

การพัฒนาาระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

DEVELOPMENT OF A TEMPERATURE AND HUMIDITY CONTROL SYSTEM  
FOR ELECTRONIC EQUIPMENT

กมลสัน มุ้ยดี

KOMSAN MUISEE

วิทยานิพนธ์ที่ส่งมอบหนึ่งของการศึกษาระดับรัฐปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2552

KMITL-2009-EN-M-030-104

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

Development of a Temperature and Humidity Control System  
for Electronic Equipment

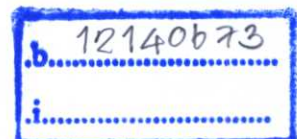


คมสัน มุ่ยสี

KOMSAN MUISEE

อพ.  
ด152ก  
2552

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน.....104503  
วัน,เดือน,ปี..... - 4 พ.ย. 2552



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2552

KMITL-2009-EN-M-030-104

**DEVELOPMENT OF A TEMPERATURE AND HUMIDITY CONTROL  
SYSTEM FOR A ELECTRONIC EQUIPMENT**

**KOMSAN MUISEE**

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
2009  
KMITL-2009-EN-M-030-104**

**COPYRIGHT 2009**

**FACULTY OF ENGINEERING**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์  
Thesis Title Development of a Temperature and Humidity Control System for Electronic Equipment  
นักศึกษา นายคมสัน มุ่ยสี  
รหัสประจำตัว 47060353  
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล  
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.มงคล มงคลวงศ์โรจน์  
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2009-EN-M-030-104

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.อุนนต์	พิณ โสภณ	
ดร.ณัฐวุฒิ	เดไปวา	
ผศ.ดร.จินดา	เจริญพรพาณิชย์	
รศ.ดร.สุรเชษฐ์	ชุติมา	
รศ.ดร.มงคล	มงคลวงศ์โรจน์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันจันทร์ที่ 13 กรกฎาคม พ.ศ. 2552 เวลา 09.30-11.30 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 3 ห้องประชุม 2

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร.กอบชัย เดชหาญ)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 13 กรกฎาคม พ.ศ. 2552

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
นักศึกษา	นายคมสัน มุ่ยสี
รหัสนักศึกษา	47060353
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
พ.ศ.	2552
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ. ดร. มงคล มงคลวงศ์โรจน์

### บทคัดย่อ

ปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้าน อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและมีศักยภาพทางด้านการตลาดมากขึ้น ทำให้กลายเป็นสิ่งที่น่าสนใจในการนำมาประยุกต์ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของระบบที่มีขนาดเล็ก และ ในช่วงประมาณสิบปีที่ผ่านมา การควบคุมโดยใช้พีซีลอจิกได้มีการนำมาประยุกต์ใช้อย่างมากมายในระบบที่มีความไม่แน่นอนและการควบคุมที่ค่อนข้างซับซ้อน

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาระบบควบคุมพีซีลอจิกให้สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์ในการกำเนิดความร้อนหรือความเย็นให้กับระบบ พร้อมสารดูดความชื้น โดยการควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านเข้าอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์ และ ควบคุมอัตราการไหลของลมจ่ายที่ไหลผ่านสารดูดความชื้น ซิลิกาเจล เพื่อควบคุมอุณหภูมิและความชื้น ตามลำดับ โดยใช้คอมพิวเตอร์ในการควบคุมอุปกรณ์การทำงาน และ โปรแกรมแล็บวิว ในการควบคุมแบบพีซีลอจิก ได้จำลองหาโมเดลทางคณิตศาสตร์ของระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของกล่องอิเล็กทรอนิกส์เป็นระบบอันดับที่เก้า และได้ทำการจำลองการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นจากระบบที่คำนวณได้ พัฒนาระบบควบคุมโดยใช้ตัวควบคุมพีซีลอจิก และตัววัดสัญญาณอุณหภูมิและความชื้น เอ็ชเอชทีลึบหัว จากการทดลองพบว่าสามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด  $\pm 0.3^{\circ}C$  ,  $\pm 0.2\%RH$

<b>Thesis Title</b>	Development of a Temperature and Humidity Control System for Electronic Equipment
<b>Student</b>	Mr.Komsan Muisee
<b>Student ID.</b>	47060353
<b>Degree</b>	Master of Engineering
<b>Program</b>	Mechanical Engineering
<b>Year</b>	2009
<b>Thesis Advisor</b>	Assc. Prof. Dr. Mongkol Mongkolwongrojn

## ABSTRACT

Performances of thermoelectric materials and systems become more interesting in the technology and potential for new markets. They have been interested for application of temperature and humidity controlled system in the environmental controlled chamber for industries, a small chamber. Over the past ten years, fuzzy logic control has been widely applied for handling the system which has uncertainty or high robust system.

This research presents the development of Fuzzy logic control systems to control temperature and humidity for Electronic Equipment. Using thermoelectric materials generated heat or absorbs moisture with silica gel in the controlled system. In this system control the temperature is regulated by the supplied to current the thermoelectric materials and the air supply flow rate to the chamber is use to regulated the air humidity in the chamber. This work using the Lab VIEW software is used for the fuzzy logic control and measurement of temperature and humidity using sensor model SHT15. The nine order of temperature and humidity mathematical model can be expressed experimentally for the openloop control chamber. The experimental results show that the offset in temperature and humidity of the temperature and humidity control system for electronic equipment are  $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$  and  $\pm 0.2\% \text{RH}$  respectively.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาของอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.มงคล มงคลวงศ์โรจน์ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะแก้ปัญหาตลอดจนเสียสละเวลาเพื่อให้ความรู้ และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ได้ให้การเลี้ยงดูและสนับสนุนการศึกษาเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้อันเป็นประโยชน์ต่อการศึกษา

ขอขอบพระคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ ทุกคน ที่ช่วยให้คำแนะนำแก่ผู้วิจัยเสมอมา

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูและอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

คมสัน มุ่ยสี

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	II
กิตติกรรมประกาศ .....	III
สารบัญ .....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป .....	IX
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา .....	2
1.3 แนวความคิดที่ใช้ในงานวิจัย .....	3
1.4 ขอบเขตงานวิจัย .....	3
1.5 ขั้นตอนการศึกษา .....	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐาน .....	5
2.1 ความหมายของการควบคุมและความเป็นมา.....	5
2.2 ภาพรวมของฟัซซี่.....	6
2.3 การแปลงอยู่ในรูปฟัซซี่(Fuzzification) .....	7
2.4 กระบวนการฟัซซี่ (Fuzzy processing) .....	7
2.5 การแปลงกลับอยู่ในรูปค่าที่ใช้งานจริง (Defuzzification) .....	8
2.6 การออกแบบสมาชิกการแปลงอยู่ในรูปฟัซซี่ (Fuzzification) .....	8
2.7 การออกแบบกฎการทำงาน.....	11
2.7.1 ทฤษฎี Max-Min (Mamdani's Minimum).....	12
2.7.2 ทฤษฎี Max-Dot (Larsen's Product).....	12
2.8 การออกแบบสมาชิกเอาพุทของฟัซซี่ (Defuzzification).....	13
2.8.1 Center of Gravity COG method.....	13
2.8.2 Mean of maximum MOM method.....	14
2.8.3 Center of Sums COS Method.....	15

# สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การออกแบบการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น.....	16
3.1 การออกแบบสมาชิกอินพุทของระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น.....	17
3.2 การออกแบบกฎการทำงานของระบบปรับอากาศ.....	18
3.3 การออกแบบสมาชิกเอาพุทของระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น.....	19
3.4 การแปลงค่าสมาชิกเอาพุทในการควบคุมสัญญาณ.....	20
3.5 การออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น.....	20
3.6 การออกแบบระบบติดต่อกับคอมพิวเตอร์.....	21
บทที่ 4 การออกแบบอุปกรณ์ควบคุมการทำงาน.....	24
4.1 กล้องควบคุมอุณหภูมิและความชื้น.....	24
4.2 เซนเซอร์อุณหภูมิและเซนเซอร์ความชื้น.....	25
4.2.1 การแปลงค่าที่ได้จากค่าดิจิตอลเป็นค่าที่ต้องการ.....	27
4.2.1.1 การแปลงค่าดิจิตอลเป็นค่าความชื้น.....	27
4.2.1.2 การแปลงค่าดิจิตอลเป็นอุณหภูมิ.....	28
4.3 บอร์ดวัดอุณหภูมิ PIC16F877A.....	29
4.4 บอร์ดควบคุม Servo Motor.....	30
4.5 เซอร์โวมอเตอร์(Servo motor).....	31
4.6 ชุดอินเทอร์เฟซ (Interface).....	35
4.7 เทอร์โมอิเล็กทริก(Thermoelectric).....	36
4.7.1 การทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric Refrigeration) ..	36
4.7.2 หลักการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริก ..	37
4.7.2.1 การถ่ายเทความร้อนที่ด้านเย็น ..	38
4.7.2.2 ประสิทธิภาพในการทำความเย็น (COP) ..	38
4.7.3 หลักการออกแบบและเลือกอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก ในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น.....	39
4.8 รีเลย์ (Relay).....	41
4.9 ซิลิกาเจล (Silica gel).....	42
4.10 Power Supply.....	43
4.11 พัดลม.....	43

# สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.12 การสร้างภาระความร้อนสัมผัส.....	44
บทที่ 5 การจำลองการควบคุมระบบปรับอากาศ.....	45
5.1 การจำลองระบบควบคุมอุณหภูมิความชื้น.....	45
5.2 การหาโมเดลทางคณิตศาสตร์ของระบบควบคุมอุณหภูมิความชื้น.....	45
5.3 การจำลองการควบคุมระบบปรับอากาศ.....	52
5.4 ผลการจำลองระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น.....	53
บทที่ 6 การออกแบบโปรแกรมระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น.....	57
6.1 โปรแกรมการออกแบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น.....	57
6.1.1 หลักการทำงานของโปรแกรม LabVIEW.....	57
6.2 โครงสร้างการเขียนโปรแกรมการควบคุมระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น.....	59
6.3 โครงสร้างการเขียนโปรแกรมการควบคุมด้วยพีซีซีลอจิก.....	60
บทที่ 7 ผลการทดลอง.....	61
7.1 เงื่อนไขในการทดลอง.....	61
7.2 ผลการทดลอง.....	62
7.3 การเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการจำลองการควบคุมและการทดลอง.....	78
บทที่ 8 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	84
8.1 สรุปผลการวิจัย.....	84
8.2 ข้อเสนอแนะ.....	85

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง.....	86
ภาคผนวก .....	88
ภาคผนวก ก ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์.....	89
ประวัติผู้เขียน .....	101

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 คำสั่งไอซี SHT15.....	23
4.2 สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ.....	24
4.3 เปรียบเทียบสัญญาณพัลส์กับโวลต์ ของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก.....	29
4.4 เปรียบเทียบ สัญญาณพัลส์กับโวลต์ ของ โบลเวอร์54.....	30

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมพื้นฐาน.....	4
2.2 กระบวนการทำงานในพีชชี.....	5
2.3 การทำงานทั่วไปของการควบคุมโดยใช้พีชชีลอจิก.....	6
2.4 ตัวอย่างสมการ $\Gamma : U \rightarrow [0,1]$ .....	7
2.5 ตัวอย่างสมการ $S$ .....	7
2.6 ตัวอย่างสมการ $L$ .....	8
2.7 ตัวอย่างสมการ $\Lambda$ .....	8
2.8 ตัวอย่างสมการ $\Pi$ .....	9
2.9 แสดงภาพการทำงานของ ทฤษฎี Max – Min.....	10
2.10 แสดงการทำงานของ ทฤษฎี Max – Dot.....	11
2.11 การดิฟฟิซิฟิเคชันวิธี Center of Gravity.....	12
2.12 การดิฟฟิซิฟิเคชันวิธี Mean of Maxima.....	12
2.13 การดิฟฟิซิฟิเคชันวิธี Center of Sums.....	13
3.1 การออกแบบระบบการควบคุมด้วยพีชชี.....	14
3.2 การเปลี่ยนแปลงของค่าเอาพุทของระบบในการวิเคราะห์.....	14
3.3 โครงสร้างการออกแบบการควบคุมในงานวิจัย.....	15
3.4 สมาชิกอินพุทของค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิ.....	16
3.5 สมาชิกอินพุทของค่าความผิดพลาดของความชื้น.....	16
3.6 กฎการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ควบคุมกระแสไฟฟ้าให้อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก.....	17
3.7 กฎการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ควบคุมกระแสไฟฟ้าให้อุปกรณ์พัดลม.....	17
3.8 สมาชิกเอาพุทของสัญญาณควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก....	18
3.9 สมาชิกเอาพุทของสัญญาณควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับพัดลม.....	18
3.10 แผนผังการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น.....	19
3.11 พอร์ตอนุกรม 9 ขา.....	20
3.12 วงจรในการทำงานของส่วนติดต่อพอร์ตอนุกรมและเซนเซอร์อุณหภูมิและความชื้น.....	21
4.1 แสดงกล่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้น.....	23
4.2 บล็อกไดอะแกรมภายในและลักษณะภาพของเซนเซอร์ SHT15.....	24
4.3 สัญญาณการทำงานของเซนเซอร์.....	24
4.4 ไบค์การทำงาน.....	25

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5 ตัวอย่างการวัดค่าความชื้น ซึ่งมีค่า $00001001\ 00110001 = 2353 = 75.79\%$ .....	25
4.6 $SO_{RH}$ ที่อ่านได้จากเซนเซอร์.....	26
4.7 แสดงโครงสร้างของบอร์ดทดลองรุ่น NX-877.....	27
4.8 แสดงการ์ดควบคุมเซอร์โวมอเตอร์.....	28
4.9 แสดงวงจรบอร์ดควบคุมเซอร์โวมอเตอร์.....	28
4.10 ลักษณะโครงสร้างการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์.....	30
4.11 เซอร์โวมอเตอร์ที่ใช้ควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก.....	30
4.12 รูปแสดงการความสัมพันธ์ สัญญาณพัลส์กับโวลต์ ของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก.....	31
4.13 เซอร์โวมอเตอร์ที่ใช้ควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้โบลเวอร์.....	32
4.14 รูปแสดงความสัมพันธ์ สัญญาณพัลส์กับโวลต์ของโบลเวอร์.....	32
4.15 แสดงการ์ดรับและประมวลผลสัญญาณรุ่น PCI-6034E.....	33
4.16 แสดงพอร์ตเชื่อมต่อสัญญาณรุ่น BNC-2110.....	33
4.17 อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก.....	34
4.18 ปรัชการณัของซีเบ็คทางเทอร์โมไดนามิกส์.....	34
4.19 ปรัชการณัของเพลเทียร์ทางเทอร์โมไดนามิกส์.....	35
4.20 ภาพตัดขวางวัสดุถึงตัวนำของเทอร์โมอิเล็กทริก.....	35
4.21 การเปรียบเทียบอัตราการทำมาเย็น กำลังไฟฟ้าที่ป้อน และ COP .....	37
4.22 โครงสร้างการทำงานของรีเลย์.....	38
4.23 การเชื่อมต่อรีเลย์กับตัวต้านทานแบบปรับค่าได้.....	38
4.24 ซิลิก้าเจล.....	38
4.25 แสดงอุปกรณ์ Regulated DC Power Supply จ่ายให้กับอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก.....	39
4.26 แสดงอุปกรณ์ Regulated DC Power Supply จ่ายให้กับอุปกรณ์พัลลล.....	39
4.27 แสดงโครงสร้างของโบลเวอร์.....	40
4.28 แสดงโบลเวอร์ที่ใช้ในการทดลอง.....	40
4.29 ส่วนประกอบของระบบควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์.....	41
4.30 ไดอะแกรมแสดงขั้นตอนการทำงานของเครื่องคอมพิวเตอร์.....	43
4.31 กล่องควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้เป็นภาละความร้อนสัมผัส.....	43
4.32 หลอดไฟที่ใช้ในการทดลองขนาด 25 W.....	43
5.1 สัญญาณการจ่ายกระแสไฟฟ้าและค่าของอุณหภูมิที่ได้.....	45

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.2 สัญญาณการจ่ายกระแสไฟฟ้าและค่าของความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้.....	45
5.3 สัญญาณการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับพัดลมและค่าของอุณหภูมิที่ได้.....	46
5.4 สัญญาณการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับพัดลมและค่าของความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้.....	46
5.5 สัญญาณการจ่ายกระแสไฟฟ้า ON-OFF รีเลย์ และค่าของอุณหภูมิที่ได้.....	47
5.6 สัญญาณการจ่ายกระแสไฟฟ้า ON-OFF รีเลย์และค่าของความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้.....	47
5.7 โมเดลอุณหภูมิของระบบควบคุมอุณหภูมิความชื้นจากโปรแกรม MATLAB.....	48
5.8 โมเดลความชื้นของระบบควบคุมอุณหภูมิความชื้นจากโปรแกรม MATLAB.....	48
5.9 การจำลองระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นใน SIMULINK.....	51
5.10 ผลการจำลองที่อุณหภูมิ 15 <sup>0</sup> C และ ความชื้น 45 %RH .....	52
5.11 ผลการจำลองที่อุณหภูมิ 15 <sup>0</sup> C และ ความชื้น 60 %RH .....	53
5.12 ผลการจำลองที่อุณหภูมิ 20 <sup>0</sup> C และ ความชื้น 45 %RH .....	54
5.13 ผลการจำลองที่อุณหภูมิ 20 <sup>0</sup> C และ ความชื้น 60 %RH.....	55
6.1 โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุม.....	57
7.1 ผลการควบคุมอุณหภูมิที่ 15 <sup>0</sup> C และความชื้นที่ 45 %RH .....	61
7.2 ผลการควบคุมอุณหภูมิที่ 15 <sup>0</sup> C และความชื้นที่ 60 %RH .....	62
7.3 ผลการควบคุมอุณหภูมิที่ 18 <sup>0</sup> C และความชื้นที่ 45 %RH .....	63
7.4 ผลการควบคุมอุณหภูมิที่ 18 <sup>0</sup> C และความชื้นที่ 60 %RH .....	64
7.5 ผลการควบคุมอุณหภูมิที่ 20 <sup>0</sup> C และความชื้นที่ 45 %RH .....	65
7.6 ผลการควบคุมอุณหภูมิที่ 20 <sup>0</sup> C และความชื้นที่ 60 %RH .....	66
7.7 ผลการควบคุมอุณหภูมิที่ 23 <sup>0</sup> C และความชื้นที่ 45 %RH .....	67
7.8 ผลการควบคุมอุณหภูมิที่ 23 <sup>0</sup> C และความชื้นที่ 55 %RH .....	68
7.9 ผลการควบคุมอุณหภูมิที่ 25 <sup>0</sup> C และความชื้นที่ 45 %RH .....	69
7.10 ผลการควบคุมอุณหภูมิที่ 25 <sup>0</sup> C และความชื้นที่ 55 %RH .....	70
7.11 ผลการควบคุมอุณหภูมิที่ 28 <sup>0</sup> C และความชื้นที่ 45 %RH .....	71
7.12 ผลการควบคุมอุณหภูมิที่ 28 <sup>0</sup> C และความชื้นที่ 55 %RH .....	72
7.13 ผลการควบคุมอุณหภูมิที่ 30 <sup>0</sup> C และความชื้นที่ 45 %RH .....	73
7.14 แสดงการเปรียบเทียบผลการจำลองระบบกับผลการทดลองที่อุณหภูมิ 15 <sup>0</sup> C.....	74
7.15 แสดงการเปรียบเทียบผลการจำลองระบบกับผลการทดลองที่ความชื้น 45 %RH.....	74
7.16 แสดงการเปรียบเทียบผลการจำลองระบบกับผลการทดลองที่อุณหภูมิ 15 <sup>0</sup> C.....	75

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
7.17 แสดงการเปรียบเทียบผลการจำลองระบบกับผลการทดลองที่ความชื้น 60 %RH.....	75
7.18 แสดงการเปรียบเทียบผลการจำลองระบบกับผลการทดลองที่อุณหภูมิ 18 °C.....	76
7.19 แสดงการเปรียบเทียบผลการจำลองระบบกับผลการทดลองที่ความชื้น 45 %RH.....	76
7.20 แสดงการเปรียบเทียบผลการจำลองระบบกับผลการทดลองที่อุณหภูมิ 20 °C.....	77
7.21 แสดงการเปรียบเทียบผลการจำลองระบบกับผลการทดลองที่ความชื้น 55 %RH.....	77

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในหลาย ๆ ประเทศมีแผนงานที่ชัดเจนเกี่ยวกับการส่งเสริมการใช้ปั๊มความร้อน เช่น ในประเทศสหรัฐอเมริกามีการใช้ปั๊มความร้อนสูงถึง 38 % ของความต้องการใช้เครื่องทำน้ำร้อน โดยในปี 1988 ได้มีการขายอุปกรณ์ปั๊มความร้อนในตลาดเป็นครั้งแรก [1] และในประเทศเนเธอร์แลนด์ได้เคยจัดสรรงบประมาณสูงถึง 750 ล้าน NGL (400 ล้าน USD) เพื่อโครงการเกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงาน โดยในปี 1997 ที่ผ่านมามีกว่า 50 โครงการที่เกี่ยวข้องกับการใช้ปั๊มความร้อน โดยการพิจารณาเลือกใช้เทคโนโลยีต้องพิจารณาเกี่ยวกับประสิทธิภาพ การใช้งานร่วมกับระบบอื่นๆ และผลประโยชน์สูงสุดที่ได้รับ รวมถึงผลกระทบต่อในด้านสิ่งแวดล้อมด้วย [2] การใช้สารทำงานในปั๊มความร้อนที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เช่น สาร CFCs ประเภท Fully halogenated (R-11, R-12, R-115) ซึ่งเป็นสารที่สามารถทำลายชั้นโอโซนในบรรยากาศ และสารทำความเย็นประเภท Nonfully halogenated เช่น R-22 จะมีความสามารถในการทำลายโอโซนได้ประมาณ 5% ของ R-12 [3] ซึ่งมีผลทำให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse effect) ขึ้น ผลที่ตามมาคือ อุณหภูมิของโลกสูงขึ้น จากสาเหตุเหล่านี้เอง จึงมีการนำเสนอเทคโนโลยีปั๊มความร้อนใหม่ที่ใช้เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลเป็นตัวทำความร้อนเพื่อลดปริมาณการใช้สารทำงานในปั๊มความร้อน การนำเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลมาใช้ในปั๊มความร้อนเป็นแนวทางที่น่าสนใจในการป้องกันการทำลายสภาพสิ่งแวดล้อมจากสารทำงานในระบบปั๊มความร้อน เทอร์โมอิเล็กทริก หรือ Peltier เป็นอุปกรณ์ที่ทำมาจากสารกึ่งตัวนำ ใช้หลักการทำงานของปั๊มความร้อน เมื่อป้อนไฟฟ้ากระแสตรงให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้สารกึ่งตัวนำแบบพี - เอ็น กระแสที่ไหลผ่านวัสดุที่ทำจากสารกึ่งตัวนำต่างชนิดกัน ส่งผลให้เกิดความต่างศักย์ทางไฟฟ้า และทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิขึ้นระหว่างขั้วทั้งสอง คือทางด้านหนึ่งของตัวเทอร์โมอิเล็กทริกจะร้อนและอีกด้านหนึ่งจะเย็น ชิ้นส่วน Peltier เป็นส่วนประกอบที่สมบูรณ์ของตัวทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกและปั๊มความร้อนและมีความสามารถในการควบคุมอุณหภูมิด้วยการนำหรือการพาความร้อนมีความถูกต้องดีกว่าเดิมถึง 0.05 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิที่มากกว่าหรือต่ำกว่าอุณหภูมิรอบ ๆ [4] และถ้าออกแบบให้ดีจะสามารถใช้อุปกรณ์ชุดเดียวกันนี้ในการทำความร้อนและทำความเย็นได้ตามแต่ฤดูกาล เป็นผลทำให้คุ้มค่าและประหยัดในด้านการลงทุนมากขึ้น ปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีเทอร์โมอิเล็กทริกมาประยุกต์ใช้ในการทำความเย็นและทำความร้อนกันอย่างแพร่หลาย ไม่ว่าจะเป็นการนำเทอร์โมอิเล็กทริกมาใช้เป็นส่วนประกอบของอุปกรณ์ทางการแพทย์ การทหาร วิทยาศาสตร์ และในอุตสาหกรรม[5] ใช้ในการทำความเย็นให้กับที่อยู่อาศัย [1,6] ใช้ร่วมกับ

ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ใช้กับปั๊มความร้อนในระบบอบแห้ง ระบบการดึงความร้อนใต้ดิน [7-9] เป็นต้น การใช้เทคโนโลยีเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลควรเลือกนำไปใช้ให้ถูกต้อง ต้องคำนึงถึงระบบที่เกี่ยวข้อง ไม่ว่าจะเป็น ระบบการทำความร้อน การทำความเย็น คำนึงถึงการออกแบบ อุปกรณ์ และการติดตั้งพัฒนากระบวนการความร้อน

งานวิจัยนี้จึงได้ ออกแบบพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่มีความแม่นยำโดยนำอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกใช้ในการทำความเย็นให้กับระบบสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากในปัจจุบันอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีความแม่นยำและเที่ยงตรงรวมทั้งมีประสิทธิภาพในการใช้งานที่สูงขึ้น แต่ในการใช้งานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เหล่านั้นจะมีช่วงอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมในการใช้งาน แต่ในการใช้งานจริงสภาวะแวดล้อมที่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เหล่านั้นติดตั้งอยู่ อุณหภูมิหรือความชื้นอาจจะอยู่ในสภาวะที่ไม่เหมาะสมสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เหล่านั้น เป็นผลให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เหล่านั้นมีอายุการใช้งานที่ลดลง รวมถึงอาจจะเกิดความผิดพลาดในการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เหล่านั้น ถ้ามีระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นใช้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ให้อยู่ในช่วงที่ถูกออกแบบไว้จะส่งผลให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทำงานได้เต็มประสิทธิภาพตามที่ได้ถูกออกแบบไว้และลดความผิดพลาดในการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

ปัจจุบันเครื่องจักรกลส่วนใหญ่ จะมีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ควบคุมการทำงาน ซึ่งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จะมีการทำงานที่ผิดพลาดจากการออกแบบเมื่ออุณหภูมิและความชื้นอยู่ในสภาวะที่ไม่เหมาะสมตามที่ถูกออกแบบไว้ซึ่งจะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลดลง เป็นผลให้ประสิทธิภาพในการควบคุมการทำงานของเครื่องจักรลดลง ดังนั้น ถ้าสามารถควบคุมสภาวะแวดล้อมในการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมจะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีประสิทธิภาพสูงสุด เป็นผลทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องจักรเพิ่มขึ้นด้วยและสามารถยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ตามอายุการใช้งานที่ออกแบบไว้หรือยาวนานกว่า

ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาการควบคุมแบบ ฟิชซี ลอจิก และประยุกต์ใช้อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก เพื่อนำมาพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่ดียิ่งขึ้น และให้ความแม่นยำสูงเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องปรับอากาศที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่ใช้ในห้องคอมพิวเตอร์หรือห้องที่มีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

### 1.3 แนวความคิดที่ใช้ในงานวิจัย

จากทฤษฎีฟิซซึ่ลลอจิก ได้แนวความคิดในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น โดยการใช้ค่าความผิดพลาด และ ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงความผิดพลาด ทั้งสองตัวแปรนั้นมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันในการทำงาน ทำให้การควบคุมจะต้องพยายามควบคุมตัวแปรทั้งสองให้ได้จนกว่าค่าความผิดพลาดและค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงความผิดพลาดมีค่าเป็นศูนย์หรือน้อยที่สุด

การออกแบบในงานวิจัยนี้ได้อาศัยความสัมพันธ์จากข้างต้นในการออกแบบระบบการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น โดยกำหนดให้ค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิ และ ค่าความผิดพลาดของความชื้น เป็นค่าป้อนเข้าให้กับระบบเพื่อควบคุมสัญญาณ การควบคุมของอุณหภูมิและความชื้นในระบบ โดยไม่ได้อาศัยอัตราการเปลี่ยนแปลงความผิดพลาดมาพิจารณาในการออกแบบ แต่คำนึงถึงความสัมพันธ์ของค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิ และค่าความผิดพลาดของความชื้นมาพิจารณาในการออกแบบกฎการทำงานของฟิซซึ่ เสมือนกับการที่เราควบคุมแบบเกี่ยวพันกัน ตามที่ได้จากสมการทางคณิตศาสตร์ โดยสร้างภาวะความร้อนสัมผัสในกล่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นแทนการทำงานของกล่องควบคุมอิเล็กทรอนิกส์จริง

### 1.4 ขอบเขตงานวิจัย

งานวิจัยนี้หาโมเดลทางคณิตศาสตร์ของกล่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นจากการทดลอง เพื่อจำลองการควบคุมแบบฟิซซึ่ลลอจิกของระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น พัฒนาโปรแกรมควบคุมการทำงานทั้งอุณหภูมิและความชื้นด้วยฟิซซึ่ลลอจิก ผ่านอุปกรณ์อินเทอร์เฟซกับอุปกรณ์ภายนอกควบคุมอัตราการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก เพื่อควบคุมปริมาณความร้อนหรือความเย็น ควบคุมความเร็วรอบของพัดลม เพื่อควบคุมความชื้น ควบคุมรีเลย์ เพื่อกำหนด ความร้อนหรือความเย็นของระบบ

### 1.5 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาและออกแบบการควบคุมด้วยฟิซซึ่ลลอจิก
2. ออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น
3. เขียนโปรแกรมตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์
4. หาโมเดลของระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นจากการทดลองโดยใช้ฟังก์ชัน Identification ในโปรแกรม MATLAB
5. จำลองระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของกล่องควบคุมโดยใช้โปรแกรม MATLAB
6. เขียนโปรแกรมควบคุมแบบฟิซซึ่ลลอจิกด้วยโปรแกรม Lab VIEW 8.0
7. ทดลองการควบคุมของระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

## 8. สรุปผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง

### 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เข้าใจการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วยการควบคุมแบบพีชซีลอจิก
2. สามารถออกแบบระบบการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น โดยการประยุกต์ใช้อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก ในการทำความเย็นหรือทำความร้อน
3. สามารถออกแบบระบบการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น โดยการควบคุมอัตราการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก ทำให้มีความผิดพลาดของอุณหภูมิและความชื้น น้อยลง รวมถึงประหยัดพลังงานเพิ่มขึ้น
4. สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานที่ต้องการ การออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นขนาดเล็กในสถานะที่ต้องการได้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีพื้นฐาน

### 2.1 ความหมายของการควบคุมและความเป็นมา

การควบคุมนั้นเป็นสิ่งสำคัญในการควบคุมการทำงานของระบบต่างๆ เพราะเนื่องจากการทำงานนั้นจะมีค่าความผิดพลาดเกิดขึ้นอยู่เสมอ การควบคุมนั้นจึงต้องนำมาใช้ร่วมด้วย ในร่างกายของเรานั้นก็เป็นตัวอย่างได้อย่างดี เพราะว่า ระบบในร่างกายของคนเราในสภาวะสิ่งแวดล้อมต่างๆ ร่างกายของเราก็สามารถคงสภาวะที่เหมาะสมของร่างกายเราไว้ได้ เช่น ในสภาวะที่ร้อน ร่างกายของเราก็จะขับเหงื่อออกมา เพิ่มการระบายความร้อนที่มีอยู่ในร่างกายของเราให้ลดลง เป็นต้น

ในระบบควบคุมได้พัฒนาในช่วงของการปฏิวัติอุตสาหกรรม ได้มีการออกแบบระบบกลไกต่างๆ มากมาย เพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง และมีประสิทธิภาพมาก อาทิเช่น ระบบการขนส่ง การควบคุมสภาวะแวดล้อม ในปัจจุบันการควบคุมสภาวะแวดล้อม หรือที่เราเรียกว่า การควบคุมอุณหภูมิความชื้นหรือระบบปรับอากาศ เป็นส่วนหนึ่งที่เราสามารถพบเห็นได้ บ่อยมากทั้ง โรงงานอุตสาหกรรม ห้างสรรพสินค้า หรือแม้แต่ในบ้านพักอาศัยก็มีระบบควบคุมอุณหภูมิความชื้น เพื่อช่วยให้เราอยู่ได้อย่างสบาย

ในการควบคุมอุณหภูมิความชื้นนั้นสามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภทในการควบคุม โดยอาศัยหลักการทำงานในการควบคุมแบบอนาล็อก และไบนารี การควบคุมอุณหภูมิความชื้นที่ถือได้ว่าเก่าแก่ที่สุดก็คือ การควบคุมที่เรียกว่า กลไกทางไฟฟ้า(Electromechanical) วิธีนี้ได้ใช้หลักการแบบไบนารี คือ เป็นการทำงานแบบเปิดและแบบปิด การทำงานวิธีนี้ได้ถูกออกแบบเพื่อควบคุมอุปกรณ์ในระบบควบคุมอุณหภูมิความชื้น หรืออุปกรณ์อื่นๆ วิธีที่สองเรียกว่า นิวแมติก วิธีนี้ได้ถูกพัฒนาจากวิธีแรก จากการใช้ระบบแรงเป็นตัวควบคุมการทำงานแต่ในวิธีนี้เราได้ใช้ลมเข้ามาเกี่ยวข้องในการควบคุมการทำงาน และข้อดีของวิธีแบบนิวแมติกก็คือ สามารถที่จะควบคุมการทำงานที่เป็นลักษณะแบบอนาล็อกได้ ซึ่งช่วยให้สามารถทำงานได้ในสภาวะที่ต่อเนื่อง โดยไม่จำเป็นต้องปิดและเปิดตลอดการทำงาน ตัววิธีนี้ข้อเสียก็เกิดจากลมที่ควบคุม เพราะในลมนิวแมติกจะมีพวกฝุ่น หรือสิ่งแปลกปลอมที่ไปทำความเสียหายให้กับอุปกรณ์ ต่อมาก็มีวิธีที่เรียกว่า อนาล็อกอิเล็กทรอนิกส์ วิธีนี้ได้อาศัยทรานซิสเตอร์ไปควบคุมการทำงานของระบบ ร่วมกับการทำงานของนิวแมติก แต่วิธีการนี้ค่อนข้างยุ่งยากและมักมีปัญหาในการซ่อมบำรุง วิธีสุดท้ายในปัจจุบันคือ วิธีดิจิทัลอิเล็กทรอนิกส์ การทำงานวิธีนี้สะดวกและง่ายในการทำงาน จากการทำงานโดยการควบคุมจากสัญญาณ ลอจิก 1 และลอจิก 0 สามารถที่จะควบคุมการทำงานแบบ

อนาล็อกและแบบไบนารีได้ แต่วิธีการนี้จะต้องอาศัยความรู้ในการเขียนโปรแกรมเพื่อการออกแบบของระบบ

ในปัจจุบันนี้การควบคุมโดยการใช้ไมโครคอมพิวเตอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์มีบทบาทอย่างมากในการทำงานรวมถึงการออกแบบระบบควบคุมการทำงานด้วย ในการออกแบบการควบคุมการทำงานที่เป็นในรูปแบบที่ผ่านมาก็มักจะเป็นในรูปแบบที่เป็นพีไอดี ซึ่งพีไอดีนี้มีการออกแบบการทำงานที่จำเป็นจะต้องอาศัยการคำนวณหาสมการของโมเดลการทำงาน ในปัจจุบันระบบการควบคุมแบบพีซีลอจิกได้มีการพัฒนานำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย ในระบบปรับอากาศก็เช่นกันมีการนำเอาพีซีลอจิกมาควบคุมอุณหภูมิหรือความชื้นความชื้น หรือทั้งอุณหภูมิและความชื้น ในการออกแบบก็ต่างกันไป เช่น การออกแบบควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นโดยการกำหนดสมาชิกของผลต่างอุณหภูมิ และ อัตราการเปลี่ยนแปลงผลต่างอุณหภูมิไปควบคุมความชื้นก็เช่นกัน กำหนดผลต่างความชื้นและอัตราการเปลี่ยนแปลงผลต่างความชื้นไปควบคุม [10] หรือ การออกแบบ อุณหภูมิและความชื้นที่เกิดจากการคาดหมายของอุณหภูมิที่สัมพันธ์กับความชื้นในความพึงพอใจในการออกแบบ [11,12] เป็นต้น

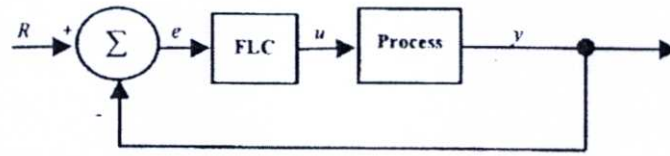
## 2.2 ภาพรวมของพีซีซี

ในชีวิตประจำวันนั้นเรามักจะเคยชินกับคุณสมบัติเชิงคุณภาพหรือใช้ความรู้สึกเป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจไม่ว่าจะเป็น ความสูง ความเร็ว ระยะทาง ความร้อน ความดัง ความสว่าง ความสวย และความเชื่อมั่น เป็นต้น ซึ่งไม่สามารถแบ่ง จำแนก หรือจัดการให้เป็นที่น่าพอใจ โดยใช้เพียง 'ใช่' หรือ 'ไม่ใช่' เป็นพื้นฐาน ตัวอย่างง่ายๆ เช่น ความสูงของคน แทนที่จะแบ่งเป็น 2 อย่าง คือ สูง และ ไม่สูง ซึ่งที่จริงน่าเป็นอัตราความสูงน้อยๆ ไปถึงสูงมากๆ วิธีการระบุดังกล่าวองค์ประกอบหรือสมาชิกในประชากรมีค่าเป็นเพียง 'ใช่' หรือ 'ไม่ใช่' นั้นนิยมใช้ในทฤษฎีเซตทั่วไป ซึ่งตามความเหมาะสมแล้วไม่เพียงพอในการจัดการกับคุณสมบัติทางนามธรรมที่ค่อนข้างคลุมเครือและไม่เจาะจงเหล่านี้

ลอตฟี่ ซีเคส์ เป็นผู้เริ่มต้นทฤษฎีพีซีซีลอจิกขึ้น เมื่อปี ค.ศ. 1965[7] ทฤษฎีพีซีซีลอจิกได้อาศัยความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์นำมาออกแบบวิธีการทางพีซีซีลอจิก เพื่อควบคุมการทำงานของระบบ เช่น เครื่องซักผ้า หม้อหุงข้าวไฟฟ้า เครื่องดูดฝุ่น ลิฟต์ และอื่นๆ อีกมากมาย เนื่องจากการออกแบบระบบควบคุมด้วยพีซีซีที่มีความสามารถในการควบคุมได้ในช่วงการออกแบบควบคุมที่ได้กว้างกว่าระบบควบคุมแบบเก่า สามารถแก้ไข และ ปรับปรุงการควบคุมได้ง่ายกว่าเนื่องจากอาศัยการกีดตวรรษของมนุษย์นำมาพัฒนา

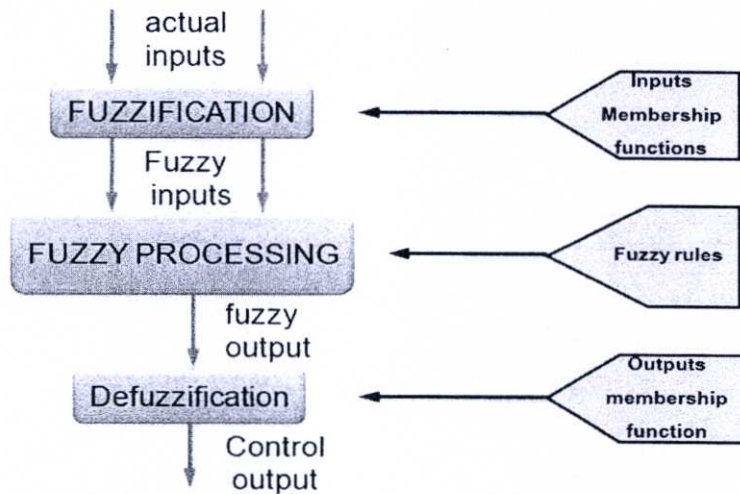
การควบคุมด้วยพีซีซีลอจิกที่ใช้ในงานควบคุมระบบปิด[13] สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.1 ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่ใช้ในการควบคุมด้วยพีซีซีลอจิกพื้นฐาน การทำงานของพีซีซีลอจิกในระบบปิดนั้น ก็เช่นเดียวกับการควบคุมทั่วไป โดยค่า  $e$  คือค่าความผิดพลาดจากระบบที่เกิดจากค่าที่กำหนด  $R$  เมื่อทำการควบคุมแล้วค่าที่ได้ในการควบคุมก็คือ  $u$  ทำหน้าที่ควบคุมระบบการ

ทำงาน ค่าที่วัดได้ของระบบการทำงานคือ  $y$  ค่าที่ได้ก็จะนำไปหักล้างกับค่าที่กำหนดเกิดค่าความผิดพลาด ค่าความผิดพลาดนี้ก็จะนำไปทำการประมวลผลเพื่อการควบคุมในรอบต่อไป



รูปที่ 2.1 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมพื้นฐาน

ทฤษฎีฟัซซีลอจิกมีกระบวนการในการปฏิบัติงานอยู่ 3 ขั้นตอนซึ่งสามารถแบ่งการทำงานได้ดังรูปที่ 2.2 ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานดังนี้



รูปที่ 2.2 กระบวนการทำงานในฟัซซี

### 2.3 การแปลงอยู่ในรูปฟัซซี (Fuzzification)

วิธีการนี้เป็นกระบวนการเปลี่ยนรูปแบบของค่าป้อนเข้าจากระบบการทำงานของสิ่งที่กำหนดจริงให้เปลี่ยนอยู่ในรูปแบบค่าใหม่ที่มีความสัมพันธ์กับค่าป้อนเข้าจริง โดยอาศัยการกำหนดสมาชิกป้อนเข้าของฟัซซีเซต ในการออกแบบฟัซซีลอจิกของสมาชิกป้อนเข้านี้สามารถออกแบบได้หลายวิธีซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

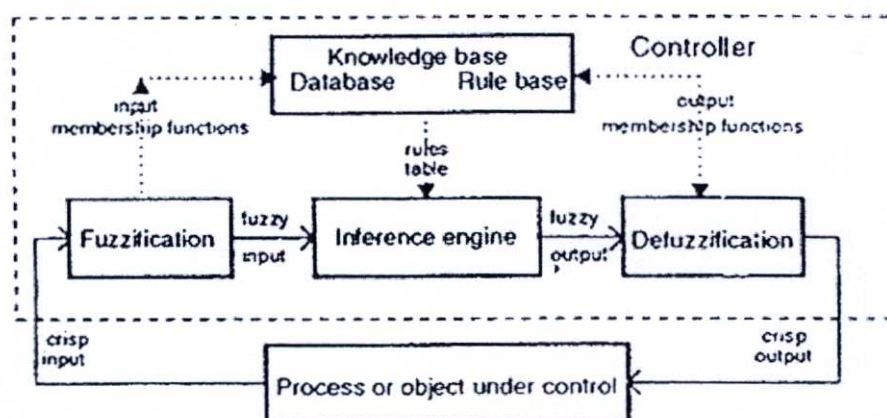
### 2.4 กระบวนการฟัซซี (Fuzzy processing)

เป็นกระบวนการทำงานของระบบควบคุมการทำงานที่ถูกกำหนดให้อยู่ในรูปแบบกฎการทำงาน หรือเป็นตัวดำเนินการในการควบคุม ผลลัพธ์ที่ได้นี้จะได้อ่านเข้าให้กับสมาชิกของเขา

## 2.5 การแปลงกลับอยู่ในรูปค่าที่ใช้งานจริง (Defuzzification)

เป็นกระบวนการที่เปลี่ยนค่าของผลลัพธ์ให้อยู่ในรูปแบบของค่าที่ควบคุมจริงของระบบการทำงานนั้น

จากขั้นตอนในการควบคุมการทำงานโดยใช้ฟัซซี่ลอจิกนั้นจะเห็นได้ว่า กระบวนการทั้ง 3 เป็นสิ่งที่ขาดไม่ได้เลยสำหรับการออกแบบควบคุมการทำงานจากระบบ ในการทำงานของระบบควบคุมการทำงานโดยใช้ฟัซซี่ลอจิกทั่วๆ ไปสามารถแสดงได้ดังรูป

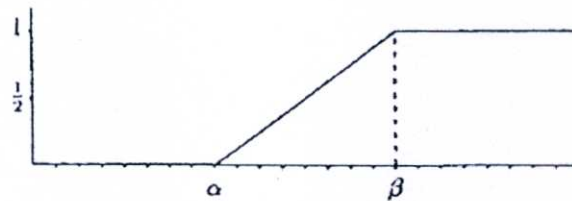


รูปที่ 2.3 การทำงานทั่วไปของการควบคุมโดยใช้ฟัซซี่ลอจิก

จากรูปที่ 2.3 แสดงบล็อกไดอะแกรมในเส้นปะซึ่งเป็นตัวควบคุมระบบการทำงานภายในประกอบไปด้วยขั้นตอน และกระบวนการในการควบคุมโดยการรับค่าจริงจากระบบที่ถูกควบคุมและส่งค่าที่ได้จากขั้นตอนในการควบคุมไปควบคุมระบบ การออกแบบบล็อกในส่วนต่างๆ ของตัวควบคุมจะอธิบายในหัวข้อต่อไป

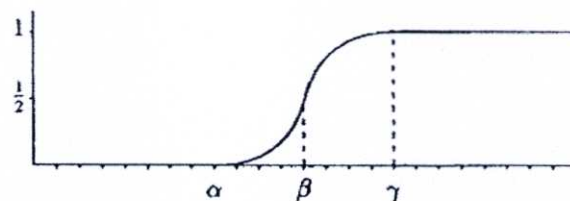
## 2.6 การออกแบบสมาชิกการแปลงอยู่ในรูปฟัซซี่ (Fuzzification)

ในการออกแบบสมาชิกเริ่มต้นของการควบคุมนั้น ได้อาศัยการออกแบบทางคณิตศาสตร์ โดยอาศัยการกำหนดให้อยู่ในรูปแบบความน่าจะเป็นไปได้ เช่น เมื่อเราต้องการค่าที่ได้ เท่ากับเลข 7 สิ่งที่ได้ในการออกแบบนั้นก็คือ ความน่าจะเป็นเลข 7 นั่นก็คือ 1 และเลขข้างเคียง 7 ก็คือเลข 6 และเลข 8 ก็อาจจะเป็น 0.8 เลขถัดออกมาก็คือเลข 5 และเลข 9 ก็อาจจะเป็น 0.5 และแนวโน้มเลขข้างเคียงก็จะลดลงไปเรื่อยๆ จนความน่าจะเป็นเท่ากับ 0 จากการออกแบบสมาชิกนี้ก็สามารถนำไปออกแบบรูปแบบการทำงานของสมาชิกป้อนเข้าได้ รูปแบบทางสมการก็อาจจะเป็นเส้นตรง เส้นโค้ง หรือรูปแบบทางสมการคณิตศาสตร์อื่นๆ ก็ได้ การออกแบบสมาชิกมีรูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ดังนี้[14]

รูปที่ 2.4 ตัวอย่างสมการ  $\Gamma: U \rightarrow [0,1]$ 

จากรูป 2.4 เป็นสมการที่อยู่ในรูปแบบของสมการที่มีสองตัวแปร โดยที่ค่า  $u$  เป็นค่าใดๆ ซึ่งสามารถจัดอยู่ในรูปของสมการ 2.1 ดังนี้

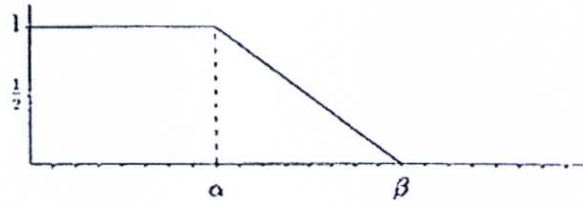
$$\Gamma(u; \alpha, \beta) = \begin{cases} 0 & u < \alpha \\ (u - \alpha) / (\beta - \alpha) & \alpha \leq u \leq \beta \\ 1 & u > \beta \end{cases} \quad (2.1)$$

รูปที่ 2.5 ตัวอย่างสมการ  $S$ 

จากรูปที่ 2.5 แสดงสมการอยู่ในรูปสมการ  $S$  แสดงดังสมการที่ 2.2

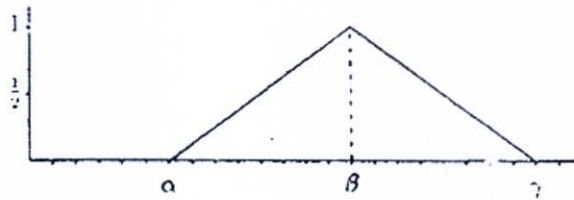
$$S(x; \alpha, \beta, \gamma) = \begin{cases} 0 & x < \alpha \\ 2 \left( \frac{x - \alpha}{\gamma - \alpha} \right)^2 & \alpha < x \leq \beta \\ 1 - 2 \left( \frac{x - \alpha}{\gamma - \alpha} \right)^2 & \beta < x \leq \gamma \\ 1 & x > \gamma \end{cases} \quad (2.2)$$

โดยที่  $\beta = (\alpha + \gamma) / 2$

รูปที่ 2.6 ตัวอย่างสมการ  $L$ 

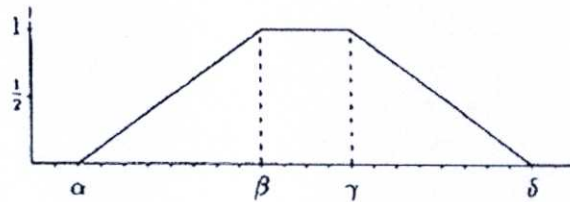
จากรูปที่ 2.6 เป็นตัวอย่างสมการ  $L$  (2.3) ซึ่งจะมีลักษณะรูปแบบคล้ายกับสมการ  $\Gamma$  ในรูปนี้สามารถแสดงสมการได้ดังนี้

$$\Gamma(u; \alpha, \beta) = \begin{cases} 1 & u < \alpha \\ (u - \alpha) / (\beta - \alpha) & \alpha \leq u \leq \beta \\ 0 & u > \beta \end{cases} \quad (2.3)$$

