

การควบคุมหลายตัวแปรของระบบปรับอากาศโดยใช้พีชพีชฟuzzy

MULTIVARIABLE CONTROL OF AIR CONDITIONING SYSTEM
USING FUZZY LOGIC



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครพนม

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตศึกษาระดับ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2548

ISBN 974-15-1951-8

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การควบคุมหลายตัวแปรของระบบปรับอากาศโดยใช้ฟัซซี่ลอจิก

MULTIVARIABLE CONTROL OF AIR CONDITIONING SYSTEM
USING FUZZY LOGIC



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

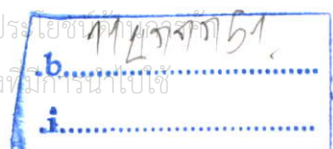
บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2548

ISBN 974-15-1351-8

เลขหมู่.....
เอกสารนี้เป็นเลข 58609
เลขทะเบียน 27 ส.ก. 2549
วัน,เดือน,ปี.....



MULTIVARIABLE CONTROL OF AIR CONDITIONING SYSTEM
USING FUZZY LOGIC



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ISBN 974-15-1351-8
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2005

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

เอกสาร KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การควบคุมหลายตัวแปรของระบบปรับอากาศโดยใช้พีซีลอจิก
ชื่อนักศึกษา	นาย วศิน สารวิทย์
รหัสนักศึกษา	43062020
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
พ.ศ.	2548

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ.ดร. มงคล มงคลวงศ์โรจน์

บทคัดย่อ

ในช่วงสองสามปีที่ผ่านมา การควบคุมโดยใช้พีซีลอจิกได้ถูกใช้อย่างมากมายในระบบที่มีความไม่แน่นอนและการควบคุมที่ซับซ้อน เนื่องจากพฤติกรรมที่มีการเปลี่ยนแปลงของระบบในตัวแปรของมัน ส่วนใหญ่ในการควบคุมโดยใช้พีซีลอจิกถูกนำมาควบคุมอุณหภูมิภายในระบบปรับอากาศเพียงเท่านั้น

งานวิจัยนี้การควบคุมโดยใช้พีซีลอจิกได้ถูกพัฒนาให้ควบคุมอุณหภูมิห้องและความชื้นได้อย่างแม่นยำ จากการควบคุมความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ เครื่องจ่ายความร้อนและอัตราการไหลของลมจ่ายซึ่งได้จากการควบคุมผ่านทางไมโครคอมพิวเตอร์ มากไปกว่านั้น โปรแกรมแมทแลปได้ถูกนำมาจำลองการควบคุมโดยใช้พีซีควบคุมระบบปรับอากาศ ผลจากการควบคุมอุณหภูมิในห้องและความชื้นในระบบปรับอากาศเป็นที่น่าพอใจมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Multivariable Control of Air Conditioning System Using Fuzzy Logic
Student	Mr. Wasin Sarawit
Student ID.	43062020
Degree	Master of Engineering
Programme	Mechanical Engineering
Year	2005
Thesis Advisor	Assoc. Prof.Dr. Mongkol Mongkolwongroj

ABSTRACT

Over the last few years, fuzzy logic control has been widely applied for handling the system which has uncertainty or high robust system. Since the dynamic behaviors of the systems contain complexity and uncertainty in its parameters, several fuzzy logic controllers have been implemented to control room temperature only the field of air conditioning system.

In this research, the fuzzy logic control has been developed to control room temperature and humidity in the precision air conditioning systems. The manipulating variables are speed of compressor, heater and supply air flow rate. The microcomputer was used to interface with in system. Moreover, MATLAB was used to simulate the fuzzy logic control of the multivariable air conditioning systems. The results for control room temperature and humidity in multivariable air conditioning system is also satisfactory.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ดี ด้วยคำแนะนำ การให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการควบคุมระบบปรับอากาศ และแนวทางในการทำงานวิจัยเรื่องนี้จาก รศ. ดร. มงคล มงคลวงศ์โรจน์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่าน และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณบิดา มารดาที่ได้ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้ตลอดมา

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้อันเป็นประโยชน์ต่อการศึกษา

ขอขอบพระคุณ พี่ ๆ เพื่อน ๆ ทุกคน ที่คอยให้คำปรึกษา และ ให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมา

ขอขอบพระคุณ โครงการสำนักวิจัยเทคโนโลยีสารสนเทศ (ReCCIT) ที่ให้การสนับสนุนการวิจัยมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย ที่ได้สนับสนุนการทำวิจัยครั้งนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

วศิน สารวิทย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญรูป.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์.....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 แนวความคิดที่ใช้ในงานวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตงานวิจัย.....	2
1.6 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 การปรับสภาวะอากาศ.....	4
2.1 ความเป็นมา.....	4
2.2 สาเหตุที่มาของการปรับอากาศ.....	4
2.3 ทฤษฎีระบบปรับอากาศ.....	5
2.4 กระบวนการปรับสภาวะอากาศในแผนภูมิไซโครเมตริกชาร์ต.....	6
2.5 การเปลี่ยนแปลงสภาวะอากาศ.....	8
2.5.1 การทำความร้อนให้กับอากาศโดยไม่มี การเพิ่มปริมาณไอน้ำ.....	8
2.5.2 การทำความร้อนโดยมีการเพิ่มความชื้น.....	9
2.5.3 การทำความเย็นโดยเอนทาลปีคงที่.....	9
2.5.4 การทำความเย็นโดยปริมาณไอน้ำคงที่.....	10
2.5.5 การทำความเย็นโดยการลดความชื้น.....	11
2.5.6 การผสมของปริมาณอากาศ.....	12
2.6 การกำจัดความร้อนและไอน้ำ.....	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.7 ภาวะของเครื่องปรับอากาศ.....	13
2.7.1 การคำนวณหาภาระการทำงานของระบบปรับอากาศ.....	13
2.8 อุปกรณ์ระบบปรับอากาศ.....	14
2.8.1 ชุดอุปกรณ์คอยล์เย็นหรือชุดอุปกรณ์อีวาพอเรเตอร์.....	14
2.8.2 ชุดอุปกรณ์คอนเดนซิงยูนิต.....	15
2.9 การออกแบบอุปกรณ์ระบบปรับอากาศในงานวิจัย.....	15
2.9.1 ท่อลม.....	15
2.9.2 พัดลมจ่าย.....	16
2.9.3 พัดลมระบายอากาศและพัดลมดูดอากาศ.....	17
2.9.4 คอมเพรสเซอร์.....	17
2.9.5 เครื่องจ่ายความร้อนด้วยไฟฟ้า.....	18
บทที่ 3 การออกแบบระบบปรับอากาศ.....	19
3.1 การออกแบบระบบปรับอากาศ.....	19
3.2 ภาระในการออกแบบระบบปรับอากาศ.....	20
3.2.1 การออกแบบความร้อนสัมผัส.....	21
3.2.2 การออกแบบความร้อนแฝง.....	21
3.3 การออกแบบการทำงานที่ติดต่อกับคอมพิวเตอรื.....	23
3.4 การออกแบบอุปกรณ์ควบคุมการทำงาน.....	28
3.4.1 เซนเซอร์อุณหภูมิและเซนเซอร์ความชื้น.....	28
3.4.2 อุปกรณ์ D / A (ไอซี LTC1661).....	32
3.4.3 อินเวอร์เตอร์ (Inverter).....	35
3.4.4 ไอซี MAX232.....	36
3.4.5 ไอซี PC817.....	37
3.4.6 ไอซีบัฟเฟอร์ DM74LS244.....	38
3.4.7 รีเลย์.....	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การควบคุมระบบปรับอากาศ.....	40
4.1 ความหมายของการควบคุมและความเป็นมา.....	40
4.2 ทฤษฎีการควบคุมด้วยฟัซซี่ลอจิก.....	41
4.2.1 การออกแบบสมาชิกการแปลงอยู่ในรูปฟัซซี่ (Fuzzification).....	43
4.2.2 การออกแบบกฎการทำงาน.....	46
4.2.2.1 ทฤษฎี Max – Min (Mamdani's Minimum).....	47
4.2.2.2 ทฤษฎี Max – Dot (Larsen's Product).....	48
4.2.3 การออกแบบสมาชิกเอาพุทของฟัซซี่ (Defuzzification).....	48
4.2.3.1 ทฤษฎีค่าเฉลี่ยสูงสุด (Mean of maximum MOM method).....	48
4.2.3.2 ทฤษฎีค่าจุดศูนย์กลางพื้นที่ (Center of area COA method).....	49
4.3 การออกแบบการควบคุมระบบปรับอากาศในงานวิจัย.....	50
4.3.1 การออกแบบสมาชิกอินพุทของการควบคุมระบบปรับอากาศ.....	52
4.3.2 การออกแบบกฎการทำงานของระบบปรับอากาศ.....	53
4.3.3 การออกแบบสมาชิกเอาพุทของการควบคุมระบบปรับอากาศ.....	54
4.3.4 การแปลงค่าสมาชิกเอาพุทในการควบคุมสัญญาณ.....	54
4.4 การประยุกต์สัญญาณที่ออกแบบในการควบคุมระบบปรับอากาศ.....	55
4.4.1 การออกแบบสัญญาณที่ใช้ในการออกแบบพัดลมจ่าย.....	55
4.4.2 การออกแบบสัญญาณที่ใช้ในการออกแบบคอมเพรสเซอร์.....	56
บทที่ 5 การจำลองการควบคุมระบบปรับอากาศ.....	58
5.1 การจำลองระบบปรับอากาศ.....	58
5.2 การหาโมเดลทางคณิตศาสตร์ระบบปรับอากาศ.....	58
5.3 การจำลองการควบคุมระบบปรับอากาศ.....	63
5.4 ผลการจำลองระบบปรับอากาศ.....	65
บทที่ 6 โปรแกรมการออกแบบควบคุมระบบปรับอากาศ.....	69
6.1 โปรแกรมการออกแบบควบคุมระบบปรับอากาศ.....	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
6.2 การออกแบบโปรแกรมการควบคุมอุปกรณ์ภายนอก.....	72
6.2.1 การออกแบบโปรแกรมผ่านพอร์ตขนาน.....	72
6.2.2 การออกแบบโปรแกรมผ่านพอร์ตอนุกรม.....	73
6.2.3 การออกแบบโปรแกรมควบคุมสั่งการอินเวอร์เตอร์ให้ทำงานผ่านทาง ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	75
6.3 โครงสร้างการเขียนโปรแกรมการควบคุมระบบปรับอากาศ.....	78
6.4 โครงสร้างการเขียนโปรแกรมการควบคุมด้วยพีซีที่ล่อจิก.....	79
บทที่ 7 ผลการทดลอง.....	80
7.1 เงื่อนไขในการทดลองและขั้นตอนการทดลอง.....	80
7.2 ผลการทดลอง.....	80
7.2.1 ผลการทดลองในกรณีควบคุมอุณหภูมิและความชื้นกรณีไม่มีภาระ.....	80
7.2.2 ผลการทดลองในกรณีควบคุมอุณหภูมิและความชื้นกรณี มีภาระความร้อนสัมผัส.....	85
7.2.3 ผลการทดลองในกรณีควบคุมอุณหภูมิและความชื้นกรณี มีภาระความร้อนแฝง.....	93
7.2.4 ผลการทดลองในกรณีควบคุมอุณหภูมิและความชื้นกรณี มีการเปลี่ยนแปลงค่าควบคุม.....	96
7.3 การเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการจำลองการควบคุมและการทดลองการควบคุม ระบบปรับอากาศ.....	99
บทที่ 8 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	103
8.1 สรุปผลงานวิจัย.....	103
8.2 ข้อเสนอแนะ.....	104
เอกสารอ้างอิง.....	106

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก.....	108
ภาคผนวก ก. ผลที่ได้จากการทดลองหาค่าภาวะความร้อนแฝง.....	109
ภาคผนวก ข. การกำหนดการทำงานของอินเวอร์เตอร์.....	111
ภาคผนวก ค. ค่าตัวแปรที่ได้ของการสร้างโมเดลทางคณิตศาสตร์.....	114
ภาคผนวก ง. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์.....	122
ประวัติผู้เขียน.....	137



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 คำสั่งเซนเซอร์ SHT11.....	30
3.2 สัมประสิทธิ์การแปลงเป็นอุณหภูมิ.....	31
3.3 คำสั่งในการทำงานของ LTC1661.....	34
ก.1 ผลการทดลองวัดค่าน้ำหนักทุก ๆ 15 นาที.....	110
ก.2 แสดงค่าน้ำหนักในช่วง 15 นาทีของน้ำหนักไอน้ำที่หายไป.....	110
ข.1 ตัวแปรในการทำงานของอินเวอร์เตอร์.....	112



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การทำงานระบบปรับอากาศ.....	6
2.2 แผนภูมิไซโครเมตริกชาร์ต.....	7
2.3 กระบวนการให้ความร้อนโดยความชื้นคงที่.....	8
2.4 กระบวนการความชื้นสัมพัทธ์คงที่จากไซโครเมตริกชาร์ต.....	9
2.5 การทำความเย็นที่เอนทาลปีคงที่ซึ่งเป็นกระบวนการอะไดบาติก.....	10
2.6 การทำความเย็นโดยปริมาตรไอน้ำคงที่.....	10
2.7 การทำความเย็นโดยการลดความชื้น.....	11
2.8 การผสมของปริมาตรอากาศที่สภาวะ A และสภาวะ B.....	12
2.9 ท่อลมจ่าย และท่อลมกลับ.....	16
2.10 พัดลมจ่าย.....	16
2.11 พัดลมระบายอากาศและพัดลมดูดอากาศ.....	17
2.12 คอมเพรสเซอร์.....	18
2.13 เครื่องจ่ายความร้อนด้วยไฟฟ้า.....	18
3.1 แผนผังการควบคุมระบบปรับอากาศ.....	19
3.2 การออกแบบห้องปรับอากาศ.....	20
3.3 ภาระความร้อนสัมผัสของระบบจากหลอดไฟ.....	21
3.4 การทดลองหาภาระความร้อนแฝงที่ได้จากการทดลอง.....	22
3.5 ภาระความร้อนแฝงของระบบจากเครื่องพ่นไอน้ำ.....	22
3.6 พอร์ตอนุกรม 9 ขา.....	23
3.7 วงจรในการทำงานของส่วนประกอบรับค่าเซนเซอร์อุณหภูมิและความชื้น.....	24
3.8 วงจรการทำงานป้อนอินพุตให้กับอินเวอร์เตอร์.....	25
3.9 วงจรจาก LTC1661 ที่นำไปต่อกับอินเวอร์เตอร์.....	26
3.10 พอร์ตขนาน.....	26
3.11 วงจรของพอร์ตขนานในการออกแบบการทำงานระบบปรับอากาศ.....	27
3.12 บล็อกไดอะแกรมภายในและลักษณะภาพของเซนเซอร์ SHT11.....	28
3.13 สัญญาณการทำงานของเซนเซอร์.....	29
3.14 ไบต์การทำงาน.....	29
3.15 ตัวอย่างการวัดค่าความชื้นซึ่งมีค่า 00001001 00110001 = 2353 = 75.79 %.....	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.16 SO_{RH} ที่อ่านได้จากเซนเซอร์.....	31
3.17 ไอซี LTC1661 ในหน่วยนิ้ว (มิลลิเมตร).....	32
3.18 การทำงานของสัญญาณ $\overline{CS}/LD, SCK, D_{IN}$	33
3.19 คำสั่งไบต์ในการใช้งาน LTC1661.....	33
3.20 ภายในการทำงานของไอซี LTC1661.....	34
3.21 ตัวอย่างค่าเอาพุทของการทำงานที่มีค่า 102 และ 992.....	35
3.22 อินเวอร์เตอร์.....	36
3.23 วงจรการทำงานจากภายนอกในการส่งสัญญาณควบคุม.....	36
3.24 วงจรการทำงานของไอซี MAX232.....	37
3.25 ไอซี PC817.....	38
3.26 ไอซีบัฟเฟอร์ DM74LS244.....	38
3.27 รีเลย์.....	39
4.1 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมพื้นฐาน.....	42
4.2 กระบวนการทำงานในพีซี.....	42
4.3 การทำงานทั่วไปของการควบคุมโดยใช้พีซีลจิก.....	43
4.4 ตัวอย่างสมการ $\Gamma: U \rightarrow [0,1]$	44
4.5 ตัวอย่างสมการ S	44
4.6 ตัวอย่างสมการ L	45
4.7 ตัวอย่างสมการ Λ	45
4.8 ตัวอย่างสมการ Π	46
4.9 แสดงภาพการทำงานของทฤษฎี Max – Min.....	47
4.10 แสดงการทำงานของทฤษฎี Max – Dot.....	48
4.11 ทฤษฎีค่าเฉลี่ยสูงสุด.....	49
4.12 ทฤษฎีค่าจุดศูนย์กลางพื้นที่.....	49
4.13 การออกแบบระบบการควบคุมด้วยพีซี.....	50
4.14 การเปลี่ยนแปลงของค่าเอาพุทของระบบในการวิเคราะห์.....	51
4.15 โครงสร้างการออกแบบการควบคุมในงานวิจัย.....	51
4.16 สมาชิกอินพุทของค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิ.....	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.17 สมาชิกอินพุทของค่าความผิดพลาดความชื้น.....	53
4.18 กฎในการออกแบบการควบคุมในระบบปรับอากาศ.....	53
4.19 สมาชิกเอาพุทของสัญญาณควบคุมพัลลวมจ่าย.....	54
4.20 สมาชิกเอาพุทของสัญญาณควบคุมคอมเพรสเซอร์.....	54
4.21 การดำเนินงานในกระบวนการพีซีซีที่ใช้ในการออกแบบระบบปรับอากาศ.....	55
4.22 สมาชิกเอาพุทของพัลลวมจ่ายที่ใช้เนื่องจากภาวะความร้อนสัมผัส.....	56
4.23 กราฟ V/F Curve แสดงความสัมพันธ์ของไฟฟ้าและความถี่.....	57
5.1 การออกแบบหาโมเดลทางคณิตศาสตร์จากการทดลอง.....	58
5.2 สัญญาณพัลลวมจ่ายและค่าอุณหภูมิที่ได้.....	59
5.3 สัญญาณพัลลวมจ่ายและค่าความชื้นที่ได้.....	59
5.4 สัญญาณคอมเพรสเซอร์และค่าอุณหภูมิที่ได้.....	60
5.5 สัญญาณคอมเพรสเซอร์และค่าความชื้นที่ได้.....	60
5.6 สัญญาณเครื่องจ่ายความร้อนและค่าอุณหภูมิที่ได้.....	61
5.7 สัญญาณเครื่องจ่ายความร้อนและค่าความชื้นที่ได้.....	61
5.8 โมเดลอุณหภูมิของระบบปรับอากาศจากโปรแกรม MATLAB.....	63
5.9 โมเดลความชื้นที่ได้ของระบบปรับอากาศจากโปรแกรม MATLAB.....	63
5.10 กราฟ 3 มิติของพีซีซีพัลลวมจ่าย.....	64
5.11 กราฟ 3 มิติของพีซีซีคอมเพรสเซอร์.....	64
5.12 การจำลองระบบปรับอากาศบน Simulink ในโปรแกรม MATLAB.....	65
5.13 ผลการจำลองที่อุณหภูมิ 25 ° C และความชื้น 50 %.....	66
5.14 ผลการจำลองที่อุณหภูมิ 23 ° C และความชื้น 55 %.....	66
5.15 ผลการจำลองที่อุณหภูมิ 22 ° C และความชื้น 53 %.....	67
5.16 ผลการจำลองที่อุณหภูมิ 19 ° C, 23 ° C และความชื้น 53 %.....	67
6.1 โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุม.....	69
6.2 หน้าต่างในส่วนการกำหนดค่า.....	70
6.3 หน้าต่างการกำหนดค่าความร้อนสัมผัส.....	71
6.4 หน้าต่างการกำหนดค่าความร้อนแฝง.....	71
6.5 แสดงการใช้งานขณะการทำงาน.....	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.6 การใช้อุปกรณ์ใน Visual Basic 6.0 เพื่อการติดต่อกับพอร์ตอนุกรม.....	74
7.1 การควบคุมอุณหภูมิที่ 25 ° C และความชื้น 50 % กรณีไม่มีภาวะ.....	81
7.2 การควบคุมอุณหภูมิที่ 23 ° C และความชื้น 50 % กรณีไม่มีภาวะ.....	81
7.3 การควบคุมอุณหภูมิที่ 20 ° C และความชื้น 50 % กรณีไม่มีภาวะ.....	82
7.4 การควบคุมอุณหภูมิที่ 23 ° C และความชื้น 48 % กรณีไม่มีภาวะ.....	82
7.5 การควบคุมอุณหภูมิที่ 20 ° C และความชื้น 55 % กรณีไม่มีภาวะ.....	83
7.6 การควบคุมอุณหภูมิที่ 27 ° C และความชื้น 50 % กรณีไม่มีภาวะ.....	83
7.7 การควบคุมอุณหภูมิที่ 23 ° C และความชื้น 55 % กรณีไม่มีภาวะ.....	84
7.8 การควบคุมอุณหภูมิที่ 27 ° C และความชื้น 50 % กรณีมีภาวะความร้อนสัมผัส.....	86
7.9 การควบคุมอุณหภูมิที่ 23 ° C และความชื้น 50 % กรณีมีภาวะความร้อนสัมผัส.....	86
7.10 การควบคุมอุณหภูมิที่ 25 ° C และความชื้น 48 % กรณีมีภาวะความร้อนสัมผัส.....	87
7.11 การควบคุมอุณหภูมิที่ 25 ° C และความชื้น 50 % กรณีมีภาวะความร้อนสัมผัส.....	87
7.12 การควบคุมอุณหภูมิที่ 20 ° C และความชื้น 55 % กรณีมีภาวะความร้อนสัมผัส.....	88
7.13 การควบคุมอุณหภูมิที่ 23 ° C และความชื้น 50 % กรณีมีภาวะความร้อนสัมผัส.....	88
7.14 การควบคุมอุณหภูมิที่ 22 ° C และความชื้น 50 % กรณีมีภาวะความร้อนสัมผัส.....	89
7.15 การควบคุมอุณหภูมิที่ 24 ° C และความชื้น 50 % กรณีมีภาวะความร้อนสัมผัส.....	89
7.16 การควบคุมอุณหภูมิที่ 20 ° C และความชื้น 55 % กรณีมีภาวะความร้อนสัมผัส.....	90
7.17 การควบคุมอุณหภูมิที่ 23 ° C และความชื้น 50 % กรณีมีภาวะความร้อนแฝง.....	93
7.18 การควบคุมอุณหภูมิที่ 25 ° C และความชื้น 55 % กรณีมีภาวะความร้อนแฝง.....	94
7.19 การควบคุมอุณหภูมิที่ 27 ° C และความชื้น 50 % กรณีมีภาวะความร้อนแฝง.....	94
7.20 การควบคุมอุณหภูมิที่ 21 ° C และความชื้น 48 % กรณีมีภาวะความร้อนแฝง.....	95
7.21 การควบคุมอุณหภูมิที่ 24 ° C, 20 ° C และความชื้น 52 %, 48 % กรณีไม่มีภาวะ ความร้อน.....	96
7.22 การควบคุมอุณหภูมิที่ 23 ° C, 25 ° C และความชื้น 55 %, 50 % กรณีไม่มีภาวะ ความร้อน.....	97
7.23 การควบคุมอุณหภูมิที่ 25 ° C, 27 ° C, 23 ° C และความชื้น 50 %, 55 %, 52 % กรณีไม่มีภาวะความร้อน.....	97
7.24 การควบคุมที่อุณหภูมิ 22 ° C และความชื้นที่ 50%.....	99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
7.25 การควบคุมที่อุณหภูมิ 25 ° C และความชื้นที่ 50 %.....	100
7.26 การควบคุมที่อุณหภูมิ 23 ° C และความชื้นที่ 48 %.....	101
ข.1 วงจรทั่วไปของการต่อสัญญาณควบคุมอินเวอร์เตอร์.....	113



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในสภาวะอากาศในแต่ละวันที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ ไม่ว่าจะเป็นร้อน หรือ หนาวสภาวะอากาศเหล่านี้ ล้วนเป็นสภาวะอากาศที่เรานั้นไม่ต้องการ สิ่งที่เราต้องการก็คือ สภาวะอากาศที่เหมาะสมทำให้เรานั้นรู้สึกสบาย จึงได้มีการคิดค้นระบบปรับอากาศเกิดขึ้น แต่ปัญหามักจะพบก็คือการควบคุมระบบปรับอากาศนั้นไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ ทำให้สูญเสียพลังงานที่ใช้ไปเปล่าประโยชน์ ในการทำงานการควบคุมระบบปรับอากาศ สมัยก่อนก็เริ่มจากการใช้กลไกในการควบคุม จนกระทั่งมาถึงระบบควบคุมที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่น พีไอดี แต่ว่าพีไอดีนั้นจะทำงานได้ก็ต้องหาสมการจากการทำงานของระบบเพื่อเป็นตัวควบคุมระบบ แต่การที่จะหาสมการได้นั้นจำเป็นอย่างมากที่จะต้องใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์หรือในด้านฟิสิกส์ เพื่อจะหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวควบคุม และยิ่งไปกว่านั้นสมการระบบต่าง ๆ ส่วนมากจะเป็นระบบแบบไม่เป็นเชิงเส้น จึงต้องอาศัยความรู้มากขึ้น ในการแก้ปัญหาที่มีระบบซับซ้อน โดยเฉพาะระบบนั้นมีความเกี่ยวข้องกัน เพื่อที่จะหาตัวควบคุมระบบนั้น ในสมการทางระบบปรับอากาศก็เช่นเดียวกัน ก็เป็นระบบหนึ่งที่มีความเกี่ยวข้องกัน ในวิทยานิพนธ์นี้จึงได้นำเสนอวิธีการควบคุมระบบให้ง่ายขึ้น โดยวิธีการควบคุมการทำงานแบบฟัชชีลอจิก ซึ่งเป็นวิธีที่ไม่จำเป็นต้องอาศัยสมการระบบ แต่สามารถทำให้ระบบควบคุมการทำงานได้ตามที่ต้องการ

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

ในวิทยานิพนธ์นี้มุ่งเน้นความสนใจในการควบคุมของระบบปรับอากาศโดยการใช้ฟัชชีลอจิกในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในห้องปรับอากาศ โดยอาศัยการควบคุมที่มีความสัมพันธ์กันระหว่างอุณหภูมิ และความชื้น มาออกแบบกฎของการควบคุมระบบปรับอากาศแทนความสัมพันธ์ในสมการที่เกี่ยวข้องกัน แล้วทำการจำลองระบบปรับอากาศด้วยโปรแกรม MATLAB เพื่อทดสอบการจำลองของระบบ และทำการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบปรับอากาศจากการออกแบบด้วยการควบคุมแบบฟัชชีลอจิก โดยมีสัญญาณควบคุมความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ สัญญาณควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์พัดลม สัญญาณเปิดปิดของเครื่องจ่ายความร้อน เป็นสัญญาณป้อนเข้าระบบ และสัญญาณรับรู้ของอุณหภูมิและความชื้นเป็นค่าเอาพุทของระบบในการควบคุมการทำงานของระบบปรับอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

ปัญหาในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นเป็นที่น่าสนใจ โดยทั้งอุณหภูมิและความชื้นนั้นมีความเกี่ยวพันกันในการควบคุม ถ้าหากเราต้องการควบคุมอุณหภูมิให้ได้ใกล้เคียงกับค่าที่กำหนดมากที่สุด ผลที่ได้ก็จะส่งผลให้ความชื้นนั้นมีความผิดพลาดที่มากจนไป ในทำนองเดียวกัน ถ้าหากเราสนใจควบคุมความชื้นให้ได้ค่าที่กำหนดผลที่ได้ก็จะส่งผลให้อุณหภูมิมีความผิดพลาดมาก ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากสมการของระบบปรับอากาศ จากสิ่งที่ได้มาในการควบคุมของระบบปรับอากาศโดยการใช้พีซีลอจิก ได้อาศัยความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและความชื้นของระบบมาออกแบบกฎของระบบให้เหมาะสมแทนสมการที่ป้อนเข้าที่หาได้จากสมการที่มีความซับซ้อนและเกี่ยวพันกัน แล้วออกแบบกระบวนการในการควบคุมระบบปรับอากาศโดยใช้พีซีลอจิก เพื่อไปควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของระบบ

1.4 แนวความคิดที่ใช้ในงานวิจัย

จากทฤษฎีพีซีลอจิก แนวความคิดในการควบคุมนั้นในพีซีลอจิก ได้แนวความคิดจากการควบคุมค่าความผิดพลาดของตัวแปรการป้อนเข้าและค่าความผิดพลาดตัวแปรของการเปลี่ยนแปลงการป้อนเข้า โดยทั่วไปที่นำมาออกแบบควบคุมระบบการทำงาน แนวความคิดที่ได้มาจากการสมการของระบบเป็นสมการที่มีความเกี่ยวพันกัน และเป็นการควบคุมหลายตัวแปรเราจึงได้ใช้แนวความคิดนี้มาใช้กับระบบปรับอากาศ โดยตัวแปรการป้อนเข้าที่ 1 ก็คือ ค่าผิดพลาดของอุณหภูมิ และตัวแปรการป้อนเข้าที่ 2 ก็คือ ค่าผิดพลาดของความชื้น เป็นค่าป้อนเข้าเพื่อควบคุมสัญญาณควบคุมของอุณหภูมิและความชื้นในระบบการทำงาน เหมือนกับการที่เราควบคุมแบบเกี่ยวพันกันที่ได้จากการหาสมการระบบปรับอากาศจากควบคุมแบบพีไอดี

1.5 ขอบเขตงานวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้ได้ออกแบบการควบคุมการทำงานทั้งอุณหภูมิและความชื้นให้เหมาะสมกับการใช้งานโดยใช้การควบคุมแบบพีซีลอจิก และได้จำลองการควบคุมการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB แล้วเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานด้วยพีซีลอจิก ผ่านอุปกรณ์อินเทอร์เฟสกับอุปกรณ์ภายนอกควบคุมความเร็วรอบคอมเพรสเซอร์ ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์พัดลมและควบคุมการเปิดปิดเครื่องจ่ายความร้อนซึ่งเป็นตัวแปรควบคุมระบบปรับอากาศ

1.6 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาและออกแบบการควบคุมด้วยพีซีลอจิก
2. เขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานด้วยโปรแกรม Visual Basic 6.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์อินเทอร์เฟซในระบบ
5. ทดลองป้อนสัญญาณอินพุทของระบบ และ เก็บค่าของอุณหภูมิและความชื้น เพื่อหาโมเดลทางคณิตศาสตร์
6. จำลองการควบคุมระบบปรับอากาศโดยใช้โปรแกรม MATLAB
7. ทดลองการควบคุมของระบบปรับอากาศ
8. สรุปผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เข้าใจการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในห้อง
2. สามารถออกแบบระบบการควบคุมของระบบปรับอากาศ โดยการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ ความเร็วรอบของมอเตอร์พัดลม และการเปิดปิดเครื่องจ่ายความร้อน การที่เราควบคุมความเร็วรอบการทำงานของคอมเพรสเซอร์นี้จะส่งผลให้เกิดการประหยัดพลังงานจากการทำงาน เนื่องจากระบบปรับอากาศโดยปกติแล้วจะเป็นระบบการทำงานประเภทเปิดปิดการทำงานของคอมเพรสเซอร์ ส่งผลให้เมื่อเริ่มทำงานจะมีกระแสไฟที่สูงขณะเริ่ม และเมื่อทำงานมีการเปิดและปิดบ่อย ๆ ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า ดังนั้นถ้าหากให้มีการทำงานที่เปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ก็จะส่งผลให้การทำงานประหยัดมากกว่า และผลจากการควบคุมความเร็วรอบด้วยการทำงานของคอมเพรสเซอร์ ผลที่ได้จากการควบคุมจะราบเรียบกว่าการทำงานที่เป็นลักษณะเปิด ปิด ด้วย
3. เข้าใจการทำงานระหว่างอุปกรณ์ที่ควบคุมการทำงานของระบบปรับอากาศ และระบบการควบคุมของระบบปรับอากาศโดยการควบคุมแบบพีซีลอคจิก
4. สามารถนำไปใช้ในงานที่ต้องการการออกแบบระบบปรับอากาศที่ต้องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในสภาวะอากาศที่ต้องการได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

การปรับสภาวะอากาศ

2.1 ความเป็นมา

เริ่มแรกระบบปรับอากาศได้เริ่มขึ้นเมื่อประมาณ ค.ศ. 1500 ลิโอนาโด ดา วินชี [1] ได้สร้างพัดลมที่ขับเคลื่อนด้วยไอน้ำสำหรับใช้ในห้องให้ภรรยาของเขา นั่นคือความพยายามครั้งแรกที่จะพัฒนาระบบปรับอากาศภายในห้องให้มีความสะดวกสบาย จนกระทั่งในช่วง ค.ศ. 1922 ได้มีความพยายามติดตั้งระบบปรับอากาศนี้ภายในโรงภาพยนตร์ และนั่นก็เป็นครั้งแรกที่ได้เริ่มมีการมาใช้กันอย่างกว้างขวางมากขึ้น

การค้นพบระบบปรับอากาศที่ผ่านมานี้เป็นสิ่งสำคัญอย่างมาก ในศตวรรษที่ 20 ที่ช่วยอำนวยความสะดวกให้กับมนุษย์มากมาย และได้พัฒนาอย่างต่อเนื่อง เช่น หน่วยงานทหาร หรือ องค์การนาซา ได้สร้างระบบปรับอากาศนี้ให้กับนักบินและควบคุมอากาศภายในห้อง เรือดำน้ำก็เช่นกัน ที่เห็นจะพบบ่อยมากก็คือ ภายในอาคาร รวมถึงที่อยู่อาศัยด้วย และในปัจจุบันระบบปรับอากาศก็เป็นส่วนหนึ่งในชีวิตประจำวันที่เราจำเป็นต้องพบเจอทุกวัน และทำให้ต้องมีการพัฒนาระบบให้มีประสิทธิภาพที่มากขึ้นนั่นเอง

2.2 สาเหตุที่มาของการปรับสภาวะอากาศ

ร่างกายของคนเรามีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 37 องศาเซลเซียส ภายในร่างกายก็จะต้องมีระบบที่ควบคุมสภาวะอุณหภูมิในร่างกายให้คงที่ จะสังเกตได้ว่า เมื่อเราออกกำลังกาย ร่างกายของเราจะขับเหงื่อออกมาเพื่อระบายความร้อนที่เกิดจากการเผาผลาญและจะช่วยให้ร่างกายของเรายังคงอยู่ในสภาวะที่ 37 องศาเซลเซียสอยู่ได้ การที่ร่างกายจะรักษาสภาวะอุณหภูมิได้นั้นก็จำเป็นจะต้องมีการพาความร้อน การแผ่รังสีความร้อน และการระบายความร้อน ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

การพาความร้อน เป็นกระบวนการของการนำความร้อนออกจากวัตถุ ผ่านการไหลของของไหล เช่น อุณหภูมิในร่างกายที่พาความร้อนออกจากตัวโดยอาศัยอากาศ ทำให้อากาศนั้นมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ขณะที่อากาศอุณหภูมิเพิ่มขึ้น อากาศที่เย็นกว่าก็จะมาแทน

การแผ่รังสีความร้อน เป็นกระบวนการที่แหล่งของความร้อน ส่งผ่านไปยังวัตถุด้วยคลื่นของรังสีความร้อน เช่น รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ ส่งผ่านมายังโลก ส่งผ่านมายังเรา เมื่อเราอยู่กลางแจ้งแดดที่จ้า ผิวของเราก็จะรู้สึกร้อน แต่เมื่อใดที่เราหลบไปอยู่ในที่ร่ม ผิวของเราก็จะรู้สึกเย็นเพราะว่า รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ไม่ได้โดนเรามากกว่าตอนอยู่กลางแจ้งนั่นเอง หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การที่เราอ่อกองไฟก็เช่นเดียวกัน เมื่อเรานำมือไปอังใกล้ ๆ เราก็จะรู้สึกอุ่น นั่นก็เป็นตัวอย่างที่ช่วยให้เห็นปรากฏการณ์ธรรมชาติของการแผ่รังสีความร้อน

การระบายความร้อน เป็นกระบวนการของไอน้ำที่ผิวระเหยกลายเป็นไอ การที่ไอน้ำระเหยไปจะช่วยให้ผิวที่ไอน้ำระเหยมีอุณหภูมิที่ต่ำลง กระบวนการนี้สังเกตได้จากผิวของร่างกายไอน้ำจะถูกขับออกจากที่ผิวและระเหยไป และจะนำความร้อนนั้นออกไปด้วย เมื่อร่างกายของเรามีความร้อนมากเกินไปกว่ากระบวนการระบายความร้อนนี้ ความร้อนที่เกินมานี้สิ่งที่สังเกตเห็นก็คือการขับเหงื่อ นั่นเอง

การรักษาสมดุลของร่างกายที่กล่าวมานี้ สิ่งที่มีผลต่อกระบวนการรักษาสมดุลในร่างกายของเรามากนั้นก็คือ อุณหภูมิ และ ความชื้น อุณหภูมิมีผลกระทบต่อร่างกายเราโดยที่อากาศที่เย็นจะเพิ่มอัตราการพาความร้อนเพราะอากาศร้อนเคลื่อนตัวช้ากว่าอากาศเย็นเนื่องจากอุณหภูมิจะน้อยกว่าผิวรอบ ๆ ทำให้อากาศเย็นเพิ่มการแผ่รังสีได้สูงขึ้น เช่นเดียวกัน อากาศที่อุณหภูมิมากกว่าผิวรอบ ๆ จะทำให้การแผ่รังสีลดลง ดังนั้นอากาศเย็นจะเพิ่มอัตราการระบายและอากาศที่อุ่นจะทำให้เคลื่อนตัวช้า กระบวนการนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนของไอน้ำที่อยู่ในอากาศและปริมาณของอากาศในการเคลื่อนที่ กระบวนการนี้เองทำให้ความชื้นมีผลกระทบต่อร่างกายเราจากการรักษาสมดุลในร่างกายของมนุษย์นี้เองที่ได้มีการนำมาออกแบบการปรับอากาศ เพื่อความสบายของมนุษย์

2.3 ทฤษฎีระบบปรับอากาศ

ระบบปรับอากาศเป็นการถ่ายเทพลังงานความร้อนของสภาวะภายในห้องให้เหมาะสมต่อความต้องการในสภาวะที่กำหนด ในสภาวะอากาศในห้องบางที่อาจจะหนาวมาก ร้อนมาก มีความชื้นมาก อากาศแห้งมาก ระบบปรับอากาศนี้จะทำหน้าที่เปลี่ยนสภาวะให้ได้ตามที่ต้องการ

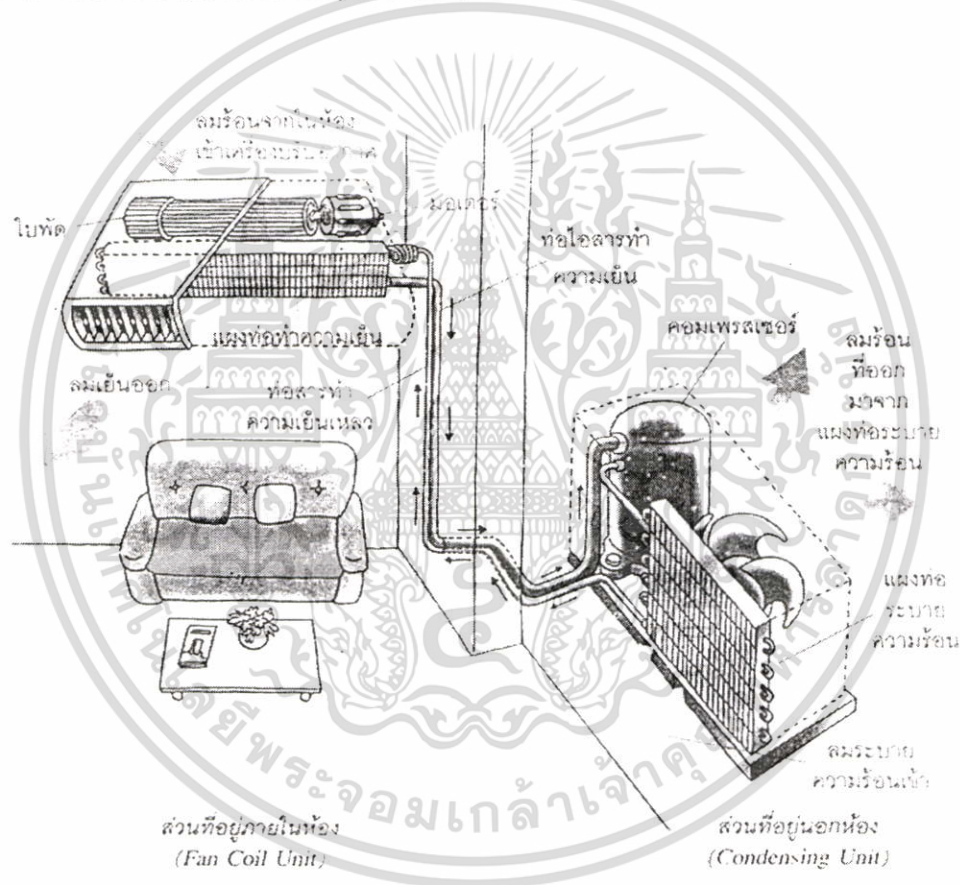
การทำงานของระบบปรับอากาศ จะเป็นวัฏจักรการทำทำความเย็นเริ่มจาก เมื่อเปิดเครื่องปรับอากาศ สารทำความเย็นเหลวจะไหลผ่านอุปกรณ์ป้อนสารทำความเย็น เข้าไปยังแผงท่อทำความเย็นซึ่งติดตั้งอยู่ภายในห้อง พัดลมส่งลมเย็นจะดูดอากาศร้อนและชื้นภายในห้องผ่านแผ่นกรองอากาศซึ่งติดตั้งอยู่ด้านหน้าของแผงท่อทำความเย็นเพื่อกรองฝุ่นละออง และอากาศร้อนชื้นนี้จะคายความร้อนให้แก่สารทำความเย็นภายในแผงท่อทำความเย็น ทำให้อุณหภูมิและความชื้นลดลงและถูกพัดลมส่งลมเย็นส่งกลับเข้ามาสู่ห้องอีกครั้งหนึ่งโดยผ่านคอยล์ เพื่อให้ลมเย็นแพร่ไปสู่ส่วนต่าง ๆ ของห้องอย่างทั่วถึง

สำหรับสารทำความเย็นเหลวภายในแผงท่อทำความเย็น เมื่อได้รับความร้อนจากอากาศภายในห้องจะระเหยกลายเป็นไอ และไหลเข้าสู่คอมเพรสเซอร์ซึ่งจะอัดไอนี้เพื่อส่งต่อไปยังแผงท่อระบายความร้อนซึ่งติดตั้งอยู่นอกอาคาร พัดลมระบายความร้อนจะดูดอากาศภายนอกมาระบาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความร้อนออกจากสารทำความเย็น ทำให้ไอสารทำความเย็นกลั่นตัวกลับเป็นของเหลวอีกครั้งหนึ่ง และไหลออกจากแผงท่อระบายความร้อนไปสู่อุปกรณ์ป้อนสารทำความเย็น วงเวียนเป็นวัฏจักร เช่นนี้ตลอดเวลาจนกว่าอุณหภูมิในห้องจะถึงระดับที่เราตั้งไว้ อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิก็จะส่งสัญญาณให้คอมเพรสเซอร์หยุดทำงานชั่วคราวหนึ่งจึงประหยัดส่วนไฟฟ้าส่วนที่ป้อนให้ตัวอุปกรณ์คอมเพรสเซอร์ทำงานได้ แต่พัดลมส่งลมเย็นยังคงทำหน้าที่ส่งลมให้ภายในห้อง จนเมื่อความร้อนภายในห้องเริ่มทำให้อุณหภูมิของห้องสูงขึ้น ตัวอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิก็จะส่งสัญญาณให้ตัวอุปกรณ์คอมเพรสเซอร์ทำงานเพื่อให้สารทำความเย็นไหลผ่านแผงท่อทำความเย็นใหม่

กล่าวโดยสรุปก็คือ เครื่องปรับอากาศทำหน้าที่พาความร้อนที่เกิดขึ้นภายในห้องต่าง ๆ ผ่านทางแผงท่อทำความเย็นออกไปทิ้งภายนอกโดยผ่านทางแผงท่อระบายความร้อนนั่นเอง ดังรูป

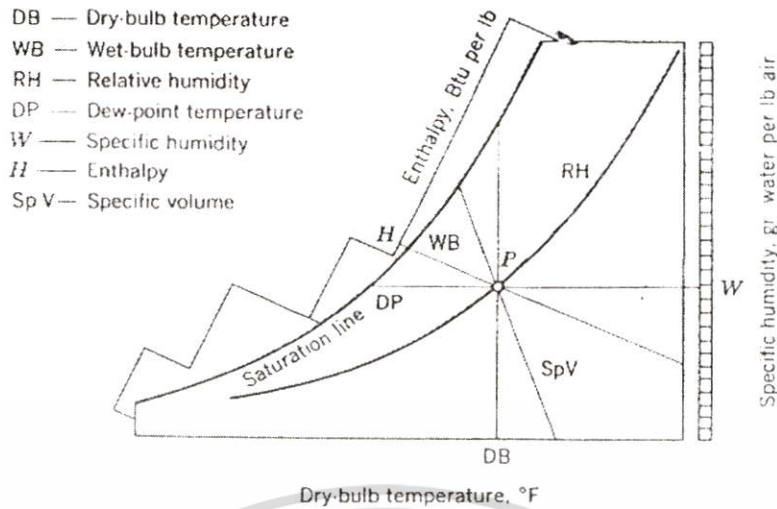


รูปที่ 2.1 การทำงานระบบปรับอากาศ

2.4 กระบวนการปรับสภาวะอากาศในแผนภูมิไซโครเมตริกชาร์ต

สิ่งที่แสดงให้เห็นภาพถึงการเปลี่ยนแปลงสภาวะอากาศเรามักจะใช้ แผนภูมิไซโครเมตริกชาร์ตในการแสดงผล เพื่อให้รู้ถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรในแผนภูมิไซโครเมตริกชาร์ต โดยสามารถอธิบายได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แผนภูมิไซโครเมตริกชาร์ต

จากรูปที่ 2.2 ได้แสดงความสัมพันธ์ในไซโครเมตริกชาร์ต [2] ดังนี้
 อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (DB) เป็นอุณหภูมิของอากาศที่อ่านจากเทอร์มิเตอร์ธรรมดา
 อุณหภูมิกระเปาะแห้งจะพล็อตลงในเส้นแนวนอนที่ส่วนล่างของชาร์ต ที่อุณหภูมินี้เป็นการวัดถึง
 ความร้อนสัมผัสโดยที่การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกระเปาะแห้งจะแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของ
 ความร้อนสัมผัส

อุณหภูมิกระเปาะเปียก (WB) เป็นอุณหภูมิของอากาศที่อ่านจากเทอร์มิเตอร์ ที่
 กระเปาะแห้งหุ้มด้วยลวดหรือไส้ตะเกียงที่ชุ่มน้ำและทำการหมุนไปในอากาศ อุณหภูมิกระเปาะ
 เปียกจะพล็อตลงในเส้นที่ซึ่งจุดเริ่มต้นอยู่ที่เส้นอิมิตัวและเฉียงลงมาจากด้านขวา อุณหภูมิแสดง
 ถึงค่าความร้อนทั้งหมด (เอนทาลปี) คือ ความร้อนสัมผัสบวกความร้อนแฝง

อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (DP) เป็นอุณหภูมิของอากาศอิมิตัว หรืออุณหภูมิที่อากาศถูกทำให้
 เย็นลงก่อนเกิดการควบแน่น อุณหภูมิจุดน้ำค้างเป็นจุดที่อยู่ตลอดบนเส้นอิมิตัว ที่สภาวะอิมิตัวนี้
 ค่าของอุณหภูมิ $DP = WB = DB$ อุณหภูมิจุดน้ำค้าง เป็นค่าที่แสดงถึงความร้อนแฝง ดังนั้นการ
 เปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจุดน้ำค้างจึงเป็นตัวบอกถึงการเปลี่ยนแปลงความร้อนแฝง (ปริมาณไอน้ำ)

ความชื้นจำเพาะ (W) เป็นปริมาณไอน้ำที่มีอยู่จริงของอากาศในหน่วยเกรณของไอน้ำ
 ต่อปอนด์ของอากาศแห้งสเกลของ W จะอยู่ทางด้านขวามือในแกนตั้งของชาร์ต

ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) เป็นอัตราส่วนของความดันไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศ ต่อด้วย
 ความดันของไอน้ำที่อุณหภูมิเดียวกัน เส้นความชื้นสัมพัทธ์เริ่มจากด้านล่างซ้ายและโค้งขึ้นไป
 ด้านบนขวา โดยประมาณความโค้งเท่ากับเส้นอิมิตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาตรจำเพาะ (SpV) เป็นส่วนกลับของความหนาแน่นในหน่วยลูกบาศก์ฟุตของของผสมไอน้ำกับอากาศต่อด้วยปอนด์ของอากาศแห้ง เส้นของปริมาตรจำเพาะเริ่มจากเส้น DB และเอียงขึ้นไปทางด้านซ้าย

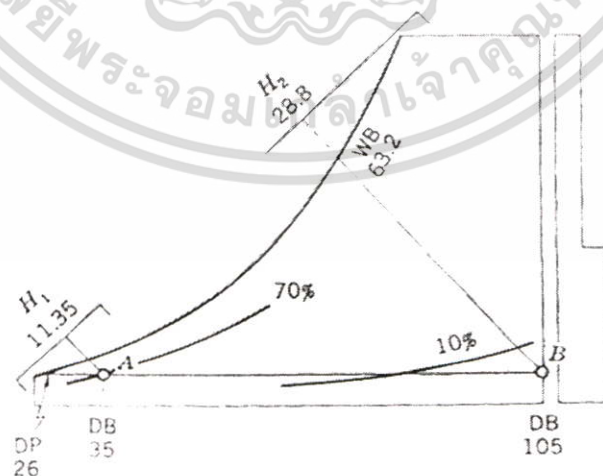
เอนทาลปี หรือ ปริมาณความร้อนทั้งหมด (H) เป็นค่าที่แสดงปริมาณความร้อนของของผสมไอน้ำกับอากาศเหนือจุดศูนย์ (0 องศาฟาเรนไฮด์ สำหรับอากาศแห้ง และ 32 องศาฟาเรนไฮด์ สำหรับน้ำ) โดยมีหน่วยเป็น Btu ต่อปอนด์ของอากาศแห้ง ค่าของเอนทาลปีจะอยู่บนสเกลเหนือเส้นอิมิต์ที่อยู่ที่ทางซ้ายของชาร์ต

2.5 การเปลี่ยนแปลงสภาวะของอากาศ

การทำความร้อน ความเย็น การให้ความชื้น และลดความชื้น เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในการปรับอากาศ การเปลี่ยนแปลงทั้งหมดของอากาศจากสภาวะที่แสดงโดย จุดเริ่มต้นในชาร์ตไปยังสภาวะอื่น ๆ ในจุดต่าง ๆ ของชาร์ต ซึ่งมีกระบวนการที่เป็นไปได้อยู่ 6 กระบวนการ [3] คือ

2.5.1 การทำความร้อนให้กับอากาศโดยไม่มีการเพิ่มปริมาณไอน้ำ

กระบวนการนี้เป็นกระบวนการความร้อนแฝงหรือกระบวนการความชื้นคงที่ โดยอุณหภูมิจุดน้ำค้างคงที่อยู่ มีเพียงความร้อนสัมผัสที่เพิ่มให้กับอากาศ กระบวนการนี้เป็นระบบที่ให้ความร้อนโดยใช้อากาศ ซึ่งในเตาให้ความร้อนไม่ได้ติดเครื่องให้ความชื้นและใช้น้ำร้อนหรือไอน้ำเป็นตัวให้ความร้อนที่เครื่องกระจายความร้อนของคอยล์ กระบวนการนี้ส่วนใหญ่แล้วเรียกอยู่ในรูปแบบของกระบวนการให้ความร้อนสัมผัส ดังรูปที่ 2.3 กระบวนการนี้เริ่มจากจุด A ไปยังจุด B

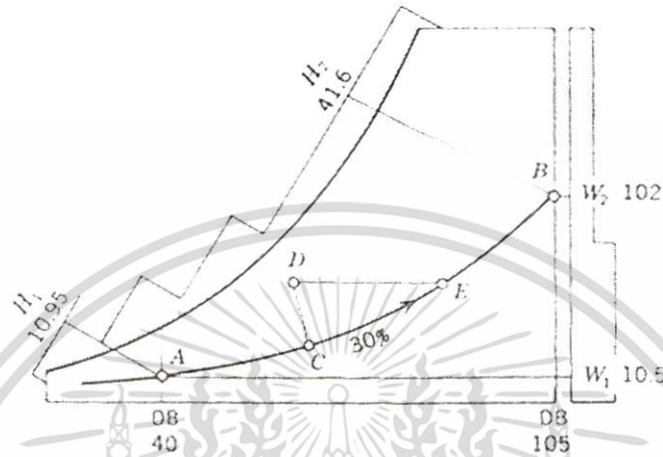


รูปที่ 2.3 กระบวนการให้ความร้อนโดยความชื้นคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 การทำความร้อนโดยมีการเพิ่มความชื้น

ในทางปฏิบัติของการปรับอากาศในฤดูหนาวที่ตื้นนั้น จำเป็นที่จะต้องมีการเพิ่มปริมาณไอน้ำระหว่างกระบวนการให้ความร้อน ปกติแล้วจำนวนไอน้ำที่พอเพียงในการเพิ่มเข้าไปเพื่อรักษาความชื้นสัมพัทธ์ให้อยู่ที่ประมาณ 40 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ในพื้นที่ปรับอากาศ

