssign);// Delay time calculation in mSec
        }
        if (on_sw == 1)
        {
            lcd_puts(0x8D,"   ");     // Clear previous humidity display
            nttolcd(0x8D,h);          // Display new humidity value
            lcd_puts(0xCB,"   ");     // Clear previous humidity display
            inttolcd(0xCC,DegreeAssign);// Display new AngleTrig value
        }
        if (on_sw == 0)
        {
            lcd_puts(0xCB,"   ");     // Clear previous humidity display
            lcd_puts(0xCB,"STOP");// Display stop fan speed
        }
    }
        if(old_t != t)                // Compare previous and new Temperature data equal?
```

```
        {
            lcd_puts(0xC3,"  ");      // Clear previous temperature display
            inttolcd(0xC3,t);         // Display new temperature value
        }
        if(old_h != h)                // Compare previous and new humidity data equal?
        {
            lcd_puts(0x8D,"  ");      // Clear previous humidity display
            inttolcd(0x8D,h);         // Display new humidity value
            if (on_sw == 1)
            {
                lcd_puts(0xCB,"    ");// Clear previous humidity display
                inttolcd(0xCC,DegreeAssign);// Display new humidity value
            }
            else
            {
                Trig = 1;                     // Trig off Active Low
                lcd_puts(0xCB,"STOP");        // Display stop fan speed
            }
        }
            old_t = t;        // Keep temperature value for next comparison
            old_h = h;        // Keep humidity value for next comparison
        }
}
```

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน

ชื่อ นายกฤษณะ วิชาพร

ภูมิลำเนา 56 หมู่ 9 ต. หนองกรด อ. บรรพตพิสัย จ. นครสวรรค์

ประวัติการศึกษา

จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนหนองกรด-พิทยาคม

ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: auan_me@hotmail.com

ชื่อ นายฐนิศร์ สมีเพ็ชร

ภูมิลำเนา 430 หมู่ 21 ต. ปางมะค่า อ. ขาณุวรลักษบุรี จ. กำแพงเพชร

ประวัติการศึกษา

จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนชุมแสงชนูทิศ

ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: d.ek.deena@hotmail.com

ชื่อ นายเอกลักษณ์ ยอดยิ่ง

ภูมิลำเนา 3 หมู่ 4 ต. บ้านน้อย อ. โพทะเล จ. พิจิตร

ประวัติการศึกษา

จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนบางมูลนากภูมิ-วิทยาคม

ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: aekkaluck@windowslive.com