รูปที่ 2.7 ตัวอย่างสมการ  $\Lambda$ 

จากรูปที่ 2.7 เป็นรูปแบบของสมการทางการออกแบบพีชคณิตที่พบเห็นได้บ่อย สมการ  $\Lambda$  (2.4) นี้มีรูปแบบของสมการที่แสดงดังนี้

$$\Lambda(x; \beta, \gamma) = \begin{cases} 0 & u < \alpha \\ (u - \alpha) / (\beta - \alpha) & \alpha < u \leq \beta \\ (\alpha - u) / (\beta - \alpha) & \beta < u \leq \gamma \\ 0 & u > \gamma \end{cases} \quad (2.4)$$

รูปที่ 2.8 ตัวอย่างสมการ  $\Pi$ 

จากรูปที่ 2.8 แสดงตัวอย่างของกราฟในรูปสมการ  $\Pi$  (2.5) เป็นสมการอีกรูปแบบหนึ่งในกำหนดสมาชิกของฟัซซี่ ซึ่งสามารถแสดงสมการได้ดังนี้

$$\Pi(u; \alpha, \beta, \gamma, \delta) = \begin{cases} 0 & u < \alpha \\ (u - \alpha) / (\beta - \alpha) & \alpha \leq u < \beta \\ 1 & \beta \leq u \leq \gamma \\ (\delta - u) / (\delta - \gamma) & \gamma < u \leq \delta \\ 0 & u > \delta \end{cases} \quad (2.5)$$

รูปแบบต่างๆของสมการที่แสดงให้เห็นก่อนหน้านี้ เป็นรูปแบบสมการที่ได้ใช้กำหนดสมาชิกของฟัซซี่ เพื่อนำไปออกแบบการทำงานของระบบค่าของผลลัพธ์ที่เกิดจากสมการในรูปแบบต่างๆที่ได้แสดงนี้จะเห็นได้ว่ามีค่าผลลัพธ์อยู่ในช่วงระหว่าง 0 ถึง 1 ซึ่งค่าที่อยู่ในช่วงนี้จะถูกนำไปคำนวณด้วยการออกแบบกฎการทำงานต่อไป

## 2.7 การออกแบบกฎการทำงาน

การออกแบบกฎของฟัซซี่นี้ได้อาศัยความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ กำหนดเป็นเงื่อนไข เช่น ถ้า เราต้องการลมแรงๆ แต่ผลที่วัดได้ของลมมีค่าผิดพลาดมากๆ ดังนั้นเราก็ต้องป้อนสัญญาณให้มากขึ้นและเหมาะสมด้วย เป็นต้น การที่เราต้องเปิดพัดลมให้มากขึ้น ก็จะส่งผลต่อการทำงานของระบบ และค่าผิดพลาดการทำงานก็จะน้อยลง จากความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ที่กำหนดรวมถึงประสบการณ์ในการออกแบบสามารถนำมากำหนดเป็นเงื่อนไข นั่นก็คือการออกแบบกฎการทำงาน

การออกแบบกฎการทำงาน มีวิธีการที่สามารถนำไปซึ่งการออกแบบกฎการทำงาน โดยอาศัยวิธีการอยู่หลายวิธีเพื่อที่จะได้การทำงานที่ดี วิธีการที่ใช้ในการออกแบบกฎการทำงานทั่วไปที่ใช้ในการควบคุมการทำงาน อาทิเช่น การอาศัยประสบการณ์ในการออกแบบหรือความรู้ในการควบคุม อาศัยความรู้จากสมการทางคณิตศาสตร์ สมการทางฟัซซี่จากกระบวนการ การเรียนรู้จากการควบคุมการทดลอง

การควบคุมการทำงานของกฎฟัซซี่ลอจิกนั้น วิธีการในการดำเนินงานของกฎนั้นมีทฤษฎีในการออกแบบหลายวิธี ส่วนมากแล้ว โดยทั่วไปที่มักพบเห็นในการควบคุมการทำงาน ในการดำเนินการทำงานของกฎนั้นมี

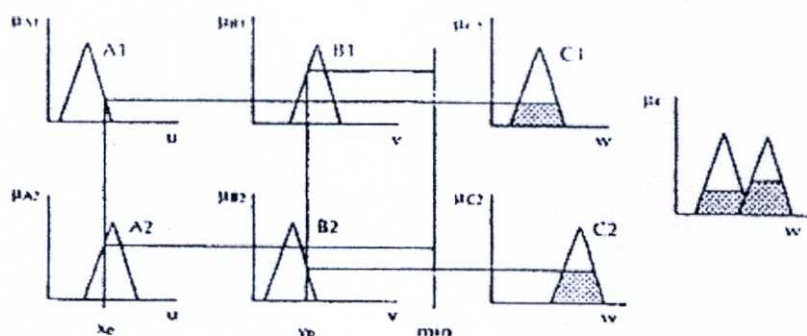
### 2.7.1 ทฤษฎี Max-Min (Mamdani's Minimum)

วิธีการของทฤษฎีนี้ได้อาศัยความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ในเรื่องเซตและสับเซตดังตัวอย่างรูปที่ 2.9 สมาชิกฟัซซี่ของ A1 A2 B1 และ B2 ซึ่งเป็นสมาชิกของฟัซซี่ที่เราได้ออกแบบโดยค่า  $X_0$  และ  $Y_0$  ก็คือ ค่าที่เกิดจากอินพุทของระบบจากการทำงานที่วัดได้ กระบวนการนี้จะทำหน้าที่แปลงค่าเป็นอินพุทของฟัซซี่ลอจิก (Fuzzification) ค่าที่ได้จะอยู่ในรูปสมาชิกที่มีค่า 0 ถึง 1 โดยแต่ละสมาชิกของฟัซซี่ A1 A2 B1 และ B2 ก็จะมีค่าที่ต่างกัน ค่าที่ต่างกันนี้เมื่อนำมาออกแบบกฎการทำงานดังตัวอย่างจากเงื่อนไขเช่น

IF x is A1 and y is B1 then z is C1

IF x is A2 and y is B2 then z is C2

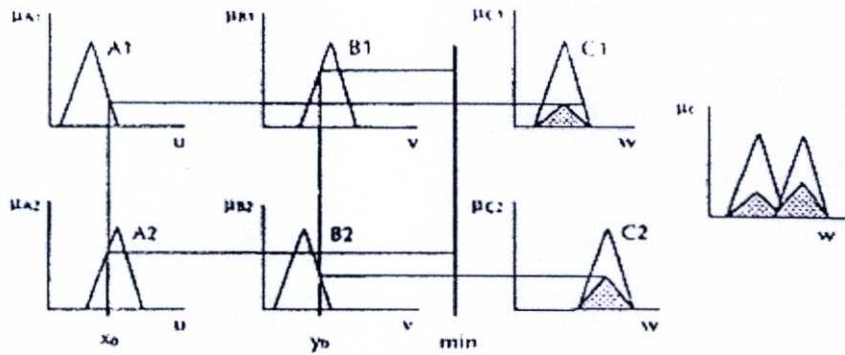
จากรูปที่ 2.9 เมื่อใช้ทฤษฎีของ Mamdani's Minimum ผลลัพธ์ที่ได้จากเงื่อนไข ค่าที่เกิดขึ้นในสมาชิกของ C1 และ C2 ก็คือ ค่าพื้นที่แรเงา ซึ่งค่า C1 และ C2 เป็นค่าผลลัพธ์ของสมาชิกฟัซซี่เอาพุท แต่ยังไม่ได้ทำการแปลงกลับเป็นค่าที่จะนำไปใช้งาน



รูปที่ 2.9 แสดงภาพการทำงานของ ทฤษฎี Max - Min

### 2.7.2 ทฤษฎี Max-Dot (Larsen's Product)

วิธีการนี้ก็คล้ายเช่นเดียวกับการออกแบบ Max-Min แต่จะต่างกันตรงที่การออกแบบจะเป็นรูปของสเกลที่เกิดจากการคูณกันของสมาชิกฟัซซี่ในแต่ละสมาชิกที่เกิดจากอินพุทของระบบการทำงาน จากรูปที่ 2.10 อาศัยกฎการออกแบบ และ เงื่อนไขซึ่งใช้เหมือนกันกับทฤษฎี Max-Min ผลลัพธ์ที่ได้ในทฤษฎี Max-Dot สามารถแสดงในส่วนพื้นที่แรเงา



รูปที่ 2.10 แสดงการทำงานของ ทฤษฎี Max - Dot

ผลลัพธ์ที่ได้จากการออกแบบสมาชิก และตั้งกฎการทำงานจะทำให้ค่าของสมาชิกเอาพุของสมาชิกเอาพุที่มีค่าต่างกันไป ในการที่จะนำค่าของสมาชิกไปใช้งานในการควบคุมระบบ จะต้องทำการแปลงค่าให้ได้ค่าที่เรานำไปใช้งานควบคุมจริงซึ่งจะอธิบายในหัวข้อต่อไป

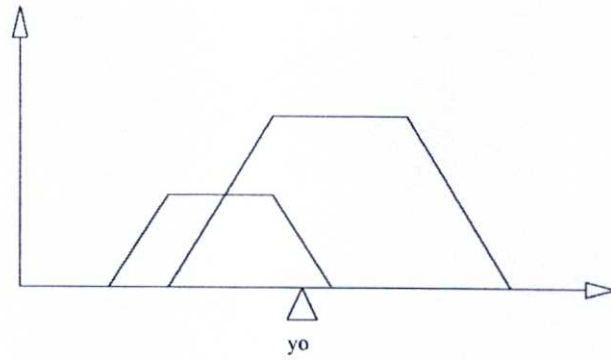
## 2.8 การออกแบบสมาชิกเอาพุของฟัซซี่ (Defuzzification)

การออกแบบสมาชิกเอาพุของการทำงาน รูปแบบสมการคณิตศาสตร์ที่ใช้หรือฟังก์ชันสมาชิกในการออกแบบมีการออกแบบเช่นเดียวกับการออกแบบสมาชิกอินพุต การออกแบบนั้นจะต้องกำหนดช่วงขอบเขตของอุปกรณ์ หรือผลลัพธ์ที่จะนำไปใช้งานให้สอดคล้องกับสมาชิกเอาพุผลลัพธ์ที่ได้จากการออกแบบสมาชิกเอาพุนั้นเป็นค่าผลลัพธ์ที่เรานำไปใช้งานจริง กระบวนการที่จะนำไปซึ่งผลลัพธ์นั้นจะต้องทำการแปลงกลับจากค่าสมาชิกเอาพุที่ได้ การแปลงค่าเพื่อนำไปใช้งานจริงมีอยู่หลายวิธีการ โดยส่วนมากที่มักพบเห็นบ่อย ก็คือ ทฤษฎีจุดศูนย์กลางความถ่วง (Center of Gravity COG) ทฤษฎีค่าเฉลี่ยสูงสุด (Mean of maximum MOM method) ทฤษฎีค่าจุดศูนย์กลางพื้นที่ (Center of maximum COA method) และยังมีวิธีการอื่นๆอีกหลายวิธี

### 2.8.1 Center of Gravity COG method

กำหนดค่าที่ได้จากการดีฟัซซี่ไฟด์ให้เท่ากับ  $y_0$  ซึ่งเป็นค่าศูนย์กลางพื้นที่ซึ่งครอบคลุมด้วยฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของข้อสรุปแต่ละกฎ ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 2.6 และรูปที่ 2.11

$$Y_0 = \frac{\sum_{j=1}^n y_j * \mu_B(y_i)}{\sum_{j=1}^n \mu_B(y_i)} \quad (2.6)$$



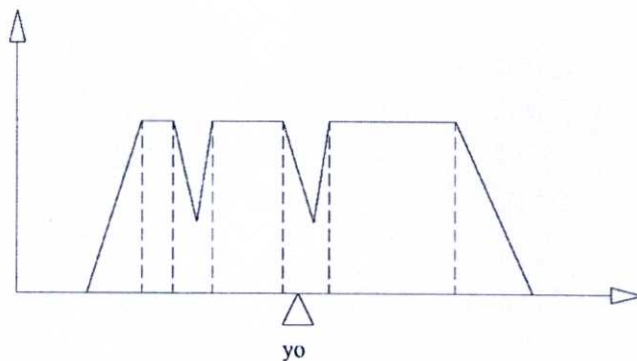
รูปที่ 2.11 การดิฟฟิซิเคชันวิธี Center of Gravity

### 2.8.2 Mean of maximum MOM method

กำหนดค่าที่ได้จากการดิฟฟิซิเคชันให้เท่ากับ  $y_0$  คือ ค่าเฉลี่ยของสมาชิกซึ่งมีค่าระดับความเป็นสมาชิกในฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเอาต์พุตเป็นหนึ่ง สามารถหาได้จากสมการที่ 2.7 และรูปที่ 2.12

$$Y_0 = \sum_{j=1}^n \frac{y_j}{m} \quad (2.7)$$

โดยที่  $y_j$  คือ สมาชิกที่มีค่าระดับความเป็นสมาชิกของเอาต์พุตเป็นหนึ่ง  
 $m$  คือ จำนวนสมาชิกที่มีค่าระดับความเป็นสมาชิกของเอาต์พุตเป็นหนึ่ง

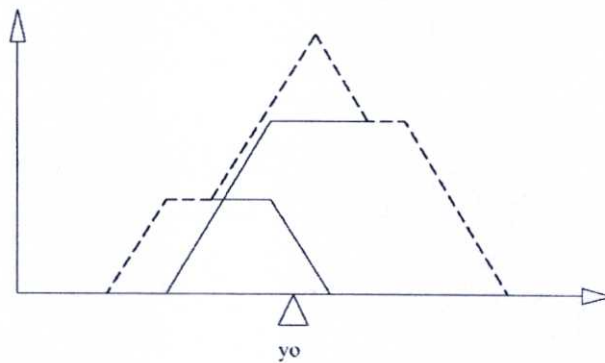


รูปที่ 2.12 การดิฟฟิซิเคชันวิธี Mean of Maxima

### 2.8.3 Center of Sums COS Method

วิธีการนี้จะหลีกเลี่ยงการนำฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ได้จากการอนุมานมา ยูเนียนกัน ซึ่งจะนำมารวมกันแทน ซึ่งทำให้วิธีนี้เป็นวิธีที่เร็ว ค่า  $y_0$  คำนวณได้จากสมการที่ 2.8 และรูปที่ 2.13

$$Y_0 = \sum \frac{y_j [\mu_{B1}(z_j) + \mu_{B2}(z_j) + \dots + \mu_{Bn}(z_j)]}{\mu_{B1}(z_j) + \mu_{B2}(z_j) + \dots + \mu_{Bn}(z_j)} \quad (2.8)$$



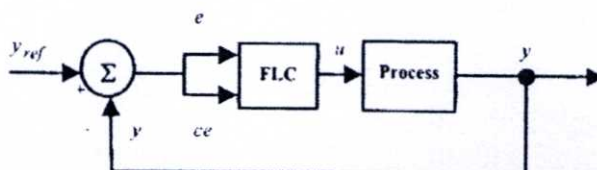
รูปที่ 2.13 การคิดฟuzzyฟิเคชั่นวิธี Center of Sums

### บทที่ 3

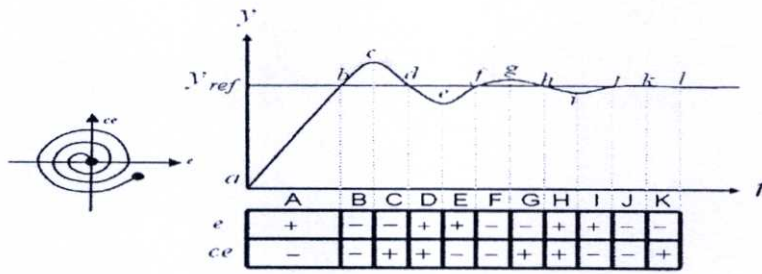
## การออกแบบการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

การออกแบบระบบควบคุม มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการให้การควบคุมมีค่าเข้าสู่เป้าหมาย เป็นไปด้วยความแม่นยำรวดเร็วและมีความเสถียร ซึ่งระบบควบคุมที่ได้รับความนิยมนำไปใช้งานในการควบคุมกระบวนการในภาคอุตสาหกรรมโดยส่วนใหญ่คือ ตัวควบคุมแบบพี (P : proportional), พีไอ (PI : proportional integral), พีไอดี (PID : proportional integral derivative) และระบบควบคุมแบบฟัซซีลอจิก โดยการควบคุมอุณหภูมิของกระบวนการเตาอบด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิก[28] พบว่าตัวควบคุมฟัซซีลอจิกนั้นให้ผลตอบสนองมีค่าพุงเกินที่น้อยกว่า, มีค่าเวลาเข้าที่เร็วกว่า และมีค่าคลาดเคลื่อนที่สถานะอยู่ตัวต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมพีไอ และพีไอดี

ดังนั้นในระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ จึงใช้การควบคุมแบบฟัซซีพีไอ(Fuzzy Proportional-Integral) เนื่องจากทำให้ค่าเข้าสู่เป้าหมายได้ด้วยความแม่นยำรวดเร็วและมีความเสถียรทำให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อนน้อย โดยส่วนใหญ่การควบคุมการทำงานของระบบที่พบเห็นบ่อยดังรูปที่ 3.1 โดยค่า  $e$  เป็นค่าความผิดพลาด  $ce$  เป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงความผิดพลาด และ  $u$  เป็นค่าสัญญาณในการควบคุมการทำงานของระบบการทำงาน  $y_{ref}$  เป็นค่าที่กำหนดในการออกแบบ  $y$  เป็นค่าเอาพุทของระบบที่ได้จะนั้นในการออกแบบระบบการทำงานได้อาศัยความสัมพันธ์ของค่าความผิดพลาด และ ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงความผิดพลาดในการออกแบบ เช่น รูปที่ 3.2 ในช่วง A ค่าความผิดพลาดมีค่าเป็นบวก หมายความว่า ค่าเอาพุทของระบบมีค่าน้อยกว่าค่าที่กำหนด และค่าความเปลี่ยนแปลงมีค่าเป็นลบ หมายความว่า ค่าเอาพุทที่ได้กำลังจะเข้าค่าที่กำหนดในช่วง A แต่เมื่อผ่านไปช่วง B ค่าความผิดพลาดที่ได้กลับมีค่าเป็นลบ และค่าความเปลี่ยนแปลงก็มีค่าเป็นลบ ทำให้ค่าเอาพุทของระบบมีแนวโน้มที่จะออกห่างจากค่าที่กำหนด เพราะฉะนั้นในการออกแบบการทำงานจึงพยายามที่ออกแบบกฎให้เอาพุทของระบบนั้นมีค่าความผิดพลาด และอัตราค่าเปลี่ยนแปลงความผิดพลาดเข้าใกล้สู่ค่าที่กำหนดซึ่งได้ออกแบบให้เป็นไปตามในช่วง C เช่นเดียวกัน ในช่วง D ค่าของเอาพุทของระบบก็พยายามที่จะลู่ออกไปมากขึ้น เพราะฉะนั้นในการออกแบบเราก็ต้องพยายามปรับค่านั้นให้ลู่อกลับสู่สภาวะที่เรากำหนด จนกว่าค่าความผิดพลาดและค่าเปลี่ยนแปลงความผิดพลาดเป็นศูนย์ หรือมีน้อยสุด

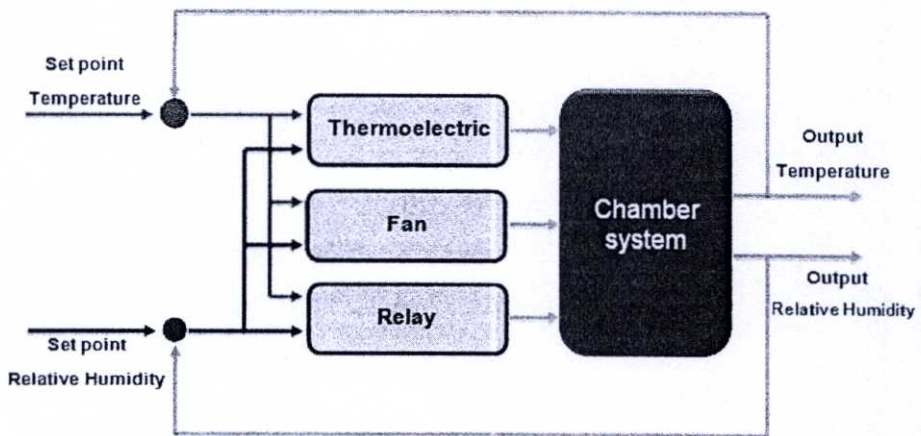


รูปที่ 3.1 การออกแบบระบบการควบคุมด้วยฟัซซีแบบ PI



รูปที่ 3.2 การเปลี่ยนแปลงของค่าเอาพุทของระบบในการวิเคราะห์

การออกแบบในงานวิจัยนี้ได้อาศัยความสัมพันธ์จากข้างต้น ในการออกแบบระบบการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น โดยทั้งสองตัวแปรนั้นมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันในการทำงาน ทำให้การควบคุมจะต้องพยายามควบคุมตัวแปรทั้งสองให้ได้ตามค่าที่กำหนด การออกแบบได้อาศัยจากการออกแบบข้างต้นที่ใช้หาค่าเอาพุทของระบบ การออกแบบได้อาศัยค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิและค่าความผิดพลาดของความชื้นในการออกแบบระบบ โดยไม่ได้อาศัยอัตราการเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาดมาพิจารณาในการออกแบบ แต่คำนึงถึงค่าความสัมพันธ์ของค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิ และค่าความผิดพลาดของความชื้นมาพิจารณาในการออกแบบกฎการทำงานแทน ดังรูปที่ 3.3

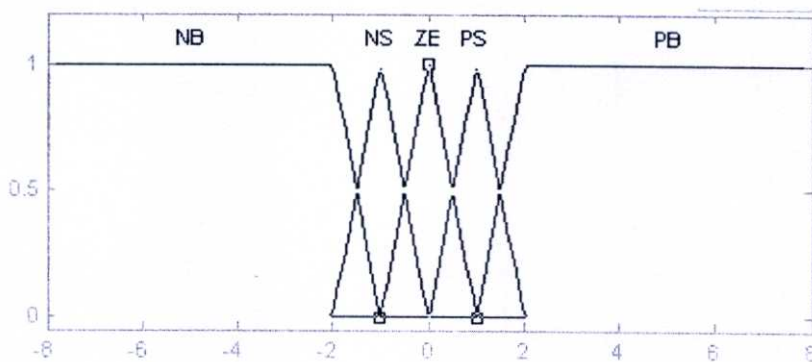


รูปที่ 3.3 โครงสร้างการออกแบบการควบคุมในงานวิจัย

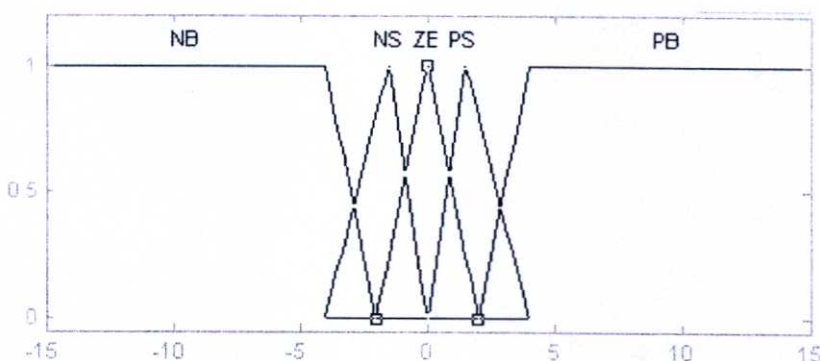
แนวความคิดในการออกแบบได้อาศัยความสัมพันธ์ของค่าความผิดพลาดทั้งสองมาออกแบบกฎการทำงานของฟัซซี่ เพราะเนื่องจากการออกแบบในการควบคุมโดยวิธีพีไอดี ในการควบคุมที่ค่าการควบคุมมีความสัมพันธ์กัน ค่าของพีไอดีนั้นจะมีบล็อกที่สัมพันธ์กันของทั้งสองตัวแปรและการหาการควบคุมนั้นก็ยากที่จะหาค่าในบล็อกที่สัมพันธ์กัน มาเพื่อพิจารณา แต่ในทางกลับกันในฟัซซี่เอง ไม่จำเป็นที่จะต้องรู้สมการทางคณิตศาสตร์ แต่สามารถพิจารณาจากประสบการณ์หรือตามความรู้สึก ความรู้ทางการควบคุมก็เพียงพอที่จะสามารถควบคุมได้และแนวความคิดนี้เองสามารถออกแบบบล็อกในส่วนที่สัมพันธ์กันในกฎการออกแบบฟัซซี่นั่นเอง

### 3.1 การออกแบบสมาชิกอินพุทของระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

การออกแบบสมาชิกอินพุทของการควบคุมระบบปรับอากาศ ค่าอินพุทของสมาชิกได้ออกแบบจากค่าความผิดพลาดจริงของระบบคือ ค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิ และค่าความผิดพลาดของความชื้น ได้กำหนดสมาชิกของอินพุทเป็น 5 สมาชิก โดยกำหนดให้ NB (Negative Big), NS(Negative small), ZE(Zero), PS(Positive small), PB(Positive Big) สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.4 และรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.4 สมาชิกอินพุทของค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิ



รูปที่ 3.5 สมาชิกอินพุทของค่าความผิดพลาดของความชื้น

### 3.2 การออกแบบกฎการทำงานของระบบปรับอากาศ

การออกแบบกฎการทำงานนั้น การออกแบบการทำงานมีแนวทางในการออกแบบกฎการทำงานได้โดยอาศัยความรู้ทางการควบคุม ความชำนาญในการเรียนรู้ระบบ หรือความรู้ที่ได้จากสมการทางคณิตศาสตร์ที่ช่วยทำให้เรารู้การทำงานของระบบ การออกแบบกฎการทำงานได้ออกแบบกฎการทำงานจากความผิดพลาดของอุณหภูมิและค่าความผิดพลาดของความชื้น โดยไปควบคุมสัญญาณPulseให้กับเซอร์โวมอเตอร์ควบคุมอุณหภูมิเทอร์โมอิเล็กทริก และสัญญาณPulseควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ควบคุมความเร็วพัดลมในการควบคุมความชื้น การออกแบบกฎแสดงได้ดังรูปที่ 3.6 และรูปที่ 3.7

		Servo Motor Temp				
		Error RH				
Error Temp		NB	NS	ZE	PS	PB
		NS	PB	PB	PB	PB
NS	PB	PB	PB	PS	PS	
ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	
PS	NS	NS	NS	NS	NB	
PB	NB	NB	NB	NB	NB	

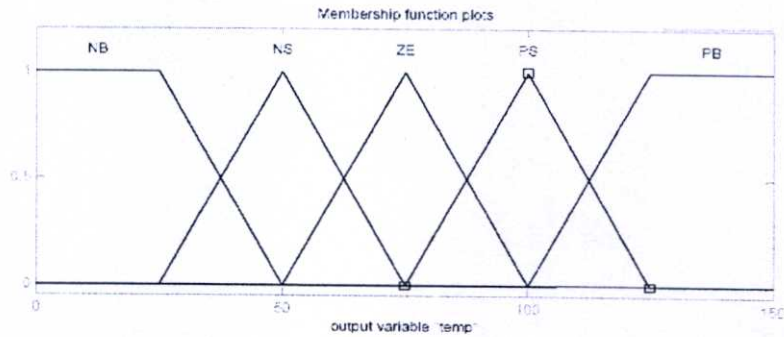
รูปที่ 3.6 กฎการทำงานของใช้ควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก

		Servo Motor Humid				
		Error RH				
Error Temp		NB	NS	ZE	PS	PB
		NB	PB	PS	ZE	ZE
NS	PB	PS	ZE	NS	NB	
ZE	PB	PS	ZE	NS	NB	
PS	PB	PS	ZE	NS	NB	
PB	PB	ZE	ZE	NS	NB	

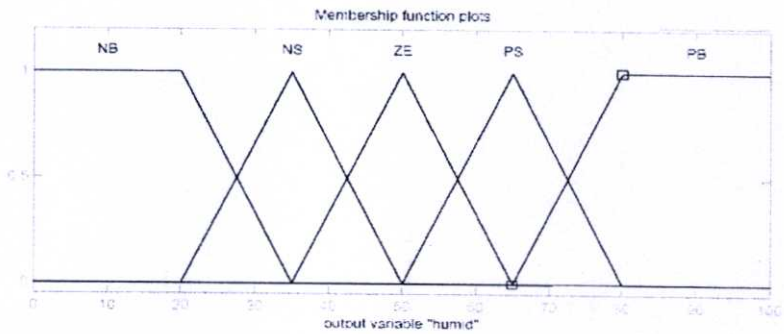
รูปที่ 3.7 กฎการทำงานของใช้ควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้อุปกรณ์โบเวอร์

### 3.3 การออกแบบสมาชิกเอาพุทของระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

สมาชิกเอาพุทของสัญญาณที่ควบคุมการทำงานมีด้วยกัน 2 สัญญาณ ประกอบไปด้วย สัญญาณที่ 1 สัญญาณควบคุม พัลส์ของเซอร์โวมอเตอร์ ควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก เพื่อควบคุมอุณหภูมิ โดยมีช่วงการออกแบบอยู่ในช่วง 0-150 พัลส์ ประกอบไปด้วย 5 สมาชิก คือ NB (Negative Big), NS(Negative small), ZE(Zero), PS(Positive small), PB(Positive Big) ดังรูปที่ 3.8 สัญญาณที่ 2 คือสัญญาณควบคุม พัลส์ของเซอร์โวมอเตอร์ ควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับ โบเวอร์จ่ายอากาศ เพื่อควบคุมความชื้น โดยมีช่วงสัญญาณ 0-100 Pulse ประกอบไปด้วยสมาชิก คือ NB (Negative Big), NS(Negative small), ZE(Zero), PS(Positive small), PB(Positive Big) ดังรูปที่ 3.9 อีก 1 สัญญาณ ทำหน้าที่เป็นสัญญาณ ON/OFF ใช้ในการกำหนดความร้อนหรือความเย็น (Hot/Cool) ของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก



รูปที่ 3.8 สมาชิกเอาพุทของสัญญาณควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์



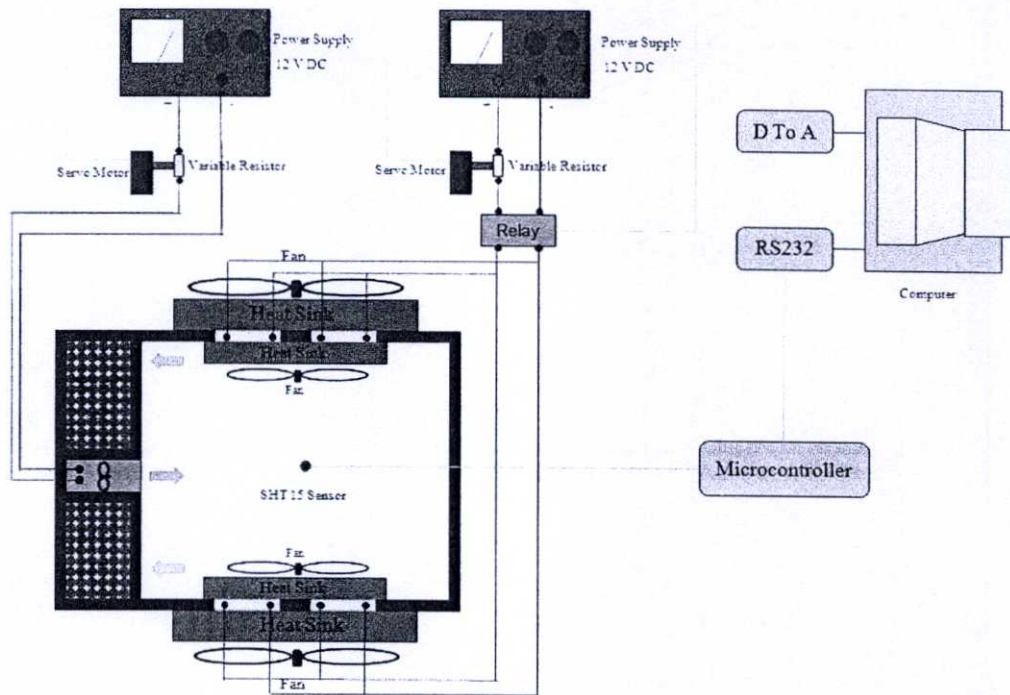
รูปที่ 3.9 สมาชิกเอาพุทของสัญญาณควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโบเวอร์

### 3.4 การแปลงค่าสมาชิกเอาพุทในการควบคุมสัญญาณ

การแปลงสัญญาณของสมาชิกเอาพุทที่ได้จากการกำหนดสมาชิกเอาพุท ในการควบคุมสัญญาณได้ใช้ทฤษฎี จุดศูนย์กลางของความถ่วง COG (Center of gravity) ในการหาค่าควบคุมสัญญาณพัลส์ เซอร์โวมอเตอร์ พัดลมจ่าย และ สัญญาณพัลส์ เซอร์โวมอเตอร์ ของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากการหาจุดศูนย์กลางความถ่วงน้ำหนักแทนการหาจุดศูนย์กลางพื้นที่ใต้กราฟของทุกค่าเอาพุทซึ่งให้ค่าความแม่นยำสูง ขึ้นอยู่กับระดับการควอนไทซ์

### 3.5 การออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบระบบการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นให้มีความเหมาะสมกับการทำงานในสภาวะต่างๆ การออกแบบจึงได้มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในกล่องควบคุม โดยได้อาศัยการควบคุมจากโปรแกรมการควบคุมทางคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.10 แผนผังการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

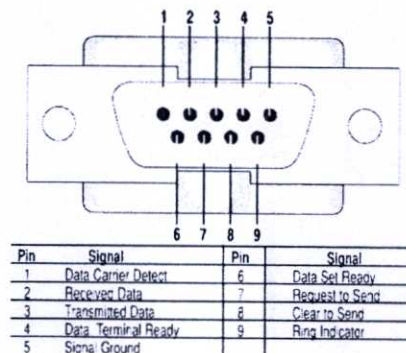
จากรูปที่ 3.10 การควบคุมระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้ใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุมการทำงานของระบบภายในกล่องควบคุมโดยควบคุมทั้งอุณหภูมิและความชื้นภายในกล่องควบคุม อุปกรณ์รับรู้ของอุณหภูมิและความชื้นจะรับค่าที่ได้ส่งผ่านการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล ค่าที่ได้จะนำไปคำนวณผลในไมโครคอมพิวเตอร์แล้วส่งค่าอุณหภูมิและความชื้นผ่านทางพอร์ต RS232 ไปยังคอมพิวเตอร์ ค่าที่ได้จะนำไปประมวลผลโดยการควบคุมแบบพีซีซีลอจิก ค่าของผลลัพธ์ที่ได้จะนำไปผ่านการแปลงสัญญาณจากดิจิทัลเป็นอนาล็อกเพื่อควบคุมการทำงานของระบบจะส่งค่าที่ได้ไปควบคุมการทำงานการจ่ายกระแสไฟฟ้า ของเพาเวอร์ซัพพลาย ขนาด 12 โวลต์ ดีซี จำนวน 2 เครื่องให้กับอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก และโบเวอร์ โดยใช้เซอร์โวมอเตอร์ 2 ตัว สำหรับสัญญาณการควบคุมรีเลย์ เพื่อสลับขั้วในการจ่ายความร้อนหรือความเย็น ใช้ การ์ด NI PCI-6034E ในการติดต่อกับอุปกรณ์ควบคุมการทำงาน

### 3.6 การออกแบบระบบติดต่อกับคอมพิวเตอร์

การทำงานในระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในงานวิจัยนี้ ใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ PIC16F877 และ Personal Computer ในการออกแบบการควบคุมการทำงานของระบบ ดังนั้นการทำงานในส่วนของไมโครคอมพิวเตอร์ จะต้องมีการติดต่อกับการทำงานระหว่างอุปกรณ์ในการควบคุมการทำงานนั่นก็คือ อุปกรณ์เซนเซอร์ หรือ อุปกรณ์รับรู้ อุปกรณ์ในการควบคุมการทำงาน

ของระบบให้ทำงานได้ตามที่ต้องการ และยังมีโปรแกรมที่ควบคุมการทำงานของระบบควบคุม อุณหภูมิและความชื้น

ส่วนการออกแบบวงจรการทำงานของเซนเซอร์ SHT15 ซึ่งเป็นเซนเซอร์ที่วัดทั้งอุณหภูมิ และความชื้นโดยการติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์ที่พอร์ตอนุกรม COM1 (DB-9) กับเซนเซอร์ โดยการติดต่อการทำงานของ DB-9 มีขาสัญญาณในการทำงานทั้งหมด 9 ช่องสัญญาณ มีสัญญาณเอา พูท อยู่ 3 ช่องสัญญาณ และมีขาสัญญาณอินพุทอยู่ 5 ช่องสัญญาณ และ กราวด์ อีกหนึ่ง ช่องสัญญาณ ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 พอร์ตอนุกรม 9 ขา

#### สัญญาณแต่ละช่องมีดังนี้

ช่องสัญญาณที่ 1 เมื่อมีการตรวจเจอสัญญาณปลายทางของสายสัญญาณ จะทำให้สายสัญญาณทำงาน

ช่องสัญญาณที่ 2 รับข้อมูลที่ละบิตโดยเป็นลำดับ

ช่องสัญญาณที่ 3 ส่งข้อมูลที่ละบิตเป็นลำดับ

ช่องสัญญาณที่ 4 เป็นขาสัญญาณที่ส่งออกจากคอมพิวเตอร์เพื่อให้อุปกรณ์รับรู้ว่าต้องการติดต่อ

ช่องสัญญาณที่ 5 ทำหน้าที่เป็นกราวด์

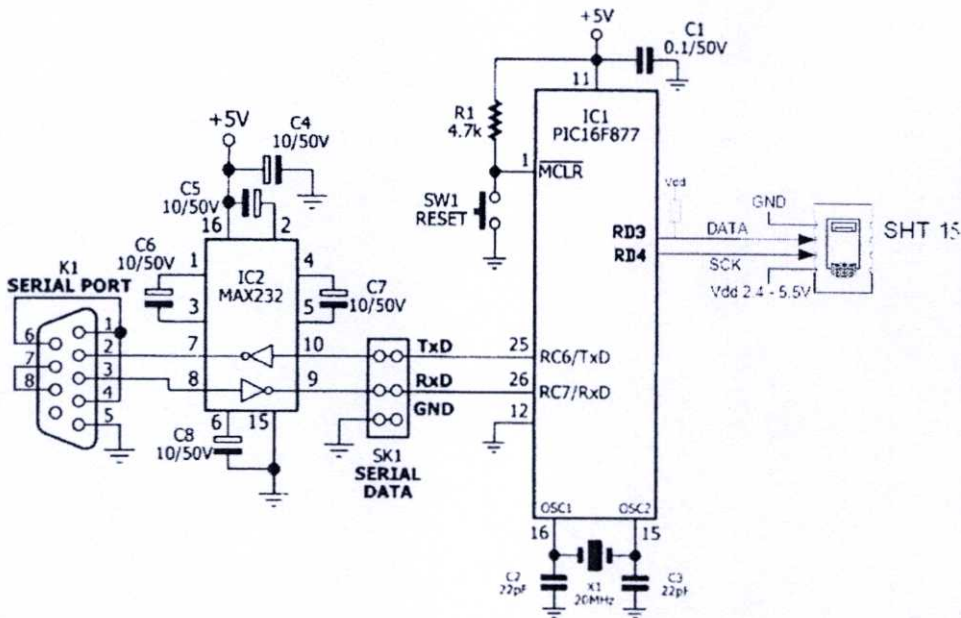
ช่องสัญญาณที่ 6 ขานี้จะใช้คู่กับขา DTR เพื่อตรวจสอบการเชื่อมต่อกันระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ปลายทาง

ช่องสัญญาณที่ 7 เป็นขาสำหรับส่งสัญญาณร้องขอให้ทางอุปกรณ์ปลายทางส่งข้อมูลกลับมายังคอมพิวเตอร์

ช่องสัญญาณที่ 8 ขานี้จะคอยรับสัญญาณจากขา RST เมื่อรับสัญญาณได้ ข้อมูลที่ขา TxD จะถูกส่งออกไป

ช่องสัญญาณที่ 9 ใช้แสดงสถานะสัญญาณเรียกจากสายโทรศัพท์ ปกติการสื่อสารโดยทั่วไปสายนี้จะไม่ถูกใช้งาน จะใช้งานก็ต่อเมื่อมีการติดต่อกับโมเด็ม

จากวงจร รูปที่ 3.12 พอร์ตอนุกรม COM หรือ DB-9 ทำหน้าที่ส่งสัญญาณการทำงานไปยังเซนเซอร์ โดยมีไอซี MAX232 เป็นไอซีที่ทำหน้าที่ติดต่อการทำงานเนื่องจากสัญญาณที่เกิดจาก COM1 มีสัญญาณไฟอยู่ที่ -12 โวลต์ ถึง 12 โวลต์ แต่เนื่องจากเซนเซอร์ทำงานอยู่ที่ 5 โวลต์ ไอซีนี้จึงได้นำมาใช้ในการออกแบบในการติดต่อการทำงาน โดยใช้สัญญาณที่ขา 1, 4, 5, และ 7 ในการออกแบบการทำงานในส่วนการส่งสัญญาณออกจากการประมวลผลทางโปรแกรม ควบคุมเพื่อรับค่าอุณหภูมิและค่าความชื้น การทำงานและคุณสมบัติของเซนเซอร์ SHT15 และไอซี MAX232 จะกล่าวในหัวข้อต่อไป



รูปที่ 3.12 วงจรในการทำงานของส่วนติดต่อพอร์ตอนุกรมและเซนเซอร์อุณหภูมิและความชื้น

## บทที่ 4

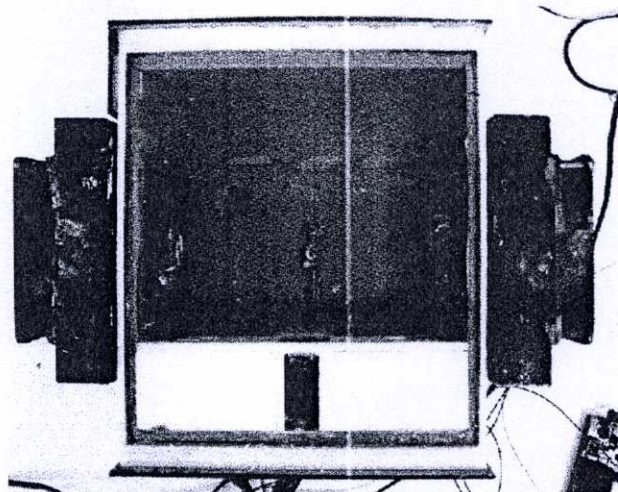
### การออกแบบอุปกรณ์ควบคุมการทำงาน

ชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นโดยวิธีพีซีล่อจิก ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนของฮาร์ดแวร์ (Hardware) และส่วนของซอฟต์แวร์ (Software) ซึ่งส่วนของซอฟต์แวร์ คือ โปรแกรมแล็บวิว (LabVIEW) สำหรับควบคุมการทำงานโดยรับค่าอุณหภูมิและความชื้นที่ต้องการ และควบคุมค่าเป้าหมายให้เป็นไปตามที่กำหนด และส่วนที่เป็นฮาร์ดแวร์นั้น ประกอบไปด้วย อุปกรณ์ และวงจรต่างๆดังต่อไปนี้

1. กล่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้น
2. เซนเซอร์อุณหภูมิและเซนเซอร์ความชื้น
3. วงจรวัดอุณหภูมิ PIC16F877A
4. วงจรควบคุม เซอร์โวมอเตอร์
5. เซอร์โวมอเตอร์
6. ชุดอินเตอร์เฟซกับคอมพิวเตอร์
7. อุปกรณ์ เทอร์โมอิเล็กทริก
8. รีเลย์
9. ซิลิกาเจล
10. เพาเวอร์ ซัพพลาย
11. พัดลมควบคุมความชื้น
12. ระบบควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์

#### 4.1 กล่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

กล่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นใช้ในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีขนาดประมาณ  $16 \times 13 \times 3.5 \text{ cm}^3$  ดังนั้นจึงออกแบบให้กล่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นมีขนาด  $10 \times 10 \times 4 \text{ in}^3$  เพื่อลดการถ่ายเทความร้อนจากบรรยากาศภายนอกเข้าสู่กล่องควบคุมจึงทำการหุ้มโฟมหนา 2 cm ทั้ง 6 ด้าน ในการระบายความร้อนออกจากกล่องควบคุมใช้ อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก จำนวน 4 โมดูลโดยแต่ละโมดูลมีความสามารถในการทำความเย็นตัวละ 45 W โดยที่ประสิทธิภาพของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกมีประสิทธิภาพอยู่ที่ 50 % Heat sink ขนาด  $2.5 \times 5 \text{ in}$  จำนวน 2 ชิ้น Heat sink ขนาด  $6 \times 4.5 \text{ in}$  จำนวน 2 ชิ้น พัดลม ขนาด  $2.5 \times 2.5 \text{ in}$  จำนวน 2 ตัว พัดลมขนาด  $6 \times 6 \text{ in}$  จำนวน 2 ตัว และพัดลมควบคุมความชื้น ขนาด  $2.5 \times 2.5 \text{ in}$  จำนวน 1 ตัว ดังรูปที่ 4.1

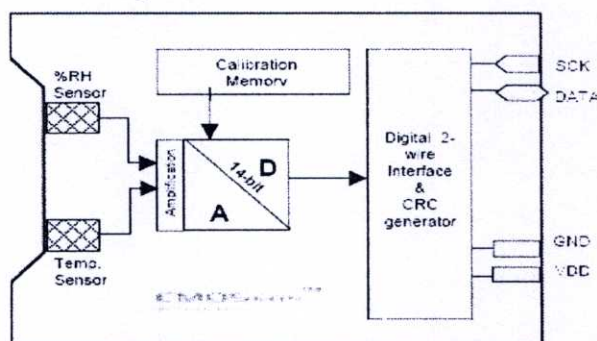


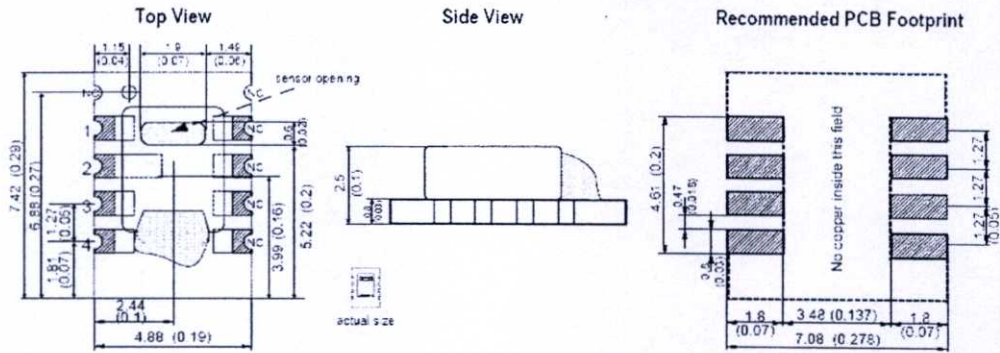
รูปที่ 4.1 แสดงกล่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

#### 4.2 เซนเซอร์อุณหภูมิและเซนเซอร์ความชื้น

เซนเซอร์ หรืออุปกรณ์รับรู้ ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ในการตรวจสอบค่าที่ได้ของระบบหรือถ้าเปรียบก็เหมือนกับสิ่งที่ต้องการที่จะรู้เพื่อนำไปวิเคราะห์เพื่อหาวิธีการจัดการให้ได้สิ่งที่ต้องการนั้น ในระบบปรับอากาศอุปกรณ์ที่ใช้ก็มักจะเป็นเซนเซอร์อุณหภูมิ เช่น เทอร์โมสแตต เป็นต้น

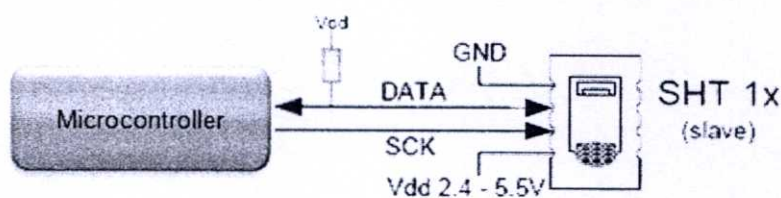
ในงานวิจัยนี้ได้ใช้เซนเซอร์อุณหภูมิ และ เซนเซอร์ความชื้น เพื่อควบคุมการทำงานของอุณหภูมิและความชื้นภายในชุดทดลองที่ใช้ก็คือ SHT15 ของบริษัท SENSIRION ของประเทศ สวิตเซอร์แลนด์ ซึ่งมีคุณสมบัติวัดอุณหภูมิและความชื้นได้ภายในตัวและมี อนุาล็อกเป็นดิจิตอล อยู่ภายใน ดังรูปที่ 4.2