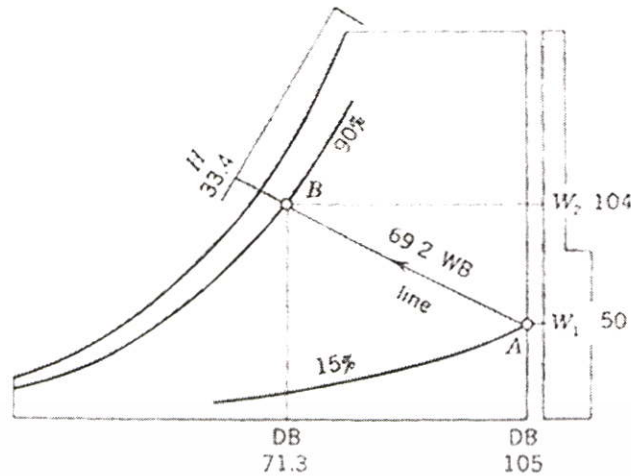


รูปที่ 2.4 กระบวนการความชื้นสัมพัทธ์คงที่จากไซโครเมตริกชาร์ต

จากรูปกระบวนการทำความร้อนนั้นเริ่มจากจุด A ไปยังจุด B โดยการทำความร้อนนั้นได้รักษาภาวะของความชื้นสัมพัทธ์คงที่ไว้ที่ 30% การให้ความชื้นของอากาศสามารถทำได้โดยฉีดละอองน้ำเล็ก ๆ เข้าไปในทางเดินของอากาศร้อน ในกระบวนการจริงจะขึ้นอยู่กับวิธีการใช้ของการเพิ่มความชื้น เส้น CD แสดงการเพิ่มความชื้นปกติถ้ามีการฉีดละอองน้ำขึ้น และเส้น DE เป็นเส้นปกติของความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในแนวนอน

2.5.3 การทำความเย็นโดยเอนทาลปีคงที่

กระบวนการนี้เกิดขึ้นไปตามเส้นอุณหภูมิกระเปาะเปียกคงที่ เครื่องฟอกอากาศสำหรับระบบระบายอากาศและเครื่องทำความเย็นสำหรับบ้านเรือนหรืออาคารสำนักงานส่วนใหญ่แล้วจะใช้กระบวนการนี้เนื่องจากปริมาณความร้อนทั้งหมดมีค่าคงที่ การทำความเย็นสัมพัทธ์ ลดลงถึงอุณหภูมิ DB สามารถเกิดขึ้นได้ ถ้าความร้อนแฝง (ปริมาณไอน้ำ) เพิ่มขึ้น ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศได้ใช้ในการระเหยของน้ำมากขึ้น ดังนั้นอุณหภูมิ DB จึงลดลง โดยที่อุณหภูมิ WB ยังคงที่อยู่ ส่วนความชื้นจำเพาะและความชื้นสัมพัทธ์มีค่าเพิ่มขึ้นทั้งคู่ ดังรูปที่ 2.5 จากจุด A ไปยังจุด B

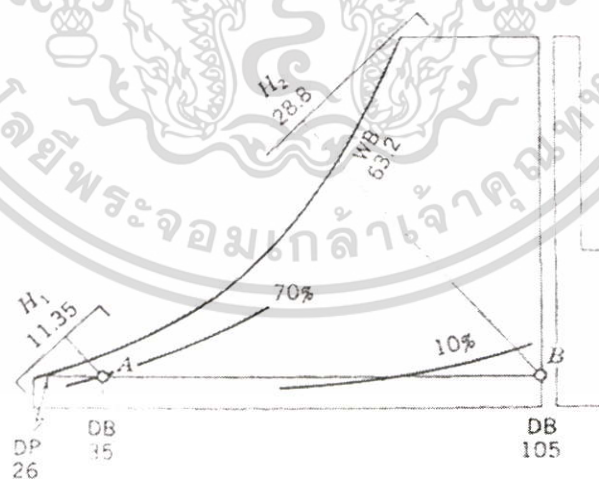


รูปที่ 2.5 การทำความเย็นที่เอนทาลปีคงที่ซึ่งเป็นกระบวนการอะไดบาติก

2.5.4 การทำความเย็นโดยปริมาณไอน้ำคงที่

กระบวนการนี้เป็นกระบวนการย้อนกลับของกระบวนการทำความร้อนโดยปริมาณไอน้ำคงที่ โดยกระบวนการเคลื่อนที่ไปทางซ้ายจากจุด B ไปยังจุด A ที่แสดงในรูปที่ 2.6 มีเพียงความร้อนสัมผัสเท่านั้นที่ถูกดึงออกมาจากอากาศ เมื่อจุดน้ำค้างของอากาศยังไม่ถึง การทำความเย็นโดยใช้การระเหยไม่สามารถใช้กระบวนการนี้ได้ แต่ต้องการใช้สารทำความเย็นแทน

ในกระบวนการทำความเย็นสัมผัส ต้องการอุปกรณ์ทำความเย็นที่จะรักษาอุณหภูมิที่จุดน้ำค้างหรือมากกว่าได้ ถ้าอากาศถูกทำให้เย็นลงจนต่ำกว่าจุดน้ำค้างไอน้ำจะเกิดการควบแน่นจากอากาศ

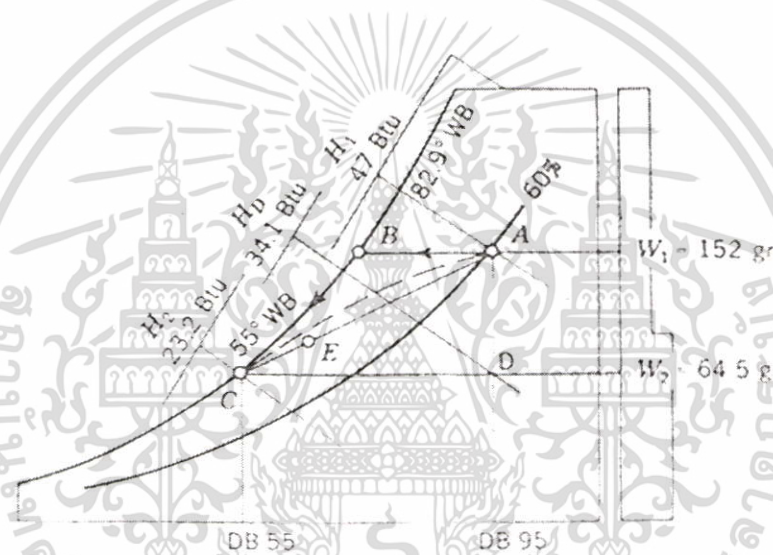


รูปที่ 2.6 การทำความเย็นโดยปริมาณไอน้ำคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.5 การทำความเย็นโดยการลดความชื้น

การทำความเย็นปกติในฤดูร้อนหรือการปรับอากาศโดยใช้สารทำความเย็น เป็นตัวอย่างที่เกิดขึ้นของกระบวนการนี้ ในทางทฤษฎีของผสมไอน้ำ กับ อากาศถูกทำให้เย็นลงในตอนแรก (ความร้อนสัมผัสถูกดึงออกมา) ไปตามเส้นปริมาณไอน้ำคงที่จนถึงเส้นอิ่มตัว ความร้อนที่ถูกดึงออกมาเป็นผลให้เกิดการควบแน่นของไอน้ำ ซึ่งปริมาณไอน้ำที่ควบแน่นออกมาจากอากาศ ทำให้อุณหภูมิกระเปาะแห้งลดลง ดังนั้น กระบวนการนี้จึงเคลื่อนลงมา ตามเส้นอิ่มตัวจนถึงสถานะที่สอง ในการทำความเย็นสามารถทำได้ โดยให้อากาศผ่านไปยังครีบของคอยล์ ซึ่งมีน้ำเย็น หรือการขยายตัวโดยตรง ของสารทำความเย็น หรือโดยการให้อากาศผ่านละอองน้ำซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างของอากาศที่ทำการปรับอากาศ



รูปที่ 2.7 การทำความเย็นโดยการลดความชื้น

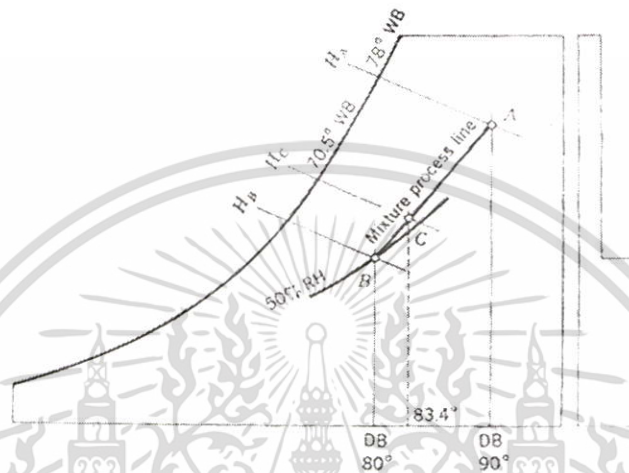
จากรูปชี้ให้เห็นว่ากระบวนการที่แสดงโดยทางเดิน ABC ของรูปที่ 2.7 เป็นเพียงทฤษฎี และการสมมติเท่านั้นว่าอากาศทั้งหมดที่เข้ามาสัมผัสกับผิวโลหะที่เย็นของครีบ แต่อากาศที่ผ่านจริงจะไม่สัมผัสกับผิวคอยล์เย็นทั้งหมด ดังนั้นจึงมีอากาศบางส่วนที่มีอุณหภูมิต่ำไม่ถึงจุดน้ำค้างเลย สำหรับลักษณะในกระบวนการจริงที่ครีบของคอยล์ได้แสดงไว้ใกล้เคียงกว่า โดยเส้นโค้งประเชื่อมจุด A และ C

ในกระบวนการจริงเส้น AC สำหรับผิวครีบของคอยล์ทำความเย็น เป็นความสัมพันธ์ที่ยุ่ยากมากซึ่งไม่สามารถที่จะทำนายได้ อย่างไรก็ตามในการแก้ปัญหาของการปรับอากาศจริง ๆ ต้องการรู้ถึงเพียงจุดสุดท้ายของกระบวนการไม่จำเป็นต้องเป็นกระบวนการจริงดังนั้นในทางปฏิบัติส่วนใหญ่จะแสดงกระบวนการทำความเย็นของคอยล์โดยเส้นตรง AC ที่แสดงในรูปที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.6 การผสมของปริมาณอากาศ

โดยปกติแล้วกระบวนการในผสมของปริมาณอากาศทั้งสองที่เกิดขึ้น ในระบบปรับอากาศ จำเป็นที่จะต้องหาคุณสมบัติของผสมสุดท้ายที่เกิดขึ้น ตัวอย่างเช่น การรวมกันของอากาศจากภายนอกกับอากาศที่กลับจากห้อง โดยในทางปฏิบัติเส้นกระบวนการของของผสมอาจจะแสดงบนไซโครเมตริกชาร์ตเป็นเป็นเส้นตรงเชื่อมจุดที่แสดงสภาวะทั้งสองซึ่งมีจุดของของผสมอยู่บนเส้นของกระบวนการนี้



รูปที่ 2.8 การผสมของปริมาณอากาศที่สภาวะ A และสภาวะ B

2.6 การกำจัดความร้อนและไอน้ำ

ในเขตภูมิภาคที่เป็นอากาศร้อนชื้นนั้น การปรับอากาศจะเป็นการทำทำความเย็นและการลดความชื้น ซึ่งจะเกี่ยวกับการลดทั้งอุณหภูมิกระเปาะแห้งและปริมาณไอน้ำในอากาศ โดยที่ทั้งความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงจะถูกกำจัดออก ซึ่งมี 3 วิธีที่การทำเย็นและการลดความชื้นโดยทั่วไปทำได้โดย

1. การดูดซึมของไอน้ำโดยสารเคมีที่ทำให้ปริมาณไอน้ำแห้ง เช่น ซิลิกาเจล จะช่วยลดความชื้นแต่ขณะทำปฏิกิริยาความร้อนจะเพิ่มขึ้น
2. อุปกรณ์แบบสเปรย์ เช่น เครื่องพ่นน้ำ ที่ซึ่งอากาศเคลื่อนที่ผ่านละอองน้ำเย็น หรือ ละอองน้ำที่หมุนเวียน ถ้าละอองน้ำเย็นมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างของอากาศที่เข้ามา ซึ่งจะทำให้เกิดทั้งการทำทำความเย็นและการเพิ่มความชื้น
3. การกำจัดในเวลาเดียวกันของทั้งความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝง โดยให้อากาศผ่านเหนือคอยล์ทำความเย็นที่ซึ่งมีสารทำความเย็นระเหย หรือน้ำเย็นหมุนเวียนอยู่ภายใน อุณหภูมิของคอยล์จะต้องต่ำกว่าจุดน้ำค้างของอากาศที่เข้ามา สำหรับเพื่อให้การลดความชื้นเกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 ภาระของเครื่องระบบปรับอากาศ

ภาระของการปรับอากาศ หมายถึงปริมาณความร้อนที่ต้องถ่ายเทจากบริเวณปรับอากาศ โดยการทำงานของเครื่องทำความเย็น การปรับอากาศคือ การทำให้สภาวะอากาศภายในห้องปรับอากาศมีอุณหภูมิพอเหมาะ และ ควบคุมความชื้นให้ผู้ที่อยู่อาศัยภายในห้องสบาย การปรับสภาวะอากาศในประเทศไทย เป็นการทำให้อากาศภายในห้องเย็นกว่าอุณหภูมิของอากาศภายนอกห้อง ดังนั้น ความร้อนจากภายนอกห้องพยายามถ่ายเทผ่านพื้น ฝาผนังและเพดาน เข้ามาในห้องปรับอากาศอยู่ตลอดเวลา จึงต้องใช้เครื่องปรับอากาศดึงความร้อนออกไป การกำหนดเครื่องปรับอากาศที่จะใช้ติดตั้งนับว่าเป็นสิ่งสำคัญมาก เพราะถ้าติดตั้งเครื่องปรับอากาศเล็กเกินไปห้องปรับอากาศจะไม่เย็นเท่าที่ต้องการ และเครื่องจะต้องทำงานหนักมาก ในทางตรงข้ามถ้าติดตั้งเครื่องปรับอากาศที่มีขนาดใหญ่เกินไป เช่น ถ้าห้องที่ต้องการเครื่องอากาศขนาด 3 ตัน แต่นำเครื่องปรับอากาศขนาด 5 ตัน ไปติดตั้งก็จะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายที่มากเกินไปจนความจำเป็น ดังนั้นจึงต้องมีการคำนวณหาภาระการทำงานทำความเย็นของห้อง เพื่อให้เลือกใช้ขนาดเครื่องปรับอากาศให้เหมาะสมกับขนาดของห้องที่กำหนด โดยจะต้องคำนึงถึงค่าความร้อนดังนี้

2.7.1 การคำนวณหาภาระการทำงานของระบบปรับอากาศ

ห้องปรับอากาศโดยทั่วไปจะได้รับความร้อนจากแหล่งต่าง ๆ หลายแหล่งด้วยกันดังต่อไปนี้

1. ความร้อนถ่ายเทผ่านผนังด้านนอก หลังคาและกระจก
2. ความร้อนถ่ายเทผนังด้านใน เพดานและพื้นห้อง
3. ความร้อนจากการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ผ่านกระจก
4. ความร้อนจากแสงสว่าง
5. ความร้อนจากผู้อยู่อาศัย
6. ความร้อนจากเครื่องมือ เครื่องใช้
7. ความร้อนจากการรั่วของอากาศภายนอกผ่านช่องเปิดต่าง ๆ

จากความร้อนถ่ายเทผ่านผนังด้านนอก หลังคา กระจก เพดาน พื้นห้อง รวมการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ เป็นความร้อนที่ได้รับจากภายนอก ส่วนความร้อนจากแสงสว่าง ความร้อนจากผู้อยู่อาศัย ความร้อนจากเครื่องมือ เครื่องใช้ ความร้อนจากการรั่วไหลผ่านช่องเปิดต่าง ๆ ทั้งหมดนี้เป็นความร้อนที่ถูกนำมาคำนวณ เมื่อทำการออกแบบระบบปรับอากาศ สิ่งที่สำคัญในการออกแบบระบบปรับอากาศ การคำนวณภาระการทำงานของระบบปรับอากาศเป็นปัจจัยแรกที่เราจะต้องนำมาคิด เพื่อที่จะเลือกหาขนาดของระบบปรับอากาศในการทำความเย็นภายในห้อง ภาระของระบบปรับอากาศนี้มีภาระที่เกิดจากความร้อนสัมผัส และ ความร้อนแฝง ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการออกแบบถ้ามีปัจจัยในการควบคุมอุณหภูมิ และ การควบคุมความชื้น ด้วยแล้ว สิ่งสำคัญ การออกแบบระบบปรับอากาศก็ต้องมีอุปกรณ์ที่สามารถจะควบคุมตัวแปรที่ต้องการได้ด้วย

2.8 อุปกรณ์ระบบปรับอากาศ

การสร้างระบบปรับอากาศ ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาอยู่ตลอดเวลาและในการสร้างระบบปรับอากาศจะมีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่มาก ซึ่งสามารถที่จะแบ่งออกเป็นส่วนใหญ่ ๆ คือ ส่วนของระบบการทำความเย็น และ ส่วนการควบคุมการทำงาน

ในระบบปรับอากาศที่พบเห็นตามที่อยู่อาศัย หรือ ห้องทำงานโดยทั่ว ๆ ไปแล้วมีส่วนประกอบด้วยกันสองส่วนประกอบคือ ชุดคอยล์เย็นหรือชุดอีวาพอเรเตอร์ และ ชุดคอนเดนซิงยูนิต ซึ่งอาจจะเรียกชนิดของระบบปรับอากาศชนิดนี้ว่าแบบ split type แต่แต่ละส่วนประกอบมีอุปกรณ์ดังนี้

2.8.1. ชุดอุปกรณ์คอยล์เย็นหรือชุดอุปกรณ์อีวาพอเรเตอร์

1. คอยล์เย็นหรืออีวาพอเรเตอร์ เป็นชุดท่อทองแดงและมีครีบอลูมิเนียมช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซับปริมาณความร้อนจากอากาศในห้องขณะที่น้ำยา R-22 ภายในระบบตรงบริเวณนี้ระเหยเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ จะดูดซับปริมาณความร้อนผ่านท่อทางเดินน้ำยาเข้าไปยังน้ำยาภายในระบบทำให้อุณหภูมิโดยรอบคอยล์เย็นลดต่ำลง

2. เทอร์โมสแตติกเอ็กซ์แพนชันวาล์ว ส่วนใหญ่ชุดควบคุมการไหลของน้ำยาที่ใช้สำหรับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนมักจะใช้เทอร์โมสแตติกเอ็กซ์แพนชันวาล์ว ซึ่งเป็นแบบที่มีหลักการปรับควบคุมการไหลของน้ำยาได้ดี

3. ท่อของเหลว เป็นท่อที่ต่อเข้ากับชุดคอนเดนซิงยูนิตเพื่อให้น้ำยาเหลวที่กลั่นตัวเรียบร้อยแล้วจากคอนเดนเซอร์ ส่งผ่านท่อนี้เข้ายังเอ็กซ์เพนชันวาล์ว

4. ท่อทางดูด เป็นอีกท่อหนึ่งที่ไปต่อเข้ากับชุดคอนเดนซิงยูนิตตรงทางดูดของตัวคอมเพรสเซอร์ให้น้ำยาสถานะแก๊สที่มีอุณหภูมิต่ำ และ ความดันต่ำจากคอยล์เย็นถูกดูดผ่านท่อทางดูดเข้ายังคอมเพรสเซอร์

5. มอเตอร์พัดลม สำหรับชุดคอยล์เย็นแบบตั้งพื้นแขวนเพดาน หรือซ่อนในฝ้า มอเตอร์พัดลมจะเป็นแบบ 2- แกน - หมุนใบพัดหัวท้าย- เพื่อดูดอากาศจากภายในห้องมาเป่าผ่านคอยล์เย็น กลับเข้าไปหมุนเวียนภายในห้อง

6. ใบพัด ใบพัดที่เข้าสำหรับดูดเป่าอากาศหมุนเวียนให้กระจายความเย็นภายในห้องจะเป็นใบพัดแบบกรงกระรอกหรือแบบเซอร์ออกโค เช่นเดียวกับที่ใช้ในเครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่าง แต่สำหรับชุดคอยล์เย็นแบบติดผนังรุ่นใหม่ ๆ เนื่องจากการออกแบบต้องการให้มีความบางมาก ๆ ดังนั้นใบพัดจึงต้องมีขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ถาดรองน้ำหยดจะติดตั้งอยู่ด้านล่างของชุดคอยล์เย็น เมื่อไอน้ำในอากาศในห้องปรับอากาศกระทบความเย็นจะกลั่นตัวเป็นหยดน้ำรอบ ๆ คอยล์เย็น เมื่อน้ำเหล่านี้มีมากขึ้น จะไหลลงสู่ถาดรองน้ำหยด และ ท่อน้ำทิ้งออกทิ้งภายนอกทางรูน้ำทิ้งอีกทีหนึ่งซึ่งจะเป็นการลดความชื้นของอากาศภายในห้องให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสม

8. ฟิลเตอร์กรองอากาศ จะติดตั้งอยู่ที่ทางลมกลับสำหรับกรองฝุ่นละอองของอากาศภายในห้องไม่ให้เข้าไปอุดตันในครีบบของคอยล์เย็น

2.8.2 ชุดอุปกรณ์คอนเดนซิงยูนิต

1. มอเตอร์คอมเพรสเซอร์ มอเตอร์คอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนนี้จะเป็นแบบเฮอริเมติกซึ่งมีส่วนของมอเตอร์ และ คอมเพรสเซอร์อยู่ในตัวเดียวกัน ส่วนของคอมเพรสเซอร์มีอยู่ด้วยกันหลายแบบที่พบเห็นบ่อยก็คือ แบบลูกสูบและแบบโรตารีเหมือนกันกับมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศแบบติดหน้าต่าง

2. คอนเดนเซอร์ เป็นขดทองแดงและมีครีบบช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการระบายความร้อนออกจากน้ำยา เพื่อให้ น้ำยาในสถานะแก๊สกลั่นตัวเป็นน้ำยาเหลว

3. มอเตอร์พัดลม จะช่วยในการระบายความร้อนออกจากน้ำยาในคอนเดนเซอร์ จะเห็นได้ว่าเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนมีมอเตอร์พัดลมแยกจากกันเป็น 2 ตัวคือ อยู่ในชุดคอยล์เย็น 1 ตัว และอยู่ที่ชุดคอนเดนซิงยูนิตอีก 1 ตัว

4. ใบพัดลม ใบพัดลมสำหรับระบายความร้อนที่คอนเดนเซอร์จะเป็นใบพัดแบบธรรมดา เช่นเดียวกับใบพัดระบายความร้อนคอนเดนเซอร์ของเครื่องปรับอากาศแบบติดหน้าต่าง

2.9 การออกแบบอุปกรณ์ระบบปรับอากาศในงานวิจัย

2.9.1 ท่อลม

การออกแบบท่อลมในงานวิจัยได้ออกแบบโดยการใช้แผ่นอลูมิเนียมพับเป็นรูปท่อที่อยู่ 3 ชั้นมาประกอบกัน คือ ในส่วนท่อลมจ่าย แบ่งออกเป็นท่อในส่วนโค้ง และท่อตรงในส่วนจ่ายลม และท่อในส่วนท่อกลับ การออกแบบในส่วนท่อลมจ่ายมีขนาดพื้นที่หน้าตัดกว้าง 14 เซนติเมตร ยาว 90 เซนติเมตรและความลึก 55 เซนติเมตร ท่อโค้งลมจ่ายมีพื้นที่หน้าตัดกว้าง 14 เซนติเมตร ยาว 90 เซนติเมตร รัศมีใน 5 เซนติเมตร รัศมีนอก 22 เซนติเมตร ส่วนท่อกลับนั้นมีพื้นที่หน้าตัดกว้าง 27 เซนติเมตร ยาว 91 เซนติเมตร และความลึก 71 เซนติเมตร ดังรูปที่ 2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 ท่อลมจ่าย และท่อลมกลับ

จากรูปที่ 2.9 ท่อลมได้ทำการหุ้มฉนวนใยแก้วทั้งหมดในส่วนของอีวาพอเรเตอร์ เพื่อป้องกันการสูญเสียความเย็นที่ออกไป

2.9.2 พัฒลมจ่าย

พัฒลมในการปรับอากาศในงานวิจัยนี้ ได้ทำการต่ออุปกรณ์การทำงานที่ต้องปรับความเร็วรอบในการควบคุมการทำงานของระบบ โดยใช้อินเวอร์เตอร์ขนาด 0.75 กิโลวัตต์ ซึ่งมีคุณสมบัติจ่ายไฟให้กับมอเตอร์ในการทำงาน 3 เฟส 220 โวลต์จึงได้ดัดแปลงการทำงานของมอเตอร์พัฒลมให้ใช้งานกับระบบไฟ 3 เฟส 220 โวลต์ โดยความเร็วลมสูงสุดที่ได้มีความเร็วเฉลี่ยทางออกที่ท่อจ่าย 1.68 เมตรต่อวินาที และความเร็วของลมที่กลับสูงสุดที่ทางเข้าเฉลี่ย 0.84 เมตรต่อวินาที โดยการวัดของอุปกรณ์วัดความเร็วลม (Anemometer)



รูปที่ 2.10 พัฒลมจ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.3 พัฒนาระบายอากาศและพัดลมดูดอากาศ

การออกแบบระบบปรับอากาศนี้ ได้ออกแบบการระบายอากาศออกนอกระบบและดูดอากาศเข้าระบบโดยใช้พัดลมขนาด 220 โวลต์ จำนวน 2 ตัวในการออกแบบระบบปรับอากาศนี้ โดยมีขนาดความเร็วลม 5 เมตรต่อวินาทีที่พัดลม การติดตั้งแสดงไว้ดังรูป



รูปที่ 2.11 พัฒนาระบายอากาศและพัดลมดูดอากาศ

2.9.4 คอมเพรสเซอร์

การออกแบบการทำงานในงานวิจัยนี้ ได้ใช้คอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบขนาด 1 ตัน ในการควบคุมการทำงานของระบบปรับอากาศ การออกแบบได้ถูกออกแบบให้ควบคุมความเร็วรอบการทำงานของคอมเพรสเซอร์ ดังนั้นจำเป็นที่จะต้องมียุทธวิธีในการควบคุมความเร็วรอบรอบ โดยได้ใช้อินเวอร์เตอร์ขนาด 1.5 กิโลวัตต์ และระบบอินเวอร์เตอร์นี้ใช้ระบบไฟฟ้า 220 โวลต์ 3 เฟส กับการทำงานมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ จึงได้ทำการดัดแปลงการทำงานของมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ให้ใช้งานได้ ดังรูป



รูปที่ 2.12 คอมเพรสเซอร์

2.9.5 เครื่องจ่ายความร้อนด้วยไฟฟ้า

การออกแบบในส่วนการลดความชื้นในการทำงานนั้น ได้เลือกใช้เครื่องจ่ายความร้อนในการออกแบบเพื่อควบคุมความชื้นในการลดค่าความชื้นของระบบ โดยการใช้เครื่องจ่ายความร้อนที่ใช้ไฟฟ้าขนาด 1000 วัตต์ ในการออกแบบการทำงาน



รูปที่ 2.13 เครื่องจ่ายความร้อนด้วยไฟฟ้า

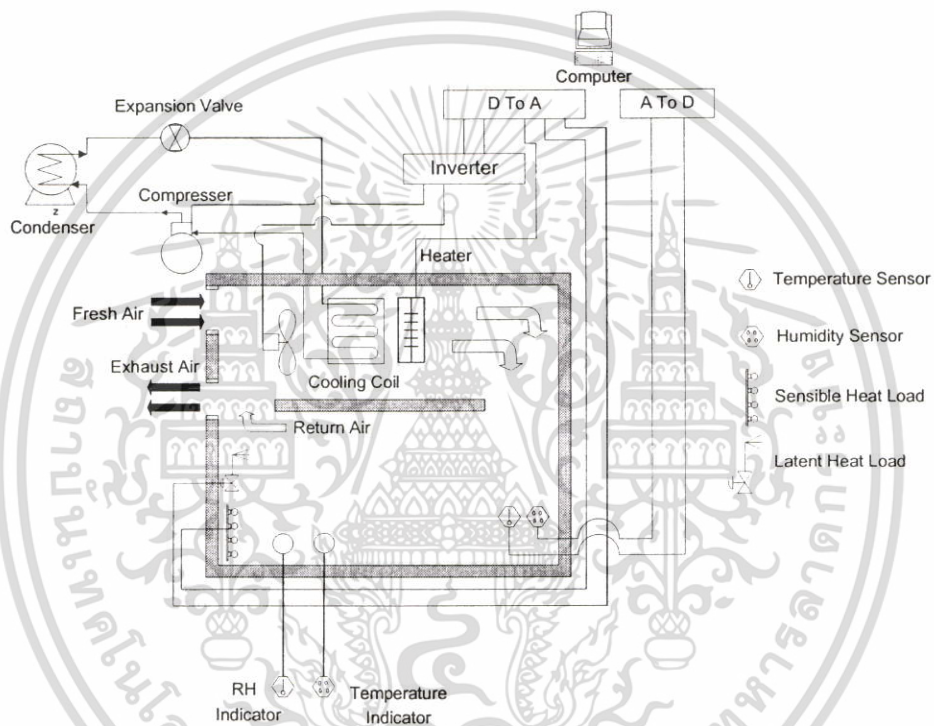
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบระบบปรับอากาศ

3.1 การออกแบบระบบปรับอากาศ

ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบระบบการปรับอากาศให้มีความเหมาะสมต่อการทำงานในสภาพอากาศที่มีความร้อนชื้น การออกแบบจึงได้มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในห้องโดยได้อาศัยการควบคุมจากโปรแกรมการควบคุมทางไมโครคอมพิวเตอร์ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังการควบคุมระบบปรับอากาศ

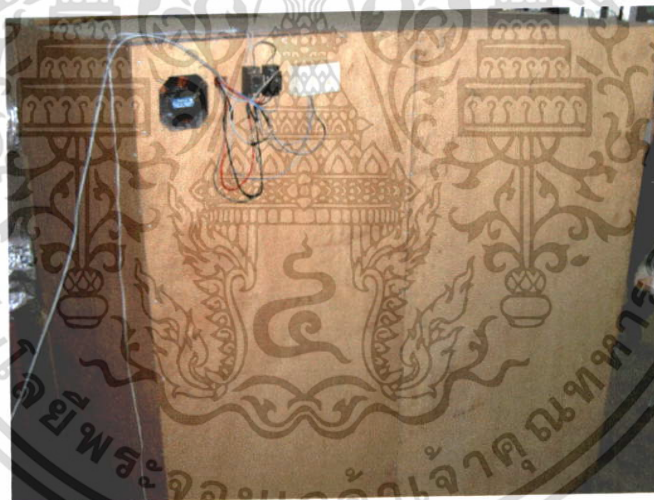
จากรูปการควบคุมระบบปรับอากาศนี้ได้ใช้ไมโครคอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุมการทำงานของระบบภายในห้องโดยควบคุมทั้งอุณหภูมิและความชื้นภายในห้อง อุปกรณ์รับรู้ของอุณหภูมิและความชื้นจะรับค่าที่ได้ส่งผ่านการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล ค่าที่ได้จะนำไปประมวลผลโดยการควบคุมแบบพีซีลลจิก ค่าของผลลัพธ์ที่ได้จะนำไปผ่านการแปลงสัญญาณจากดิจิตอลเป็นอนาล็อกเพื่อควบคุมการทำงาน ระบบจะส่งค่าที่ได้ไปควบคุมการทำงานของมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ มอเตอร์พัดลม เครื่องจ่ายความร้อน ภาวะความร้อนสัมผัสของห้องและภาวะความร้อนแฝงของห้อง สำหรับมอเตอร์คอมเพรสเซอร์และมอเตอร์พัดลมนี้เป็นลักษณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาการทำงาน โดยการใช้อินเวอร์เตอร์ (Inverter)
ทำหน้าที่ควบคุมความเร็วรอบการทำงานของมอเตอร์ตามสภาวะที่ได้จากการควบคุมการทำงาน
ด้วยการควบคุมแบบพีซีซีลอจิก

3.2 ภาวะในการออกแบบระบบปรับอากาศ

การออกแบบระบบปรับอากาศจำเป็นต้องทราบภาวะทั้งหมดในการปรับอากาศ เพื่อที่จะ
ได้ออกแบบการควบคุมการปรับอากาศให้ได้ตามที่กำหนด ขนาดของพื้นที่ในการออกแบบก็เป็น
ตัวแปรสำคัญในการออกแบบภาวะของระบบปรับอากาศ ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบระบบห้องที่มี
ปริมาตร 8 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีความกว้าง ความยาว และความสูง เท่ากับ 2 เมตร ดังรูปที่ 3.2
ภายในห้องได้ทำการติดฉนวนด้วยโฟมไม่ให้อากาศจากภายในรั่วไหล และภายนอกไม่สามารถเข้า
มาในระบบได้ ยกเว้นสำหรับพัดลมระบายอากาศและพัดลมดูดอากาศซึ่งเป็นอุปกรณ์ในระบบการ
ปรับอากาศที่ทำหน้าที่นำอากาศระบายออกระบบและนำอากาศใหม่เข้าระบบ ตามลำดับ



รูปที่ 3.2 การออกแบบห้องปรับอากาศ

ในการออกแบบระบบปรับอากาศนี้ได้จำลองการสูญเสียความร้อนจากภายนอกซึ่งมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับการปรับอากาศ ดังนั้นจึงได้ออกแบบความร้อนที่เป็นภาวะในการปรับอากาศอยู่ 2 ชนิด ก็คือ ความร้อนสัมผัสที่ได้จากหลอดไฟ และ ความร้อนแฝงที่ได้จากเครื่องทำไอน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 การสร้างภาระความร้อนสัมผัส (Sensible heat load)

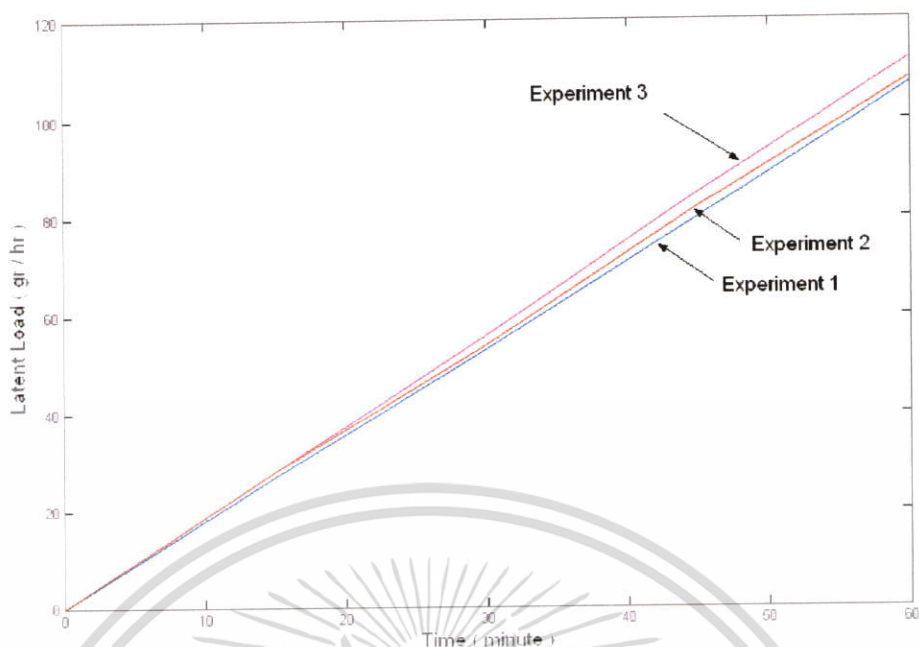
การออกแบบการสร้างความร้อนสัมผัสนั้นได้อาศัยการทำความร้อนจากหลอดไฟ ขนาด 200 วัตต์ ในการติดตั้งภาระในการปรับอากาศ ภาระของหลอดไฟนั้นสามารถออกแบบจากกำลังวัตต์ที่เกิดขึ้นซึ่งมีค่า 3.4 Btu / (hr)(W) เนื่องจากหลอดไฟนั้นให้ความร้อนสัมผัสเท่านั้น ในการออกแบบระบบปรับอากาศนี้จึงให้ความร้อนสัมผัสในแต่ละหลอดไฟเท่ากับ 680 Btu/(hr)(หลอด) ขณะทำการเปิดภาระความร้อนสัมผัสได้ติดตั้งสวิตช์เพื่อเลือกใช้ในการทำงานไว้เป็น 2 ชุดเพื่อกรณีศึกษาการเปลี่ยนแปลงภาระการทำงานด้วย โดยการติดตั้งไว้สูงสุดจำนวน 6 หลอดดังนั้นภาระทั้งหมดในการออกแบบความร้อนสัมผัสสูงสุดเท่ากับ 4080 Btu / hr การออกแบบการติดตั้งแสดงดังรูป



รูปที่ 3.3 ภาระความร้อนสัมผัสของระบบจากหลอดไฟ

3.2.2 การสร้างภาระความร้อนแฝง (Latent heat load)

การออกแบบการสร้างความร้อนแฝงได้ทำการออกแบบโดยอาศัยเครื่องทำไอน้ำรูปที่ 3.5 ที่ใช้ไฟฟ้าจ่ายพลังงานให้กับอุปกรณ์สร้างความถี่ ทำให้โมเลกุลของน้ำแตกตัวหลุดออกมาเป็นไอน้ำ ซึ่งได้ทำการทดลองหาค่าความสัมพันธ์ในการจ่ายไอน้ำนี้ให้กับระบบโดยการวัดค่าน้ำหนักก่อนการทำงานและทำการวัดค่าน้ำหนักทุก ๆ 15 นาทีจนบันทึกน้ำหนักที่หายไป โดยมีผลการทดลองในภาคผนวก ก. ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 การทดลองหาภาระความร้อนแฝงที่ได้จากการทดลอง

ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองของการจ่ายไอน้ำมีค่าเท่ากับ 27.25 กรัมต่อ 15 นาที หรือมีค่าเท่ากับ 109 กรัมต่อชั่วโมง



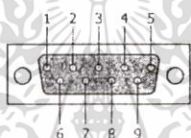
รูปที่ 3.5 ภาระความร้อนแฝงของระบบจากเครื่องฟั่นไอน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การออกแบบระบบติดต่อกับคอมพิวเตอร์

การทำงานในระบบปรับอากาศในงานวิจัยนี้ ใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ในการออกแบบการควบคุมการทำงานของระบบ ดังนั้นการทำงานในส่วนของไมโครคอมพิวเตอร์ จะต้องมีการติดต่อกับการทำงานระหว่างอุปกรณ์ในการควบคุมการทำงานนั่นก็คือ อุปกรณ์เซนเซอร์ หรือ อุปกรณ์รับรู้ อุปกรณ์ในการควบคุมการทำงานของระบบให้ทำงานได้ตามที่ต้องการ และยังมีโปรแกรมที่ควบคุมการทำงานของระบบปรับอากาศ

ส่วนการออกแบบวงจรการทำงานของเซนเซอร์ SHT11 ซึ่งเป็นเซนเซอร์ที่วัดทั้งอุณหภูมิและความชื้นโดยการติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์ที่พอร์ตอนุกรม COM1 (DB-9) กับเซนเซอร์ โดยการติดต่อกับการทำงานของ DB-9 มีขาของสัญญาณในการทำงานทั้งหมด 9 ช่องสัญญาณ มีสัญญาณเอาพุท อยู่ 3 ช่องสัญญาณ และมีขาสัญญาณอินพุทอยู่ 5 ช่องสัญญาณ และ กราวด์อีกหนึ่งช่องสัญญาณ ดังรูป



รูปที่ 3.6 พอร์ตอนุกรม 9 ขา

สัญญาณแต่ละช่องสัญญาณมีดังนี้

ช่องสัญญาณที่ 1 (DCD หรือ Data Carrier Detect) เมื่อมีการตรวจเจอสัญญาณปลายทางของสายสัญญาณ จะทำให้สายสัญญาณทำงาน

ช่องสัญญาณที่ 2 (RxD หรือ Received Data) รับข้อมูลที่ละบิตโดยเป็นลำดับ

ช่องสัญญาณที่ 3 (TxD หรือ Transmitted Data) ส่งข้อมูลที่ละบิตเป็นลำดับ

ช่องสัญญาณที่ 4 (DTR หรือ Data Terminal Ready) เป็นขาสัญญาณที่ส่งออกจากคอมพิวเตอร์เพื่อให้อุปกรณ์ปลายทางรับรู้ว่าการติดต่อด้วย

ช่องสัญญาณที่ 5 (GND หรือ Signal Ground) ทำหน้าที่เป็นกราวด์

ช่องสัญญาณที่ 6 (DSR หรือ Data Set Ready) ขานี้จะใช้คู่กับขา DTR เพื่อตรวจสอบการเชื่อมต่อกันระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ปลายทาง

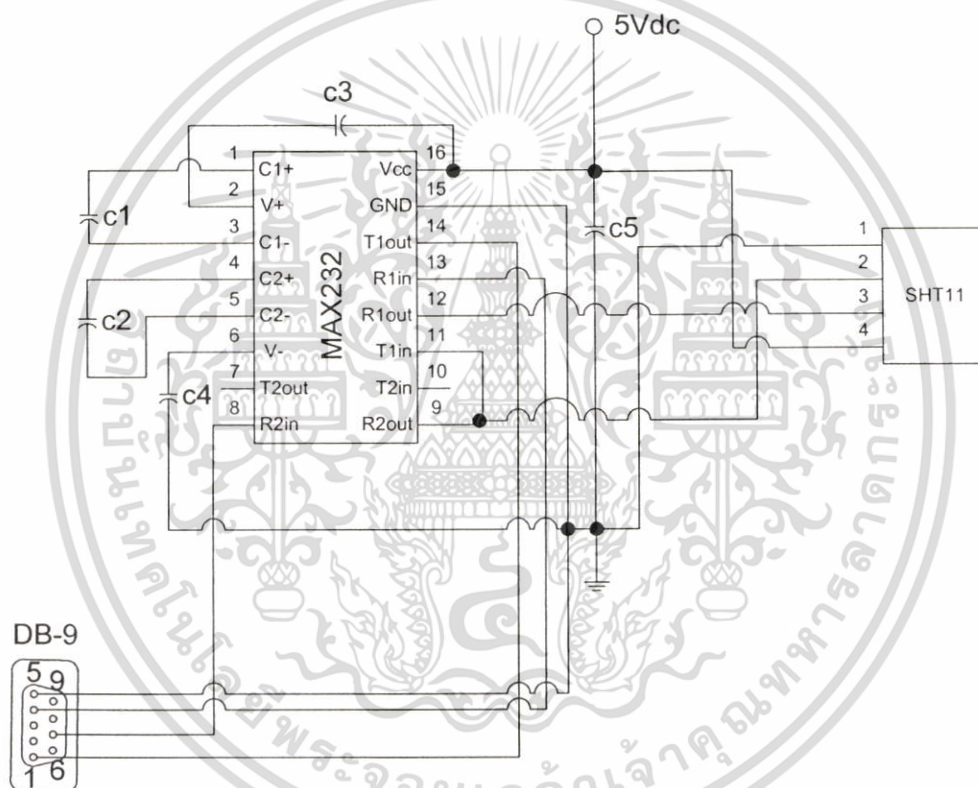
ช่องสัญญาณที่ 7 (RTS หรือ Request To Send) เป็นขาสำหรับส่งสัญญาณร้องขอให้ทางอุปกรณ์ปลายทางส่งข้อมูลกลับมายังคอมพิวเตอร์

ช่องสัญญาณที่ 8 (CTS หรือ Clear To Send) ขานี้จะคอยรับสัญญาณจากขา RTS เมื่อรับสัญญาณได้ ข้อมูลที่ขา TxD จะถูกส่งออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่องสัญญาณที่ 9 (RI หรือ Ring Indicator) ใช้แสดงสถานะสัญญาณเรียกจากสายโทรศัพท์ ปกติในการสื่อสารโดยทั่วไปสายนี้จะไม่ถูกใช้งาน จะใช้งานก็ต่อเมื่อมีการต่อกับโมเด็ม

จากวงจรรูปที่ 3.7 พอร์ตอนุกรม COM1 หรือ DB-9 ทำหน้าที่ส่งสัญญาณการทำงานไปยังเซนเซอร์โดยมีไอซี MAX232 เป็นไอซีที่ทำหน้าที่ติดต่อกับการทำงานเนื่องจากสัญญาณที่เกิดจาก COM1 มีสัญญาณไฟอยู่ที่ -12 โวลต์ ถึง 12 โวลต์ แต่เนื่องจากเซนเซอร์ทำงานอยู่ที่ 5 โวลต์ ไอซีนี้จึงได้นำมาใช้ในการออกแบบในการติดต่อกับการทำงาน โดยได้ใช้สัญญาณที่ขา 1, 4, 5 และ 7 ในการออกแบบการทำงานในส่วนการส่งสัญญาณออกมาจากการประมวลผลทางโปรแกรม ควบคุมเพื่อรับค่าอุณหภูมิและค่าความชื้น การทำงานและคุณสมบัติของเซนเซอร์ SHT11 และไอซี MAX232 จะกล่าวในหัวข้อการออกแบบอุปกรณ์ควบคุมการทำงานต่อไป

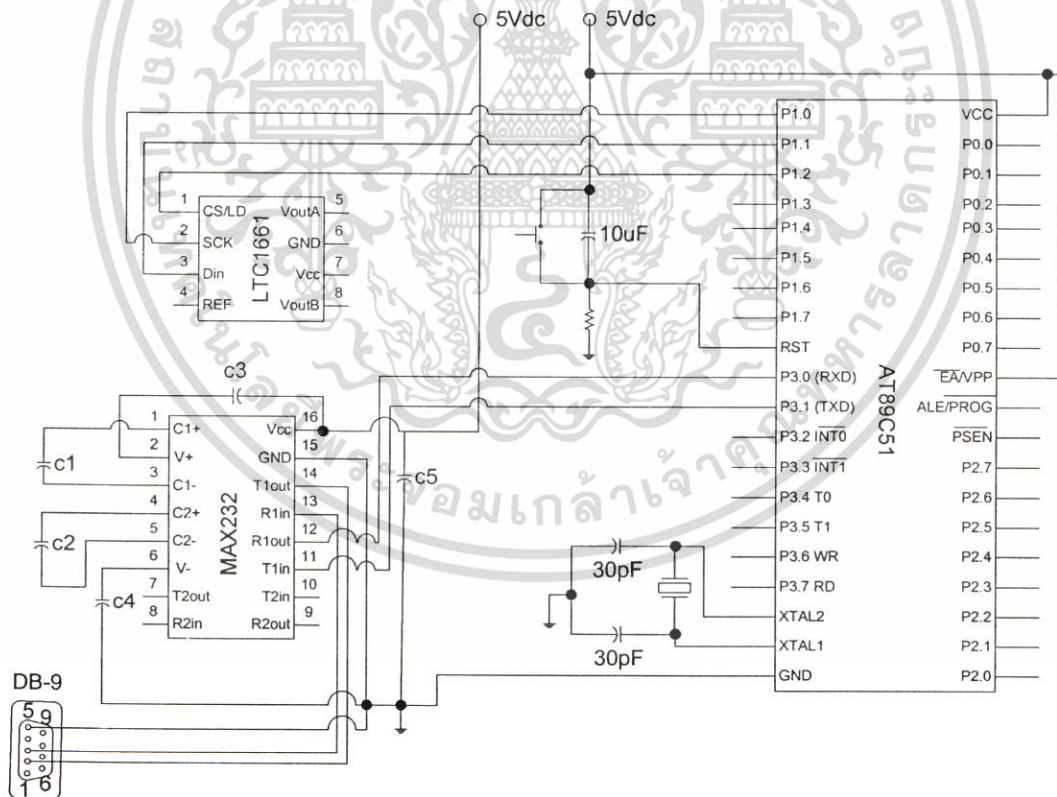


รูปที่ 3.7 วงจรในการทำงานของส่วนประกอบรับค่าเซนเซอร์อุณหภูมิและความชื้น

จากข้างต้น ได้กล่าวถึงสัญญาณที่รับค่ามาจากเซนเซอร์เพื่อจะออกแบบในการควบคุมการทำงานแล้ว หลังจากที่โปรแกรมในการควบคุมการทำงานได้ประมวลผลเสร็จสิ้นแล้วจะมีค่าที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณไปควบคุมการทำงานในระบบควบคุม เพื่อให้ได้ตามค่าที่ต้องการในการออกแบบการควบคุมการทำงาน สัญญาณที่ควบคุมการทำงานมีอยู่ด้วยกัน 3 สัญญาณคือ สัญญาณที่ควบคุมความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ สัญญาณที่ควบคุมความเร็วรอบของพัดลมจ่าย และ สัญญาณที่ควบคุมเครื่องจ่ายความร้อน และอีก 2 ช่องสัญญาณได้ออกแบบไว้สำหรับการเพิ่มเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาวะของการปรับอากาศคือ สัญญาณการเพิ่มภาระความร้อนสัมผัส และสัญญาณการเพิ่มภาระความร้อนแฝง

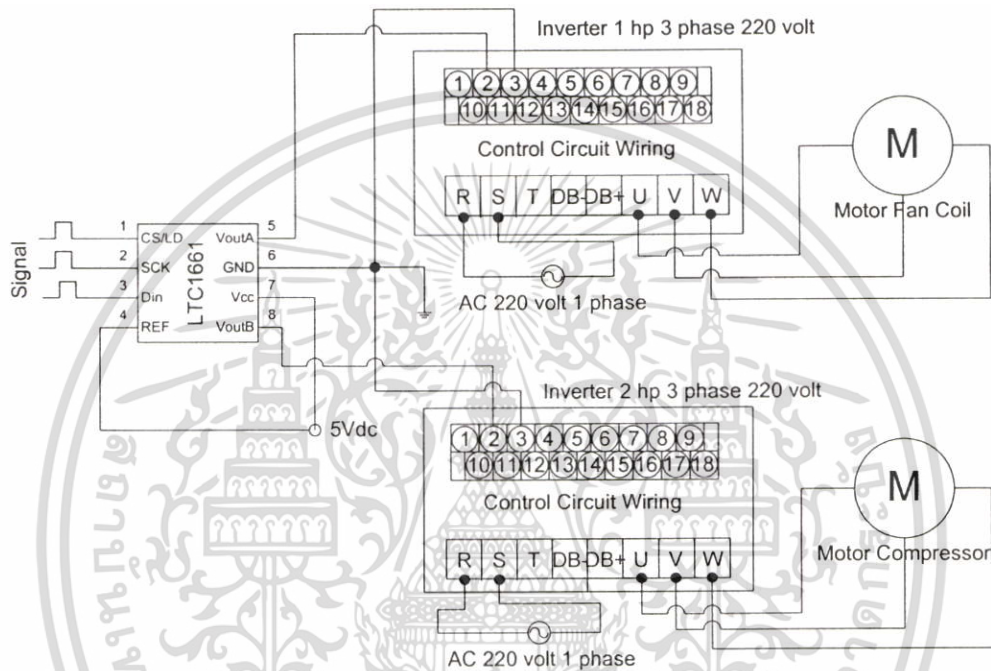
ในการออกแบบได้ใช้สัญญาณจากพอร์ตอนุกรม COM2 ออกแบบการทำงานการควบคุมความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ และ ความเร็วรอบของพัดลมโดยค่าที่ส่งสัญญาณจากพอร์ตอนุกรม COM2 มีช่องสัญญาณ 2, 3 และ 5 ผ่านไอซี MAX232 เพื่อปรับแรงดันโวลต์ให้อยู่ที่ประมาณ 5 โวลต์ การส่งสัญญาณนี้เพื่อที่ควบคุมความเร็วรอบการทำงานของคอมเพรสเซอร์และความเร็วรอบของพัดลมจะต้องมีการแปลงค่าจากดิจิตอลเป็นอนาล็อก เนื่องจากการทำงานของคอมเพรสเซอร์และของพัดลมมีการเปลี่ยนแปลงค่าตามการควบคุม ซึ่งอยู่ในช่วงระหว่าง 0 ถึง 5 โวลต์ การออกแบบจึงได้ใช้ไอซีดิจิตอลเป็นอนาล็อกคือ LTC1661 ซึ่งมีช่องสัญญาณเอาพุทอยู่ 2 ช่องสัญญาณในการควบคุมการทำงานโดยมีไอซี AT89C51 เป็นตัวส่งสัญญาณในการควบคุมการทำงานที่ได้จากการประมวลผลจากคอมพิวเตอร์ส่งให้ AT89C51 เป็นตัวรับสัญญาณแล้วทำหน้าที่จัดการโดยโปรแกรมภาษาแอสเซมบลีเพื่อจัดเรียงและส่งค่าไปยังไอซี LTC1661 ดังรูป



รูปที่ 3.8 วงจรการทำงานป้อนอินพุทให้กับอินเวอเตอร์

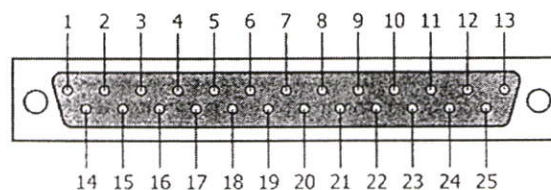
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อค่าที่ส่งสัญญาณมาจากไอซี LTC1661 ทำงานแล้ว สัญญาณจะถูกส่งไปยังอินเวอเตอร์เพื่อควบคุมความเร็วรอบในการทำงานของคอมเพรสเซอร์และการทำงานของพัดลม โดยช่องสัญญาณ A จะควบคุมความเร็วรอบของพัดลม และช่องสัญญาณ B จะควบคุมความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ดังรูปที่ 3.9 การออกแบบอุปกรณ์การทำงานของ LTC1661 AT89C51 อินเวอเตอร์ จะกล่าวอยู่ในส่วนของการออกแบบอุปกรณ์การควบคุมการทำงาน