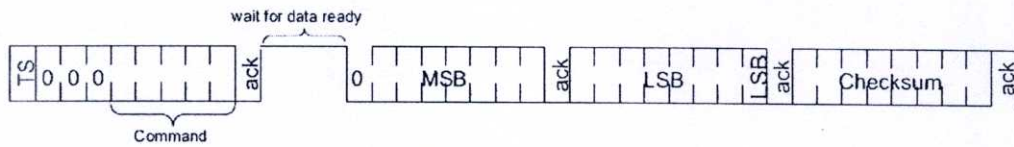


รูปที่ 4.2 บล็อกไดอะแกรมภายในและลักษณะภาพของเซนเซอร์ SHT15

การทำงานของเซนเซอร์ SHT 15 เป็นเซนเซอร์ที่มีการทำงานแบบ 2 ทิศทาง ดังรูปที่ 4.3 ซึ่งมีการติดต่อที่เรียกว่า I<sup>2</sup>C การทำงานแบบนี้จะมีสัญญาณข้อมูลและสัญญาณนาฬิกาเพื่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ที่ใช้งาน กับ อุปกรณ์ควบคุม การใช้งานสัญญาณข้อมูล และสัญญาณนาฬิกาต้องมีความสัมพันธ์กันเป็นจังหวะ เพื่อ ไปสั่งให้อุปกรณ์ที่จะใช้นั้นทำงานได้ตามที่อุปกรณ์ควบคุมส่งสัญญาณไป หรือที่เรียกว่า การส่งสัญญาณควบคุม เมื่ออุปกรณ์ที่ส่งสัญญาณไปได้รับแล้วก็จะทำตามคำสั่งสัญญาณควบคุมถ้าให้มีการส่งสัญญาณกลับมาก็จะส่งสัญญาณกลับมา การทำงานของเซนเซอร์ SHT15 จะใช้คำสั่งการทำงานดังรูปที่ 4.4 การทำงานจะแบ่งออกเป็น 4 ไบต์ เมื่อทำการส่งเริ่มทำงานแล้ว ไบต์แรกซึ่งเป็นไบต์คำสั่งในการทำงาน โดย 3 บิตแรกเป็น 000 อีก 5 บิตเป็นคำสั่งในการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ ดัง ตารางที่ 4.1 จากนั้นเซนเซอร์จะส่งสัญญาณรับรู้ (acknowledge, ack) และรอคำสั่งจนค่าที่ได้ส่งมานั้นก็คือ ไบต์ที่สอง (MSB) ต่อมาอุปกรณ์ก็จะส่งสัญญาณรับรู้หลังจากเสร็จไบต์ที่สอง ไบต์ต่อมาก็จะส่งมาอีกเป็นไบต์ที่สาม (LSB) เมื่อค่าที่ได้ส่งมาแล้วก็จะนำไปคำนวณ จะเป็นได้ว่าไบต์ที่สองและไบต์ที่สามคือไบต์ของข้อมูล ถ้าต้องการตรวจสอบค่าที่ได้ของข้อมูลก็ส่งสัญญาณรับรู้ไปให้ ค่าที่ได้ก็จะเป็นไบต์ที่ 4 แล้วนำค่าที่ได้จากไบต์นี้ไปตรวจสอบค่าที่ได้เปรียบเทียบกับกัน เมื่อเสร็จสิ้นไบต์นี้เซนเซอร์จะส่งสัญญาณรับรู้ไป การทำงานของเซนเซอร์ก็เสร็จสิ้นการทำงานหนึ่งรอบ ถ้าเริ่มการทำงานใหม่ก็ต้องเริ่มส่งสัญญาณไปใหม่อีกครั้ง



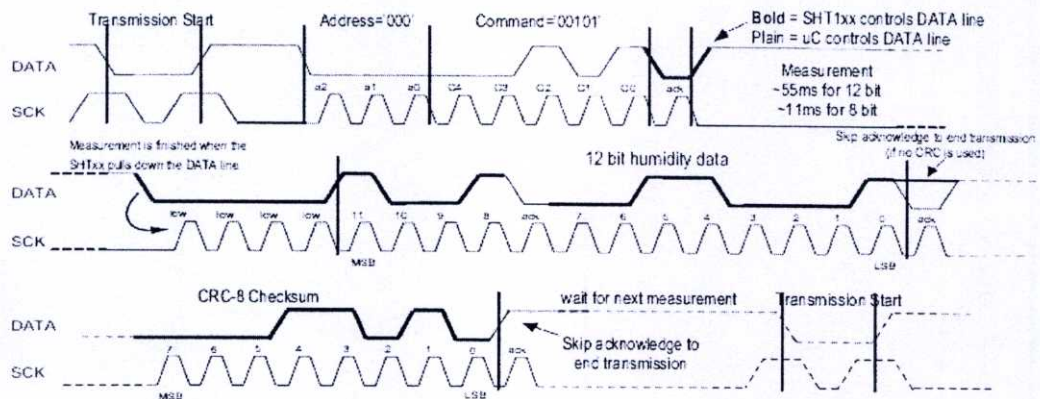
รูปที่ 4.3 สัญญาณการทำงานของเซนเซอร์



รูปที่ 4.4 ไบต์การทำงาน

ตารางที่ 4.1 คำสั่งไอซี SHT15

Command	Code
Reserved	0000x
Measure Temperature	00011
Measure Humidity	00101
Read Status Register	00111
Write Status Register	00110
Reserved	0101x-1110x
<b>Soft reset</b> , resets the interface, clears the status register to default values wait minimum 11ms before next command	11110



รูปที่ 4.5 ตัวอย่างการวัดค่าความชื้น

จากรูปที่ 4.5 แสดงตัวอย่างการวัดค่าความชื้น ซึ่งมีค่า 00001001 00110001 = 2353 = 75.79 %

#### 4.2.1 การแปลงค่าที่ได้จากค่าดิจิตอลเป็นค่าที่ต้องการ

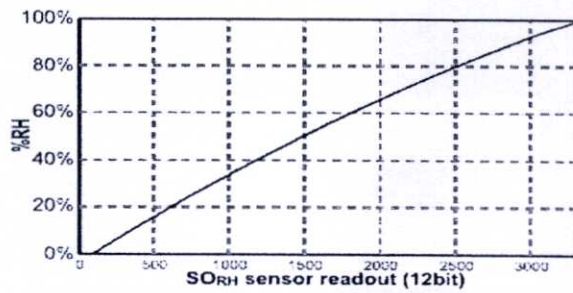
##### 4.2.1.1 การแปลงค่าดิจิตอลเป็นค่าความชื้น

ค่าที่ได้จากเซนเซอร์นั้นมีค่าเป็นลอจิก เพราะฉะนั้นเราต้องทำการแปลงค่าที่เป็นลอจิกนี้ให้อยู่ในรูปตัวเลขที่เราต้องการ โดยการแปลงค่าเป็นค่าความชื้นของเซนเซอร์ SHT15 มีค่าดังนี้

$$RH_{linear} = c_1 + c_2 \cdot SO_{RH} + c_3 \cdot SO_{RH}^2$$

โดย  $SO_{RH}$  เป็นค่าที่อ่านได้จากเซนเซอร์

$c_1 = -4$        $c_2 = 0.0405$        $c_3 = -2.8 \cdot 10^{-6}$       สำหรับ 12 บิต  $SO_{RH}$   
 $c_1 = -4$        $c_2 = 0.648$        $c_3 = -7.2 \cdot 10^{-4}$       สำหรับ 8 บิต  $SO_{RH}$



รูปที่ 4.6  $SO_{RH}$  ที่อ่านได้จากเซนเซอร์

จากรูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความชื้นกับค่า  $SO_{RH}$  ที่อ่านได้จากเซนเซอร์ สำหรับอุณหภูมิที่แตกต่างที่ 25°C (ประมาณ 77°F) ค่าสัมประสิทธิ์ของความชื้นสามารถพิจารณาได้เป็น

$$RH_{true} = (T_{oC} - 25) \cdot (t_1 + t_2 \cdot SO_{RH}) + RH_{linear}$$

โดย  $t_1 = 0.01$  ;  $t_2 = 0.00008$  ;  $t_2 = 0.00128$  สำหรับ 8 บิต  $SO_{RH}$

#### 4.2.1.2 การแปลงค่าดิจิตอลเป็นอุณหภูมิ

จากค่าลอจิกที่ได้จากเซนเซอร์เราสามารถแปลงค่าเป็นอุณหภูมิได้จากสมการต่อไปนี้

$$Temperature = d_1 + d_2 \cdot SO_T$$

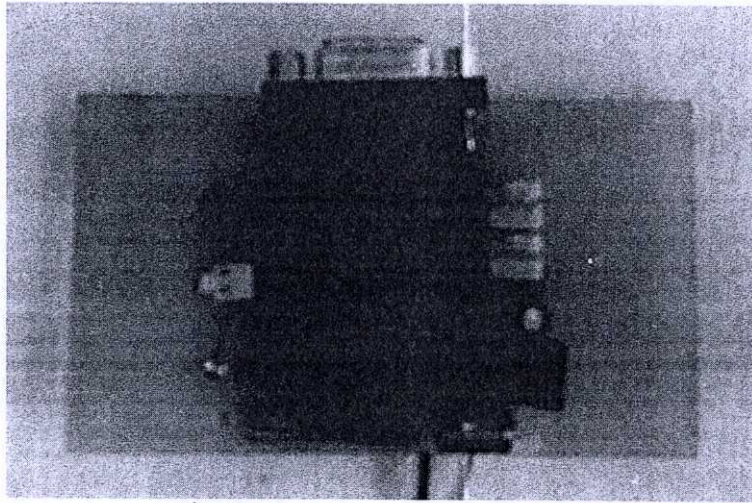
โดยค่าสัมประสิทธิ์ของสมการ  $d_1$  และ  $d_2$  ได้จากตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

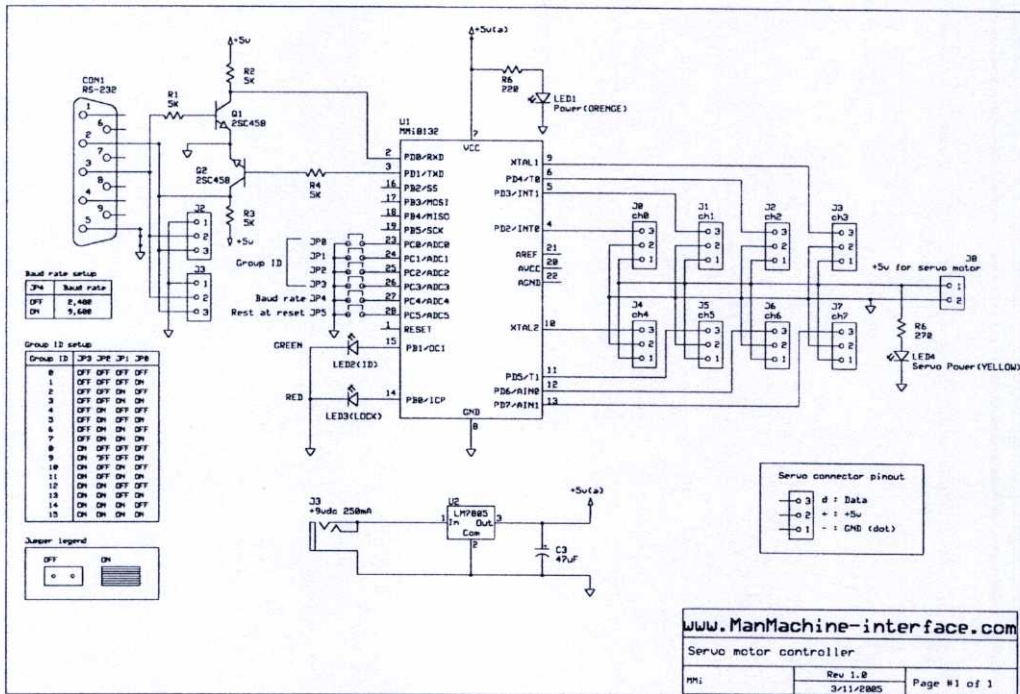
VDD	$d_1$ [°C]	$d_1$ [°F]
5V	-40.00	-40.00
4V	-39.75	-39.50
3.5V	-39.66	-39.35
3V	-39.60	-39.28
2.5V	-39.55	-39.23

$SO_T$	$d_2$ [°C]	$d_2$ [°F]
14bit	0.01	0.018
12bit	0.04	0.072

### 4.4 บอร์ดควบคุม Servo Motor



รูปที่ 4.8 แสดงการ์ดควบคุมเซอร์โวมอเตอร์



รูปที่ 4.9 แสดงวงจรบอร์ดควบคุมเซอร์โวมอเตอร์

รูปที่ 4.8 และ 4.9 แสดงการ์ดควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ MMi8134 สำหรับควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ 8 ตัวผ่านทางพอร์ตอนุกรม สามารถต่อไอซีเข้าด้วยกันได้ถึง 16 ตัว ทำให้สามารถควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ได้สูงสุด 128 ตัว, ส่งคำสั่งควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ด้วยพอร์ตสื่อสารอนุกรม RS-232 จากเครื่องคอมพิวเตอร์

- ตัวถังแบบ PDIP 28 ขา เป็น 8 bits AVR microcontroller เบอร์ ATmega8
- ความต้องการไฟเลี้ยง 4.5-5.5V
- ความคุมเซอร์โวมอเตอร์ได้ถึง 8 ตัวต่อไอซีหนึ่งตัว สามารถเชื่อมต่อไอซีเข้าด้วยกัน ได้สูงสุด 16 ตัว ทำให้ความคุมเซอร์โวมอเตอร์ได้สูงสุดถึง 128 ตัว
- ความคุมการหมุนด้วยความละเอียด จำนวน 256 ชั้น , ชั้นละ 8 uS คาบเวลาของพัลส์ควบคุม 0.5mS ถึง 2.84 mS ระยะเวลาระหว่างพัลส์แต่ละลูก 20 mS ต่ำสุด 36 mS สูงสุด
- ตั้งอัตราเร็ว ในการรับส่งข้อมูล ได้ 2 ระดับ คือ 2,400 bps และ 9,600 bps
- ความคุมผ่านทางพอร์ตอนุกรมของเครื่องคอมพิวเตอร์ หรือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ พร้อมจุดต่อ สำหรับการขยายระบบ
- ใช้หน่วยความจำ eeprom ภายใน สำหรับการเก็บข้อมูล จึงไม่ต้องการ ไฟเลี้ยงสำรองกรณีไฟดับ

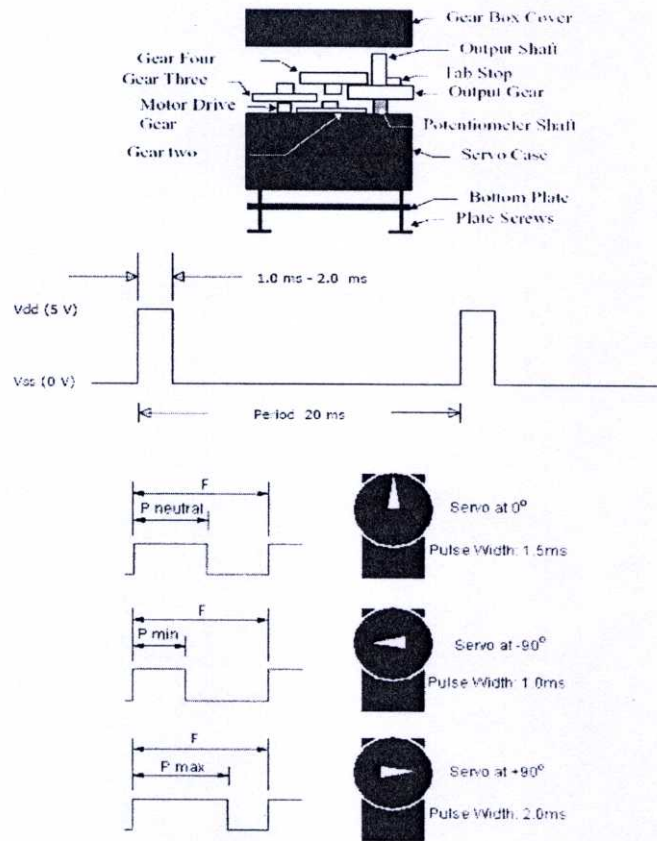
#### 4.5 เซอร์โวมอเตอร์(Servo motor)

เซอร์โวมอเตอร์ คือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC motor) ที่ถูกประกอบรวมกับชุดเกียร์ และ ส่วนควบคุม ต่างๆ ไว้ในโมดูลเดียวกัน หรือ ภายในกล่องพลาสติกเดียวกัน โดยมอเตอร์ชนิดนี้จะมีสายต่อใช้งานเพียง 3 เส้นเท่านั้น คือ VCC, GND และ สายสัญญาณควบคุม (Control Line) ซึ่งสามารถควบคุมมอเตอร์ให้หมุนซ้ายหรือขวาได้จากสายสัญญาณเพียงเส้นเดียว โดยสัญญาณที่ใช้ควบคุมนี้จะเป็นสัญญาณ พัลส์วิดมอด (PWM) แบบ TTL Level ระดับแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์นี้จะอยู่ในช่วงประมาณ 4 ถึง 6 โวลท์ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของมอเตอร์แต่ละตัว ข้อดีของมอเตอร์ชนิดนี้ก็คือ จะมีขนาดเล็กน้ำหนักเบา, ให้แรงบิดสูง, กินพลังงานน้อย และสามารถควบคุม ด้วยแรงดันลอจิกที่เป็น TTL ได้โดยตรงไม่จำเป็นต้องต่อวงจรขับ(Driver) อื่นๆ เพราะมอเตอร์ชนิดนี้จะมีวงจรควบคุมบรรจุไว้ภายในอยู่แล้ว ซึ่งมอเตอร์ชนิดนี้สามารถควบคุมให้หมุนไปใน ตำแหน่ง หรือ ทิศทางองศาที่ต้องการ ได้ โดยอาศัยสัญญาณความกว้างพัลส์ ที่ป้อนให้มอเตอร์

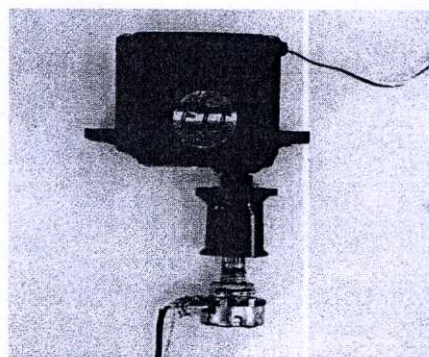
การควบคุมการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ ทำได้โดย การป้อนสัญญาณความกว้างพัลส์ ให้กับมอเตอร์ซึ่งตำแหน่งและทิศทางการหมุนของมอเตอร์นี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของความกว้างพัลส์นั้นๆโดยทั่วไปแล้วความกว้างของสัญญาณพัลส์จะมีจุดให้อ้างอิง 3 จุด ดังรูป 4.10

- สัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 1.5 ms จะควบคุมให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปอยู่ที่ตำแหน่งมุม 0 องศา หรือ จุดกึ่งกลางมอเตอร์
- สัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 1 ms จะควบคุมให้เซอร์โวมอเตอร์ หมุนไปอยู่ที่ตำแหน่งมุม - 90 องศา หรือ ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

- สัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 2 ms จะควบคุมให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปอยู่ที่ตำแหน่ง +90 องศา หรือในทิศทางตามเข็มนาฬิกา



รูปที่ 4.10 ลักษณะโครงสร้างการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์



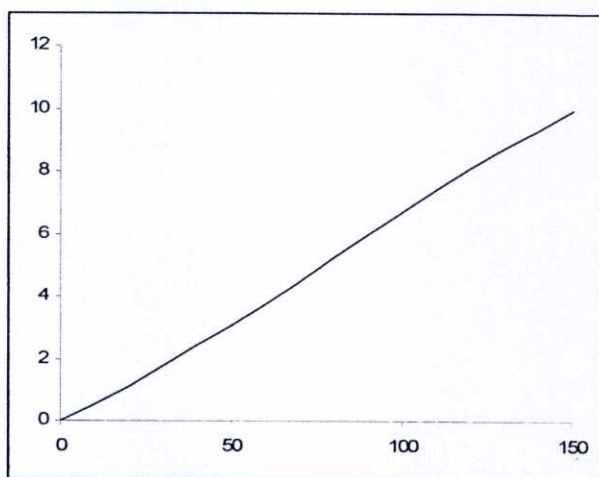
รูปที่ 4.11 เซอร์โวมอเตอร์ที่ใช้ควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก

จากรูปที่ 4.11 แสดงเซอร์โวมอเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง ของบริษัท Futaba Model S3003 ควบคุมตัวต้านทานแบบปรับค่าได้  $5K\Omega$  เพื่อควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก

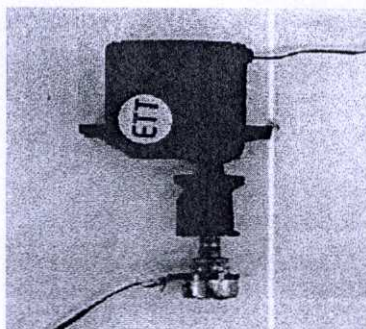
เมื่อมีการจ่ายสัญญาณพัลส์ให้กับเซอร์โวมอเตอร์ จะทำให้เซอร์โวมอเตอร์ที่ยึดติดกับความต้านทานแบบปรับค่าได้ หมุนอยู่ที่ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งตามความกว้างของสัญญาณพัลส์ที่จ่ายให้กับเซอร์โวมอเตอร์ ทำให้มีการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกอยู่ที่ค่าใดค่าหนึ่ง ตารางที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบสัญญาณพัลส์กับการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก และ รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ของสัญญาณพัลส์กับการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบสัญญาณพัลส์กับ โวลต์ ของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก

Pulse	Volt
0	0
20	1.09
40	2.43
60	3.72
80	5.24
100	6.72
120	8.10
140	9.28
150	10.04



รูปที่ 4.12 รูปแสดงการความสัมพันธ์ สัญญาณพัลส์กับ โวลต์ ของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก



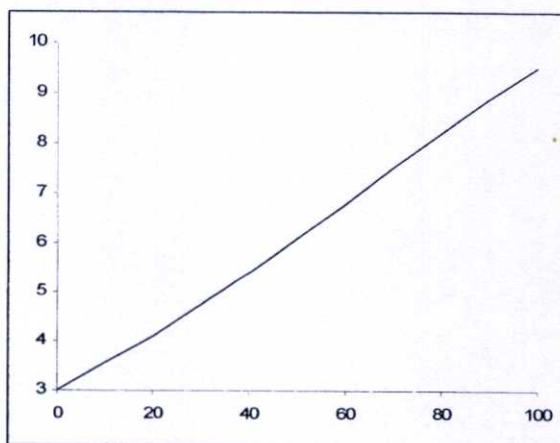
รูปที่ 4.13 เซอร์โวมอเตอร์ที่ใช้ควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้พัดลม

จากรูปที่ 4.13 แสดงเซอร์โวมอเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง ของบริษัท Futaba Model S3003 ควบคุมตัวต้านทานแบบปรับค่าได้  $5K\Omega$  เพื่อควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์พัดลม

ตารางที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบสัญญาณพัลส์กับการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับพัดลม และรูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ของสัญญาณพัลส์กับการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับพัดลม

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบ สัญญาณพัลส์กับ โวลต์ ของพัดลม

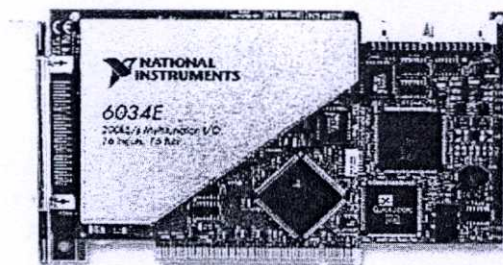
Pulse	Volt
0	3
20	3.8
40	5.20
60	6.70
80	8.36
100	9.52



รูปที่ 4.14 รูปแสดงความสัมพันธ์ สัญญาณพัลส์กับ โวลต์ของโบลเวอร์

#### 4.6 ชุดอินเตอร์เฟซ (Interface)

สำหรับอุปกรณ์รับสัญญาณเข้าสู่คอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผล และส่งสัญญาณออกไปสู่ ทั่วโลกควบคุม จะเลือกใช้ การ์ดรับและประมวลผลสัญญาณรุ่น PCI-6034E



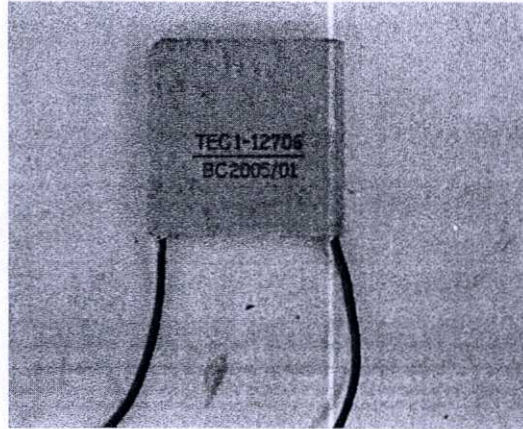
รูปที่ 4.15 แสดงการ์ดรับและประมวลผลสัญญาณรุ่น PCI-6034E

การ์ดรับและประมวลผลสัญญาณรุ่น PCI-6034E ดังแสดงในรูปที่ 4.15 จะใช้ร่วมกับ พอร์ตเชื่อมต่อสัญญาณรุ่น BNC-2110 ซึ่งมีช่องเชื่อมต่อแบบขั้วจำนวน digital I/O 8 ช่องดังแสดง ในรูปที่ 4.16 Analog input 16 bit รองรับการรับส่งสัญญาณ ทั้งแบบอนาลอกและดิจิทัล



รูปที่ 4.16 แสดงพอร์ตเชื่อมต่อสัญญาณรุ่น BNC-2110

#### 4.7 เทอร์โมอิเล็กทริก(Thermoelectric)

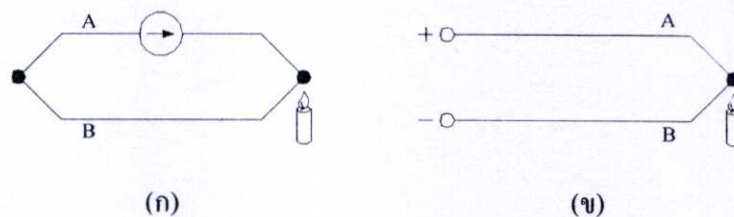


รูปที่ 4.17 อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก

จากรูปที่ 4.17 แสดงอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้ในการทดลอง รุ่น TEC1-12706 มีขนาด  $4 \times 4 \times 3.8$  เซนติเมตร 12V DC, 3A อายุการใช้งาน 200,000 ชั่วโมง

##### 4.7.1 การทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric Refrigeration)

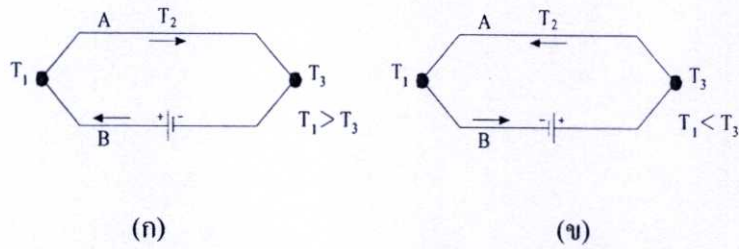
ในปี ค.ศ. 1821 นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน Thomas Seebeck ทำการศึกษาพบว่าเมื่อนำขดลวดโลหะ 2 เส้นที่ทำด้วยโลหะต่างชนิดกันมาเชื่อมต่อกันที่ปลายทั้งสองเข้าด้วยกัน ถ้าปลายจุดต่อทั้งสองมีอุณหภูมิต่างกัน จะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรขดลวดทั้งสองแสดงดังรูปที่ 4.18 (ก) ปริมาณการไหลของกระแสไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปตามผลต่างอุณหภูมิที่ปลายจุดต่อทั้งสอง และถ้าเปิดปลายจุดต่อด้านหนึ่งออกจะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ปลายด้านเปิดแสดงดังในรูปที่ 4.18 (ข) แรงเคลื่อนไฟฟ้านี้เรียกว่า “ซีเบ็คโวลต์เตจ”



รูปที่ 4.18 ปรากฏการณ์ของซีเบ็คทางเทอร์โมไดนามิกส์

ต่อมาในปี ค.ศ. 1834 Jean C.A. Peltier พบว่าเมื่อกำจรกระแสไฟฟ้าเข้าไปในวงจรลักษณะเดียวกับซีเบ็คสร้างขึ้นโดยใช้ลวดด้านหนึ่งทำจากบิสมัทและอีกด้านหนึ่งทำจากแอนติโมนีจะทำ

ให้เกิดอุณหภูมิที่ปลายจุดต่อแตกต่างกัน โดยปลายข้างหนึ่งจะร้อนและปลายอีกข้างหนึ่งจะเป็นวงจรการทดลองของเพลเทียร์แสดงดังรูปที่ 4.19

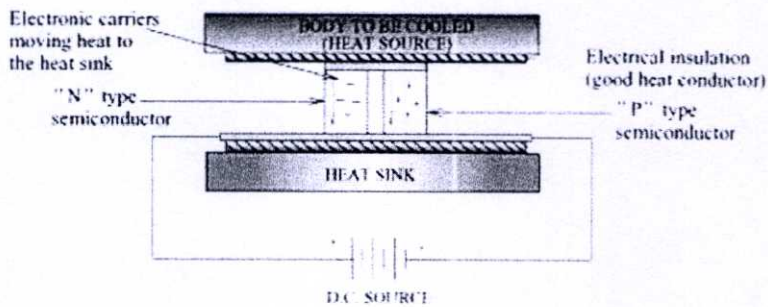


รูปที่ 4.19 ปรัชการณณ์ของเพลเทียร์ทางเทอร์โมไดนามิกส์

เมื่อมีกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายภายนอกไหลผ่านเข้าไปในในวงจรแสดงดังในรูปที่ 4.19 (ก) จะทำให้จุดต่อ  $T_1$  มีอุณหภูมิสูงกว่าจุดต่อ  $T_3$  เมื่อมีกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายภายนอกไหลผ่านเข้าไปในในวงจรเป็นแสดงดังในรูปที่ 4.19 (ข) จะทำให้จุดต่อ  $T_3$  มีอุณหภูมิสูงกว่าจุดต่อ  $T_1$  ซึ่งจากการค้นพบของซีบีคและ เพลเทียร์ทำให้เกิดการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับเทอร์โมอิเล็กทริกต่อมา

4.7.2 หลักการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริก

เทอร์โมอิเล็กทริก โมดูล (Thermoelectric module) สร้างจากสารกึ่งตัวนำโดยใช้หลักการ ทำงานของปัมความร้อน แสดงดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 ภาพตัดขวางวัสดุกึ่งตัวนำของเทอร์โมอิเล็กทริก

จากรูปที่ 4.20 เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับเทอร์โมอิเล็กทริก โมดูลที่สารกึ่งตัวนำแบบพี-เอ็น (P-N type) กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านวัสดุที่ทำจากสารกึ่งตัวนำต่างชนิดกัน ส่งผลให้เกิดความต่างศักย์ทางไฟฟ้าและทำให้มีความแตกต่างกันของอุณหภูมิเกิดขึ้นระหว่างขั้วทั้งสอง โดยเมื่อแรงดันไฟฟ้าด้านบวก ไหลผ่านวัสดุกึ่งตัวนำแบบเอ็น จะส่งผลให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน

ที่เคลื่อนที่จากพลังงานระดับต่ำในสารกึ่งตัวนำแบบพี สู่วัสดุพลังงานระดับสูงในสารกึ่งตัวนำแบบเอ็น ส่งผลให้เกิดความเย็นที่ด้านเย็น (Heat absorbed at cold side) และในขณะเดียวกันก็เกิดการดูดกลืนของอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่จากพลังงานระดับสูงในสารกึ่งตัวนำแบบเอ็น สู่วัสดุพลังงานระดับต่ำในสารกึ่งตัวนำแบบพี ส่งผลให้เกิดความร้อนที่ด้านร้อน (Heat rejected at hot side) ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่าปรากฏการณ์ของเพลเทียร์ (Peltier effect) นำไปสู่การประยุกต์ใช้ด้านเย็นในการทำความเย็นและด้านร้อนที่เกิดขึ้นในขณะทำความเย็นจะถูกระบายทิ้งให้กับบรรยากาศแวดล้อม

#### 4.7.2.1 การถ่ายเทความร้อนที่ด้านเย็น (Heat Pumped at cold Surface, $Q_c$ )

$$Q_c = (\alpha IT_c - 0.5I^2R - K_f \Delta T) \quad (4.1)$$

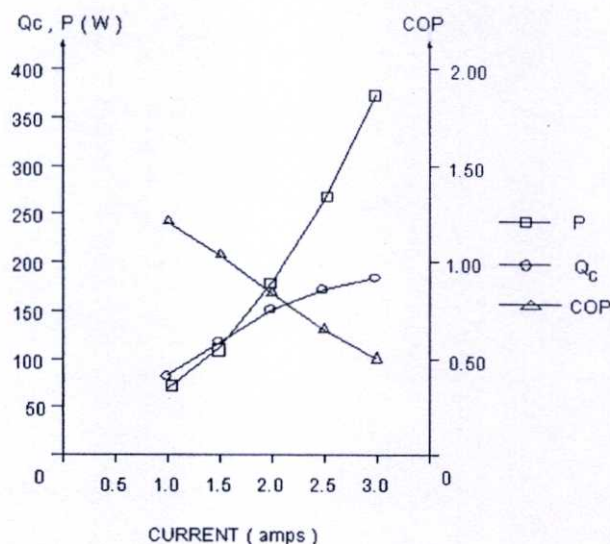
โดยที่	$Q_c$	คือ การทำความเย็นที่ด้านเย็น (W)
	$\alpha$	คือ สัมประสิทธิ์ของซีเบ็ค ( $0.0444 \text{ VK}^{-1}$ ) [13]
	$I$	คือ กระแสไฟฟ้า (A)
	$T_c$	คือ อุณหภูมิด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก (K)
	$R$	คือ ความต้านทานไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริก ( $2.545 \Omega$ ) [13]
	$K_f$	คือ ค่าสภาพนำความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก ( $0.495 \text{ WK}^{-1}$ ) [13]

$\Delta T$  คือ ผลต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็น (K)

#### 4.7.2.2 ประสิทธิภาพในการทำความเย็น (COP)

$$\text{COP} = \frac{Q_c}{P_{in}} \quad (4.2)$$

โดยที่	$P_{in}$	คือ กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้เทอร์โมอิเล็กทริก (W)
--------	----------	---



รูปที่ 4.21 การเปรียบเทียบอัตราการทำความเย็น กำลังไฟฟ้าที่ป้อน และ COP เมื่อเปลี่ยนแปลงการจ่ายกระแสไฟฟ้า[15]

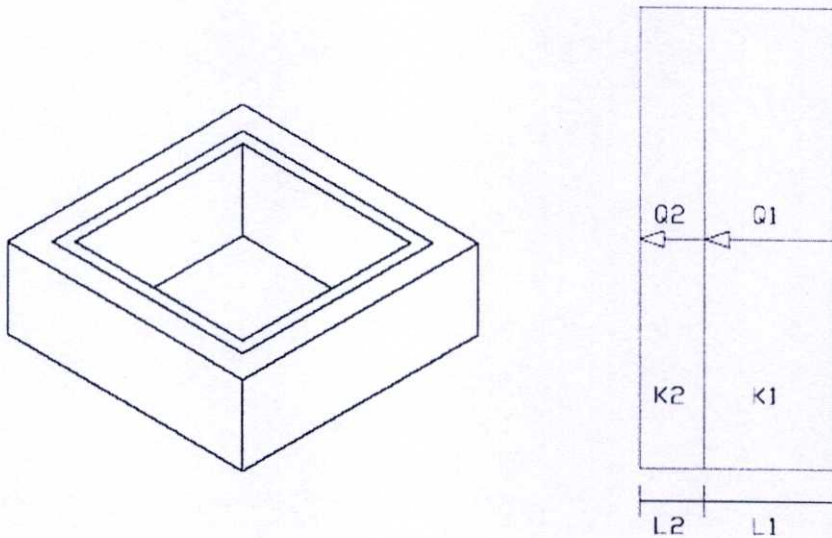
รูปที่ 4.21 แสดงผลของการปรับเปลี่ยนค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกมีผลต่อประสิทธิภาพการทำความเย็น (COP) กำลังไฟฟ้าที่ป้อน (P) และอัตราการทำความเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก ( $Q_c$ ) เมื่อกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นกำลังไฟฟ้าที่ป้อนและอัตราการทำความเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มกำลังไฟฟ้า อัตราการทำความเย็นจะเพิ่มขึ้นด้วย ในขณะที่ความร้อนที่ถ่ายเทออกที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนยังคงเท่าเดิม ดังนั้นจึงทำให้เกิดการสะสมความร้อนที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน จึงทำให้ค่า COP มีค่าลดลงเมื่ออัตราการทำความเย็นเพิ่มขึ้น

#### 4.7.3 หลักการออกแบบและเลือกอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

เงื่อนไขข้อกำหนดในการทดลอง

1. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และอุปกรณ์ต่างๆที่อยู่ในกล่องควบคุมมีการใช้พลังงาน 50 W
2. อุณหภูมิบรรยากาศภายนอกกล่องควบคุมสำหรับการทดลองอยู่ในช่วงอุณหภูมิประมาณ  $25^{\circ}\text{C}$
3. อุณหภูมิและความชื้นที่ต้องการสำหรับระบบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในกล่องควบคุมอยู่ระหว่าง  $15^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}$  และ  $45\%\text{RH} - 60\%\text{RH}$
4. ตัวกล่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นทำจากอะคริลิก และหุ้มโฟมเพื่อกันการถ่ายเทความร้อนจากบรรยากาศภายนอกเข้าสู่กล่องควบคุม
5. อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกมีประสิทธิภาพประมาณ 50-60 % ขึ้นอยู่กับสภาวะการทำงาน

[15]



รูปที่ 4.22 ลักษณะของกล่องควบคุม ความหนาของกล่องควบคุมและฉนวน

กล่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้น เป็นกล่องควบคุมที่มีขนาดความกว้าง 10 นิ้ว ความยาว 10 นิ้ว และสูง 4 นิ้วทำด้วยอะครีลิคหนา 4 มิลลิเมตร และหุ้มฉนวนโพลีเอทิลีนหนา 2 เซนติเมตร ทั้ง 6 ด้าน

ดังนั้นความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่กล่องควบคุมจากบรรยากาศภายนอกแต่ละด้านของกล่องควบคุมแสดงดังสมการที่ (4.3), (4.4)

$$Q_i = \frac{(T_1 - T_2)}{\sum R_{i,j}} \quad (4.3)$$

$$\sum R_{i,j} = \frac{1}{A_i} \left( \frac{L_1}{k_{1,i}} + \frac{L_2}{k_{2,i}} \right) \quad (4.4)$$

ที่  $Q_i$  = ความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่กล่องควบคุม

$R_{i,j}$  = ความต้านทานการนำความร้อน

$i$  = ผนังแต่ละด้าน  $m^2$

$k_1$  = ค่าการนำความร้อนของโพลีเอทิลีน =  $0.34 \text{ W/mK}$  [34]

$k_2$  = ค่าการนำความร้อนของอะครีลิค =  $0.12 \text{ W/mK}$  [34]

$L_1$  = ความหนาของฉนวนโพลีเอทิลีน =  $2 \text{ cm}$

$L_2$  = ความหนาของอะครีลิค =  $0.3 \text{ cm}$

การหาความร้อนถ่ายเทเข้าสู่กล่องควบคุมที่ผนังด้านหน้ากล่องควบคุม

ขนาดพื้นที่ด้านหน้ากล่องควบคุม  $250 \text{ cm}^2$

จากสมการที่ (4.3) และ (4.4)

$$Q_1 = \frac{(25 - 15)}{\frac{100}{250} \left( \frac{2}{0.34} + \frac{0.3}{0.12} \right)} = 2.9W$$

ดังนั้นการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่กล่องควบคุมด้านหน้ามีค่า = 2.9 วัตต์

การหาความร้อนถ่ายเทเข้าสู่กล่องควบคุมที่ผนังด้านหลังกล่องควบคุม

ขนาดพื้นที่ด้านหน้ากล่องควบคุม  $250 \text{ cm}^2$

เพราะฉะนั้นการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่กล่องควบคุมด้านหลังจึงมีค่าเท่ากับด้านหน้ากล่องควบคุม มีค่าเท่ากับ 2.9 วัตต์

การหาความร้อนถ่ายเทเข้าสู่กล่องควบคุมที่ผนังด้านขวาของกล่องควบคุม

ขนาดพื้นที่ด้านขวาของกล่องควบคุม  $218 \text{ cm}^2$

จากสมการที่ (4.3) และ (4.4)

$$Q_3 = \frac{(25 - 15)}{\frac{100}{218} \left( \frac{2}{0.34} + \frac{0.3}{0.12} \right)} = 2.6W$$

ดังนั้นการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่กล่องควบคุมด้านขวาของกล่องควบคุมมีค่า = 2.6 วัตต์

การหาความร้อนถ่ายเทเข้าสู่กล่องควบคุมด้านซ้ายของกล่องควบคุม

ขนาดพื้นที่ด้านขวาของกล่องควบคุม  $218 \text{ cm}^2$

เพราะฉะนั้นการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่กล่องควบคุมด้านขวาจึงมีค่าเท่ากับด้านซ้ายของกล่องควบคุมมีค่าเท่ากับ 2.6 วัตต์

การหาความร้อนถ่ายเทเข้าสู่กล่องควบคุมที่ผนังด้านบนของกล่องควบคุม

ขนาดพื้นที่ด้านขวาของกล่องควบคุม  $625 \text{ cm}^2$

จากสมการที่ (4.3) และ (4.4)

$$Q_s = \frac{(25-15)}{\frac{100}{625} \left( \frac{2}{0.34} + \frac{0.3}{0.12} \right)} = 7.4W$$

ดังนั้นการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่กล่องควบคุมด้านขวาของกล่องควบคุมมีค่า = 7.4วัตต์

การหาความร้อนถ่ายเทเข้าสู่กล่องควบคุมที่ผนังด้านล่างกล่องควบคุม

ขนาดพื้นที่ด้านขวาของกล่องควบคุม 625 cm<sup>2</sup> และกล่องควบคุมมีการยกพื้นสูงจากโต๊ะ เพราะฉะนั้นการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่กล่องควบคุมด้านขวาก็มีค่าเท่ากับด้านบนกล่องควบคุมมีค่าเท่ากับ 7.4วัตต์

พลังงานความร้อนทั้งหมดที่ระบบทำความเย็นหรืออุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกต้องถ่ายเทออกจากกล่องควบคุมแสดงดังสมการที่ (4.5)

$$Q_T = \sum_{i=1}^6 Q_i + Q_{GEN} \quad (4.5)$$

$Q_T$  = ภาระความร้อนทั้งหมดที่ต้องถ่ายเทออก

$Q_i$  = ภาระความร้อนเข้าผนังแต่ละด้าน

$Q_{GEN}$  = ความร้อนภายในระบบซึ่งเกิดจากการจำลองภาระความร้อนสัมผัสและอุปกรณ์ทำงานในกล่องควบคุม = 50 วัตต์

พลังงานความร้อนทั้งหมดที่ระบบทำความเย็นหรืออุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกต้องถ่ายเทออกจากกล่องควบคุมดังสมการที่(4.5) คือ

$$Q_T = 76 \text{ วัตต์}$$

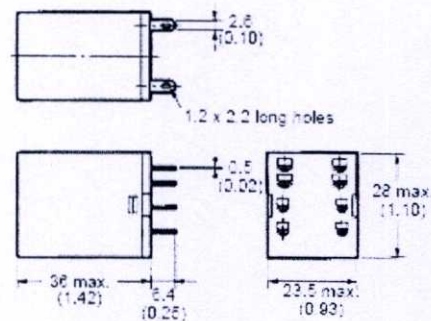
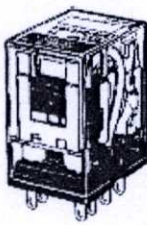
ดังนั้นควรเลือกอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่มีขนาดไม่ต่ำกว่า 76 วัตต์ แต่เนื่องจากอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่มีจำหน่ายโดยทั่วไปจะมีขนาดเล็ก ซึ่งอยู่ที่ 45 วัตต์ และประสิทธิภาพอยู่ที่ 50-60 % ขึ้นอยู่กับดังนั้นจึงต้องใช้อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกจำนวน 4 โมดูล ซึ่งมีการทำความเย็นอยู่ที่ประมาณ 90 วัตต์ ซึ่งเพียงพอต่อการควบคุมอุณหภูมิภายในกล่องควบคุม

จากการสมมุติฐานฉนวน โฟมให้มีขนาดเท่ากับ 2 เซนติเมตร ซึ่งถ้ากำหนดให้มีขนาดที่หนากว่านี้จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการระบายความร้อนจากอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้ อุปกรณ์ฮีทซิงค์มีประสิทธิภาพลดลง แต่ถ้าลดความหนาของฉนวนให้บางลงมากกว่า 2 เซนติเมตร จะทำให้เกิดความร้อนถ่ายเทเข้าสู่กล่องควบคุมที่ผนังทั้งหกด้านเพิ่มขึ้น จึงจำเป็นต้องเพิ่มจำนวน

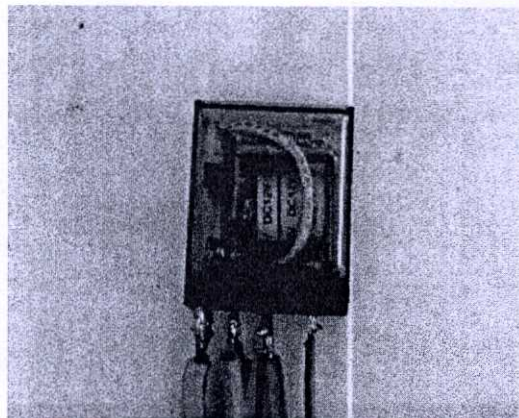
เทอร์โมอิเล็กทริกให้มากกว่า 4 โมดูล เพราะฉะนั้นในการกำหนดความหนาของฉนวนให้มีขนาดเท่ากับ 2 เซ็นติเมตรจะมีความเหมาะสมมากกว่าการเพิ่มอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก

#### 4.8 รีเลย์ (Relay)

การออกแบบในการควบคุมการกำหนดความร้อนหรือความเย็นของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก อุปกรณ์รีเลย์เป็นอุปกรณ์ที่สามารถควบคุมการเปิดปิดหรือการสลับขั้ว ได้ด้วยการป้อนสัญญาณกระแสไฟไปให้ขดลวดรีเลย์ทำงาน เพื่อที่จะให้หน้าสัมผัสของอุปกรณ์รีเลย์สามารถทำงานได้ ซึ่งการทำงานมีสถานะเปิด และสถานะปิด วงจรรีเลย์แสดงดังรูป 4.22 และ 4.23



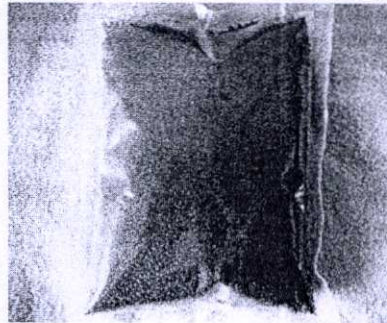
รูปที่ 4.23 โครงสร้างการทำงานของรีเลย์



รูปที่ 4.24 อุปกรณ์รีเลย์ที่ใช้ในการทดลอง

#### 4.9 ซิลิกาเจล (Silica gel)

ในการลดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่อยู่ภายในกล่องควบคุมเลือกใช้ซิลิกาเจลเป็น เพราะอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีการทำงานได้ดีในช่วงความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 40-60 % และกล่องควบคุมมีการปิดผนึกรวมทั้งมีขนาดค่อนข้างเล็กความชื้นสัมพัทธ์จากบรรยากาศภายนอกจะเข้ามาภายในกล่องควบคุมได้ยากดังนั้นเมื่อใช้ซิลิกาเจลในการใช้ลดความชื้นสัมพัทธ์ในกล่องควบคุมให้อยู่ในช่วงที่เราต้องการแล้ว ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องเพิ่มความชื้นจากภายนอกเข้าไปในระบบเพราะถ้าความชื้นสัมพัทธ์ในระบบมากเกินไปหรือน้อยเกินไปอาจทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เสียหายได้



รูปที่ 4.25 ซิลิกาเจล

ซิลิกาเจลคือ สารสังเคราะห์ที่สกัดจากทรายขาวดังรูปที่ 4.24 ผสมกรดกำมะถันมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า ซิลิกอน ไดออกไซด์ (Silicon Dioxide) มีลักษณะเป็นเม็ดกลม โดยทั่วไป ซิลิกาเจล จะมีลักษณะเป็น โพรง มีรูพรุน ทำให้มีพื้นผิว ที่ใช้ในการดูดความชื้นเป็นจำนวนมาก ประมาณ 800 ตารางเมตรต่อน้ำหนัก 1 กรัม หรือประมาณ 35-40 % ของน้ำหนักตัวเอง[16]

$$\text{น้ำหนักสารดูดความชื้นที่ต้องใช้ (กิโลกรัม)} = \frac{RAM}{16}$$

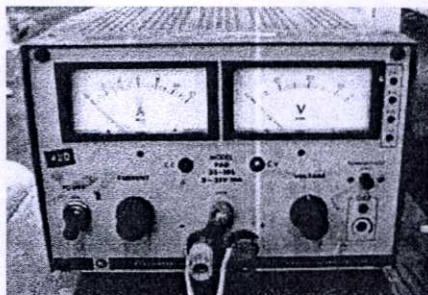
R = ความชื้นในอากาศ

A = พื้นผิวภายในรวมของกล่องควบคุม

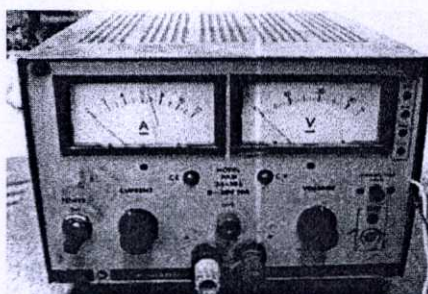
M = ระยะเวลาที่ต้องการควบคุมความชื้น (เดือน)

#### 4.10 Power Supply

แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าใช้เครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้ารุ่น PAD 35 – 10L 0-35 V DC 10 A ของบริษัท KIKUSUI ELECTRONICS CORP. แสดงดังรูปที่ 4.25 และ 4.26



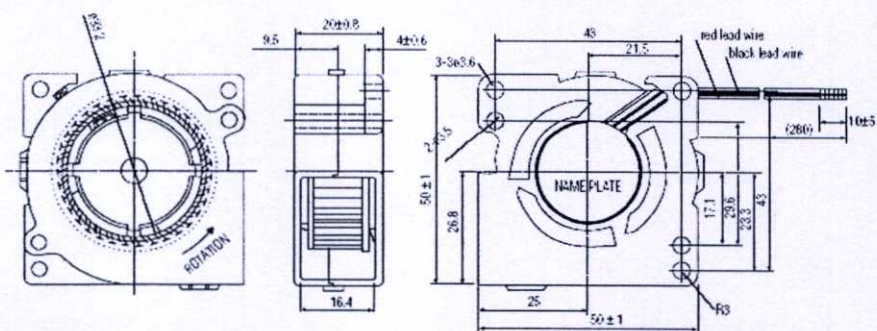
รูปที่ 4.26 แสดงอุปกรณ์ Regulated DC Power Supply จำหน่ายกับอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก



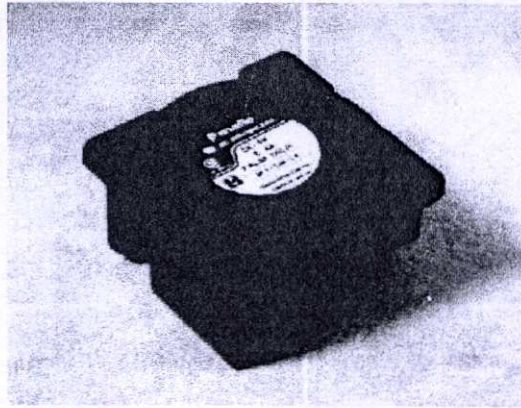
รูปที่ 4.27 แสดงอุปกรณ์ Regulated DC Power Supply จำหน่ายกับอุปกรณ์พัดลม

#### 4.11 พัดลม

พัดลมที่ใช้ควบคุมความชื้นใช้พัดลมชนิดหอยโข่ง ของ Panasonic Model FAL3F12L 12V DC 0.27A, Brushless ความเร็วรอบสูงสุด 5200 รอบต่อนาที อัตราการไหลสูงสุด 0.14 ลูกบาศก์เมตร ต่อ นาที แสดงดังรูปที่ 4.27 และ 4.28



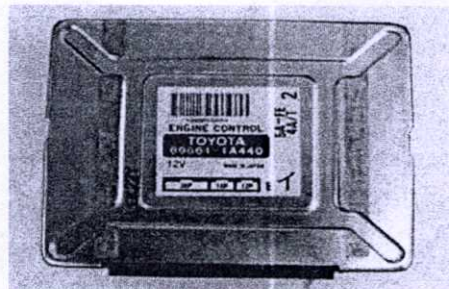
รูปที่ 4.28 แสดงโครงสร้างของโบลเวอร์



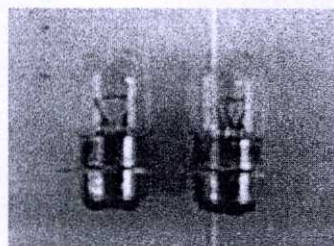
รูปที่ 4.29 แสดงไมโครเวอร์ที่ใช้ในการทดลอง

#### 4.12 การสร้างภาระความร้อนสัมผัส (Sensible heat load)

การสร้างภาระความร้อนสัมผัสในงานวิจัยนี้ได้ใช้กล่องควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ Toyota รุ่น 5A-FE 4A/T ขนาด 16 x 13 x 3.5 เซนติเมตร ซึ่งเป็นขนาดของกล่องควบคุมที่มีการใช้งานอยู่ทั่วไป แล้วนำหลอดไฟขนาด 25 วัตต์จำนวน 2 หลอด ใส่เข้าไปภายในกล่องควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อจำลองสภาวะการทำงานที่ 50 วัตต์ แสดงดังรูปที่ 4.31 และ 4.32



รูปที่ 4.30 กล่องควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้เป็นภาระความร้อนสัมผัส



รูปที่ 4.31 หลอดไฟที่ใช้ในการทดลองขนาด 25 W

## บทที่ 5

### การจำลองการควบคุมระบบปรับอากาศ

#### 5.1 การจำลองระบบควบคุมอุณหภูมิความชื้น

การจำลองระบบเป็นวิธีการที่ทำให้เราสามารถรู้แนวทางการทำงานว่ามีแนวโน้มในการทำงานว่าเป็นไปได้มากน้อยแค่ไหน ช่วยในการหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมต่อการทำงานที่ต้องการ และวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองระบบ การจำลองนั้นสิ่งสำคัญที่จำเป็นอย่างมากในการจำลองคือ การหาโมเดลทางคณิตศาสตร์ การหาโมเดลทางคณิตศาสตร์นั้นมีอยู่ด้วยกัน 2 วิธี วิธีแรกก็คือ การหาโมเดลทางคณิตศาสตร์จากทฤษฎี[17] และการหาโมเดลคณิตศาสตร์จากการทดลอง [18, 19]

การจำลองระบบปรับอากาศนี้ได้ศึกษา การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของระบบโดยการออกแบบสัญญาณควบคุม และวิธีการควบคุมด้วยพีซีซึ่งล่อจิก เพื่อทดสอบการทำงานของระบบ และดูผลการตอบสนองของระบบที่ได้จากการกำหนดค่า

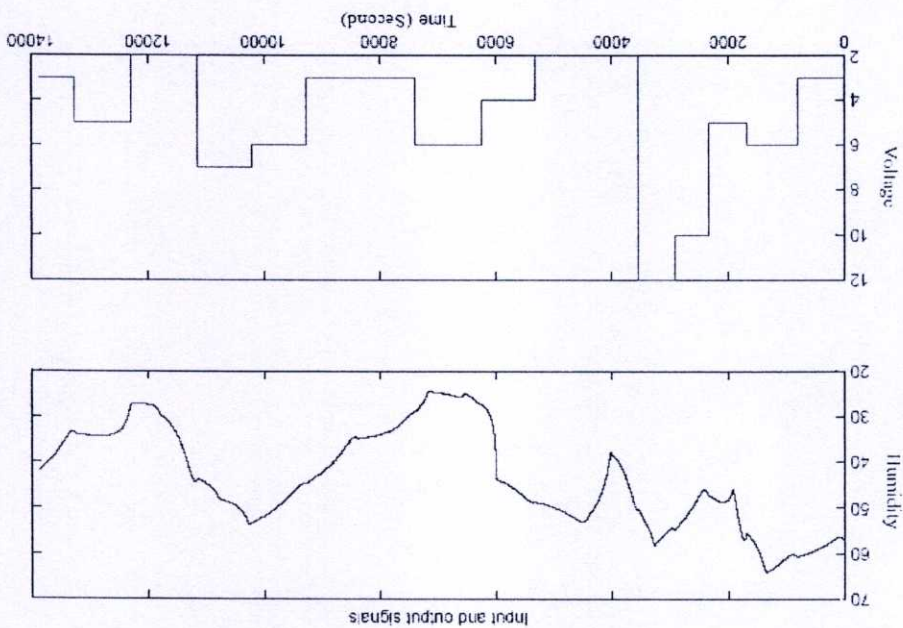
#### 5.2 การหาโมเดลทางคณิตศาสตร์ของระบบควบคุมอุณหภูมิความชื้น

ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบการหาโมเดลทางคณิตศาสตร์จากการทดลองโดยการป้อนสัญญาณในช่วงสัญญาณต่างๆ ในการควบคุมทั้ง 3 สัญญาณ ประกอบไปด้วย สัญญาณควบคุม การจ่ายกระแสไฟให้กับอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก สัญญาณควบคุม โบเวอร์ในการควบคุมความชื้น สัญญาณควบคุมเปิดปิดรีเลย์ เพื่อใช้ในการกำหนดความร้อนหรือความเย็น

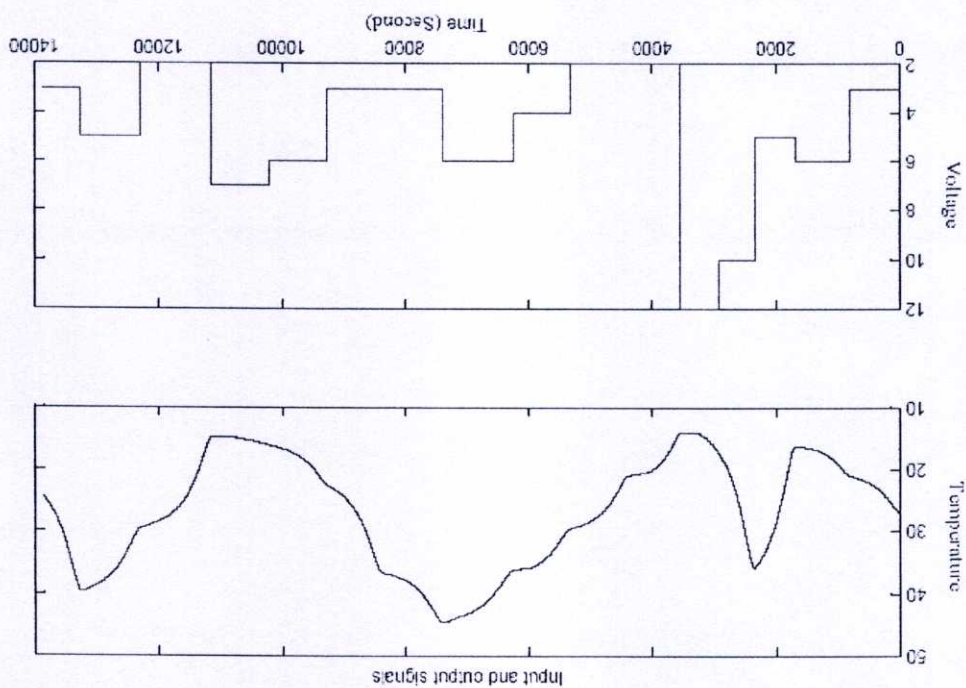
การหาโมเดลทางคณิตศาสตร์ ได้อาศัยโปรแกรม MATLAB ช่วยในการหาโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากการทดลอง ซึ่งในโปรแกรม MATLAB มีฟังก์ชัน Ident(Identification) ที่ช่วยในการหาสมการทางคณิตศาสตร์นี้ การออกแบบการหาโมเดลทางคณิตศาสตร์นี้ได้ออกแบบการป้อนสัญญาณหลายๆค่าแตกต่างกันไปโดยมีช่วงสัญญาณอินพุทในแต่ละช่วงมีค่า 15 นาที ผลที่ได้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.1 ถึง รูปที่ 5.6

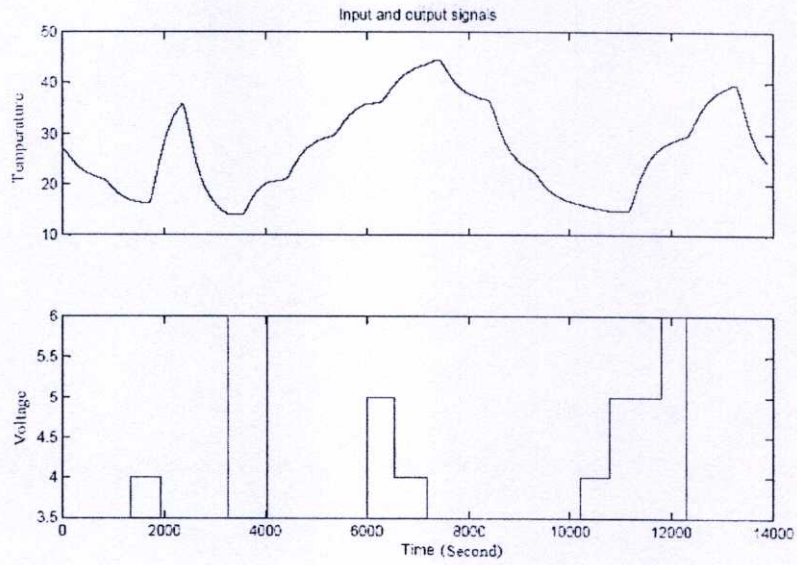
ส่วนที่ 5.2

รูปที่ 5.2 สัญญาณการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์และค่าของตัวแปร

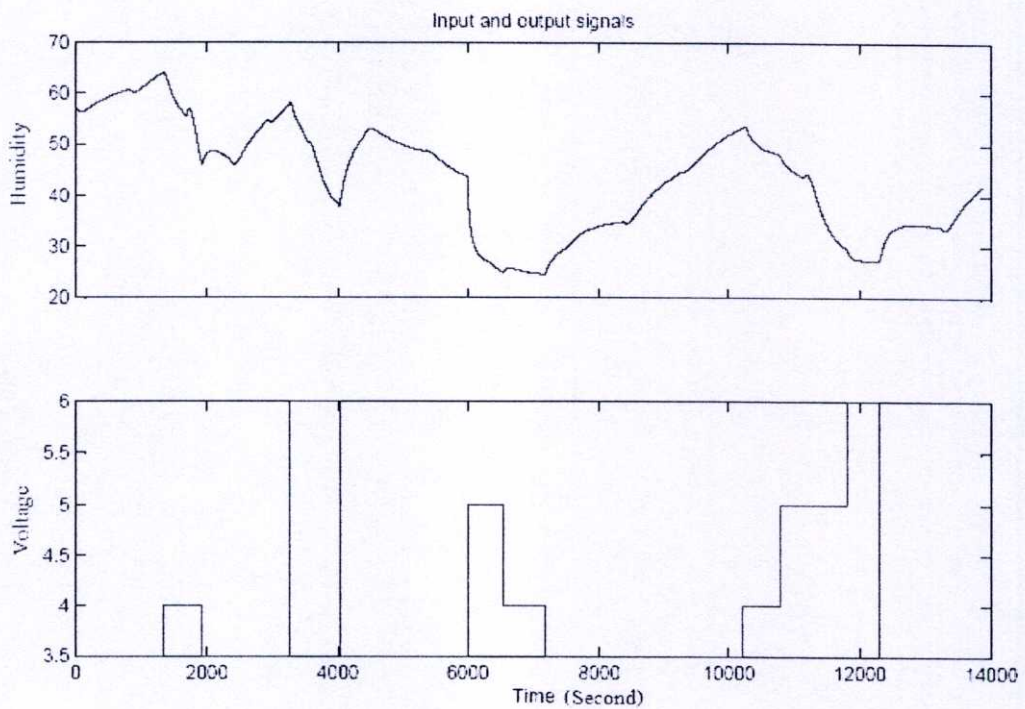


รูปที่ 5.1 สัญญาณการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์และค่าของตัวแปร

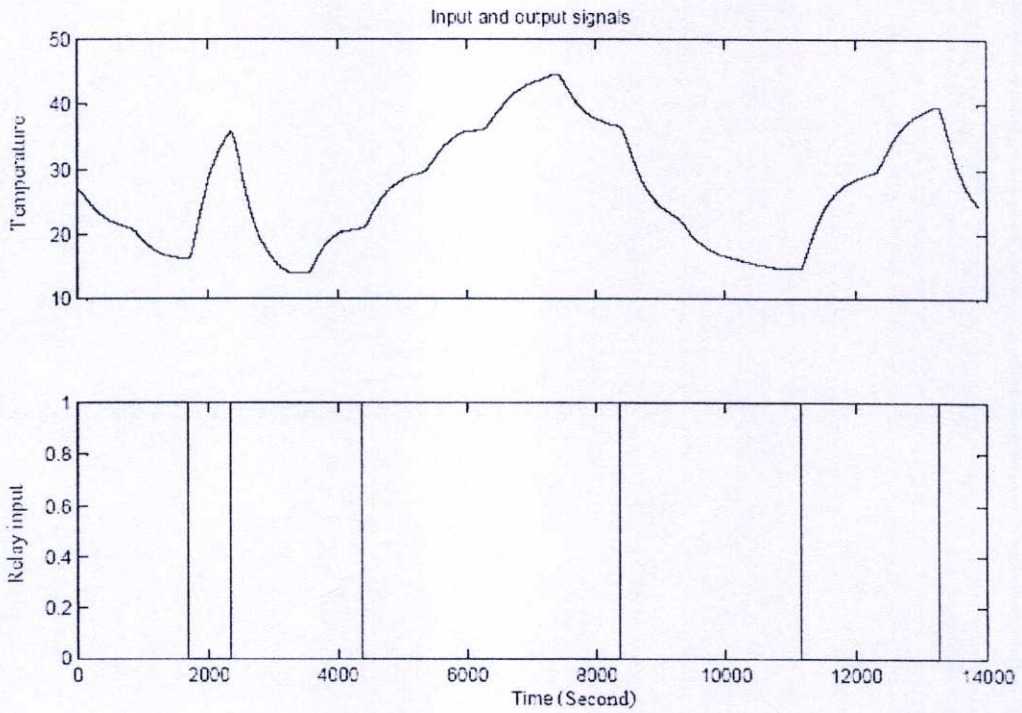




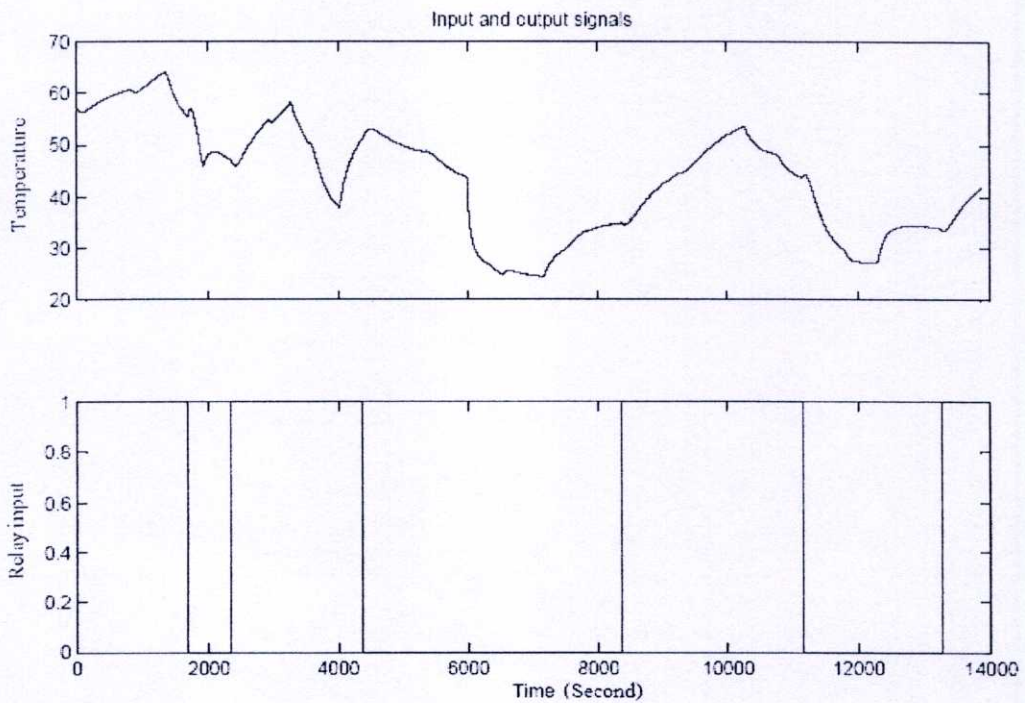
รูปที่ 5.3 สัญญาณการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโบลเวอร์และค่าของอุณหภูมิที่ได้



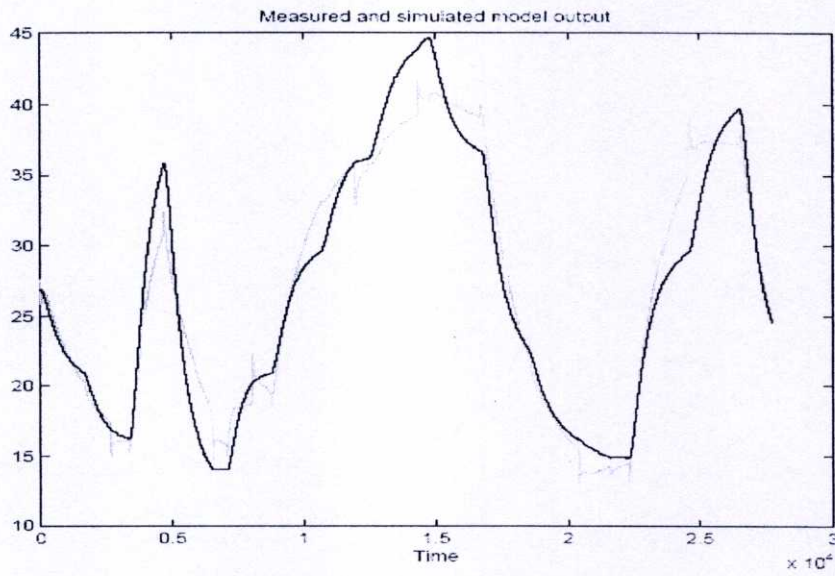
รูปที่ 5.4 สัญญาณการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโบลเวอร์และค่าของความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้



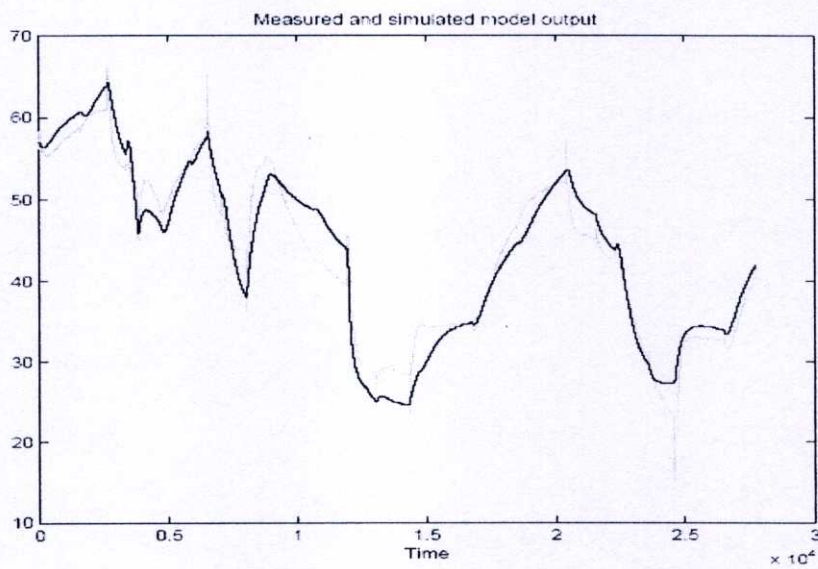
รูปที่ 5.5 สัญญาณการจ่ายกระแสไฟฟ้า ON-OFF รีเลย์ และค่าของอุณหภูมิที่ได้



รูปที่ 5.6 สัญญาณการจ่ายกระแสไฟฟ้า ON-OFF รีเลย์และค่าของอุณหภูมิความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้



รูปที่ 5.7 โมเดลอุณหภูมิของระบบควบคุมอุณหภูมิความชื้นจากโปรแกรม MATLAB



รูปที่ 5.8 โมเดลความชื้นของระบบควบคุมอุณหภูมิความชื้นจากโปรแกรม MATLAB

เมื่อทำการหาโมเดลทางคณิตศาสตร์โดยใช้ฟังก์ชัน `Ident` ในโปรแกรม MATLAB โดยการเลือกการสร้างโมเดลจาก State – Space อันดับที่ 9 เป็นค่าที่ดีที่สุดที่เลือกใช้ในการจำลองการสร้างโมเดลทางคณิตศาสตร์ เพราะว่าการออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิจำนวนงานวิจัยนี้มีค่าความสัมพันธ์กันหลายตัวแปรและก็มีควมสลับซับซ้อนในการออกแบบ และที่เลือกใช้ State – Space เนื่องจากเหมาะสำหรับการออกแบบหลายตัวแปร สามารถแสดงในรูปของสมการ State – Space ได้ดังสมการที่ (5.1)

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= Ax(t) + Bu(t) + Ke(t) \\ y(t) &= Cx(t) + Du(t) + e(t) \end{aligned} \quad (5.1)$$

โดย A เป็น เมตริกของระบบ  
 B เป็นเมตริกของสัญญาณอินพุท  
 C เป็น เมตริกของสัญญาณเอาพุท  
 D เป็น เมตริกของสัญญาณรบกวน  
 X เป็น state ของตัวแปรของระบบ  
 U เป็น สัญญาณอินพุทของระบบ  
 Y เป็น เป็นผลลัพธ์ที่ได้ของระบบ  
 E เป็น ค่าของการรบกวนระบบ  
 K เป็น เมตริกของค่าของการรบกวนระบบ

การคำนวณหาโมเดลคณิตศาสตร์จากฟังก์ชัน `ident` ในโปรแกรม MATLAB ได้มีการกำหนดค่าในการสร้างโมเดลทางคณิตศาสตร์โดยกำหนดให้ค่า

เมตริก D เป็น 0 หมายถึง ไม่มีค่าจากอินพุท  $u(t)$  ที่ส่งผลให้กับค่าเอาพุท  $y(t)$

เมตริก K เป็น 0 หมายถึง ค่า  $e(t)$  มีผลกระทบต่อค่าเอาพุท  $y(t)$  เพียงเท่านั้น

กำหนดให้มีค่าเริ่มต้น  $x(0)$  ในการหาค่าของโมเดลที่หามาได้

ผลจากการสร้างโมเดลทางคณิตศาสตร์ซึ่งโมเดลนี้จะมีค่า  $e(t)$  ของการรบกวนระบบรวมอยู่ด้วย (Output Error Model) ผลที่ได้แสดง อยู่ในรูปที่ 5.7 และ รูปที่ 5.8 ซึ่งโมเดลที่ได้นี้มีลักษณะคล้ายคลึงอยู่ในอันดับที่ 9 ของการออกแบบ และได้นำไปออกแบบระบบควบคุมการทำงานด้วยพีซีที่ลจอกต่อไป

ค่าที่ได้จากการจำลองการสร้างโมเดลคณิตศาสตร์ที่ได้จากการทดลองโดยใช้ฟังก์ชัน Ident ในโปรแกรม MATLAB ซึ่งจัดอยู่ในรูป State – Space มีค่าดังต่อไปนี้

เมตริก A ขนาด 9 x 9 มีค่าเท่ากับ

$$A = \begin{bmatrix} 1 & -2.6783e-006 & -0.00036308 & 0.0002358 & -0.00022267 \\ 0.00014873 & 0.9995 & -0.00059733 & -0.00045202 & 0.00087063 \\ 9.0453e-005 & 0.0013096 & 0.99679 & 0.0022223 & 0.050422 \\ -0.00017758 & 0.0010889 & -0.0017537 & 0.99704 & 0.22685 \\ -5.1863e-005 & 6.5818e-005 & -0.00095613 & -0.0021266 & 0.7499 \\ -8.7855e-006 & -0.00063325 & 0.0093086 & -0.0015793 & 0.0023796 \\ 8.4657e-005 & 0.00041221 & -7.7904e-005 & 0.0011344 & 0.010151 \\ -0.00010573 & -0.00011019 & 0.00076055 & -0.0020052 & 0.021824 \\ -0.00039136 & 0.00012638 & 0.00015729 & 0.0022306 & -0.090062 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} -0.00051312 & 5.3363e-005 & -0.00015724 & -0.00010821 \\ -0.00051203 & -0.00010985 & -8.6811e-005 & -0.00041162 \\ -0.14081 & 0.018055 & -0.071365 & -0.019247 \\ 0.032661 & 0.02129 & 0.035526 & -0.048969 \\ 0.040201 & 0.1024 & -0.05266 & 0.090497 \\ 0.73994 & -0.10965 & 0.042049 & -0.29004 \\ 0.056602 & 0.28161 & -0.94094 & 0.03724 \\ 0.0091277 & 0.9345 & 0.30329 & 0.1002 \\ -0.012551 & 0.039159 & 0.017643 & -0.23952 \end{bmatrix}$$

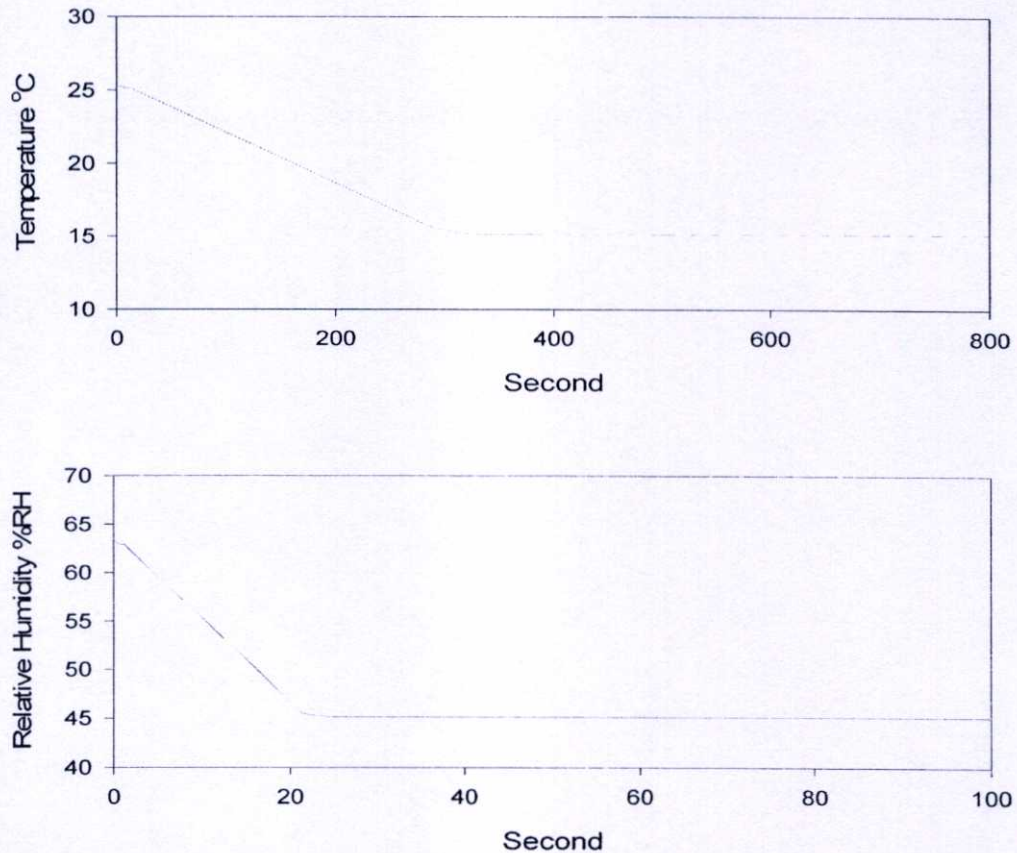
เมตริก B ขนาด 9 x 3 มีค่าเท่ากับ

$$B = \begin{bmatrix} 1.6923e-005 & 1.0146e-005 & -1.1435e-005 \\ 5.41e-005 & -2.2661e-005 & 3.2321e-005 \\ 0.0036392 & 0.0052454 & 0.0001549 \\ 0.0074421 & -0.014348 & 0.0064659 \\ -0.01191 & 0.02708 & 0.0020018 \\ 0.045607 & -0.088112 & -0.033243 \\ -0.027113 & 0.04523 & -0.095951 \\ -0.0069443 & 0.025167 & -0.0091637 \\ 0.19195 & -0.46439 & -0.18507 \end{bmatrix}$$



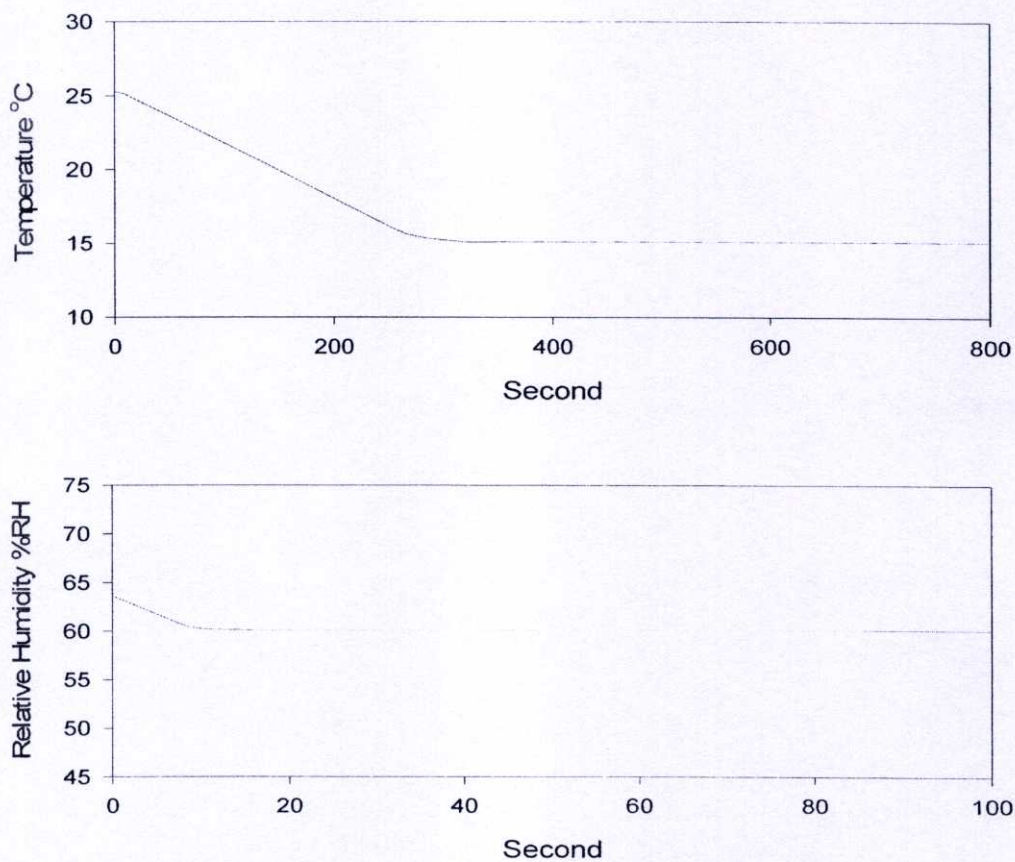
#### 5.4 ผลการจำลองระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

การจำลองระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้ทำการจำลองระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น โดยได้นำโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่สร้างจากการทดลองนำมาหาโมเดลทางคณิตศาสตร์ ซึ่งสามารถแสดงผลการจำลองการควบคุมระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่สถานะต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้



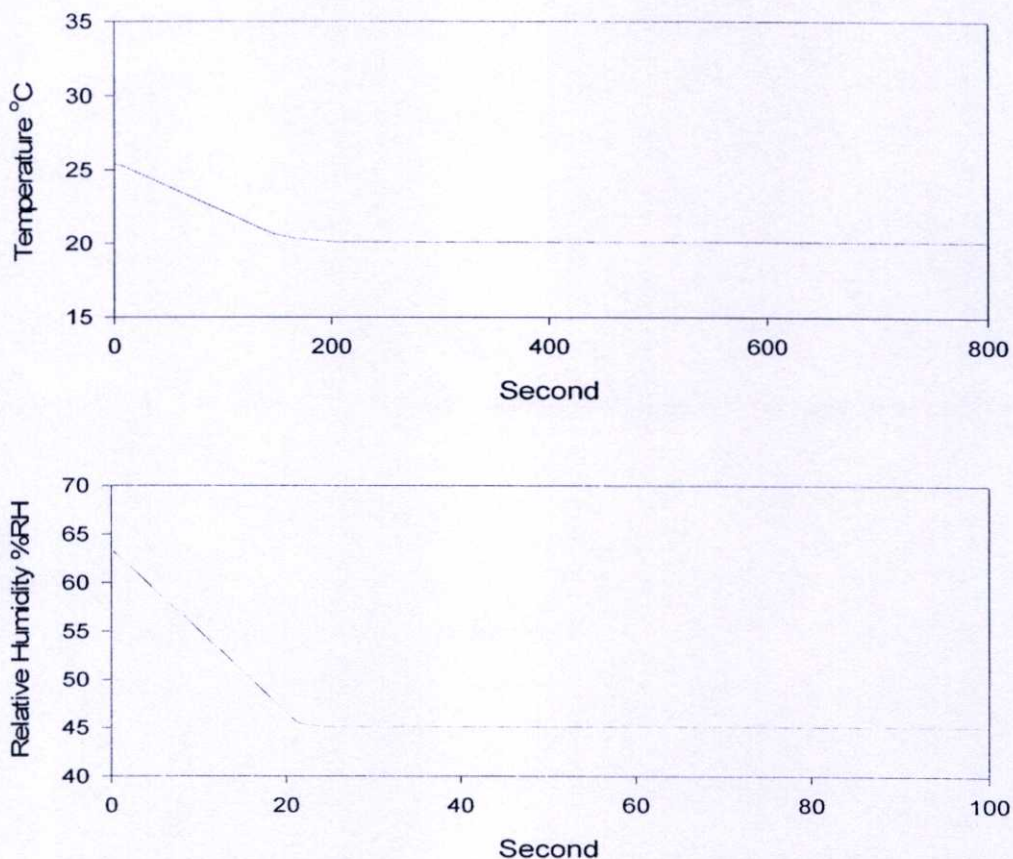
รูปที่ 5.10 ผลการจำลองที่อุณหภูมิ 15°C และ ความชื้น 45 %RH

จากรูปที่ 5.10 แสดงผลการจำลองของอุณหภูมิและความชื้นที่ 15 °C, 45 %RH โดยมี การตอบสนองอุณหภูมิเข้าใกล้ค่าที่กำหนดอยู่ในช่วงประมาณ 310 วินาที มีค่าอุณหภูมิที่ได้ ประมาณ 14.9 °C ผลต่างอุณหภูมิ -0.1 °C และผลการตอบสนองความชื้นเข้าใกล้ค่าที่กำหนดอยู่ ในช่วงประมาณ 23 วินาที มีความชื้นที่ได้ประมาณ 45 %RH ผลต่างความชื้น 0.1 %RH



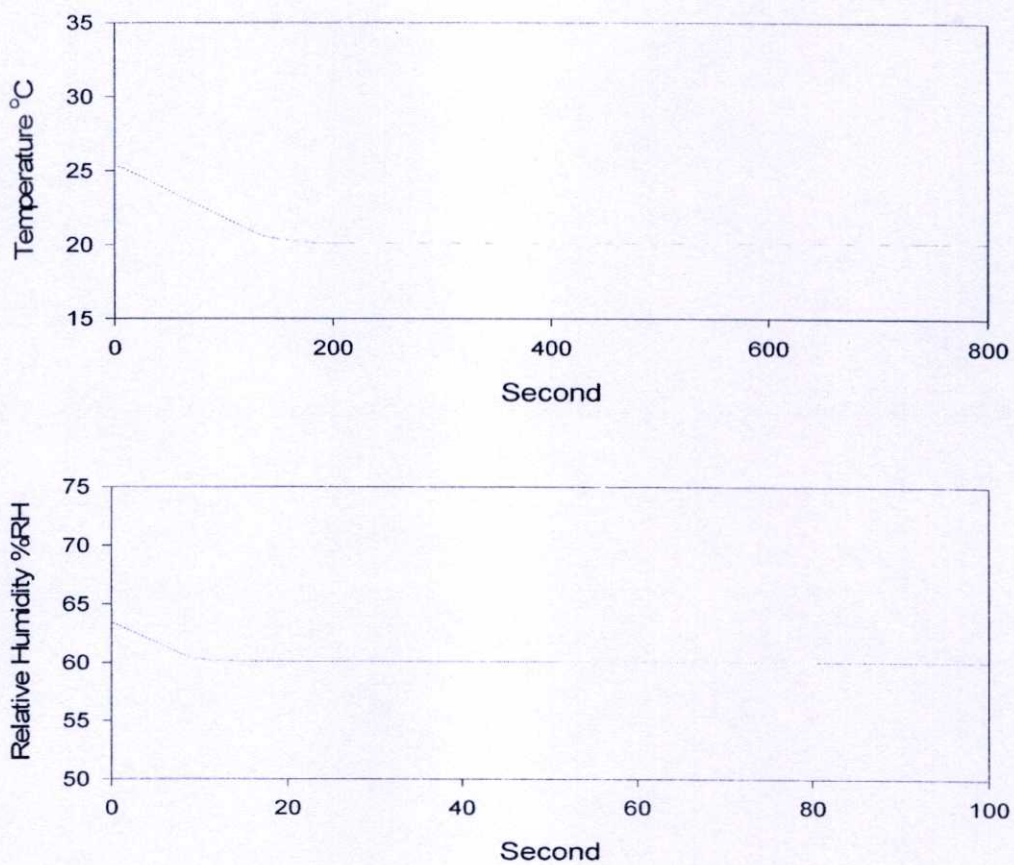
รูปที่ 5.11 ผลการจำลองที่อุณหภูมิ 15<sup>0</sup>C และ ความชื้น 60 %RH

จากรูปที่ 5.11 แสดงผลการจำลองของอุณหภูมิและความชื้นที่ 15 °C, 60 %RH โดยมี การตอบสนองอุณหภูมิเข้าใกล้ค่าที่กำหนดอยู่ในช่วงประมาณ 300 วินาที มีค่าอุณหภูมิที่ได้ ประมาณ 14.9 °C ผลต่างอุณหภูมิ -0.1 °C และผลการตอบสนองความชื้นเข้าใกล้ค่าที่กำหนดอยู่ ในช่วงประมาณ 13 วินาที มีความชื้นที่ได้ประมาณ 60.1 %RH ผลต่างความชื้น 0.1 %RH



รูปที่ 5.12 ผลการจำลองที่อุณหภูมิ 20°C และ ความชื้น 45 %RH

จากรูปที่ 5.12 แสดงผลการจำลองของอุณหภูมิและความชื้นที่ 20 °C, 45 %RH โดยมี การตอบสนองอุณหภูมิเข้าใกล้ค่าที่กำหนดอยู่ในช่วงประมาณ 200 วินาที มีค่าอุณหภูมิที่ได้ ประมาณ 19.9 °C ผลต่างอุณหภูมิ -0.1 °C และผลการตอบสนองความชื้นเข้าใกล้ค่าที่กำหนดอยู่ ในช่วงประมาณ 22 วินาที มีความชื้นที่ได้ประมาณ 45.1 %RH ผลต่างความชื้น 0.1 %RH



รูปที่ 5.13 ผลการจำลองที่อุณหภูมิ 20°C และ ความชื้น 60 %RH

จากรูปที่ 5.13 แสดงผลการจำลองของอุณหภูมิและความชื้นที่ 20 °C, 60 %RH โดยมี การตอบสนองอุณหภูมิเข้าใกล้ค่าที่กำหนดอยู่ในช่วงประมาณ 180 วินาที มีค่าอุณหภูมิที่ได้ ประมาณ 19.8 °C ผลต่างอุณหภูมิ -0.2 °C และผลการตอบสนองความชื้นเข้าใกล้ค่าที่กำหนดอยู่ ในช่วงประมาณ 15 วินาที มีความชื้นที่ได้ประมาณ 60.1 %RH ผลต่างความชื้น 0.1 %RH

## บทที่ 6

# การออกแบบโปรแกรมระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

### 6.1 โปรแกรมการออกแบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

LabVIEW คือ เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนา Application (โปรแกรมประยุกต์) ชนิดหนึ่ง เช่นเดียวกับ Visual Basic แต่จะเป็นการเขียนโปรแกรมโดยใช้รูปในการพัฒนา (Graphical-based Programming) ซึ่งจะแตกต่างจากแนวคิด Text base Programming เช่น Text-base จะทำงานจากบนลงล่าง แต่ LabVIEW จะทำงานแบบ Dataflow

LabVIEW สามารถเขียนเป็นสมการต่างๆที่ซับซ้อนได้เหมือน Text base เช่นภาษา C โดยใช้ Formula Node และ LabVIEW การทำงานจะเน้นทางการติดต่อกับเครื่องมือหรือทรานสดิวเซอร์ (Transducer) ที่ใช้วัดสัญญาณทางกายภาพต่างๆ และนอกจากนั้นสามารถนำประโยชน์จาก Computer Technology และ Network Technology มาประยุกต์ใช้งาน เช่น การเก็บข้อมูลลงในฐานข้อมูล หรือส่งข้อมูลผ่านทาง Internet ทำให้หลายอุตสาหกรรมได้นำเอา LabVIEW มาประยุกต์ใช้งานกับงานวัดคุม และอัตโนมัติ (Automation)

#### 6.1.1 หลักการทำงานของโปรแกรม LabVIEW

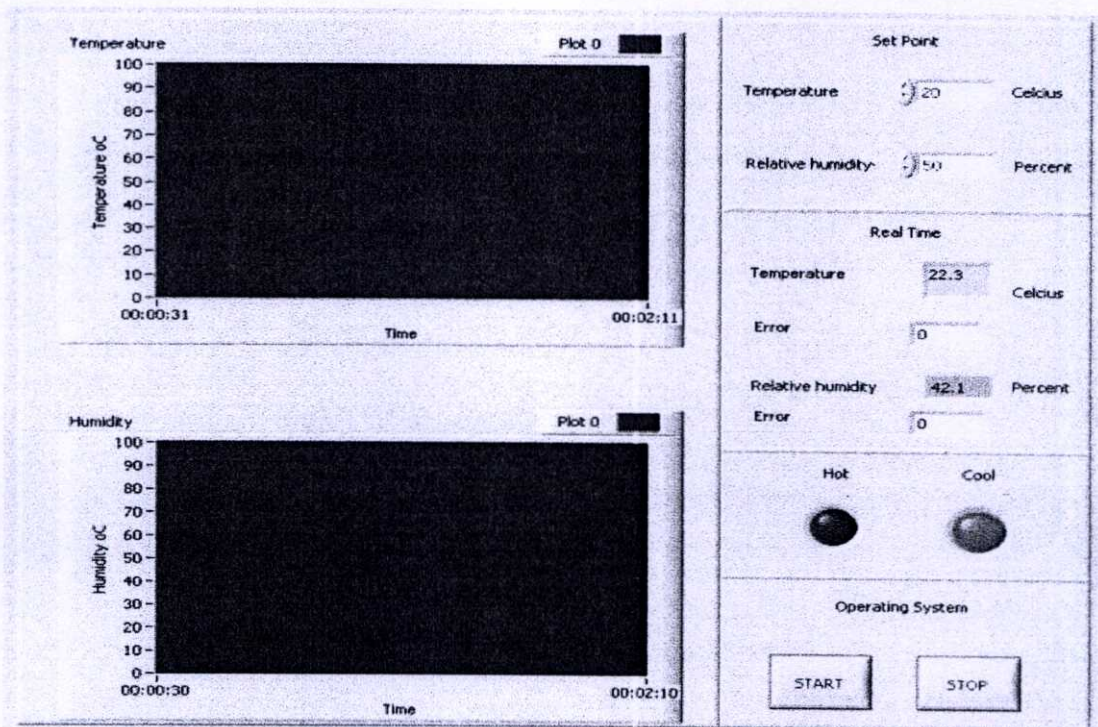
LabVIEW ย่อมาจาก Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ LabVIEW จะเรียกว่า Virtual Instrument หรือเรียกย่อๆว่า VI ซึ่งหมายถึงเครื่องมือวัด LabVIEW จะมี Front Panel ซึ่งเปรียบเสมือนได้กับสิ่งที่ผู้ใช้จะเห็นและควบคุมการทำงาน ผู้ใช้สามารถสร้างรูปแบบขึ้นได้เองอย่างรวดเร็วเพราะ LabVIEW มีส่วนประกอบต่างๆที่ใช้สำหรับออกแบบหน้าจอกมากมาย เช่น จอแสดงผลแบบออสซิลโลสโคป, ปุ่มหมุน (Dial) และสวิตช์ เป็นต้น โดย LabVIEW จะแสดงผลและควบคุมการทำงานผ่านทางคอมพิวเตอร์ พื้นที่ส่วนที่เขียนโปรแกรมจะเรียกว่า Block Diagram เปรียบเสมือนกับ Hardware ภายในเครื่องมือวัด โดย LabVIEW จะเขียนโปรแกรมโดยอาศัยรูปภาพ

LabVIEW อาศัยหลักการการทำงานของเครื่องมือวัด หรือการวัดคุม ทำให้ผู้ใช้สามารถออกแบบรูปแบบโปรแกรมตามที่ต้องการ หลักการดังกล่าวแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆคือ

1. Acquisition ซึ่งเป็นส่วนที่รับข้อมูล (Input) จากสิ่งแวดล้อมภายนอกเข้าสู่ระบบ ในที่นี้คือคอมพิวเตอร์ โดยข้อมูลที่เข้าสู่ระบบนี้อาจจะมาจาก การ์ดDAQ(สำหรับสัญญาณทางไฟฟ้า), การ์ดIMAQ(สำหรับข้อมูลประเภทรูป) หรือ GPIB(สำหรับควบคุมเครื่องมือวัด)
2. Analysis หลังจากที่ได้รับข้อมูลแล้ว อาจจะผ่านฟังก์ชันการทำ Analysis หรือวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งจะแสดงผลในรูปที่สื่อความหมายในสิ่งที่ผู้ใช้งานสามารถนำไปแสดงแทนสื่อที่วัดได้และใช้งานได้

3. Presentation คือการแสดงผลในรูปแบบที่เป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้งาน โดยอาจแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ทั้งในรูปแบบสัญญาณที่วัดได้โดยไม่จำเป็นต้องรู้ความสัมพันธ์กับเวลาหรือสัมพันธ์กับเวลาก็ได้ จะสามารถแสดงสัญญาณในรูปแบบความถี่หรือการพิมพ์ออกมาเป็นรายงานหรือการเก็บข้อมูลในฮาร์ดดิสก์