รูปที่ 3.9 วงจรจาก LTC1661 ที่นำไปต่อกับอินเวอเตอร์

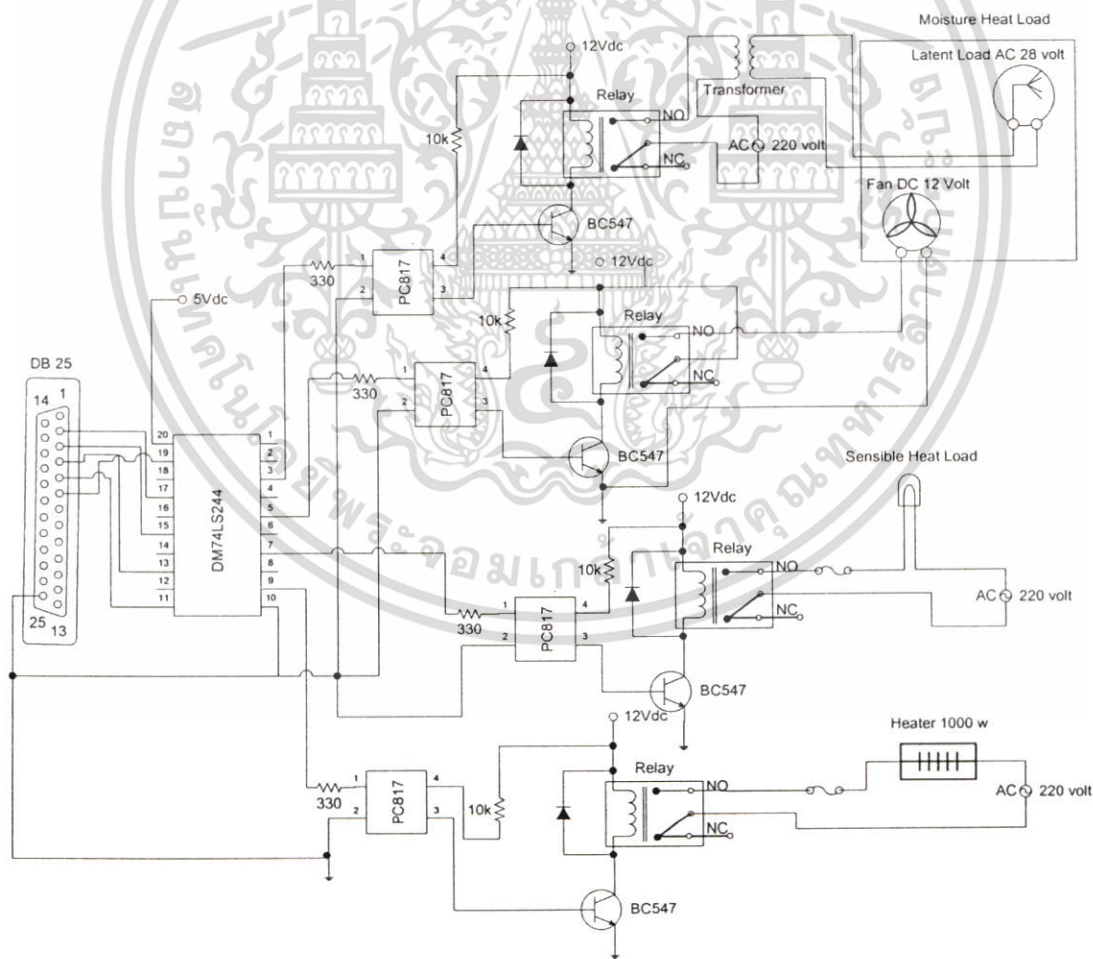
การควบคุมความเร็วเครื่องจ่ายความร้อนและการเพิ่มภาระของห้องปรับอากาศได้ใช้การออกแบบการทำงานผ่านพอร์ตขนาน หรือ DB-25 ซึ่งมีช่องสัญญาณดังรูปที่ 3.10 โดยมีช่องสัญญาณข้อมูลในการส่งค่าการทำงานอยู่ที่ช่องสัญญาณที่ 2-9 เป็น 0 และ 5 โวลต์ และสัญญาณที่ 18-25 เป็นกราวด์ ส่วนสัญญาณ 1, 10-17 เป็นสัญญาณที่ควบคุมการทำงาน



รูปที่ 3.10 พอร์ตขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสัญญาณข้อมูลนี้เอง ได้ใช้สัญญาณมาเป็นตัวขับเคลื่อนในส่วนของเครื่องจ่าย ความร้อน เครื่องเพิ่มภาระของห้องปรับอากาศ จากรูปที่ 3.11 สัญญาณที่ขา 2 ของ DB-25 ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของเครื่องจ่ายความชื้นให้กับระบบ สัญญาณที่ขา 3 ของ DB-25 ทำหน้าที่จ่ายกระแสให้กับพัดลม DC 12 โวลต์ ให้ทำงานพร้อมๆ กับเครื่องจ่ายความชื้น สัญญาณที่ขา 4 ของ DB-25 ทำหน้าที่เพิ่มภาระการทำความร้อนให้กับระบบการทำงานของระบบปรับอากาศ สัญญาณที่ขา 5 เป็นสัญญาณ ที่ควบคุมเครื่องจ่ายความร้อนในการควบคุมระบบการทำงานของระบบปรับอากาศ สัญญาณที่ขา 6 เป็นสัญญาณที่กำหนดสภาวะการทำงานหรือไม่ทำงานของไอซี DM74LS244 ซึ่งเป็นไอซี 3 สถานะ ที่เลือกกำหนดได้ จากสัญญาณที่ออกจากไอซี DM74LS244 จะไปยังไอซี PC817 ซึ่งเป็นไอซีนี้ทำหน้าที่แยกสัญญาณกันระหว่างอุปกรณ์ที่ใช้แรงดันไฟฟ้าทั้งสองด้าน เพื่อป้องกันการลัดวงจร กรณีที่เกิดการลัดวงจรจะทำให้ไม่เกิดความเสียหายแก่คอมพิวเตอรฺ์ หรือ อุปกรณ์ในด้านอินพุทของไอซี PC817 จากไอซี PC817 นี้สัญญาณจะทำหน้าที่ขับรีเลย์ซึ่งทำหน้าที่เปิดปิดอุปกรณ์ตามสัญญาณข้อมูลในช่องสัญญาณ 2- 6 ในการควบคุม



รูปที่ 3.11 วงจรของพอร์ตขนานในการออกแบบการทำงานของระบบปรับอากาศ

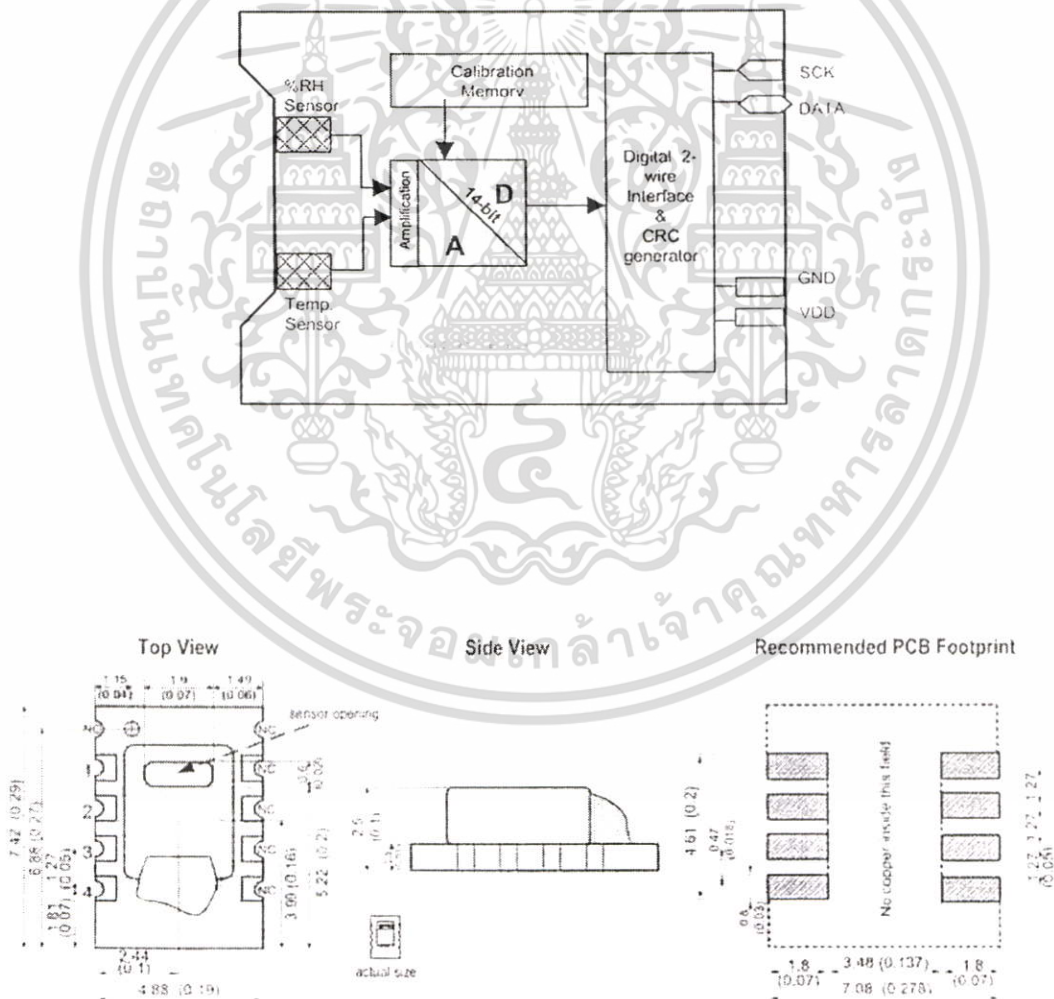
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การออกแบบอุปกรณ์ควบคุมการทำงาน

3.4.1 เซนเซอร์อุณหภูมิและเซนเซอร์ความชื้น

เซนเซอร์ หรืออุปกรณ์รับรู้ ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ในการตรวจสอบค่าที่ได้ของระบบหรือถ้าเปรียบก็เหมือนกับสิ่งที่ต้องการที่จะรู้เพื่อนำไปวิเคราะห์เพื่อหาวิธีการจัดการให้สิ่งที่ต้องการนั้นได้ในระบบปรับอากาศอุปกรณ์ที่ใช้ก็มักจะเป็นเซนเซอร์อุณหภูมิ เช่น เทอร์มิสแตต เป็นต้น

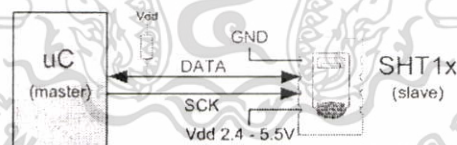
ในงานวิจัยนี้ก็ได้ใช้เซนเซอร์อุณหภูมิ และ เซนเซอร์ความชื้น เพื่อควบคุมการทำงานของอุณหภูมิและความชื้นภายในห้องอุปกรณ์ที่ใช้ก็คือ SHT11 ของบริษัท SENSIRION ของประเทศสวิตเซอร์แลนด์ ซึ่งมีคุณสมบัติวัดอุณหภูมิและความชื้นได้ในตัวและมี อนุาล็อคเป็นดิจิตอล อยู่ภายใน ดังรูป



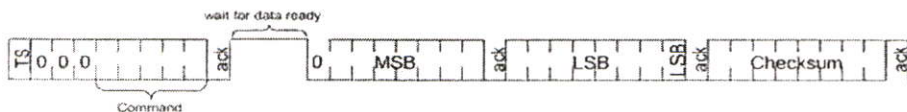
รูปที่ 3.12 บล็อกไดอะแกรมภายในและลักษณะภาพของเซนเซอร์ SHT11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของเซนเซอร์ SHT11 เป็นเซนเซอร์ที่มีการทำงานแบบ 2 ทิศทาง ดังรูปที่ 3.13 ซึ่งมีการติดต่อที่เรียกว่า I²C การทำงานแบบนี้จะมีสัญญาณข้อมูลและสัญญาณนาฬิกาเพื่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ที่ใช้งาน กับ อุปกรณ์ควบคุม การใช้งานสัญญาณข้อมูลและสัญญาณนาฬิกาต้องมีความสัมพันธ์กันเป็นจังหวะ เพื่อไปสั่งให้อุปกรณ์ที่จะใช้นั้นทำงานได้ตามที่อุปกรณ์ควบคุมส่งสัญญาณไป หรือที่เรียกว่า การส่งสัญญาณควบคุม เมื่ออุปกรณ์ที่ส่งสัญญาณไปได้รับแล้วก็จะทำตามคำสั่งสัญญาณควบคุมถ้าให้มีการส่งสัญญาณกลับมาก็จะส่งกลับมา การทำงานของเซนเซอร์ SHT11 จะใช้คำสั่งการทำงานดังรูปที่ 3.14 การทำงานจะแบ่งออกเป็น 4 ไบต์ เมื่อทำการสั่งเริ่มทำงานแล้ว ไบต์แรกซึ่งเป็นไบต์คำสั่งในการทำงาน โดย 3 บิตแรกเป็น 000 อีก 5 บิตเป็นคำสั่งในการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ ดังตารางที่ 3.3 จากนั้นเซนเซอร์จะส่งสัญญาณรับรู้ (acknowledge, ack) และรอคำสั่งจนค่าที่ได้ส่งมานั้นก็คือ ไบต์ที่สอง (MSB) ต่อมาอุปกรณ์ก็จะส่งสัญญาณรับรู้หลังจากเสร็จไบต์ที่สอง ไบต์ต่อมาก็จะส่งมาอีกเป็นไบต์ที่สาม (LSB) เมื่อค่าที่ได้ส่งมาแล้วก็จะนำไปคำนวณ จะเห็นได้ว่าไบต์ที่สองและไบต์ที่สามคือไบต์ของข้อมูล ถ้าหากต้องการตรวจสอบค่าที่ได้ของข้อมูลก็ส่งสัญญาณรับรู้ไปให้ ค่าที่ได้ก็จะเป็นไบต์ที่ 4 แล้วนำค่าที่ได้จากไบต์นี้ไปตรวจสอบค่าที่ได้เปรียบเทียบกับกัน เมื่อเสร็จสิ้นไบต์นี้เซนเซอร์จะส่งสัญญาณรับรู้ไป การทำงานของเซนเซอร์ก็เสร็จสิ้นการทำงานหนึ่งรอบ ถ้าเริ่มการทำงานใหม่ก็ต้องเริ่มส่งสัญญาณไปใหม่อีกครั้ง



รูปที่ 3.13 สัญญาณการทำงานของเซนเซอร์

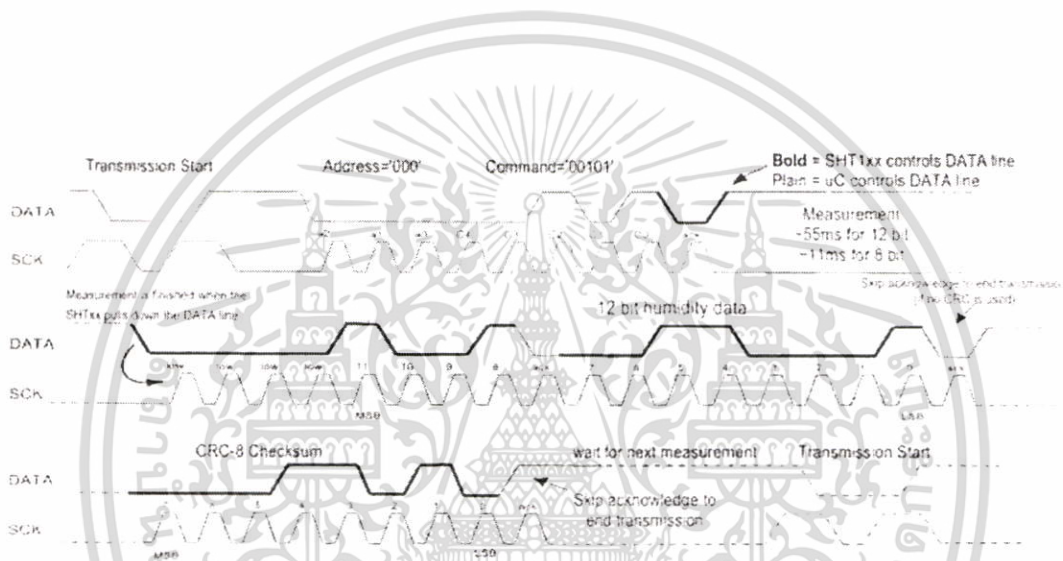


รูปที่ 3.14 ไบต์การทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 คำสั่งไอซี SHT11

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



รูปที่ 3.15 ตัวอย่างการวัดค่าความชื้น ซึ่งมีค่า 00001001 00110001 = 2353 = 75.79 %

การแปลงค่าที่ได้จากค่าดิจิทัลเป็นค่าที่ต้องการ

1. การแปลงค่าดิจิทัลเป็นค่าความชื้น

ค่าที่ได้จากเซนเซอร์นั้นมีค่าเป็นลอจิก เพราะฉะนั้นเราต้องทำการแปลงค่าที่เป็นลอจิกนี้ให้อยู่ในรูปแบบตัวเลขที่เราต้องการโดยการแปลงค่าเป็นค่าความชื้นของเซนเซอร์ SHT11 มีค่าดังนี้

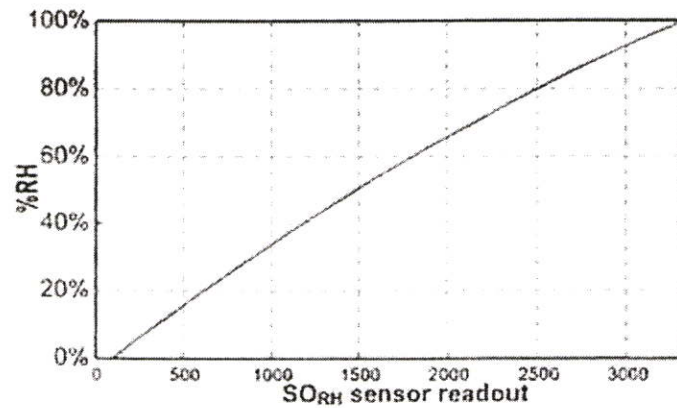
$$RH_{linear} = c_1 + c_2 \cdot SO_{RH} + c_3 \cdot SO_{RH}^2$$

โดย SO_{RH} เป็นค่าที่อ่านได้เซนเซอร์

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

$$c_1 = -4 \quad c_2 = 0.648 \quad c_3 = -7.2 \cdot 10^{-4} \quad \text{สำหรับ 8 บิต } SO_{RH}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 SO_{RH} ที่อ่านได้จากเซนเซอร์

สำหรับอุณหภูมิค่าที่แตกต่างที่ 25°C (ประมาณ 77°F) ค่าสัมประสิทธิ์ของความชื้นสามารถพิจารณาได้เป็น

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

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

2. การแปลงค่าดิจิทัลเป็นค่าอุณหภูมิ

จากค่าลอจิกที่ได้จากเซนเซอร์เราสามารถแปลงค่าเป็นอุณหภูมิได้จากสมการต่อไปนี้

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

โดยค่าสัมประสิทธิ์ของสมการ d_1 และ d_2 ได้จากตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.2 สัมประสิทธิ์การแปลงเป็นอุณหภูมิ

SO_T	Celsius		Fahrenheit	
	d_1	d_2	d_1	d_2
14bit 5V	-40	0.01	-40	0.018
12bit 5V	-40	0.04	-40	0.072
14bit 3V	-38.4	0.0098	-37.1	0.0176
12bit 3V	-38.4	0.0392	-37.1	0.0704

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 อุปกรณ์ D/A (ไอซี LTC1661)

การแปลงค่าจากดิจิทัลเป็นอนาล็อก (D/A) นิยมใช้กับอุปกรณ์ที่เราต้องต่อจากค่าผลลัพธ์ของโปรแกรมในไมโครคอมพิวเตอร์ หรือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งเป็นค่าลอจิกหรือสัญญาณไฟที่เป็น 0 หรือ 5 โวลต์ให้เป็นค่าที่เราสามารถจะนำไปใช้งานได้ที่มีความต่างระดับของกระแสไฟเพื่อเป็นการควบคุมการทำงานของระบบ

ในงานวิจัยนี้เราได้ใช้ LTC1661 ของบริษัท Linear Technology ดังรูปที่ 3.17 ซึ่ง เป็นไอซีที่มีการทำงานเป็น D/A อยู่ 2 เอาพุท คือ $V_{OUT A}$ $V_{OUT B}$ และต้องควบคุมการทำงานเป็นลักษณะอนุกรมทั้งหมด 3 สัญญาณ คือ $\overline{CS/LD}$ SCK D_{IN} และมี REF เป็นสัญญาณอ้างอิงของโวลต์ที่จะนำไปใช้ หน้าที่ของสัญญาณในแต่ละช่องทางมีดังนี้

$\overline{CS/LD}$ เป็นสัญญาณที่ทำหน้าที่เลือกเปิดปิดการไหลการทำงานของไอซี

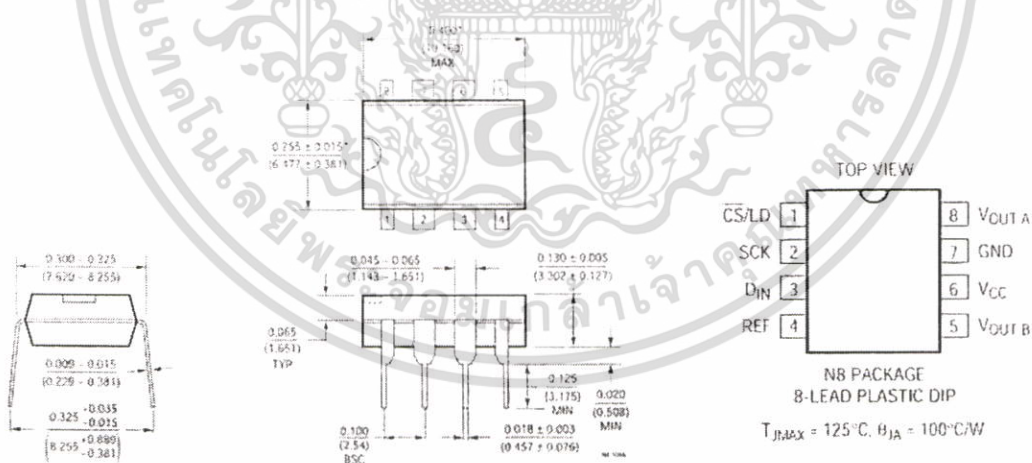
SCK เป็นสัญญาณนาฬิกากำหนดการป้อนเข้า

D_{IN} เป็นสัญญาณข้อมูลโดยหนึ่งชุดการทำงานทั้งหมดมี 16 บิต โดยจะทำงานที่ ขาขึ้นของสัญญาณนาฬิกา

REF เป็นสัญญาณอ้างอิงโวลต์ป้อนเข้า $0V \leq V_{REF} \leq V_{CC}$

$V_{OUT A}$ $V_{OUT B}$ เป็นสัญญาณเอาพุท $0 \leq V_{OUT A}, V_{OUT B} \leq V_{REF} \left(\frac{1023}{1024} \right)$

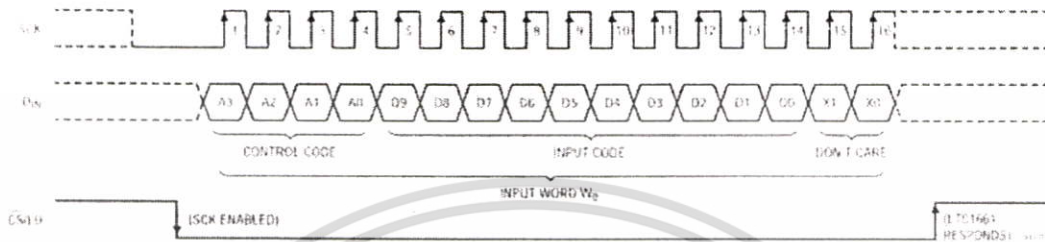
V_{CC} เป็นสัญญาณป้อนเข้าโวลต์ $2.7V \leq V_{CC} \leq 5.5V$



รูปที่ 3.17 ไอซี LTC1661 ในหน่วยนิ้ว (มิลลิเมตร)

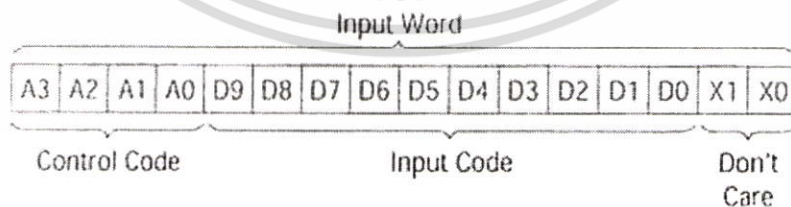
การทำงานของไอซี LTC1661 มีลักษณะการทำงานเป็นอนุกรมโดยการใช้ความสัมพันธ์ของสัญญาณทั้ง 3 สัญญาณเป็นตัวกำหนด เมื่อสัญญาณ $\overline{CS/LD}$ มีค่าต่ำหรือ ลอจิก 0 การทำงานของสัญญาณ SCK และ สัญญาณ D_{IN} จะสามารถที่จะแสดงผลออกทางเอาพุทได้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทางกลับกันเมื่อสัญญาณ $\overline{CS/LD}$ มีค่าสูง หรือ ลอจิก 1 การทำงานของสัญญาณ SCK และ สัญญาณ D_{IN} ไม่สามารถที่จะแสดงผลออกทางเอาพุทได้ ดังนั้นความสัมพันธ์นี้จะต้องสัมพันธ์กันดังรูป



รูปที่ 3.18 การทำงานของสัญญาณ $\overline{CS/LD}$, SCK , D_{IN}

ในส่วนของการสั่งการทำงานนั้นจะมีอยู่ด้วยกัน 4 บิต และข้อมูล 10 บิต ส่วนอีก 2 บิตนั้นไม่ต้องสนใจดังรูปที่ 3.19 ในส่วนบิต 4 บิตแรกมีชุดคำสั่งในตารางที่ 3.5 ส่วน 10 บิตต่อมาเป็นข้อมูลการแปลงค่าเป็นอนาล็อก โดยค่า $11\ 1111111_2$ เท่ากับ 1023 ซึ่งเป็นค่าที่สูงที่สุด ส่วนค่า $00\ 0000000_2$ เท่ากับ 0 เป็นค่าที่ต่ำที่สุด เมื่อข้อมูลถูกป้อนเข้าไปในไอซีจากรูปที่ 3.20 ข้อมูลจากอนุกรม 10 บิตในวงจรภายในจะแปลงเป็นแบบขนานแล้วส่งค่าที่ได้ไปเก็บในบัฟเฟอร์โดยผ่านรีจิสเตอร์แลต 2 ตัว โดยอินพุทรีจิสเตอร์เป็นบัฟเฟอร์ใช้ในการรับค่าใหม่ของสัญญาณและ DAC รีจิสเตอร์ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ ค่าสัญญาณใหม่ที่ส่งออกไป โดยมีคำสั่งจาก 4 บิตแรกเป็นตัวกำหนดการทำงาน

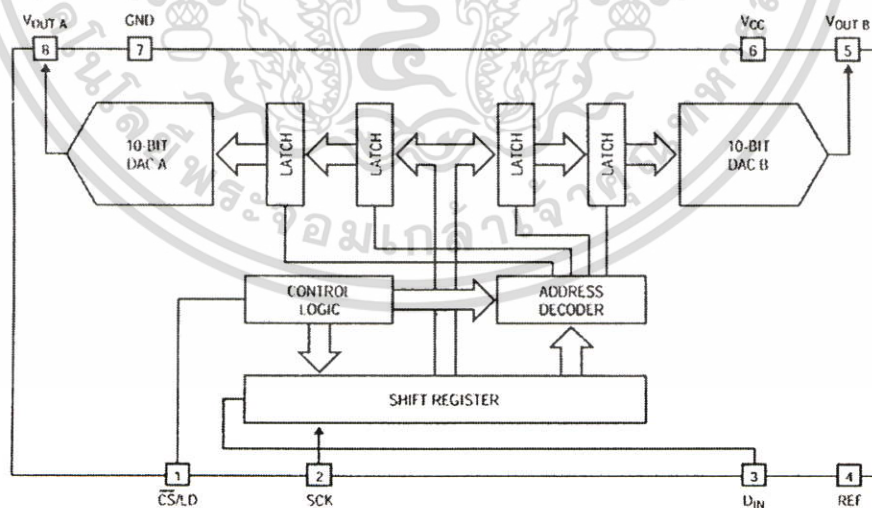


รูปที่ 3.19 คำสั่งไบต์ในการใช้งาน LTC1661

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

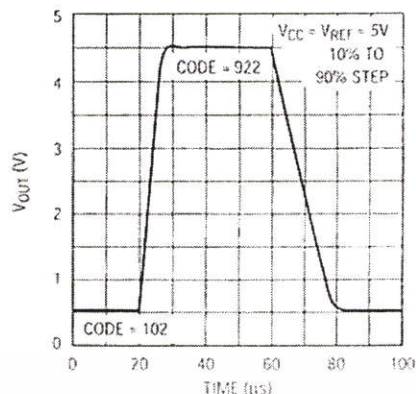
ตารางที่ 3.3 คำสั่งในการทำงานของ LTC1661

CONTROL				INPUT REGISTER STATUS	DAC REGISTER STATUS	POWER-DOWN STATUS (SLEEP/WAKE)	COMMENTS
A3	A2	A1	A0				
0	0	0	0	No Change	No Update	No Change	No Operation Power Down Status Unchanged (Part Stays In Wake or Sleep Mode)
0	0	0	1	Load DAC A	No Update	No Change	Load Input Register A with Data DAC Outputs Unchanged Power Down Status Unchanged
0	0	1	0	Load DAC B	No Update	No Change	Load Input Register B with Data DAC Outputs Unchanged Power Down Status Unchanged
0	0	1	1		Reserved		
0	1	0	0		Reserved		
0	1	0	1		Reserved		
0	1	1	0		Reserved		
0	1	1	1		Reserved		
1	0	0	0	No Change	Update Outputs	Wake	Load Both DAC Regs with Existing Contents of Input Regs Outputs Update Part Wakes Up
1	0	0	1	Load DAC A	Update Outputs	Wake	Load Input Reg A Load DAC Regs with New Contents of Input Reg A and Existing Contents of Reg B Outputs Update Part Wakes Up
1	0	1	0	Load DAC B	Update Outputs	Wake	Load Input Reg B Load DAC Regs with Existing Contents of Input Reg A and New Contents of Reg B Outputs Update Part Wakes Up
1	0	1	1		Reserved		
1	1	0	0		Reserved		
1	1	0	1	No Change	No Update	Wake	Part Wakes Up Input and DAC Regs Unchanged DAC Outputs Reflect Existing Contents of DAC Regs
1	1	1	0	No Change	No Update	Sleep	Part Goes to Sleep Input and DAC Regs Unchanged DAC Outputs Set to High Impedance State
1	1	1	1	Load DACs A & B with Same 10 Bit Code	Update Outputs	Wake	Load Both Input Regs Load Both DAC Regs with New Contents of Input Regs Outputs Update Part Wakes Up



รูปที่ 3.20 ภายในการทำงานของไอซี LTC1661

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.21 ตัวอย่างค่าเอาพุทของการทำงานที่มีค่า 102 และ 992

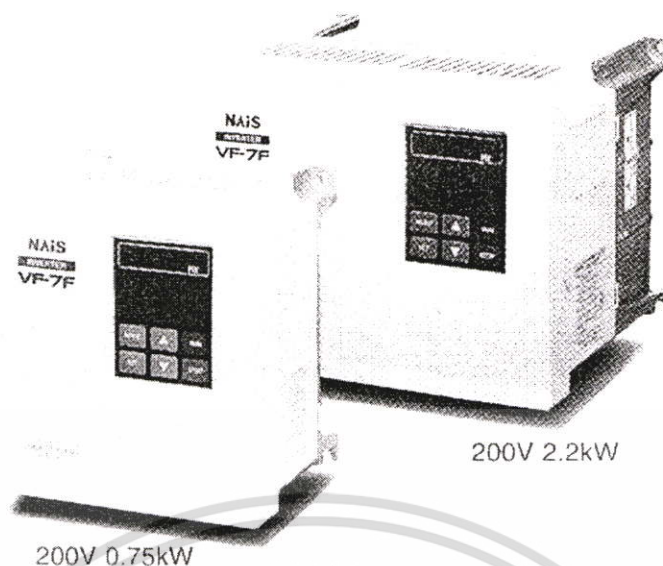
3.4.3 อินเวอร์เตอร์ (Inverter)

การออกแบบการทำงานของ การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ต่าง ๆ นั้น จำเป็นที่จะต้องใช้อินเวอร์เตอร์เพื่อช่วยให้มอเตอร์สามารถทำงานได้ตามความเร็วที่เราต้องการ ในงานวิจัยนี้ได้อินเวอร์เตอร์ขนาด 2 แรงม้า และ 1 แรงม้า รุ่น VF-7F บริษัท Matsushita Electric Works รูปที่ 3.22 เพื่อควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์คอมเพรสเซอร์และความเร็วรอบของมอเตอร์พัดลม ตามลำดับ อินเวอร์เตอร์นี้มีการทำงานที่ต้องรับค่ามาจากการทำงานจากอุปกรณ์ชุดควบคุมของอินเวอร์เตอร์ที่ได้กล่าวหัวข้อก่อนหน้านี้ ในการทำงานที่ใช้ฟังก์ชันการรับสัญญาณภายนอกของอินเวอร์เตอร์มีวงจรการทำงานดังรูปที่ 3.23 การทำงานที่ใช้สัญญาณควบคุมจากภายนอกนั้นการทำงานของอินเวอร์เตอร์จะต้องกำหนดฟังก์ชันการทำงานก่อน การกำหนดการทำงานของวงจรรูปที่ 3.23 จะต้องกำหนดการทำงานตัวแปร ดังนี้

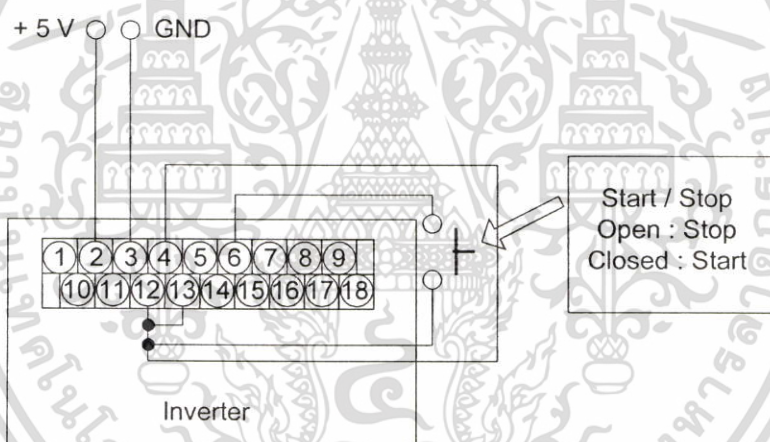
ตัวแปร P08 ในอินเวอร์เตอร์ เป็นฟังก์ชันการควบคุมการทำงานจากภายนอกการเลือกใช้ฟังก์ชันการควบคุมจากภายนอกการทำงานนี้มีค่ากำหนดเป็น 1

ตัวแปร P09 ในอินเวอร์เตอร์ เป็นฟังก์ชันการกำหนดสัญญาณการควบคุมการทำงานจากภายนอกว่าจะเลือกใช้สัญญาณแบบไหนในงานวิจัยนี้ได้เลือกขนาดสัญญาณ 0 – 5 โวลต์ ซึ่งจะต้องกำหนดตัวแปรเป็น 2

ตัวแปร P20 ในอินเวอร์เตอร์ เป็นฟังก์ชันการเลือกสวิตซ์การทำงาน ในการกำหนดการควบคุมการทำงานให้เป็นฟังก์ชันแบบไหน ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดเป็น 5



รูปที่ 3.22 อินเวอร์เตอร์



รูปที่ 3.23 วงจรการทำงานจากภายนอกในการส่งสัญญาณควบคุม

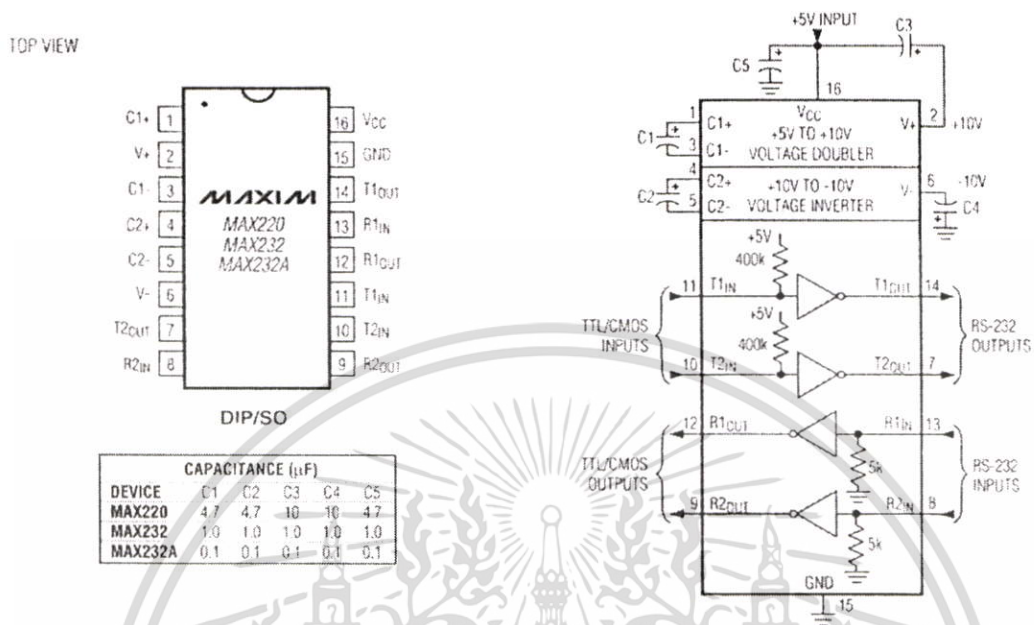
ในส่วนการกำหนดตัวแปรในอินเวอร์เตอร์ในฟังก์ชันอื่น ไม่ได้ใช้ในส่วนการติดตั้งอุปกรณ์ สำหรับข้อมูลในวงจรอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์ การทำงานและฟังก์ชันอื่นในส่วนคุณสมบัติอินเวอร์เตอร์ ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข.

3.4.4 ไอซี MAX232

การทำงานของไอซี MAX232 ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างพอร์ตอนุกรมซึ่งมีค่าเอาพุท อยู่ -12 โวลต์ ถึง 12 โวลต์ แต่การทำงานของอุปกรณ์อื่น ๆ นั้นค่าสัญญาณจะอยู่ที่ 0 ถึง 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โวลต์ดังนั้นเป็นสิ่งจำเป็นที่ในการเลือกใช้สัญญาณ ในไอซีนี้มี 16 ช่องสัญญาณเป็นสัญญาณที่ส่งค่า และรับค่าระหว่างคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังรูป



รูปที่ 3.24 วงจรการทำงานของ ไอซี MAX232

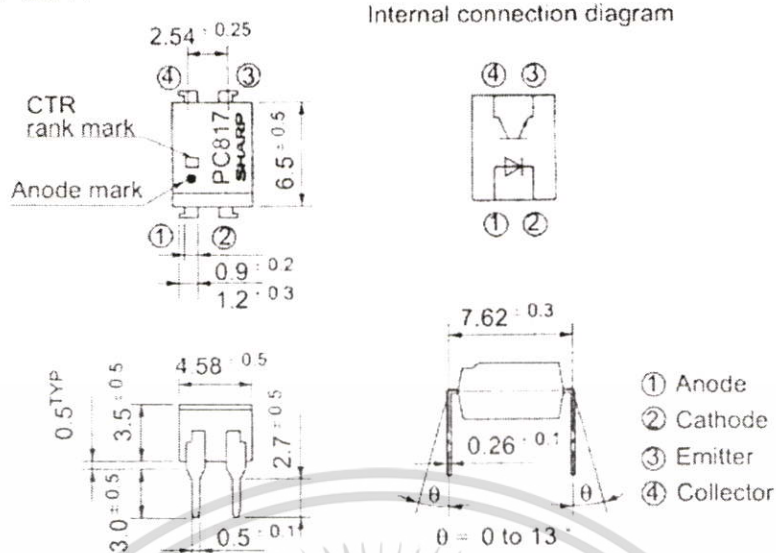
ในระบบการปรับอากาศ ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ไอซี MAX232 ติดต่อกับพอร์ตอนุกรมอยู่ 2 พอร์ต ในส่วนแรกใช้เป็นอุปกรณ์รับส่งสัญญาณเซนเซอร์ และ ส่วนที่สองติดต่อกับอุปกรณ์คอนโทรลเลอร์

3.4.5 ไอซี PC817

ไอซี PC817 ทำหน้าที่แยกวงจรการทำงานของอุปกรณ์ที่ป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายโดยอาศัยการขับสัญญาณในด้านอินพุตและนำด้านเอาพุตไปใช้งานอีกด้าน ดังรูปที่ 3.25 การที่นำไอซีนีมาต่อ เนื่องจากเมื่อมีอุปกรณ์ในด้านเอาพุตเกิดการลัดวงจรขึ้นจะป้องกันความเสียหายให้กับอุปกรณ์ในวงจร เพราะฉะนั้นถ้าเรานำ ไอซี PC817 มาต่อโดยแยกสัญญาณด้านอินพุตอีกด้านก็จะไม่เกิดความเสียหายให้กับอุปกรณ์อื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

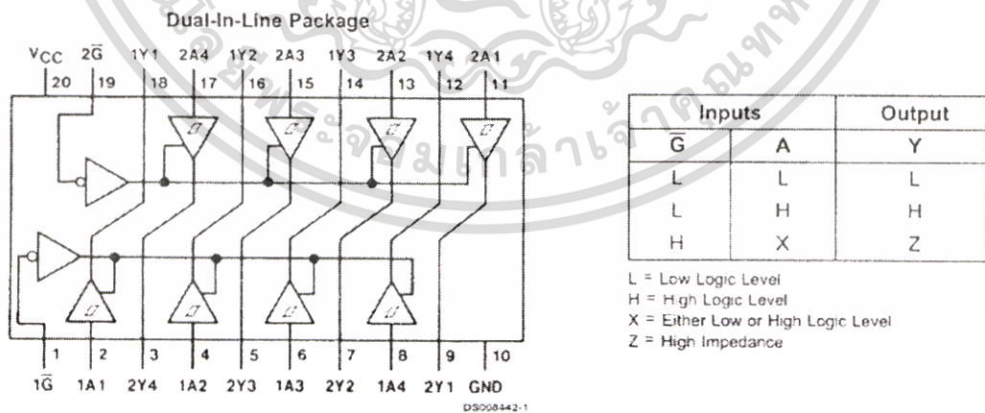
PC817



รูปที่ 3.25 ไอซี PC817

3.4.6 ไอซีบัพเฟออร์ DM74LS244

ไอซี DM74LS244 ดังรูปที่ 3.26 ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการทำงานรอสถาвањеของการเลือกต่อสัญญาณ ในการทำงาน ไอซี DM74LS244 มี 3 สถานะ ในการทำงานโดยมีสัญญาณที่นำไปใช้งานทั้งหมด 8 ขาสัญญาณ โดยมี 2 ขาสัญญาณเป็นขาสัญญาณที่เป็นตัวกำหนดสถานะในการเปิดและปิด ในการบังคับการใช้งานของเอาพุทสัญญาณดังรูปที่

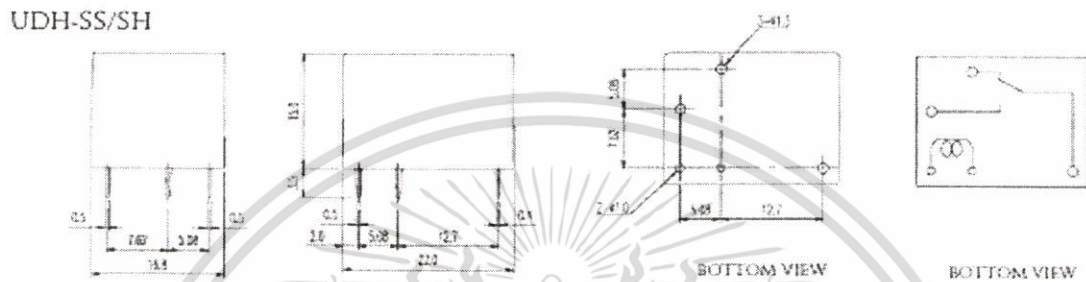


รูปที่ 3.26 วงจรการทำงานภายในไอซี DM74LS244

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.7 รีเลย์

การออกแบบในการควบคุมการเปิดปิดอุปกรณ์ ในการทำงานของระบบนี้ที่ต้องใช้ไฟฟ้าที่กระแส 220 โวลต์ ในการสั่งงานในการเปิดปิดอัตโนมัติ อุปกรณ์รีเลย์เป็นอุปกรณ์ที่สามารถควบคุมการเปิดปิดได้ด้วยการป้อนสัญญาณกระแสไฟไปให้ขดลวดรีเลย์ทำงาน เพื่อที่จะให้หน้าสัมผัสของอุปกรณ์รีเลย์สามารถทำงานได้ ซึ่งการทำงานมีสถานะเปิด และสถานะปิด วงจรรีเลย์แสดงได้ดังรูป



รูปที่ 3.27 รีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การควบคุมระบบปรับอากาศ

4.1 ความหมายของการควบคุมและความเป็นมา

การควบคุมนั้นเป็นสิ่งสำคัญในการควบคุมการทำงานของระบบต่าง ๆ เพราะเนื่องจากการทำงานนั้นจะมีค่าความผิดพลาดเกิดขึ้นอยู่เสมอ การควบคุมจึงต้องนำมาใช้ร่วมด้วย ในร่างกายของเรานั้นก็เป็นตัวอย่างได้อย่างดีเพราะว่า ระบบในร่างกายของคนเรา ในสภาวะสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ร่างกายของเราก็สามารถคงสภาวะที่เหมาะสมของร่างกายของเราไว้ได้ เช่น ในสภาวะที่ร้อน ร่างกายของเราก็จะขับเหงื่อออกมา เพื่อระบายความร้อนที่มีอยู่ในร่างกายของเราให้ลดลง เป็นต้น

ในระบบควบคุมได้ถูกพัฒนาในช่วงของการปฏิวัติอุตสาหกรรม ได้มีการออกแบบระบบกลไกต่าง ๆ มากมาย เพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง และมีประสิทธิภาพมาก อาทิเช่น ระบบการขนส่ง การควบคุมสภาวะแวดล้อม ในปัจจุบันการควบคุมสภาวะแวดล้อม หรือที่เราเรียกว่า การควบคุมระบบปรับอากาศ เป็นส่วนหนึ่งที่เราสามารถพบเห็นได้บ่อยมากทั้ง โรงงานอุตสาหกรรม ห้างสรรพสินค้า หรือแม้แต่ในบ้านพักอาศัยก็มีระบบปรับอากาศ เพื่อช่วยให้เราอยู่ได้อย่างสบาย

ในการควบคุมระบบปรับอากาศนั้นสามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภทในการควบคุม โดยอาศัยหลักการทำงานในการควบคุมแบบอนาล็อก และไบนารี การควบคุมระบบปรับอากาศที่ถือได้ว่าเก่าที่สุดก็คือ การควบคุมที่เรียกว่า กลไกทางไฟฟ้า (Electromechanical) วิธีนี้ได้ใช้หลักการแบบไบนารี คือ เป็นการทำงานแบบเปิดและปิด การทำงานวิธีนี้ได้ถูกออกแบบเพิ่มควบคุมอุปกรณ์ในระบบปรับอากาศจากการแรงหรือกลไก ไปควบคุมการทำงานของสปริง หรืออุปกรณ์อื่นๆ วิธีที่สองเรียกว่า นิวเมติก วิธีนี้ ก็ได้ถูกพัฒนาจากวิธีแรก จากการที่เราใช้ระบบแรงเป็นตัวควบคุมการทำงานแต่ในวิธีนี้เราได้ใช้ลมเข้ามาเกี่ยวข้องในการควบคุมการทำงาน และ ข้อดีของวิธีแบบนิวเมติกก็คือ สามารถที่จะควบคุมการทำงานที่เป็นลักษณะแบบอนาล็อกได้ ซึ่งช่วยให้สามารถทำงานได้ในสภาวะที่ต่อเนื่อง โดยไม่จำเป็นต้องปิดและเปิดตลอดการทำงาน แต่วิธีนี้ข้อเสียก็เกิดจากลมที่ควบคุม เพราะในลมจากนิวเมติกจะมีพวกฝุ่น หรือสิ่งแปลกปลอมที่ไปทำความเสียหายให้กับอุปกรณ์ ต่อมาก็มียุติวิธีที่เรียกว่า อนาล็อกอิเล็กทรอนิกส์ วิธีนี้ได้อาศัยทรานซิสเตอร์ไปควบคุมการทำงานของระบบรวมกับการทำงานของนิวเมติก แต่วิธีการนี้ค่อนข้างที่ยุ่งยากและมักมีปัญหาในการซ่อมบำรุง วิธีสุดท้ายในปัจจุบัน คือ วิธีดิจิทัลอิเล็กทรอนิกส์ การทำงานวิธีนี้จะสะดวกและง่ายในการทำงาน จากการการทำงานโดยการควบคุมจากสัญญาณ ลอจิก 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

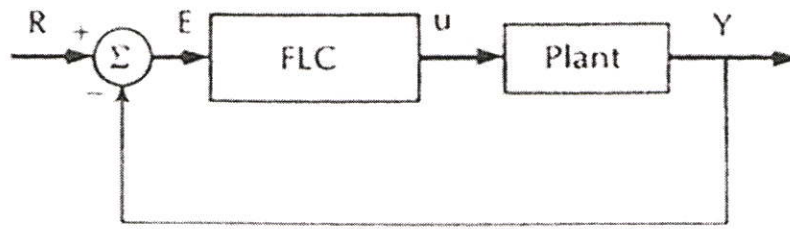
และลอจิก 0 สามารถที่จะควบคุมการทำงานแบบอนาล็อกและแบบไบนารีได้ แต่วิธีการนี้จะต้องอาศัยความรู้ในการเขียนโปรแกรมเพื่อการออกแบบของระบบ

ในปัจจุบันนี้การควบคุมโดยการใช้ไมโครคอมพิวเตอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์มีบทบาทอย่างมากในการทำงานรวมถึงการออกแบบระบบควบคุมการทำงานด้วย ในการออกแบบการควบคุมการทำงานที่เป็นในรูปแบบที่ผ่านมาก็มักจะเป็นในรูปแบบที่เป็นพีไอดี ซึ่งพีไอดีนี้มีการออกแบบการทำงานที่จำเป็นต้องอาศัยการคำนวณหาสมการของโมเดลการทำงาน ในปัจจุบันระบบการควบคุมแบบพีซีลจิกได้มีการพัฒนานำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย ในระบบปรับอากาศก็เช่นกันก็มีการนำเอาพีซีลจิกมาควบคุมอุณหภูมิหรือความชื้น หรือทั้งอุณหภูมิและความชื้นในการออกแบบก็ต่างกันไป เช่น การออกแบบควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นโดยการกำหนดสมาชิกของผลต่างอุณหภูมิ และ อัตราการเปลี่ยนแปลงผลต่างอุณหภูมิไปควบคุม ความชื้นก็เช่นกัน กำหนดผลต่างความชื้นและอัตราการเปลี่ยนแปลงผลต่างความชื้นไปควบคุม [4] หรือการออกแบบ อุณหภูมิและความชื้นที่เกิดจากการคาดหมายของอุณหภูมิที่สัมพันธ์ กับ ความชื้นในความพึงพอใจในการออกแบบ [5,6] เป็นต้น

4.2 ทฤษฎีการควบคุมด้วยพีซีลจิก

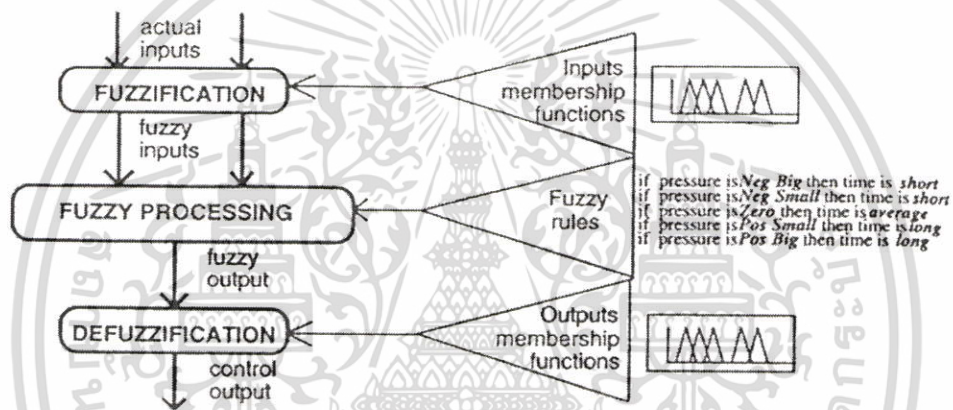
Lotfi Zadeh เป็นผู้เริ่มต้นทฤษฎีพีซีลจิกขึ้น เมื่อปี ค.ศ. 1965 [7] ทฤษฎีพีซีลจิกได้อาศัยความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์นำมาออกแบบวิธีการทางพีซีลจิก เพื่อควบคุมการทำงานของระบบ เช่น เครื่องซักผ้า หม้อหุงข้าวไฟฟ้า เครื่องดูดฝุ่น ลิฟท์ รถไฟ รถยนต์ และอื่น ๆ อีกมาก เนื่องจากการออกแบบระบบควบคุมด้วยพีซีที่มีความสามารถในการควบคุมได้ในระหว่างการออกแบบควบคุมที่ได้กว้างกว่าระบบควบคุมแบบเก่า สามารถแก้ไข และ ปรับปรุงการควบคุมได้ง่ายกว่า เนื่องจากอาศัยการคิดตรรกะของมนุษย์นำมาพัฒนา

การควบคุมด้วยพีซีลจิกที่ใช้ในงานควบคุมระบบปิด [8] สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.1 ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่ใช้ในการควบคุมด้วยพีซีลจิกพื้นฐาน การทำงานของพีซีลจิกในระบบปิดนั้น ก็เช่นเดียวกับการควบคุมทั่วไป โดยค่า E ก็เป็นค่า ความผิดพลาดจากระบบที่เกิดจากค่าที่กำหนด R เมื่อทำการควบคุมแล้วค่าที่ได้ในการควบคุมก็คือ U ก็ทำหน้าที่ควบคุมระบบการทำงาน ค่าที่วัดได้ของระบบการทำงานก็คือ Y ค่า Y ที่ได้ก็จะนำไปหักล้างกับค่าที่กำหนดเกิดค่าความผิดพลาด ค่าความผิดพลาดนี้ก็จะนำไปทำการประมวลผลเพื่อการควบคุมในรอบต่อ ๆ ไป



รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมพื้นฐาน

ทฤษฎีฟuzzyลอจิกมีกระบวนการในการปฏิบัติงานอยู่ 3 ขั้นตอนซึ่งสามารถแบ่งการทำงานได้ดังรูปที่ 4.2 ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

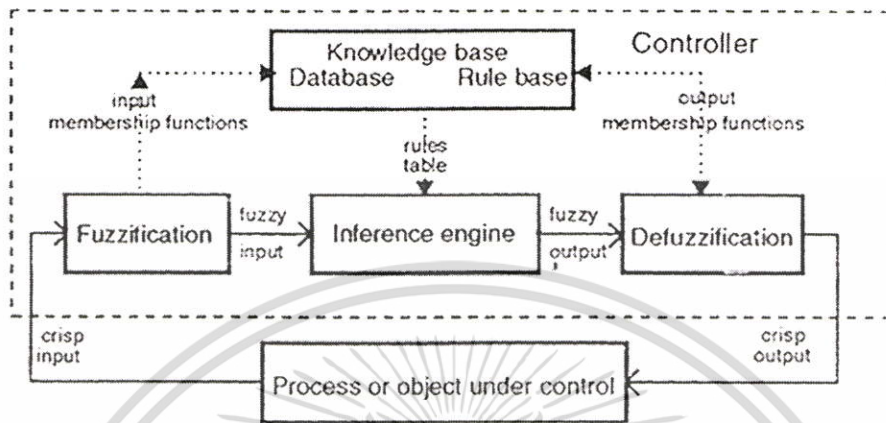


รูปที่ 4.2 กระบวนการทำงานในฟuzzy

1. การแปลงอยู่ในรูปฟuzzy (Fuzzification) วิธีการนี้เป็นกระบวนการเปลี่ยนรูปแบบของค่าป้อนเข้าจากระบบการทำงานของสิ่งที่กำหนดจริงให้เปลี่ยนอยู่ในรูปแบบค่าใหม่ที่มีความสัมพันธ์กับค่าป้อนเข้าจริง โดยอาศัยการกำหนดสมาชิกป้อนเข้าของฟuzzyเซต ในการออกแบบฟuzzyลอจิกของสมาชิกป้อนเข้านี้สามารถออกแบบได้หลายวิธี ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป
2. กระบวนการฟuzzy (Fuzzy processing) เป็นกระบวนการทำงานของระบบควบคุมการทำงานที่ถูกกำหนดให้อยู่ในรูปแบบกฎการทำงาน หรือเป็นตัวดำเนินการในการควบคุมผลลัพธ์ที่ได้นี้จะได้อ่านค่าป้อนเข้าให้กับสมาชิกของเอาพุท
3. การแปลงกลับอยู่ในรูปค่าที่ใช้งานจริง (Defuzzification) เป็นกระบวนการที่เปลี่ยนค่าของผลลัพธ์ให้อยู่ในรูปแบบของค่าที่ควบคุมจริงของระบบการทำงานนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากขั้นตอนในการควบคุมการทำงานโดยใช้ฟัซซีลอจิกนั้นจะเห็นได้ว่า กระบวนการทั้ง 3 เป็นสิ่งที่ขาดไม่ได้เลยสำหรับการออกแบบควบคุมการทำงานของระบบ ในการทำงานของระบบควบคุมการทำงานโดยใช้ฟัซซีทั่ว ๆ ไปสามารถแสดงได้ดังรูป



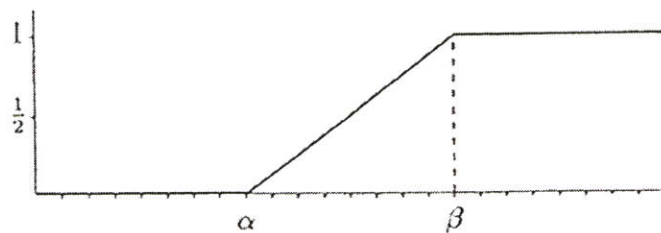
รูปที่ 4.3 การทำงานทั่วไปของการควบคุมโดยใช้ฟัซซีลอจิก

จากรูปที่ 4.3 แสดงบล็อกไดอะแกรมในเส้นปะซึ่งเป็นตัวควบคุมระบบการทำงาน ภายในประกอบไปด้วยขั้นตอน และกระบวนการในการควบคุมโดยการรับค่าจริงจากระบบที่ถูกควบคุม และส่งค่าที่ได้จากขั้นตอนในการควบคุมไปควบคุมระบบ การออกแบบบล็อกในส่วนต่าง ๆ ของตัวควบคุมจะอธิบายในหัวข้อต่อไป

4.2.1 การออกแบบสมาชิกการแปลงอยู่ในรูปฟัซซี (Fuzzification)

ในการออกแบบสมาชิกเริ่มต้นของการควบคุมนั้น ได้อาศัยการออกแบบทางคณิตศาสตร์โดยอาศัยการกำหนดให้อยู่ในรูปแบบความน่าจะเป็นไปได้ เช่น เมื่อเราต้องการค่าที่ได้ เท่ากับเลข 7 สิ่งที่ได้ในการออกแบบนั้นก็คือ ความน่าจะเป็นเลข 7 นั่นก็คือ 1 และเลขข้างเคียงเลข 7 ก็คือเลข 6 และเลข 8 ก็อาจจะเป็น 0.8 เลขถัดออกมาก็คือเลข 5 และเลข 9 ก็อาจจะเป็น 0.5 และแนวโน้มเลขข้างเคียงก็จะลดลงไปเรื่อย ๆ จนความน่าจะเป็นเท่ากับ 0 จากการออกแบบสมาชิกนี้ก็สามารถนำไปออกแบบรูปแบบการทำงานของสมาชิกป้อนเข้าได้ รูปแบบทางสมการก็อาจจะเป็นเส้นตรง เส้นโค้ง หรือรูปแบบทางสมการคณิตศาสตร์อื่น ๆ ก็ได้ การออกแบบสมาชิกมีรูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ดังนี้ [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.4 ตัวอย่างสมการ $\Gamma : U \rightarrow [0,1]$

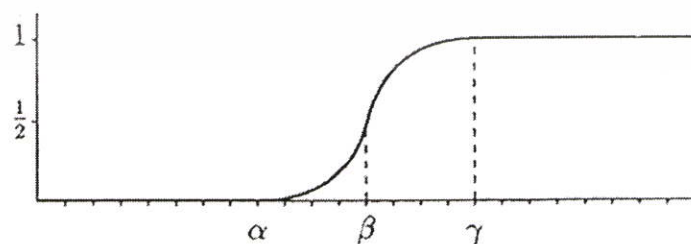
จากรูปที่ 4.4 เป็นสมการที่อยู่ในรูปแบบของสมการที่มีสองตัวแปรโดยที่ค่า u เป็นค่าใดๆ ซึ่งสามารถจัดอยู่ในรูปของสมการ 4.1 ดังนี้

$$\Gamma(u; \alpha, \beta) = \begin{cases} 0 & u < \alpha \\ (u - \alpha) / (\beta - \alpha) & \alpha \leq u \leq \beta \\ 1 & u > \beta \end{cases} \quad (4.1)$$

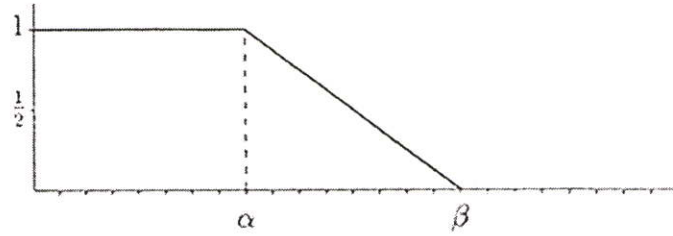
จากรูปที่ 4.5 แสดงสมการอยู่ในรูปสมการ S (4.2) ซึ่งสามารถกำหนดได้ดังนี้

$$S(x; \alpha, \beta, \gamma) = \begin{cases} 0 & x < \alpha \\ 2 \left(\frac{x - \alpha}{\gamma - \alpha} \right)^2 & \alpha < x \leq \beta \\ 1 - 2 \left(\frac{x - \alpha}{\gamma - \alpha} \right)^2 & \beta < x \leq \gamma \\ 1 & x > \gamma \end{cases} \quad (4.2)$$

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

รูปที่ 4.5 ตัวอย่างสมการ S

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

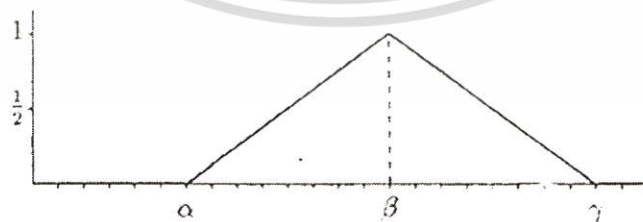
รูปที่ 4.6 ตัวอย่างสมการ L

จากรูปที่ 4.6 เป็นตัวอย่างสมการ L (4.3) ซึ่งจะมีลักษณะรูปแบบคล้ายกับสมการ Γ ในรูปนี้สามารถแสดงสมการได้ดังนี้

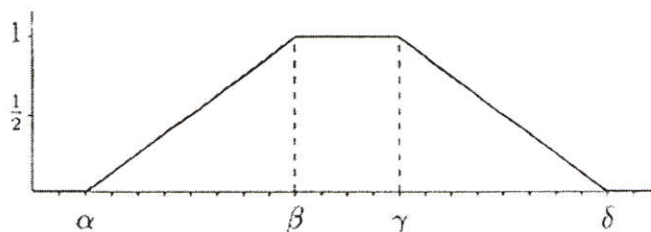
$$L(u; \alpha, \beta) = \begin{cases} 1 & u < \alpha \\ (\alpha - u)/(\beta - \alpha) & \alpha \leq u \leq \beta \\ 0 & u > \beta \end{cases} \quad (4.3)$$

จากรูปที่ 4.7 เป็นรูปแบบของสมการทางกรออกแบบพีชคณิตที่พบเห็นได้บ่อย สมการ Λ (4.4) นี้มีรูปแบบของสมการที่แสดงดังนี้

$$\Lambda(x; \beta, \gamma) = \begin{cases} 0 & u < \alpha \\ (u - \alpha)/(\beta - \alpha) & \alpha \leq u \leq \beta \\ (\alpha - u)/(\beta - \alpha) & \beta \leq u \leq \gamma \\ 0 & u > \gamma \end{cases} \quad (4.4)$$

รูปที่ 4.7 ตัวอย่างสมการ Λ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.8 ตัวอย่างสมการ Π

จากรูปที่ 4.8 แสดงตัวอย่างของกราฟในรูปสมการ Π (4.5) เป็นสมการอีกรูปแบบหนึ่งในกำหนดสมาชิกของฟัซซี่ ซึ่งสามารถแสดงสมการได้ดังนี้

$$\Pi(u; \alpha, \beta, \gamma, \delta) = \begin{cases} 0 & u < \alpha \\ (u - \alpha) / (\beta - \alpha) & \alpha \leq u < \beta \\ 1 & \beta \leq u \leq \gamma \\ (\gamma - u) / (\delta - \gamma) & \gamma < u \leq \delta \\ 0 & u > \delta \end{cases} \quad (4.5)$$

รูปแบบต่าง ๆ ของสมการที่แสดงให้เห็นก่อนหน้านี้ เป็นรูปแบบของสมการที่ได้ใช้กำหนดสมาชิกของฟัซซี่ เพื่อนำไปออกแบบการทำงานของระบบค่าของผลลัพธ์ที่เกิดจากสมการในรูปแบบต่าง ๆ ที่ได้แสดงนี้จะเห็นได้ว่ามีค่าผลลัพธ์อยู่ในช่วงระหว่าง 0 ถึง 1 ซึ่งค่าที่อยู่ในช่วงนี้จะถูกนำไปคำนวณด้วยการออกแบบกฎการทำงานต่อไป

4.2.2 การออกแบบกฎการทำงาน

การออกแบบกฎของฟัซซี่นี้ได้อาศัยความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ กำหนดเป็นเงื่อนไข เช่น ถ้า เราต้องการลมแรง ๆ แต่ผลที่วัดได้ของลมมีค่าผิดพลาดมาก ๆ ดังนั้นเราก็ต้องป้อนสัญญาณให้มากขึ้นและเหมาะสมด้วย เป็นต้น การที่เราต้องเปิดพัดลมให้มาก ๆ นี้ ก็จะส่งผลต่อการทำงานของระบบ และค่าผิดพลาดการทำงานก็จะน้อยลง จากความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ที่กำหนดรวมถึงประสบการณ์ในการออกแบบสามารถนำมากำหนดเป็นเงื่อนไข นั่นก็คือการออกแบบกฎการทำงาน

การออกแบบกฎการทำงานนั้น มีวิธีการที่สามารถนำไปซึ่งการออกแบบกฎการทำงาน โดยอาศัยวิธีการอยู่หลายวิธีเพื่อที่จะได้การทำงานที่ดี วิธีการที่ใช้ในการออกแบบกฎการทำงานทั่วไปที่ใช้ในการควบคุมการทำงาน อาทิเช่น การอาศัยประสบการณ์ในการออกแบบหรือความรู้ในการควบคุม อาศัยความรู้จากสมการทางคณิตศาสตร์ สมการทางฟัซซี่จากกระบวนการ การเรียนรู้จากการควบคุมการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมการทำงานของกฎฟัซซีลอจิกนั้น วิธีการในการดำเนินงานของกฎนั้นมีทฤษฎีในการออกแบบหลายวิธี ส่วนมากแล้ว โดยทั่วไปที่มักพบเห็นในการควบคุมการทำงาน ในการดำเนินการทำงานของกฎนั้นมี

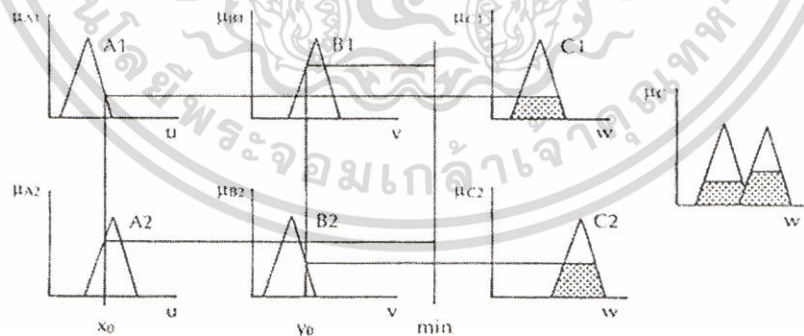
4.2.2.1 ทฤษฎี Max – Min (Mamdani's Minimum)

วิธีการของทฤษฎีนี้ได้อาศัยความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ในเรื่องเซตและสับเซต ดังตัวอย่างรูปที่ 4.9 สมาชิกฟัซซีของ A1 A2 B1 และ B2 ซึ่งเป็นสมาชิกของฟัซซีที่เราได้ออกแบบ โดยค่า X_0 และ Y_0 ก็คือ ค่าที่เกิดจากอินพุทของระบบจากการทำงานที่วัดได้ กระบวนการนี้จะทำหน้าที่แปลงค่าเป็นอินพุทของฟัซซีลอจิก (Fuzzification) ค่าที่ได้จะอยู่ในรูปสมาชิกที่มีค่า 0 ถึง 1 โดยแต่ละสมาชิกของฟัซซี A1 A2 B1 และ B2 ก็จะมีค่าที่ต่างกัน ค่าที่ต่างกันนี้เมื่อนำมาออกกฎการทำงานดังตัวอย่างจากเงื่อนไขเช่น

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 4.9 เมื่อใช้ทฤษฎีของ Mamdani's Minimum ผลลัพธ์ที่ได้จากเงื่อนไข ค่าที่เกิดขึ้นในสมาชิกของ C1 และ C2 ก็คือ ค่าพื้นที่แรเงา ซึ่งค่า C1 และ C2 เป็นค่าผลลัพธ์ของสมาชิกฟัซซีเอาพุท แต่ยังไม่ได้ทำการแปลงกลับเป็นค่าที่จะนำไปใช้งาน

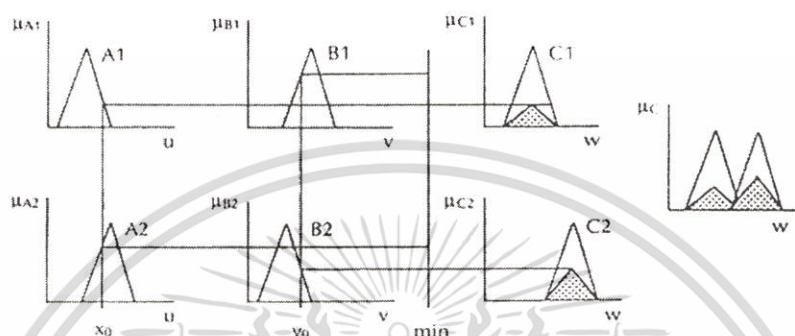


รูปที่ 4.9 แสดงภาพการทำงานของ ทฤษฎี Max – Min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.2 ทฤษฎี Max - Dot (Larsen's Product)

วิธีการนี้ก็คล้ายเช่นเดียวกับการออกแบบ Max – Min แต่จะต่างกันตรงที่การออกแบบจะเป็นในรูปของสเกลที่เกิดจากการคูณกันของสมาชิกฟัซซีในแต่ละสมาชิกที่เกิดจากอินพุทของระบบการทำงาน จากรูปที่ 4.10 อาศัยกฎการออกแบบ และ เงื่อนไขซึ่งใช้เหมือนกันกับทฤษฎี Max – Min ผลลัพธ์ที่ได้ ในทฤษฎี Max – Dot สามารถแสดงในส่วนพื้นที่แรเงา



รูปที่ 4.10 แสดงการทำงานของทฤษฎี Max – Dot

ผลลัพธ์ที่ได้จากการออกแบบสมาชิก และตั้งกฎการทำงานจะทำให้ค่าของสมาชิกเอาพุทของสมาชิกเอาพุทที่มีค่าต่างกันไป ในการที่จะนำค่าของสมาชิกไปใช้งานในการควบคุมระบบจะต้องทำการแปลงค่าให้ได้ค่าที่เรานำไปใช้งานควบคุมจริงซึ่งจะอธิบายในหัวข้อต่อไปนี้

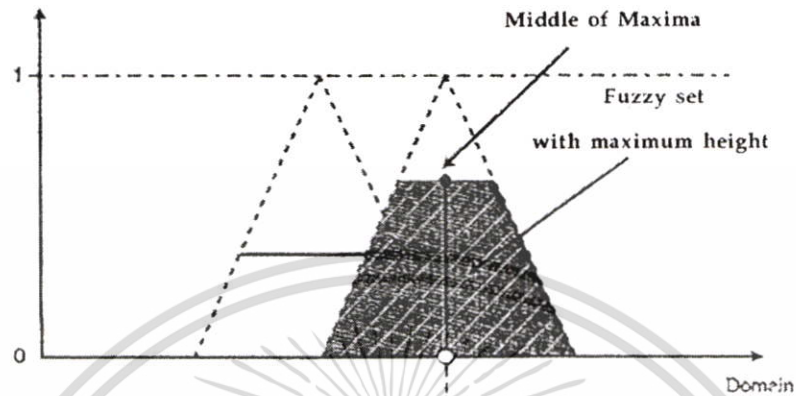
4.2.3 การออกแบบสมาชิกเอาพุทของฟัซซี (Defuzzification)

การออกแบบสมาชิกเอาพุทของการทำงาน รูปแบบสมการคณิตศาสตร์ที่ใช้หรือฟังก์ชันสมาชิกในการออกแบบมีการออกแบบเช่นเดียวกับการออกแบบสมาชิกอินพุท การออกแบบนั้นจะต้องกำหนดช่วงขอบเขตของอุปกรณ์ หรือผลลัพธ์ที่จะนำไปใช้งานให้สอดคล้องกับสมาชิกเอาพุทผลลัพธ์ที่ได้จากการออกแบบสมาชิกเอาพุทนั้นเป็นค่าผลลัพธ์ที่เรานำไปใช้งานจริง กระบวนการที่จะนำไปซึ่งผลลัพธ์นั้นจะต้องทำการแปลงกลับจากค่าสมาชิกเอาพุทที่ได้ การแปลงค่าเพื่อนำไปใช้งานจริงมีอยู่หลายวิธีการ โดยส่วนมากที่มักพบเห็นบ่อย ก็คือ ทฤษฎีค่าเฉลี่ยสูงสุด (Mean of maximum MOM method) ทฤษฎีค่าจุดศูนย์กลางพื้นที่ (Center of area COA method) และยังมีวิธีการอื่น ๆ อีกหลายวิธี

4.2.3.1 ทฤษฎีค่าเฉลี่ยสูงสุด (Mean of maximum MOM method)

พื้นที่ที่ได้จากรูปที่ 4.9 และรูปที่ 4.10 จะเห็นพื้นที่แรเงาที่ได้จากการออกแบบซึ่งเกิดจากค่าผลลัพธ์จากสมาชิกเอาพุทและกระบวนการในการทำงานของกฎการทำงาน ค่าที่ได้ในการทำงานแต่ และครั้งในรอบการทำงาน พื้นที่แรเงาที่ได้จะต่างกันขึ้นอยู่กับค่าที่ป้อนให้กับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

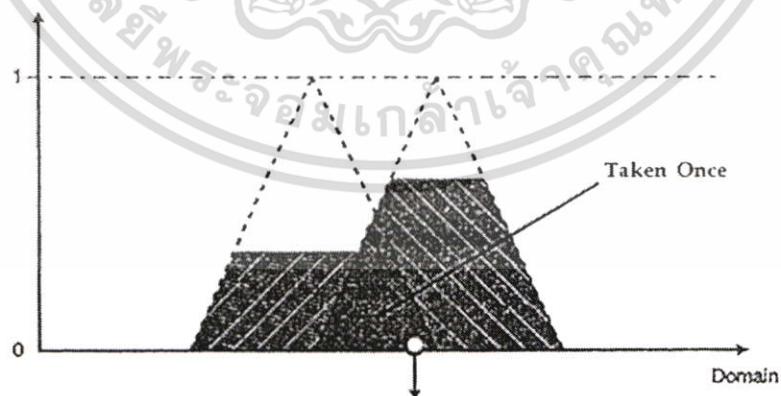
ระบบแต่ละครั้ง ในการหาค่าผลลัพธ์ที่ได้จากพื้นที่แรเงาจากรูปที่ 4.11 โดยใช้ทฤษฎีค่าเฉลี่ยสูงสุด (MOM) จะนำค่าสูงสุดของขอบซ้ายพื้นที่แรเงา และ ค่าสูงสุดของขอบขวาพื้นที่แรเงา มาหาค่าเฉลี่ย ค่าที่ได้คือค่าเอาพุทของตัวควบคุม



รูปที่ 4.11 ทฤษฎีค่าเฉลี่ยสูงสุด

4.2.3.2 ทฤษฎีค่าจุดศูนย์กลางพื้นที่ (Center of area COA method)

ทฤษฎีค่าจุดศูนย์กลางพื้นที่หาจากพื้นที่แรเงาที่ได้จากผลลัพธ์ที่เกิดการออกแบบสมาชิกอินพุทและการออกแบบกฎการทำงาน ซึ่งแต่ละครั้งในรอบการทำงานจะทำให้ได้พื้นที่แรเงาเกิดขึ้น ทฤษฎีนี้ต้องหาพื้นที่จุดศูนย์กลางพื้นที่แรเงา ค่าผลลัพธ์ได้นั้นก็คือค่าที่นำไปใช้งานในระบบควบคุมการทำงาน

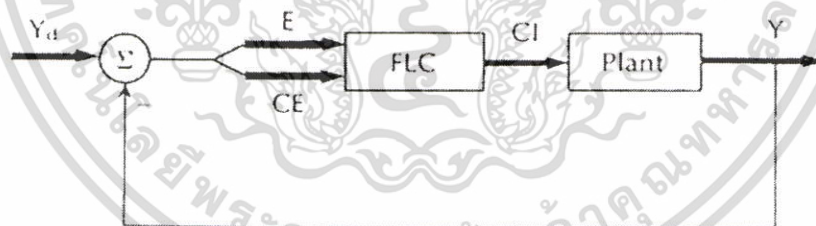


รูปที่ 4.12 ทฤษฎีค่าจุดศูนย์กลางพื้นที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

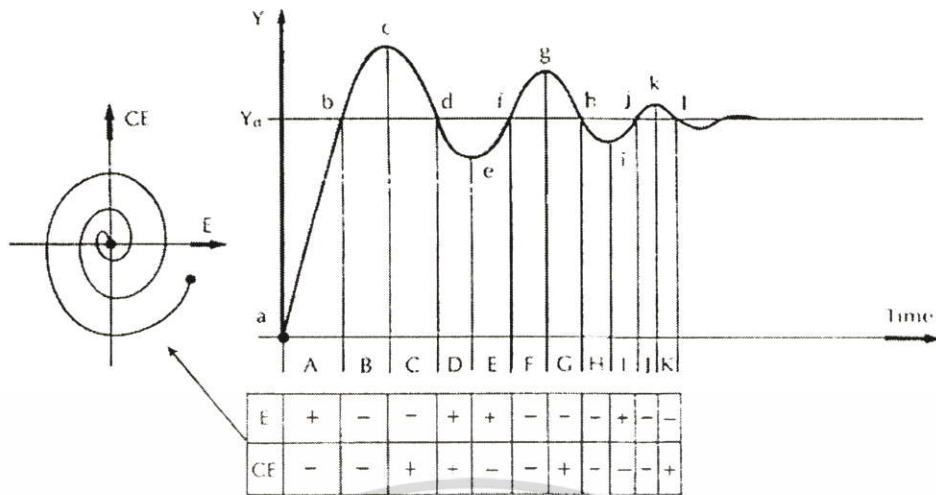
4.3 การออกแบบการควบคุมระบบปรับอากาศในงานวิจัย

การออกแบบในงานวิจัยการควบคุมระบบปรับอากาศด้วยฟuzzyลอจิกนั้น โดยส่วนใหญ่ การควบคุมการทำงานของระบบที่พบเห็นบ่อยดังรูปที่ 4.13 โดยค่า E เป็นค่าความผิดพลาด CE เป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงความผิดพลาด และ CI เป็นค่าสัญญาณในการควบคุมการทำงาน ของระบบการทำงาน Y_d เป็นค่าที่กำหนดในการออกแบบ Y เป็นค่าเอาพุทของระบบที่ได้ ฉะนั้นในการออกแบบระบบการทำงานได้อาศัยความสัมพันธ์ของค่าความผิดพลาด และค่าอัตรา การเปลี่ยนแปลงความผิดพลาดในการออกแบบ เช่น รูปที่ 4.14 ในช่วง A ค่าความผิดพลาด มีค่าเป็นบวก หมายความว่า ค่าเอาพุทของระบบมีค่าน้อยกว่าค่าที่กำหนด และค่าความเปลี่ยนแปลงมีค่าเป็นลบ หมายความว่า ค่าเอาพุทที่ได้กำลังลู่เข้าค่าที่กำหนดในช่วง A แต่เมื่อผ่านไป ช่วง B ค่าความผิดพลาดที่ได้กลับมีค่าเป็นบวก และค่าความเปลี่ยนแปลงก็มีค่าเป็นลบ ทำให้ค่าเอาพุทของระบบมีแนวโน้มที่จะออกห่างจากค่าที่กำหนด เพราะฉะนั้นในการออกแบบการทำงานจึงพยายามที่ออกแบบกฎให้เอาพุทของระบบนั้นมีค่าความผิดพลาด และอัตราค่าเปลี่ยนแปลงความผิดพลาด เข้าใกล้สู่ค่าที่กำหนดซึ่งได้ออกแบบให้เป็นไปตามในช่วง C เช่นเดียวกัน ในช่วง D ค่าของเอาพุทของระบบก็พยายามที่จะลู่ออกไปมากขึ้น เพราะฉะนั้นในการออกแบบเราก็ต้องพยายามปรับค่านั้นให้ลู่กลับสู่สภาวะที่เรากำหนด ฉะนั้นว่าค่าความผิดพลาดและค่าเปลี่ยนแปลงความผิดพลาดเป็นศูนย์ หรือมีน้อยที่สุด



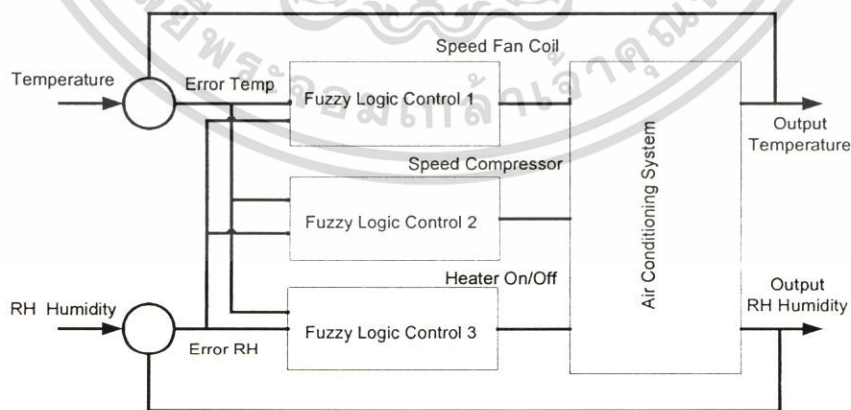
รูปที่ 4.13 การออกแบบระบบการควบคุมด้วยฟuzzy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 การเปลี่ยนแปลงของค่าเอาพุทของระบบในการวิเคราะห์

การออกแบบในงานวิจัยนี้ได้อาศัยความสัมพันธ์จากข้างต้น ในการออกแบบระบบการทำงานของระบบปรับอากาศ ที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในห้อง โดยทั้งสองตัวแปรนั้นมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันในการทำงาน ทำให้ในการควบคุมจะต้องพยายามควบคุมตัวแปรทั้งสองให้ได้ตามค่าที่กำหนด การออกแบบได้อาศัยจากการออกแบบระบบฟัซซี่ข้างต้นที่ใช้หาค่าเอาพุทของระบบ การออกแบบได้อาศัยค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิและค่าความผิดพลาดของความชื้นในการออกแบบระบบ โดยไม่ได้อาศัยอัตราค่าเปลี่ยนแปลงความผิดพลาดมาพิจารณาในการออกแบบ แต่คำนึงถึงค่าความสัมพันธ์ของค่าความผิดพลาดอุณหภูมิ และค่าความผิดพลาดของความชื้นมาพิจารณาในการออกกฎการทำงานของฟัซซี่แทนดังรูป



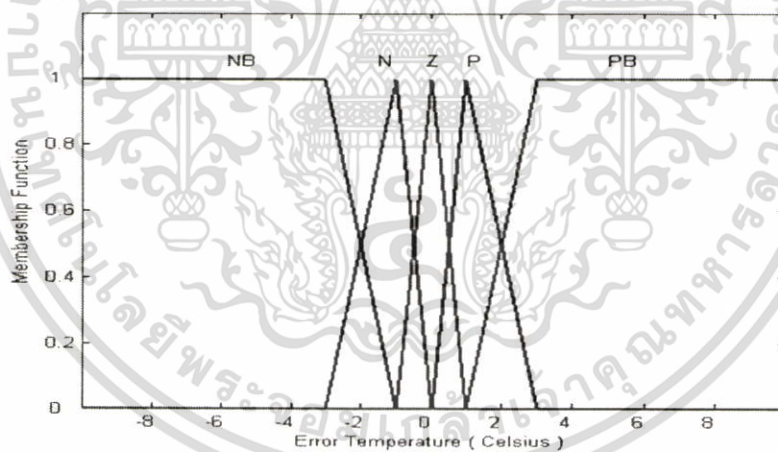
รูปที่ 4.15 โครงสร้างการออกแบบการควบคุมในงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวความคิดในการออกแบบได้อาศัยความสัมพันธ์ค่าความผิดพลาดทั้งสองมาออกแบบกฎการทำงานของฟัซซี เพราะเนื่องจากการออกแบบในการควบคุมโดยวิธีพีไอดี ในการควบคุมที่ค่าการควบคุมมีความสัมพันธ์กัน ค่าของพีไอดีนั้นจะมีลอคที่สัมพันธ์กันของทั้งสองตัวแปรและการหาการควบคุมนั้นก็ยากที่จะหาค่าในลอคที่สัมพันธ์กัน มาเพื่อพิจารณา แต่ในทางกลับกันในฟัซซีเอง ไม่จำเป็นที่จะต้องรู้สมการทางคณิตศาสตร์ แต่สามารถพิจารณาจากประสบการณ์หรือตามความรู้สึก ความรู้ทางการควบคุมก็เพียงพอที่จะสามารถควบคุมได้และแนวความคิดนี้เองสามารถออกแบบลอคในส่วนที่สัมพันธ์กันในกฎการออกแบบฟัซซีนั่นเอง

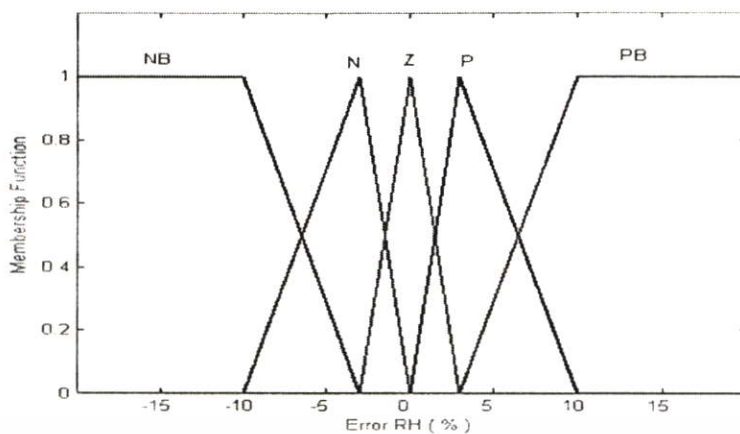
4.3.1 การออกแบบสมาชิกอินพุทของการควบคุมระบบปรับอากาศ

การออกแบบสมาชิกอินพุทของระบบปรับอากาศ ค่าอินพุทของสมาชิกได้ออกแบบจากค่าความผิดพลาดจริงของระบบคือ ค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิ และค่าความผิดพลาดความชื้น ได้กำหนดสมาชิกของอินพุทเป็น 5 สมาชิก โดยกำหนดให้ NB (Negative Big) , N (Negative) , Z (Zero) , P (Positive) , PB (Positive Big) สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.16 และ รูปที่ 4.17



รูปที่ 4.16 สมาชิกอินพุทของค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 สมาชิกอินพุทของค่าความผิดพลาดของความชื้น

4.3.2 การออกแบบกฎการทำงานของระบบปรับอากาศ

การออกแบบกฎการทำงานนั้น การออกแบบการทำงานมีแนวทางในการออกแบบกฎการทำงานได้โดยอาศัยความรู้ทางการควบคุม ความชำนาญในการเรียนรู้ระบบ หรือความรู้ที่ได้จากสมการทางคณิตศาสตร์ที่ช่วยทำให้เรารู้การทำงานของระบบ การออกแบบกฎการทำงานได้ออกแบบกฎการทำงานจากค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิและค่าความผิดพลาดของความชื้น โดยไปควบคุมสัญญาณของพัดลมจ่าย คอมเพรสเซอร์ และเครื่องจ่ายความร้อน การออกแบบกฎแสดงได้ดังรูปที่ 4.18

Fan Coil						Compressor						
Error RH						Error RH						
	NB	N	Z	P	PB		NB	N	Z	P	PB	
Error Temp	NB	H	H	M	M	L	NB	H	H	H	H	H
	N	H	H	M	L	L	N	H	H	H	H	H
	Z	H	H	M	L	L	Z	H	H	M	M	M
	P	H	H	M	L	L	P	L	L	L	L	L
	PB	H	M	M	L	L	PB	L	L	L	L	L

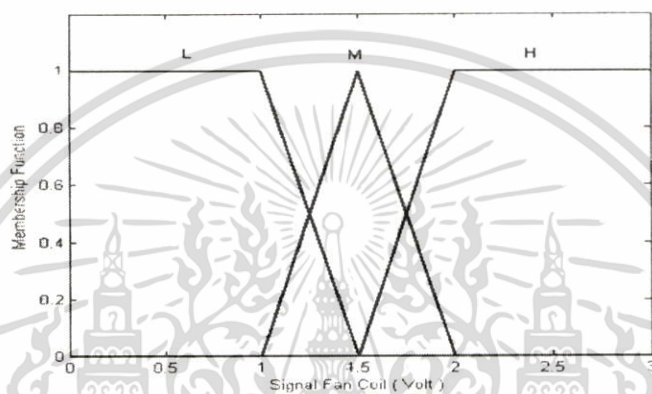
Heater						
Error RH						
	NB	N	Z	P	PB	
Error Temp	NB	ON	ON	ON		OFF
	N					OFF
	Z			OFF	OFF	OFF
	P	ON	ON	ON		OFF
	PB					OFF

รูปที่ 4.18 กฎในการออกแบบการควบคุมในระบบปรับอากาศ

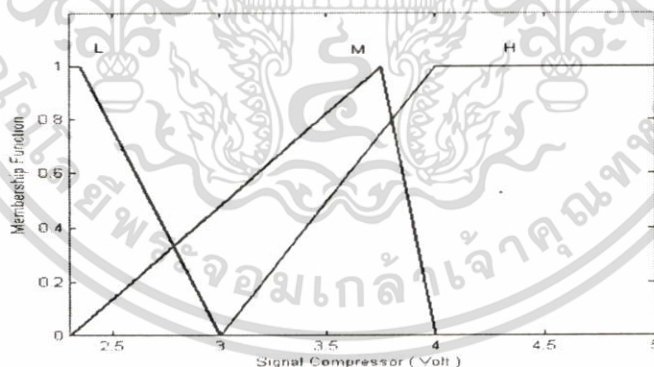
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 การออกแบบสมาชิกเอาพุทของการควบคุมระบบปรับอากาศ

สมาชิกเอาพุทของการสัญญาณที่ควบคุมการทำงานมีด้วยกัน 3 สัญญาณ ประกอบไปด้วย สัญญาณที่ 1 สัญญาณควบคุมพัดลมจ่ายอากาศ โดยมีช่วงการออกแบบอยู่ในช่วง 0 – 3 โวลต์ ประกอบไปด้วย สมาชิกเอาพุท 3 สมาชิก คือ L (Low) , M (Medium) , H (High) ดังรูปที่ 4.19 สัญญาณที่ 2 สัญญาณควบคุมคอมเพรสเซอร์ โดยมีช่วงสัญญาณ 2.3 – 5 โวลต์ ประกอบไปด้วยสมาชิก คือ L (Low) , M (Medium) , H (High) ดังรูปที่ 4.20 สัญญาณที่ 3 ทำหน้าที่เป็นสัญญาณเปิดปิด (ON/OFF) เครื่องจ่ายความร้อน



รูปที่ 4.19 สมาชิกเอาพุทของสัญญาณควบคุมพัดลมจ่าย



รูปที่ 4.20 สมาชิกเอาพุทของสัญญาณควบคุมคอมเพรสเซอร์

4.3.4 การแปลงค่าสมาชิกเอาพุทในการควบคุมสัญญาณ

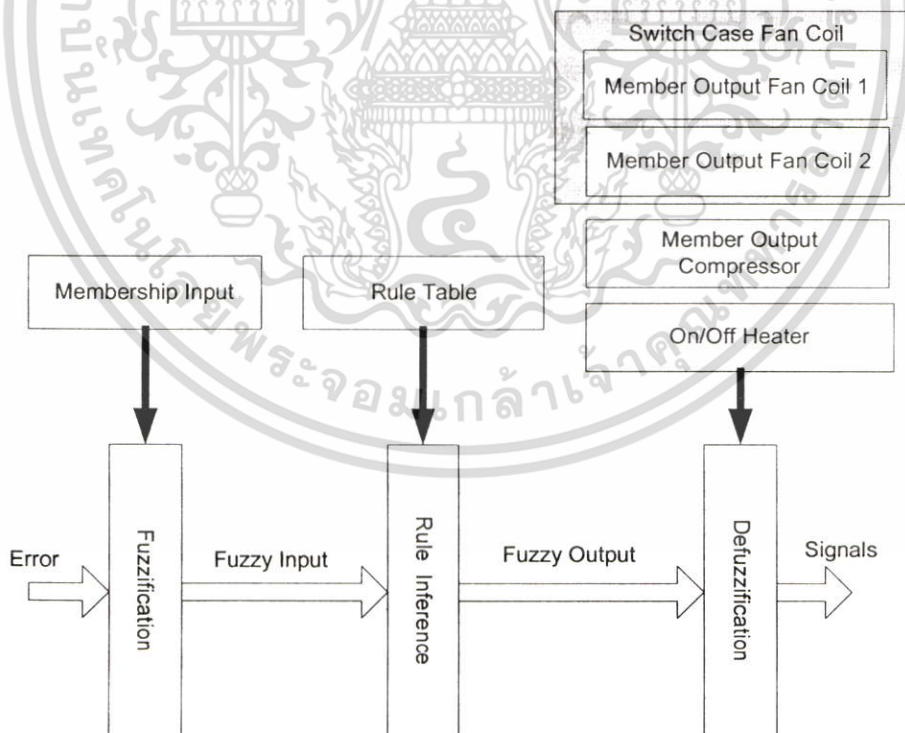
การแปลงสัญญาณของสมาชิกเอาพุทที่ได้จากการกำหนดสมาชิกเอาพุท ในการควบคุมสัญญาณได้ใช้ทฤษฎี ค่าเฉลี่ยสูงสุด (MOM) ในการหาค่าควบคุมสัญญาณของพัดลมจ่าย และคอมเพรสเซอร์ เนื่องจากระบบควบคุมระบบปรับอากาศเวลาในการตอบสนองมีค่ามากซึ่งการทำงานของทฤษฎี MOM มีลักษณะการทำงานที่เป็นลักษณะสัญญาณกระโดดจากค่าสมาชิกเอาพุท เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พหุค่าหนึ่งไปอีกค่าหนึ่ง แต่การทำงานก็ไม่มีผลมากนักเพราะเนื่องจากการตอบสนองของระบบปรับอากาศค่อนข้างช้า และในการเขียนโปรแกรมควบคุมนั้นไม่เปลืองทรัพยากรในหน่วยความจำมากจนเกินไป ถ้านำไปพัฒนาเขียนลงไมโครคอนโทรลเลอร์ ผลจากการทดลองการควบคุมที่ได้จะกล่าวอยู่ในบทผลของการทดลอง

4.4 การประยุกต์สัญญาณที่ออกแบบในการควบคุมระบบปรับอากาศ

4.4.1 การออกแบบสัญญาณที่ใช้ในการออกแบบพัลลวมจ่าย

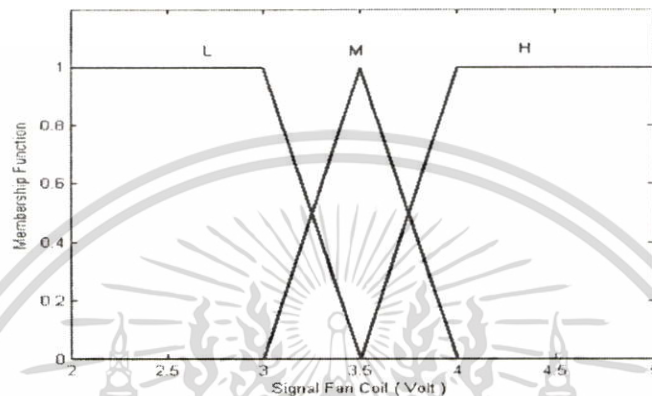
การออกแบบสัญญาณที่ใช้ในการออกแบบของพัลลวมจ่ายได้ออกแบบสัญญาณออกเป็น 2 กลุ่มสมาชิกที่ใช้ในการออกแบบเนื่องจากสาเหตุที่ใช้นั้น กรณีพัลลวมที่ได้ทำการดัดแปลงนั้นค่าความเร็วลมที่ได้จากสัญญาณสูงสุดจะทำให้มีการพัดความชื้นเข้าไปในระบบการทำความเย็นจึงได้ออกแบบสมาชิกที่ใช้งานในช่วงปกติสัญญาณควบคุม 0 – 3 โวลต์ และกรณีเมื่อมีการทำความเย็นที่มีภาระความร้อนสัมผัสจะทำให้ความชื้นมีค่าลดลงจึงได้ออกแบบใช้สัญญาณพัลลวมในช่วง 2 – 5 โวลต์ เพื่อพัดความชื้นชดเชยเข้าไปในระบบ การออกแบบจึงได้ออกแบบสมาชิกทั้ง 2 กลุ่มนี้ในขณะการปฏิบัติงานที่ต่างกัน ดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 การดำเนินงานในกระบวนการฟัซซีที่ใช้ในการออกแบบระบบปรับอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทำงานจากรูปที่ 4.21 แสดงในส่วนที่แรงเงาของสมาชิกเอาพุทสัญญาณพัลลวมจ่าย ซึ่งแสดงให้เห็นส่วนในการเลือกใช้งานกรณีทั้งสองที่ได้ออกแบบการควบคุมในช่วงปกติทั่ว ๆ ไป และในช่วงกรณีที่มีภาวะความร้อนสัมผัส การออกแบบสมาชิกเอาพุทของกรณีที่มีภาวะความร้อนสัมผัสได้ออกแบบดังรูปที่ 4.22 โดยแบ่งเป็น 3 สมาชิก คือ L (Low), M (Medium), H (High) อยู่ในช่วงสัญญาณ 2 – 5 โวลต์

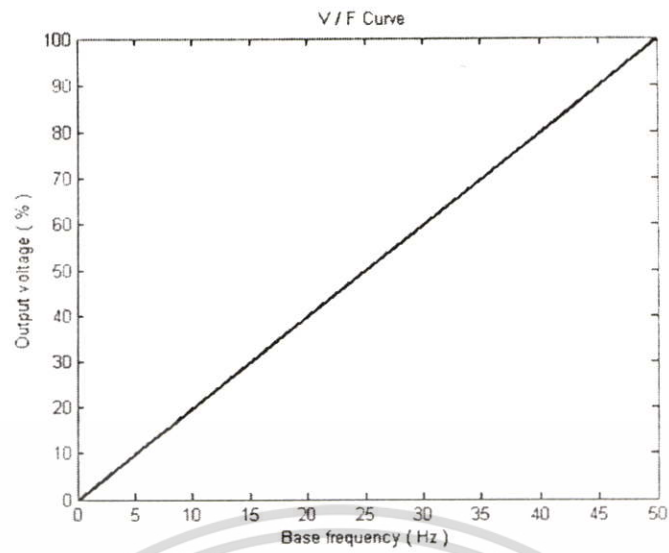


รูปที่ 4.22 สมาชิกเอาพุทของพัลลวมจ่ายที่ใช้เนื่องจากภาวะความร้อนสัมผัส

4.4.2 การออกแบบสัญญาณที่ใช้ในการออกแบบคอมเพรสเซอร์

การออกแบบสัญญาณที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์ ได้ออกแบบที่ใช้ในช่วงย่านสัญญาณ 2.3 - 5 โวลต์ เนื่องจากอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ขณะปฏิบัติงานในช่วงย่านสัญญาณที่ควบคุมการทำงานที่สัญญาณต่ำ จะทำให้เกิดกระแสไฟเกินกว่าที่อินเวอร์เตอร์จะสามารถทำงานได้ ทำให้อินเวอร์เตอร์ไม่สามารถใช้งานได้ในค่าสัญญาณนั้น ๆ จึงต้องทำการปรับค่าในฟังก์ชันอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในการออกแบบนั้น การปรับค่าฟังก์ชันในอินเวอร์เตอร์จึงต้องกำหนดค่ากราฟ V/F Curve ในตัวแปร P63 ของอินเวอร์เตอร์ ให้เป็น 160 โวลต์ จึงจะสามารถใช้ช่วงสัญญาณของคอมเพรสเซอร์ที่ 2.3 - 5 โวลต์ได้โดยไม่เกิดกระแสเกินกว่าขนาดของอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ ค่าที่ได้จากการกำหนดแสดงได้จากกราฟ V/F Curve ดังรูปที่ 4.23 จะได้ค่า V/F เป็น 3.2 หมายถึง เมื่อสัญญาณความถี่ 50 Hz มีกระแสไฟที่ใช้ 160 โวลต์นั่นคือสัญญาณที่มากที่สุดที่ควบคุม ถ้าหากต้องการกำหนดกระแสไฟที่ใช้มากกว่านี้ ย่านสัญญาณที่ใช้ในการควบคุมคอมเพรสเซอร์จะแคบลง สัญญาณควบคุมอินเวอร์เตอร์ต่ำสุดก็จะมากขึ้นและเป็นสาเหตุให้เมื่อการปฏิบัติงานที่ควบคุมอุณหภูมิ หรือ ความชื้นได้แล้ว การทำงานของมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ที่ใช้จะส่งผลให้การทำงานมากเกินไป ที่จะอยู่ในลักษณะการทำงานควบคุมที่รอบต่ำ ๆ ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 กราฟ V/F Curve แสดงความสัมพันธ์ของไฟฟ้าและความถี่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การจำลองการควบคุมระบบปรับอากาศ

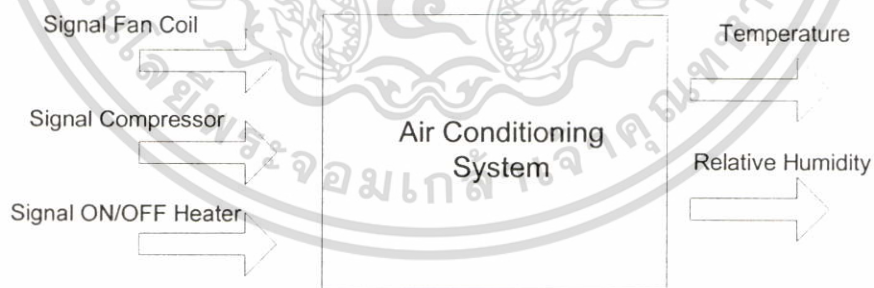
5.1 การจำลองระบบปรับอากาศ

การจำลองเป็นวิธีการที่ทำให้เราสามารถรู้แนวทางการทำงานว่ามีแนวโน้มในการทำงานว่าเป็นไปได้มากน้อยแค่ไหน ช่วยในการหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมต่อการทำงานที่ต้องการ และวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากจำลองระบบ การจำลองนั้นสิ่งสำคัญที่จำเป็นอย่างมากในการจำลองคือ การหาโมเดลทางคณิตศาสตร์ การหาโมเดลทางคณิตศาสตร์นั้นมีอยู่ด้วยกัน 2 วิธี วิธีแรกก็คือ การหาโมเดลทางคณิตศาสตร์จากทฤษฎี [10] และการหาโมเดลคณิตศาสตร์จากการทดลอง [11,12]

การจำลองระบบปรับอากาศนี้ได้ศึกษา การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของระบบโดยการออกแบบสัญญาณควบคุม และวิธีการควบคุมด้วยพีซีที่ล่อจิก เพื่อทดสอบการทำงานของระบบ และดูผลตอบสนองของระบบที่ได้จากการกำหนดค่า

5.2 การหาโมเดลทางคณิตศาสตร์ระบบปรับอากาศ

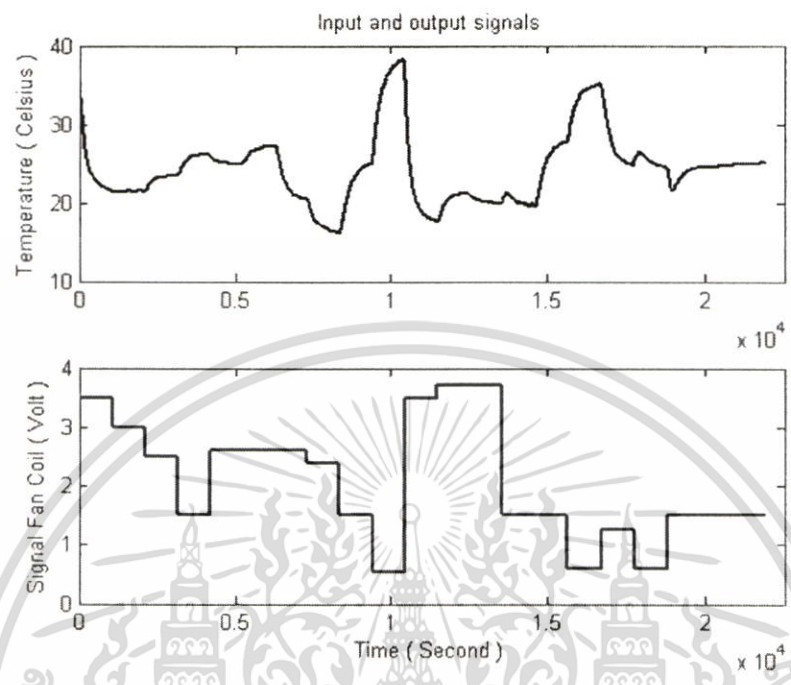
ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบการหาโมเดลทางคณิตศาสตร์จากการทดลอง โดยการป้อนสัญญาณในช่วงสัญญาณต่าง ๆ ในการควบคุมทั้ง 3 สัญญาณ ประกอบไปด้วย สัญญาณควบคุมพัดลมจ่าย สัญญาณควบคุมคอมเพรสเซอร์ สัญญาณควบคุมเปิดปิดเครื่องจ่ายความร้อน



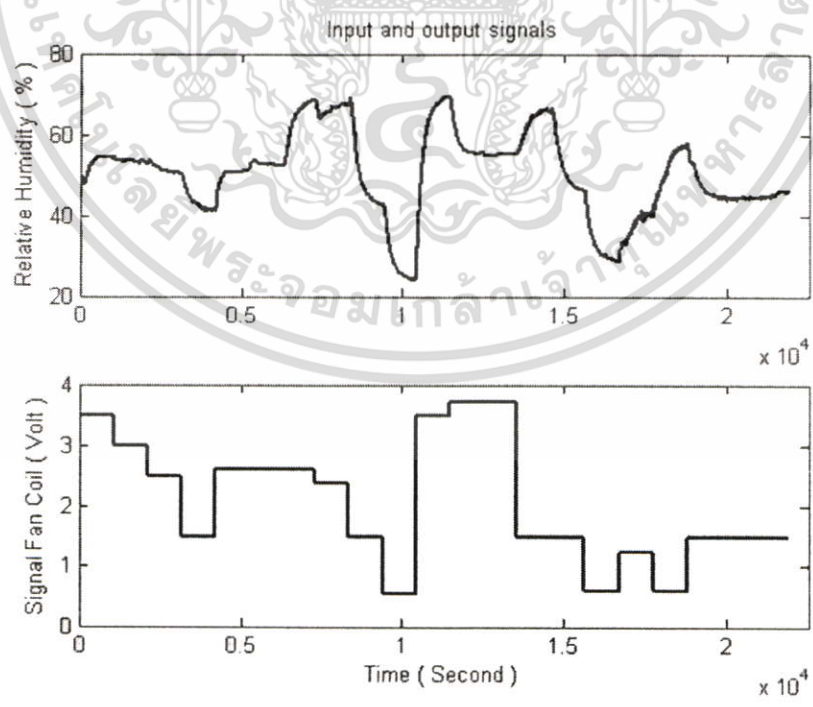
รูปที่ 5.1 การออกแบบหาโมเดลทางคณิตศาสตร์จากการทดลอง

การหาโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากรูปที่ 5.1 หรือ การทดลองระบบเปิดนี้ ได้อาศัยโปรแกรม MATLAB ช่วยในการหาโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากการทดลอง ซึ่งในโปรแกรม MATLAB มีฟังก์ชัน idnet (identification) ที่ช่วยในการหาสมการทางคณิตศาสตร์นี้ การออกแบบการหาโมเดลทางคณิตศาสตร์นี้ได้ออกแบบการป้อนสัญญาณหลาย ๆ ค่าแตกต่างกันไป เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยมีช่วงสัญญาณอินพุทในแต่ละช่วงมีค่า 20 นาที และทำการเก็บค่าสัญญาณทุก 5 วินาที ผลที่ได้สามารถแสดงได้ดังรูป