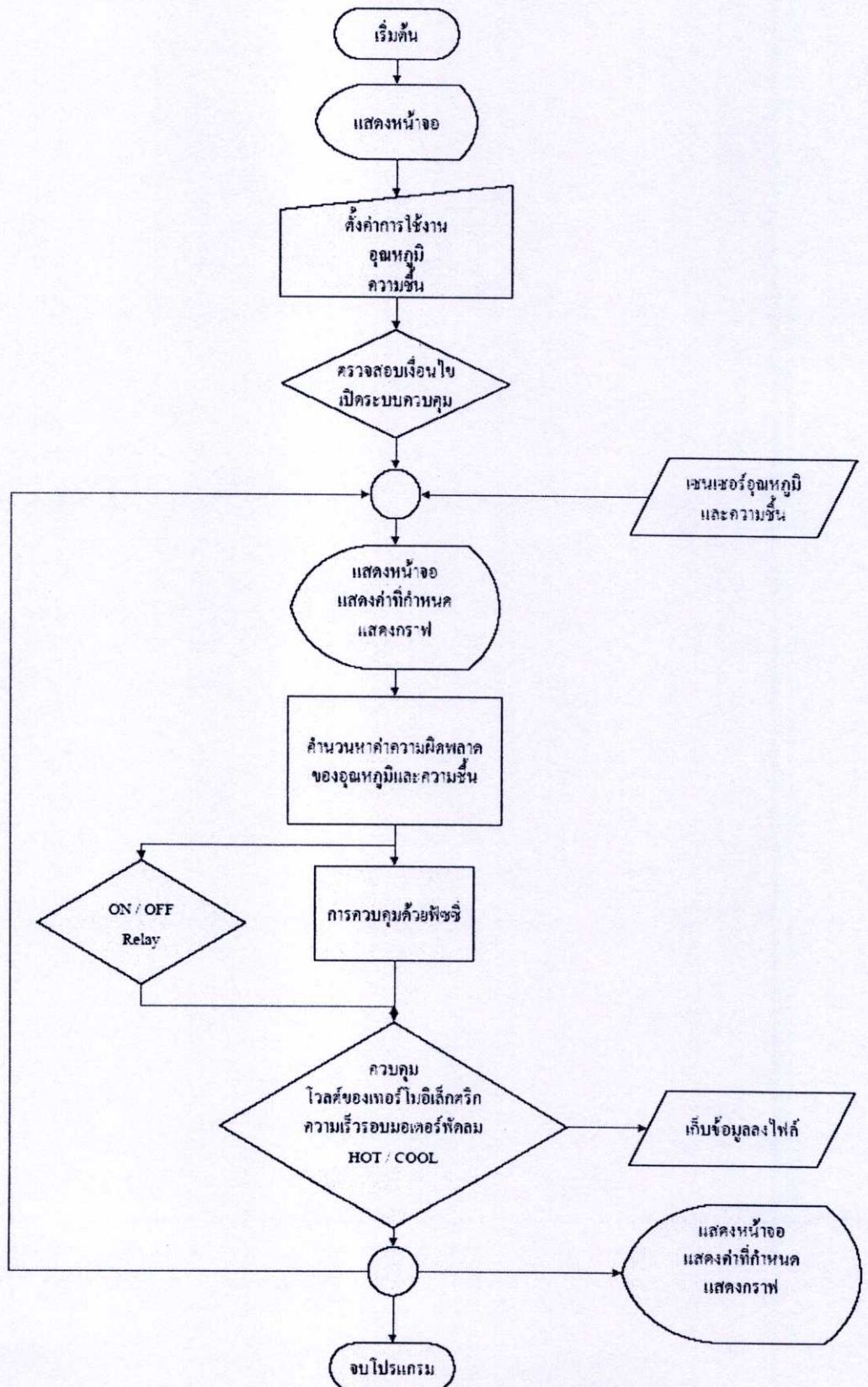
ในงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นโดยใช้โปรแกรม LabVIEW 8.0 ซึ่งข้อดีของโปรแกรมสามารถที่จะออกแบบกราฟหรือรูปภาพต่างๆ ได้สะดวกในการออกแบบ และยังสามารถติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกได้สะดวก การทำงานในการเขียนโปรแกรมแบ่งออกเป็นสามส่วนสำคัญอยู่ 3 ส่วน ส่วนแรกเป็นลักษณะการแสดงผลแบบกราฟรูปภาพ ส่วนที่สองเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุม ส่วนที่สามเป็นการควบคุมอุปกรณ์อินพุทและเอาพุท



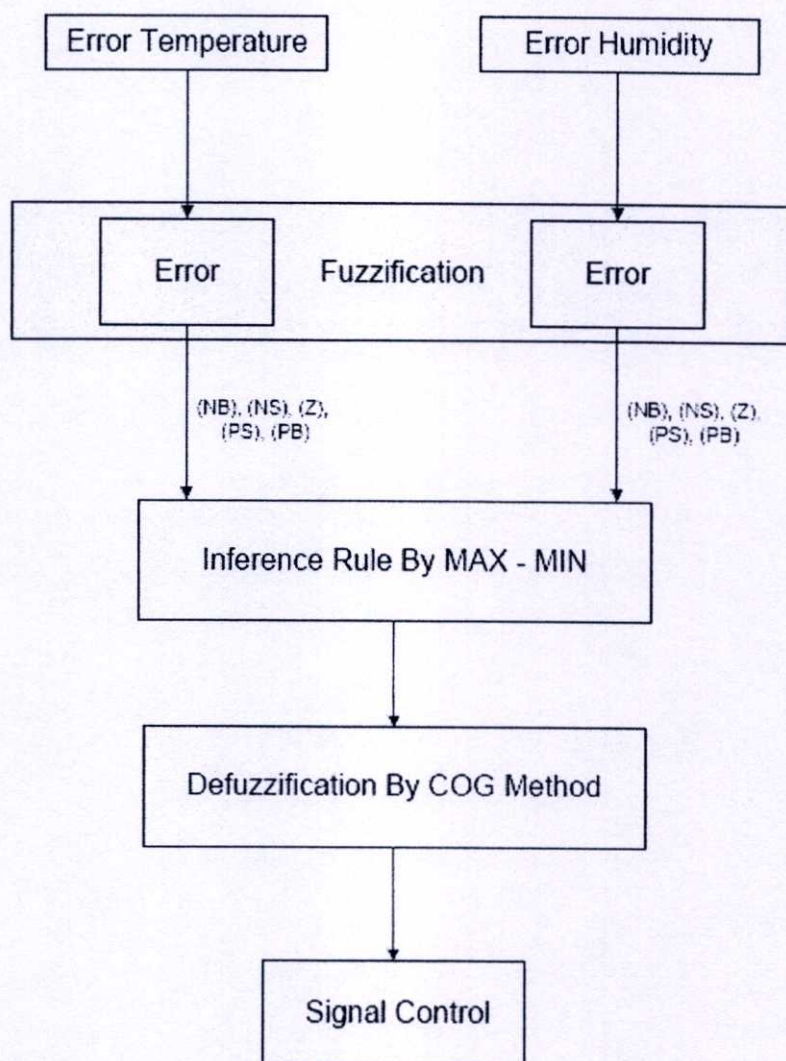
รูปที่ 6.1 โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุม

จากรูปที่ 6.1 เป็นโปรแกรมหน้าหลัก ที่ใช้ในการแสดงผลของการทำงานในการควบคุมระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น โดยใช้พีซีซีลอจิกในการควบคุม การทำงานได้แบ่งหน้าต่างออกเป็น 5 เฟรม คือ เฟรมกราฟแสดงผลของอุณหภูมิ เฟรมกราฟแสดงผลของความชื้น เฟรมแสดงค่าที่กำหนด เฟรมแสดงค่าสถานะในการทำงาน เฟรมแสดงค่าการควบคุมอุปกรณ์

## 6.2 โครงสร้างการเขียนโปรแกรมการควบคุมระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น



## 6.3 โครงสร้างการเขียนโปรแกรมการควบคุมด้วยฟัซซี่ลอจิก



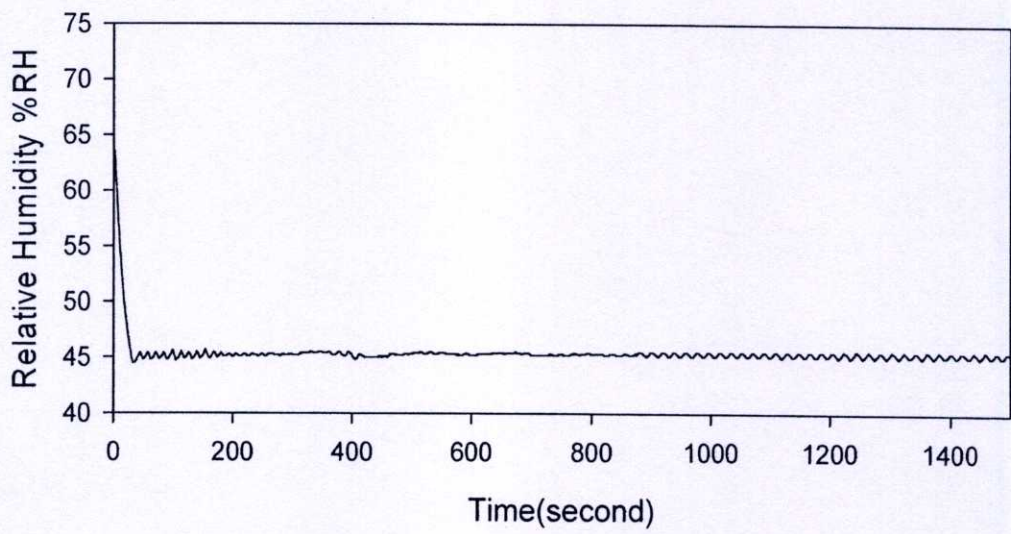
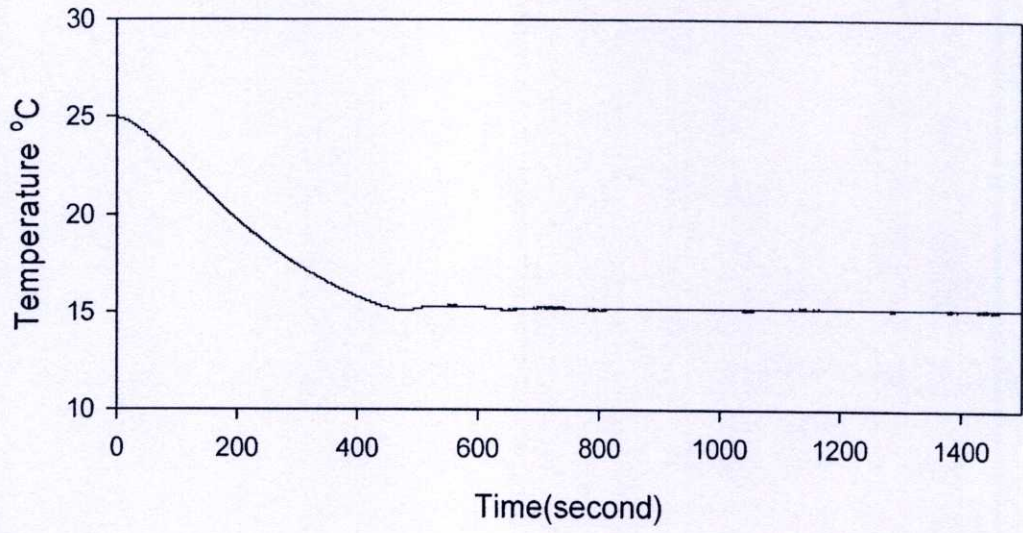
## บทที่ 7

### ผลการทดลอง

#### 7.1 เงื่อนไขในการทดลอง

1. เลือกช่วงอุณหภูมิและความชื้นในการทดลองโดยเลือกช่วงอุณหภูมิให้กับระบบอยู่ระหว่าง 15 - 30 องศาเซลเซียส ซึ่งอยู่ในช่วงการทำงานที่เหมาะสมของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ส่วนช่วงความชื้นเลือกที่ 45 - 60 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นช่วงในการทำงานที่เหมาะสมของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เช่นกัน
2. ควบคุมอุณหภูมิบรรยากาศที่ 25 องศาเซลเซียส
3. ในการทดลองเลือกใช้ภาระความร้อนสัมพัทธ์ที่ 50 Watt
4. ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ตามสภาวะที่กำหนด
5. นำผลที่ได้จากการทดลองมาแสดงในรูปกราฟทั้งอุณหภูมิและความร้อน
6. ในการทดลองทำการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้นในช่วงต่างๆเพื่อหาสมรรถนะและประสิทธิภาพของการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของกล่องควบคุมที่อยู่นอกช่วงอุณหภูมิและความชื้นใช้งาน

## 7.2 ผลการทดลอง

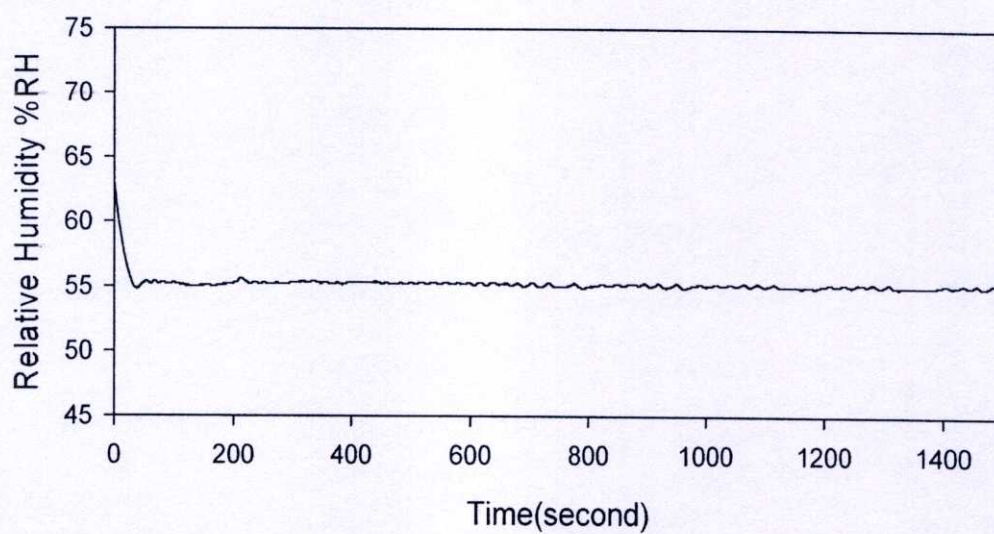
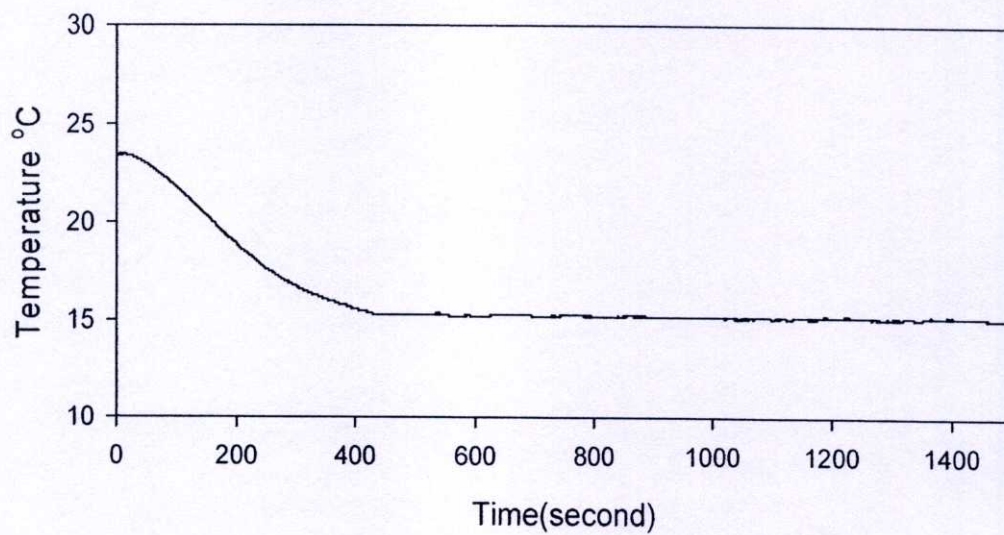


รูปที่ 7.1 ผลการควบคุมอุณหภูมิที่ 15 °C และความชื้นที่ 45 %RH

จากรูปที่ 7.1 แสดงผลการควบคุมของอุณหภูมิและความชื้นที่  $15^{\circ}\text{C}$  และความชื้น  $45\% \text{RH}$  โดยมีการตอบสนองอุณหภูมิเข้าใกล้ค่าที่กำหนดอยู่ในช่วงประมาณ 490 วินาที มีค่าอุณหภูมิที่ได้ประมาณ  $15.2^{\circ}\text{C}$  ผลต่างอุณหภูมิ  $0.2^{\circ}\text{C}$  และผลการตอบสนองความชื้นเข้าใกล้ค่าที่กำหนดอยู่ในช่วงประมาณ 31 วินาที มีความชื้นที่ได้ประมาณ  $45.2\% \text{RH}$  ผลต่างความชื้น  $0.2\% \text{RH}$

จากรูปจะเห็นว่า การเข้าสู่สภาวะคงตัวของอุณหภูมิช้ากว่าความชื้นค่อนข้างมาก การตอบสนองต่างกันประมาณ 459 วินาที สาเหตุเกิดจากในระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น มีการจำลองความร้อนสัมผัสแทนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ 50 วัตต์ และภาระความร้อนสัมผัสจากภายนอกของกล่องควบคุมทั้ง 6 ด้าน ซึ่งกล่องควบคุมเป็นระบบปิด จึงมีผลทำให้การเข้าสู่สภาวะคงตัวของความชื้นเร็วกว่าเนื่องจากภายในระบบควบคุมไม่มีอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดความชื้น และมีความชื้นจากภายนอกเข้ามาในระบบน้อยมาก

ในช่วงการเข้าสู่สภาวะคงตัวของความชื้นมีการพุ่งเกินประมาณ  $0.5\% \text{RH}$  เนื่องจากการควบคุมอัตราการไหลของอากาศผ่านซิลิกาเจลโดยใช้พัดลมในการควบคุมไม่สามารถที่จะหยุดการทำงานของพัดลมได้ทันทีเพราะใบพัดของพัดลมจะมีความเฉื่อยเนื่องจากน้ำหนักของตัวมันเอง ทำให้ขณะที่โปรแกรมสั่งหยุดการทำงานของอุปกรณ์พัดลม จะยังมีการทำงานต่อไปเนื่องจากความเฉื่อยของใบพัดในระยะหนึ่งเป็นผลทำให้เกิดการพุ่งเกินของความชื้น

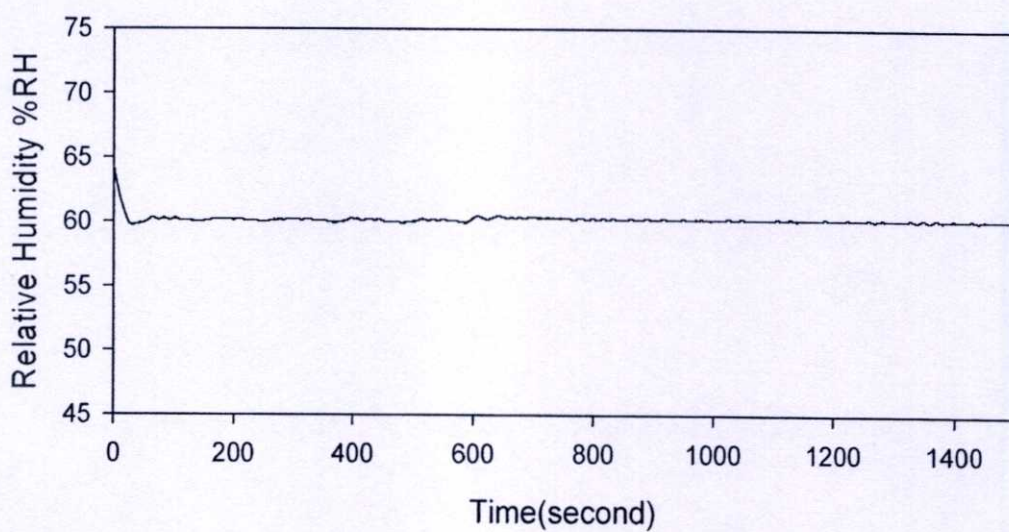
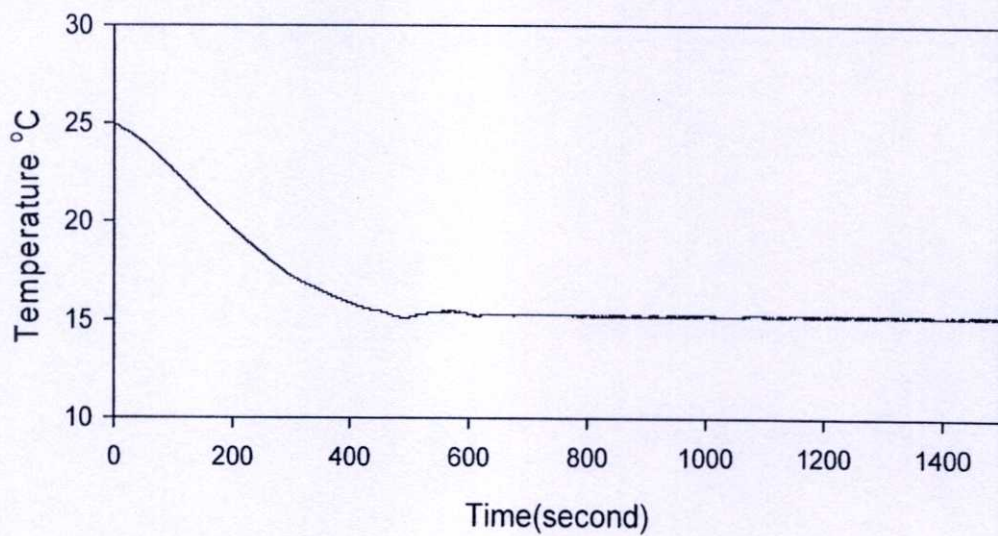


รูปที่ 7.2 ผลการควบคุมอุณหภูมิที่ 15 °C และความชื้นที่ 55 %RH

จากรูปที่ 7.2 แสดงผลการควบคุมของอุณหภูมิและความชื้นที่  $15^{\circ}\text{C}$  และความชื้น  $55\% \text{RH}$  โดยมีการตอบสนองอุณหภูมิเข้าใกล้ค่าที่กำหนดอยู่ในช่วงประมาณ 465 วินาที มีค่าอุณหภูมิที่ได้ประมาณ  $15.1^{\circ}\text{C}$  ผลต่างอุณหภูมิ  $0.1^{\circ}\text{C}$  และผลการตอบสนองความชื้นเข้าใกล้ค่าที่กำหนดอยู่ในช่วงประมาณ 27 วินาที มีความชื้นที่ได้ประมาณ  $55.1\% \text{RH}$  ผลต่างความชื้น  $0.1\% \text{RH}$

จากรูปจะเห็นว่า การเข้าสู่สภาวะคงตัวของอุณหภูมิช้ากว่าความชื้นค่อนข้างมากเช่นกัน กับรูปที่ 7.1 การตอบสนองต่างกันประมาณ 438 วินาที สาเหตุเกิดจากในระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น มีการจำลองความร้อนสัมผัสแทนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ 50 วัตต์ และภาระความร้อนสัมผัสจากภายนอกของกล่องควบคุมทั้ง 6 ด้าน ซึ่งกล่องควบคุมเป็นระบบปิด จึงมีผลทำให้การเข้าสู่สภาวะคงตัวของความชื้นเร็วกว่าเนื่องจากภายในระบบควบคุมไม่มีอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดความชื้นและมีความชื้นจากภายนอกเข้ามาในระบบน้อยมาก

ในช่วงการเข้าสู่สภาวะคงตัวของความชื้นมีการพุ่งเกินประมาณ  $0.4\% \text{RH}$  เนื่องจากการควบคุมอัตราการไหลของอากาศผ่านซิลิกาเจลโดยใช้พัดลมในการควบคุมไม่สามารถที่จะหยุดการทำงานของพัดลมได้ทันทีเพราะ ใบพัดของพัดลมจะมีความเฉื่อยเนื่องจากน้ำหนักของตัวเอง ทำให้ขณะที่โปรแกรมสั่งหยุดการทำงานของอุปกรณ์พัดลม จะยังมีการทำงานต่อไปเนื่องจากความเฉื่อยของใบพัดในระยะหนึ่งเป็นผลทำให้เกิดการพุ่งเกินของความชื้น

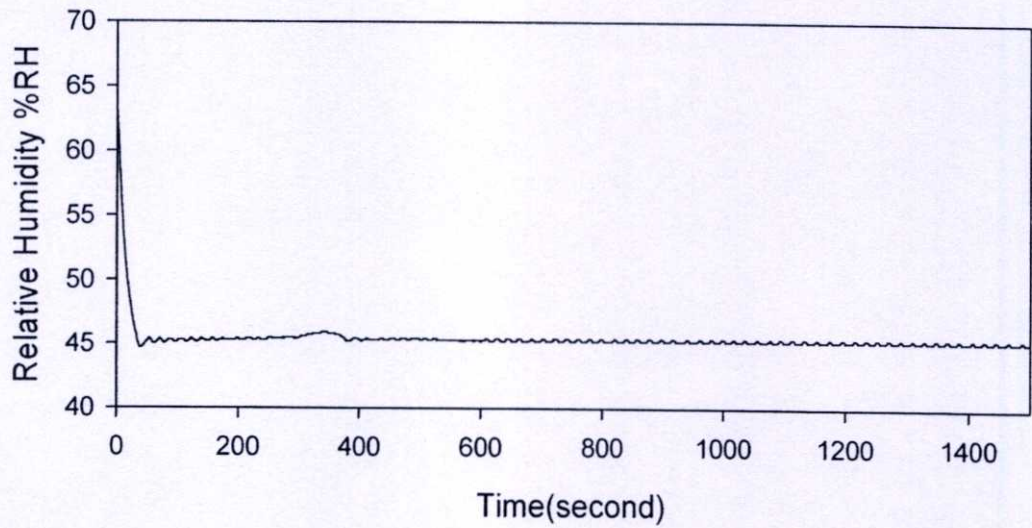
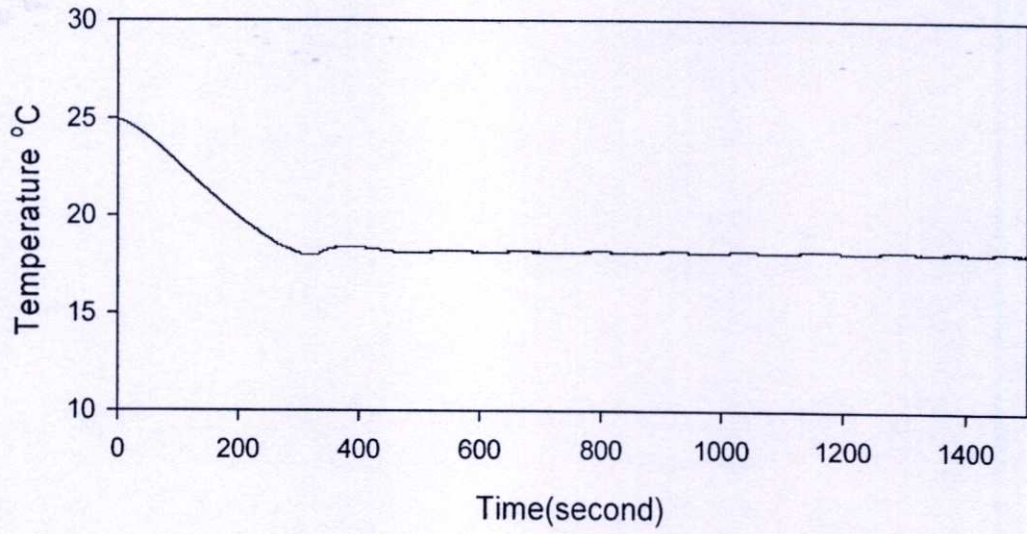


รูปที่ 7.3 ผลการควบคุมอุณหภูมิที่ 15 °C และความชื้นที่ 60 %RH

จากรูปที่ 7.3 แสดงผลการควบคุมของอุณหภูมิและความชื้นที่  $15^{\circ}\text{C}$  และความชื้น  $60\% \text{RH}$  โดยมีการตอบสนองของอุณหภูมิเข้าใกล้ค่าที่กำหนดอยู่ในช่วงประมาณ 460 วินาที มีค่าอุณหภูมิที่ได้ประมาณ  $15.2^{\circ}\text{C}$  ผลต่างอุณหภูมิ  $0.2^{\circ}\text{C}$  และผลการตอบสนองของความชื้นเข้าใกล้ค่าที่กำหนดอยู่ในช่วงประมาณ 28 วินาที มีความชื้นที่ได้ประมาณ  $60.2\% \text{RH}$  ผลต่างความชื้น  $0.2\% \text{RH}$

จากรูปจะเห็นว่า การลู่เข้าสู่สภาวะคงตัวของอุณหภูมิช้ากว่าความชื้นค่อนข้างมาก การตอบสนองต่างกันประมาณ 459 วินาที สาเหตุเกิดจากในระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น มีการจำลองความร้อนสัมผัสแทนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ 50 วัตต์ และภาวะความร้อนสัมผัสจากภายนอกของกล่องควบคุมทั้ง 6 ด้าน ซึ่งกล่องควบคุมเป็นระบบปิด จึงมีผลทำให้การลู่เข้าสู่สภาวะคงตัวของความชื้นเร็วกว่าเนื่องจากภายในระบบควบคุมไม่มีอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดความชื้น และมีความชื้นจากภายนอกเข้ามาในระบบน้อยมาก

ในช่วงการลู่เข้าสู่สภาวะคงตัวของความชื้นมีการพุ่งเกินประมาณ  $0.4\% \text{RH}$  เนื่องจากการควบคุมอัตราการไหลของอากาศผ่านซิลิกาเจล โดยใช้พัดลมในการควบคุมไม่สามารถที่จะหยุดการทำงานของพัดลมได้ทันทีเพราะใบพัดของพัดลมจะมีความเฉื่อยเนื่องจากน้ำหนักของตัวมันเอง ทำให้ขณะที่โปรแกรมสั่งหยุดการทำงานของอุปกรณ์พัดลม จะยังมีการทำงานต่อไปเนื่องจากความเฉื่อยของใบพัดในระยะหนึ่งเป็นผลทำให้เกิดการพุ่งเกินของความชื้น



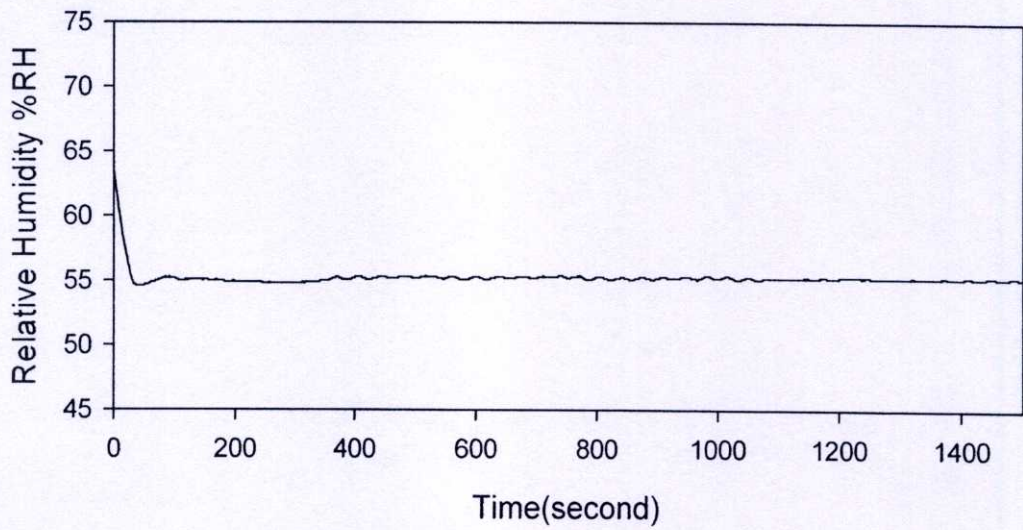
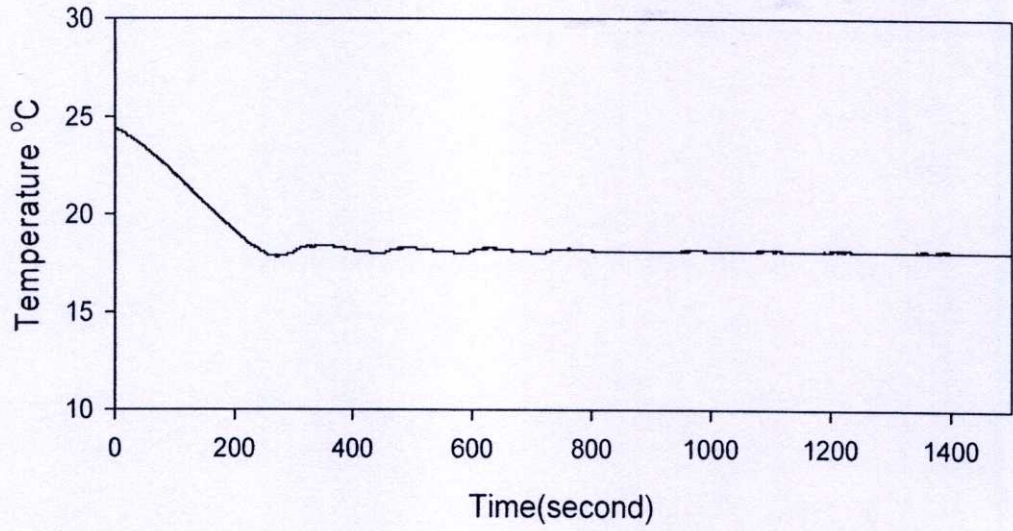
รูปที่ 7.4 ผลการควบคุมอุณหภูมิที่ 18 °C และความชื้นที่ 45 %RH

จากรูปที่ 7.4 แสดงผลการควบคุมของอุณหภูมิและความชื้นที่  $18^{\circ}\text{C}$  และความชื้น  $45\% \text{RH}$  โดยมีการตอบสนองอุณหภูมิเข้าใกล้ค่าที่กำหนดอยู่ในช่วงประมาณ 350 วินาที มีค่าอุณหภูมิที่ได้ประมาณ  $18.1^{\circ}\text{C}$  ผลต่างอุณหภูมิ  $0.1^{\circ}\text{C}$  และผลการตอบสนองความชื้นเข้าใกล้ค่าที่กำหนดอยู่ในช่วงประมาณ 20 วินาที มีความชื้นที่ได้ประมาณ  $45.2\% \text{RH}$  ผลต่างความชื้น  $0.2\% \text{RH}$

จากรูปจะเห็นว่า การลู่เข้าสู่สภาวะคงตัวของอุณหภูมิช้ากว่าความชื้นค่อนข้างมาก การตอบสนองต่างกันประมาณ 330 วินาที สาเหตุเกิดจากในระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น มีการจำลองความร้อนสัมผัสแทนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ 50 วัตต์ และการกระจายความร้อนสัมผัสจากภายนอกของกล่องควบคุมทั้ง 6 ด้าน ซึ่งกล่องควบคุมเป็นระบบปิด จึงมีผลทำให้การลู่เข้าสู่สภาวะคงตัวของความชื้นเร็วกว่าเนื่องจากภายในระบบควบคุมไม่มีอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดความชื้น และมีความชื้นจากภายนอกเข้ามาในระบบน้อยมาก

ในช่วงการลู่เข้าสู่สภาวะคงตัวของอุณหภูมิที่ ประมาณ 350 วินาที มีการพุ่งเกินประมาณ  $0.2^{\circ}\text{C}$  และ มีการแกว่งของค่าอุณหภูมิอยู่ที่  $0.05^{\circ}\text{C}$  ตลอดการทดลอง เนื่องจากระบบมีช่วงเวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัวที่เร็วกว่า รูปที่ 7.1 – 7.3 เป็นผลให้เมื่อโปรแกรมควบคุมสั่งให้อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกหยุดการทำงานจากการทำความเย็นเปลี่ยนเป็นการทำความร้อนให้กับระบบควบคุม จะยังมีความเย็นสะสมเกิดขึ้นที่ฮีทซิงค์ จึงเหมือนกับว่าระบบยังทำความเย็นต่อไปอีกระยะหนึ่งจนความเย็นสะสมที่ฮีทซิงค์ถูกระบายออกสู่ภายนอกกล่องควบคุมจนหมดจึงเป็นการเริ่มทำความร้อนให้กับระบบควบคุมต่อไปจนเข้าสู่สภาวะคงตัว

ในช่วงการลู่เข้าสู่สภาวะคงตัวของความชื้นมีการพุ่งเกินประมาณ  $0.3\% \text{RH}$  เนื่องจากการควบคุมอัตราการไหลของอากาศผ่านซิลิกาเจลโดยใช้พัดลมในการควบคุมไม่สามารถที่จะหยุดการทำงานของพัดลมได้ทันทีเพราะใบพัดของพัดลมจะมีความเฉื่อยเนื่องจากน้ำหนักของตัวเอง ทำให้ขณะที่โปรแกรมสั่งหยุดการทำงานของอุปกรณ์พัดลม จะยังมีการทำงานต่อไปเนื่องจากความเฉื่อยของใบพัดในระยะหนึ่งเป็นผลทำให้เกิดการพุ่งเกินของความชื้นเช่นกัน



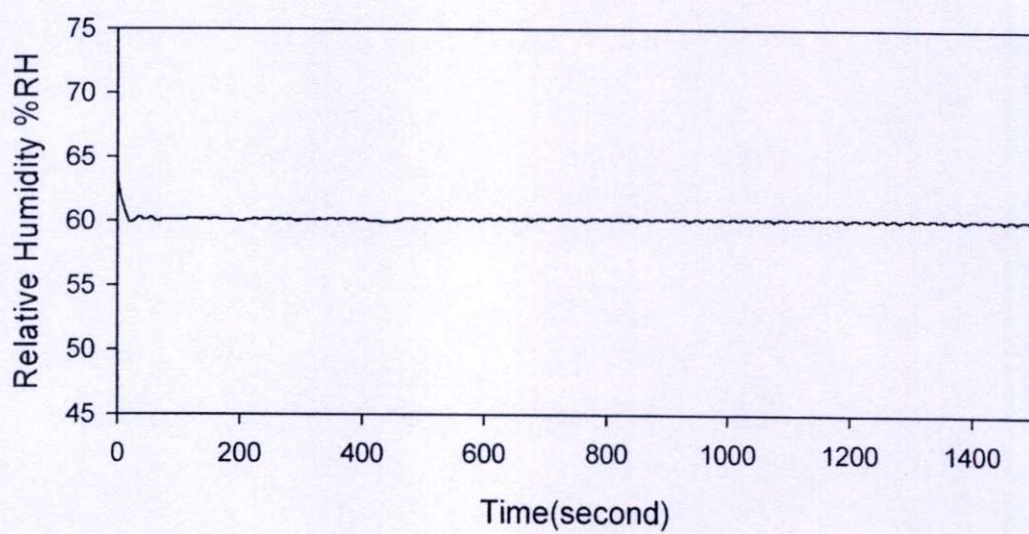
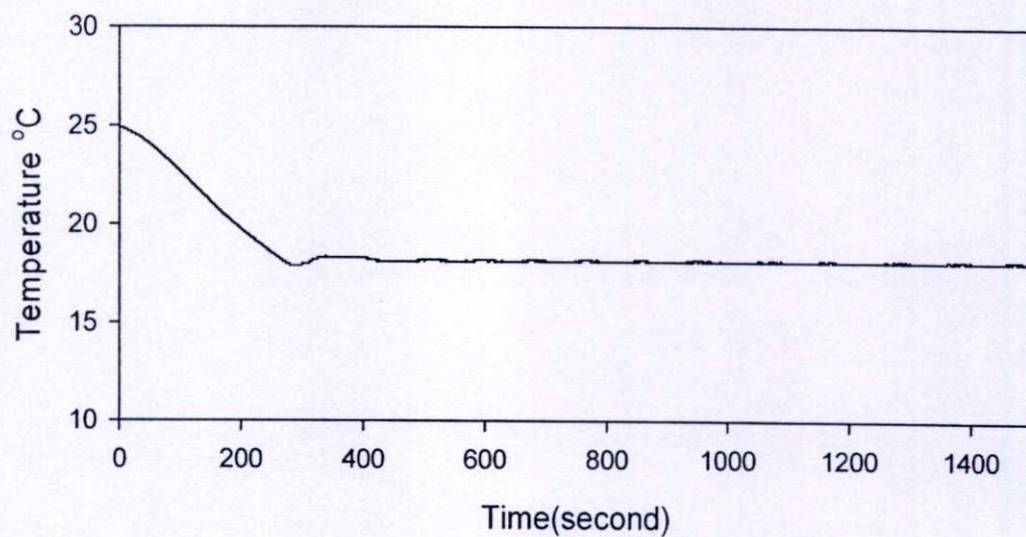
รูปที่ 7.5 ผลการควบคุมอุณหภูมิที่ 18 °C และความชื้นที่ 55 %RH

จากรูปที่ 7.5 แสดงผลการควบคุมของอุณหภูมิและความชื้นที่  $18^{\circ}\text{C}$  และความชื้น  $55\% \text{RH}$  โดยมีการตอบสนองของอุณหภูมิเข้าใกล้ค่าที่กำหนดอยู่ในช่วงประมาณ 330 วินาที มีค่าอุณหภูมิที่ได้ประมาณ  $18.1^{\circ}\text{C}$  ผลต่างอุณหภูมิ  $0.1^{\circ}\text{C}$  และผลการตอบสนองความชื้นเข้าใกล้ค่าที่กำหนดอยู่ในช่วงประมาณ 24 วินาที มีความชื้นที่ได้ประมาณ  $55.2\% \text{RH}$  ผลต่างความชื้น  $0.2\% \text{RH}$

จากรูปจะเห็นว่า การลู่เข้าสู่สภาวะคงตัวของอุณหภูมิช้ากว่าความชื้นค่อนข้างมาก การตอบสนองต่างกันประมาณ 306 วินาที สาเหตุเกิดจากในระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น มีการจำลองความร้อนสัมผัสแทนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ 50 วัตต์ และภาระความร้อนสัมผัสจากภายนอกของกล่องควบคุมทั้ง 6 ด้าน ซึ่งกล่องควบคุมเป็นระบบปิด จึงมีผลทำให้การลู่เข้าสู่สภาวะคงตัวของความชื้นเร็วกว่าเนื่องจากภายในระบบควบคุมไม่มีอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดความชื้น และมีความชื้นจากภายนอกเข้ามาในระบบน้อยมาก

ในช่วงการลู่เข้าสู่สภาวะคงตัวของอุณหภูมิที่ ประมาณ 330 วินาที มีลักษณะคล้ายกับรูปที่ 7.4 คือมีการพุ่งเกินอยู่ที่  $0.1^{\circ}\text{C}$  และ มีการแกว่งของค่าอุณหภูมิที่  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$  เนื่องจากระบบมีช่วงเวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัวที่เร็วกว่า รูปที่ 7.1 – 7.3 เป็นผลให้เมื่อโปรแกรมควบคุมสั่งให้อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์หยุดการทำงานจากการทำความเย็นเปลี่ยนเป็นการทำความร้อนให้กับระบบควบคุม จะยังมีความเย็นสะสมเกิดขึ้นที่ฮีทซิงค์ จึงเหมือนกับว่าระบบยังทำความเย็นต่อไปอีกระยะหนึ่งจนความเย็นสะสมที่ฮีทซิงค์ถูกระบายออกสู่ภายนอกกล่องควบคุมจนหมดจึงเป็นการเริ่มทำความร้อนให้กับระบบควบคุมต่อไปจนเข้าสู่สภาวะคงตัว

ในช่วงการลู่เข้าสู่สภาวะคงตัวของความชื้นมีการพุ่งเกินประมาณ  $0.4\% \text{RH}$  เนื่องจากการควบคุมอัตราการไหลของอากาศผ่านซิลิก้าเจลโดยใช้พัดลมในการควบคุมไม่สามารถที่จะหยุดการทำงานของพัดลมได้ทันทีเพราะใบพัดของพัดลมจะมีความเฉื่อยเนื่องจากน้ำหนักของตัวเอง ทำให้ขณะที่โปรแกรมสั่งหยุดการทำงานของอุปกรณ์พัดลม จะยังมีการทำงานต่อไปเนื่องจากความเฉื่อยของใบพัดในระยะหนึ่งเป็นผลทำให้เกิดการพุ่งเกินของความชื้นเช่นกัน



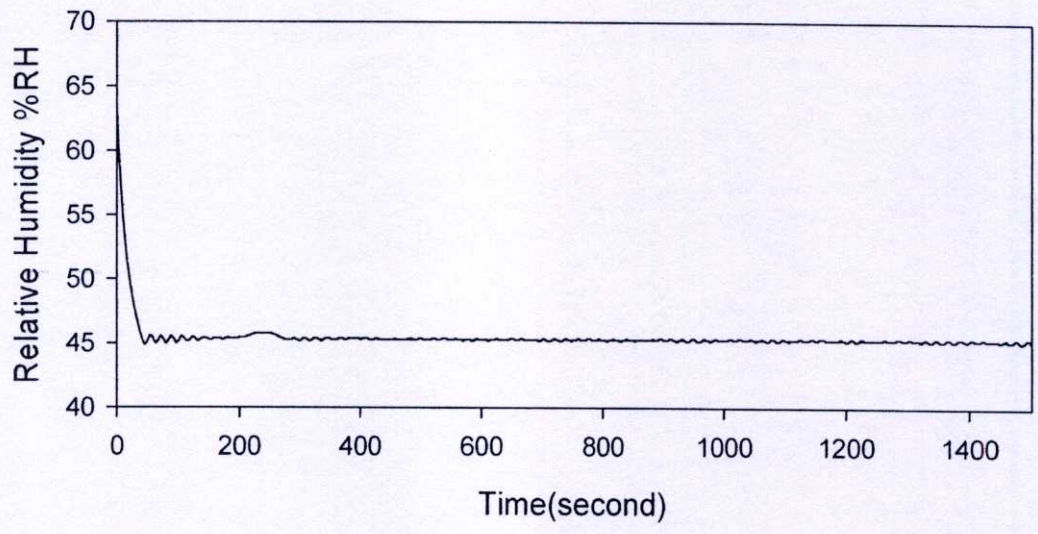
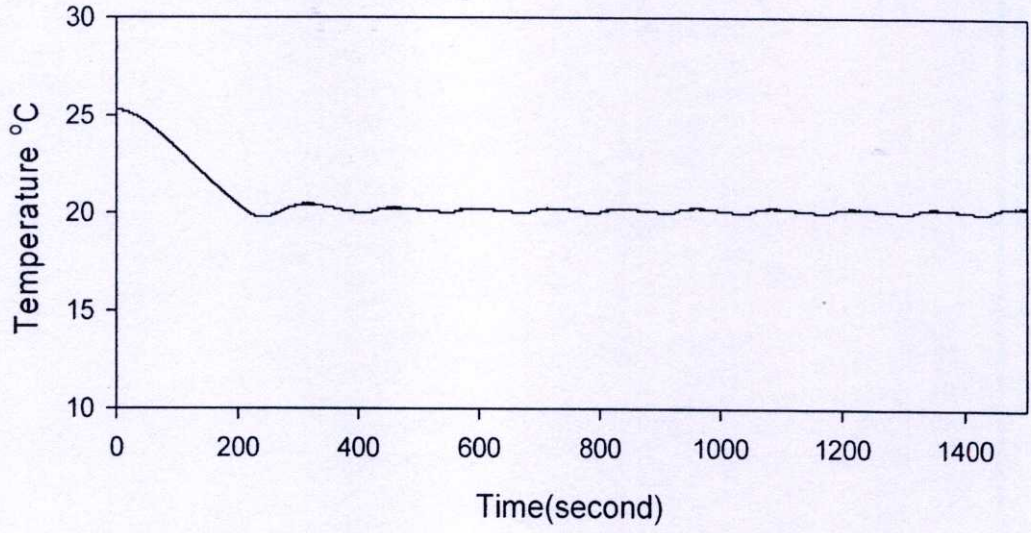
รูปที่ 7.6 ผลการควบคุมอุณหภูมิที่ 18 °C และความชื้นที่ 60 %RH

จากรูปที่ 7.6 แสดงผลการควบคุมของอุณหภูมิและความชื้นที่  $18^{\circ}\text{C}$  และความชื้น  $60\% \text{RH}$  โดยมีการตอบสนองของอุณหภูมิเข้าใกล้ค่าที่กำหนดอยู่ในช่วงประมาณ 325 วินาที มีค่าอุณหภูมิที่ได้ประมาณ  $18.1^{\circ}\text{C}$  ผลต่างอุณหภูมิ  $0.1^{\circ}\text{C}$  และผลการตอบสนองของความชื้นเข้าใกล้ค่าที่กำหนดอยู่ในช่วงประมาณ 18 วินาที มีความชื้นที่ได้ประมาณ  $60.0\% \text{RH}$  ผลต่างความชื้น  $0.0\% \text{RH}$

จากรูปจะเห็นว่า การลู่เข้าสู่สภาวะคงตัวของอุณหภูมิช้ากว่าความชื้นค่อนข้างมาก การตอบสนองต่างกันประมาณ 307 วินาที สาเหตุเกิดจากในระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น มีการจำลองความร้อนสัมผัสแทนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ 50 วัตต์ และภาวะความร้อนสัมผัสจากภายนอกของกล่องควบคุมทั้ง 6 ด้าน ซึ่งกล่องควบคุมเป็นระบบปิด จึงมีผลทำให้การลู่เข้าสู่สภาวะคงตัวของความชื้นเร็วกว่าเนื่องจากภายในระบบควบคุมไม่มีอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดความชื้น และมีความชื้นจากภายนอกเข้ามาในระบบน้อยมาก