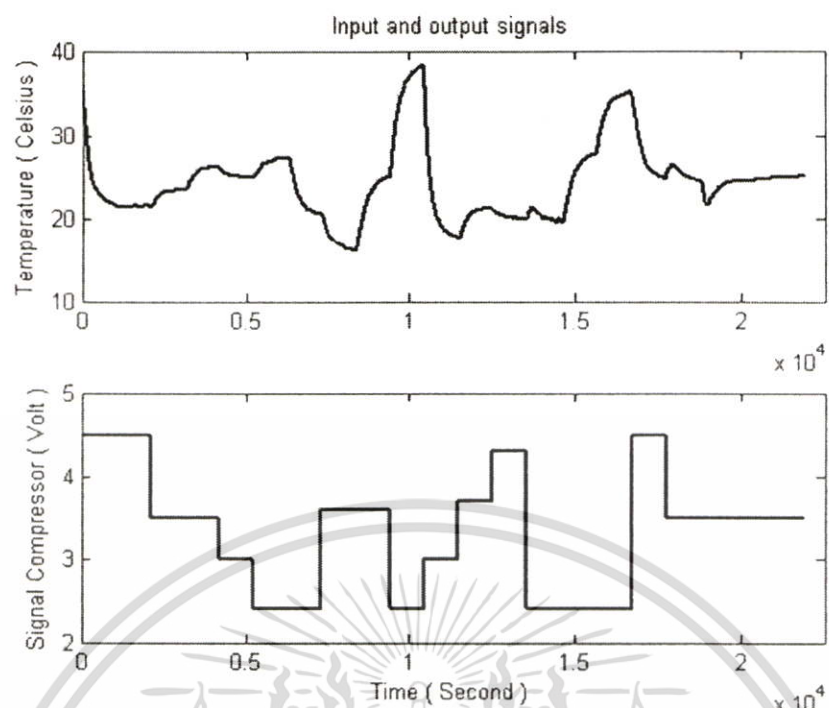


รูปที่ 5.2 สัญญาณพัลสมจ่ายและค่าของอุณหภูมิที่ได้

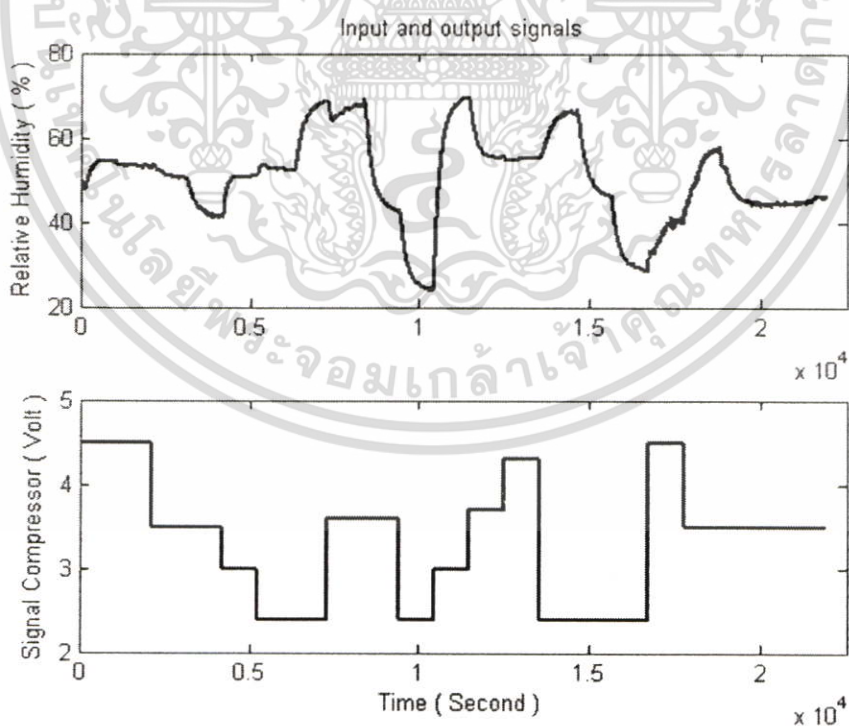


รูปที่ 5.3 สัญญาณพัลสมจ่ายและค่าความชื้นที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

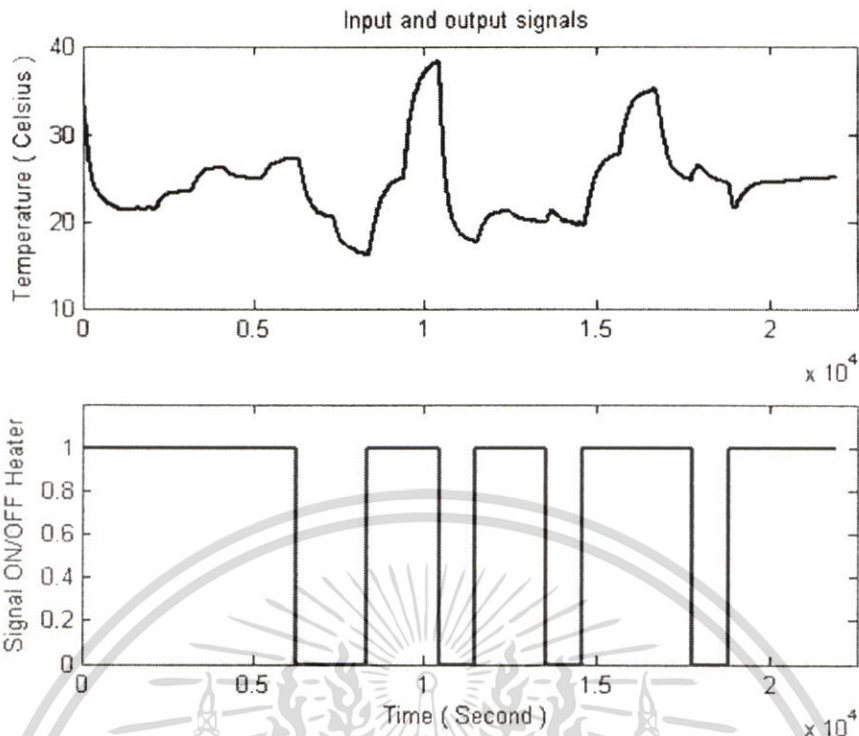


รูปที่ 5.4 สัญญาณคอมเพรสเซอร์และค่าอุณหภูมิที่ได้

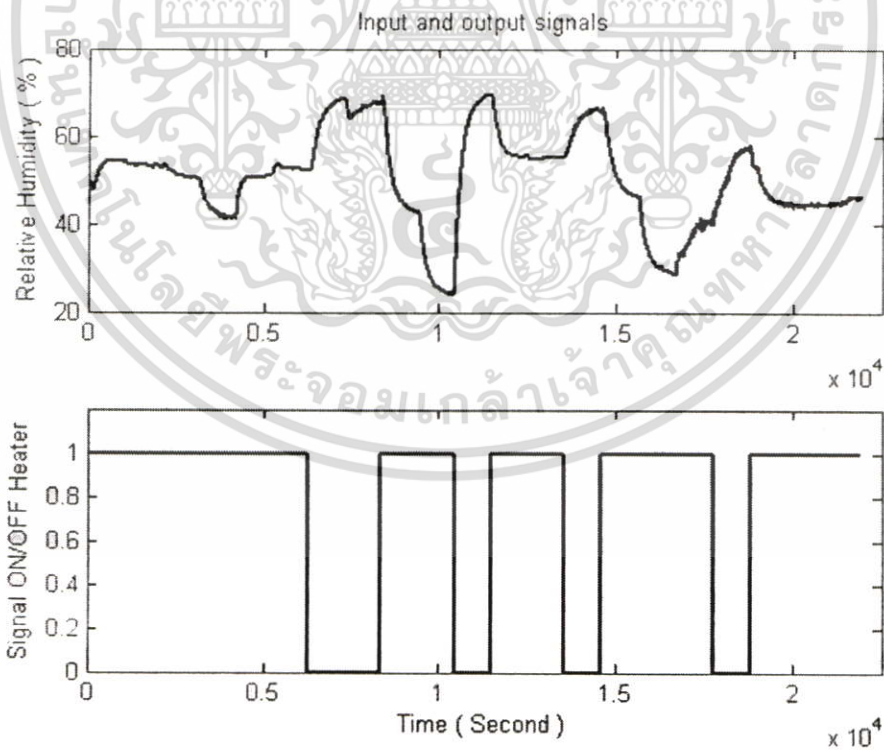


รูปที่ 5.5 สัญญาณคอมเพรสเซอร์และค่าความชื้นที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 สัญญาณเครื่องจ่ายความร้อนและค่าอุณหภูมิที่ได้



รูปที่ 5.7 สัญญาณเครื่องจ่ายความร้อนและค่าความชื้นที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.2 ถึง รูปที่ 5.7 เมื่อทำการหาโมเดลทางคณิตศาสตร์โดยการใช้ฟังก์ชัน `ident` ในโปรแกรม MATLAB โดยการเลือกการสร้างโมเดลจาก State - space อันดับที่ 22 เป็นค่าที่ดีที่สุดที่เลือกใช้ในการจำลองการสร้างโมเดลทางคณิตศาสตร์ เพราะว่ากรอกแบบระบบปรับอากาศในงานวิจัยนี้มีค่าความสัมพันธ์กันหลายตัวแปรและก็มีควมสลับซับซ้อนในการออกแบบ การที่เลือกใช้โมเดล State - space เนื่องจากเหมาะสำหรับในการออกแบบหลายตัวแปร สามารถแสดงในรูปของสมการ State - space ได้ดังนี้

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

โดย	A	เป็น	เมตริกของระบบ
	B	เป็น	เมตริกของสัญญาณอินพุท
	C	เป็น	เมตริกของสัญญาณเอาพุท
	D	เป็น	เมตริกของสัญญาณรบกวน
	x	เป็น	state ของตัวแปรของระบบ
	u	เป็น	สัญญาณอินพุทของระบบ
	y	เป็น	ผลลัพธ์ที่ได้ของระบบ
	e	เป็น	ค่าของการรบกวนระบบ
	K	เป็น	เมตริกของค่าของการรบกวนระบบ

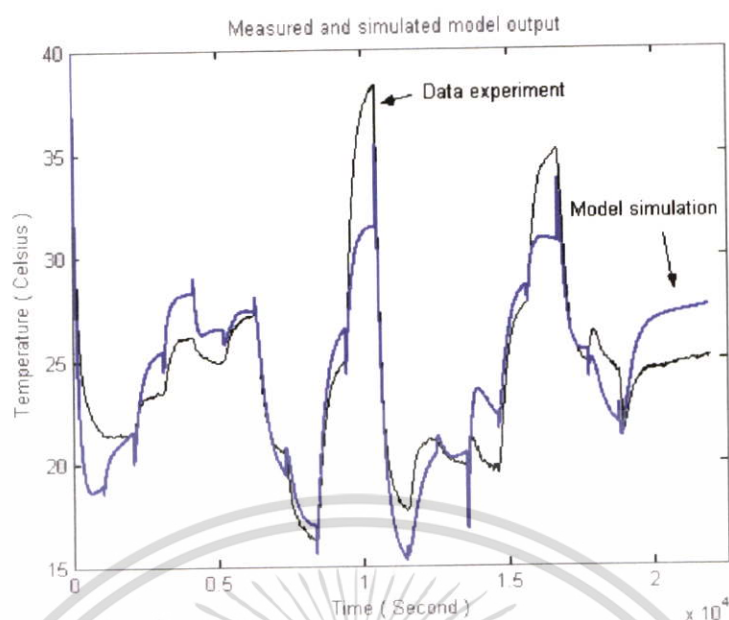
จากสมการ State-space นี้ แสดงค่าต่าง ๆ ที่ได้ไว้ในภาคผนวก ค. การคำนวณหาโมเดลคณิตศาสตร์จากฟังก์ชัน `ident` ในโปรแกรม MATLAB ได้มีการกำหนดค่าในการสร้างโมเดลทางคณิตศาสตร์โดยกำหนดให้ค่า

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

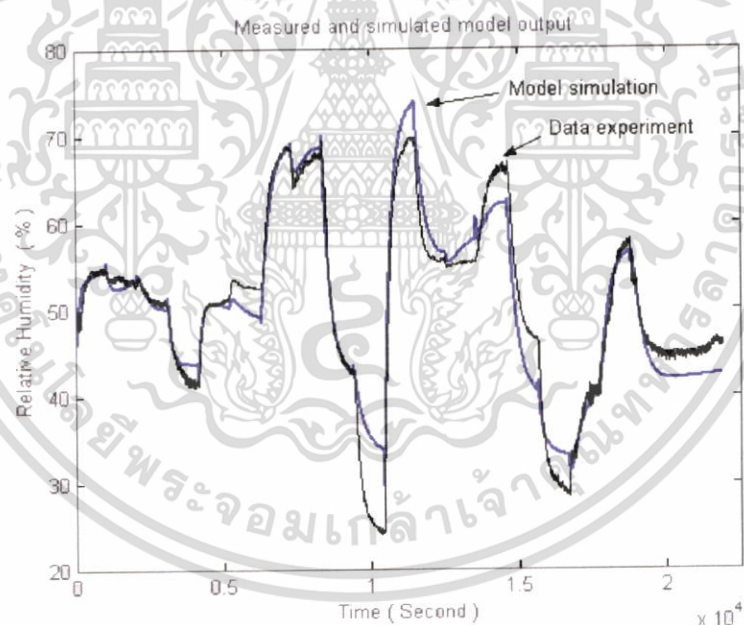
เมตริก K เป็น 0 หมายถึง ค่า $e(t)$ มีผลกระทบต่อค่าเอาพุท $y(t)$ เพียงเท่านั้น

กำหนดให้มีค่าเริ่มต้น $x(0)$ ในการหาค่าของโมเดลที่หามาได้

ผลจากการสร้างโมเดลทางคณิตศาสตร์ซึ่งโมเดลนี้จะมีค่า $e(t)$ ของการรบกวนระบบรวมอยู่ด้วย (Output Error Model) ผลที่ได้แสดง อยู่ในรูปที่ 5.8 และรูปที่ 5.9 ซึ่งโมเดลที่ได้นี้มีลักษณะคล้ายคลึงอยู่ในอันดับที่ 22 ของการออกแบบ และได้นำไปออกแบบระบบควบคุมการทำงานด้วยพีซีลจอกต่อไป



รูปที่ 5.8 โมเดลอุณหภูมิของระบบปรับอากาศจากโปรแกรม MATLAB

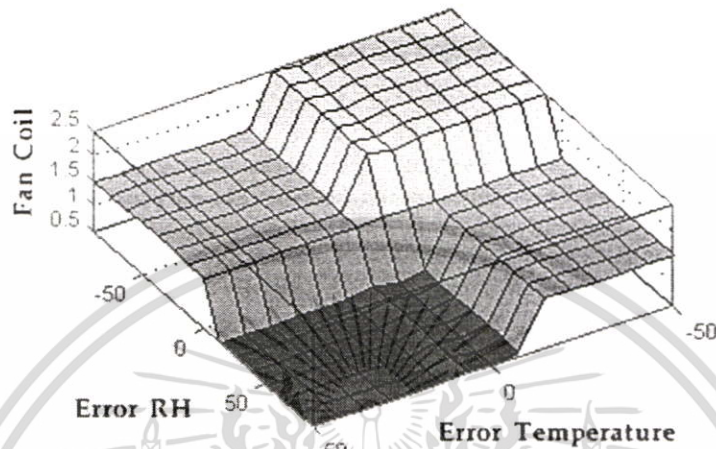


รูปที่ 5.9 โมเดลความชื้นที่ได้ของระบบปรับอากาศจากโปรแกรม MATLAB

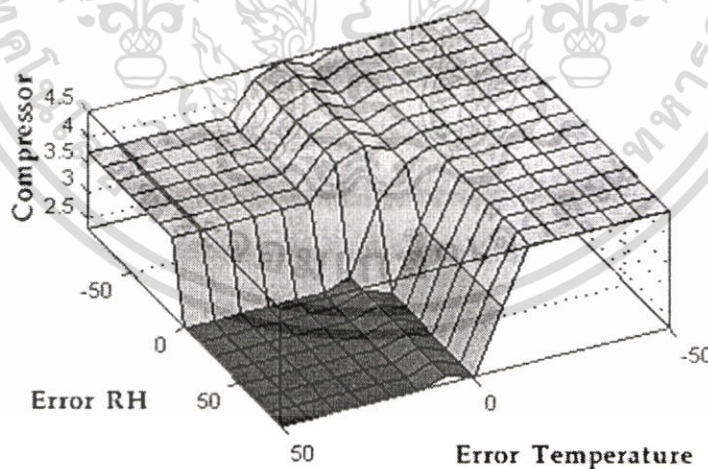
5.3 การจำลองการควบคุมระบบปรับอากาศ

การจำลองระบบปรับอากาศที่ได้จากการสร้างโมเดลจาก ident ในโปรแกรม MATLAB ได้นำมาจำลองเป็นระบบปรับอากาศ และได้จำลองการควบคุมโดยใช้ฟังก์ชัน fuzzy ใน MATLAB เป็นตัวควบคุมระบบปรับอากาศเช่นกัน โดยการออกแบบการควบคุมโดยใช้ฟuzzy เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลอจิกจากการออกแบบสมาชิกอินพุท สมาชิกเอาพุท และกฎการทำงานในการควบคุมที่ได้ออกแบบไว้จากบทที่ 4 โดยสามารถแสดงอยู่ในรูปกราฟ 3 มิติของการออกแบบโดยใช้ฟuzzy ลอจิก ได้ดังรูปที่ 5.10 และรูปที่ 5.11



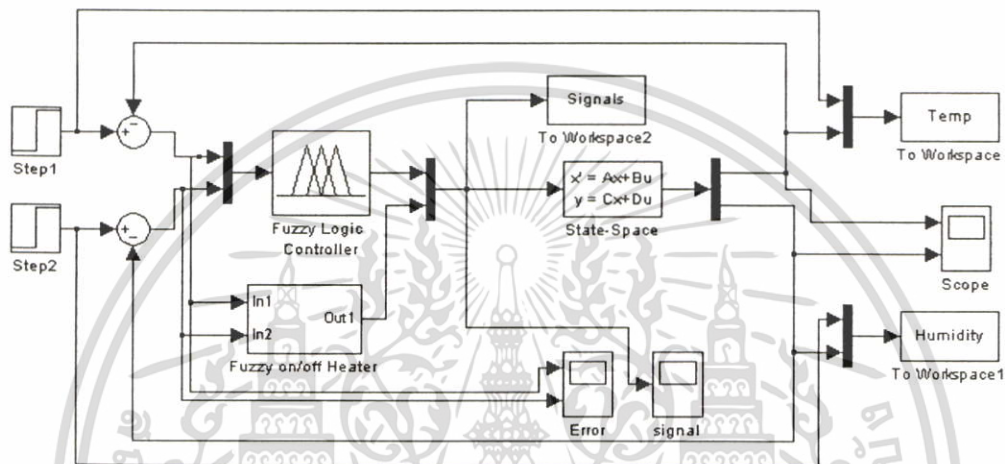
รูปที่ 5.10 กราฟ 3 มิติของฟuzzy ผลิตลมจ่าย



รูปที่ 5.11 กราฟ 3 มิติของฟuzzy คอมเพรสเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

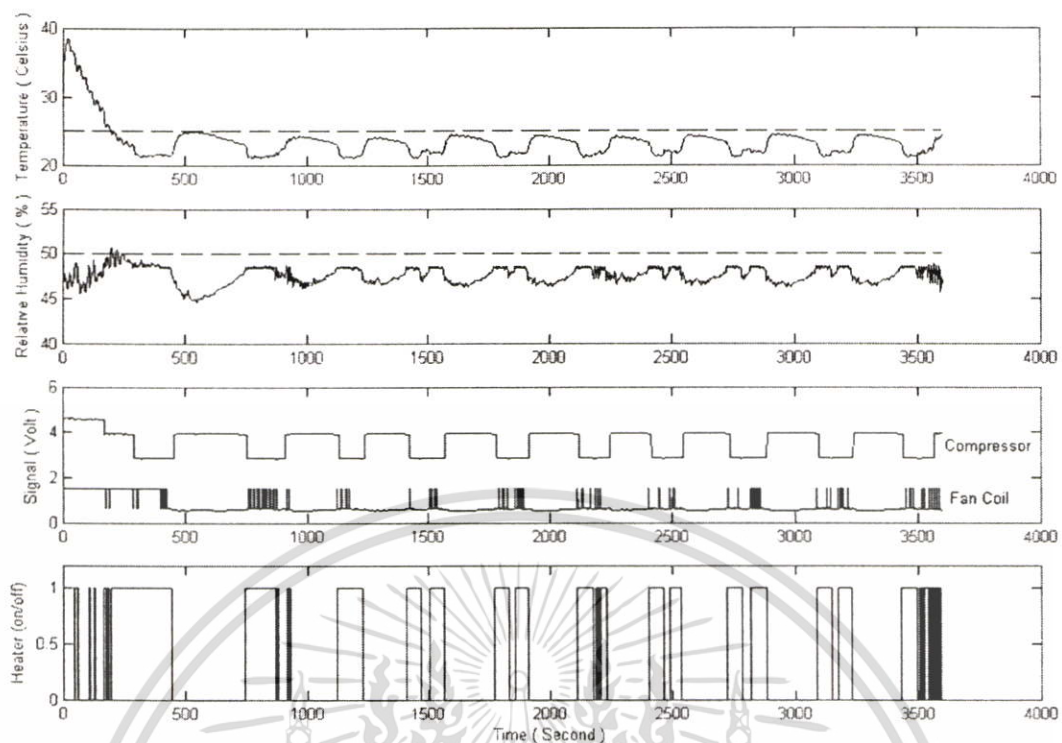
จากฟังก์ชัน Fuzzy ใน MATLAB ที่ได้ออกแบบสมาชิกอินพุต สมาชิกเอาพุตและกฎการทำงานแล้ว ได้ใช้ Simulink ซึ่งอยู่ใน MATLAB ทำการต่อบล็อกวงจรการจำลองเพื่อหาค่าผลที่ได้จากการจำลองระบบปรับอากาศ โดยอาศัยบล็อก State - space และบล็อก Fuzzy ที่หาค่าได้มาจากการออกแบบฟังก์ชัน ident และฟังก์ชัน fuzzy ใน MATLAB ก่อนหน้านั้นมาต่อบล็อกดังรูปที่ 5.12 และ ทำการเก็บค่าอุณหภูมิ ความชื้น สัญญาณการควบคุมพัดลมจ่าย สัญญาณการควบคุมคอมเพรสเซอร์ และ สัญญาณเปิดปิดเครื่องจ่ายความร้อน



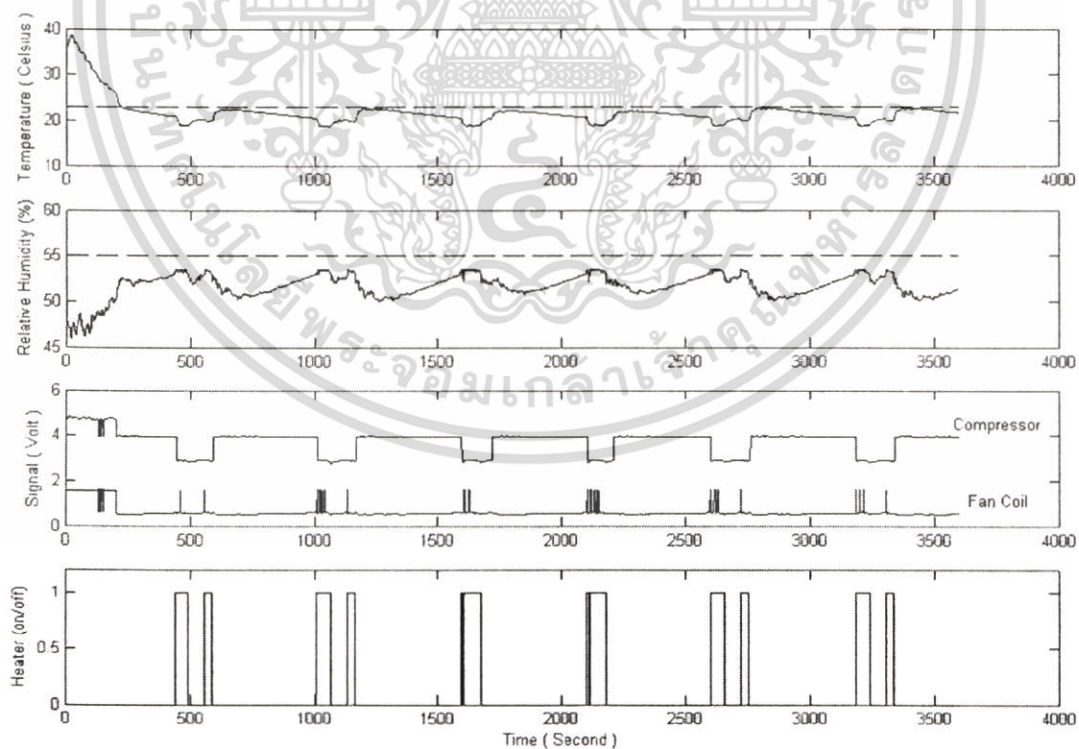
รูปที่ 5.12 การจำลองระบบปรับอากาศบน Simulink ในโปรแกรม MATLAB

5.4 ผลการจำลองระบบปรับอากาศ

การจำลองระบบปรับอากาศได้ทำการจำลองระบบควบคุมการปรับอากาศ โดยได้นำโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่สร้างจากการทดลองนำมาหาโมเดลทางคณิตศาสตร์ ซึ่งสามารถแสดงผลการจำลองการควบคุมระบบปรับอากาศที่สภาวะต่าง ๆ ได้ดังต่อไปนี้

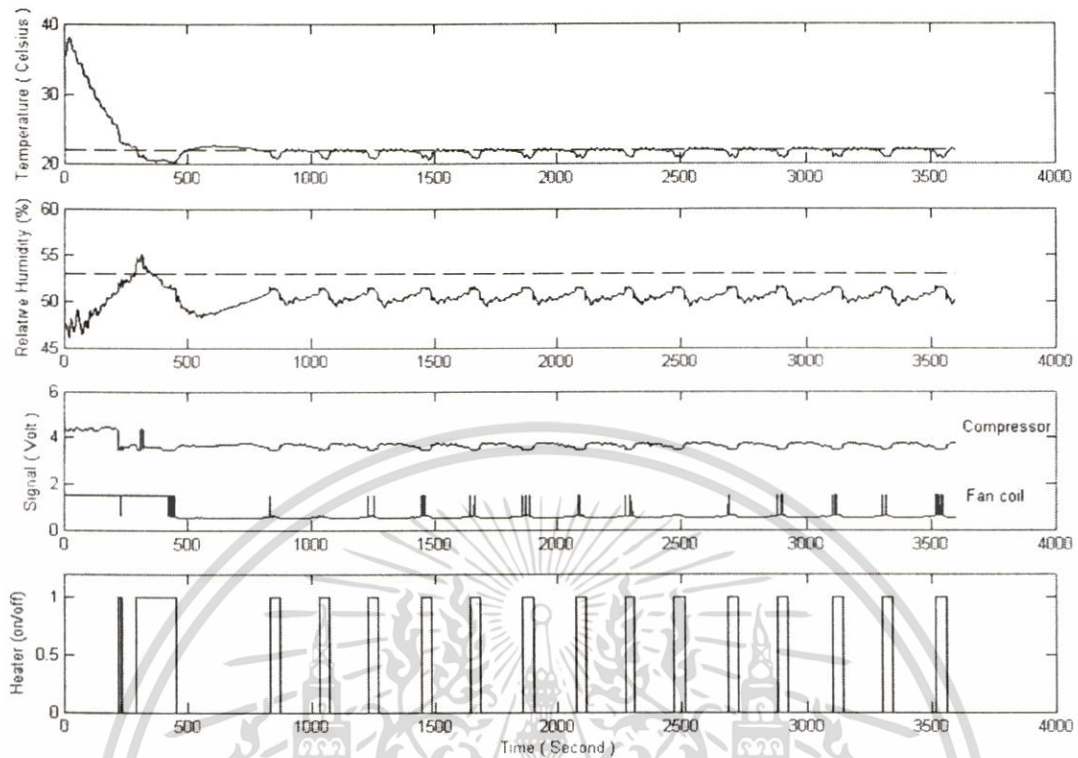


รูปที่ 5.13 ผลการจำลองที่อุณหภูมิ 25 °C และ ความชื้น 50 %

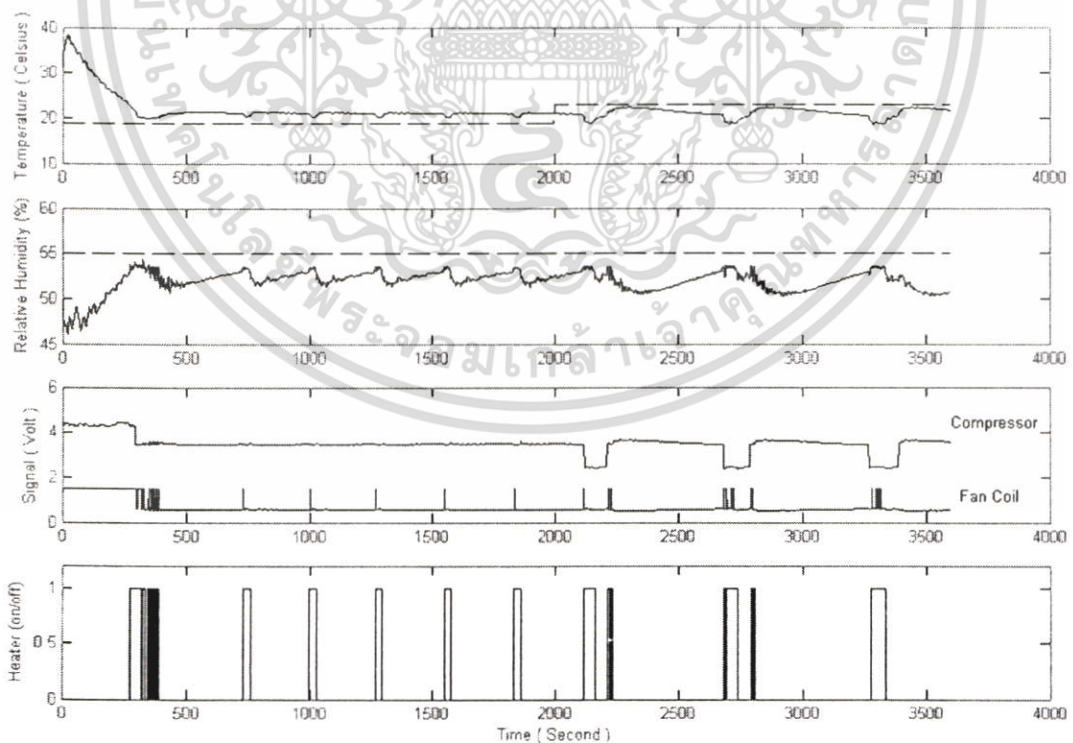


รูปที่ 5.14 ผลการจำลองที่อุณหภูมิ 23 °C และ ความชื้น 55 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.15 ผลการจำลองที่อุณหภูมิ 22 °C และความชื้น 53 %



รูปที่ 5.16 ผลการจำลองที่อุณหภูมิ 19 °C, 23 °C และความชื้น 55 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการจำลองการควบคุมระบบปรับอากาศค่าที่ได้นั้นจะเป็นลักษณะของค่าที่มีช่วงของการแกว่งขึ้นและลง เนื่องจากระบบปรับอากาศนั้นจำเป็นต้องมีอากาศดี (Fresh Air) ที่เพิ่มเข้ามาในระบบปรับอากาศ เป็นผลให้มีอุณหภูมิและความชื้นจากภายนอกระบบเข้ามาในระบบปรับอากาศอยู่ตลอดเวลาขณะทำการควบคุมระบบปรับอากาศ และค่าของสัญญาณในการควบคุมมีลักษณะที่ไม่ราบเรียบเนื่องจากการใช้ทฤษฎีค่าเฉลี่ยสูงสุดในการออกแบบ

จากรูปที่ 5.13 ผลการจำลองที่อุณหภูมิ 25 °C และ ความชื้น 50 % โดยมีผลตอบสนองของอุณหภูมิของระบบที่เข้าใกล้ค่าที่กำหนดอยู่ในช่วงประมาณ 400 วินาที มีค่าอุณหภูมิที่ได้ประมาณ 23 °C ผลต่างอุณหภูมิ ± 2 °C และผลตอบสนองของความชื้นของระบบที่เข้าใกล้ค่าที่อยู่ในช่วงที่กำหนดประมาณ 750 วินาที มีค่าความชื้นที่ได้ประมาณ 48 % ผลต่างความชื้น ± 1 %

จากรูปที่ 5.14 ผลการจำลองที่อุณหภูมิ 23 °C และ ความชื้น 55 % โดยมีผลตอบสนองของอุณหภูมิของระบบที่เข้าใกล้ค่าที่กำหนดอยู่ในช่วงประมาณ 500 วินาที มีค่าอุณหภูมิที่ได้ 21.5 °C ผลต่างอุณหภูมิ ± 1.5 °C และผลตอบสนองของความชื้นของระบบที่เข้าใกล้ค่าที่กำหนดอยู่ในช่วงประมาณ 500 วินาที มีค่าความชื้นที่ได้ประมาณ 52.25 % ผลต่างความชื้น ± 1.75 %

จากรูปที่ 5.15 ผลการจำลองที่อุณหภูมิ 22 °C และ ความชื้น 53 % โดยมีผลตอบสนองของอุณหภูมิของระบบที่เข้าใกล้ค่าที่กำหนดอยู่ในช่วงประมาณ 600 วินาที มีค่าอุณหภูมิที่ได้ 21.5 °C ผลต่างอุณหภูมิ ± 1 °C และผลตอบสนองของความชื้นของระบบที่เข้าใกล้ค่าที่กำหนดอยู่ในช่วงประมาณ 800 วินาที มีค่าความชื้นที่ได้ประมาณ 50 % ผลต่างความชื้น ± 1.5 %

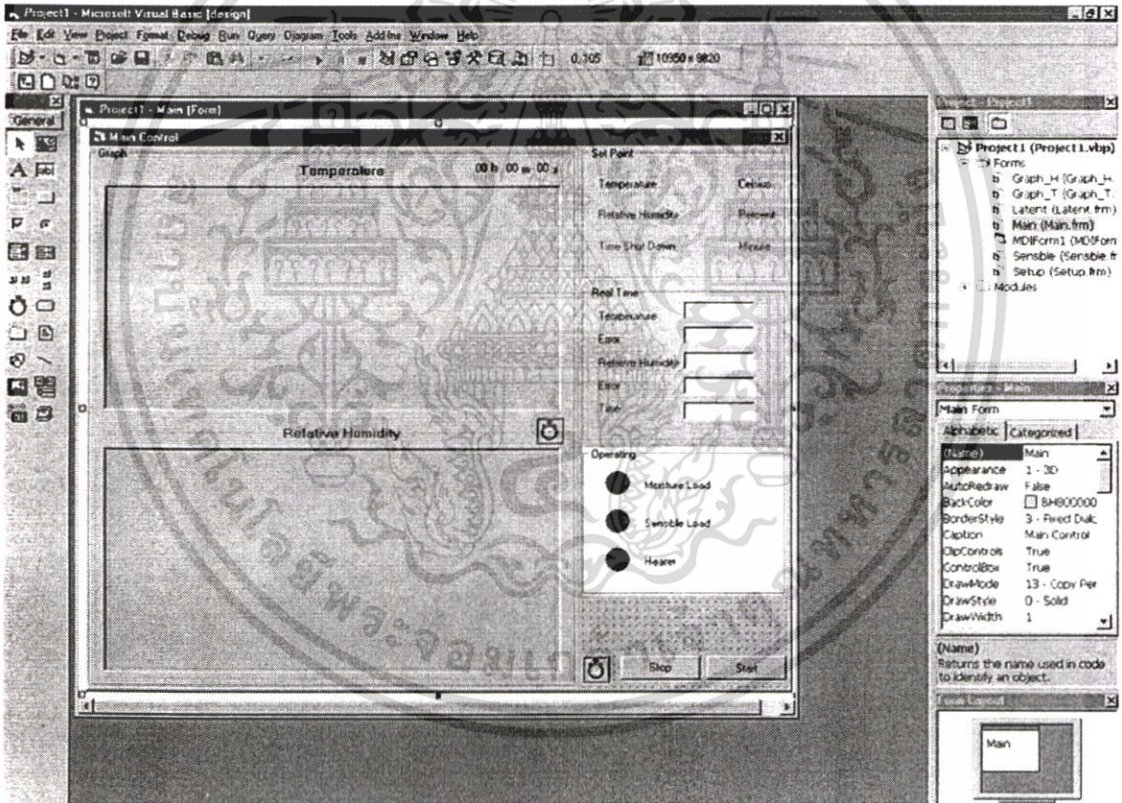
จากรูปที่ 5.16 ผลการจำลองที่อุณหภูมิ 19 °C และ 23 °C และ ความชื้น 55 % การจำลองที่เวลาดั้งแต่ 0 – 2000 วินาที มีผลตอบสนองของอุณหภูมิของระบบที่เข้าใกล้ค่าที่กำหนดอยู่ในช่วงประมาณ 400 วินาที มีค่าอุณหภูมิที่ได้ 20 °C ผลต่างอุณหภูมิ ± 1 °C และผลตอบสนองของความชื้นของระบบที่เข้าใกล้ค่าที่กำหนดอยู่ในช่วงประมาณ 400 วินาที มีค่าความชื้น ที่ได้ประมาณ 52.5 % ผลต่างความชื้น ± 1.2 % ที่วินาทีที่ 2000 มีค่าผลตอบสนองของอุณหภูมิของระบบที่เข้าใกล้ค่าที่กำหนดอยู่ในช่วงประมาณ 250 วินาทีที่มีค่าอุณหภูมิที่ได้ 22 °C ผลต่างอุณหภูมิประมาณ ± 1.25 °C และผลตอบสนองของความชื้นของระบบที่เข้าใกล้ค่าที่กำหนดอยู่ในช่วงประมาณ 200 วินาที มีค่าความชื้นที่ได้ประมาณ 52 % ผลต่างความชื้น ± 1.5 %

บทที่ 6

โปรแกรมการออกแบบควบคุมระบบปรับอากาศ

6.1 โปรแกรมการออกแบบควบคุมระบบปรับอากาศ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบระบบปรับอากาศโดยใช้โปรแกรม Visual Basic 6.0 ซึ่งข้อดีของโปรแกรมสามารถที่จะออกแบบกราฟหรือรูปภาพต่าง ๆ ได้สะดวกในการออกแบบ และยังสามารถติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกได้สะดวกเนื่องจากในโปรแกรมการมีอุปกรณ์ช่วยในการทำงานของฟังก์ชันที่สามารถเลือกได้จากอุปกรณ์ในโปรแกรม การทำงานในการเขียนโปรแกรมแบ่งออกเป็นสามส่วนสำคัญอยู่ 3 ส่วน ส่วนแรกเป็นลักษณะของกราฟ รูปภาพ ส่วนที่สองเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุม ส่วนที่สามเป็นการควบคุมอุปกรณ์อินพุตและเอาพุต

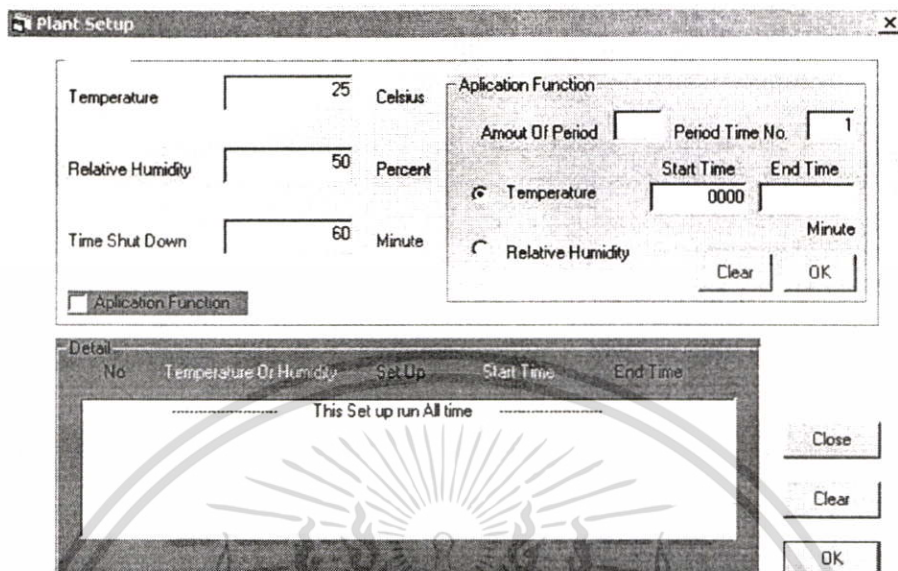


รูปที่ 6.1 โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุม

จากรูปที่ 6.1 เป็นโปรแกรมหลักที่ใช้ในการแสดงผลของการทำงานในการควบคุมระบบปรับอากาศโดยใช้พีซีลอจิกในการควบคุม การทำงานได้แบ่งหน้าต่างออกเป็น 5 เฟรม คือ เฟรมกราฟแสดงผลของอุณหภูมิ เฟรมกราฟแสดงผลของความชื้น เฟรมแสดงค่าที่กำหนด เฟรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงค่าสถานะในขณะที่ทำงาน เพรมแสดงค่าการควบคุมอุปกรณ์ นอกจากนี้ในขณะที่ทำงานได้แสดงเวลาในการทำงานของโปรแกรมไว้ด้วย



รูปที่ 6.2 หน้าต่างในส่วนการกำหนดค่า

การทำงานของระบบปรับอากาศได้ออกแบบหน้าต่างสำหรับการกำหนดค่าการทำงานไว้ดังรูปที่ 6.2 โดยแบ่งหน้าต่างการกำหนดค่าออกเป็น 3 เพรม คือ เพรมที่ใช้กำหนดการทำงานของระบบไว้ที่สภาวะการทำงานค่าเดียวตลอดเวลาในการปฏิบัติงาน เพรมที่ใช้ในการกำหนดค่าการทำงานที่สภาวะเงื่อนไขที่ต่างกันในการทำงานของระบบ โดยการกำหนดค่าของฟังก์ชันประยุกต์ เพรมแสดงค่าสถานะที่ได้กำหนดไว้

การออกแบบการควบคุมระบบปรับอากาศในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบภาวะของความร้อนสัมผัส และความร้อนแฝง ด้วย การออกแบบของความร้อนสัมผัสนั้นได้ออกแบบดังรูปที่ 6.3 ในการทำงานสามารถที่จะเลือกสภาวะการทำงานได้ตามที่ต้องการของการทำงานที่เวลาใด ๆ ที่มีเงื่อนไขไม่เกินการทำงานของระบบที่กำหนดไว้ และสามารถเลือกจำนวนครั้งในการทำงานได้การทำงานได้ออกแบบบล็อกแสดงผลการการกำหนดค่าไว้ด้วย

การออกแบบภาวะความร้อนแฝงดังรูปที่ 6.4 เช่นเดียวกับการออกแบบความร้อนสัมผัสสามารถที่จะกำหนดเงื่อนไขสภาวะต่าง ๆ ได้ตามที่ต้องการให้ทำงานที่เวลาใด ๆ และได้แสดงผลการกำหนดในบล็อกแสดงผลการทำงานเช่นเดียวกัน

การควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ภาวะความร้อนสัมผัส และความร้อนแฝงของระบบนั้นได้ออกแบบการทำงานผ่านทางพอร์ตขนาน รูปแบบและการกำหนดอธิบายในหัวข้อต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sensible Load Setup

Sensible Heat Load

Enable Sensible Heat

	No.	Start (min)	Delay (min)	End (min)
Amount	1	0010	0020	30

Set Up

Start: 10 Minute
Delay: 20 Minute

Clear Cancel OK

รูปที่ 6.3 หน้าต่างการกำหนดค่าความร้อนสัมผัส

Moisture Load Setup

Moisture Load

Enable Moisture Load

	No.	Start (min)	Delay (min)	End (min)
Amount	2	0030	0005	35
No.	2	0055	0010	65

Set Up

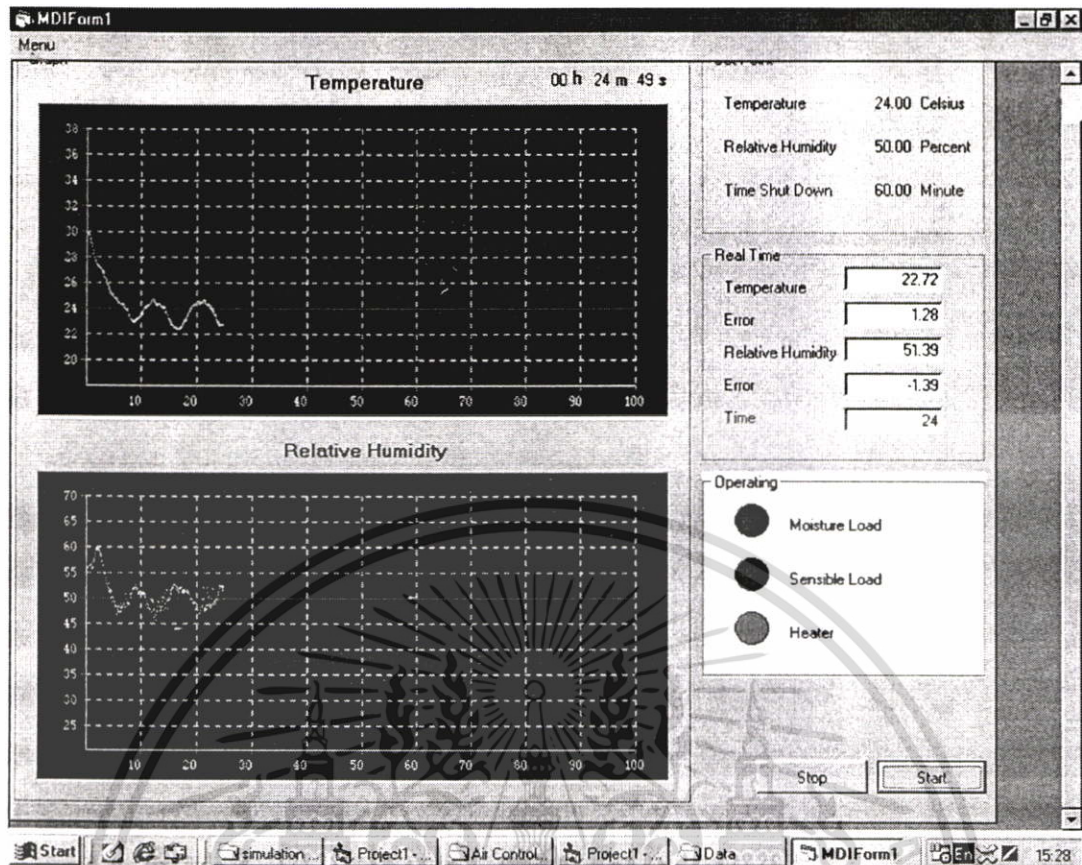
Start: 55 Minute
Delay: 10 Minute

Clear Cancel OK

รูปที่ 6.4 หน้าต่างการกำหนดค่าความร้อนแฝง

ในขณะการทำงานของโปรแกรมการใช้งานนั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6.5 ซึ่งในการออกแบบนั้นกราฟที่แสดงสถานะนั้นในแต่ละช่องใช้เวลาในการทำงานมีค่าเท่ากับ 10 นาที โดยกราฟที่แสดงค่าอุณหภูมิมีค่าอยู่ระหว่าง 21-38 องศาเซลเซียส และในกราฟที่แสดงความชื้นสัมพัทธ์มีค่าตั้งแต่ 24 -70 เปอร์เซ็นต์ การทำงานของสถานะในการใช้อุปกรณ์ได้กำหนดให้แสดงการใช้งานเป็นเปิดและปิด โดยได้กำหนดสีแดงเป็นการปิด และสีเขียวเป็นการเปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.5 แสดงการใช้งานขณะการทำงาน

6.2 การออกแบบโปรแกรมการควบคุมอุปกรณ์ภายนอก

6.2.1 การออกแบบโปรแกรมผ่านพอร์ตขนาน

การออกแบบโปรแกรมการทำงานในการติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก ด้วยการให้พอร์ตขนานนั้น โปรแกรม Visual Basic 6.0 นั้นไม่มีอุปกรณ์ที่สามารถใช้งานได้ทันที จะต้องเขียนโปรแกรมให้การทำงานระหว่างอุปกรณ์ภายนอกสามารถสื่อสารกันก่อน การออกแบบการติดต่อผ่านพอร์ตขนาน การทำงานของพอร์ตขนานนั้นมีแอดเดรสในการทำงานของพอร์ตขนานที่ &H378 นอกจากนี้ไฟล์ นามสกุล DLL จะต้องนำมาประยุกต์เพื่อทำหน้าที่ในการใช้งานของระบบผ่านทางวินโดวส์ของโปรแกรมซอร์สโค้ด ของโปรแกรมที่ทำหน้าที่ในการทำงานผ่านพอร์ตขนานสามารถแสดงได้ดังนี้

```
'##### Pallarel Port #####
```

```
Public Declare Sub vbOut Lib "WIN95IO.DLL" (ByVal nPort As Integer, ByVal nData As Integer)
```

```
Public Declare Sub vbOutw Lib "WIN95IO.DLL" (ByVal nPort As Integer, ByVal nData As Integer)
```

```
Public Declare Function vbInp Lib "WIN95IO.DLL" (ByVal nPort As Integer) As Integer
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Public Declare Function vblnPW Lib "WIN95IO.DLL" (ByVal nPort As Integer) As Integer

Public Portdata

Public Const AddressLPT1 = &H378

Public Const Statusport1 = AddressLPT1 + 1

Public Const Controlport1 = AddressLPT1 + 2

การออกแบบการทำงานของผ่านพอร์ตขนานนั้นมีขาสัญญาณที่ได้นำไปใช้จำนวน 5 ช่อง สัญญาณโดยการส่งค่าเป็นไบต์ การทำงานของอุปกรณ์ในระบบที่ผ่านพอร์ตขนานสามารถแสดงได้ดังนี้

ค่าไบต์ เท่ากับ 1 เป็นการเปิดการทำงานของพัดลมที่ใช้สร้างภาวะความร้อนแฝง

ค่าไบต์ เท่ากับ 2 เป็นการเปิดการทำงานของเครื่องจ่ายความชื้น

ค่าไบต์ เท่ากับ 4 เป็นการเปิดการทำงานของภาชนะทำความร้อนสัมผัส

ค่าไบต์ เท่ากับ 8 เป็นการเปิดเครื่องจ่ายความร้อนเพื่อควบคุม

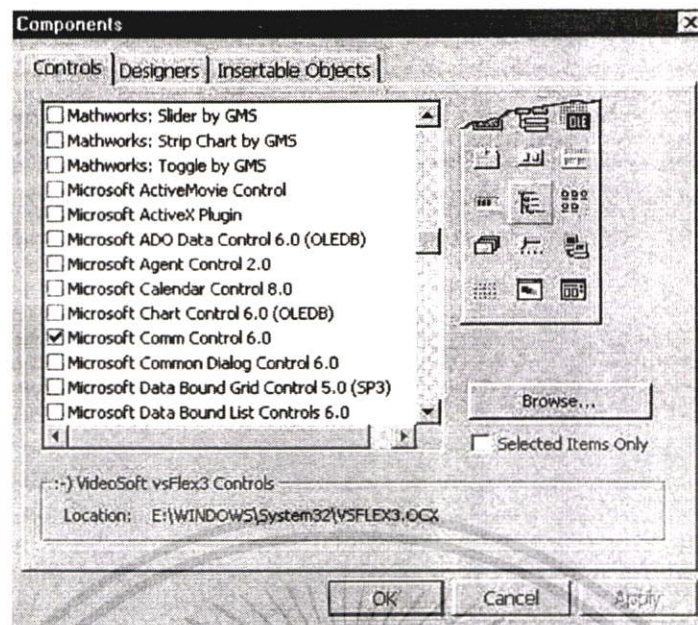
ค่าไบต์ เท่ากับ 16 เป็นการปิดระบบการทำงานทั้งหมดในพอร์ตขนานที่ส่งผ่านออกไป

การออกแบบของโปรแกรมไม่ได้ออกแบบในระดับบิต ดังนั้นในการควบคุมการเปิดปิด สัญญาณต้องคำนึงถึงความสัมพันธ์สถานะของอุปกรณ์ว่าเป็นอย่างไรด้วย ดังนั้นก่อนที่จะมีการ เปิดปิดอุปกรณ์จะต้องตรวจสอบสถานะก่อนเช่น เมื่อเราต้องการเปิดการใช้งานภาวะความร้อน แฝงซึ่งมีค่าเท่ากับ 3 แต่ในขณะนั้นมีการเปิดความร้อนสัมผัสอยู่ก่อนแล้ว ดังนั้นในการส่งค่าการ ทำงานจะต้องเป็นค่าไบต์เท่ากับ 7 (4 + 3) จึงทำให้การทำงานไม่เกิดการผิดพลาด เป็นต้น

6.2.2 การออกแบบโปรแกรมผ่านพอร์ตอนุกรม

การออกแบบโปรแกรมที่ใช้งานผ่านทางพอร์ตอนุกรม ในงานวิจัยนี้มี 2 พอร์ต อนุกรม การออกแบบระบบปรับอากาศด้วยโปรแกรม Visual Basic 6.0 นั้นสามารถที่จะใช้งานได้ทันทีเพราะอุปกรณ์ในการติดต่อการทำงานของโปรแกรมนั้นรองรับการทำงาน โดยการคลิกเข้าไป ที่อุปกรณ์เพิ่มแล้วเลือก เครื่องหมายถูกต้องตามรูปที่ 6.6 ก็จะมีอุปกรณ์เพิ่มขึ้นมา หลังจากนั้นก็ เลือกใช้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.6 การใช้อุปกรณ์ใน Visual Basic 6.0 เพื่อการติดต่อกับพอร์ตอนุกรม

การทำงานของซอร์สโค้ด ในการใช้งานนั้นเพียงแค่เลือกใช้โดยการทำให้ค่าของอุปกรณ์มีค่าเป็นจริงก็สามารถใช้งานได้แล้ว ดังตัวอย่างซอร์สโค้ด การทำงานของพอร์ตอนุกรมที่ 1

```
MDIForm1.MSComm1.CommPort = 1
MDIForm1.MSComm1.InputLen = 1
MDIForm1.MSComm1.PortOpen = True
```

การติดต่อในการอ่านค่าหรือเขียนค่าไปยังสถานะและควบคุมของพอร์ตอนุกรม ขาสถานะที่ใช้ออกแบบได้อธิบายในบทที่ 3 สามารถทำได้ดังคำสั่งต่อไปนี้