ในช่วงการลู่เข้าสู่สภาวะคงตัวของอุณหภูมิที่ ประมาณ 325 วินาที มีลักษณะคล้ายกับรูปที่ 7.4 และ รูปที่ 7.5 คือมีการพุ่งเกิน  $0.1^{\circ}\text{C}$  และ มีการแกว่งของค่าอุณหภูมิที่  $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$  เนื่องจากระบบมีช่วงเวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัวที่เร็วกว่า รูปที่ 7.1 ถึงรูปที่ 7.3 เป็นผลให้เมื่อโปรแกรมควบคุมสั่งให้อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกหยุดการทำงานจากการทำความเย็นเปลี่ยนเป็นการทำความร้อนให้กับระบบควบคุม จะยังมีความเย็นสะสมเกิดขึ้นที่ฮีทซิงค์ จึงเหมือนกับว่าระบบยังทำความเย็นต่อไปอีกระยะหนึ่งจนความเย็นสะสมที่ฮีทซิงค์ถูกระบายออกสู่ภายนอกกล่องควบคุมจนหมดจึงเป็นการเริ่มทำความร้อนให้กับระบบควบคุมต่อไปจนเข้าสู่สภาวะคงตัว

ในช่วงการลู่เข้าสู่สภาวะคงตัวของความชื้นมีการพุ่งเกินน้อยมาก ประมาณ  $0.1\% \text{RH}$  เนื่องจากการควบคุมอัตราการไหลของอากาศผ่านซิลิกาเจลโดยใช้พัดลมในการควบคุมไม่สามารถที่จะหยุดการทำงานของพัดลมได้ทันทีเพราะใบพัดของพัดลมจะมีความเฉื่อยเนื่องจากน้ำหนักของตัวมันเอง ทำให้ขณะที่โปรแกรมสั่งหยุดการทำงานของอุปกรณ์พัดลม จะยังมีการทำงานต่อไปเนื่องจากความเฉื่อยของใบพัดในระยะหนึ่งเป็นผลทำให้เกิดการพุ่งเกินของความชื้นเช่นกัน



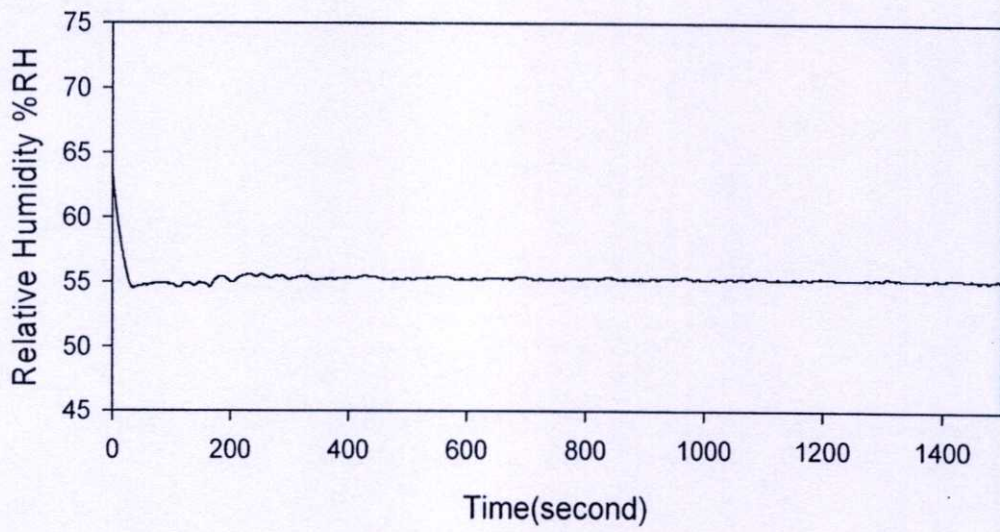
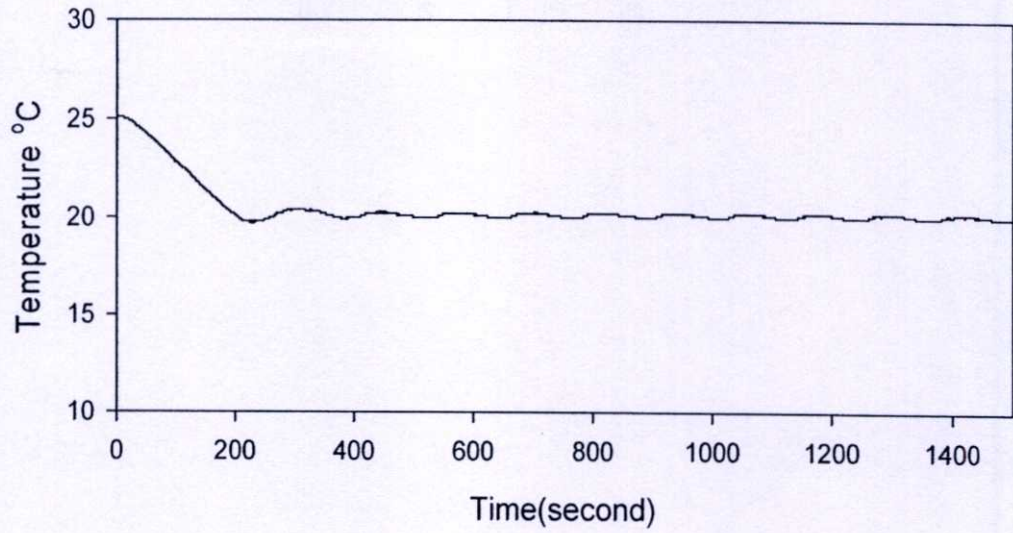
รูปที่ 7.7 ผลการควบคุมอุณหภูมิที่ 20 °C และความชื้นที่ 45 %RH

จากรูปที่ 7.7 แสดงผลการควบคุมของอุณหภูมิและความชื้นที่  $20^{\circ}\text{C}$  และความชื้น 45 %RH โดยมีการตอบสนองของอุณหภูมิเข้าใกล้ค่าที่กำหนดอยู่ในช่วงประมาณ 240 วินาที มีค่าอุณหภูมิที่ได้ประมาณ  $20.1^{\circ}\text{C}$  ผลต่างอุณหภูมิ  $0.1^{\circ}\text{C}$  และผลการตอบสนองความชื้นเข้าใกล้ค่าที่กำหนดอยู่ในช่วงประมาณ 35 วินาที มีความชื้นที่ได้ประมาณ 45.2 %RH ผลต่างความชื้น 0.2 %RH

จากรูปจะเห็นว่า การเข้าสู่สภาวะคงตัวของอุณหภูมิช้ากว่าความชื้นค่อนข้างมาก การตอบสนองต่างกันประมาณ 205 วินาที สาเหตุเกิดจากในระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น มีการจำลองความร้อนสัมผัสแทนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ 50 วัตต์ และภาวะความร้อนสัมผัสจากภายนอกของกล่องควบคุมทั้ง 6 ด้าน ซึ่งกล่องควบคุมเป็นระบบปิด จึงมีผลทำให้การเข้าสู่สภาวะคงตัวของความชื้นเร็วกว่าเนื่องจากภายในระบบควบคุมไม่มีอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดความชื้น และมีความชื้นจากภายนอกเข้ามาในระบบน้อยมาก

ในช่วงการเข้าสู่สภาวะคงตัวของอุณหภูมิที่ ประมาณ 240 วินาที มีลักษณะคล้ายกับรูปที่ 7.4 ถึง รูปที่ 7.6 คือมีการพุ่งเกินที่  $0.1^{\circ}\text{C}$  และ มีการแกว่งของค่าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตลอดผลการทดลองอยู่ที่  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$  เนื่องจากระบบมีช่วงเวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัวที่เร็วกว่า รูปที่ 7.1 ถึงรูปที่ 7.6 เป็นผลให้เมื่อโปรแกรมควบคุมสั่งให้อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกหยุดการทำงานจากการทำความเย็นเปลี่ยนเป็นการทำความร้อนให้กับระบบควบคุม จะยังมีความเย็นสะสมเกิดขึ้นที่ฮีทซิงค์ จึงเหมือนกับว่าระบบยังทำความเย็นต่อไปอีกระยะหนึ่งจนความเย็นสะสมที่ฮีทซิงค์ระบายออกสู่ภายนอกกล่องควบคุมจนหมดจึงเป็นการเริ่มทำความร้อนให้กับระบบควบคุมต่อไปจนเข้าสู่สภาวะคงตัว

ในช่วงการเข้าสู่สภาวะคงตัวของความชื้นมีการพุ่งเกินน้อยมาก ประมาณ 0.2 %RH แต่มีการแกว่งของความชื้นในช่วงเริ่มต้น เนื่องจากการควบคุมอัตราการไหลของอากาศผ่านซิลิกาเจลโดยใช้พัดลมในการควบคุมไม่สามารถที่จะหยุดการทำงานของพัดลมได้ทันทีเพราะใบพัดของพัดลมจะมีความเฉื่อยเนื่องจากน้ำหนักของตัวมันเอง ทำให้ขณะที่โปรแกรมสั่งหยุดการทำงานของอุปกรณ์พัดลม จะยังมีการทำงานต่อไปเนื่องจากความเฉื่อยของใบพัดในระยะหนึ่งเป็นผลทำให้เกิดการพุ่งเกินของความชื้นเช่นกัน



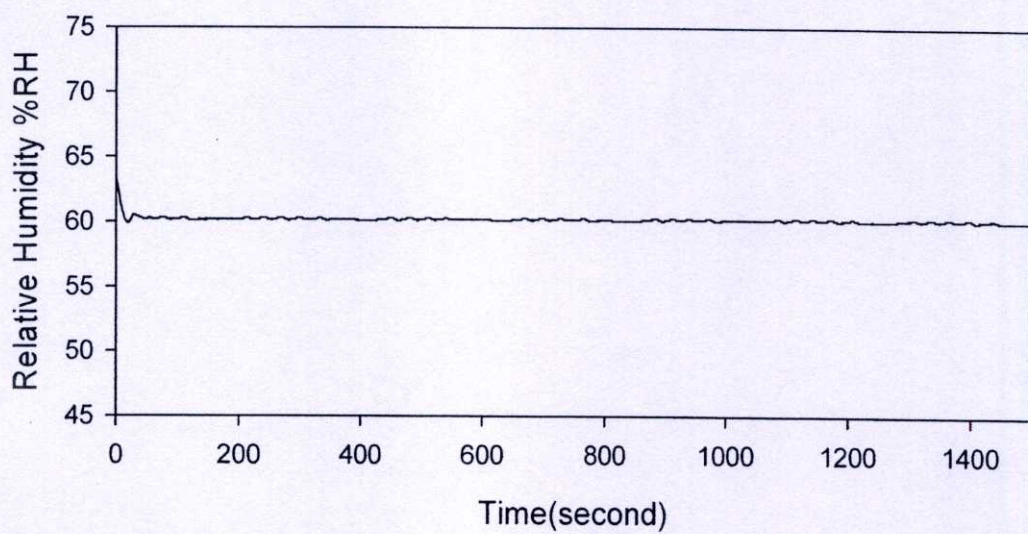
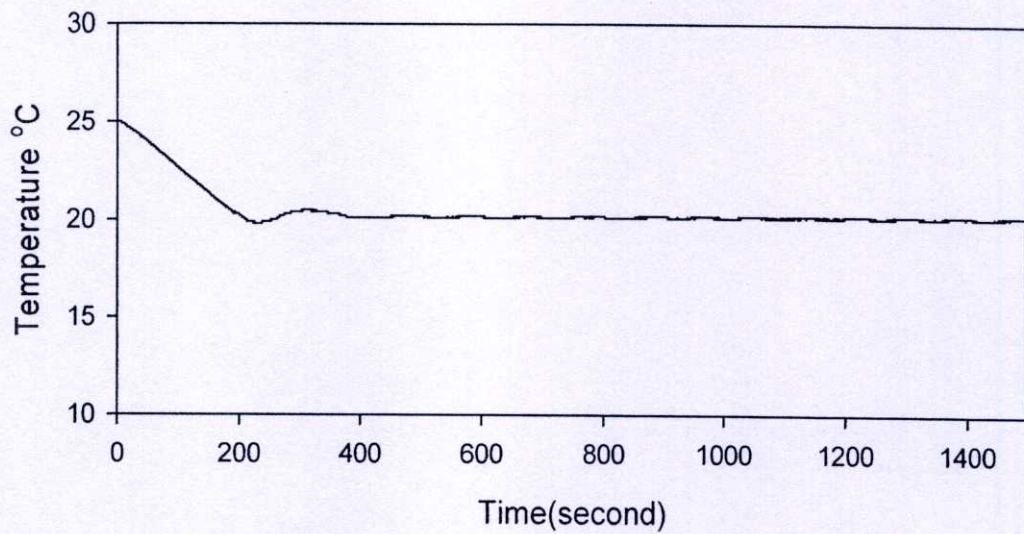
รูปที่ 7.8 ผลการควบคุมอุณหภูมิที่ 20 °C และความชื้นที่ 55 %RH

จากรูปที่ 7.8 แสดงผลการควบคุมของอุณหภูมิและความชื้นที่  $20^{\circ}\text{C}$  และความชื้น  $55\% \text{RH}$  โดยมีการตอบสนองอุณหภูมิเข้าใกล้ค่าที่กำหนดอยู่ในช่วงประมาณ 238 วินาที มีค่าอุณหภูมิที่ได้ประมาณ  $20.1^{\circ}\text{C}$  ผลต่างอุณหภูมิ  $0.1^{\circ}\text{C}$  และผลการตอบสนองความชื้นเข้าใกล้ค่าที่กำหนดอยู่ในช่วงประมาณ 30 วินาที มีความชื้นที่ได้ประมาณ  $55.1\% \text{RH}$  ผลต่างความชื้น  $0.1\% \text{RH}$

จากรูปจะเห็นว่า การเข้าสู่สภาวะคงตัวของอุณหภูมิช้ากว่าความชื้นค่อนข้างมาก การตอบสนองต่างกันประมาณ 208 วินาที สาเหตุเกิดจากในระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น มีการจำลองความร้อนสัมผัสแทนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ 50 วัตต์ และการะความร้อนสัมผัสจากภายนอกของกล่องควบคุมทั้ง 6 ด้าน ซึ่งกล่องควบคุมเป็นระบบปิด จึงมีผลทำให้การเข้าสู่สภาวะคงตัวของความชื้นเร็วกว่าเนื่องจากภายในระบบควบคุมไม่มีอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดความชื้น และมีความชื้นจากภายนอกเข้ามาในระบบน้อยมาก

ในช่วงการเข้าสู่สภาวะคงตัวของอุณหภูมิที่ ประมาณ 238 วินาที มีลักษณะคล้ายกับรูปที่ 7.7 คือมีการพุ่งเกิน  $0.1^{\circ}\text{C}$  และ มีการแกว่งของค่าอุณหภูมิที่  $\pm 0.75^{\circ}\text{C}$  เนื่องจากระบบมีช่วงเวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัวที่เร็วกว่า รูปที่ 7.1 ถึงรูปที่ 7.6 เป็นผลให้เมื่อโปรแกรมควบคุมสั่งให้อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกหยุดการทำงานจากการทำความเย็นเปลี่ยนเป็นการทำความร้อนให้กับระบบควบคุม จะยังมีความเย็นสะสมเกิดขึ้นที่ฮีตซิงค์ซึ่งมากกว่ารูปที่ 7.1 ถึงรูปที่ 7.6 จึงเหมือนกับว่าระบบยังทำความเย็นต่อไปอีกระยะหนึ่งจนความเย็นสะสมที่ฮีตซิงค์ถูกระบายออกสู่ภายนอกกล่องควบคุมจนหมดจึงเป็นการเริ่มทำความร้อนให้กับระบบควบคุมต่อไปจนเข้าสู่สภาวะคงตัว

ในช่วงการเข้าสู่สภาวะคงตัวของความชื้นมีการพุ่งเกิน ประมาณ  $0.3\% \text{RH}$  เนื่องจากการควบคุมอัตราการไหลของอากาศผ่านซิลิกาเจลโดยใช้พัดลมในการควบคุมไม่สามารถที่จะหยุดการทำงานของพัดลมได้ทันทีเพราะใบพัดของพัดลมจะมีความเฉื่อยเนื่องจากน้ำหนักของตัวมันเอง ทำให้ขณะที่โปรแกรมสั่งหยุดการทำงานของอุปกรณ์พัดลม จะยังมีการทำงานต่อไปเนื่องจากความเฉื่อยของใบพัดในระยะหนึ่งเป็นผลทำให้เกิดการพุ่งเกินของความชื้นเช่นกัน



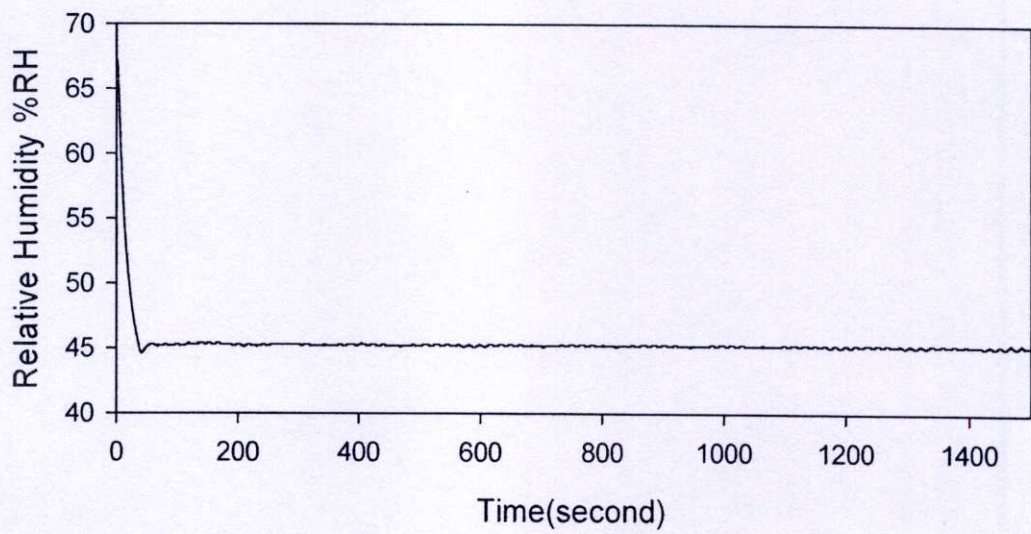
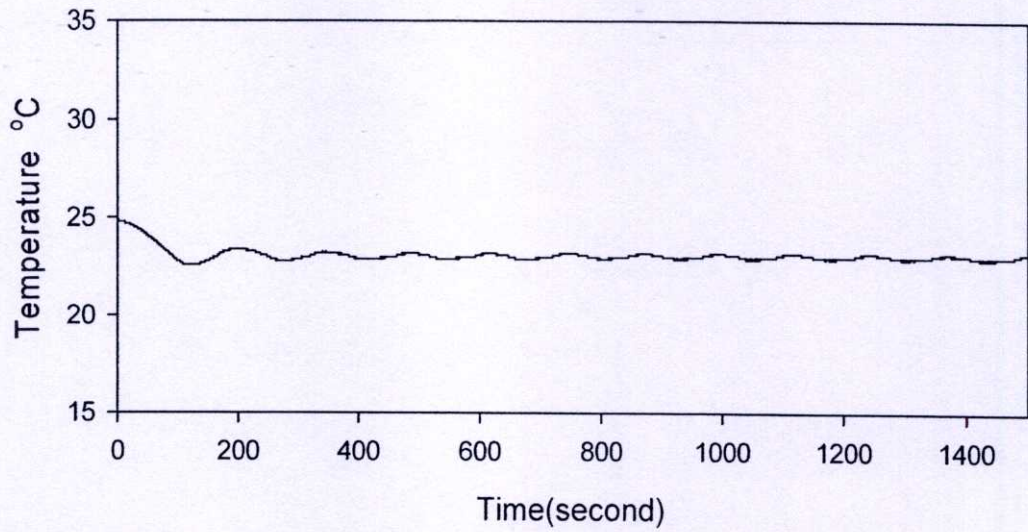
รูปที่ 7.9 ผลการควบคุมอุณหภูมิที่ 20 °C และความชื้นที่ 60 %RH

จากรูปที่ 7.9 แสดงผลการควบคุมของอุณหภูมิและความชื้นที่  $20^{\circ}\text{C}$  และความชื้น  $60\% \text{RH}$  โดยมีการตอบสนองของอุณหภูมิเข้าใกล้ค่าที่กำหนดอยู่ในช่วงประมาณ 231 วินาที มีค่าอุณหภูมิที่ได้ประมาณ  $20.1^{\circ}\text{C}$  ผลต่างอุณหภูมิ  $0.1^{\circ}\text{C}$  และผลการตอบสนองความชื้นเข้าใกล้ค่าที่กำหนดอยู่ในช่วงประมาณ 20 วินาที มีความชื้นที่ได้ประมาณ  $60.2\% \text{RH}$  ผลต่างความชื้น  $0.2\% \text{RH}$

จากรูปจะเห็นว่า การรู่เข้าสู่สภาวะคงตัวของอุณหภูมิช้ากว่าความชื้นค่อนข้างมาก การตอบสนองต่างกันประมาณ 201 วินาที สาเหตุเกิดจากในระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น มีการจำลองความร้อนสัมผัสแทนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ 50 วัตต์ และภาวะความร้อนสัมผัสจากภายนอกของกล่องควบคุมทั้ง 6 ด้าน ซึ่งกล่องควบคุมเป็นระบบปิด จึงมีผลทำให้การรู่เข้าสู่สภาวะคงตัวของความชื้นเร็วกว่าเนื่องจากภายในระบบควบคุมไม่มีอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดความชื้น และมีความชื้นจากภายนอกเข้ามาในระบบน้อยมาก

ในช่วงการรู่เข้าสู่สภาวะคงตัวของอุณหภูมิที่ ประมาณ 231 วินาที มีลักษณะคล้ายกับรูปที่ 7.7 ถึงรูปที่ 7.8 คือมีการพุ่งเกินอยู่ที่  $0.1^{\circ}\text{C}$  และ มีการแกว่งของค่าอุณหภูมิอยู่ที่  $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$  เนื่องจากระบบมีช่วงเวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัวที่เร็วกว่า รูปที่ 7.1 ถึงรูปที่ 7.6 เป็นผลให้เมื่อโปรแกรมควบคุมสั่งให้อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกหยุดการทำงานจากการทำความเย็นเปลี่ยนเป็นการทำความร้อนให้กับระบบควบคุม จะยังมีความเย็นสะสมเกิดขึ้นที่ฮีทซิงค์ซึ่งมากกว่ารูปที่ 7.1 ถึงรูปที่ 7.6 จึงเหมือนกับว่าระบบยังทำความเย็นต่อไปอีกระยะหนึ่งจนความเย็นสะสมที่ฮีทซิงค์ถูกระบายออกสู่ภายนอกกล่องควบคุมจนหมดจึงเป็นการเริ่มทำความร้อนให้กับระบบควบคุมต่อไปจนเข้าสู่สภาวะคงตัว

ในช่วงการรู่เข้าสู่สภาวะคงตัวของความชื้นมีการพุ่งเกินน้อยมาก ประมาณ  $0.1\% \text{RH}$  เนื่องจากการควบคุมอัตราการไหลของอากาศผ่านซิลิกาเจล โดยใช้พัดลมในการควบคุมไม่สามารถที่จะหยุดการทำงานของพัดลมได้ทันทีเพราะใบพัดของพัดลมจะมีความเฉื่อยเนื่องจากน้ำหนักของตัวมันเอง ทำให้ขณะที่โปรแกรมสั่งหยุดการทำงานของอุปกรณ์พัดลม จะยังมีการทำงานต่อไปเนื่องจากความเฉื่อยของใบพัดในระยะหนึ่งเป็นผลทำให้เกิดการพุ่งเกินของความชื้นเช่นกัน



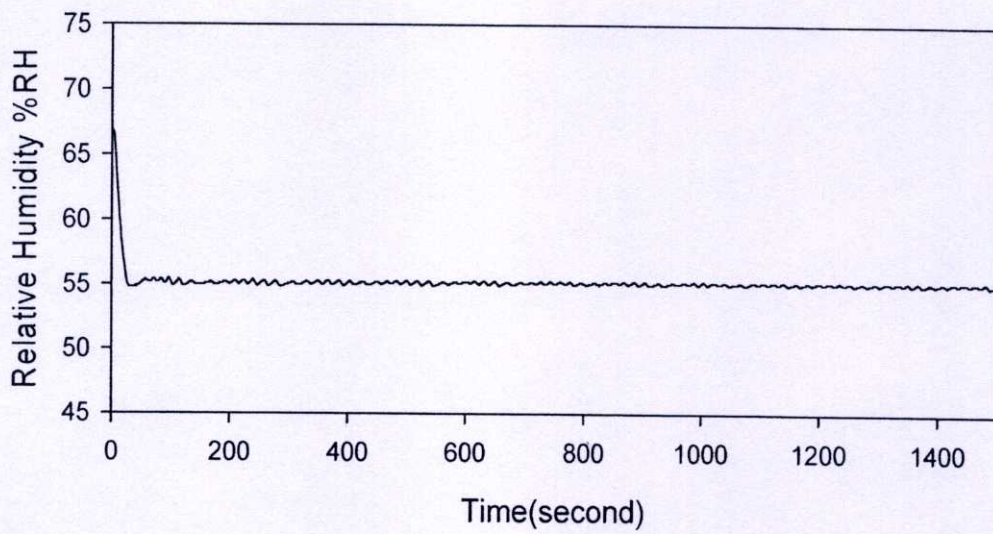
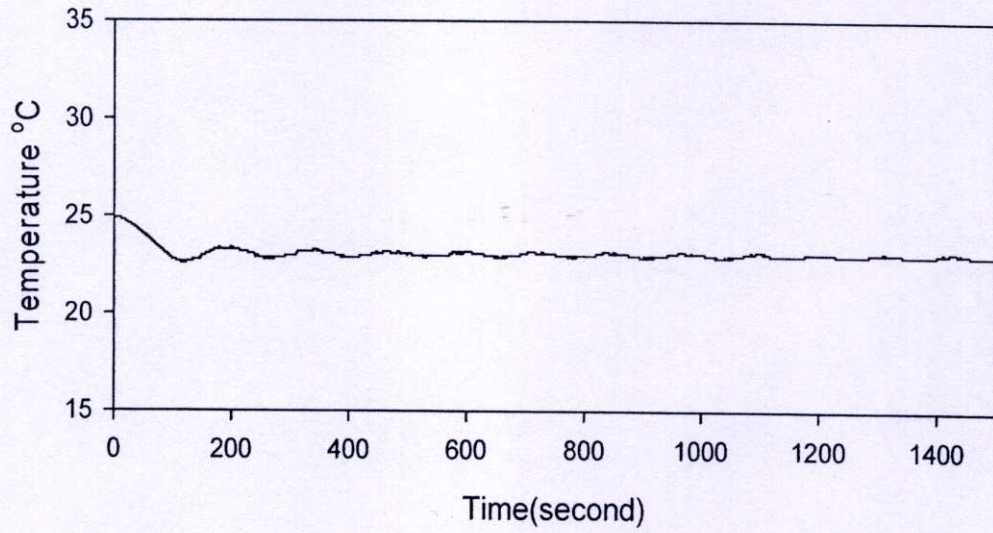
รูปที่ 7.10 ผลการควบคุมอุณหภูมิที่ 23 °C และความชื้นที่ 45 %RH

จากรูปที่ 7.10 แสดงผลการควบคุมของอุณหภูมิและความชื้นที่  $23^{\circ}\text{C}$  และความชื้น  $45\% \text{RH}$  โดยมีการตอบสนองอุณหภูมิเข้าใกล้ค่าที่กำหนดอยู่ในช่วงประมาณ 90 วินาที มีค่าอุณหภูมิที่ได้ประมาณ  $23^{\circ}\text{C}$  ผลต่างอุณหภูมิ  $0.0^{\circ}\text{C}$  และผลการตอบสนองความชื้นเข้าใกล้ค่าที่กำหนดอยู่ในช่วงประมาณ 36 วินาที มีความชื้นที่ได้ประมาณ  $45.1\% \text{RH}$  ผลต่างความชื้น  $0.1\% \text{RH}$

จากรูปจะเห็นว่าการเข้าสู่สภาวะคงตัวของอุณหภูมิช้ากว่าความชื้นค่อนข้างมาก การตอบสนองต่างกันประมาณ 54 วินาที สาเหตุเกิดจากในระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น มีการจำลองความร้อนสัมผัสแทนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ 50 วัตต์ และภาระความร้อนสัมผัสจากภายนอกของกล่องควบคุมทั้ง 6 ด้าน ซึ่งกล่องควบคุมเป็นระบบปิด จึงมีผลทำให้การเข้าสู่สภาวะคงตัวของความชื้นเร็วกว่าเนื่องจากภายในระบบควบคุมไม่มีอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดความชื้น และมีความชื้นจากภายนอกเข้ามาในระบบน้อยมาก

ในช่วงการเข้าสู่สภาวะคงตัวของอุณหภูมิที่ ประมาณ 90 วินาที มีลักษณะคล้ายกับรูปที่ 7.7 ถึงรูปที่ 7.9 คือมีการพุ่งเกินอยู่ที่  $0.15^{\circ}\text{C}$  และ มีการแกว่งของค่าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเล็กน้อยลดการทดลอง อยู่ที่  $\pm 0.2$  เนื่องจากระบบมีช่วงเวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัวที่เร็วกว่า รูปที่ 7.1 ถึงรูปที่ 7.9 เป็นผลให้เมื่อโปรแกรมควบคุมสั่งให้อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกหยุดการทำงานจากการทำความเย็นเปลี่ยนเป็นการทำความร้อนให้กับระบบควบคุม จะยังมีความเย็นสะสมเกิดขึ้นที่ฮีทซิงซึ่งมากกว่ารูปที่ 7.1 ถึงรูปที่ 7.9 จึงเหมือนกับว่าระบบยังทำความเย็นต่อไปอีกระยะหนึ่งจนความเย็นสะสมที่ฮีทซิงถูกระบายออกสู่ภายนอกกล่องควบคุมจนหมดจึงเป็นการเริ่มทำความร้อนให้กับระบบควบคุมต่อไปจนเข้าสู่สภาวะคงตัว

ในช่วงการเข้าสู่สภาวะคงตัวของความชื้นมีการพุ่งเกินน้อยมาก ประมาณ  $0.2\% \text{RH}$  เนื่องจากการควบคุมอัตราการไหลของอากาศผ่านซิลิกาเจลโดยใช้พัดลมในการควบคุมไม่สามารถที่จะหยุดการทำงานของพัดลมได้ทันทีเพราะใบพัดของพัดลมจะมีความเฉื่อยเนื่องจากน้ำหนักของตัวเอง ทำให้ขณะที่โปรแกรมสั่งหยุดการทำงานของอุปกรณ์พัดลม จะยังมีการทำงานต่อไปเนื่องจากความเฉื่อยของใบพัดในระยะหนึ่งเป็นผลทำให้เกิดการพุ่งเกินของความชื้นเช่นกัน



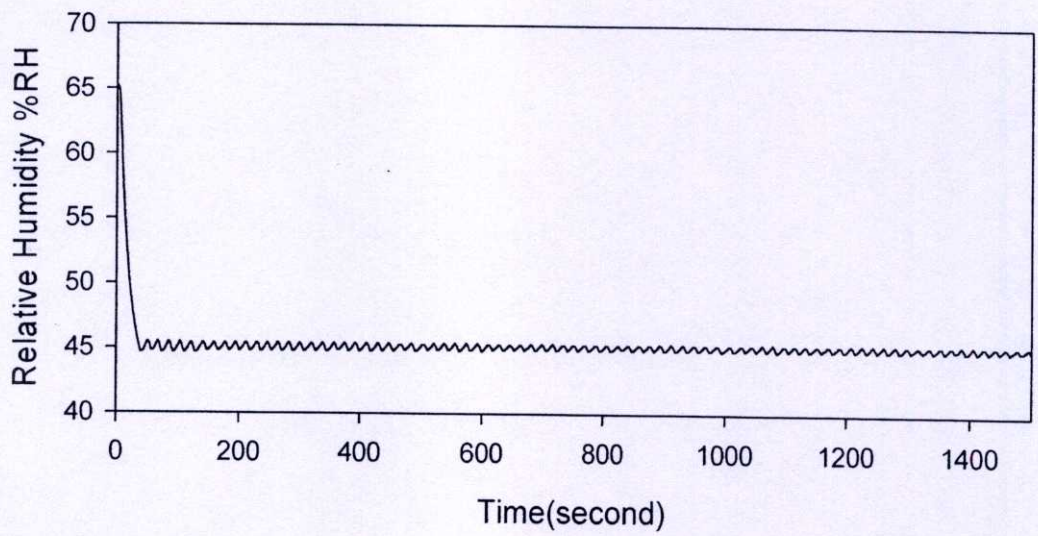
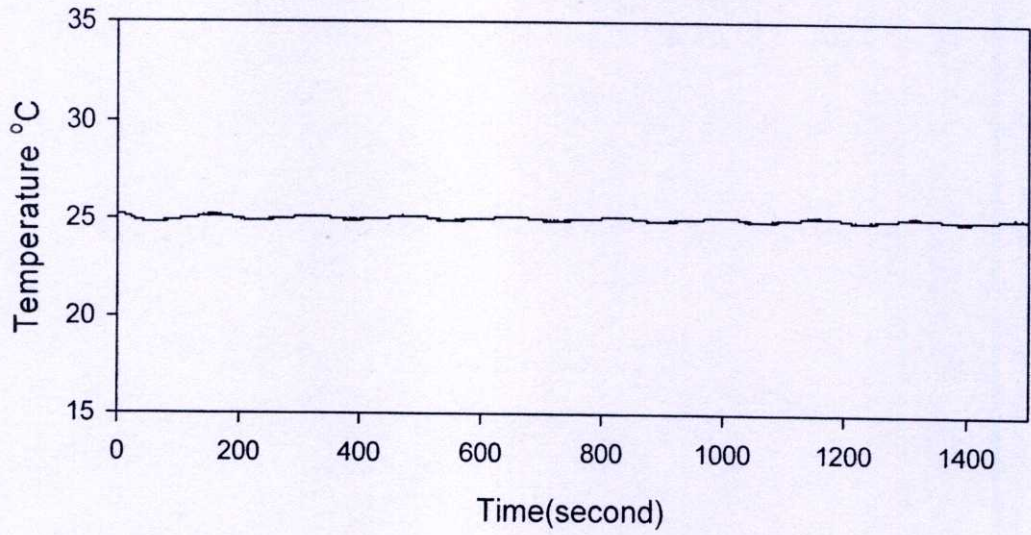
รูปที่ 7.11 ผลการควบคุมอุณหภูมิที่ 23 °C และความชื้นที่ 55 %RH

จากรูปที่ 7.11 แสดงผลการควบคุมของอุณหภูมิและความชื้นที่  $23^{\circ}\text{C}$  และความชื้น 55 %RH โดยมีการตอบสนองอุณหภูมิเข้าใกล้ค่าที่กำหนดอยู่ในช่วงประมาณ 90 วินาที มีค่าอุณหภูมิที่ได้ประมาณ  $23^{\circ}\text{C}$  ผลต่างอุณหภูมิ  $0.0^{\circ}\text{C}$  และผลการตอบสนองความชื้นเข้าใกล้ค่าที่กำหนดอยู่ในช่วงประมาณ 22 วินาที มีความชื้นที่ได้ประมาณ 55.1 %RH ผลต่างความชื้น 0.1 %RH

จากรูปจะเห็นว่า การลู่เข้าสู่สภาวะคงตัวของอุณหภูมิช้ากว่าความชื้นค่อนข้างมาก การตอบสนองต่างกันประมาณ 68 วินาที สาเหตุเกิดจากในระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น มีการจำลองความร้อนสัมผัสแทนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ 50 วัตต์ และภาวะความร้อนสัมผัสจากภายนอกของกล่องควบคุมทั้ง 6 ด้าน ซึ่งกล่องควบคุมเป็นระบบปิด จึงมีผลทำให้การลู่เข้าสู่สภาวะคงตัวของความชื้นเร็วกว่าเนื่องจากภายในระบบควบคุมไม่มีอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดความชื้น และมีความชื้นจากภายนอกเข้ามาในระบบน้อยมาก

ในช่วงการลู่เข้าสู่สภาวะคงตัวของอุณหภูมิที่ ประมาณ 90 วินาที มีลักษณะคล้ายกับรูปที่ 7.10 คือมีการพุ่งเกินที่  $0.15^{\circ}\text{C}$  และ มีการแกว่งของค่าอุณหภูมิเล็กน้อยตลอดการทดลอง อยู่ที่  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$  เนื่องจากระบบมีช่วงเวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัวที่เร็วกว่า รูปที่ 7.1 ถึงรูปที่ 7.9 เป็นผลให้เมื่อโปรแกรมควบคุมสั่งให้อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกหยุดการทำงานจากการทำความเย็น เปลี่ยนเป็นการทำความร้อนให้กับระบบควบคุม จะยังมีความเย็นสะสมเกิดขึ้นที่ฮีทซิงค์ซึ่งมากกว่ารูปที่ 7.1 ถึงรูปที่ 7.9 จึงเหมือนกับว่าระบบยังทำความเย็นต่อไปอีกระยะหนึ่งจนความเย็นสะสมที่ฮีทซิงค์ถูกระบายออกสู่ภายนอกกล่องควบคุมจนหมดจึงเป็นการเริ่มทำความร้อนให้กับระบบควบคุมต่อไปจนเข้าสู่สภาวะคงตัว

ในช่วงการลู่เข้าสู่สภาวะคงตัวของความชื้นมีการพุ่งเกินน้อยมาก ประมาณ 0.1 %RH เนื่องจากการควบคุมอัตราการไหลของอากาศผ่านซิลิกาเจลโดยใช้พัดลมในการควบคุมไม่สามารถที่จะหยุดการทำงานของพัดลมได้ทันทีเพราะใบพัดของพัดลมจะมีความเฉื่อยเนื่องจากน้ำหนักของตัวมันเอง ทำให้ขณะที่โปรแกรมสั่งหยุดการทำงานของอุปกรณ์พัดลม จะยังมีการทำงานต่อไปเนื่องจากความเฉื่อยของใบพัดในระยะหนึ่งเป็นผลทำให้เกิดการพุ่งเกินของความชื้นเช่นกัน



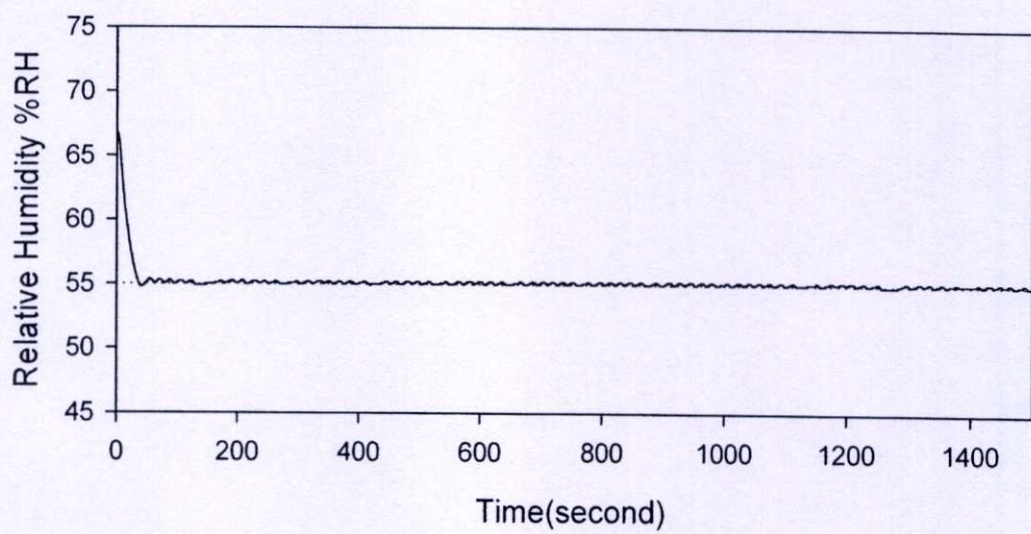
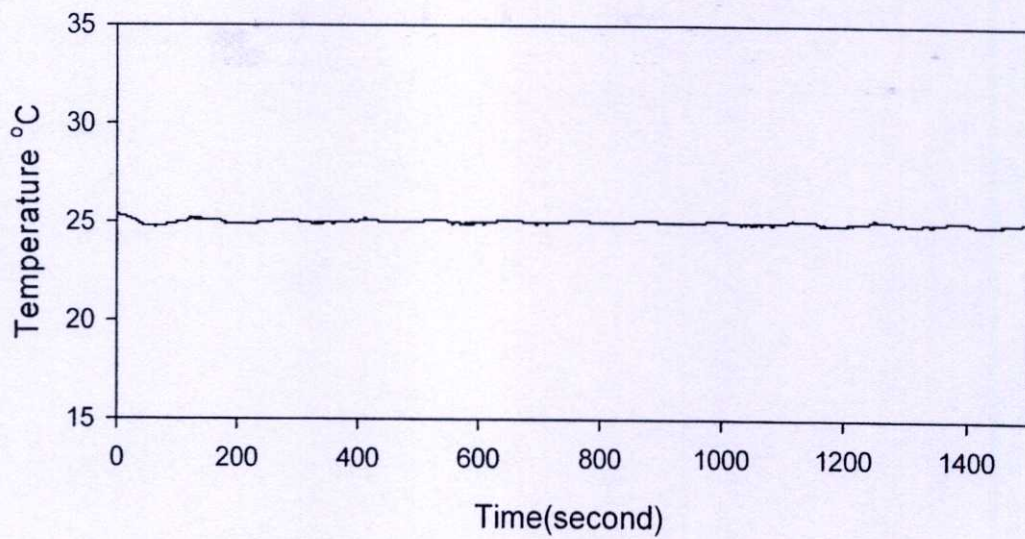
รูปที่ 7.12 ผลการควบคุมอุณหภูมิที่ 25 °C และความชื้นที่ 45 %RH

จากรูปที่ 7.12 แสดงผลการควบคุมของอุณหภูมิและความชื้นที่  $25^{\circ}\text{C}$  และความชื้น  $45\% \text{RH}$  โดยมีการตอบสนองของอุณหภูมิเข้าใกล้ค่าที่กำหนดอยู่ในช่วงประมาณ 20 วินาที มีค่าอุณหภูมิที่ได้ประมาณ  $25^{\circ}\text{C}$  ผลต่างอุณหภูมิ  $0.0^{\circ}\text{C}$  และผลการตอบสนองของความชื้นเข้าใกล้ค่าที่กำหนดอยู่ในช่วงประมาณ 34 วินาที มีความชื้นที่ได้ประมาณ  $45.1\% \text{RH}$  ผลต่างความชื้น  $0.1\% \text{RH}$

จากรูปจะเห็นว่า การเข้าสู่สภาวะคงตัวของอุณหภูมิเร็วกว่าความชื้นเพราะค่าอุณหภูมิที่กำหนดมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายนอกห้องควบคุม การตอบสนองต่างกันประมาณ 14 วินาที สาเหตุเกิดจากในระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น มีภาระความร้อนสัมผัสจากภายนอกของห้องควบคุมทั้ง 6 ด้านน้อยมาก ซึ่งห้องควบคุมเป็นระบบปิด จึงมีผลทำให้การเข้าสู่สภาวะคงตัวของความชื้นช้ากว่าเนื่องจากภายในระบบควบคุม ไม่มีอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดความชื้นแต่มีความชื้นจากภายนอกเข้ามาในระบบ

ในช่วงการเข้าสู่สภาวะคงตัวของอุณหภูมิที่ ประมาณ 20 วินาที มีการแกว่งของค่าอุณหภูมิเล็กน้อยตลอดการทดลอง อยู่ที่  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$  เนื่องจากเมื่อโปรแกรมควบคุมสั่งให้อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกหยุดการทำงานจากการทำความเย็นเปลี่ยนเป็นการทำความร้อนให้กับระบบควบคุม จะยังมีความเย็นสะสมเกิดขึ้นที่ฮีตซิงค์ซึ่งน้อย จึงเหมือนกับว่าระบบยังทำความเย็นต่อไปอีกระยะหนึ่งจนความเย็นสะสมที่ฮีตซิงค์ถูกระบายออกสู่ภายนอกห้องควบคุมจนหมดจึงเป็นการเริ่มทำความร้อนให้กับระบบควบคุมต่อไปจนเข้าสู่สภาวะคงตัว

ในช่วงการเข้าสู่สภาวะคงตัวของความชื้นมีการพุ่งเกินน้อยมาก ประมาณ  $0.1\% \text{RH}$  เนื่องจากการควบคุมอัตราการไหลของอากาศผ่านซิลิกาเจลโดยใช้พัลลมในการควบคุมไม่สามารถที่จะหยุดการทำงานของพัลลมได้ทันทีเพราะไบพัดของพัลลมจะมีความเฉื่อยเนื่องจากน้ำหนักของตัวเอง ทำให้ขณะที่โปรแกรมสั่งหยุดการทำงานของอุปกรณ์พัลลม จะยังมีการทำงานต่อไปเนื่องจากความเฉื่อยของไบพัดในระยะหนึ่งเป็นผลทำให้เกิดการพุ่งเกินของความชื้นเช่นกัน



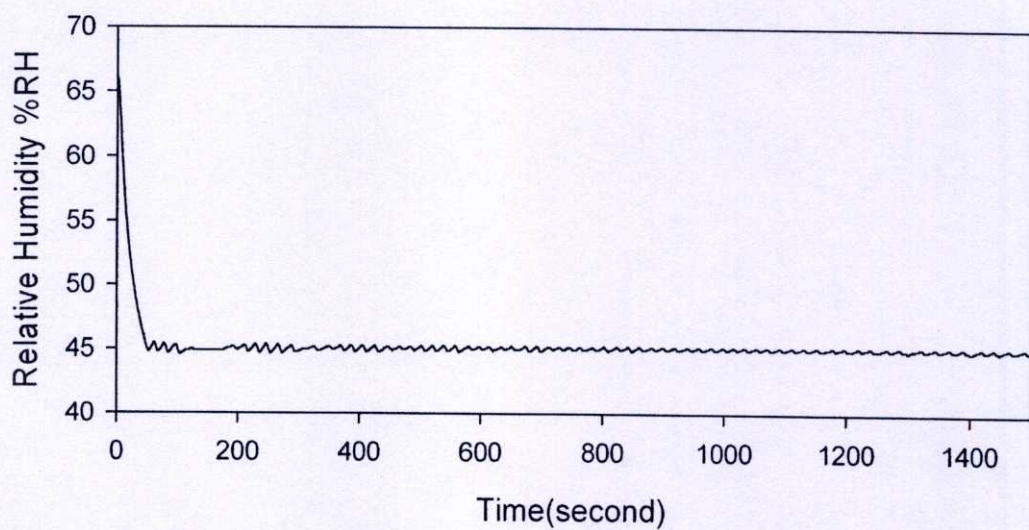
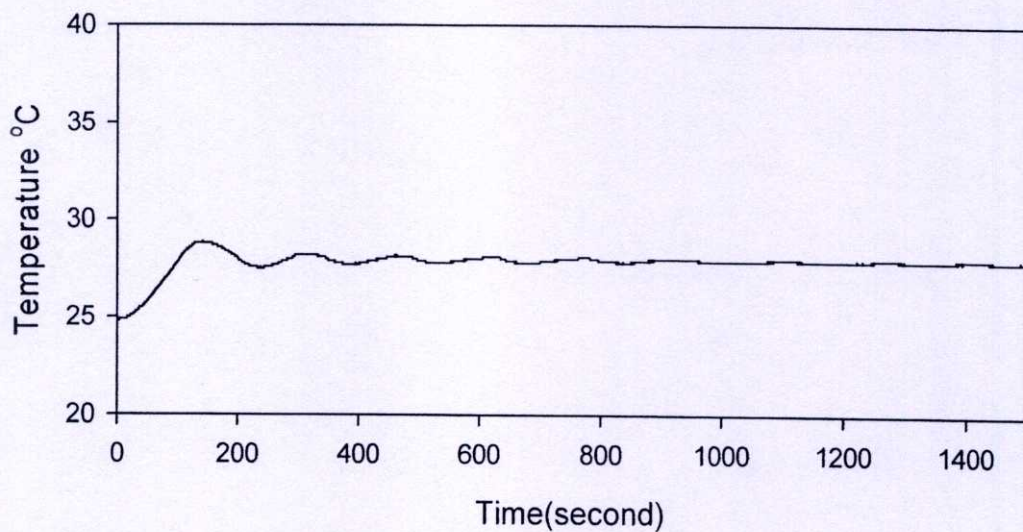
รูปที่ 7.13 ผลการควบคุมอุณหภูมิที่ 25 °C และความชื้นที่ 55 %RH

จากรูปที่ 7.13 แสดงผลการควบคุมของอุณหภูมิและความชื้นที่  $25^{\circ}\text{C}$  และความชื้น 55 %RH โดยมีการตอบสนองของอุณหภูมิเข้าใกล้ค่าที่กำหนดอยู่ในช่วงประมาณ 20 วินาที มีค่าอุณหภูมิที่ได้ประมาณ  $25^{\circ}\text{C}$  ผลต่างอุณหภูมิ  $0.0^{\circ}\text{C}$  และผลการตอบสนองของความชื้นเข้าใกล้ค่าที่กำหนดอยู่ในช่วงประมาณ 29 วินาที มีความชื้นที่ได้ประมาณ 55%RH ผลต่างความชื้น  $0.0\%$  RH

จากรูปจะเห็นว่า การเข้าสู่สภาวะคงตัวของอุณหภูมิเร็วกว่าความชื้นเพราะค่าอุณหภูมิที่กำหนดมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายนอกห้องควบคุม การตอบสนองต่างกันประมาณ 9 วินาที สาเหตุเกิดจากในระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น มีภาระความร้อนสัมผัสจากภายนอกของห้องควบคุมทั้ง 6 ด้านน้อยมาก ซึ่งห้องควบคุมเป็นระบบปิด จึงมีผลทำให้การเข้าสู่สภาวะคงตัวของความชื้นช้ากว่าเนื่องจากภายในระบบควบคุมไม่มีอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดความชื้นแต่มีความชื้นจากภายนอกเข้ามาในระบบ