```
DTREnable สำหรับสั่งให้ขา DTR มีลอจิก 0 หรือ 1
RTSEnable สำหรับสั่งให้ขา RTS มีลอจิก 0 หรือ 1
CTSHolding สำหรับอ่านค่าสถานะจากขา CTS ว่ามีลอจิก 0 หรือ 1
CDHolding สำหรับอ่านค่าสถานะจากขา DCD ว่ามีลอจิก 0 หรือ 1
DSR Holding สำหรับอ่านค่าสถานะจากขา DSR ว่ามีลอจิก 0 หรือ 1
Break สำหรับการสั่งให้ขา TxD มีลอจิก 0 หรือ 1
```

งานวิจัยนี้ในส่วนการทำงานของติดต่อระหว่างพอร์ตอนุกรม 1 ที่ใช้ในการติดต่อเซนเซอร์อุณหภูมิและความชื้นมี 3 สัญญาณ ก็คือ สัญญาณจากขา DTREnable RTSEnable CDHolding

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยสัญญาณ RTSEnable ทำหน้าที่เป็นสัญญาณขาข้อมูลในการส่ง CDHolding ทำหน้าที่เป็นสัญญาณขาข้อมูลในการรับ DTREnable ทำหน้าที่เป็นสัญญาณนาฬิกาในการรับส่งการทำงานรับส่งข้อมูล

การทำงานของพอร์ตอนุกรมที่ 1 นั้นซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของเซนเซอร์ ใ้ดการทำงานของได้แสดงอยู่ในส่วนภาคผนวก ซอร์สโค้ดของโปรแกรมการทำงาน และการทำงานของพอร์ตอนุกรมที่ 2 ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ นั้นก็ได้แสดงอยู่ในภาคผนวกซอร์สโค้ดของโปรแกรมการทำงานเช่นเดียวกัน การทำงานของพอร์ตอนุกรมที่ 2 ที่ใช้งานได้ใช้คำสั่งในการส่งข้อมูลไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อทำหน้าที่จัดเรียงการส่งข้อมูลในการทำงานกับไอซีดิจิตอลเป็นอนาล็อก (ไอซี LTC1661) การส่งข้อมูลการทำงานใช้คำสั่งเอาพุทส่งข้อมูลให้กับบัพเพอร์ส่งข้อมูล การส่งข้อมูลสามารถใช้ในการส่งข้อมูลตัวอักษรหรือข้อมูลไบนารีก็ได้ ดังตัวอย่างการส่งข้อมูลดังนี้

ตัวอย่างโปรแกรมการส่งค่าที่ป้อนจากคีย์บอร์ดไปยังพอร์ตอนุกรมโดยใช้คุณสมบัติเอาพุท Private Sub Form_KeyPress (KeyAscii As Integer)

```
Dim Buffer As Variant
MSComm1.CommPort = 1 ' Use Com1
MSComm1.PortOpen = True ' Open Port
Buffer = Chr$(KeyAscii)
MSComm1.Output = Buffer ' Send DATA
```

End Sub

6.2.3 การออกแบบโปรแกรมควบคุมสั่งการอินเวอเตอร์ให้ทำงานผ่านทางไมโครคอนโทรลเลอร์

การออกแบบโปรแกรมที่ใช้ในการติดต่อผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น ได้แบ่งเป็น 2 ส่วนก็คือส่วนของโปรแกรมผ่านทางพอร์ตอนุกรมที่ 2 และส่วนของโปรแกรมในไอซี AT89C51 ซึ่งเป็นไอซีตระกูล 51 การออกแบบของโปรแกรมการใช้งานของไอซี AT89C51 นั้นได้ออกแบบด้วยภาษาแอสเซมบลี ซึ่งมีซอร์สโค้ดการทำงานดังนี้

```
ORG 0000H
MOV P1,#0FFH
MOV TMOD,#20H ; Timer 1 mode 2
MOV TH1,#-3 ; Buadrate 9600
MOV SCON,#50H ; 8 bit , stop , enable REN
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

SETB TR1 ; Enable Timer 1
;*****
;*          RECIVE SERIAL          *
;*****
REC: JNB  SCON.0,REC
     MOV  A,SBUF
     MOV  R1,A ; Byte 1
     CLR  SCON.0

```

```

REC1: JNB  SCON.0,REC1
      MOV  A,SBUF
      MOV  R2,A ; Byte 2
      CLR  SCON.0

```

```

;*****
;*          DATA  TRANSFER        *
;*****
SETB P1.0 ; SCK
CLR P1.0
SETB P1.2 ; CS/LD
CLR P1.2
MOV R3,#8
MOV A,R1
LOOP: RLC  A
      SETB P1.0
      MOV  P1.1,C
      CLR  P1.0
      DJNZ R3,LOOP
      MOV  R3,#8
      MOV  A,R2

```

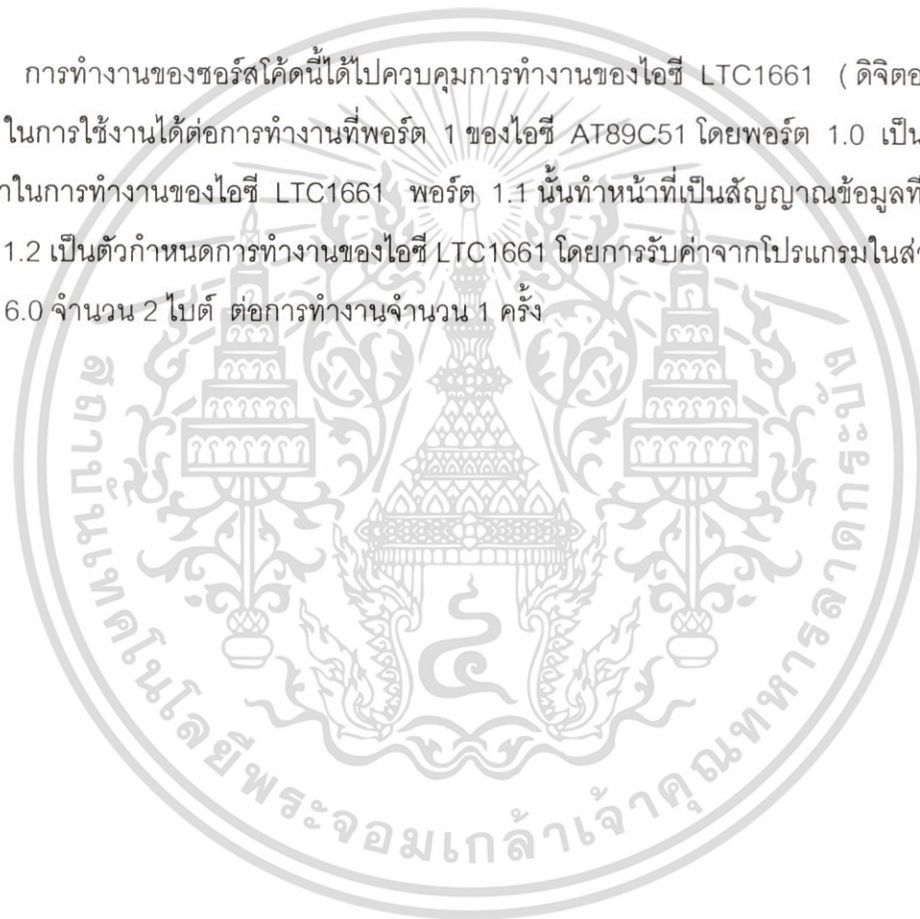
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

LOOP1: RLC    A
        SETB  P1.0
        MOV   P1.1,C
        CLR   P1.0
        DJNZ  R3,LOOP1
        SETB  P1.2
        LJMP  REC
        END

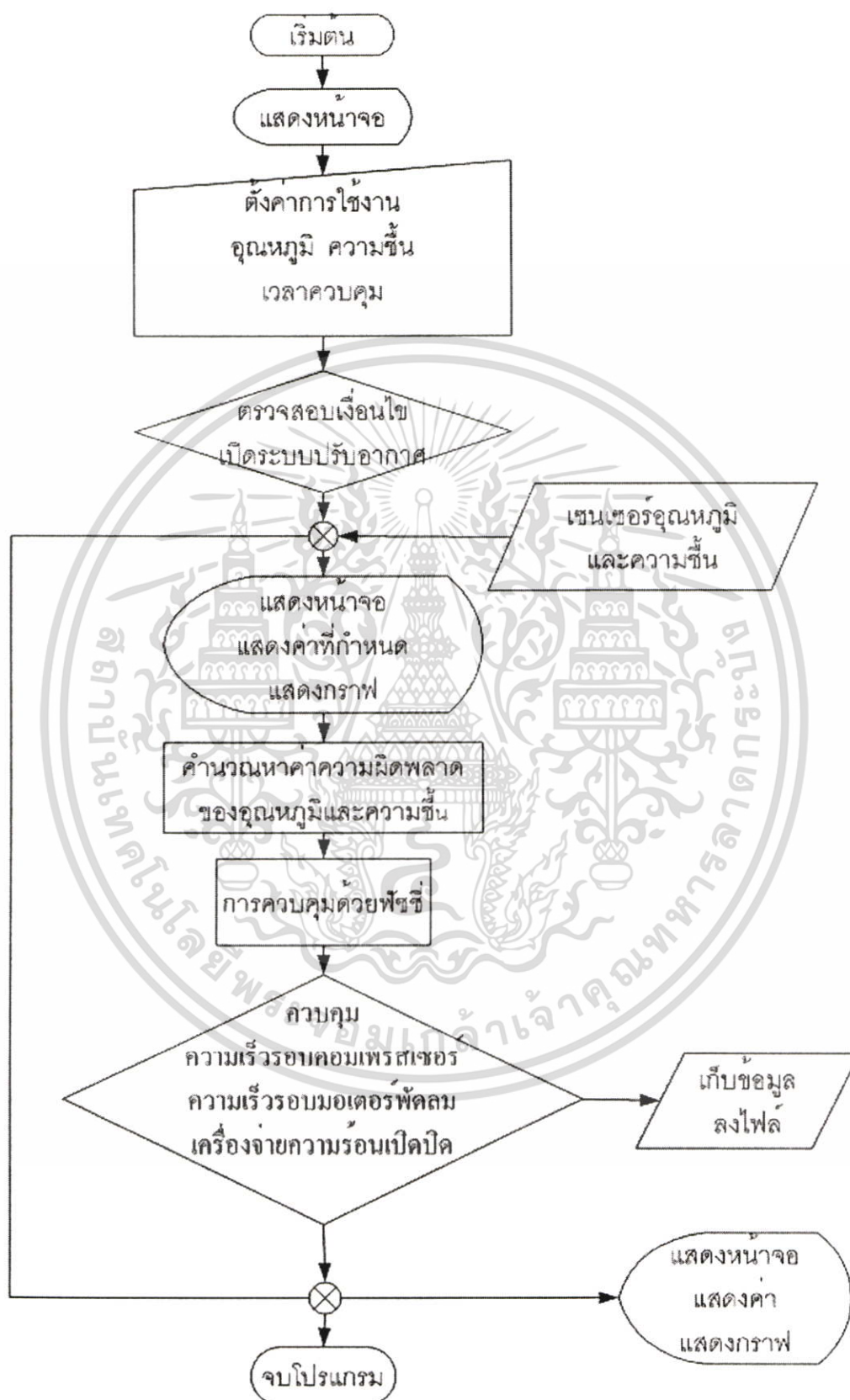
```

การทำงานของซอร์สโค้ดนี้ได้ไปควบคุมการทำงานของไอซี LTC1661 (ดิจิตอลเป็นอนาล็อก) ในการใช้งานได้ต่อการทำงานที่พอร์ต 1 ของไอซี AT89C51 โดยพอร์ต 1.0 เป็นสัญญาณนาฬิกาในการทำงานของไอซี LTC1661 พอร์ต 1.1 นั้นทำหน้าที่เป็นสัญญาณข้อมูลที่ส่งออกไป พอร์ต 1.2 เป็นตัวกำหนดการทำงานของไอซี LTC1661 โดยการรับค่าจากโปรแกรมในส่วน Visual Basic 6.0 จำนวน 2 ไบต์ ต่อการทำงานจำนวน 1 ครั้ง



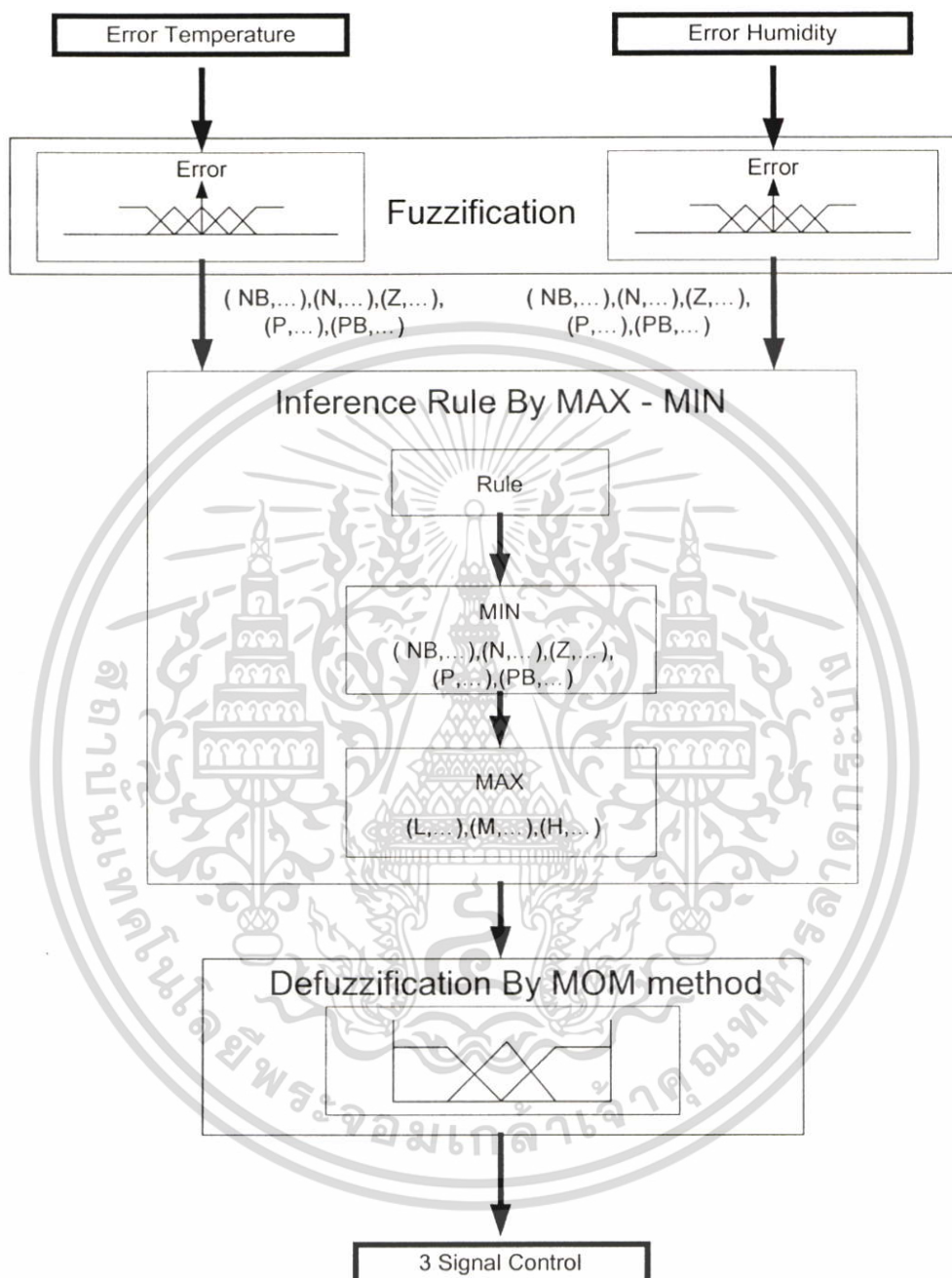
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3 โครงสร้างการเขียนโปรแกรมการควบคุมระบบปรับอากาศ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4 โครงสร้างการเขียนโปรแกรมการควบคุมด้วยฟัซซี่ลอจิก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

ผลการทดลอง

7.1 เงื่อนไขในการทดลองและขั้นตอนการทดลอง

การทดลองได้ออกแบบการทดลองการควบคุมระบบปรับอากาศของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วงความสะดวกสบายของมนุษย์ โดยอ้างอิงจากการทดลองวิจัยจาก The American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineer (ASHRAE) [14] ซึ่งได้ทำการทดลองเป็นเวลาหลายปี ในการศึกษาจำนวนคนหลายร้อยคนในหลายพื้นที่ว่ามีปัจจัยที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับของอุณหภูมิและความชื้นที่มนุษย์นั้นรู้สึกสบาย

การทดลองออกแบบการควบคุมระบบปรับอากาศนี้ ได้ทดลองควบคุมอุณหภูมิอยู่ในช่วงระหว่าง $20^{\circ}\text{C} - 27^{\circ}\text{C}$ และความชื้น 48% - 55% ซึ่งแบ่งเป็นการทดลองดังนี้

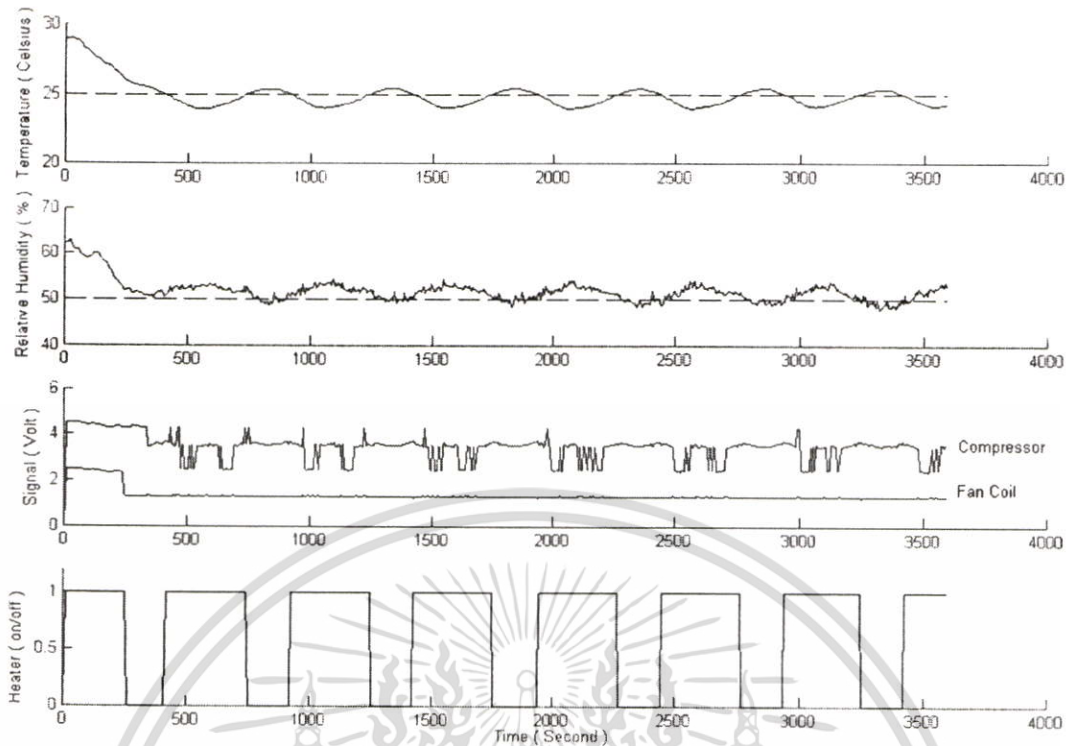
1. ที่สภาวะไม่มีภาระ ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่สภาวะต่าง ๆ
2. ที่สภาวะมีภาระความร้อนสัมพัทธ์คงที่ ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่สภาวะต่าง ๆ
3. ที่สภาวะมีภาระความร้อนแฝงคงที่ ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่สภาวะต่าง ๆ
4. ที่สภาวะมีภาระความร้อนสัมพัทธ์เปลี่ยนแปลง ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่สภาวะต่าง ๆ
5. ที่สภาวะไม่มีภาระ ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าในระหว่างการควบคุม

ผลที่ได้จากการทดลอง ได้นำมาแสดงค่าอยู่ในรูปกราฟที่แสดงอยู่ในรูปของค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ สัญญาณพัลลัมจ่าย สัญญาณคอมเพรสเซอร์ สัญญาณเปิดปิดเครื่องจ่าย ความร้อน และภาระต่าง ๆ ถ้ามีการกำหนดในขณะการทดลองเงื่อนไขนั้น ๆ

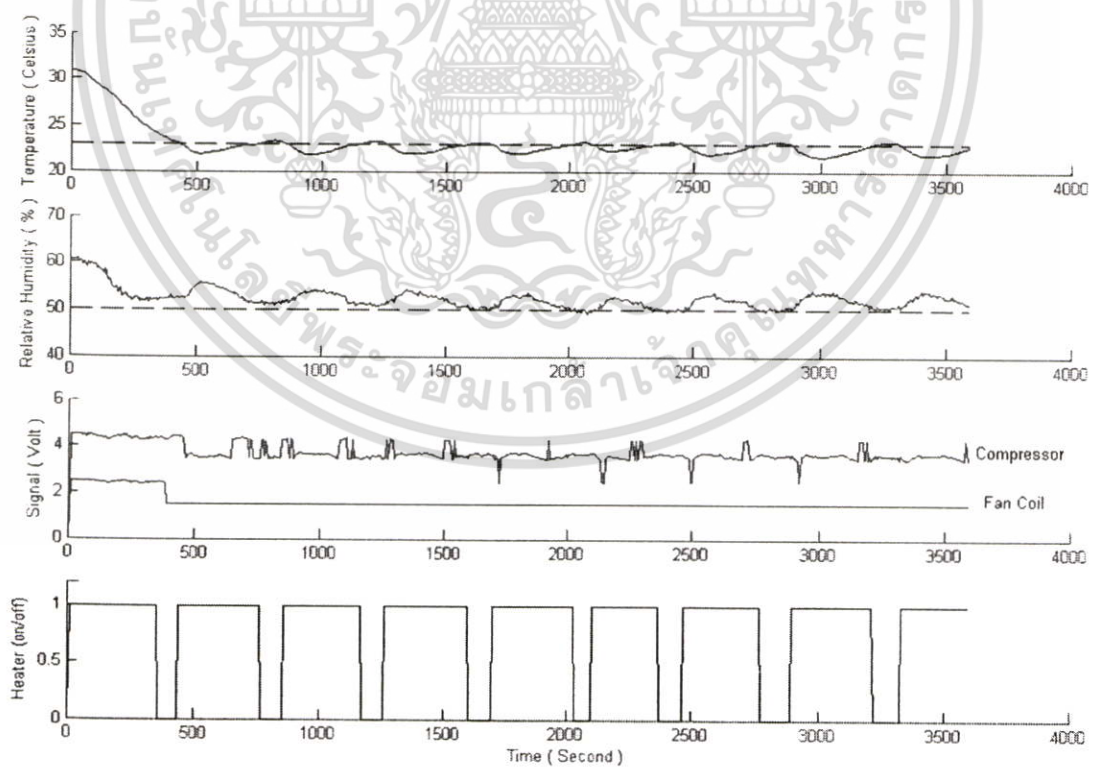
7.2 ผลการทดลอง

7.2.1 ผลการทดลองในกรณีควบคุมอุณหภูมิและความชื้นกรณีไม่มีภาระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

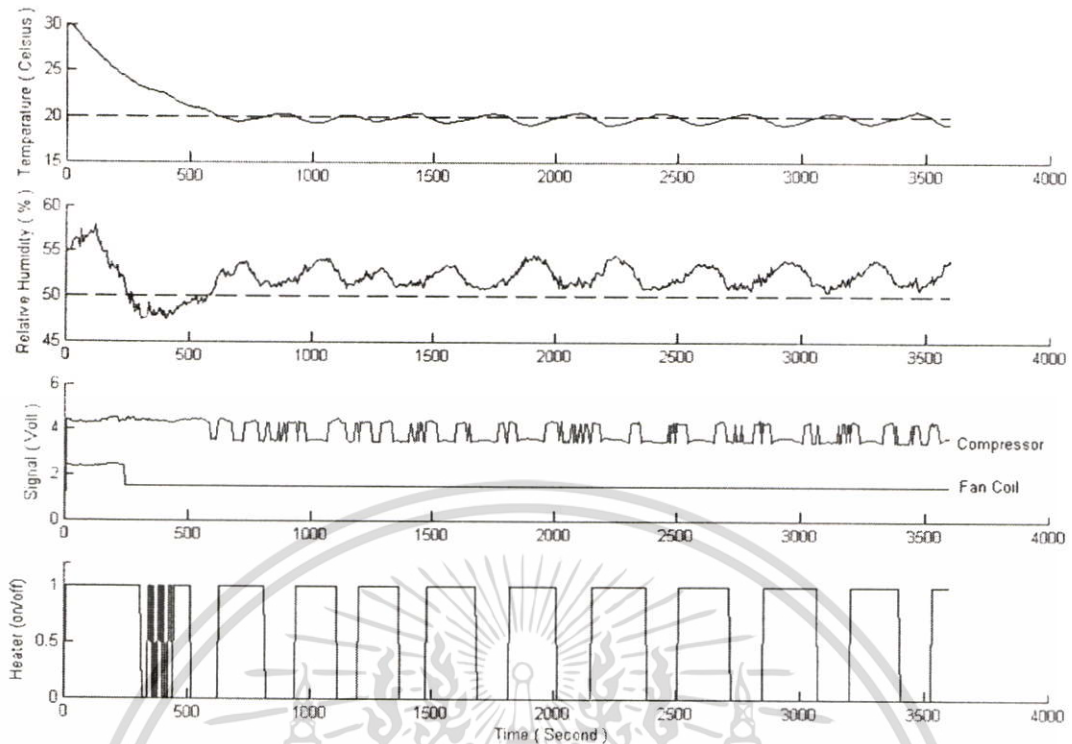


รูปที่ 7.1 การควบคุมอุณหภูมิที่ 25 °C และความชื้น 50 % กรณีไม่มีภาระ

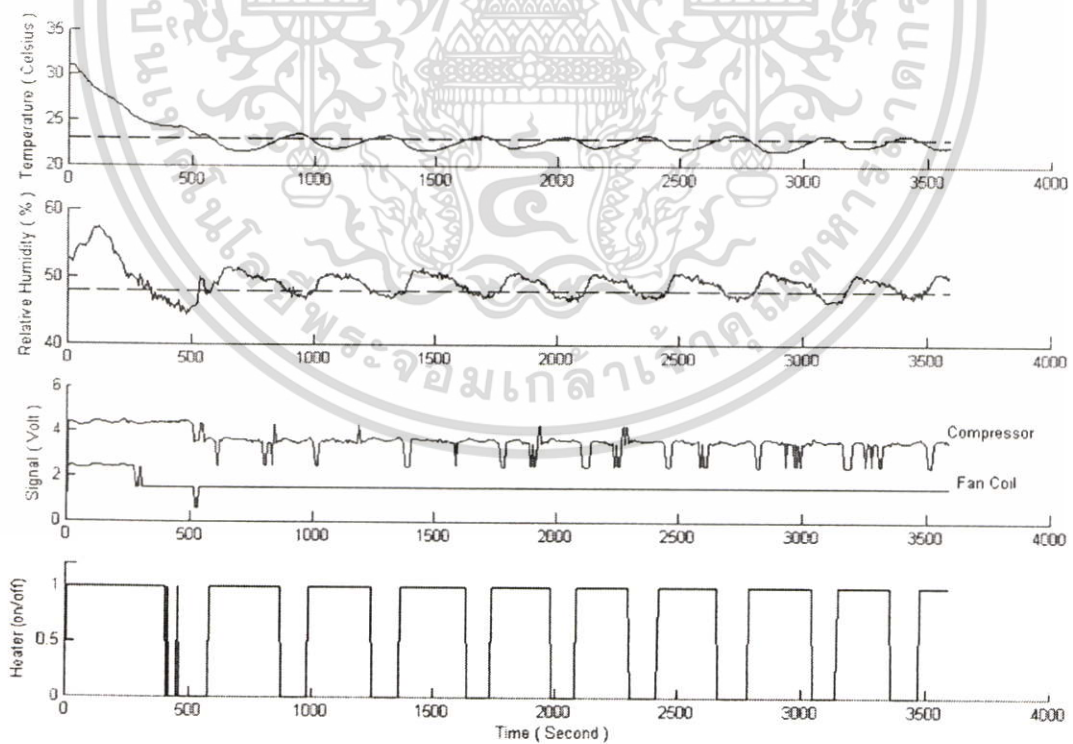


รูปที่ 7.2 การควบคุมอุณหภูมิที่ 23 °C และความชื้น 50 % กรณีไม่มีภาระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

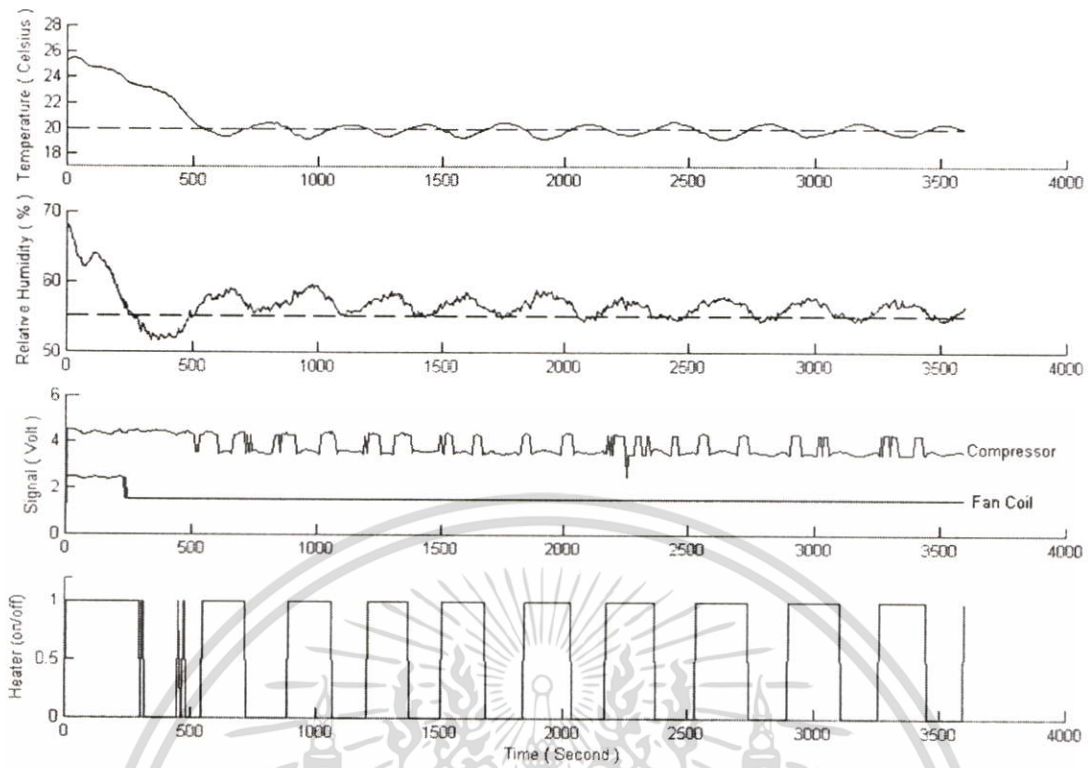


รูปที่ 7.3 การควบคุมอุณหภูมิที่ 20°C และความชื้น 50% กรณีไม่มีภาระ

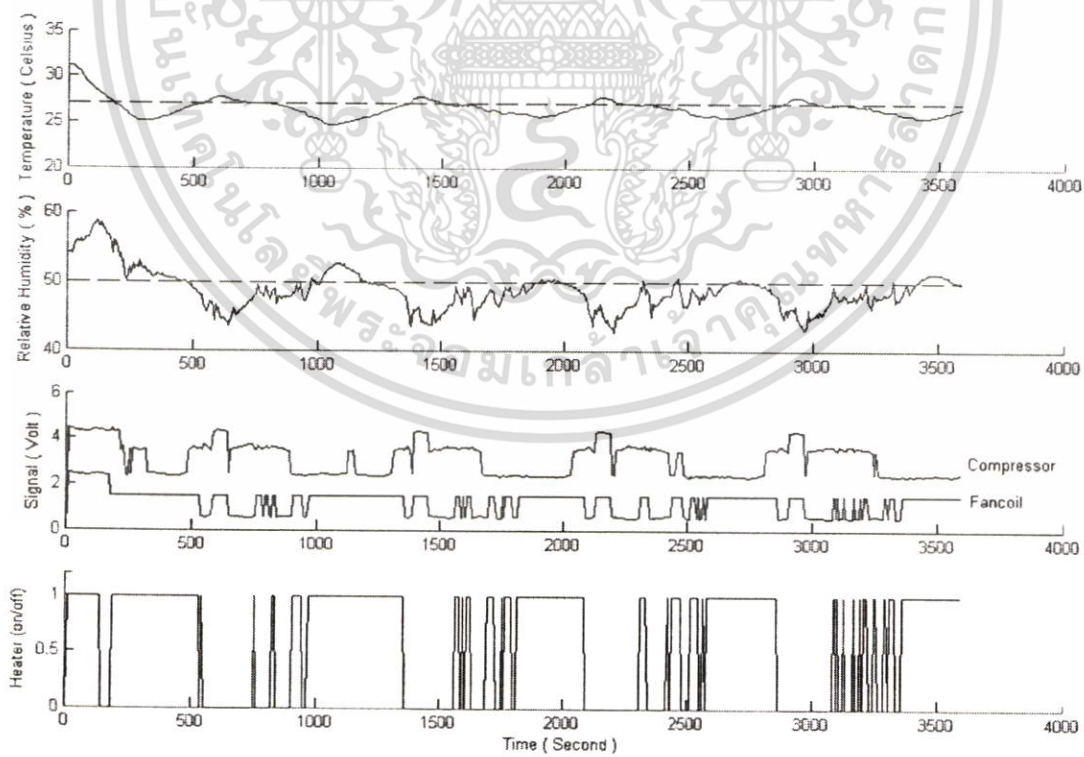


รูปที่ 7.4 การควบคุมอุณหภูมิที่ 23°C และความชื้น 48% กรณีไม่มีภาระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

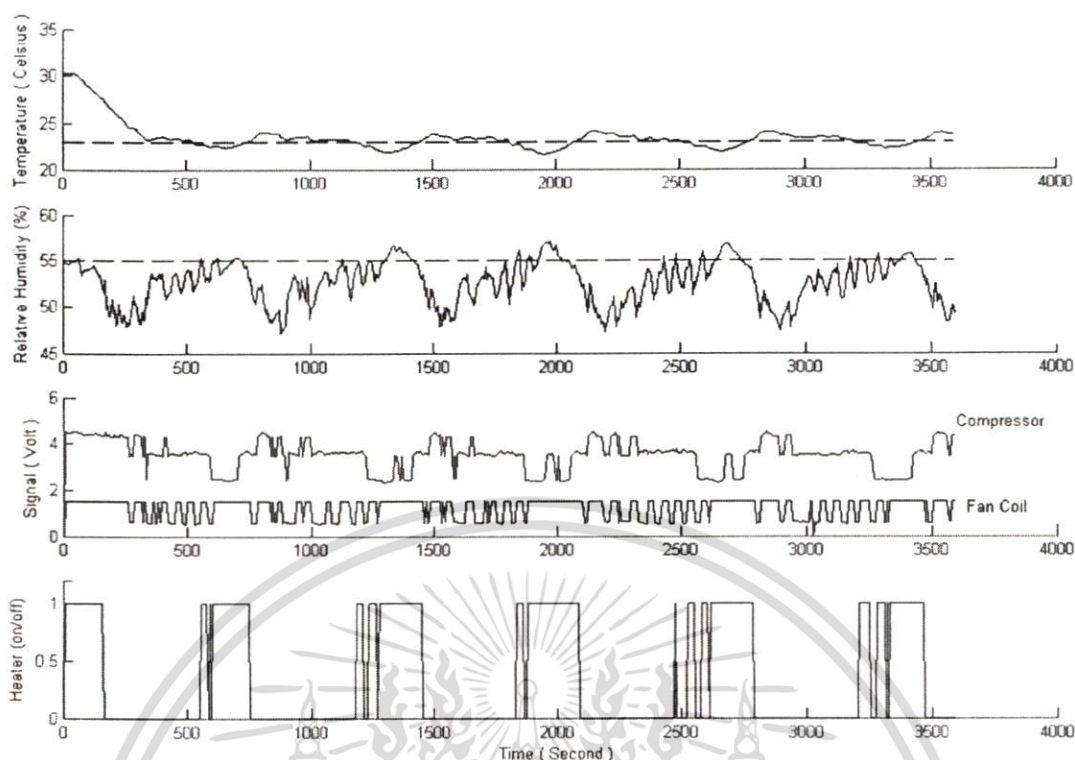


รูปที่ 7.5 การควบคุมอุณหภูมิที่ 20 °C และความชื้น 55 % กรณีไม่มีภาระ



รูปที่ 7.6 การควบคุมอุณหภูมิที่ 27 °C และความชื้น 50 % กรณีไม่มีภาระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.7 การควบคุมอุณหภูมิที่ 23°C และความชื้น 55 % กรณีไม่มีภาระ

จากรูปที่ 7.1 ผลการควบคุมที่อุณหภูมิ 25°C และความชื้น 50 % โดยมีผลตอบสนองอุณหภูมิของระบบที่เข้าใกล้ค่าที่กำหนดอยู่ในช่วงประมาณ 450 วินาที มีค่าอุณหภูมิที่ได้ประมาณ 25°C ผลต่างอุณหภูมิ $\pm 1^{\circ}\text{C}$ และผลตอบสนองความชื้นของระบบที่เข้าใกล้ค่าที่กำหนดอยู่ในช่วงประมาณ 450 วินาที มีค่าความชื้นที่ได้ประมาณ 51 % ผลต่างความชื้น $\pm 1.5\%$

จากรูปที่ 7.2 ผลการควบคุมที่อุณหภูมิ 23°C และความชื้น 50 % โดยมีผลตอบสนองอุณหภูมิของระบบที่เข้าใกล้ค่าที่กำหนดอยู่ในช่วงประมาณ 500 วินาที มีค่าอุณหภูมิที่ได้ประมาณ 22.5°C ผลต่างอุณหภูมิ $\pm 1^{\circ}\text{C}$ และผลตอบสนองความชื้นของระบบที่เข้าใกล้ค่าที่กำหนดอยู่ในช่วงประมาณ 400 วินาที มีค่าความชื้นที่ได้ประมาณ 51 % ผลต่างความชื้น $\pm 1.5\%$

จากรูปที่ 7.3 ผลการควบคุมที่อุณหภูมิ 20°C และความชื้น 50 % โดยมีผลตอบสนองอุณหภูมิของระบบที่เข้าใกล้ค่าที่กำหนดอยู่ในช่วงประมาณ 700 วินาที มีค่าอุณหภูมิที่ได้ประมาณ 20°C ผลต่างอุณหภูมิ $\pm 1^{\circ}\text{C}$ และผลตอบสนองความชื้นของระบบที่เข้าใกล้ค่าที่อยู่ในช่วงที่กำหนดประมาณ 700 วินาที มีค่าความชื้นที่ได้ประมาณ 52.5 % ผลต่างความชื้น $\pm 1.5\%$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 7.4 ผลการควบคุมที่อุณหภูมิ 23°C และ ความชื้น 48 % โดยมีผลตอบสนองของอุณหภูมิของระบบที่เข้าใกล้ค่าที่กำหนดอยู่ในช่วงประมาณ 500 วินาที มีค่าอุณหภูมิที่ได้ประมาณ 22.5°C ผลต่างอุณหภูมิ $\pm 1^{\circ}\text{C}$ และผลตอบสนองของความชื้นของระบบที่เข้าใกล้ค่าที่อยู่ในช่วงที่กำหนดประมาณ 500 วินาที มีค่าความชื้นที่ได้ประมาณ 49.5 % ผลต่างความชื้น $\pm 1.5\%$

จากรูปที่ 7.5 ผลการควบคุมที่อุณหภูมิ 20°C และ ความชื้น 55 % โดยมีผลตอบสนองของอุณหภูมิของระบบที่เข้าใกล้ค่าที่กำหนดอยู่ในช่วงประมาณ 500 วินาที มีค่าอุณหภูมิที่ได้ประมาณ 20°C ผลต่างอุณหภูมิ $\pm 1^{\circ}\text{C}$ และผลตอบสนองของความชื้นของระบบที่เข้าใกล้ค่าที่อยู่ในช่วงที่กำหนดประมาณ 500 วินาที มีค่าความชื้นที่ได้ประมาณ 57.5 % ผลต่างความชื้น $\pm 2\%$

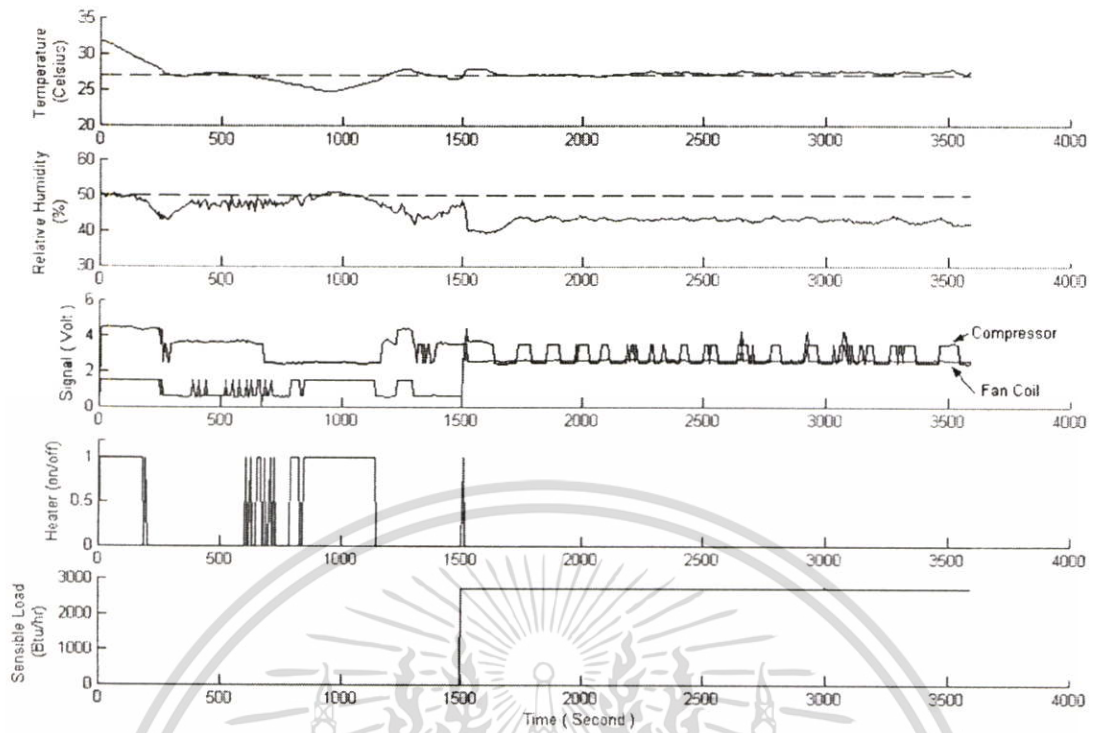
จากรูปที่ 7.6 ผลการควบคุมที่อุณหภูมิ 27°C และ ความชื้น 50 % โดยมีผลตอบสนองของอุณหภูมิของระบบที่เข้าใกล้ค่าที่กำหนดอยู่ในช่วงประมาณ 200 วินาที มีค่าอุณหภูมิที่ได้ประมาณ 26°C ผลต่างอุณหภูมิ $\pm 2^{\circ}\text{C}$ และผลตอบสนองของความชื้นของระบบที่เข้าใกล้ค่าที่อยู่ในช่วงที่กำหนดประมาณ 500 วินาที มีค่าความชื้นที่ได้ประมาณ 48 % ผลต่างความชื้น $\pm 4\%$

จากรูปที่ 7.7 ผลการควบคุมที่อุณหภูมิ 23°C และ ความชื้น 55 % โดยมีผลตอบสนองของอุณหภูมิของระบบที่เข้าใกล้ค่าที่กำหนดอยู่ในช่วงประมาณ 400 วินาที มีค่าอุณหภูมิที่ได้ประมาณ 23°C ผลต่างอุณหภูมิ $\pm 1^{\circ}\text{C}$ และผลตอบสนองของความชื้นของระบบที่เข้าใกล้ค่าที่อยู่ในช่วงที่กำหนดประมาณ 400 วินาที มีค่าความชื้นที่ได้ประมาณ 51 % ผลต่างความชื้น $\pm 5\%$

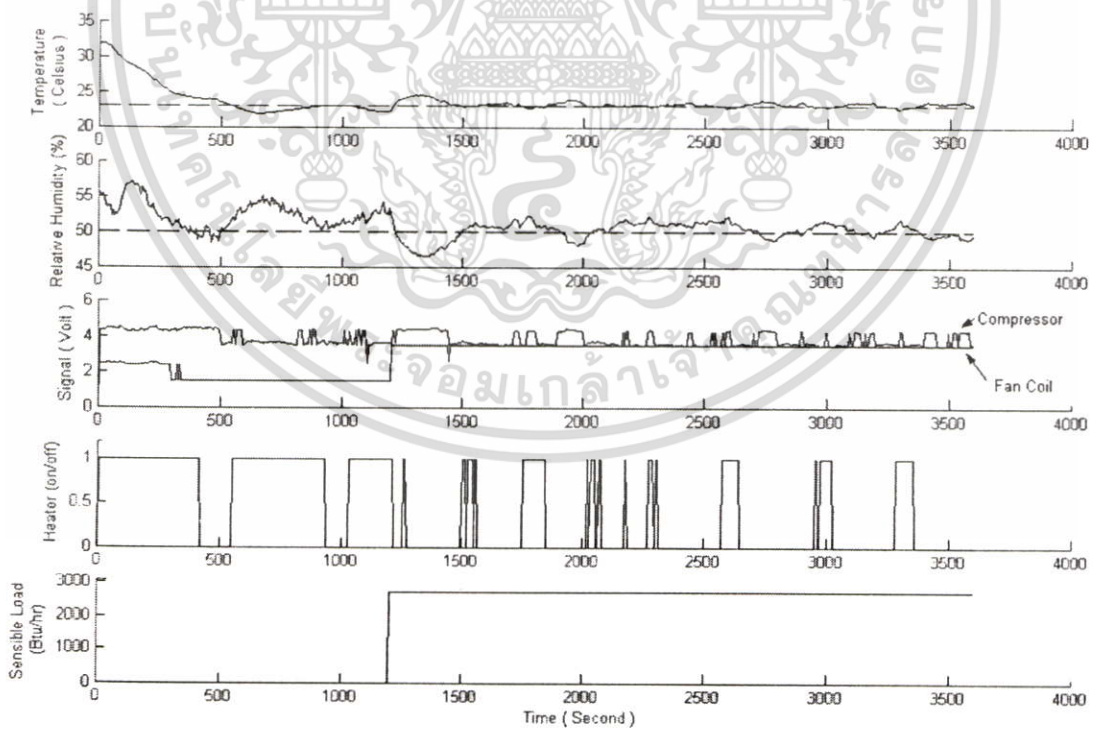
จากรูปที่ได้จากการควบคุมอุณหภูมิ และ ความชื้นของระบบปรับอากาศอุณหภูมิ และ ความชื้นที่ได้มีลักษณะการแกว่งของสัญญาณเนื่องจากเกิดจากคำรบกวน (Disturbance) จากอากาศดี (Fresh Air) ที่เข้าไปยังระบบตลอดเวลาการควบคุม อากาศดีที่เข้าไปในระบบนั้นมีค่าประมาณ 25 % ของปริมาณลมจ่ายสูงสุด และ สัญญาณควบคุมระบบที่มีลักษณะกระโดดของสัญญาณเนื่องจากการใช้ทฤษฎีค่าเฉลี่ยสูงสุดก็มีผลต่อการควบคุมด้วย นั่นคือสาเหตุที่ทำให้ระบบมีลักษณะของการแกว่งของค่าอุณหภูมิและความชื้นในการควบคุม

7.2.2 ผลการทดลองในกรณีควบคุมอุณหภูมิและความชื้นกรณีมีภาวะความร้อนสัมผัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

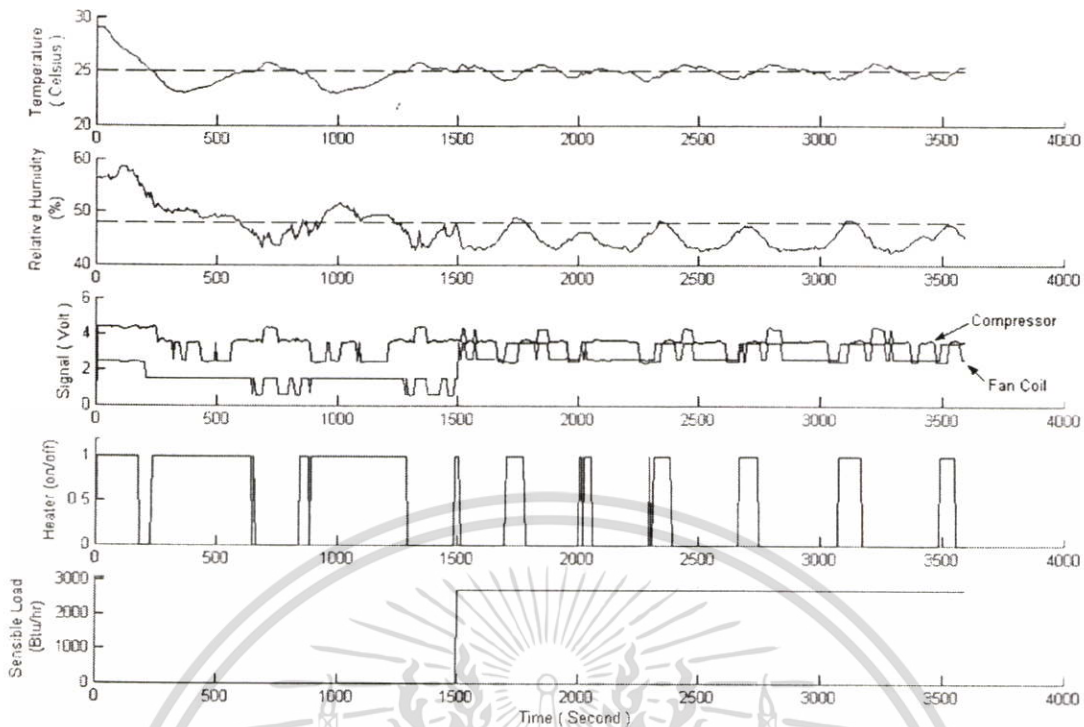


รูปที่ 7.8 การควบคุมอุณหภูมิที่ 27°C และความชื้น 50% กรณีมีภาระความร้อนสัมผัส

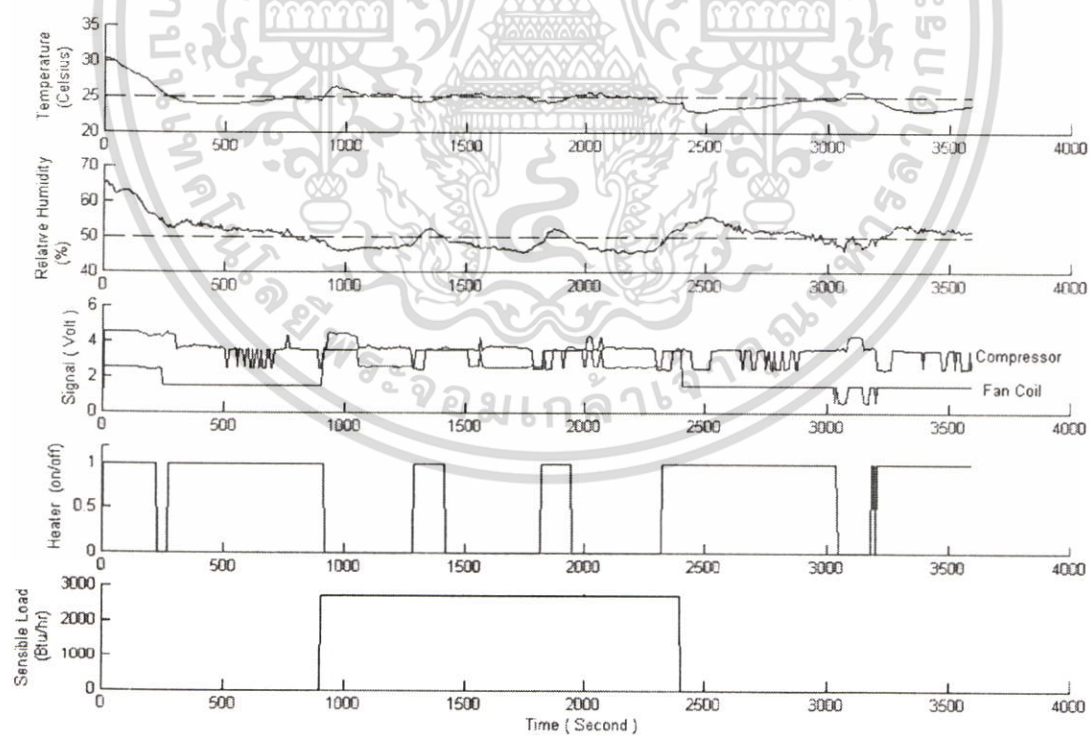


รูปที่ 7.9 การควบคุมอุณหภูมิที่ 23°C และความชื้น 50% กรณีมีภาระความร้อนสัมผัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

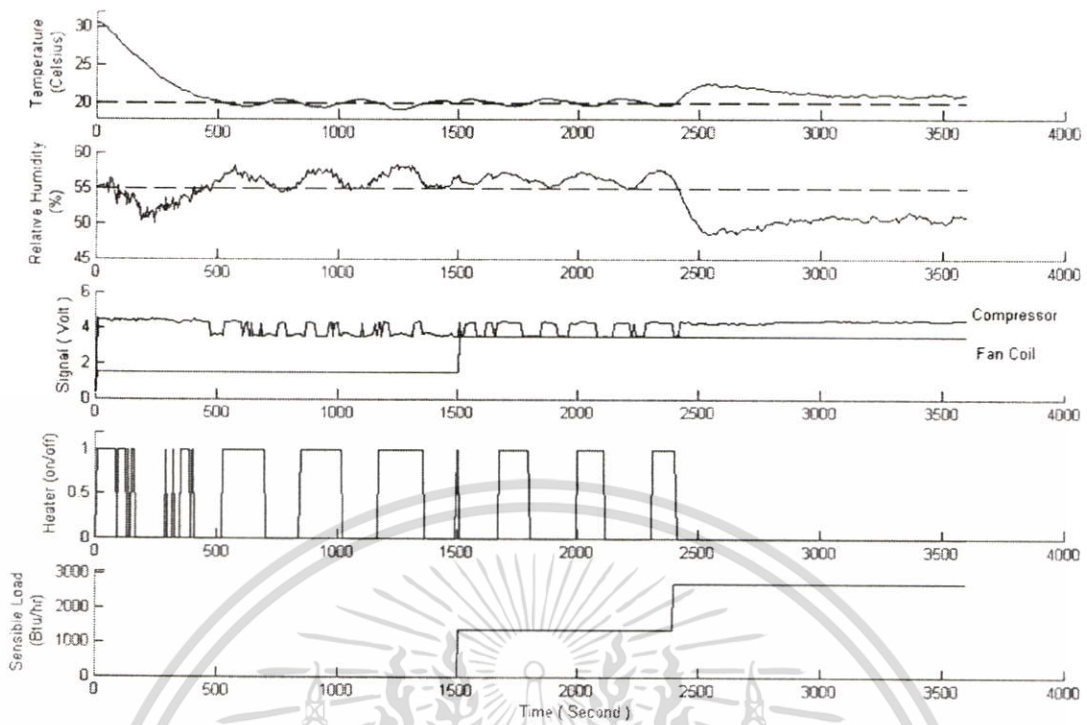


รูปที่ 7.10 การควบคุมอุณหภูมิที่ 25 °C และความชื้น 48 % กรณีมีภาระความร้อนสัมผัส

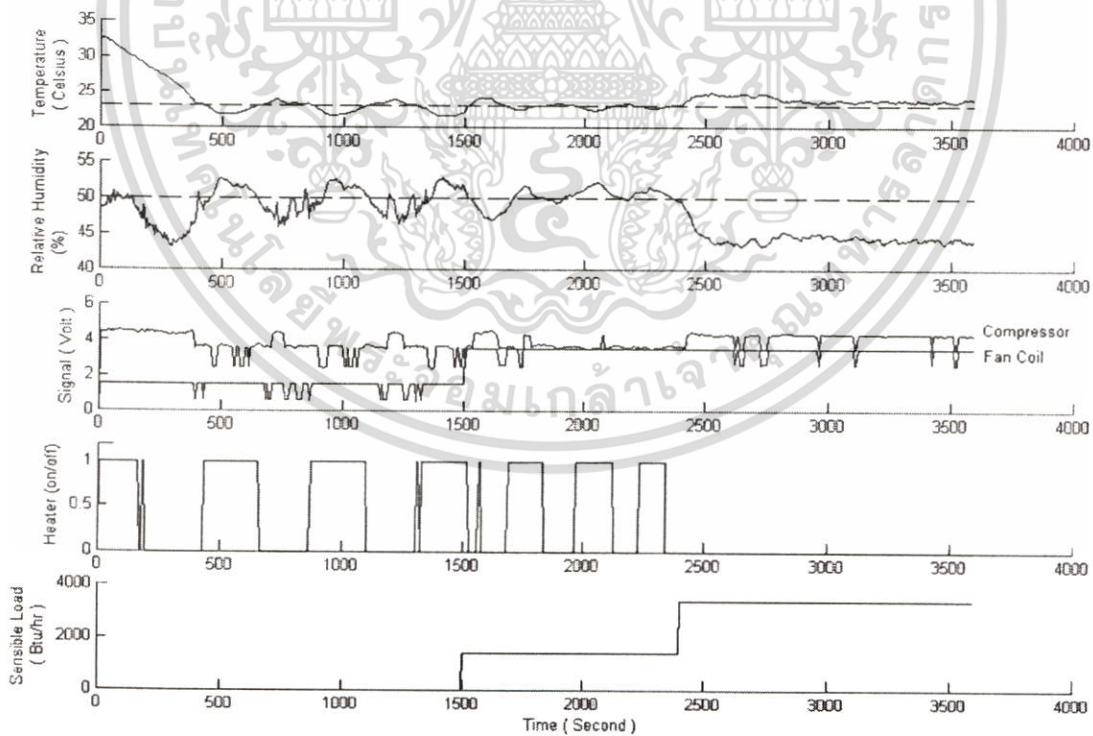


รูปที่ 7.11 การควบคุมอุณหภูมิที่ 25 °C และความชื้น 50 % กรณีมีภาระความร้อนสัมผัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

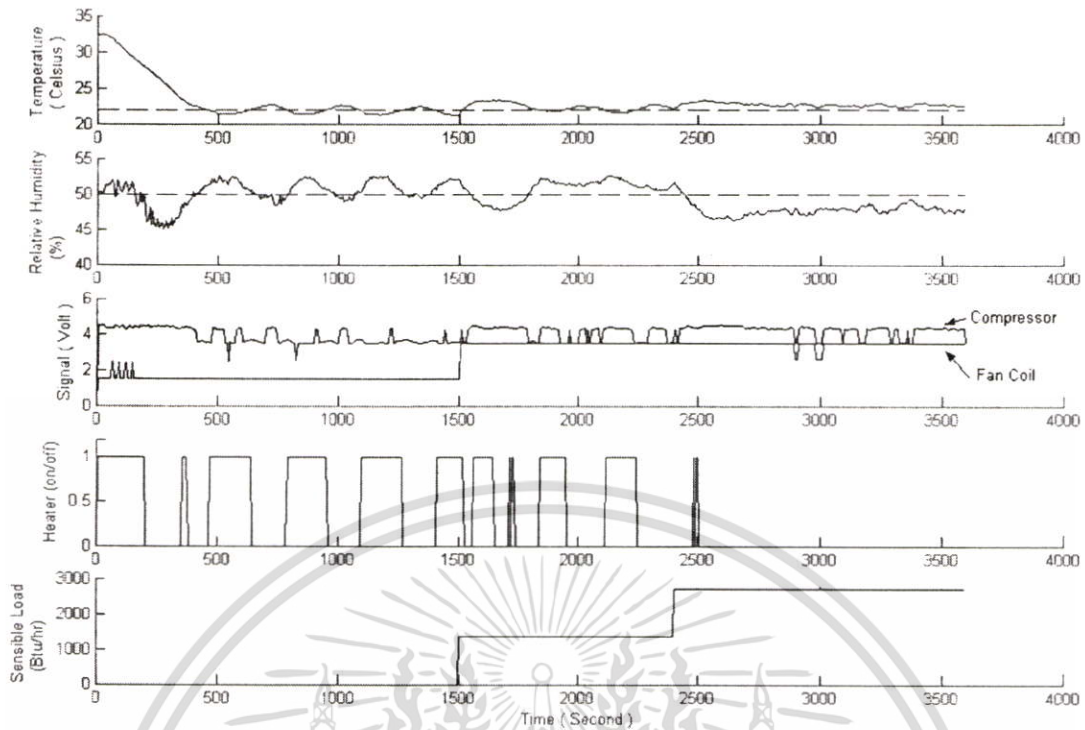


รูปที่ 7.12 การควบคุมอุณหภูมิที่ 20°C และความชื้น 55 % กรณีมีภาระความร้อนสัมผัส

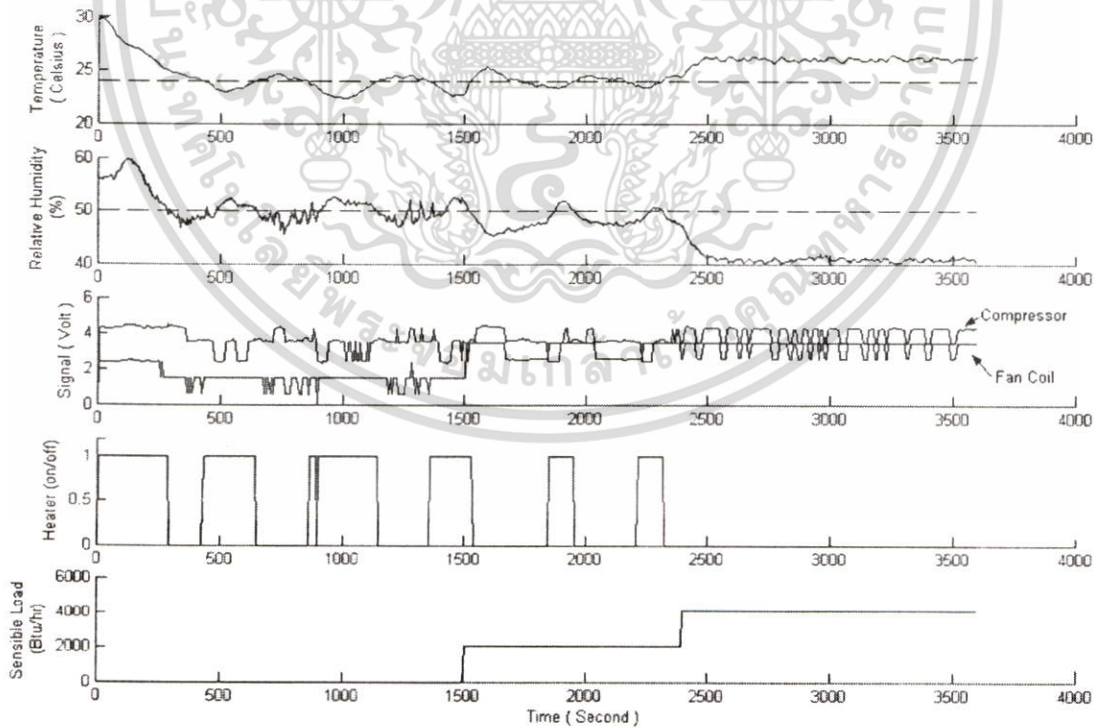


รูปที่ 7.13 การควบคุมอุณหภูมิที่ 23°C และความชื้น 50 % กรณีมีภาระความร้อนสัมผัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

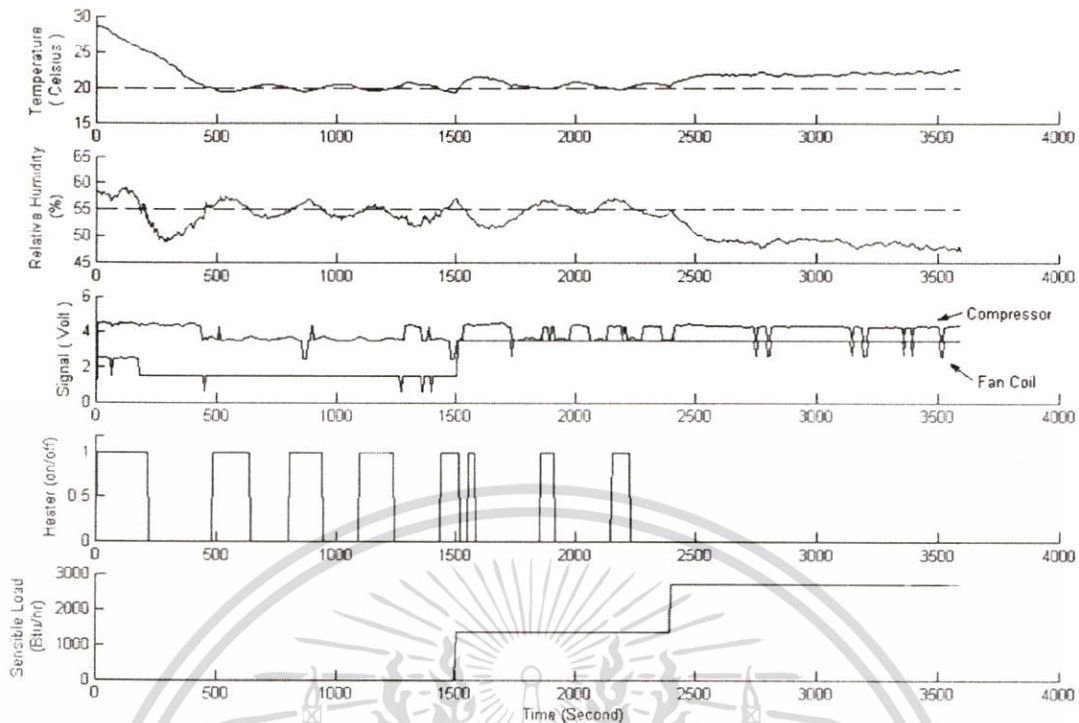


รูปที่ 7.14 การควบคุมอุณหภูมิที่ 22°C และความชื้น 50% กรณีมีภาระความร้อนสัมผัส



รูปที่ 7.15 การควบคุมอุณหภูมิที่ 24°C และความชื้น 50% กรณีมีภาระความร้อนสัมผัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.16 การควบคุมอุณหภูมิที่ 20°C และความชื้น 55 % กรณีมีภาระความร้อนสัมผัส

จากรูปที่ 7.8 ผลการควบคุมที่อุณหภูมิ 27°C และความชื้น 50 % การทดลองควบคุมนี้ได้ออกแบบให้มีภาระความร้อนสัมผัสเข้าไปในระบบที่เวลา 1500 วินาที ผลจากการควบคุมเมื่อภาระความร้อนสัมผัสเข้าไปในระบบ เวลาตอบสนองที่ทำให้อุณหภูมิเข้าใกล้ค่าที่กำหนดที่เวลา 150 วินาที มีค่าอุณหภูมิที่ได้ประมาณ 27°C ผลต่างอุณหภูมิ $\pm 1^{\circ}\text{C}$ และเวลาตอบสนองที่ทำให้ความชื้นเข้าใกล้ค่าที่กำหนดที่เวลา 200 วินาที มีค่าความชื้นที่ได้ประมาณ 42.5 % ผลต่างความชื้น $\pm 1.5\%$

จากรูปที่ 7.9 ผลการควบคุมที่อุณหภูมิ 23°C และความชื้น 50 % การทดลองควบคุมนี้ได้ออกแบบให้มีภาระความร้อนสัมผัสเข้าไปในระบบที่เวลา 1200 วินาที ผลจากการควบคุมเมื่อภาระความร้อนสัมผัสเข้าไปในระบบ เวลาตอบสนองที่ทำให้อุณหภูมิเข้าใกล้ค่าที่กำหนดที่เวลา 300 วินาที มีค่าอุณหภูมิที่ได้ประมาณ 23°C ผลต่างอุณหภูมิ $\pm 1^{\circ}\text{C}$ และเวลาตอบสนองที่ทำให้ความชื้นเข้าใกล้ค่าที่กำหนดที่เวลา 300 วินาที มีค่าความชื้นที่ได้ประมาณ 50 % ผลต่างความชื้น $\pm 1.5\%$

จากรูปที่ 7.10 ผลการควบคุมที่อุณหภูมิ 25°C และความชื้น 48 % การทดลองควบคุมนี้ได้ออกแบบให้มีภาระความร้อนสัมผัสเข้าไปในระบบที่เวลา 1500 วินาที ผลจากการควบคุมเมื่อภาระความร้อนสัมผัสเข้าไปในระบบ เวลาตอบสนองที่ทำให้อุณหภูมิเข้าใกล้ค่าที่กำหนดที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา 100 วินาที มีค่าอุณหภูมิที่ได้ประมาณ 25°C ผลต่างอุณหภูมิ $\pm 1^{\circ}\text{C}$ และเวลาตอบสนองที่ทำให้ความชื้นเข้าใกล้ค่าที่กำหนดที่เวลา 200 วินาที มีค่าความชื้นที่ได้ประมาณ 46 % ผลต่างความชื้น $\pm 3\%$

จากรูปที่ 7.11 ผลการควบคุมที่อุณหภูมิ 25°C และ ความชื้น 50 % การทดลองควบคุมนี้ได้ออกแบบให้มีภาระความร้อนสัมผัสเข้าไปในระบบที่เวลา 900 วินาที ล้นสุดการให้ภาระความร้อนสัมผัสที่เวลา 2400 วินาที ผลจากการควบคุมเมื่อภาระความร้อนสัมผัสเข้าไปในระบบ เวลาตอบสนองที่ทำให้อุณหภูมิเข้าใกล้ค่าที่กำหนดที่เวลา 100 วินาที มีค่าอุณหภูมิที่ได้ประมาณ 25°C ผลต่างอุณหภูมิ $\pm 0.75^{\circ}\text{C}$ และเวลาตอบสนองที่ทำให้ความชื้นเข้าใกล้ค่าที่กำหนดที่เวลา 300 วินาที มีค่าความชื้นที่ได้ประมาณ 48.5 % ผลต่างความชื้น $\pm 3\%$

จากรูปที่ 7.12 ผลการควบคุมที่อุณหภูมิ 20°C และ ความชื้น 55 % การทดลองควบคุมนี้ได้ออกแบบให้มีภาระความร้อนสัมผัสที่มีการเปลี่ยนแปลงเข้าไปในระบบที่เวลา 1500 วินาที และ 2400 วินาที ผลจากการควบคุมเมื่อภาระความร้อนสัมผัสเข้าไปในระบบเท่ากับ 1360 Btu/hr มีค่าอุณหภูมิที่ได้ประมาณ 20°C ผลต่างอุณหภูมิ $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ และมีค่าความชื้นที่ได้ประมาณ 56 % ผลต่างความชื้น $\pm 1.2\%$ ที่เวลา 2400 วินาที ภาระความร้อนสัมผัสเปลี่ยนเป็น 2720 Btu/hr เวลาตอบสนองที่ทำให้อุณหภูมิเข้าใกล้ค่าที่กำหนดที่เวลา 600 วินาที มีค่าอุณหภูมิที่ได้ประมาณ 21°C ผลต่างอุณหภูมิ $\pm 0.15^{\circ}\text{C}$ และเวลาตอบสนองที่ทำให้ความชื้นเข้าใกล้ค่าที่กำหนดที่เวลา 600 วินาที มีค่าความชื้นที่ได้ประมาณ 50 % ผลต่างความชื้น $\pm 1\%$

จากรูปที่ 7.13 ผลการควบคุมที่อุณหภูมิ 23°C และ ความชื้น 50 % การทดลองควบคุมนี้ได้ออกแบบให้มีภาระความร้อนสัมผัสที่มีการเปลี่ยนแปลงเข้าไปในระบบที่เวลา 1500 วินาที และ 2400 วินาที ผลจากการควบคุมเมื่อภาระความร้อนสัมผัสเข้าไปในระบบเท่ากับ 1360 Btu/hr มีค่าอุณหภูมิที่ได้ประมาณ 23°C ผลต่างอุณหภูมิ $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ และมีค่าความชื้นที่ได้ประมาณ 51 % ผลต่างความชื้น $\pm 1\%$ ที่เวลา 2400 วินาที ภาระความร้อนสัมผัสเปลี่ยนเป็น 3400 Btu/hr เวลาตอบสนองที่ทำให้อุณหภูมิเข้าใกล้ค่าที่กำหนดที่เวลา 400 วินาที มีค่าอุณหภูมิที่ได้ประมาณ 23.5°C ผลต่างอุณหภูมิ $\pm 0.15^{\circ}\text{C}$ และเวลาตอบสนองที่ทำให้ความชื้นเข้าใกล้ค่าที่กำหนดที่เวลา 300 วินาที มีค่าความชื้นที่ได้ประมาณ 44 % ผลต่างความชื้น $\pm 1\%$

จากรูปที่ 7.14 ผลการควบคุมที่อุณหภูมิ 22°C และ ความชื้น 50 % การทดลองควบคุมนี้ได้ออกแบบให้มีภาระความร้อนสัมผัสที่มีการเปลี่ยนแปลงเข้าไปในระบบที่เวลา 1500 วินาที และ 2400 วินาที ผลจากการควบคุมเมื่อภาระความร้อนสัมผัสเข้าไปในระบบเท่ากับ 1360 Btu/hr มีค่าอุณหภูมิที่ได้ประมาณ 22°C ผลต่างอุณหภูมิ $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ และมีค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความชื้นที่ได้ประมาณ 51 % ผลต่างความชื้น ± 1 % ที่เวลา 2400 วินาทีภาวะความร้อนสัมผัสเปลี่ยนแปลงเป็น 2720 Btu/hr เวลาตอบสนองที่ทำให้อุณหภูมิเข้าใกล้ค่าที่กำหนดที่เวลา 400 วินาที มีค่าอุณหภูมิที่ได้ประมาณ 22.5°C ผลต่างอุณหภูมิ $\pm 0.15^{\circ}\text{C}$ และเวลาตอบสนองที่ทำให้ความชื้นเข้าใกล้ค่าที่กำหนดที่เวลา 350 วินาที มีค่าความชื้นที่ได้ประมาณ 48 % ผลต่างความชื้น ± 1.2 %

จากรูปที่ 7.15 ผลการควบคุมที่อุณหภูมิ 24°C และ ความชื้น 50 % การทดลองควบคุมนี้ได้ออกแบบให้มีภาวะความร้อนสัมผัสที่มีการเปลี่ยนแปลงเข้าไปในระบบที่เวลา 1500 วินาที และ 2400 วินาที ผลจากการควบคุมเมื่อภาวะความร้อนสัมผัสเข้าไปในระบบเท่ากับ 2040 Btu/hr มีค่าอุณหภูมิที่ได้ประมาณ 24°C ผลต่างอุณหภูมิ $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ และมีค่าความชื้นที่ได้ประมาณ 48 % ผลต่างความชื้น ± 1.2 % ที่เวลา 2400 วินาทีภาวะความร้อนสัมผัสเปลี่ยนแปลงเป็น 4080 Btu/hr เวลาตอบสนองที่ทำให้อุณหภูมิเข้าใกล้ค่าที่กำหนดที่เวลา 100 วินาที มีค่าอุณหภูมิที่ได้ประมาณ 26°C ผลต่างอุณหภูมิ $\pm 0.15^{\circ}\text{C}$ และเวลาตอบสนองที่ทำให้ความชื้นเข้าใกล้ค่าที่กำหนดที่เวลา 200 วินาที มีค่าความชื้นที่ได้ประมาณ 41 % ผลต่างความชื้น ± 1 %

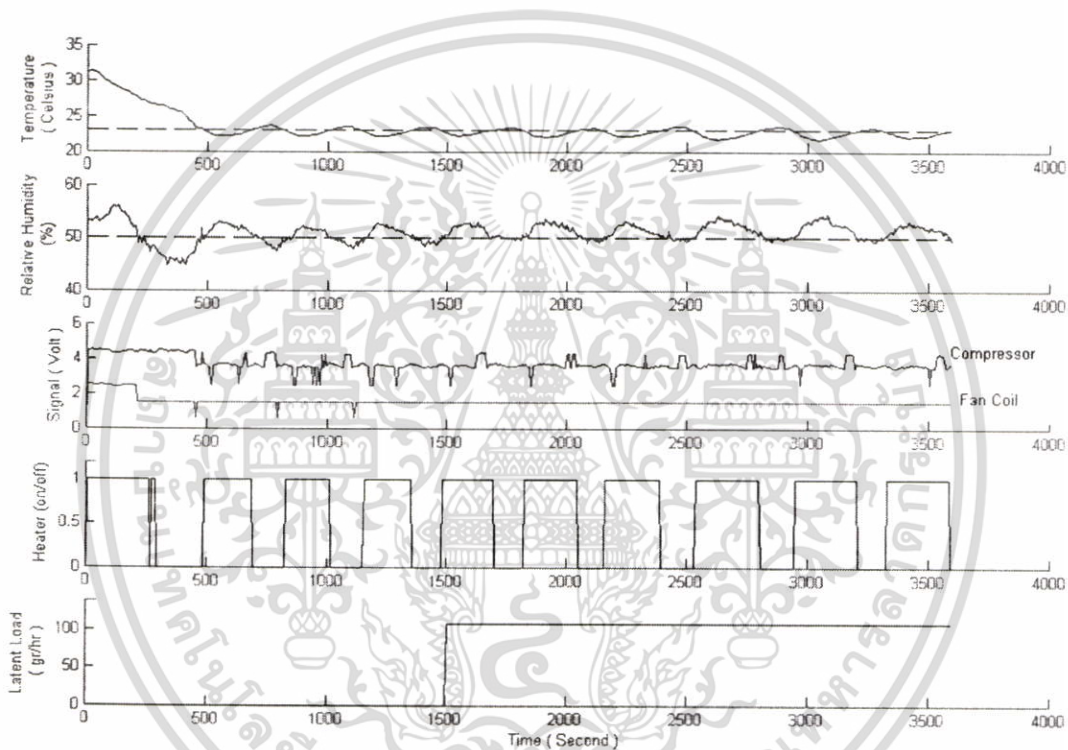
จากรูปที่ 7.16 ผลการควบคุมที่อุณหภูมิ 20°C และ ความชื้น 55 % การทดลองควบคุมนี้ได้ออกแบบให้มีภาวะความร้อนสัมผัสที่มีการเปลี่ยนแปลงเข้าไปในระบบที่เวลา 1500 วินาที และ 2400 วินาที ผลจากการควบคุมเมื่อภาวะความร้อนสัมผัสเข้าไปในระบบเท่ากับ 1360 Btu/hr มีค่าอุณหภูมิที่ได้ประมาณ 20°C ผลต่างอุณหภูมิ $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ และมีค่าความชื้นที่ได้ประมาณ 55 % ผลต่างความชื้น ± 1 % ที่เวลา 2400 วินาทีภาวะความร้อนสัมผัสเปลี่ยนแปลงเป็น 2720 Btu/hr เวลาตอบสนองที่ทำให้อุณหภูมิเข้าใกล้ค่าที่กำหนดที่เวลา 150 วินาที มีค่าอุณหภูมิที่ได้ประมาณ 21.8°C ผลต่างอุณหภูมิ $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ และเวลาตอบสนองที่ทำให้ความชื้นเข้าใกล้ค่าที่กำหนดที่เวลา 200 วินาทีมีค่าความชื้นที่ได้ประมาณ 49 % ผลต่างความชื้น ± 1 %

จากการควบคุมระบบปรับอากาศในกรณีที่มีการควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นในระบบที่มีการเพิ่มความร้อนสัมผัสเข้าไปในระบบ การเพิ่มความร้อนสัมผัสเข้าไปในระบบจะส่งผลให้อุณหภูมิภายในห้องสูงขึ้น และส่งผลความชื้นในระบบมีค่าลดลง จากการควบคุมระบบปรับอากาศในงานวิจัยนี้ ได้ออกแบบการควบคุมด้วยพีซีลอคจิกในกรณีมีภาวะความร้อนสัมผัสที่กล่าวไว้ในบทการควบคุมระบบปรับอากาศ ซึ่งจะทำให้พัดลมจ่ายมีความแรงของแรงลมมากขึ้น ส่งผลให้พัดลมจ่ายพัดไอน้ำเข้าไปในระบบ แต่ก็สามารถทำได้ไม่เกินปริมาณน้ำที่เครื่องปรับอากาศถ่ายน้ำทิ้งออกระบบ ทำให้การควบคุมในบางกรณีที่มีภาวะความร้อนสัมผัสมาก ค่าความชื้นที่ควบคุมอาจจะเกิดค่าความผิดพลาดเป็นระยะห่าง (Offset) และสำหรับค่าอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

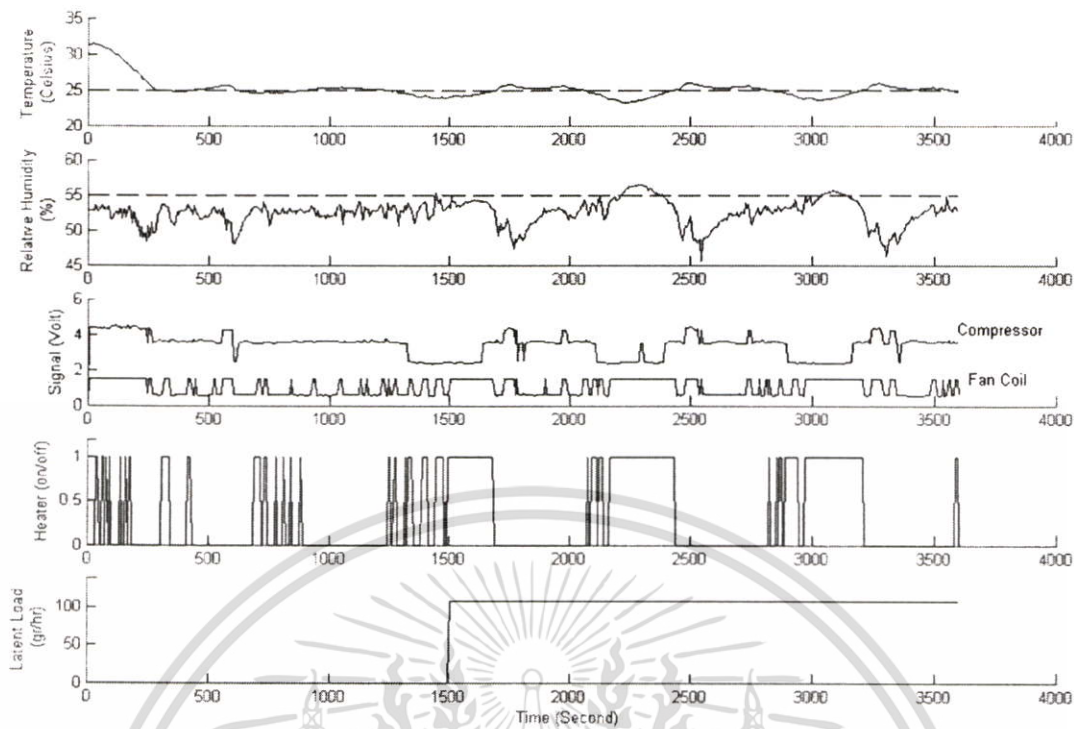
ที่ได้เกิดค่าระยะห่างในบางกรณี เนื่องจากขนาดของคอมเพรสเซอร์ที่ทำให้ความเย็นมีกำลังการใช้
งานได้ไม่เต็มที่ 100 % เป็นผลให้ภาระความร้อนของระบบเกินกว่ากำลังที่คอมเพรสเซอร์จะนำ
เอาความร้อนจากระบบออกไปได้ สาเหตุเพราะว่าข้อจำกัดจากการกำหนดสัญญาการใช้งาน
ควบคุมคอมเพรสเซอร์ ซึ่งกล่าวไว้ในบทการควบคุมระบบปรับอากาศ

7.2.3 ผลการทดลองในกรณีควบคุมอุณหภูมิและความชื้นกรณีมีภาระความร้อนแฝง

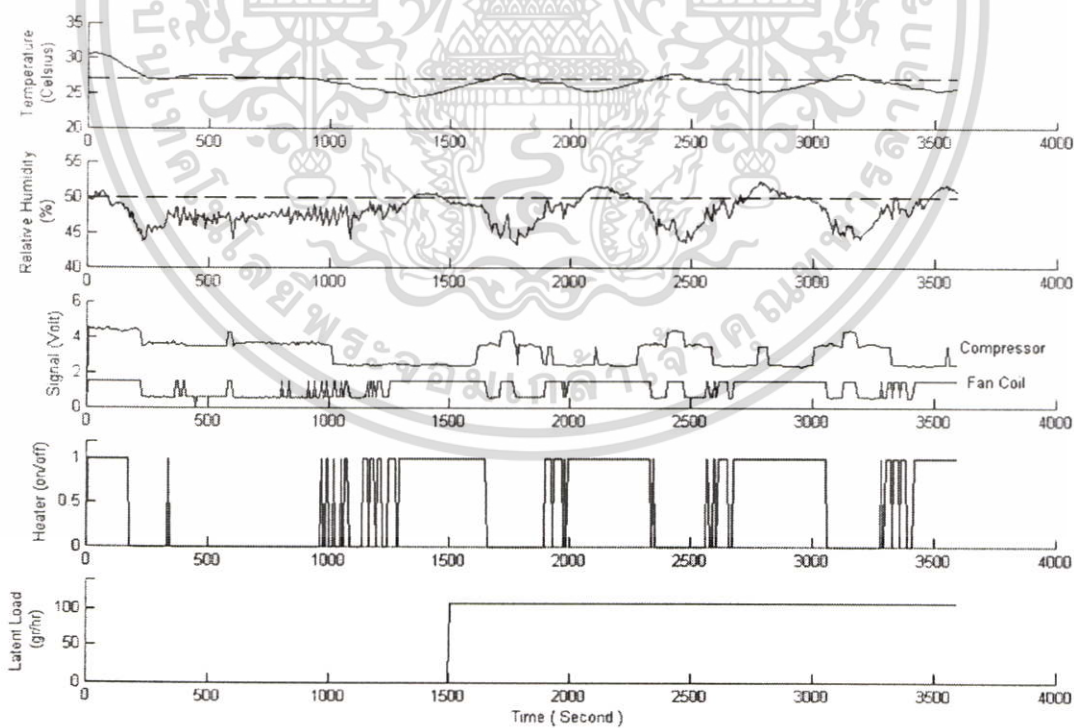


รูปที่ 7.17 การควบคุมอุณหภูมิที่ 23 °C และความชื้น 50 % กรณีมีภาระความร้อนแฝง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

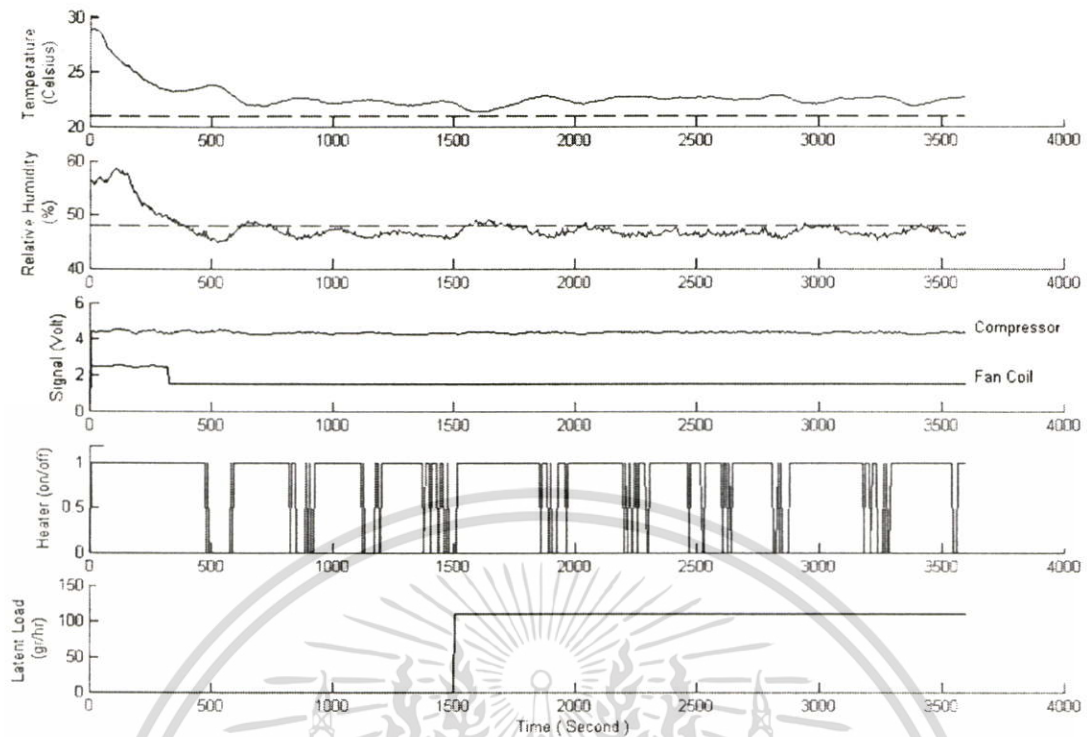


รูปที่ 7.18 การควบคุมอุณหภูมิที่ 25 °C และความชื้น 55 % กรณีมีภาระความร้อนแฝง



รูปที่ 7.19 การควบคุมอุณหภูมิที่ 27 °C และความชื้น 50 % กรณีมีภาระความร้อนแฝง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.20 การควบคุมอุณหภูมิที่ 21°C และความชื้น 48% กรณีมีภาระความร้อนแฝง

จากรูปที่ 7.17 ผลการควบคุมที่อุณหภูมิ 23°C และความชื้น 50% การทดลองควบคุมนี้ได้ออกแบบให้มีภาระความร้อนแฝงเข้าไปในระบบที่เวลา 1500 วินาที ผลจากการควบคุมเมื่อภาระความร้อนแฝงเข้าไปในระบบเท่ากับ 109 gr/hr มีค่าอุณหภูมิที่ได้ประมาณ 23°C ผลต่างอุณหภูมิ $\pm 1^{\circ}\text{C}$ และมีค่าความชื้นที่ได้ประมาณ 52% ผลต่างความชื้น $\pm 2\%$ จากการที่เพิ่มความร้อนแฝงเข้าไปในระบบนี้ผลที่ได้อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ในส่วนความชื้นนั้น ค่าที่ได้จากการเพิ่มความร้อนแฝงเข้าไปในระบบ ผลทำให้ค่าความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 1% จากการควบคุมที่ไม่มีภาระ

จากรูปที่ 7.18 ผลการควบคุมที่อุณหภูมิ 25°C และความชื้น 55% การทดลองควบคุมนี้ได้ออกแบบให้มีภาระความร้อนแฝงเข้าไปในระบบที่เวลา 1500 วินาที ผลจากการควบคุมเมื่อภาระความร้อนแฝงเข้าไปในระบบ มีค่าอุณหภูมิที่ได้ประมาณ 24.3°C ผลต่างอุณหภูมิ $\pm 1.25^{\circ}\text{C}$ และมีค่าความชื้นที่ได้ประมาณ 52% ผลต่างความชื้น $\pm 4\%$ จากการเพิ่มความร้อนแฝงเข้าไปในระบบ อุณหภูมิมีการแกว่งมากขึ้นเล็กน้อยประมาณ 0.5°C ของควบคุมที่ไม่มีเปิดภาระ และความชื้นมีการเพิ่มการแกว่งมากขึ้นประมาณ 1.5% ของการควบคุมที่ไม่มีภาระ

จากรูปที่ 7.19 ผลการควบคุมที่อุณหภูมิ 27°C และความชื้น 50% การทดลองควบคุมนี้ได้ออกแบบให้มีภาระความร้อนแฝงเข้าไปในระบบที่เวลา 1500 วินาที ผลจากการควบคุม

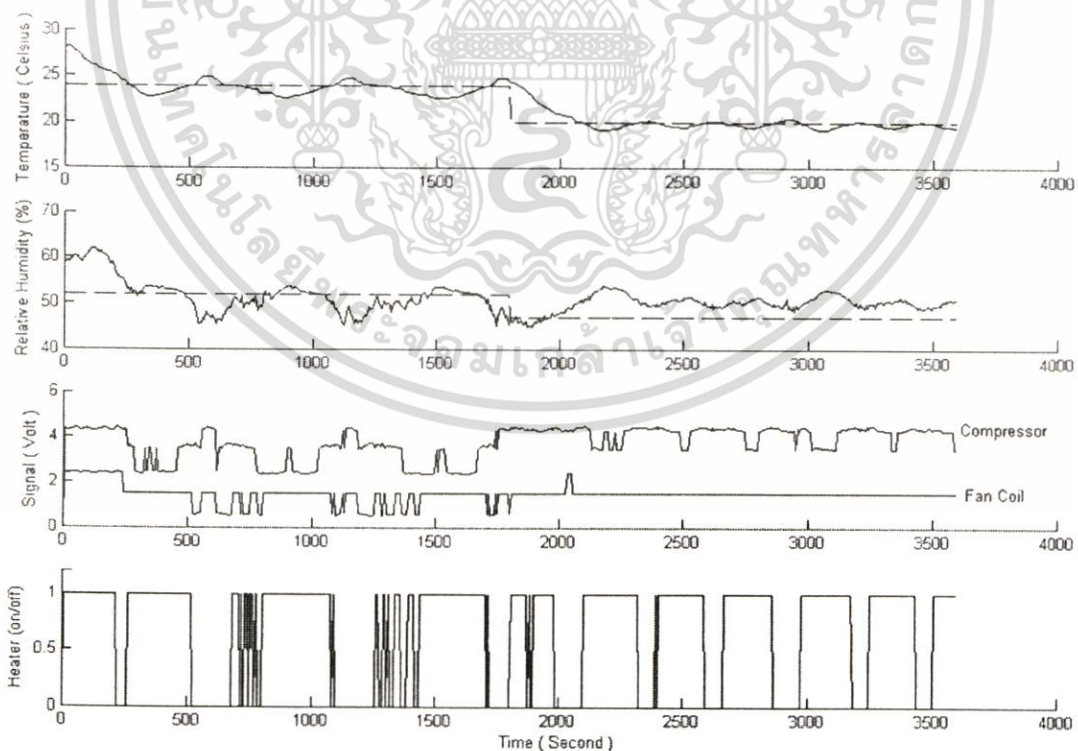
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อภาระความร้อนแฝงเข้าไปในระบบ มีค่าอุณหภูมิที่ได้ประมาณ 26°C ผลต่างอุณหภูมิ $\pm 1^{\circ}\text{C}$ และมีค่าความชื้นที่ได้ประมาณ 47% ผลต่างความชื้น $\pm 4\%$ จากการเพิ่มความร้อนแฝงเข้าไปในระบบ อุณหภูมิมีการแกว่งมากขึ้นเล็กน้อยประมาณ 0.5°C ของควบคุมที่ไม่เปิดภาระ และความชื้นมีการเพิ่มการแกว่งมากขึ้นประมาณ 2% ของการควบคุมที่ไม่มีภาระ

จากรูปที่ 7.20 ผลการควบคุมที่อุณหภูมิ 21°C และความชื้น 48% การทดลองควบคุมนี้ได้ออกแบบให้มีภาระความร้อนแฝงเข้าไปในระบบเป็นเวลา 1500 วินาที ผลจากการควบคุมเมื่อภาระความร้อนแฝงเข้าไปในระบบ มีค่าอุณหภูมิที่ได้ประมาณ 22°C ผลต่างอุณหภูมิ $\pm 0.8^{\circ}\text{C}$ และมีค่าความชื้นที่ได้ประมาณ 46% ผลต่างความชื้น $\pm 2\%$

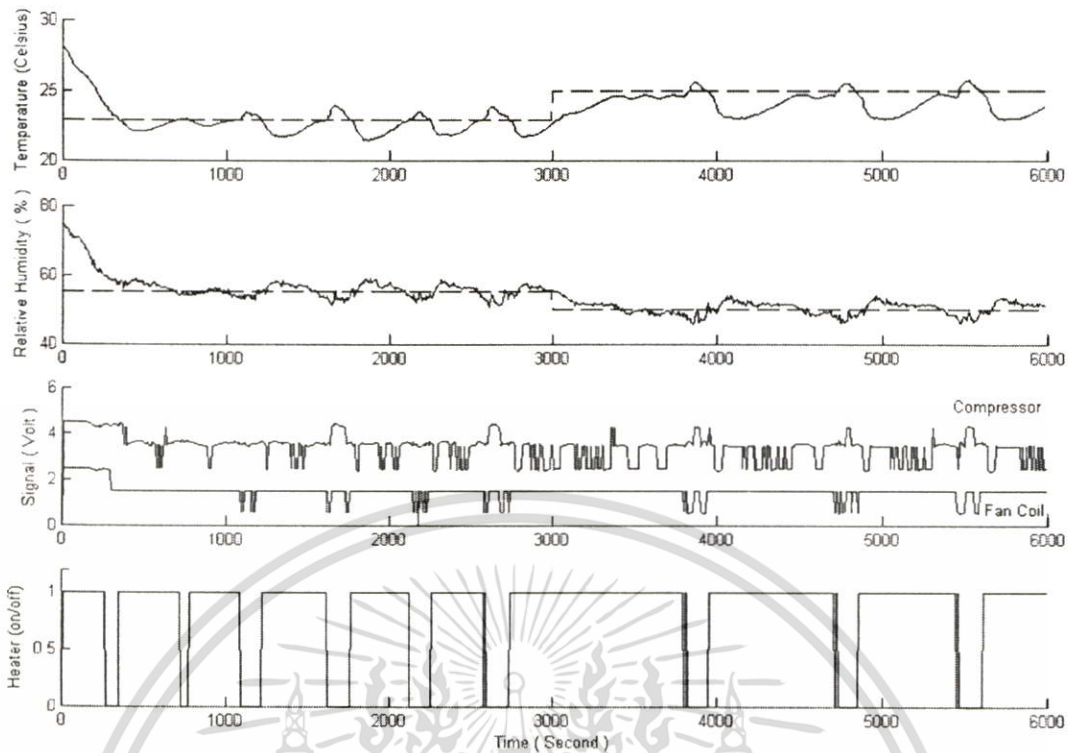
จากการเพิ่มความร้อนแฝงเข้าไปในระบบ ค่าที่ได้ของอุณหภูมิและความชื้นจากรูปที่ 7.17 และรูปที่ 7.20 ของระบบสามารถคงสภาวะการแกว่งความชื้นไม่มาก เนื่องจากสัญญาณควบคุมของพัดลมจ่ายน้ำนั้นคงที่ สัญญาณควบคุมคอมเพรสเซอร์และเครื่องจ่ายความร้อนทำหน้าที่ควบคุมระบบในสภาวะนั้นอยู่ตามเงื่อนไข การแกว่งจึงไม่เกิดเหมือนในกรณีที่มีการควบคุมจากรูปที่ 7.18 และรูปที่ 7.19

7.2.4 ผลการทดลองในกรณีควบคุมอุณหภูมิและความชื้นกรณีมีการเปลี่ยนแปลงค่าควบคุม

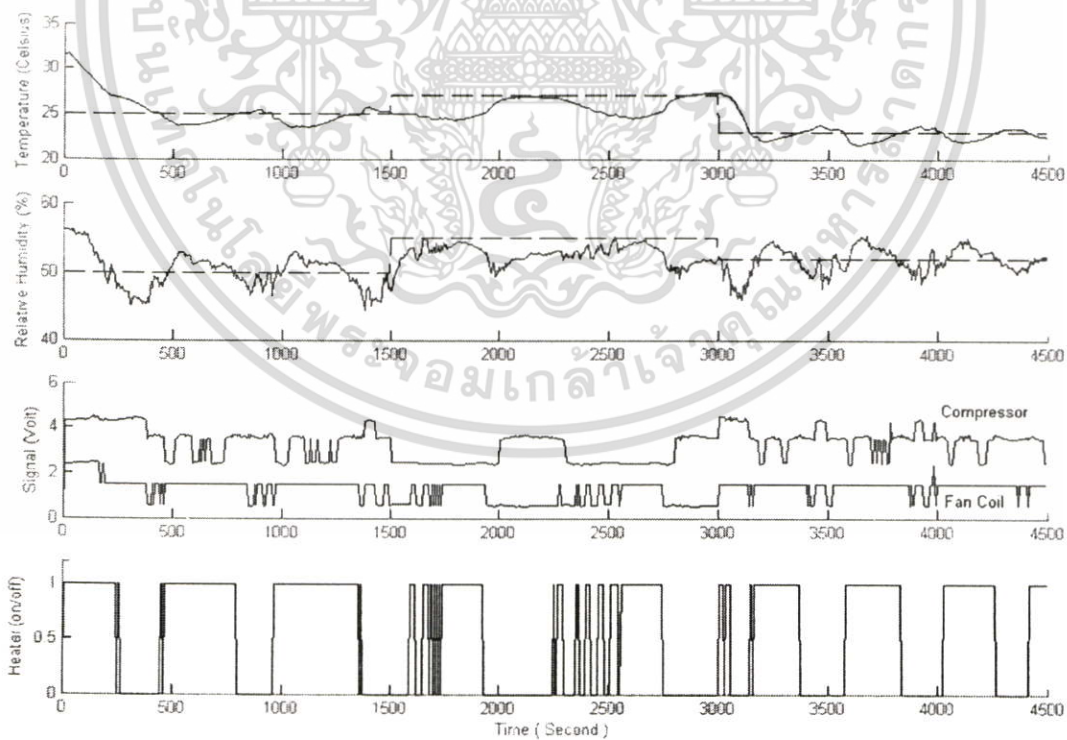


รูปที่ 7.21 การควบคุมอุณหภูมิที่ 24°C , 20°C และความชื้น 52% , 48% กรณีไม่มีภาระความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.22 การควบคุมอุณหภูมิที่ 23°C , 25°C และความชื้น 55 %, 50 % กรณีไม่มีภาวะความร้อน



รูปที่ 7.23 การควบคุมอุณหภูมิที่ 25°C , 27°C , 23°C และความชื้น 50 %, 55 %, 52 % กรณีไม่มีภาวะความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

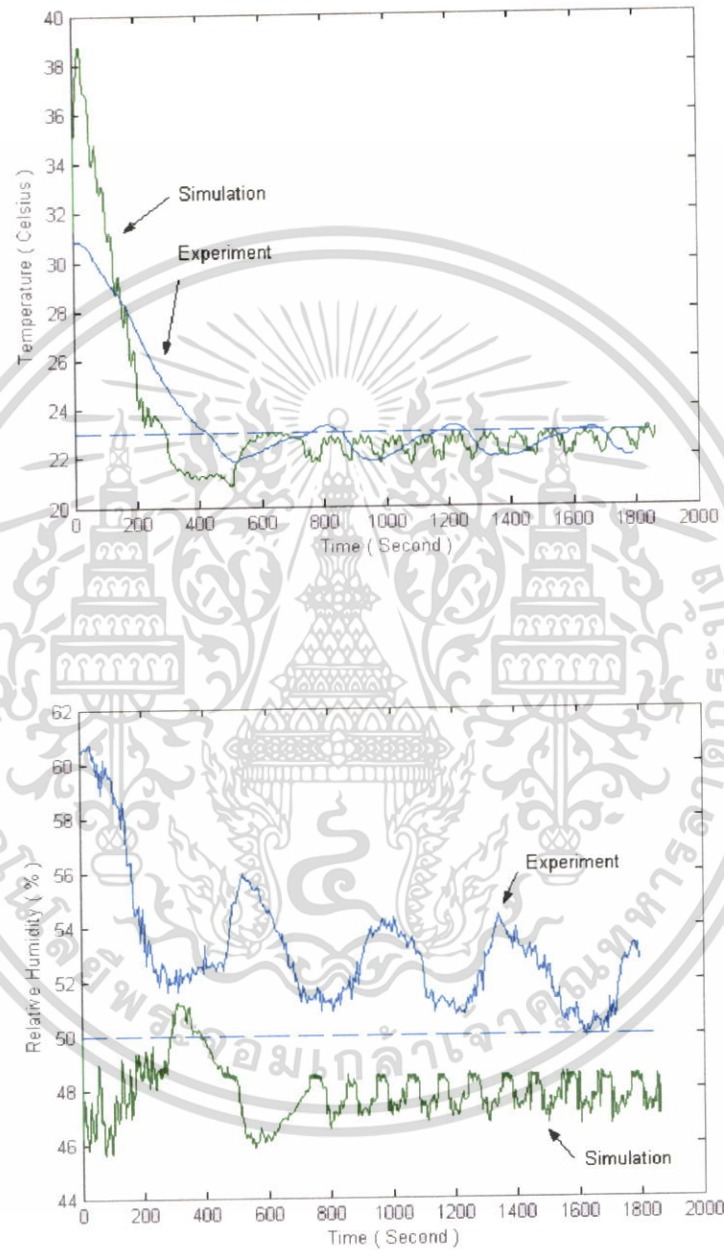
จากรูปที่ 7.21 ผลการควบคุมที่อุณหภูมิ 24°C , 20°C และ ความชื้น 52%, 48% โดยมีผลตอบสนองของอุณหภูมิของระบบที่เข้าใกล้ค่าอุณหภูมิ 24°C ที่กำหนดอยู่ในช่วงประมาณ 250 วินาที มีค่าอุณหภูมิที่ได้ประมาณ 24°C ผลต่างอุณหภูมิ $\pm 1^{\circ}\text{C}$ และผลตอบสนองของความชื้นของระบบที่เข้าใกล้ค่าความชื้น 52% อยู่ในช่วงที่กำหนดประมาณ 300 วินาที มีค่าความชื้นที่ได้ประมาณ 49% ผลต่างความชื้น $\pm 2\%$ ในส่วนของอุณหภูมิควบคุมที่ 20°C ผลตอบสนองของระบบที่เข้าใกล้ค่าอยู่ในช่วงประมาณ 300 วินาที มีค่าอุณหภูมิที่ได้ประมาณ 20°C ผลต่างอุณหภูมิ $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ และความชื้นควบคุมที่ 48% ผลตอบสนองของระบบที่เข้าใกล้ค่าอยู่ในช่วงประมาณ 400 วินาที มีค่าความชื้นที่ได้ประมาณ 50% ผลต่างความชื้น $\pm 1.5\%$

จากรูปที่ 7.22 ผลการควบคุมที่อุณหภูมิ 23°C , 25°C และ ความชื้น 55%, 50% โดยมีผลตอบสนองของอุณหภูมิของระบบที่เข้าใกล้ค่าอุณหภูมิ 23°C ที่กำหนดอยู่ในช่วงประมาณ 500 วินาที มีค่าอุณหภูมิที่ได้ประมาณ 22.5°C ผลต่างอุณหภูมิ $\pm 1^{\circ}\text{C}$ และผลตอบสนองของความชื้นของระบบที่เข้าใกล้ค่าความชื้น 55% อยู่ในช่วงที่กำหนดประมาณ 500 วินาที มีค่าความชื้นที่ได้ประมาณ 55% ผลต่างความชื้น $\pm 2.5\%$ ในส่วนของอุณหภูมิควบคุมที่ 25°C ผลตอบสนองของระบบที่เข้าใกล้ค่าอยู่ในช่วงประมาณ 500 วินาที มีค่าอุณหภูมิที่ได้ประมาณ 24°C ผลต่างอุณหภูมิ $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ และความชื้นควบคุมที่ 48% ผลตอบสนองของระบบที่เข้าใกล้ค่าอยู่ในช่วงประมาณ 500 วินาที มีค่าความชื้นที่ได้ประมาณ 50% ผลต่างความชื้น $\pm 1.5\%$

จากรูปที่ 7.23 ผลการควบคุมที่อุณหภูมิ 25°C , 27°C , 23°C และ ความชื้น 50%, 55%, 52% โดยมีผลตอบสนองของอุณหภูมิของระบบที่เข้าใกล้ค่าอุณหภูมิ 25°C ที่กำหนดอยู่ในช่วงประมาณ 450 วินาที มีค่าอุณหภูมิที่ได้ประมาณ 24.5°C ผลต่างอุณหภูมิ $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ และผลตอบสนองของความชื้นของระบบที่เข้าใกล้ค่าความชื้น 50% อยู่ในช่วงที่กำหนดประมาณ 450 วินาที มีค่าความชื้นที่ได้ประมาณ 50% ผลต่างความชื้น $\pm 2.5\%$ ในส่วนของอุณหภูมิควบคุมที่ 27°C ผลตอบสนองของระบบที่เข้าใกล้ค่าอยู่ในช่วงประมาณ 500 วินาที มีค่าอุณหภูมิที่ได้ประมาณ 25.8°C ผลต่างอุณหภูมิ $\pm 1.2^{\circ}\text{C}$ และความชื้นควบคุมที่ 55% ผลตอบสนองของระบบที่เข้าใกล้ค่าอยู่ในช่วงประมาณ 250 วินาที มีค่าความชื้นที่ได้ประมาณ 52.5% ผลต่างความชื้น $\pm 2.5\%$ ในส่วนของอุณหภูมิควบคุมที่ 23°C ผลตอบสนองของระบบที่เข้าใกล้ค่าอยู่ในช่วงประมาณ 200 วินาที มีค่าอุณหภูมิที่ได้ประมาณ 23°C ผลต่างอุณหภูมิ $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ และความชื้นควบคุมที่ 52% ผลตอบสนองของระบบที่เข้าใกล้ค่าอยู่ในช่วงประมาณ 200 วินาที มีค่าความชื้นที่ได้ประมาณ 52% ผลต่างความชื้น $\pm 2.5\%$