ในช่วงการเข้าสู่สภาวะคงตัวของอุณหภูมิที่ ประมาณ 20 วินาที ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับรูปที่ 7.12 มีการแกว่งของค่าอุณหภูมิเล็กน้อยตลอดการทดลอง อยู่ที่  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$  เนื่องจากเมื่อโปรแกรมควบคุมสั่งให้อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกหยุดการทำงานจากการทำความเย็นเปลี่ยนเป็นการทำความร้อนให้กับระบบควบคุม จะยังมีความเย็นสะสมเกิดขึ้นที่ฮีทซิงค์ซึ่งน้อย จึงเหมือนกับว่าระบบยังทำความเย็นต่อไปอีกระยะหนึ่งจนความเย็นสะสมที่ฮีทซิงค์ถูกระบายออกสู่ภายนอกห้องควบคุมจนหมดจึงเป็นการเริ่มทำความร้อนให้กับระบบควบคุมต่อไปจนเข้าสู่สภาวะคงตัว

ในช่วงการเข้าสู่สภาวะคงตัวของความชื้นมีการพุ่งเกินน้อยมาก ประมาณ 0.1 %RH เนื่องจากการควบคุมอัตราการไหลของอากาศผ่านซิลิกาเจลโดยใช้พัดลมในการควบคุมไม่สามารถที่จะหยุดการทำงานของพัดลมได้ทันทีเพราะใบพัดของพัดลมจะมีความเฉื่อยเนื่องจากน้ำหนักของตัวมันเอง ทำให้ขณะที่โปรแกรมสั่งหยุดการทำงานของอุปกรณ์พัดลม จะยังมีการทำงานต่อไปเนื่องจากความเฉื่อยของใบพัดในระยะเวลาหนึ่งเป็นผลทำให้เกิดการพุ่งเกินของความชื้นเช่นกัน



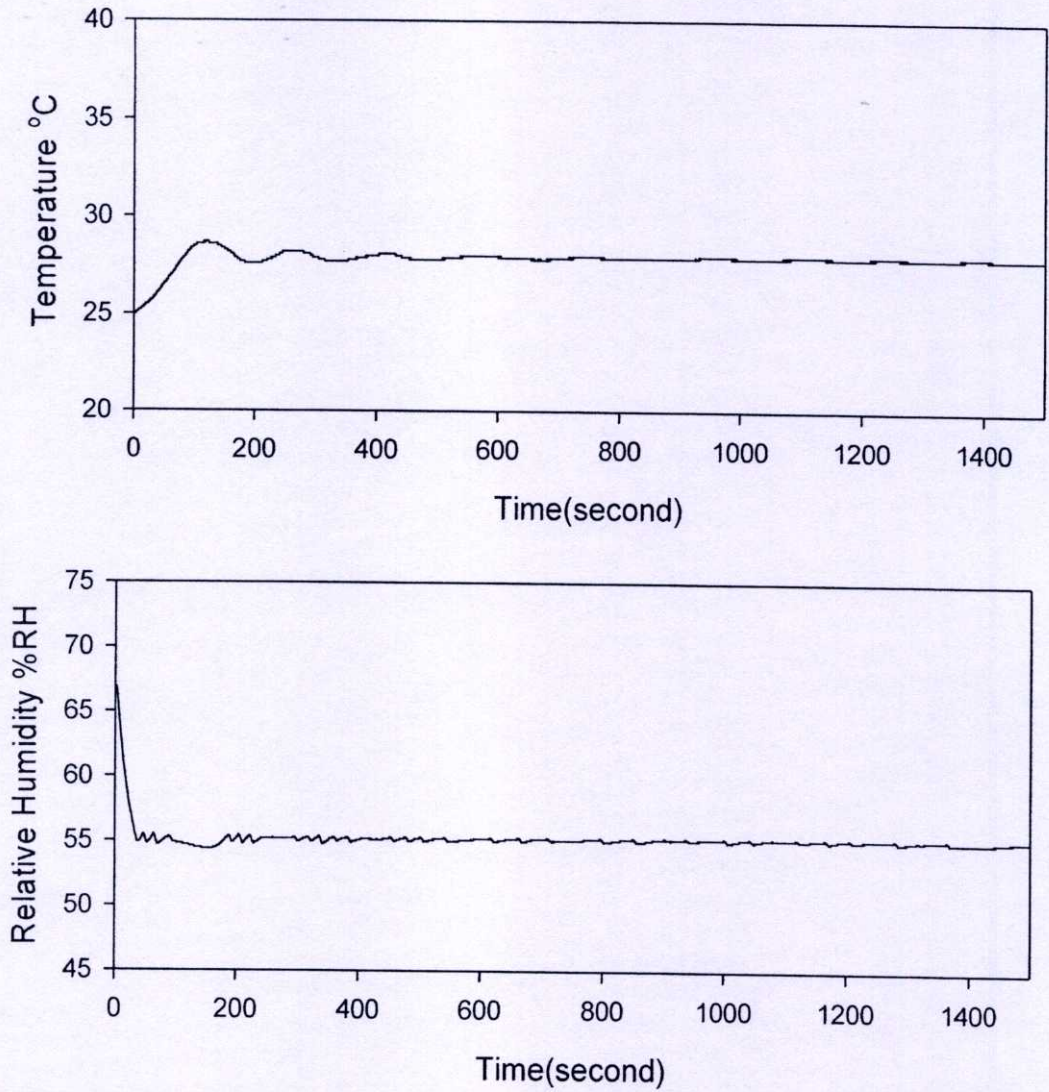
รูปที่ 7.14 ผลการควบคุมอุณหภูมิที่ 28 °C และความชื้นที่ 45 %RH

จากรูปที่ 7.14 แสดงผลการควบคุมของอุณหภูมิและความชื้นที่  $28^{\circ}\text{C}$  และความชื้น 45 %RH โดยมีการตอบสนองอุณหภูมิเข้าใกล้ค่าที่กำหนดอยู่ในช่วงประมาณ 190 วินาที มีค่าอุณหภูมิที่ได้ประมาณ  $27.9^{\circ}\text{C}$  ผลต่างอุณหภูมิ  $-0.1^{\circ}\text{C}$  และผลการตอบสนองความชื้นเข้าใกล้ค่าที่กำหนดอยู่ในช่วงประมาณ 35 วินาที มีความชื้นที่ได้ประมาณ 45%RH ผลต่างความชื้น  $0.0\%$  RH

จากรูปจะเห็นว่า การลู่เข้าสู่สภาวะคงตัวของอุณหภูมิช้ากว่าความชื้น การตอบสนองต่างกันประมาณ 155 วินาที สาเหตุเกิดจากในระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น มีการจำลองความร้อนสัมผัสแทนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ 50 วัตต์ ซึ่งกล่องควบคุมเป็นระบบปิด จึงมีผลทำให้การลู่เข้าสู่สภาวะคงตัวของความชื้นเร็วกว่าเนื่องจากภายในระบบควบคุมไม่มีอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดความชื้นและมีความชื้นจากภายนอกเข้ามาในระบบน้อยมาก

ในช่วงการลู่เข้าสู่สภาวะคงตัวของอุณหภูมิที่ ประมาณ 190 วินาที มีการพุ่งเกินอยู่ที่  $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$  และ มีการแกว่งของค่าอุณหภูมิจนถึงที่เวลาประมาณ 800 วินาที เนื่องจากระบบมีช่วงเวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัวที่เร็ว เป็นผลให้เมื่อโปรแกรมควบคุมสั่งให้อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์หยุดการทำงานจากการทำความร้อนเปลี่ยนเป็นการทำความเย็นให้กับระบบควบคุม จะยังมีความร้อนสะสมเกิดขึ้นที่ฮีทซิงค์ จึงเหมือนกับว่าระบบยังทำความร้อนต่อไปอีกระยะหนึ่งจนความร้อนสะสมที่ฮีทซิงค์ถูกระบายออกสู่ภายนอกกล่องควบคุมจนหมดจึงเป็นการเริ่มทำความเย็นให้กับระบบควบคุมต่อไปจนเข้าสู่สภาวะคงตัว

ในช่วงการลู่เข้าสู่สภาวะคงตัวของความชื้นมีการพุ่งเกินน้อยมาก ประมาณ  $0.1\%$  RH เนื่องจากการควบคุมอัตราการไหลของอากาศผ่านซิลิกาเจลโดยใช้พัดลมในการควบคุมไม่สามารถที่จะหยุดการทำงานของพัดลมได้ทันทีเพราะใบพัดของพัดลมจะมีความเฉื่อยเนื่องจากน้ำหนักของตัวมันเอง ทำให้ขณะที่โปรแกรมสั่งหยุดการทำงานของอุปกรณ์พัดลม จะยังมีการทำงานต่อไปเนื่องจากความเฉื่อยของใบพัดในระยะหนึ่งเป็นผลทำให้เกิดการพุ่งเกินของความชื้นเช่นกัน



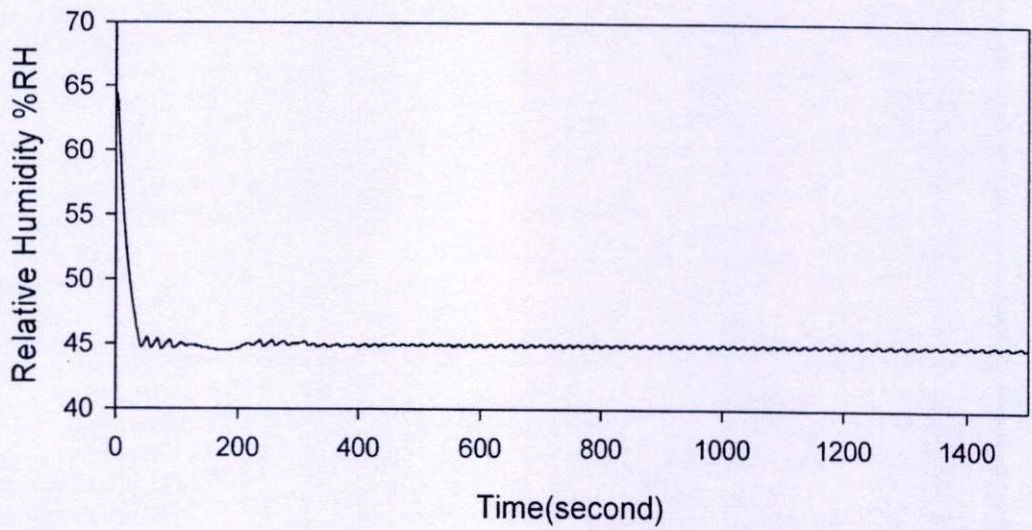
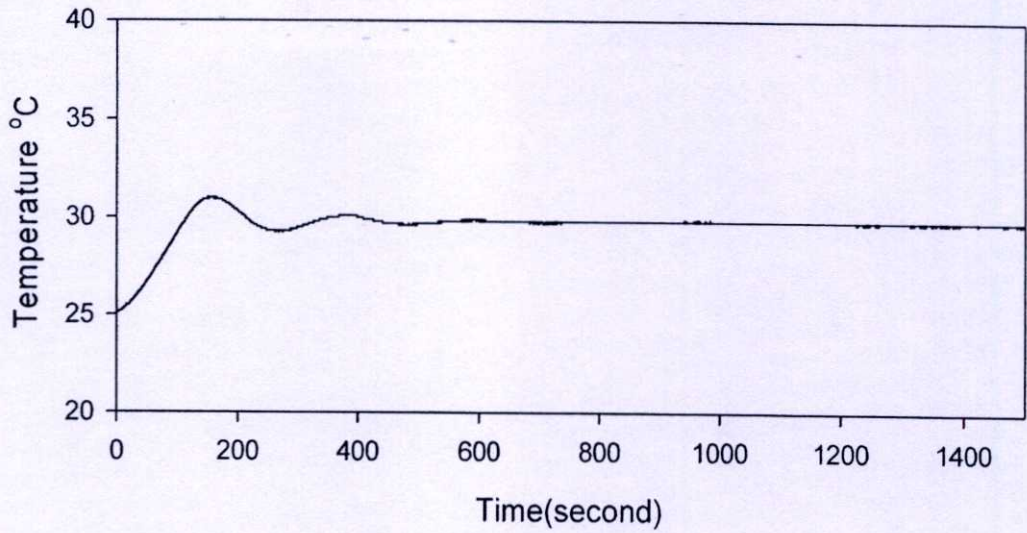
รูปที่ 7.15 ผลการควบคุมอุณหภูมิที่ 28 °C และความชื้นที่ 55 %RH

จากรูปที่ 7.15 แสดงผลการควบคุมของอุณหภูมิและความชื้นที่  $28^{\circ}\text{C}$  และความชื้น 55 %RH โดยมีการตอบสนองอุณหภูมิเข้าใกล้ค่าที่กำหนดอยู่ในช่วงประมาณ 185 วินาที มีค่าอุณหภูมิที่ได้ประมาณ  $27.9^{\circ}\text{C}$  ผลต่างอุณหภูมิ  $-0.1^{\circ}\text{C}$  และผลการตอบสนองความชื้นเข้าใกล้ค่าที่กำหนดอยู่ในช่วงประมาณ 28 วินาที มีความชื้นที่ได้ประมาณ 55.1 %RH ผลต่างความชื้น 0.1 %RH

จากรูปจะเห็นว่า การเข้าสู่สภาวะคงตัวของอุณหภูมิช้ากว่าความชื้น การตอบสนองต่างกันประมาณ 165 วินาที สาเหตุเกิดจากในระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น มีการจำลองความร้อนสัมผัสแทนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ 50 วัตต์ ซึ่งกล่องควบคุมเป็นระบบปิด จึงมีผลทำให้การเข้าสู่สภาวะคงตัวของความชื้นเร็วกว่าเนื่องจากภายในระบบควบคุมไม่มีอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดความชื้นและมีความชื้นจากภายนอกเข้ามาในระบบน้อยมาก

ในช่วงการเข้าสู่สภาวะคงตัวของอุณหภูมิที่ ประมาณ 185 วินาที มีลักษณะคล้ายกับรูปที่ 7.14 มีการพุ่งเกินอยู่ที่  $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$  และ มีการแกว่งของค่าอุณหภูมิจนถึงที่เวลาประมาณ 600 วินาที เนื่องจากระบบมีช่วงเวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัวที่เร็ว เป็นผลให้เมื่อโปรแกรมควบคุมสั่งให้อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์หยุดการทำงานจากการทำความร้อนเปลี่ยนเป็นการทำความเย็นให้กับระบบควบคุม จะยังมีความร้อนสะสมเกิดขึ้นที่ฮีทซิงค์ จึงเหมือนกับว่าระบบยังทำความร้อนต่อไปอีกระยะหนึ่งจนความร้อนสะสมที่ฮีทซิงค์ถูกระบายออกสู่ภายนอกกล่องควบคุมจนหมดจึงเป็นการเริ่มทำความเย็นให้กับระบบควบคุมต่อไปจนเข้าสู่สภาวะคงตัว

ในช่วงการเข้าสู่สภาวะคงตัวของความชื้นมีการพุ่งเกินน้อยมาก ประมาณ 0.1 %RH เนื่องจากการควบคุมอัตราการไหลของอากาศผ่านซิลิกาเจล โดยใช้พัดลมในการควบคุมไม่สามารถที่จะหยุดการทำงานของพัดลมได้ทันทีเพราะใบพัดของพัดลมจะมีความเฉื่อยเนื่องจากน้ำหนักของตัวเอง ทำให้ขณะที่โปรแกรมสั่งหยุดการทำงานของอุปกรณ์พัดลม จะยังมีการทำงานต่อไปเนื่องจากความเฉื่อยของใบพัดในระยะหนึ่งเป็นผลทำให้เกิดการพุ่งเกินของความชื้นเช่นกัน



รูปที่ 7.16 ผลการควบคุมอุณหภูมิที่ 30 °C และความชื้นที่ 45 %RH

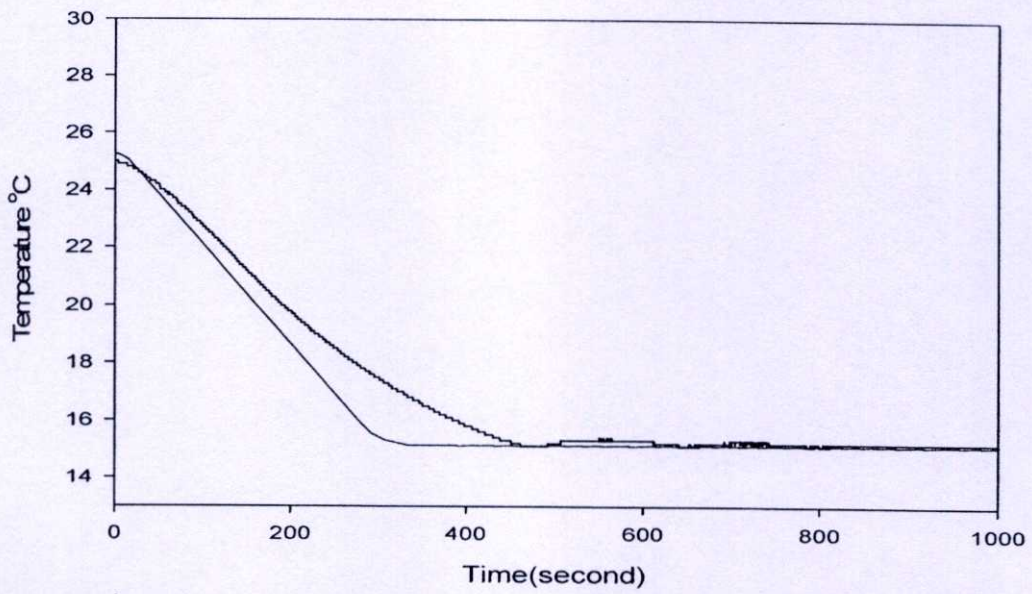
จากรูปที่ 7.16 แสดงผลการควบคุมของอุณหภูมิและความชื้นที่ 30 °C และความชื้น 45%RH โดยมีการตอบสนองของอุณหภูมิเข้าใกล้ค่าที่กำหนดอยู่ในช่วงประมาณ 206 วินาที มีค่าอุณหภูมิที่ได้ประมาณ 29.7 °C ผลต่างอุณหภูมิ -0.3 °C และผลการตอบสนองความชื้นเข้าใกล้ค่าที่กำหนดอยู่ในช่วงประมาณ 31 วินาที มีความชื้นที่ได้ประมาณ 44.9 %RH ผลต่างความชื้น -0.1 %RH

จากรูปจะเห็นว่า การเข้าสู่สภาวะคงตัวของอุณหภูมิช้ากว่าความชื้น การตอบสนองต่างกันประมาณ 175 วินาที สาเหตุเกิดจากในระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น มีการจำลองความร้อนสัมผัสแทนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ 50 วัตต์ ซึ่งกล่องควบคุมเป็นระบบปิด จึงมีผลทำให้การเข้าสู่สภาวะคงตัวของความชื้นเร็วกว่าเนื่องจากภายในระบบควบคุมไม่มีอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดความชื้นและมีความชื้นจากภายนอกเข้ามาในระบบน้อยมาก

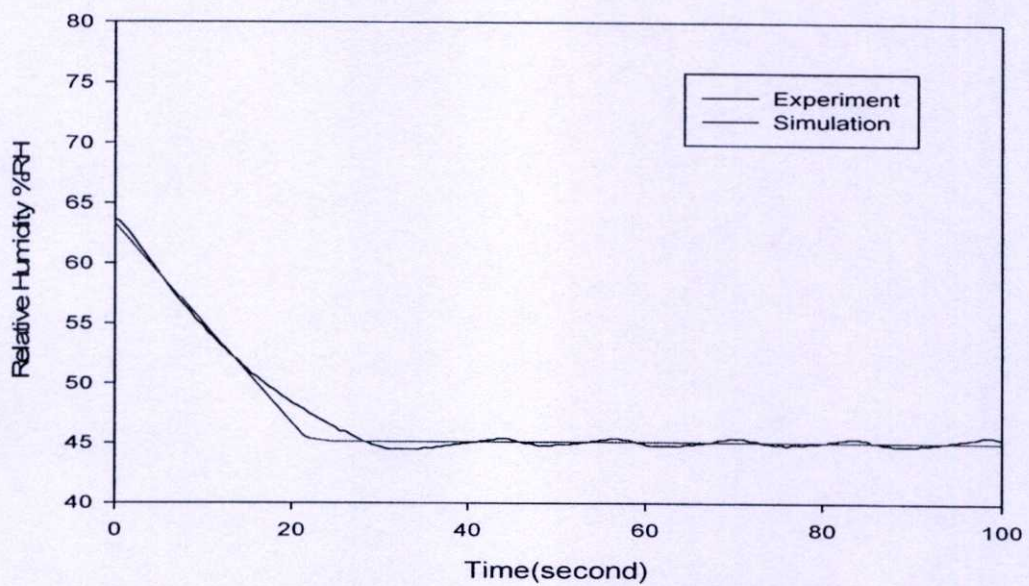
ในช่วงการเข้าสู่สภาวะคงตัวของอุณหภูมิที่ ประมาณ 206 วินาที มีลักษณะคล้ายกับรูปที่ 7.14 ถึงรูปที่ 7.15 แต่มีการพุ่งเกินสูงกว่า อยู่ที่  $\pm 0.8^{\circ}C$  และ มีการแกว่งของค่าอุณหภูมิจนถึงที่เวลาประมาณ 500 วินาที เนื่องจากระบบมีช่วงเวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัวที่เร็ว เป็นผลให้เมื่อโปรแกรมควบคุมสั่งให้อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกหยุดการทำงานจากการทำความร้อน เปลี่ยนเป็นการทำความเย็นให้กับระบบควบคุม จะยังมีความร้อนสะสมเกิดขึ้นที่ฮีทซิงค์ จึงเหมือนกับว่าระบบยังทำความร้อนต่อไปอีกระยะหนึ่งจนความร้อนสะสมที่ฮีทซิงค์ระบายออกสู่ภายนอกกล่องควบคุมจนหมดจึงเป็นการเริ่มทำความเย็นให้กับระบบควบคุมต่อไปจนเข้าสู่สภาวะคงตัว

ในช่วงการเข้าสู่สภาวะคงตัวของความชื้นมีการพุ่งเกินน้อยมาก ประมาณ 0.1 %RH เนื่องจากการควบคุมอัตราการไหลของอากาศผ่านซิลิกาเจลโดยใช้พัดลมในการควบคุมไม่สามารถที่จะหยุดการทำงานของพัดลมได้ทันทีเพราะใบพัดของพัดลมจะมีความเฉื่อยเนื่องจากน้ำหนักของตัวเอง ทำให้ขณะที่โปรแกรมสั่งหยุดการทำงานของอุปกรณ์พัดลม จะยังมีการทำงานต่อไปเนื่องจากความเฉื่อยของใบพัดในระยะหนึ่งเป็นผลทำให้เกิดการพุ่งเกินของความชื้นเช่นกัน

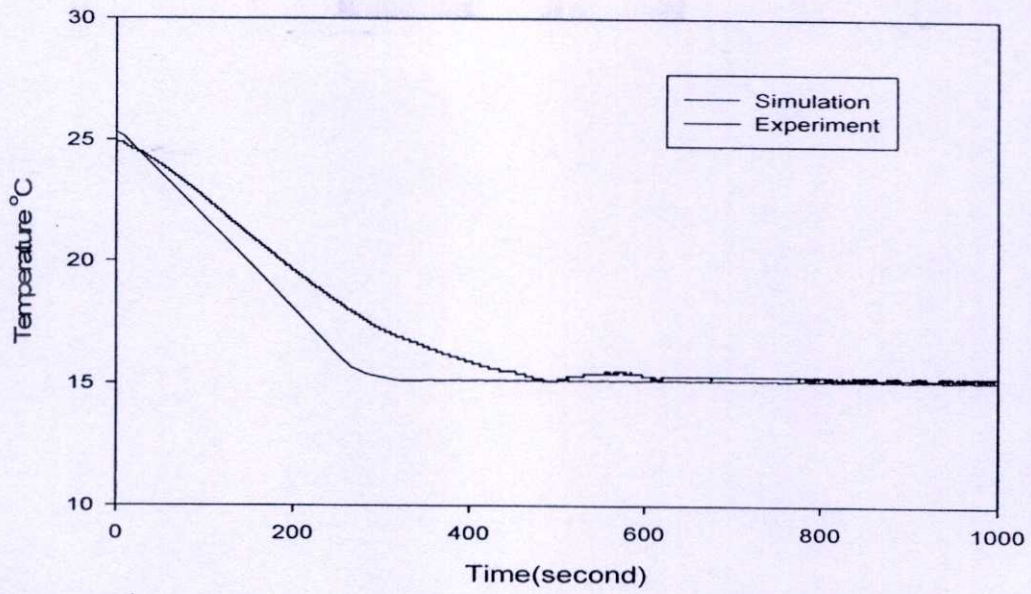
### 7.3 การเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการจำลองการควบคุมและการทดลอง



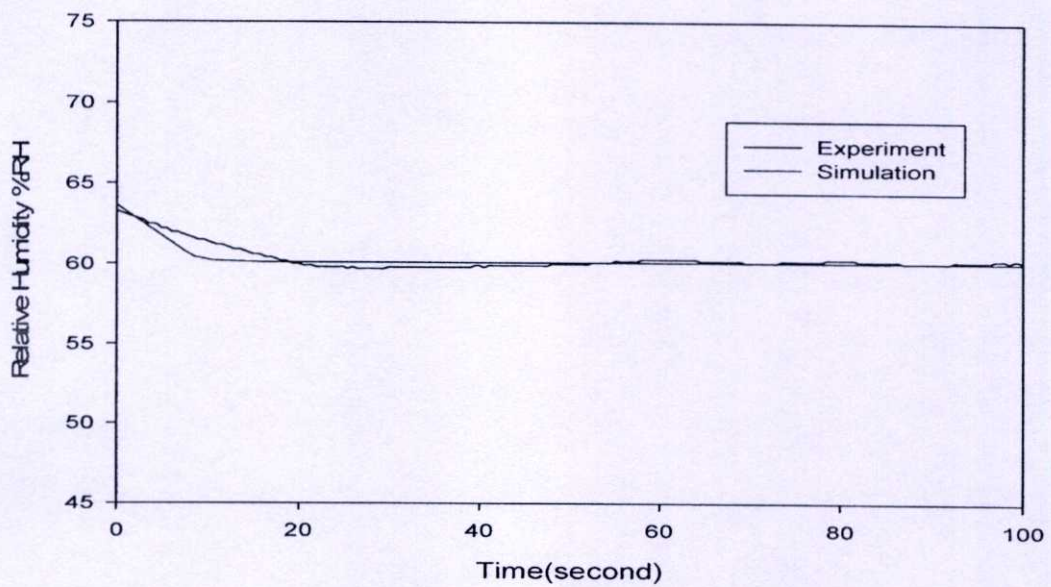
จากรูปที่ 7.17 แสดงผลการเปรียบเทียบผลการจำลองระบบกับผลการทดลอง ที่อุณหภูมิ 15 °C



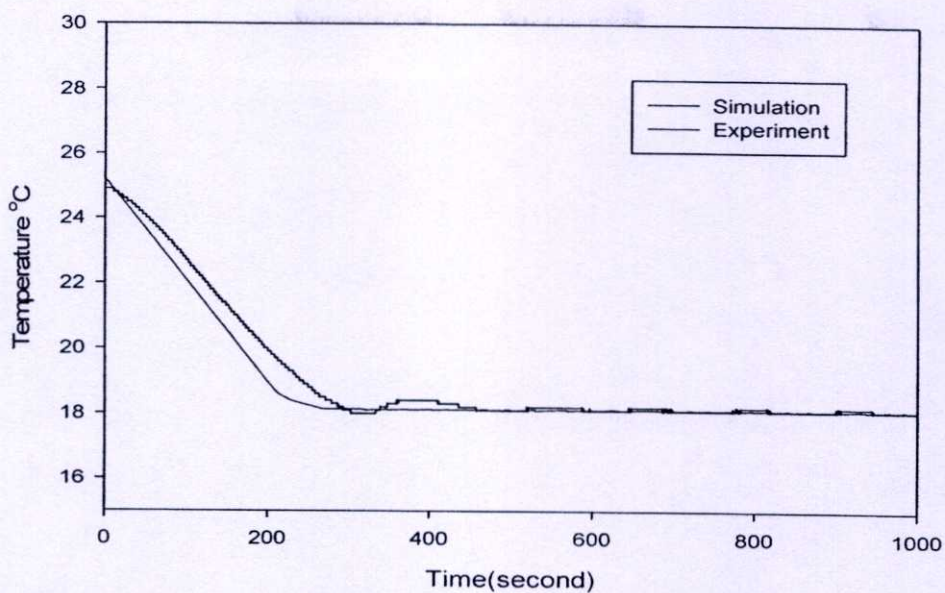
จากรูปที่ 7.18 แสดงผลการเปรียบเทียบผลการจำลองระบบกับผลการทดลอง ที่ความชื้น 45 %RH



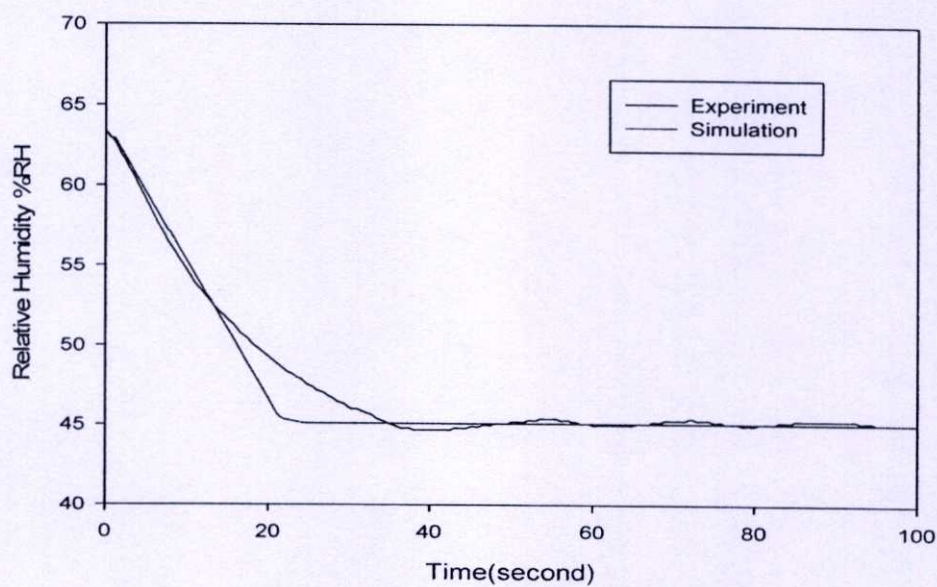
จากรูปที่ 7.19 แสดงการเปรียบเทียบผลการจำลองระบบกับผลการทดลอง ที่อุณหภูมิ 15 °C



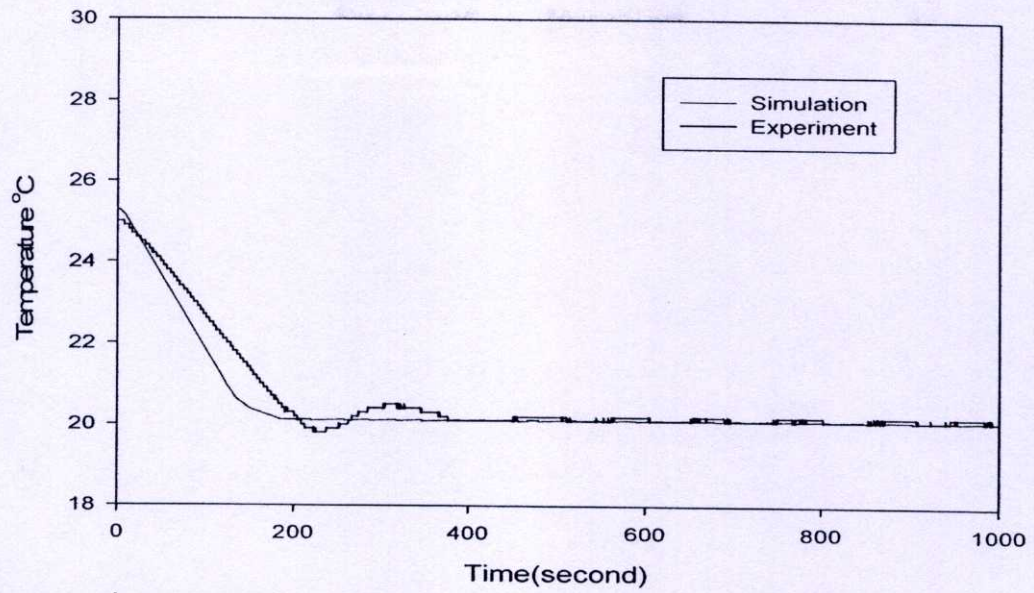
จากรูปที่ 7.20 แสดงการเปรียบเทียบผลการจำลองระบบกับผลการทดลอง ที่ความชื้น 60 %RH



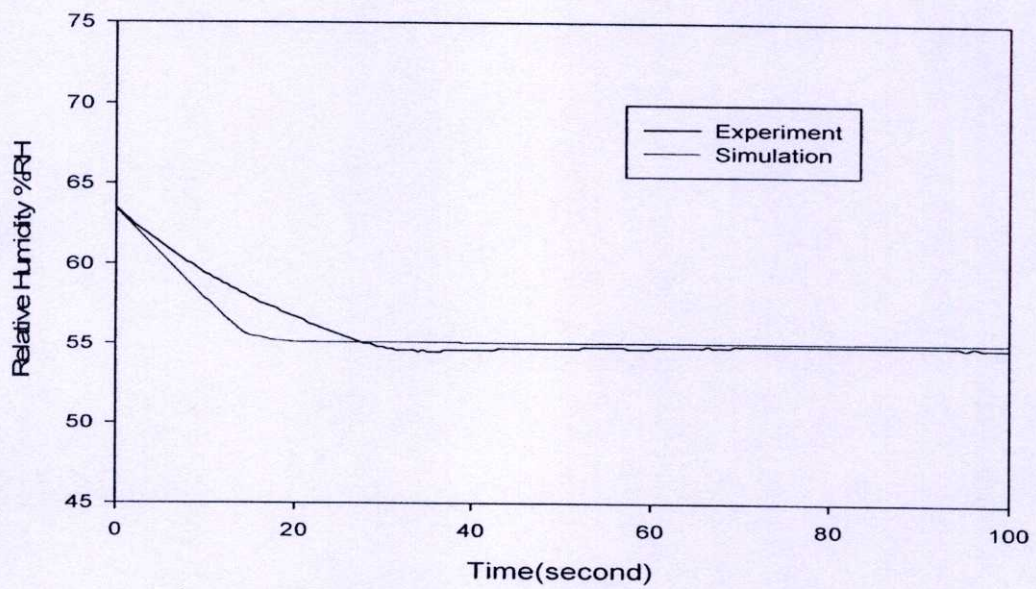
รูปที่ 7.21 แสดงการเปรียบเทียบผลการจำลองระบบกับผลการทดลองที่ อุณหภูมิ 18 °C



รูปที่ 7.22 แสดงการเปรียบเทียบผลการจำลองระบบกับผลการทดลองที่ ความชื้น 45 %RH



รูปที่ 7.23 แสดงการเปรียบเทียบผลการจำลองระบบกับผลการทดลองที่ อุณหภูมิ 20 C



รูปที่ 7.24 แสดงผลการจำลองระบบกับผลการทดลองที่ ความชื้น 55%RH

จากรูปที่ 7.17 และ รูปที่ 7.18 จากโมเดลที่ได้จากการทดลองนำมาจำลอง ระบบควบคุม อุณหภูมิและความชื้นของกล่องควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ เปรียบเทียบผลการทดลองการควบคุม

ผลที่ได้จากการจำลองระบบ และการทดลอง มีการตอบสนองของค่าอุณหภูมิที่กำหนด ต่างกัน ที่เวลา 310 วินาที และ 490 วินาที มีค่าอุณหภูมิต่างกันประมาณ  $0.13^{\circ}\text{C}$  การจำลองระบบมี อุณหภูมิประมาณ  $15.07^{\circ}\text{C}$  ผลต่างประมาณ  $\pm 0.07^{\circ}\text{C}$  ผลการทดลองมีอุณหภูมิประมาณ  $15.2$  ผลต่างประมาณ  $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$

ผลจากการจำลองระบบของความชื้น มีการตอบสนองของค่าความชื้นที่กำหนดต่างกัน ที่ เวลา 23 วินาที และ 31 วินาที มีค่าต่างกันประมาณ 0.15 % การจำลองระบบมีความชื้นประมาณ 45.05 %RH ผลต่างประมาณ 0.05 %RH ผลการทดลองมีค่าความชื้นประมาณ 45.2 %RH ผลต่าง ประมาณ 0.2 %RH

สาเหตุของความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากผลการจำลองระบบ และ ผลของการทดลอง เนื่องมาจาก แบบจำลองปฏิกิริยาสภาวะมีค่าความคลาดเคลื่อนซึ่งเกิดจากวิธีการหาแบบจำลองโดยใช้ ฟังก์ชัน Ident ในโปรแกรม MATLAB และ เกิดจากความเฉื่อยในกระบวนการทำงานของระบบ ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

จากรูปที่ 7.19 และ รูปที่ 7.20 ก็เช่นเดียวกัน ผลที่ได้จากการจำลองระบบ และการทดลอง มีการตอบสนองของค่าอุณหภูมิที่กำหนดต่างกัน ที่เวลา 300 วินาที และ 460 วินาที มีค่าอุณหภูมิ ต่างกันประมาณ  $0.3^{\circ}\text{C}$  การจำลองระบบมีอุณหภูมิประมาณ  $14.9^{\circ}\text{C}$  ผลต่างประมาณ  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$  ผล การทดลองมีอุณหภูมิประมาณ 15.2 ผลต่างประมาณ  $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$

ผลจากการจำลองระบบของความชื้น มีการตอบสนองของค่าความชื้นที่กำหนดและการ ทดลอง ต่างกัน ที่เวลา 13 วินาที และ 32 วินาที มีค่าต่างกันประมาณ 0.1 % การจำลองระบบมี ความชื้นประมาณ 60.1 %RH ผลต่างประมาณ 0.1 %RH ผลการทดลองมีค่าความชื้นประมาณ 60.2 %RH ผลต่างประมาณ 0.2 %RH

จากรูปที่ 7.21 และ รูปที่ 7.22 เป็นการควบคุมอุณหภูมิที่  $18^{\circ}\text{C}$  และควบคุมความชื้นที่ 45 %RH ผลการจำลองการควบคุมอุณหภูมิ และการทดลอง มีการตอบสนองของค่าอุณหภูมิที่กำหนด ต่างกัน ที่เวลา 270 วินาที และ 320 วินาที มีค่าประมาณ  $18.07^{\circ}\text{C}$  ผลต่างอุณหภูมิมีค่าประมาณ  $0.07^{\circ}\text{C}$  ผลของการควบคุมที่ได้จากการทดลองมีค่าประมาณ  $18.1^{\circ}\text{C}$  ผลต่างอุณหภูมิมีค่าประมาณ  $0.1^{\circ}\text{C}$  และผลการจำลองการควบคุมความชื้น และการทดลอง มีการตอบสนองของค่าความชื้นที่ กำหนดต่างกัน ที่เวลา 24 วินาที และ 40 วินาที มีค่าประมาณ 45.05 %RH ผลต่างความชื้นมี ค่าประมาณ 0.05 % และผลต่างของการควบคุมที่ได้จากการทดลองควบคุมความชื้นมีค่าประมาณ 45.2 %RH ผลต่างความชื้นมีค่าประมาณ 0.2%

จากรูปที่ 7.23 และ รูปที่ 7.24 เป็นการควบคุมอุณหภูมิที่  $20^{\circ}\text{C}$  และควบคุมความชื้นที่ 55 %RH ผลการจำลองการควบคุมอุณหภูมิ และการทดลองต่างกัน ที่เวลา 198 วินาที และ 250 วินาที มีค่าประมาณ  $20.07^{\circ}\text{C}$  ผลต่างอุณหภูมิมีค่าประมาณ  $0.07^{\circ}\text{C}$  ผลของการควบคุมที่ได้จากการทดลองมีค่าประมาณ  $20.1^{\circ}\text{C}$  ผลต่างอุณหภูมิมีค่าประมาณ  $0.1^{\circ}\text{C}$  และผลการจำลองการควบคุมความชื้นและการทดลอง ต่างกัน ที่เวลา 20 วินาที และ 65 วินาทีที่มีค่าประมาณ 55.04 %RH ผลต่างความชื้นมีค่าประมาณ 0.04 % และผลต่างของการควบคุมที่ได้จากการทดลองควบคุมความชื้นมีค่าประมาณ 55.2 %RH ผลต่างความชื้นมีค่าประมาณ 0.2 %

ผลที่ได้จากการเปรียบเทียบระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของกล่องควบคุมอิเล็กทรอนิกส์แสดงให้เห็นว่า การควบคุมของการจำลองระบบและการควบคุมที่ได้จากการทดลอง มีค่าที่ใกล้เคียงกันมีความผิดพลาดที่ต่างกันเล็กน้อย เนื่องจากการหาโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากฟังก์ชัน Ident ในโปรแกรม MATLAB

## บทที่ 8

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาต้นแบบระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในกล่องควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ โดยการประยุกต์ใช้อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์ในการให้กำเนิดความร้อนหรือความเย็น ใช้ซิลิก้าเจลในการควบคุมความชื้นในระบบควบคุม ใช้ระบบควบคุมแบบพีซีซึ่งถือเป็นตัวควบคุมให้มีความเหมาะสมที่สุด สามารถนำไปประยุกต์ในทางปฏิบัติได้และสามารถสรุปได้ดังนี้

#### 8.1 สรุปผลการวิจัย

- 1) สามารถนำอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์มาใช้เป็นแหล่งกำเนิดความเย็นหรือความร้อนโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้กล่องควบคุมมีอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมกับการใช้งานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
- 2) การเปรียบเทียบกับแบบจำลองปริภูมิสถานะกับผลการทดลอง มีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกัน โดยมีค่าความผิดพลาดมากที่สุด  $\pm 0.2^{\circ}C$ ,  $\pm 0.1\%RH$
- 3) การควบคุมอุณหภูมิของระบบโดยใช้อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์สามารถออกแบบให้ควบคุมอุณหภูมิได้ตั้งแต่  $15^{\circ}C$  ถึง  $50^{\circ}C$  และ การใช้ซิลิก้าเจลสามารถควบคุมความชื้นได้ต่ำสุดที่ 45 %RH ซึ่งครอบคลุมช่วงการทำงานที่เหมาะสมของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สถานะ ( $15-20^{\circ}C$ , 40-60%RH)
- 4) ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นจากการทดลองที่ได้ มีค่าความแม่นยำสูง โดยให้ค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิและความชื้นเป็น  $\pm 0.3^{\circ}C$ ,  $\pm 0.2\%RH$  ตามลำดับ
- 5) สาเหตุที่อุณหภูมิเข้าสู่ช่วงสถานะคงตัวช้ากว่าความชื้นสัมพัทธ์ เป็นเพราะในขณะที่เริ่มทำการทดสอบหรือทดลองอุณหภูมิของตัวกล่องควบคุมและอุปกรณ์ที่อยู่ในกล่องควบคุมมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิบรรยากาศภายนอกกล่องควบคุมดังนั้นการลดอุณหภูมิของกล่องควบคุมและอุปกรณ์ภายในกล่องควบคุมเพื่อให้อยู่ในช่วงอุณหภูมิที่เราต้องการ รวมถึงมีค่าความร้อนจากภายนอกกล่องควบคุมเข้ามาในระบบจึงต้องใช้เวลาในการถ่ายเทความร้อนออกจากกล่องควบคุมจนอุณหภูมิของอุปกรณ์และตัวกล่องควบคุมเท่ากับอุณหภูมิที่ต้องการแต่กล่องควบคุมมีการปิดผนึกทุกด้านดังนั้นความชื้นจากบรรยากาศภายนอกจึงรั่วเข้ามาในกล่องควบคุมได้ยากและอุปกรณ์ที่อยู่ในกล่องควบคุมก็ไม่มีการผลิตความชื้นออกมาเป็นผลให้ความชื้นสัมพัทธ์ถูกกำจัดออกได้เร็วกว่าอุณหภูมิเป็นผลให้อุณหภูมิเข้าสู่สถานะคงตัวช้ากว่าความชื้นสัมพัทธ์

- 6) สาเหตุที่ทำให้เวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัวของการทดลองช้ากว่าการจำลองผลด้วยคอมพิวเตอร์ เนื่องจากการสร้างโมเดลใช้ข้อมูลจากการทดลองในการสร้างโมเดลซึ่งในการสร้างโมเดลดังกล่าวจะมีค่าความผิดพลาดจากการคำนวณเพื่อสร้างแบบจำลองออกมาและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองไม่สามารถจัดหาอุปกรณ์ที่มีการตอบสนองได้อย่างรวดเร็วเนื่องจากราคาอุปกรณ์ดังกล่าวมีราคาค่อนข้างสูงดังนั้นเมื่อใช้อุปกรณ์ที่มีการตอบสนองไม่เร็วพอเป็นผลให้ผลที่ได้จากการทดลองมีการตอบสนองช้ากว่าการจำลองผลจากคอมพิวเตอร์
- 7) จากการทดลองและการจำลองผลด้วยคอมพิวเตอร์พบว่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของกล่องควบคุมมีค่าความคลาดเคลื่อนจากค่าที่ต้องการน้อย ดังนั้นจึงสามารถนำไปประยุกต์สำหรับการใช้งานกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ต้องการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ได้เป็นอย่างดีและมีประสิทธิภาพ
- 8) จากงานวิจัยนี้ทำให้ทราบถึงวิธีการควบคุมแบบพีชชีลลจิก ซึ่งถือว่าเป็นระบบควบคุมที่ให้ประสิทธิภาพสูงระบบหนึ่ง โดยมีความเหมาะสมในการใช้กับกระบวนการควบคุมอุณหภูมิที่มีความชื้นร่วมด้วย เนื่องจากผลผลตอบสนองของการควบคุมที่ได้สอดคล้องกับแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์เป็นอย่างดีส่งผลให้การควบคุมเป็นไปอย่างแม่นยำเหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ต้องการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นเพื่อให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- 9) ความแม่นยำในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของระบบควบคุมที่ได้พัฒนาออกแบบให้ความแม่นยำสูงการตอบสนองและการเข้าสู่สภาวะคงตัวได้เร็วกว่าระบบปรับอากาศที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

## 8.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) จากงานวิจัยระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ได้ออกแบบไว้โดยใช้การควบคุมแบบพีชชีลลจิก จะเหมาะสมกับการใช้งานในช่วงอุณหภูมิ  $15^{\circ}\text{C} - 50^{\circ}\text{C}$  ทั้งนี้ได้มีการกำหนดตัวแปรให้เป็นค่าคงที่ แต่ถ้าพัฒนาให้ตัวแปรเปลี่ยนค่าได้ (self tuning) จะส่งผลให้การควบคุมมีความถูกต้องมากขึ้นในสภาวะการทำงานที่อุณหภูมิเดียวกัน
- 2) อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้มีขนาดเล็กจึงใช้จำนวนโมดูล 4 โมดูล โดยสามารถทำความเย็นให้ระบบได้ต่ำสุด  $15^{\circ}\text{C}$  หากเลือกใช้อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่มีขนาดใหญ่ขึ้น จะทำให้สามารถทำความเย็นให้กับระบบได้ต่ำกว่าและรวดเร็วกว่า
- 3) ซิลิกาเจลที่ใช้ในการควบคุมความชื้นมีความอึดตัวเมื่อถูกใช้งานผ่านไประยะเวลาหนึ่ง จึงควรทำการเปลี่ยนใหม่

- 4) เซอร์โวมอเตอร์ที่ใช้ควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกมีการตอบสนองต่อโปรแกรมที่ค่อนข้างช้าจึงทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้น ควรที่จะเปลี่ยนเป็นวงจรจ่ายกระแสไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่มีการตอบสนองแบบทันที
- 5) Heatsink ภายนอก สามารถเปลี่ยนเป็นระบบที่ระบายความร้อนด้วยน้ำจะทำให้มีการระบายความร้อนออกสู่บรรยากาศได้ดีและเร็วขึ้น จะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ด้านเย็นไปด้านร้อนของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก เร็วขึ้น มีผลทำให้ระบบสามารถใช้เวลาในการทำความเย็นได้เร็วกว่าและต่ำกว่า
- 6) ในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นจำเป็นต้องควบคุมให้อยู่ช่วงอุณหภูมิและความชื้นที่สถานะหนึ่ง (15-20°C, 40-60%RH) เป็นเพราะค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่อยู่ในกล่องคุมสูงเกินไปจะทำให้มีโอกาสเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เพิ่มขึ้นส่งผลให้เพิ่มโอกาสการลัดวงจรหรือความเสียหายต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แต่ถ้าความชื้นภายในกล่องควบคุมน้อยเกินไปจะมีโอกาสเกิดไฟฟ้าสถิตของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เหล่านั้นเพิ่มขึ้นเป็นผลให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เกิดการเสียหายได้ในขณะใช้งาน ผลของอุณหภูมิในช่วงใช้งานที่สูงเกินไปส่งผลให้การทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เกิดความผิดพลาดได้เป็นผลให้การทำงานของอุปกรณ์อื่นที่ใช้ชุดอิเล็กทรอนิกส์นี้ควบคุมทำงานผิดพลาดได้

## บรรณานุกรม

- [1] [http://www.eeit.or.th/articles/heatpump/heatpump\\_01.htm](http://www.eeit.or.th/articles/heatpump/heatpump_01.htm)
- [2] [http://www.eeit.or.th/articles/heatpump\\_environment/hp\\_env\\_03.htm](http://www.eeit.or.th/articles/heatpump_environment/hp_env_03.htm)
- [3] เจิม ตรงนิตย์ วิศวกรโครงการมูลนิธิสถาบันประสิทธิภาพ พลังงาน (ประเทศไทย) ข้อมูลจาก [www.achrnews.com](http://www.achrnews.com), [www.york.com](http://www.york.com), [www.hawco.co.u](http://www.hawco.co.u) , [www.marketdevelop.co](http://www.marketdevelop.co)
- [4] <http://www.viboon.com/oth/oth35.htm>
- [5] [http://www.eeit.or.th/articles/HP\\_International/HP\\_Newyork.htm](http://www.eeit.or.th/articles/HP_International/HP_Newyork.htm)
- [6] Simon, R.E., and Chu, R.C., “ **Application of Thermoelectric Cooling to Electronic Equipment: A Review and Analysis,**” Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium, Sixteenth Annual IEEE, , pp. 1-8
- [7] S.B. Riffat, and Guoquan Qiu, 2003, “**Comparative investigation of thermoelectric air-conditioners versus vapour compression and absorption air- conditioners,**” Institute of Sustainable Energy and Technology, School of the Built Environment The University of Nottingham, University Park, Nottingham NGL 2 RD, UK.
- [8] S.B. Riffat, and Xiaoli Ma, 2002, “**Thermoelectrics: a review of present and potential applications,**” Institute of Building Technology School of the Built Environment, The University of Nottingham, University Park, Nottingham NG7 2RD, UK.
- [9] Wu, C., and Schulden, W., “ **Specific Heating Load of Thermoelectric Heat Pumps,**” Energy Conversion Management, Vol. 35, No.6, 1993, PP.459-464.
- [10] Masnori Arima., Elmer H.,Hara., Jack D.Katzberg. “ **A Fuzzy Logic and Rough Sets Controller for HVAC System** “ .IEEE WESCANEX’ 95 PROCEEDING. 1995
- [11] Maher Hamdi., Gerard Lachiver. “ **A Fuzzy Control System based on the Human Sensation of Thermal Comfort**” .pp. 487-492. IEEE. 1998
- [12] Robert N.Lea., Edgar Dohmann., Wayne Prebilsky., Yashvant Jani. “**An HVAC Fuzzy Logic Zone Control System and Performance Results**”, pp. 2175-2180. IEEE 1996
- [13] Jun Yan., Michael Ryan., James Power. **Using Fuzzy Logic.** Prentice Hall. 1994
- [14] Dumiter Driankov., Hans Hellendoorn., Michael Reinfrank. “ **An Introduction to Fuzzy Control**”. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 1993
- [15] เจริญพร เลิศสถิตชนกร,วิชาญ ศรีสุวรรณ ”การศึกษาเชิงทดลองของฝ้าเพดานทำความเย็นแบบเทอร์โมอิเล็กทริก” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 18, 2547

- [16] Dennis Piechota “**Humidity Control in Cases: Buffered Silica Gel versus Saturated Salt Solutions**”, WAAC Newsletter, Volume 15, Number 1, Jan. 1992, pp.19-21
- [17] Louis D. Albright., Richard S. Gates., Kostas G.Arvanistis., Alan E. Drysdale., “**Environmental Control for Plants on Earth and in Space**”, IEEE Control System Magazine, pp.28-47., October 2001
- [18] Ljung L., “ **System Identification – Theory for the User** “, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J. 1987.
- [19] Soderstrom T. and P. Stoica. “**System Identification**”, Prentice Hall International, London. 1989.
- [20] Jer-Nan Juang, Minh Q. Phan”**Identification and control of mechanical systems**” Cambridge University Press, c2006
- [21] Timothy J. Ross”**Fuzzy logic with engineering applications** “New York : McGraw-Hill, c1995
- [22] Roberto Setola, Francesco Vasca”**Using MATLAB, SIMULINK and control system toolbox : a practical approach**” London : Prentice Hall, c1996
- [23] Lennart Ljung “**System Identification Toolbox™ 7 User’s Guide**”
- [24] Using Simulink “**SIMULINK Dynamic System Simulation for MATLAB**”
- [25] Li-Xin Wang,”**A Course in Fuzzy System and Control.**” Prentice-Hall International, Inc. 1997.
- [26] Katsuhiko Otaga, “**Modern Control Engineering.**”, Prentice-Hall International, Inc. 1997.
- [27] วศิณ สารวิทย์ “**การควบคุมหลายตัวแปรของระบบปรับอากาศโดยใช้ฟuzzy logic**”, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , พ.ศ. 2548
- [28] คมกฤษ รามัญ, อำนวย กาศักดิ์, สิทธิชัย บุญปัทสน์ , เสถียร ธัญญศรีรัตน์ , เทียนชัย สุขศรี “**การควบคุมอุณหภูมิของกระบวนการเตาอบด้วยตัวควบคุมฟuzzy logic**” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 21, 2550
- [29] สรวุฒิ สุจิตจร “**การควบคุมอัตโนมัติ**” บริษัท เพียร์สัน เอ็ดดูเคชั่น อินโดไชน่า จำกัด 2546
- [30] ประจัน พลังสันติกุล “**เรียนรู้และใช้งาน CCS C คอมไพเลอร์**” หนังสือชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ บริษัทอินโนเวทีฟ เอ็กเพอริเมนส์ จำกัด 2549
- [31] เจริญ เพชรมณี “**เรียนรู้ LabVIEW**” บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด(มหาชน) 2547
- [32] อัครเดช สีนุรักษ์ “**การทำความเย็น**” พิมพ์ครั้งที่ 6, 2547

- [33] ณัฐพล วงศ์สันทรชัย, ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล “เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A” บริษัท อิน โนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด
- [34] <http://edboyden.org/constants.html>

ภาคผนวก

**ภาคผนวก ก.**  
**ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์**

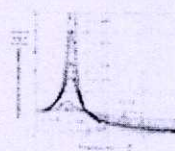
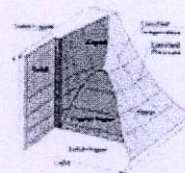


# การประชุมวิชาการ

เครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 21

วันที่ 17 - 19 ตุลาคม 2550

ณ โรงแรมเวลคัม จอมเทียน บีช จ.ชลบุรี



ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล กองวิชาวิศวกรรมศาสตร์  
กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศ



ผู้สนับสนุนหลัก



ผู้ร่วมสนับสนุน

## ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นโดยใช้ เทอร์โมอิเล็กทริก

### A Temperature and Humidity Control System Using Thermoelectric Material

คมสัน มุยสี มงคล มงคลวงศ์โรจน์ ทวี เทศเจริญ

ห้องปฏิบัติการเครื่องกลไฟฟ้า สำนักวิจัยการสื่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

K. Muyssee, M. Mongkolwongroj, T. Teschareon

Electro-Mechanical Engineering Lab, ReCCIT, Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand

#### บทคัดย่อ

สมรรถนะของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก และ ระบบที่ใช้ อุปกรณ์ดังกล่าว ปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก และศักยภาพทางการตลาดของอุปกรณ์เหล่านี้ได้กลายเป็นสิ่งที่ น่าสนใจ บทความนี้เป็น การนำเสนอเกี่ยวกับการพัฒนาระบบควบคุม อุณหภูมิและความชื้นในสภาวะที่ความชื้นสัมพัทธ์สูง ๆ โดยการใช้ อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก

ระบบควบคุมประกอบด้วย การทำความเย็นและการทำความ ร้อนด้วยอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกและใช้ตัวกำเนิดความชื้นในการ ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งระบบนี้เป็นระบบป้อนกลับที่มี เป้าหมายสำหรับเพิ่มประสิทธิภาพและประหยัดพลังงาน ซึ่งจะมี ความเหมาะสมมากในระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ต้อง ใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะที่ต้องการ ซึ่งการนำเสนอของระบบนี้จะเป็น วิธีการหาการควบคุมระบบรวมเพื่อให้ได้ระบบที่เหมาะสมที่สุดและ ประสิทธิภาพที่ดี ในการทดลองนี้จะแสดงถึงประสิทธิภาพและผลการ ทดลองในรูปของสภาวะที่ต้องการและการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และความชื้นของระบบควบคุมที่ใช้ อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก

#### Abstract

Performances of thermoelectric materials and systems that utilize them became more interesting in the technology and potential new markets. This paper presents the development of a temperature and humidity control system specially for high humidity environmental conditions using thermoelectric devices.

The system consists of multiple cooling and/or heating thermoelectric devices and a steam generator in order to be able to control both temperature and humidity. The feedback control was proposed for performance enhancement and energy saving. It is very suitable for temperature and humidity control system

that has time delay. The implementation of control approach to optimize the overall control and detain an enhanced and robust performance. The performance analysis and experimental results show the practicability of the proposed system and its viability in the real temperature and humidity control system using thermoelectric devices

#### 1. บทนำ

ปัจจุบันในประเทศไทยมีการใช้ระบบทำความเย็นกันอย่าง แพร่หลายและสามารถพบเห็นได้ทั้งในระดับครัวเรือนจนถึงระดับ อุตสาหกรรมขนาดใหญ่ โดยเฉพาะอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับอาหาร หรือการเกษตรรวมถึงการถนอมอาหาร ระบบทำความเย็นถือเป็นส่วน หนึ่งของการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในประเทศซึ่งมีแนวโน้มสูงขึ้น ตลอดเวลา ซึ่งอุปกรณ์ทำความเย็นภายในประเทศเกือบทั้งหมดใช้ คอมเพรสเซอร์แบบอัดไอและใช้สารทำความเย็น คือ คลอโรฟลูออโร คาร์บอน เมื่อระบบเกิดการรั่วไหลเข้าสู่บรรยากาศจะทำให้เกิดผล กระทบต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากการทำลายโอโซนชั้นบรรยากาศทำให้ เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก เป็นต้น เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าว แนวทางการแก้ไขจึงนำเทอร์โมอิเล็กทริก มาประยุกต์ใช้ในการควบคุม สภาวะอากาศซึ่งอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ชนิดหนึ่งที่สามารถใช้สร้างความร้อนและความเย็นได้เพียงแค่จ่าย กระแสไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ ด้วยข้อดีคือ ใช้พลังงานน้อย เป็นอุปกรณ์ ขนาดเล็ก มีน้ำหนักเบา ไม่มีเสียงดังขณะทำงาน ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม เป็นต้น งานวิจัยชิ้นนี้จะศึกษากระบวนการควบคุมสภาวะอากาศภายใน กล้องทดลองด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกและตัวกำเนิดความชื้น ซึ่งมีขนาด ภายใน ขนาด 7x10x7 in แล้วทำการทดลอง เพื่อพิจารณาความเป็นไป ได้ในการพัฒนาต่อไป

2. การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

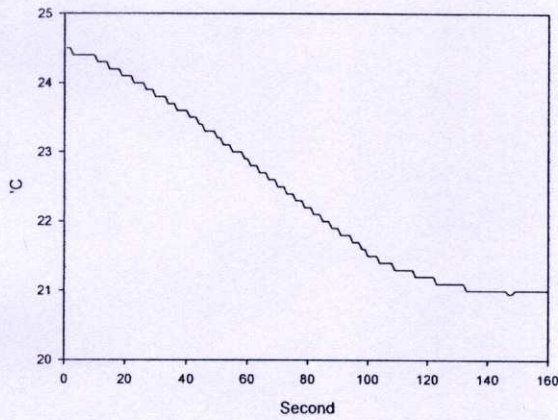
ในบทความวิจัยนี้ได้ฟังก์ชันถ่ายโอนเป็นระบบอันดับที่หนึ่ง

$$g_{i,j}(s) = \frac{Ke^{Ts}}{1 + \tau s} \quad (1)$$

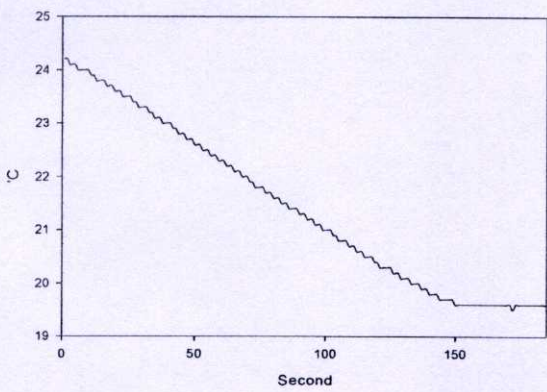
,  $i = 1, 2$   
 $j = 1, 2$

ที่  $K$  = อัตราขยายของระบบ  
 $\tau$  = ค่าคงที่ทางเวลาของระบบ (time constant)  
 $e^{Ts}$  = พจน์ประวิงเวลา (delay time)

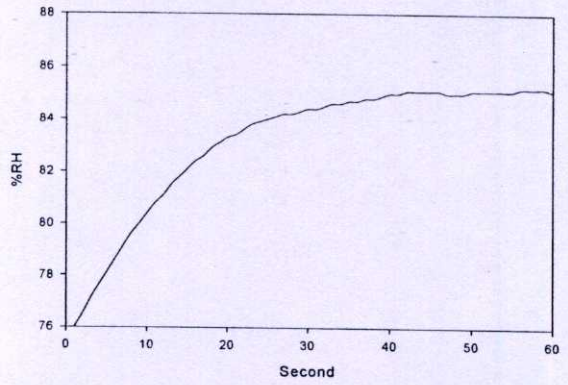
ในการหาแบบจำลองของระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นจะใช้ Graph การตอบสนองของแบบจำลองภายใต้ input step function ดังแสดงในรูปที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ



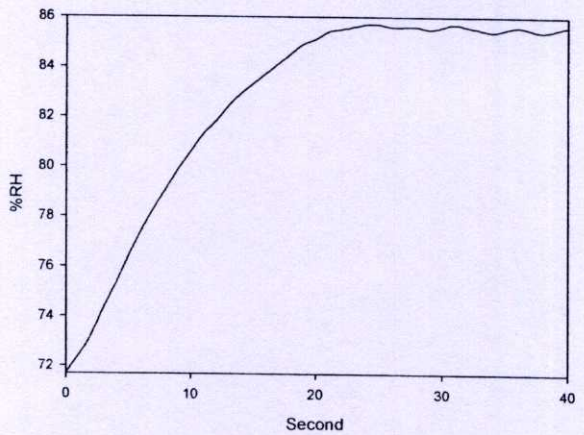
รูปที่1 แสดงการตอบสนองต่ออินพุตแบบอิมพัลส์ ของg11 ที่ 37%  $\tau = 82$  s



รูปที่2 แสดงการตอบสนองต่ออินพุตแบบอิมพัลส์ ของg12 ที่ 37%  $\tau = 84$  s



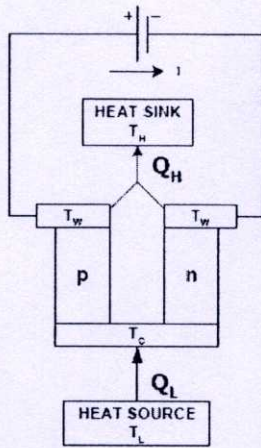
รูปที่3 แสดงการตอบสนองต่ออินพุตแบบอิมพัลส์ ของg21 ที่ 63%  $\tau = 17$  s



รูปที่4 แสดงการตอบสนองต่ออินพุตแบบอิมพัลส์ ของg22 ที่ 63%  $\tau = 11$  s

3. เทอร์โมอิเล็กทริกและการถ่ายเทความร้อน

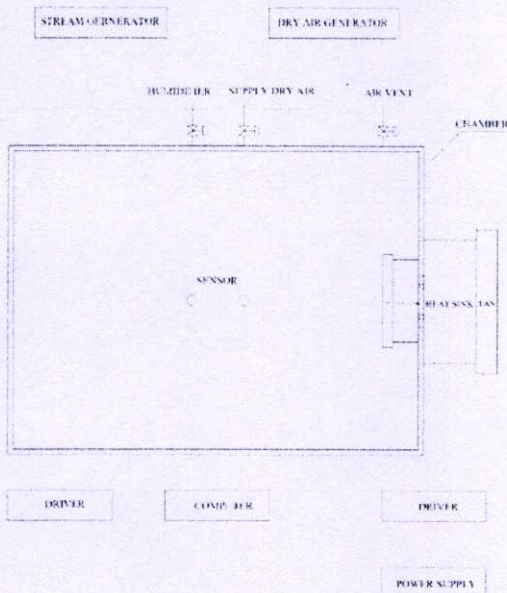
ในปี ค.ศ.1834 ผอง ซี. เอ. เพลเทียร์ (Jean C. A. Peltier) นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศส พบว่าเมื่อผ่านไฟฟ้ากระแสตรงให้กับรอยต่อของสารกึ่งตัวนำสองด้านจะกลายเป็นผิวร้อน(hot surface) และผิวเย็น (cold surface) ขึ้นกับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า ปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Peltier effect) ในทางกลับกันถ้าถ่ายเทความร้อนให้กับผิวด้านหนึ่งจะเกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นเรียกว่า ซีเบ็คโวลต์เตจ (Seebeck voltage) สารกึ่งตัวนำดังกล่าวเรียกว่า p-n junctions แสดงดังรูปที่5 โดยที่การผลิตกระแสไฟฟ้าจะต่อแบบอนุกรม การทำความเย็นจะต่อแบบขนานแซนวิชระหว่างแผ่นฉนวนเซรามิก อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่อาศัยหลักการของปรากฏการณ์เพลเทียร์ซึ่งจัดเป็นปั๊มความร้อน(heat pump) เรียกว่าเทอร์โมอิเล็กทริก



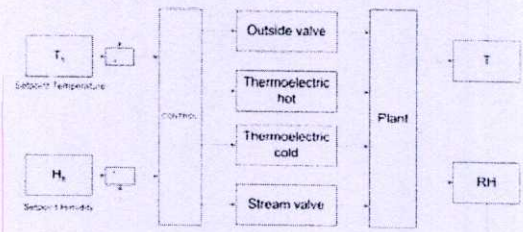
รูปที่ 5 หลักการทำงานเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก

4. ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

ระบบที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยอุปกรณ์ เทอร์โมอิเล็กทริก และ เครื่องให้กำเนิดไอน้ำ และ คอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นดังแสดงในรูปที่ 6 อุณหภูมิและความชื้นของอากาศในห้องควบคุมถูกเปลี่ยนแปลงโดยการทำความเย็นหรือทำความร้อนและลดความชื้นหรือเพิ่มความชื้น การควบคุมอุณหภูมิทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าผ่านเข้าอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกส่วนการควบคุมความชื้นทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงองศาของวาล์วควบคุมอัตราการไหล ดังรูปที่ 7



รูปที่6 กล้องควบคุมอุณหภูมิและความชื้น



รูปที่7 แผนผังการควบคุมอุปกรณ์

5.แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ

จากรูปที่ 6 ได้ทำการทดลองเพื่อหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นแบบการควบคุมหลายตัวแปร โดยการเปลี่ยนแปลงความร้อนและความชื้น แล้วบันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้น จะได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ อันดับหนึ่ง มีเทอร์มการหน่วงเวลา ในรูปเมตริกซ์ทรานเฟอร์ฟังก์ชันดังสมการที่ (2) และทรานเฟอร์ฟังก์ชันของระบบดังสมการ (3), (4), (5), (5), (6)

$$\begin{Bmatrix} T(s) \\ RH(s) \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} V(s) \\ Q(s) \end{Bmatrix} \quad (2)$$

ที่ 
$$g_{11} = \frac{1.25e^{-0.062s}}{1 + 82s} \quad (3)$$

$$g_{12} = \frac{683.3e^{-0.0002s}}{1 + 84s} \quad (4)$$

$$g_{21} = \frac{7.08e^{-0.062s}}{1 + 17s} \quad (5)$$

$$g_{22} = \frac{3874.2e^{-0.0002s}}{1 + 11s} \quad (6)$$

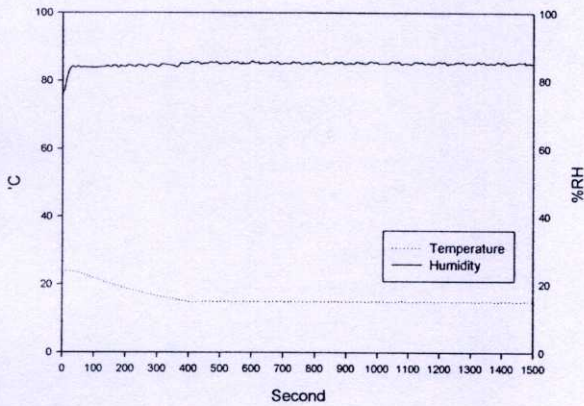
- $T(s)$  = อุณหภูมิที่กำหนด
- $RH(s)$  = ความชื้นที่กำหนด
- $V(s)$  = สัญญาณควบคุมการปรับเปลี่ยน โวลต์
- $Q(s)$  = สัญญาณควบคุมการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของไอน้ำ

6.ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้แสดงการออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก ผลการทดลองได้แสดงการตอบสนองของอุณหภูมิและความชื้นที่สภาวะต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 8 ถึงรูปที่13. รูปที่ 8 แสดงผลของอุณหภูมิและความชื้นของระบบควบคุมโดยกำหนดอุณหภูมิและความชื้นที่15C 85%RH สภาวะ

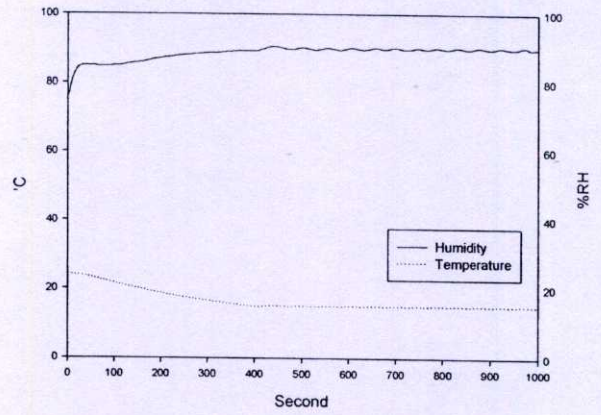
เริ่มต้นที่ 24°C และ 74%RH ใช้เวลาการตอบสนองของอุณหภูมิและความชื้นเข้าสู่สภาวะคงตัวเท่ากับ 410 และ 380 วินาที ตามลำดับ ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดในสภาวะคงตัว  $\pm 0.2^{\circ}C$  และ  $\pm 0.6\%RH$  ในการทดลองเมื่อค่า set point อยู่ที่ 15°C และ 90%RH โดยสภาวะเริ่มต้นที่ 24°C และ 74%RH เวลาของการตอบสนองของอุณหภูมิและความชื้นเข้าสู่สภาวะคงตัวอยู่ที่ 422 และ 410 วินาที ค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่  $\pm 0.1^{\circ}C$  และ  $\pm 0.4\%RH$  ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 9. ที่สภาวะเริ่มต้น 24°C และ 74%RH เวลาการตอบสนองของอุณหภูมิและความชื้นเข้าสู่สภาวะคงตัวที่ 434 และ 671 วินาที ค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่  $\pm 0.2^{\circ}C$  และ  $\pm 0.4\%RH$  ตามลำดับแสดงดังรูปที่ 10. ที่สภาวะเริ่มต้น 24°C และ 75%RH ใช้ เวลาการตอบสนองของอุณหภูมิและความชื้นเข้าสู่สภาวะคงตัวเท่ากับ 63 และ 134วินาที ค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่  $\pm 0.2^{\circ}C$  และ  $\pm 0.6\%RH$  ตามลำดับแสดงดังรูปที่ 11. ที่สภาวะเริ่มต้น 24°C และ 74%RH ใช้เวลาการตอบสนองของอุณหภูมิและความชื้นเข้าสู่สภาวะคงตัวเท่ากับ 82 และ 38วินาที ค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่  $\pm 0.4^{\circ}C$  และ  $\pm 0.7\%RH$  ตามลำดับแสดงดังรูปที่ 12. ที่สภาวะเริ่มต้น 24°C และ 75%RH ใช้เวลาการตอบสนองของอุณหภูมิและความชื้นเข้าสู่สภาวะคงตัวเท่ากับ 120 และ 96วินาที ค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่  $\pm 0.4^{\circ}C$  และ  $\pm 0.2\%RH$  ตามลำดับแสดงดังรูปที่ 13.

15°C - 85%RH



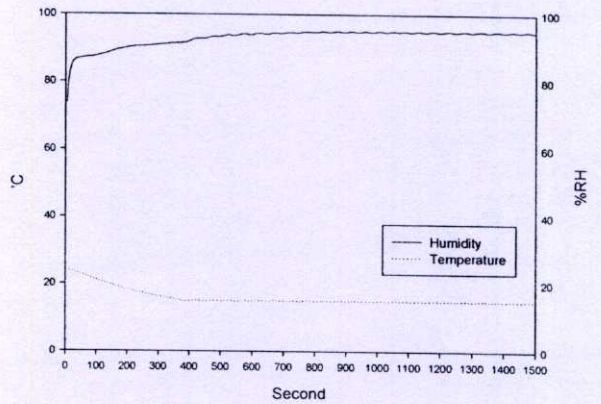
รูปที่ 8 ผลการตอบสนองของอุณหภูมิและความชื้นที่ 15°C 85%RH

15°C - 90%RH



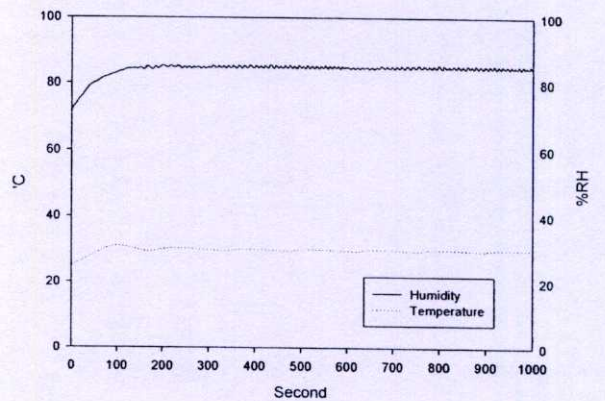
รูปที่ 9 ผลการตอบสนองของอุณหภูมิและความชื้นที่ 15°C 90%RH

15°C - 95%RH



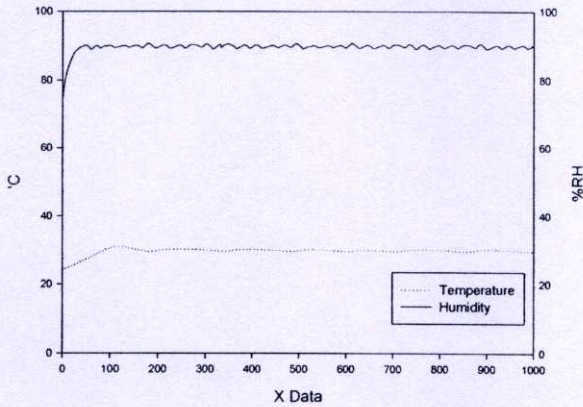
รูปที่ 10 ผลการตอบสนองของอุณหภูมิและความชื้นที่ 15°C 95%RH

30°C - 85%RH



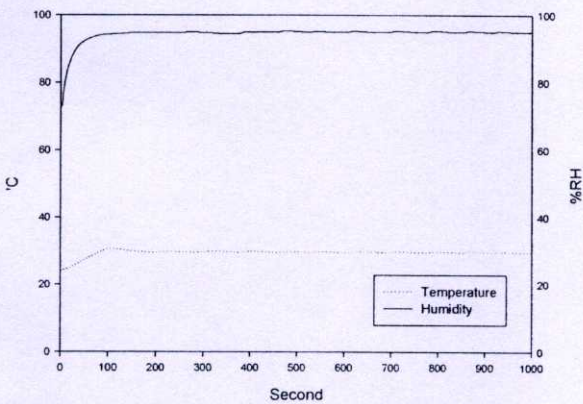
รูปที่ 11 ผลการตอบสนองของอุณหภูมิและความชื้นที่ 30°C 85%RH

30°C - 90%RH



รูปที่12 ผลการตอบสนองของอุณหภูมิและความชื้นที่ 30°C 90%RH

30°C - 95%RH



รูปที่13 ผลการตอบสนองของอุณหภูมิและความชื้นที่ 30°C 95%RH

7. สรุป

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาต้นแบบระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกและชุดกำเนิดไอน้ำที่สามารถนำไปประยุกต์ในทางปฏิบัติได้และสามารถสรุปได้ดังนี้

- 1) ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นนี้สามารถควบคุมอุณหภูมิตั้งแต่ 15°C ถึง 60°C และความชื้นตั้งแต่ 40% ถึง 95%RH
- 2) ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นมีความแม่นยำสูง ให้ค่าความคลาดเคลื่อน  $\pm 0.4^{\circ}C$ ,  $\pm 0.7\%RH$

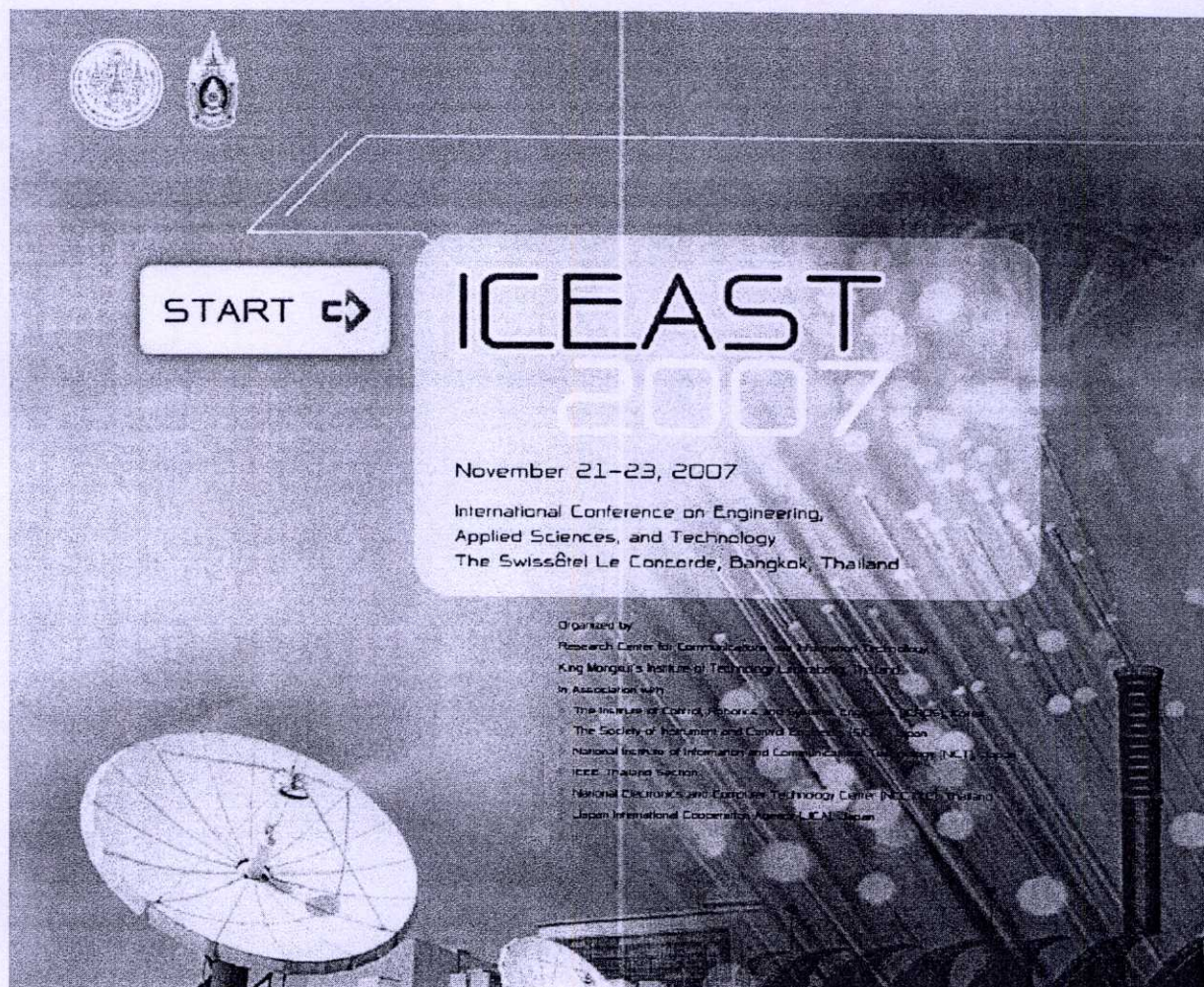
8.กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ห้องปฏิบัติการวิจัยวิศวกรรมเครื่องกลไฟฟ้า

สำนักวิจัยการสื่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศ(ReCCIT) ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยนี้

REFERENCES

- [1] สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ <http://www.thaieei.com>
- [2] สราวุฒิ สุจิตจร "การควบคุมอัตโนมัติ"
- [3] Bell, L., "Increased Thermoelectric System Thermodynamic Efficiency by Use of Convective Heat Transport," Proceedings of 21 th Int. Conf. On Thermoelectrics, Long Beach,CA, U.S.A.,(2002)
- [4] Ghoshal, U., "Thermoelectric Cooling with Plural Dynamic Switching to Isolate Heat Transport Mechanisms," United States Patent No. 5,867,990,(1999).
- [5] Tada, S., et, "A New Concept of Porous Thermoelectric Module Using a Reciprocating Flow for Cooling/Heating System (Numerical Analysis for Heating System)"Proceeding of 16 th Int. Conf. On Thermoelectrics, Dresden, GERMANY, 1997,pp.664-667.
- [6] Bell, L., "Use of Thermal Isolation to Improve Thermoelectric System Operating Efficiency," Proceedings of 21 th Int. Conf. On Thermoelectrics, Long Beach, CA, U.S.A.,(2002).
- [7] Katsushiko Pgata "Modern Control Engineering"



The poster features a dark background with a grid pattern and a large satellite dish in the lower-left corner. At the top left, there are two circular logos: the IEEE logo and a Thai emblem. A white box on the left contains the word "START" followed by a right-pointing arrow. The main title "ICEAST 2007" is displayed in large, white, sans-serif font. Below the title, the dates and location are listed. The organizing institutions are listed in a smaller font at the bottom right.

START →

# ICEAST 2007

November 21-23, 2007  
International Conference on Engineering,  
Applied Sciences, and Technology  
The Swissôtel Le Concorde, Bangkok, Thailand

Organized by  
Research Center for Communication and Information Technology  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand  
In Association with  
The Institute of Control, Robotics and Systems Engineering (ICRS), Korea  
The Society of Instrument and Control Engineers (SICE), Japan  
National Institute of Information and Communications Technology (NICT), Japan  
IEEE Thailand Section  
National Electronics and Computer Technology Center (NECTEC), Thailand  
Japan International Cooperation Agency (JICA), Japan

# Thermoelectrics for a Temperature and Humidity Control System

M. Mongkolwongrojn<sup>1</sup>, K. Muysee<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Electro-Mechanical Engineering Lab, ReCCIT Faculty of Engineering,  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand

<sup>2</sup>Graduate Student, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand

**Abstract**— Performances of thermoelectric materials and systems that utilize them became more interesting in the technology and potential new markets. This paper presents the development of a temperature and humidity control system specially for high humidity environmental conditions using thermoelectric devices.

The system consists of multiple cooling and/or heating thermoelectric devices and a steam generator in order to be able to control both temperature and humidity. The supervisory feedback control was proposed for performance enhancement and energy saving. It is very suitable for temperature and humidity control system that has time delay; the supervisory system implements control approach selection to optimize the overall control and detain an enhanced and robust performance. The performance analysis and experimental results show the practicability of the proposed system and its viability in the real temperature and humidity control system using thermoelectric devices

**Keywords**— Thermoelectric device, temperature and humidity, control system, system identification and control, experiment analysis

## 1. INTRODUCTION

For the past decade, thermoelectric device have shown great promise because of the obvious advantages from potential uses of solid-state technology for cooling, heating and power generation. Some devices are more enabled by the technology include sensor coolers, portable coolers, automotive seat cooler/heaters and remotely operated power generators. The development of an automotive heating ventilation and air conditioning system using thermoelectric device are reported [1]

Models existed [1, 2, 3, 4] allow accurate prediction of thermoelectric performances. Models have been developed and used to simulate thermoelectric system performances that incorporate the effect of an increase in ZT, where ZT is a direct measure of material capability and efficiency.

Figure 1 shows the projected performance for an automotive heating ventilation and air conditioning system using these models as well as measured available input parameters. The benefits of the combined thermoelectric technologies are evident. The horizontal axis is ZT, and the vertical axis is cooling efficiency (that is COP, the Coefficient of performance of an air conditioner). Vertical lines indicate particular values of ZT; for example, present materials have ZT values between 0.7 and 1.0 and new materials are from 1.6 to 2.4. The lower curve is for conventional thermoelectric cycle and the upper curve is for the thermodynamic cycle for new material (BSST).

The dashed horizontal lines labeled "R134A System" bound the limits of today's automotive heating ventilation and air conditioning system performance. A range performance for R134A is shown since under various automotive conditions, the performance and thermoelectric of a specified ZT of R134A do not match precisely but result in the performance band shown. It is evident from Figure 1 that with existing commercial materials (ZT of 0.7 to 1.0) and prior thermodynamic cycle, thermoelectric system performance is far off the mark. However, at ZT of 1.8 and above, with new material cycle (BSST,) solid-state thermoelectric systems are projected to be competitive with today's heating ventilation and air conditioning systems.

The Figure indicates the potential impact of research now underway that targets still higher values of ZT, so that with time, there is a prospect of continued improvements in the performance of heating ventilation and air conditioning thermoelectric system. Should such further improvements occur, the competitive advantage of the solid-state systems would widen over that of today's systems

In this research work, a mathematical model of the temperature and humidity control system is obtained experimentally as a first order with time delay. The supervisory control of the multi-input multi-output system is proposed for the temperature and humidity control problem to enhance control performance. The system is a small chamber covered with insulator to minimize heat loss. The supervisory control is implemented to incorporate with the temperature and humidity control system. Experimental results show a potential of a temperature and humidity control system using thermoelectric devices.

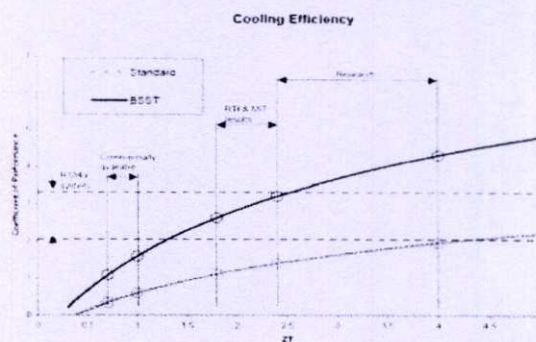


Fig 1. Real-time dynamic control of the temperature and humidity control system

## II. TEMPERATURE AND HUMIDITY CONTROL SYSTEM

The experimental systems consist of thermoelectric devices, and a steam generator and a computer which provide real-time dynamic control of the temperature and humidity control system as shown in Figure 1. The temperature and humidity of air in the environmental control chamber are driven to desired values by cooling and dehumidifying or heating and humidifying are controlled by regulated thermoelectric driver and steam flow rate from the boiler.

## III. MATHEMATICAL MODEL

Mathematical model of the multi-input multi-output temperature and humidity control system can be described by a set of differential equations that were obtained experimentally. The response of inside air temperature with step input and the response of inside air humidity with step input for open loop control system were modeled as first order elements with time delay. The open loop transfer function of the control system can be expressed in equation (1). The transfer function of the elements in the system can be written in equation(2) to equation (5) as:

$$\begin{Bmatrix} T(s) \\ RH(s) \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} V(s) \\ Q(s) \end{Bmatrix} \quad (1)$$

$$\text{Where } g_{11} = \frac{2.917}{1+213s} \left( \frac{-0.033s+1}{0.033s+1} \right) \quad (2)$$

$$g_{12} = \frac{1595.259}{1+298s} \left( \frac{-0.005s+1}{0.005s+1} \right) \quad (3)$$

$$g_{21} = \frac{7.08}{1+315s} \left( \frac{-0.033s+1}{0.033s+1} \right) \quad (4)$$

$$g_{22} = \frac{3874.2}{1+33s} \left( \frac{-0.005s+1}{0.005s+1} \right) \quad (5)$$

## IV. CONTROL SYSTEM DESCRIPTION

The diagram of the proposed supervisory control for a temperature and humidity control system is shown in Figure 3. The supervisory system for the proposed control system is shown in Figure 4. The outside air temperature and humidity and the control parameter are stored in the supervisory system database. By story corresponding enthalpy values in the controller before hand; the

supervisory system can implement the control parameter selection based on the measured mathematical model and current enthalpy of outside air as shown in Figure 4.

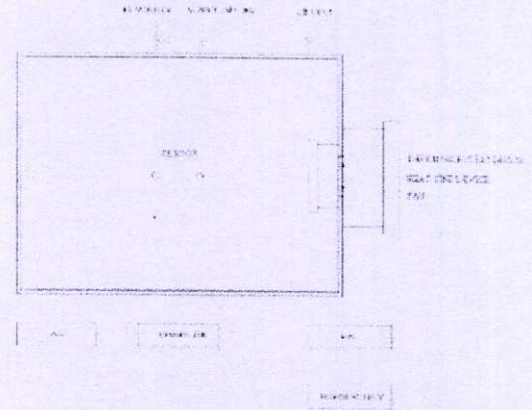


Fig 2. Temperature and humidity control chamber

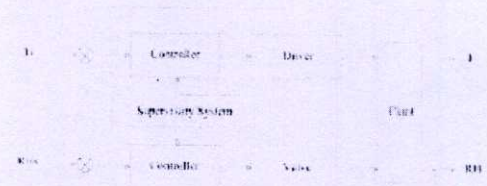


Fig 3. The proposed supervisory control for a temperature and humidity control system

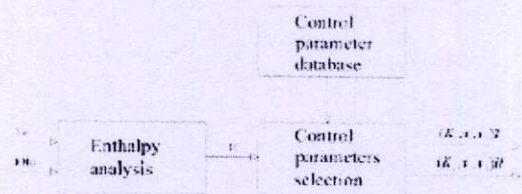


Fig 4. Supervisory System

In the supervisory system, a large number of experiments are carried out before hand to get the characteristic temperature humidity enthalpy charts and corresponding control approaches of every operation mode. Since the database is established based and the practical datum, the adoption of the supervisory system results in an enhanced performance.

The optimized parameters of the controller can be selected as

$$G_c(s) = K_c \left( 1 + \frac{1}{\tau_i s} + \tau_d s \right) \quad (6)$$

Since the supervisory control system is obviously a nonlinear controller, the whole system is a nonlinear system. The controller parameters were calculated to follow the stability criterion.

A standard proportional – integral – derivative (PID) controller is used to regulate the input voltage of the thermoelectric and steam flow rate to maintain the temperature and humidity of the system in following form

$$u(t) = K_c \left[ e(t) + \frac{1}{\tau_i} \int e(t) dt + \tau_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (7)$$

where  $K_c$ ,  $\tau_i$  and  $\tau_d$  are controller parameters,  $u(t)$  and  $e(t)$  are control signal to the thermoelectric driver and to the control valve, respectively.

## V. EXPERIMENTAL RESULTS

Experiments were carried out to assess the performance of the proposed temperature and humidity control system. Our objective is to demonstrate that the proposed design and development of the control system which is able to maintain inside air temperature and humidity according to the set point. Figure 5 demonstrates the temperature and humidity responses of the control system with set point at 10°C and 80% RH. The initial temperature and humidity values are 25°C and 75% RH. The response time for temperature and humidity to reach steady-state are 1572 and 69 seconds, respectively. The response time of temperature is very slow to reach steady-state due to low cooling capacity of the thermoelectric devices. The maximum steady-state errors are  $\pm 0.1^\circ\text{C}$  and  $\pm 0.35\%$  RH. For the set points at high temperature and high humidity conditions, the responses of temperature and humidity are shown in Figure 6 to 8. With the initial temperature and humidity of 28°C and 65% RH, the amount of time to reach steady-state for temperature and humidity are 665 and 39 seconds, respectively, as shown in Figure 6. The maximum steady-state errors are  $\pm 0.2^\circ\text{C}$  and  $\pm 0.7\%$  RH. For initial conditions of 25°C and 75% RH, the response time to steady-state of the temperature and humidity are 1260 and 127 seconds as shown in Figure 7. The maximum steady-state errors are  $\pm 0.1^\circ\text{C}$  and  $\pm 0.7\%$  RH. For initial conditions of 30°C and 55% RH, the response time to steady-state of the temperature and humidity are 378 and 48 seconds with the set point at 55°C and 85% RH as shown in Figure 8. The maximum steady state errors are  $\pm 0.45^\circ\text{C}$  and  $\pm 0.5\%$  RH.

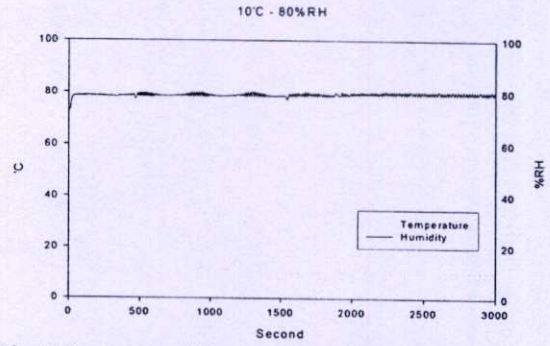


Fig 5. Responses of temperature and humidity under set point at 10°C and 80% RH

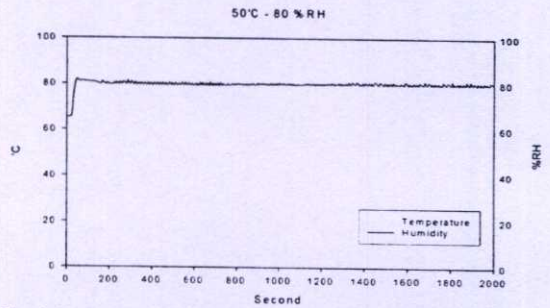


Fig 6. Responses of temperature and humidity under set point at 50°C and 80% RH

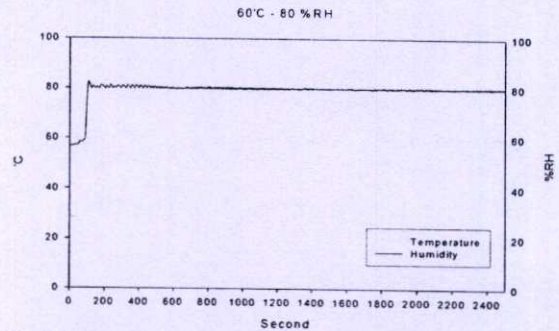


Fig 7. Responses of temperature and humidity under set point at 60°C and 80% RH

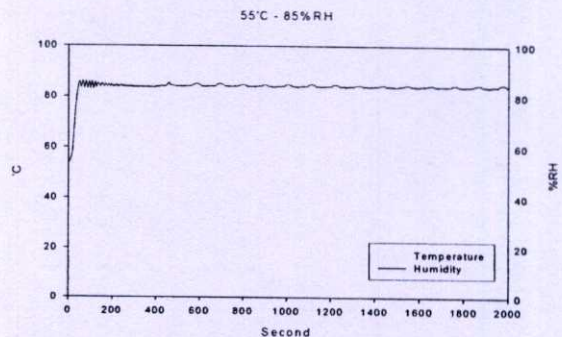


Fig 8. Responses of temperature and humidity under set point at 55°C and 85% RH

## VI. CONCLUSION

A supervisory control has been proposed to control the temperature and humidity control system of archive establishment. It uses controllers for basic control and an expert supervisory system for performance enhancement. The performance analysis and experimental results show that the proposed system is practical in the real archive establishment environment.

## VII. NOMENCLATURE

$T(s)$	= Temperature output
$RH(s)$	= Humidity output
$T_s$	= Temperature set point
$RH_s$	= Humidity set point
$V(s)$	= Control signal to regulate the driver voltage
$Q(s)$	= Control signal to regulate the steam flow Rate
$K_c$	= Proportional Gain
$\tau_i$	= Integral Gain
$\tau_d$	= Derivative Gain

## REFERENCES

- [1] Tada, S., et, "A New Concept of Porous Thermoelectric Module Using a Reciprocating Flow for Cooling/Heating System (Numerical Analysis for Heating System)" "Proceeding of 16 th Int. Conf. On Thermoelectrics, Dresden, GERMANY, 1997, pp.664-667.
- [2] Bell, L., "Use of Thermal Isolation to Improve Thermoelectric System Operating Efficiency," Proceedings of 21 th Int. Conf. On Thermoelectrics, Long Beach, CA, U.S.A.,(2002).
- [3] Bell, L., "Increased Thermoelectric System Thermodynamic Efficiency by Use of Convective Heat Transport," Proceedings of 21 th Int. Conf. On Thermoelectrics, Long Beach, CA, U.S.A.,(2002)
- [4] Ghoshal, U., "Thermoelectric Cooling with Plural Dynamic Switching to Isolate Heat Transport Mechanisms," United States Patent No. 5,867,990,(1999).
- [5] Nesler, C. G.(1986), Adaptive control of thermal processes in buildings, IEEE control system magazine, August: 9-13
- [6] Tae-Yong Kuc, Woong-Gie Han (2000). An adaptive PID learning control of robot manipulators, Automatic, 36(5),717-725
- [7] Ling K V, Dexter A L. (1994), Expert Control of air-conditioning plant, Automatica, 30: 761-773
- [8] D.M. Schwenk. (1989), Single-loop digital controllers in HVAC, ASHREA Transaction, 95:1985-1994

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อผู้เขียน	นายคมสัน มุ่ยสี
วัน เดือน ปีเกิด	11 ธันวาคม 2520
ที่อยู่	1/64 หมู่ 2 ถ.ฉลองกรุง ข.ลาดกระบัง จ.กรุงเทพมหานคร 10520
ประวัติการศึกษา	2544 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะ วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
ผลงานวิจัย	
2550	A Temperature and Humidity Control System Using Thermoelectric Material
2550	Thermoelectrics for a Temperature and Humidity Control System