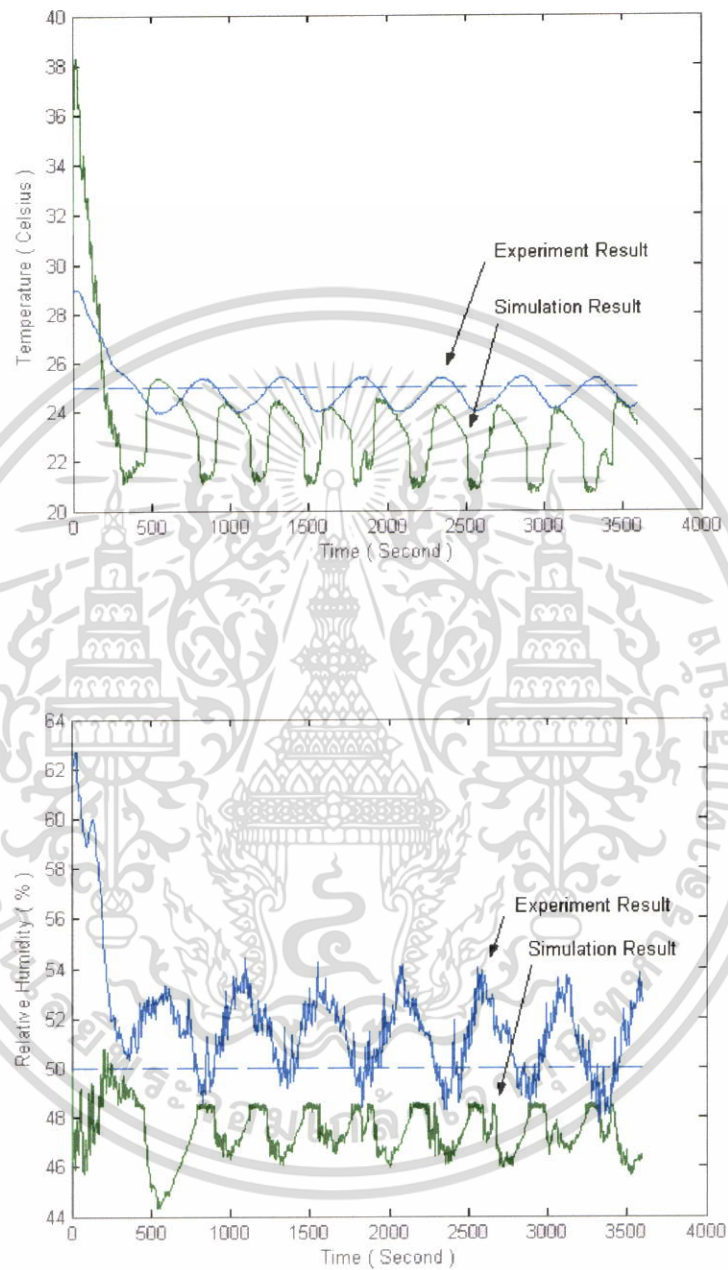
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3 การเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการจำลองการควบคุมและการทดลองการควบคุมระบบปรับอากาศ



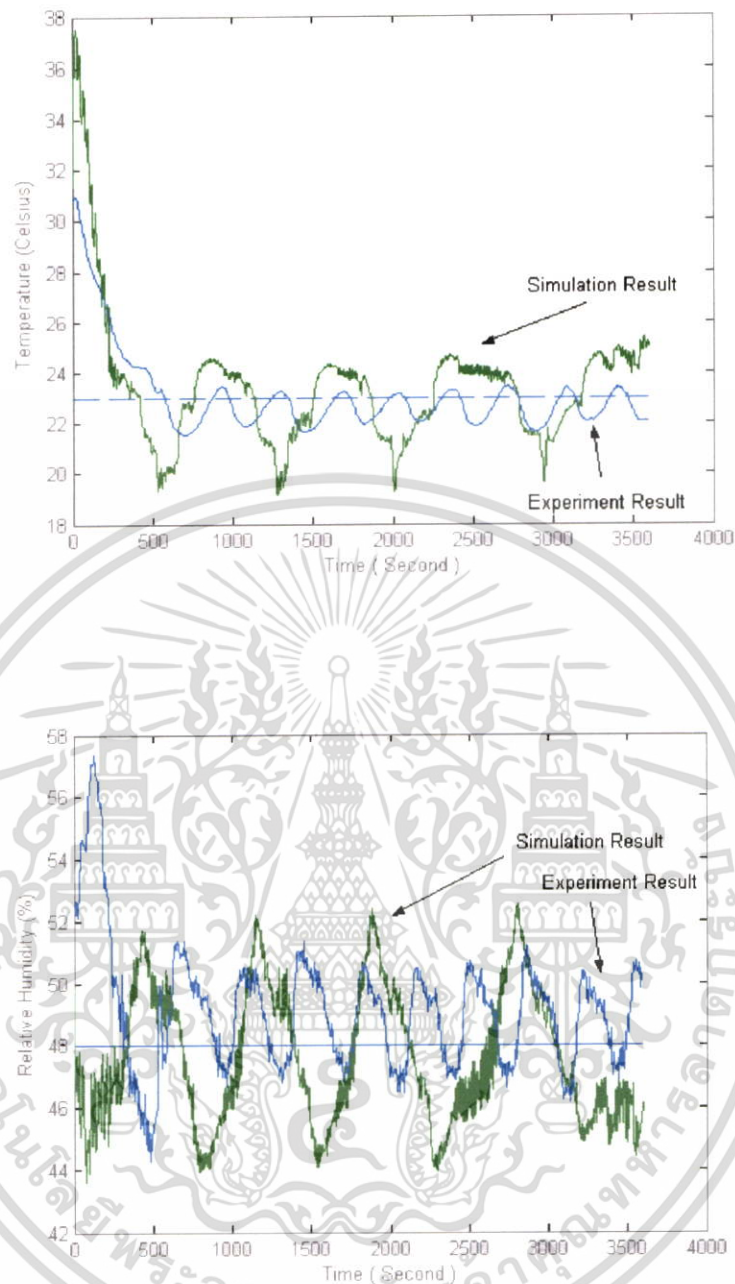
รูปที่ 7.24 การควบคุมที่อุณหภูมิ 23 °C และความชื้นที่ 50 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.25 การควบคุมที่อุณหภูมิ 25 °C และความชื้นที่ 50 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.26 การควบคุมที่อุณหภูมิ 23°C และความชื้นที่ 48 %

จากรูปที่ 7.24 จากโมเดลที่ได้จากการทดลองนำมาจำลองการควบคุมระบบปรับอากาศ เปรียบเทียบการทดลองควบคุม ผลที่ได้จากการจำลอง และการทดลองมีค่าอุณหภูมิประมาณ 22.5°C ผลต่างประมาณ $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ แต่ผลจากการจำลองในส่วนของความชื้นนั้นมีค่าที่ต่างกันประมาณ 5 % โดยจากการจำลองมีค่าความชื้นประมาณ 48 % ผลต่างความชื้น $\pm 1\%$ ผลค่าความชื้นจากการทดลองมีค่าประมาณ 52 % ผลต่างความชื้น $\pm 3\%$ และผลตอบสนองของค่าที่กำหนดก็มีค่าที่ต่างกัน สาเหตุเนื่องมาจากโมเดลที่นำมาได้จากบทการจำลองการควบคุม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบปรับอากาศมีค่าความผิดพลาดที่เกิดจากการหาโมเดล เพราะว่าจะไม่สามารถกำหนดสมการของอุณหภูมิและความชื้นที่สัมพันธ์กับสัญญาณควบคุมได้ใกล้เคียงดีไปมากกว่า แม้จะกำหนดสมการอันดับที่ 22 ที่เลือกแล้ว จึงทำให้เกิดค่าความผิดพลาด และเมื่อมีค่าความผิดพลาดเกิดขึ้นสถานะในการควบคุมที่ได้ ณ เวลานั้นก็จะทำให้ต่างกันไปด้วย ผลการควบคุมของอุณหภูมิและความชื้นที่ได้ก็จะทำให้ต่างกันไปด้วย จากรูปที่ 7.25 ก็เช่นเดียวกัน ผลที่ได้จากการจำลองมีค่าอุณหภูมิประมาณ 23°C ผลต่างประมาณ $\pm 1.2^{\circ}\text{C}$ และจากการทดลองมีค่าอุณหภูมิประมาณ 24.5°C ผลต่างประมาณ $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ และค่าความชื้นจากการจำลองประมาณ 48 % ผลต่างความชื้น $\pm 1\%$ ผลค่าความชื้นของการทดลองประมาณ 52 % ผลต่างความชื้น $\pm 2\%$

จากรูปที่ 7.26 เป็นการควบคุมอุณหภูมิที่ 23°C และควบคุมความชื้นที่ 48 % ผลการจำลองการควบคุมอุณหภูมิที่ได้มีค่าประมาณ 22°C ผลต่างอุณหภูมิ $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ผลของการควบคุมที่ได้จากการทดลองมีค่าประมาณ 22.5°C ผลต่างอุณหภูมิ $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ และผลการจำลองการควบคุมความชื้นมีค่าประมาณ 48 % ผลต่างความชื้น $\pm 2\%$ และผลของการควบคุมที่ได้จากการทดลองควบคุมความชื้นมีค่าประมาณ 48.5 % ผลต่างความชื้น $\pm 1.2\%$

ผลที่ได้จากการเปรียบเทียบการควบคุมระบบปรับอากาศนี้แสดงให้เห็นว่า การควบคุมของการจำลองระบบปรับอากาศและการควบคุมที่ได้จากการทดลองมีค่าที่คล้ายคลึงกันแต่ผลที่ได้มีค่าต่างกัน เนื่องจากการหาโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากฟังก์ชัน ident ในโปรแกรม MATLAB มีค่าต่างกัน

บทที่ 8

สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ ได้อาศัยทฤษฎีทางการออกแบบพีชชีลอจิกมาประยุกต์ใช้กับระบบที่มีการควบคุมแบบเกี่ยวพันกัน โดยการออกกฎการควบคุมของพีชชีลอจิกจากค่าผิดพลาดของอุณหภูมิและค่าผิดพลาดของความชื้น จากนั้นหาโมเดลทางคณิตศาสตร์จากการทดลองเพื่อจำลองการควบคุมด้วยโปรแกรม MATLAB และทำการทดลองการควบคุมระบบปรับอากาศทั้งอุณหภูมิและความชื้น ที่สภาวะต่าง ๆ เพื่อศึกษาจากการออกแบบกฎการควบคุมทางพีชชีและผลที่ได้จากการออกแบบกฎการควบคุมด้วยพีชชี

การออกแบบการควบคุม ได้ใช้สัญญาณในการควบคุมการทำงานของระบบปรับอากาศ มีด้วยกัน 3 ชนิดสัญญาณ คือ สัญญาณควบคุมพัดลมจ่ายช่วงสัญญาณ 0-3 โวลต์ในกรณีปกติทั่วไปและ 2-5 โวลต์ในกรณีมีการทำความร้อนสัมผัส สัญญาณควบคุมคอมเพรสเซอร์ช่วงสัญญาณ 2.3-5 โวลต์ที่ได้จากกรณีการกำหนดสัญญาณควบคุมอินเวอร์เตอร์ให้สัมพันธ์กับการใช้งานคอมเพรสเซอร์โดยมีค่าไฟฟ้สูงสุดที่ใช้ 160 โวลต์ที่สัญญาณควบคุม 5 โวลต์ และสัญญาณควบคุมเครื่องจ่ายความร้อนเปิดและปิด

8.1 สรุปผลงานวิจัย

1. การออกแบบการควบคุม ด้วยการอาศัยความสัมพันธ์ของค่าความผิดพลาดอุณหภูมิและค่าความผิดพลาดความชื้นมาออกแบบกฎการควบคุมการทำงานด้วยพีชชีลอจิก ง่ายต่อการออกแบบกว่า ในกรณีที่ต้องหาสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อออกแบบตัวควบคุมที่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน

2. การจำลองการควบคุมระบบปรับอากาศจากโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่ได้ จากการทดลองมีค่าที่ผิดพลาดเกิดขึ้นมากกว่าการทดลองจริง เนื่องจากในการหาโมเดลทางคณิตศาสตร์ในฟังก์ชัน ident ของ MATLAB ได้อาศัยค่าจากการป้อนสัญญาณ 3 สัญญาณควบคุม และเก็บค่าอุณหภูมิและความชื้น นำมาหาโมเดลในรูปสมการ State-space ที่อันดับ 22 ที่เลือกใช้ผลที่ได้ของอุณหภูมิและความชื้น ค่าของสมการ State-space ที่ได้ก็ยังมีค่าความผิดพลาดอยู่ เป็นผลให้การควบคุมเกิดค่าผิดพลาดขึ้นเมื่อทำการเปรียบเทียบกับทดลองจริง

3. การทดลองการควบคุมระบบปรับอากาศที่ทำให้เกิดการแกว่งของอุณหภูมิ และความชื้นเนื่องจากระบบปรับอากาศมีอากาศดีเข้าระบบอยู่ตลอดเวลา และในการควบคุมสัญญาณเอาพุทที่ได้จากพีชชีโดยทฤษฎีค่าเฉลี่ยสูงสุด (MOM) มีลักษณะของสัญญาณควบคุมที่ไม่ราบเรียบ

ทำให้เกิดการกระโดดของสัญญาณ ทำให้มีผลของการแกว่งอุณหภูมิและความชื้นเช่นเดียวกัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การทดลองควบคุมระบบปรับอากาศที่อุณหภูมิในช่วงประมาณ $20^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}$ และความชื้น $48\% - 55\%$ กรณีไม่มีภาระ ในงานวิจัยนี้อยู่ในช่วงการควบคุมค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิประมาณ $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ และค่าความผิดพลาดความชื้นประมาณ $\pm 5\%$

5. การทดลองควบคุมระบบปรับอากาศกรณีที่มีภาระจากความร้อนสัมผัสค่าที่ได้ ภาระที่ใส่เข้าไปในระบบ ผลของอุณหภูมิและความชื้นมีการแกว่งของสัญญาณน้อยลงเนื่องจากการออกแบบสัญญาณในช่วงสัญญาณควบคุมสูง ๆ ของสัญญาณมีลักษณะที่ราบเรียบ ส่วนค่าอุณหภูมิที่เกิดค่าระยะห่างจากค่าที่กำหนด เป็นผลเนื่องจากกำลังของคอมเพรสเซอร์ในการทำความเย็นของระบบ ณ อุณหภูมิในการทดลองนั้น ภาระของระบบมีมากกว่าที่กำลังสูงสุดอุปกรณ์จะทำได้ สาเหตุจากข้อจำกัดในการติดตั้งสัญญาณควบคุมระหว่างอินเวอร์เตอร์และคอมเพรสเซอร์

6. กรณีการควบคุมระบบปรับอากาศที่มีภาระจากความร้อนสัมผัส เมื่อมีภาระความร้อนสัมผัส ความชื้นจะลดลงและทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น ในการควบคุมจากการประยุกต์อุปกรณ์โดยอาศัยพัดลมจ่ายที่แรงพัดค่าความชื้นเข้าไปในระบบ และทำให้อุณหภูมิมียุ่ค่าลดลง จากการควบคุมความชื้นที่กำหนด ในการควบคุม ผลความชื้นเกิดค่าระยะห่างขึ้นเนื่องจากพัดลมจ่ายที่พัดความชื้นเข้าไปในระบบ โดยมีสัญญาณที่ออกแบบควบคุมพัดลมจ่ายในกรณีภาระความร้อนสัมผัสได้ให้สัญญาณเต็มที่แล้ว แต่ก็น้อยเกินกว่าที่ทำให้ความชื้นนั้นเข้าใกล้ค่าที่กำหนดได้ จึงเกิดค่าระยะห่างขึ้น

7. การทดลองควบคุมระบบปรับอากาศกรณีที่มีภาระจากความร้อนแฝง ทำให้มีความชื้นเข้าไปในระบบ การควบคุมที่ได้กรณีการควบคุมที่อุณหภูมิประมาณ $21^{\circ}\text{C} - 23^{\circ}\text{C}$ และความชื้นประมาณ $48\% - 50\%$ ผลที่ได้จากการทดลองควบคุมกรณีของความร้อนแฝงนี้อยู่ในช่วงการควบคุมค่าความผิดพลาด ของอุณหภูมิประมาณ $\pm 1^{\circ}\text{C}$ และค่าความผิดพลาดความชื้นประมาณ $\pm 2\%$

8.2 ข้อเสนอแนะ

1. การออกแบบสัญญาณควบคุม มีข้อจำกัดจากสัญญาณที่ใช้ในการควบคุม เช่น สัญญาณควบคุมที่ใช้งานระหว่างอินเวอร์เตอร์และคอมเพรสเซอร์ ถ้าหากเลือกขนาดกำลังอินเวอร์เตอร์ที่มีขนาดไม่เหมาะสมแล้ว เมื่อขณะปฏิบัติงานกับคอมเพรสเซอร์ที่ความเร็วรอบสูง ๆ กระแสไฟฟ้าที่ใช้จะไม่มาก แต่เมื่อทำงานที่ความเร็วรอบต่ำ ๆ กระแสไฟฟ้าที่ใช้จะสูง ถ้าหากต้องการช่วงสัญญาณในการควบคุมจะต้องออกแบบสัญญาณเมื่อไว้สำหรับกรณีที่ทำงานความเร็วรอบต่ำ ๆ ด้วย

2. การออกแบบสัญญาณควบคุมพัลลวมจ่ายในกรณีมีภาระจากร้อนสัมผัส เป็นแนวทางในการออกแบบการเพิ่มความถี่เข้าไปในระบบและยังช่วยลดอุณหภูมิถ้าหากมีอุปกรณ์เพิ่มความถี่ด้วยแล้ว การควบคุมความถี่ก็จะดีขึ้น

3. การควบคุมด้วยอินเวอร์เตอร์ เป็นการออกแบบการควบคุมที่ปัจจุบันได้มีการนำมาใช้อย่างมากเพราะเป็นการออกแบบเพื่อการควบคุมที่ประหยัดพลังงาน เนื่องจากการทำงานของมอเตอร์ในขณะเริ่มการทำงานจะมีกระแสที่สูง และเมื่อมีการเปิดปิดบ่อย ๆ ก็จะทำให้สิ้นเปลืองการนำอินเวอร์เตอร์มาใช้นั้น จะตัดปัญหาการกินกระแสขณะเริ่มทำงานที่เป็นลักษณะการเปิดปิดบ่อย ๆ ไปได้

4. การควบคุมเครื่องจ่ายความร้อนที่มีลักษณะการเปิดและปิด การควบคุมจะทำให้ได้ค่าการควบคุมที่ไม่ละเอียดยและช่วงในการควบคุมจะกว้าง ถ้าจะออกแบบให้ได้การควบคุมเครื่องจ่ายความร้อนที่ดี จำเป็นที่จะต้องออกแบบให้สามารถเลือกสัญญาณในการเปลี่ยนแปลงค่าควบคุมได้เอง

5. การออกแบบที่เป็นลักษณะสัญญาณควบคุมที่ได้จากทฤษฎีการหาค่าเฉลี่ยพื้นที่จะมีสัญญาณที่ราบเรียบกว่า แต่การเขียนโปรแกรมเพื่อออกแบบที่จะนำไปใช้งานในการควบคุมระบบปรับอากาศที่จะต้องใช้การเขียนโปรแกรมในคอนโทรลเลอร์ การหาค่าเฉลี่ยพื้นที่ (COA) จะกินพื้นที่หน่วยความจำเยอะกว่าซึ่งในตัวคอนโทรลเลอร์มีหน่วยความจำไม่มาก

6. การออกแบบโปรแกรมให้มีสัญญาณควบคุมที่ได้ราบเรียบ ควรจะออกแบบสมาชิกของเอาพุทในพีซีให้มากกว่านี้ถ้าใช้ทฤษฎีการหาค่าเฉลี่ยสูงสุด (MOM)

7. การออกแบบด้วยการควบคุมด้วยพีซีลอจิกมีช่วงของการออกแบบที่สามารถใช้งานได้ดีในช่วงของการใช้งานหนึ่ง ๆ เพราะการกำหนดค่าในสมาชิกที่เป็นค่าคงที่ ถ้ามีการออกแบบสมาชิกให้สามารถปรับแต่งเองได้ หรือ ออกแบบเป็น การควบคุมหลายช่วงการควบคุมการควบคุมก็จะสามารถควบคุมการทำงานได้ในช่วงที่กว้างขึ้นและมีความผิดพลาดน้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] V. Paul Lang. "Principles of Air Conditioning". Fifth Edition. Delmar Publishers. An International Thomson Publishing Company. 1995.
- [2] อัครเดช สีนธภูค. "การปรับอากาศ". ตำราชุดวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2542
- [3] Carrier. "Handbook of Air Conditioning System Design". McGraw – Hill International Book Company.
- [4] Masnori Arima., Elmer H., Hara., Jack D. Katzberg. "A Fuzzy Logic and Rough Sets Controller for HVAC Systems". IEEE WESCANEX '95 PROCEEDING. 1995
- [5] Maher Hamdi., Gerard Lachiver. "A Fuzzy Control System based on the Human Sensation of Thermal Comfort". pp. 487-492. IEEE. 1998.
- [6] Robert N. Lea., Edgar Dohmann., Wayne Prebilsky., Yashvant Jani. "An HVAC Fuzzy Logic Zone Control System and Performance Results", pp. 2175 – 2180. IEEE 1996
- [7] Leonid Reznik. "Fuzzy Controllers." Newnes. Victoria University of Technology. Melbourne. 1997
- [8] Jun Yan., Michael Ryan., James Power. Using Fuzzy Logic. Prentice Hall. 1994
- [9] Dimitar Driankov., Hans Hellendoorn., Michael Reinfrank. "An Introduction to Fuzzy Control". Springer – Verlag Berlin Heidelberg. 1993
- [10] Louis D. Albright., Richard S. Gates., Kostas G. Arvanistis., Alan E. Drysdale., "Environmental Control for Plants on Earth and in Space", IEEE Control Systems Magazine, pp. 28-47., October 2001
- [11] Ljung L., "System Identification - Theory for the User", Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J. 1987.
- [12] Söderström T. and P. Stoica. "System Identification", Prentice Hall International, London. 1989.
- [13] H.M. Deitel., P.J. Deitel., T.R. Nieto, "Visual Basic 6 How To Program", Prentice Hall, 1999
- [14] ASHRAE handbook fundamentals / American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, c1993

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [15] Shehu S. Farinwata., Dimitar Filev., Reza Langari, " Fuzzy Control Synthesis and Analysis", John Wiley & Son, LTD,2000
- [16] Thomas J. Horan., " Contro Systems and Applications for HVAC/R " , Prentice Hall, 1997
- [17] W.P. Jones., " Air Conditioning Engineering " , Edward Arnold ,1994
- [18] Wilbert F. Stoecker., Jerold W. Jones," Refrigeration & Air Conditioning " , McGRAW - Hill International editions, 1982



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ผลการทดลองวัดค่าน้ำหนักทุก ๆ 15 นาที

เวลา (นาที)	การทดลองที่ 1	การทดลองที่ 2	การทดลองที่ 3
0	1970	1970	1970
15	1943	1942	1942
30	1917	1914	1916
45	1890	1885	1888
60	1863	1858	1862

ตารางที่ ก.2 แสดงค่าน้ำหนักในช่วง 15 นาที ของน้ำหนักไอน้ำที่หายไป

เวลา (นาที)	การทดลองที่ 1	การทดลองที่ 2	การทดลองที่ 3
0 -15	27	28	28
15 -30	26	28	26
30 - 45	27	29	28
45 - 60	27	27	26
ค่าเฉลี่ย	26.75	28	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในงานวิจัยได้กำหนดการใช้งานอินเวอร์เตอร์รับสัญญาณจากอุปกรณ์ภายนอกการกำหนด
ในงานวิจัยนี้ได้ใช้สัญญาณอินพุทของอินเวอร์เตอร์ 5 โวลต์ (P09) เป็น 2 และได้เลือกวงจรอินเว
เตอร์ในการใช้งาน (P08) เป็นค่า 1 และ P20 กำหนดการใช้ฟังก์ชัน เป็น 5 ในกรณีของอินเว
เตอร์ที่ใช้กับคอมเพรสเซอร์ได้กำหนดค่า P63 เป็นค่า 160

ตารางที่ ข.1 ตัวแปรในการทำงานของอินเวอร์เตอร์

LOCAL EXTERNAL CONTROL (Parameter P08)				
Used to select whether to operate the inverter with the operation panel switches (local) or with input signals (external)				
Data setting value	Local/External	Panel reset function	Signal format and button operation	Control terminal connection diagrams
0	Local	Provided	---	---
1	External	Not provided	2-wire signal Start/Stop and Forward reverse	
4		Provided	3-wire signal Start Forward reverse and Stop	
2	External	Not provided	2-wire signal Forward start/stop Reverse start/stop	
5		Provided	---	---
3	External	Not provided	3-wire signal Forward start Reverse start	Note) If both the forward run and reverse run signals are ON, the run state will not change at both run ON while stopped, the operation will not start.
6	External	Provided	Stop	

* Panel reset function

When a fault trip occurs, the state cannot be reset with the external stop signal. Instead use function to reset with the stop SW signal on the operation panel. Note that if the reset lock out function is used, that function will have the priority. Resetting with the terminals is also valid.

LOCAL/EXTERNAL FREQUENCY (Parameter P09)

Used to select whether the frequency signal is to be set from the operation panel (local) or with an input signal (external)

Data setting value	Local/External	Frequency setting signal details	Applicable control circuit terminal No.
0	Local	Set frequency from operation panel	---
1	External	Potentiometer signal	Terminal Nos. 1, 2 and 3 (Connect wiper of potentiometer to 2)
2		0-5(V) voltage signal	Terminals Nos.2 and 3 (2+3-)
3		0-10(V) voltage signal	Terminals Nos.2 and 3 (2+3-)
4		4-20(mA) current signal	Terminals Nos.2 and 3 (2+3-) (Short circuit terminal Nos. 2 and 10)

Note) If an analog signal is input from an external source when the data setting is 1 to 4, the inverter output will start and stop at a boundary of approx. 1/100 of the input signal's full scale. (Zero volt stop function)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) ตัวแปรในการทำงานของอินเวอร์เตอร์

MULTIFUNCTION INPUT SELECT (Parameter P20 to P23)

Used to set the control functions of SW1, SW2, SW3 and SW4 (control terminal Nos.13, 14, 15 and 16).

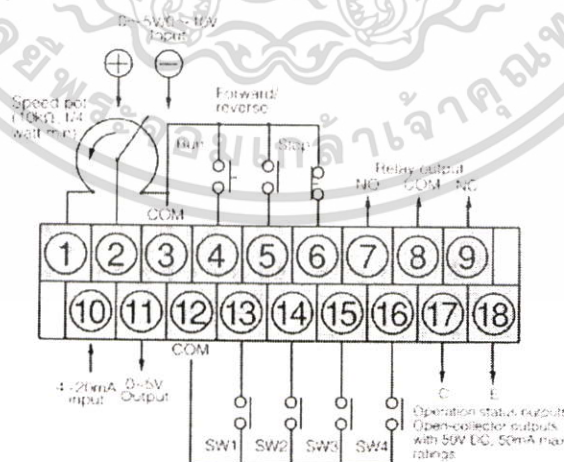
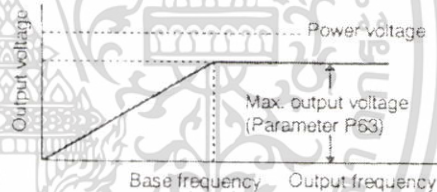
Mode No.	Controlled SW	Switch function							
		Mode data setting value							
		0	1	2	3	4	5	6	7
P20 →	SW1	Multi-step speed SW1	Reset input SW	Reset lockout SW	Jog function SW	Auxiliary stop input SW	Frequency setting signal switching SW	2nd characteristics selection SW	---
P21 →	SW2	Multi-step speed SW2	Reset input SW	Reset lockout SW	Jog function SW	Auxiliary stop input SW	Frequency setting signal switching SW	2nd characteristics selection SW	---
P22 →	SW3	Multi-step speed SW3	Reset input SW	Reset lockout SW	Jog function SW	Auxiliary stop input SW	Frequency setting signal switching SW	2nd characteristics selection SW	Frequency setting ▲ SW
P23 →	SW4	---	Reset input SW	Reset lockout SW	Jog function SW	Auxiliary stop input SW	Frequency setting signal switching SW	2nd characteristics selection SW	Frequency setting ▼ SW

MAX OUTPUT VOLTAGE (Parameter P63)

Used to set the max. output voltage.

Data setting range (V) : 0 • 1 ~ 500 (can be set in 1-units)
 * When "0" is set, the power voltage value will be output.

- Notes) 1. A voltage exceeding the supply voltage cannot be output.
 2. This setting does not affect the DC braking level.



Note: When setting the frequency with the 4 to 20mA signal, short circuit terminal Nos.2 and 10

รูปที่ ข.1 วงจรทั่วไปของการต่อสัญญาณควบคุมอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าที่ได้จากการจำลองการสร้างโมเดลคณิตศาสตร์ที่ได้จากการทดลองโดยใช้ ident ในฟังก์ชัน MATLAB ซึ่งจัดอยู่ในรูป State – space มีค่าดังต่อไปนี้
เมตริก A ขนาด 22×22 มีค่าเท่ากับ

	x1	x2	x3	x4	x5
x1	-0.0027642	0.00087443	-0.0064977	-0.00077018	0.0019536
x2	0.0029405	0.0041381	-0.02733	-0.0053743	0.044605
x3	-0.0031732	-0.025482	0.063883	0.026863	-0.087667
x4	0.0016768	0.0054927	-0.022588	-0.0043049	0.03013
x5	-0.0075331	-0.009687	0.046509	-0.012391	-0.039508
x6	-0.012468	-0.017092	0.099423	-0.0073709	0.23837
x7	-0.013168	-0.018941	0.1474	-0.031212	-0.13416
x8	-0.011164	-0.013057	0.078446	0.00067404	-0.059421
x9	-0.015213	-0.016149	0.11885	-0.02014	-0.08915
x10	0.0024961	0.0025995	-0.016916	0.00041903	0.01394
x11	0.0016988	0.0016229	0.0051242	0.012162	0.0094051
x12	-0.0093648	-0.01039	0.069583	-0.015936	-0.029057
x13	-0.0057258	-0.006228	0.043398	-0.016611	-0.054331
x14	-0.0089454	-0.0093769	0.067526	-0.012177	-0.043636
x15	0.0082639	0.011085	-0.067789	0.0054038	0.068663
x16	0.0091614	0.008783	-0.0878	0.016178	0.043316
x17	0.0013521	0.0003014	-0.0070298	-0.00020007	-0.0027971
x18	0.0096442	0.016381	-0.07959	0.0038232	0.066488
x19	0.0033477	0.0063145	-0.017461	-0.0046041	0.038766
x20	0.013459	0.017532	-0.10414	0.008901	0.10204
x21	-0.014	-0.01566	0.10004	-0.0083253	-0.096036
x22	-0.019475	-0.02976	0.12806	-0.0010049	-0.12965
	x6	x7	x8	x9	x10
x1	0.00017389	-0.005001	-0.0031293	0.0036053	0.0056286
x2	0.012774	0.051344	0.01872	0.031232	0.0659
x3	-0.033765	-0.17173	-0.086578	-0.046561	-0.10404

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

x4	0.014162	0.032518	0.0018739	0.0054681	0.018245
x5	-0.34355	0.044285	0.0050135	0.0058444	-0.090947
x6	-0.010794	-0.058722	-0.018493	-0.081881	-0.228
x7	-0.018293	-0.062822	-0.084812	0.14869	-0.07368
x8	-0.015059	0.0073197	-0.025404	-0.02159	-0.01825
x9	0.02492	-0.26642	-0.027289	-0.084483	-0.64186
x10	0.051295	-0.0032395	-0.025014	0.22537	-0.22534
x11	0.0031549	-0.026879	0.12422	-0.13944	0.051867
x12	-0.014839	-0.085726	-0.0035794	-0.07351	0.081934
x13	0.010084	0.039102	-0.0011513	-0.12608	-0.41267
x14	-0.012263	-0.12437	-0.021602	-0.011582	-0.18822
x15	0.014633	0.045607	-0.0021928	0.070439	0.17121
x16	0.0043712	0.0455	-0.031104	0.14175	-0.06335
x17	0.0010013	0.015673	0.015525	-0.025967	-0.036109
x18	0.02491	0.0432	-0.031246	0.057438	0.12089
x19	0.0012419	0.0092361	0.026394	-0.029083	0.13883
x20	0.011234	0.052626	0.040437	0.13401	0.21562
x21	-0.018352	-0.1252	-0.046607	-0.097822	-0.15024
x22	-0.028057	-0.035281	-0.052206	-0.071055	-0.18355
	x11	x12	x13	x14	x15
x1	-0.00038835	0.0043316	0.00018189	0.0029292	0.0015411
x2	0.00032051	0.046727	-0.12548	0.0019419	-0.0003845
x3	-0.0015971	-0.062113	0.29495	0.039287	0.0048658
x4	-0.019719	0.0098591	-0.038863	-0.0051878	0.00023738
x5	0.0020428	-0.050728	0.1759	0.0051822	-0.024461
x6	-0.021754	-0.076754	0.27173	-0.0016496	0.0066708
x7	0.038048	-0.0051992	0.072342	0.039119	0.026326
x8	-0.1052	-0.059234	0.13607	-0.020317	0.026614
x9	0.082364	-0.087131	0.50778	0.084108	-0.069536
x10	-0.16246	-0.22873	0.22778	0.1842	-0.068398

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

x11	-0.022787	0.050341	0.1237	0.12884	0.027471
x12	-0.038398	-0.037949	0.16344	0.048938	0.24929
x13	-0.17075	-0.12364	0.26215	0.33296	-0.015525
x14	-0.11601	-0.12076	-0.0033106	0.014145	-0.069249
x15	-0.019504	-0.19068	-0.23725	0.040951	0.0050008
x16	0.040548	0.11124	-0.33539	0.073236	0.1435
x17	-0.01289	0.047747	0.0020364	0.049568	-0.027543
x18	-0.019076	0.11786	-0.21627	0.020146	-0.0084041
x19	0.040672	0.038004	-0.12223	-0.027611	-0.053263
x20	0.04289	0.17626	-0.31447	0.077927	-0.012006
x21	0.0063027	-0.094803	0.25468	0.0026501	0.025599
x22	0.022396	-0.024818	0.40136	0.070159	-0.018888

	x16	x17	x18	x19	x20
x1	-0.00048725	-0.0021217	0.005795	0.00076275	0.0034339
x2	-0.026462	0.021914	0.079272	0.023218	0.037766
x3	0.072457	-0.0702	-0.15803	-0.028686	-0.070539
x4	-0.0055575	0.0091258	0.039406	-0.0087961	0.020458
x5	0.0082154	-0.015116	-0.17279	-0.030456	-0.087911
x6	0.049106	-0.050561	-0.17765	-0.0086097	-0.082465
x7	0.036837	-0.087074	-0.079046	-0.028285	-0.047978
x8	0.058271	-0.048321	0.015255	-0.065392	-0.027028
x9	0.047288	-0.044438	-0.39064	-0.013141	-0.24255
x10	0.2839	0.0090616	-0.15941	-0.13779	-0.10136
x11	-0.026254	0.00010534	-0.005454	-0.034149	0.010468
x12	-0.048277	-0.098317	-0.26499	-0.042026	-0.121
x13	0.36295	-0.035639	-0.17641	-0.075742	-0.069205
x14	-0.020458	-0.088709	-0.21059	-0.053772	-0.20801
x15	-0.19208	0.06729	0.1502	0.078387	0.10323
x16	-0.037581	0.097257	0.14985	-0.029414	-0.039083
x17	-0.048712	0.0036621	0.01058	-0.10253	0.035351

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

x18	-0.069076	0.055345	0.10623	-0.11452	0.007402
x19	0.075216	0.10809	0.20255	0.0098764	-0.18753
x20	0.023084	0.04376	0.24236	0.35054	0.12546
x21	0.10175	-0.059366	-0.17639	-0.14203	0.03121
x22	0.0028957	-0.073791	-0.21671	0.031165	-0.21243

	x21	x22
x1	-0.0013431	-0.00086877
x2	0.18532	0.21875
x3	-0.44474	-0.57247
x4	0.07288	0.092995
x5	-0.21601	-0.22298
x6	-0.36995	-0.50161
x7	-0.26674	-0.59306
x8	-0.22525	-0.30032
x9	-0.36761	-0.54185
x10	0.039229	-0.17157
x11	0.018376	0.052752
x12	-0.21599	-0.33966
x13	-0.12987	-0.3507
x14	-0.30641	-0.44078
x15	0.27728	0.39747
x16	0.10599	0.31633
x17	0.053963	0.029394
x18	0.28244	0.32501
x19	0.2767	0.044747
x20	0.21979	0.71837
x21	-0.40769	-0.23888
x22	-0.70613	-0.76002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมตริก B ขนาด 22 x 3 มีค่าเท่ากับ

	Vf	Vc	Vh
x1	-0.0042807	-0.0037811	0.0023797
x2	-0.014221	0.015699	0.013281
x3	0.023131	-0.051516	-0.03009
x4	-0.0068879	0.0032108	0.006801
x5	0.0092175	-0.0033027	-0.022911
x6	0.055914	0.00028994	-0.048207
x7	0.07378	-0.016345	-0.059265
x8	0.057712	-0.0082882	-0.042721
x9	0.051838	0.010741	-0.043722
x10	-0.0096815	0.010497	0.0023008
x11	-0.018865	0.009926	0.012142
x12	0.026497	0.0059768	-0.031266
x13	0.023117	-0.0037717	-0.021604
x14	0.045581	-0.0054002	-0.036331
x15	-0.055143	-0.0081873	0.040738
x16	-0.051937	-0.0014679	0.036815
x17	-0.0033873	0.0014728	0.0045555
x18	-0.03875	0.010715	0.032801
x19	-0.022676	0.0015789	-0.017765
x20	-0.070115	0.022623	0.053046
x21	0.053548	-0.00090292	-0.032112
x22	0.090199	-0.031496	-0.07398

เมตริก C ขนาด 2 x 22 มีค่าเท่ากับ

	x1	x2	x3	x4	x5
Temperature	-160.38	-191.68	-28.377	-113.57	-11.25
RH	332.28	-221.11	-82.292	-415.94	-22.518

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	x6	x7	x8	x9	x10
Temperature	9.636	-29.945	19.613	-7.9892	14.275
RH	22.075	-55.772	54.636	-11.489	19.224
	x11	x12	x13	x14	x15
Temperature	-103.58	57.706	-8.7175	-8.9554	0.48279
RH	-154.9	75.795	-4.8423	-19.421	3.6365

	x16	x17	x18	x19	x20
Temperature	-7.9103	288.09	-74.526	46.355	62.543
RH	-15.109	384.44	-79.385	58.237	79.033

	x21	x22
Temperature	-11.441	-17.069
RH	-16.781	-19.851

ค่าเริ่มต้นของโมเดลทางคณิตศาสตร์มีค่า $x(0)$ เท่ากับ

x1	-0.017264
x2	0.020317
x3	-0.1067
x4	0.010607
x5	-0.31842
x6	-0.22211
x7	0.25963
x8	0.41173
x9	-0.26568
x10	-0.056782
x11	-0.053462
x12	-0.54107
x13	-0.12841

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

x14	0.1673
x15	-0.0051103
x16	-0.19423
x17	0.35725
x18	0.054755
x19	-0.20014
x20	-0.57201
x21	-0.49991
x22	0.43314



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



http://www.me-nett.com

การประชุมวิชาการ
เครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกล
แห่งประเทศไทย ครั้งที่ ๑๗
 The 17th Conference on Mechanical Engineering Network of Thailand

๑๗ ตุลาคม ๒๕๔๖
 October 15-17, 2003

วิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
กรุงเทพฯ - ปราจีนบุรี
 KMITNB Bangkok - Prachinburi

บทคัดย่อ
Abstract



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TF077

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 17
15-17 ตุลาคม 2546 จังหวัดปราจีนบุรี

การจำลองทางทฤษฎีของระบบปรับอากาศแบบหลายตัวแปรที่เหมาะสมที่สุด

มงคล มงคลวงศ์โรจน์¹ วสิน สารวิทย์²

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

จ. ลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

Tel 02-3264197 Ext. 103 Email : kmmongko@kmitl.ac.th¹ s3062020@kmitl.ac.th²

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนองานวิจัยเกี่ยวกับการจำลองการควบคุมระบบปรับอากาศแบบหลายตัวแปรที่เหมาะสม ซึ่งจะทำการควบคุมทั้งอุณหภูมิ และ ความชื้นของอากาศภายในห้องปรับอากาศที่อุณหภูมิห้อง 77° และความชื้นที่ 0.0092 ปอนด์ไอน้ำต่อปอนด์อากาศแห้ง ตามลำดับ จาผลการเขียนสมการพลังงาน และ กฎทรงมวลจะได้โมเดลทางคณิตศาสตร์แบบไม่เชิงเส้น และได้ทำการแปลงสมการให้อยู่ในรูปแบบเชิงเส้นโดยอนุกรมเทเลอร์ งานวิจัยนี้ได้จำลองระบบปรับอากาศโดยใช้โปรแกรม MATLAB จำลองการควบคุมที่เหมาะสม โดยใช้วิธีลิเนียร์ควอดริคเร็กเทอริเซอร์หาค่าความเหมาะสมของการควบคุม ด้วยสัญญาณป้อนกลับที่เหมาะสม โดยการควบคุมอัตราไหลของลมเย็น และการควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์ให้ระบบปรับอากาศสามารถทำงานได้เหมาะสมที่สุด ผลการจำลองพบว่าความคลาดเคลื่อนนี้ได้ ประมาณ $1^{\circ}F$ และความชื้นประมาณ 0.01 ปอนด์ไอน้ำต่อปอนด์อากาศแห้ง



การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 17
15-17 ตุลาคม 2546 จังหวัดปทุมธานี

การจำลองทางทฤษฎีของระบบปรับอากาศแบบหลายตัวแปรที่เหมาะสมที่สุด Theoretical Simulaton of the optimal Multi-Variables Air Conditioning Systems

มงคล มงคลวงศ์โรจน์¹ วสิน สารวิทย์²

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถ. ฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

Mongkol Mongkolwongroj¹ Wasin Sarawit²

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Chalongkung Road, Ladkrabang Bangkok 10520 Thailand

Tel 02-3264197 Ext. 103 Email : kmmongko@kmitl.ac.th¹ s3062020@kmitl.ac.th²

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนองานวิจัยเกี่ยวกับการจำลองการควบคุมระบบปรับอากาศแบบหลายตัวแปรที่เหมาะสม ซึ่งจะทำให้การควบคุมทั้งอุณหภูมิ และความชื้นของอากาศภายในห้องปรับอากาศที่อุณหภูมิห้อง 77 °F และความชื้นที่ 0.0092 ปอนด์ไอน้ำต่อปอนด์อากาศแห้ง ตามลำดับ จากการเขียนสมการพลังงาน และกฎทรงมวลจะได้โมเดลทางคณิตศาสตร์แบบไม่เป็นเชิงเส้น และได้ทำการแปลงสมการให้อยู่ในรูปแบบเชิงเส้นโดยอนุกรมเทเลอร์ งานวิจัยนี้ได้จำลองระบบปรับอากาศโดยใช้โปรแกรม MATLAB จำลองการควบคุมที่เหมาะสม โดยใช้วิธีลีสเียนควอดราติกเรกเกอเรเตอร์หาค่าความเหมาะสมของการควบคุม ด้วยสัญญาณป้อนกลับที่เหมาะสมโดยการควบคุมอัตราการไหลของลมเย็น และการควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์ ให้ระบบปรับอากาศสามารถทำงานได้เหมาะสมที่สุด ผลการจำลองพบว่าความคลาดเคลื่อนที่ได้ประมาณ 1 °F และความชื้นประมาณ 0.01 ปอนด์ไอน้ำต่อปอนด์อากาศแห้ง

Abstract

This paper presented the optimal control of multivariable air conditioning system using linear quadratic regulator. The room temperature and humidity are controlled to maintain at 77 °F and 0.0092 lb vapor per lb dry air. The nonlinear mathematical model was formulated using energy and continuity equations. The linear model can be obtained using Taylor's series approximation method. Linear quadratic regulator performance index was implemented to regulate the flow rate of air supply and the refrigerant flow rate for optimal control of the air conditioning system by using MATLAB.

1. บทนำ

การใช้พลังงานจากอุปกรณ์ของระบบปรับอากาศ และระบายอากาศในเชิงอุตสาหกรรม และทางด้านอาคารพาณิชย์จะอยู่ที่ 50 % ของพลังงานที่ใช้ทั่วโลก [1] ความเจริญก้าวหน้าของเทคโนโลยีทางด้าน Microprocessor และผลการพัฒนาวิธีการควบคุมใหม่ ๆ ของระบบ HVAC (Heating , ventilating , and air conditioning) ก็เพื่อที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพของการใช้พลังงานของกระบวนการ การทำงานของอุปกรณ์ HVAC ในอาคารพาณิชย์และอุตสาหกรรมซึ่งยังคงถือว่าไม่มีประสิทธิภาพ ตลอดจนมีการใช้พลังงานอย่างสิ้นเปลือง

การควบคุมระบบ HVAC ออกเป็น ON / OFF Controller (thermostats) และ Proportional Integral Derivative (PID) ซึ่งยังคงเป็นชนิดของตัวควบคุม ที่เป็นที่ยอมรับใช้อย่างมาก เพราะว่ามีราคาต่ำ อย่างไรก็ตามในระยะยาวตัวควบคุมเหล่านี้จะแพงขึ้น เพราะว่าพวกมันจะทำงานได้ที่ประสิทธิภาพของพลังงานต่ำมาก

ปัจจัยหนึ่งที่สำคัญ และ มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศก็คือ ระบบ HVAC จะถือกำหนดตั้งค่าการทำงานไว้ที่ภาวะทางการออกแบบ ในขณะที่ภาวะทางความร้อนจริง ๆ นั้นจะมีผลต่อระบบตลอดเวลา ดังนั้นการควบคุมจะต้องคำนึงถึงภาวะที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เพื่อว่าจะสามารถสามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น และรักษาความสบายได้ดีกว่าการควบคุมแบบธรรมดา

บทความนี้จะกล่าวถึง การควบคุมที่เหมาะสมของปริมาณลมแปรเปลี่ยนของระบบ HVAC ซึ่งจะสามารถคงไว้ที่ภาวะความสบายของพื้นที่ปรับอากาศภายใต้ภาวะทางความร้อนสภาวะหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุประสงค์ที่ต้องการคือการออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นที่เหมาะสมโดยวิธี Linear quadratic regulator ตัวควบคุมที่จะให้ได้มาซึ่งวัตถุประสงค์นี้คือการประเมินภาวะที่เหมาะสมต่อระบบ โดยใช้การประมาณการควบคุมเงื่อนไขของความสบายในพื้นที่ปรับอากาศ บทความนี้จะแบ่งเนื้อหาออกเป็น ส่วน ๆ ดังนี้

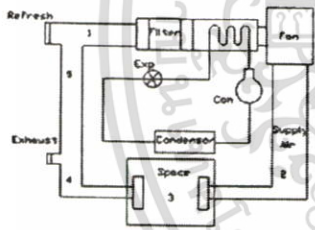
ส่วนเนื้อหา จะกล่าวถึง โมเดลทางคณิตศาสตร์ของระบบปรับอากาศ การออกแบบสภาวะและ การประมาณภาวะทางความร้อน ผลของการควบคุมของระบบเปิด วิธีที่ใช้ในการควบคุมที่เหมาะสมของระบบปรับอากาศ และผลจากการจำลองโมเดลทางคณิตศาสตร์

2.เนื้อหา

2.1 สมการทางคณิตศาสตร์

2.1.1 รายละเอียดและส่วนประกอบของระบบ

พิจารณาระบบปรับอากาศ และ ระบายอากาศแบบเขตเดียวดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งจะประกอบด้วย ชุดเครื่องของระบบปรับอากาศ พัดลมหมุนเวียน พื้นที่ปรับอากาศ เครื่องทำความเย็นนี้ จะจัดส่งสารทำความเย็นไปยังคอยล์ ทำความเย็นนอกจากนี้ยังมีท่อลม ตัวปรับปริมาณลม และส่วนผสมอากาศ ในการพิจารณานี้ เราสมมติว่าระบบทำงานในรูปแบบของระบบปรับอากาศ



รูปที่ 1

พื้นฐานการดำเนินการของระบบในส่วนของการทำความเย็นเป็นดังนี้

1. สมมติให้ปริมาณอากาศ 25% ของอากาศบริสุทธิ์ถูกนำเข้ามาในระบบโดยจะผสมกับปริมาณ อากาศ 75% ของอากาศหมุนเวียน
2. อากาศที่ถูกผสม (ตำแหน่งที่ 1) จะเข้าสู่ คอยล์ทำความเย็นก่อนที่จะถูกปรับสภาพอากาศ
3. อากาศที่ออกจากคอยล์ ที่ถูกปรับสภาพเรียบร้อยแล้ว และจะเข้าสู่พื้นที่ปรับอากาศซึ่งจะถูกเรียกว่า ลมส่ง(ตำแหน่งที่ 2)
4. ลมส่งที่เข้าสู่พื้นที่ปรับอากาศ จะจัดการหักล้างความร้อนสัมผัส (ความร้อนทางปฏิบัติ) และ ความร้อนแฝง (ความชื้นสัมผัส) ที่กระทำต่อระบบ

5. สุดท้ายอากาศในพื้นที่ปรับอากาศจะถูกดูดออก โดยพัดลม (ตำแหน่งที่ 4) โดยมีปริมาณลม 75 % ของอากาศที่ถูกดูดออกนี้จะกลับเข้าหมุนเวียนใหม่โดยส่วนที่เหลือจะถูกทิ้งออกจากระบบ

ตัวควบคุมจะรักษาอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของพื้นที่ปรับอากาศไว้ที่ จุดตั้งค่าคือ 77 ° F และ 55% ตามลำดับการควบคุม ข้อมูลที่เข้ามาในระบบคือ ความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ และ อัตราการหมุนเวียนของอากาศที่ใช้ปรับความเร็วของพัดลม ซึ่งค่าเหล่านี้จะมีผลต่อลักษณะของระบบ HVAC ดังนี้

- ระบบการปรับปริมาณลมแปรเปลี่ยน (VAV) จะส่งผลในการใช้พลังงานที่ต่ำที่สุด

- ระบบการปรับความเร็วรอบของ Compressor จะช่วยลดพลังงานของมอเตอร์ในช่วงภาระน้อยๆ และขจัดพลังงานไฟฟ้าในขณะคอมเพรสเซอร์ปฏิบัติงาน

สิ่งต่าง ๆ เหล่านี้จะครอบคลุมขอบเขตของระบบควบคุมสำหรับระบบ HVAC

โดยเริ่มตั้งแต่วิกฤตการณ์น้ำมันเมื่อปี 1970 ก็ได้มีผู้ศึกษาการเปลี่ยนแปลง และเทคนิคการควบคุมที่เหมาะสมของการทำความร้อนและความเย็นภายในอาคาร โดยแสงอาทิตย์ โดยตัวควบคุมได้ถูกออกแบบบนพื้นฐานของการทำงานเชิงเส้นรอบ ๆ จุดทำงาน ต่อมาก็ได้มีการออกแบบ ปรับเปลี่ยนโครงสร้างการควบคุมของระบบ HVAC โดยเทียบจากรูปแบบของความรูสึกจากผู้ใช้ ซึ่งต่อมาได้มีผู้ทำการออกแบบโดยแยก linear quadratic ออกเป็น 2 อินพุต , 2 เอาพุท ซึ่งประกอบไปด้วยเครื่องทำความร้อนและเครื่องทำความเย็น ซึ่งได้รูปแบบการระบบปรับอากาศเป็นแบบเชิงเส้น

จะเห็นได้ว่างานวิจัยต่าง ๆ ข้างต้นนี้มีพื้นฐานจาก linearized Mathematical Model ของ HVAC plant และตัวควบคุมได้ถูกออกแบบโดยใช้ทฤษฎีของ linear quadratic regulator

งานวิจัยนี้จะกล่าวถึงพฤติกรรมที่มีอยู่อย่างถาวรคือแบบไม่เป็นเชิงเส้นให้เป็นแบบเชิงเส้น โดยวิธี linearized Mathematical Model เพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณาที่สภาวะหนึ่งที่เหมาะสมในตัวควบคุมระบบปิด จะได้ช่วยลดผลงานภาวะความร้อนทั้งอุณหภูมิและความชื้นของพื้นที่ปรับอากาศโดยใช้ทฤษฎี linear quadratic regulator

วัตถุประสงค์ก็เพื่อที่จะออกแบบระบบHVAC ให้สามารถคงไว้ซึ่งความสบายของพื้นที่ปรับอากาศ โดยปราศจากการสูญเสียและสิ้นเปลืองพลังงานซึ่งถือว่าเป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบ HVAC ในเชิงอุตสาหกรรม และการพาณิชย์

2.2 สมการของระบบปรับอากาศ

สมการ ดิฟเฟอเรนเชียล จะอธิบายถึงพฤติกรรมทางด้านพลศาสตร์ของระบบHVAC ในรูปที่ 1 ซึ่งสามารถหาได้จากหลักการอนุรักษ์พลังงานและกฎทรงมวล [1] ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\dot{T}_3 = \frac{f}{V_s} (T_2 - T_3) - \frac{f \times h_{fg}}{C_p V_s} (w_s - w_3) + \frac{1}{\rho V_s C_p}$$

$$\dot{w}_3 = \frac{f}{V_s} (w_2 - w_3) + \frac{M_0}{\rho V_s}$$

$$\begin{aligned} \dot{T}_2 = & \frac{f}{V_{he}} (T_3 - T_2) + 0.25 \frac{f}{V_{he}} (T_0 - T_3) \\ & - \frac{f \times h_{ref}}{C_p V_{he}} \left((0.25w_0 - 0.75w_3) - w_s \right) - \frac{nV\Delta h_{ref}}{C_p V_{he}} \end{aligned}$$

อยู่ในรูปของ linearized โดย Taylor's series ณ จุดอ้างอิงที่สถานะหนึ่ง แล้วจัดสมการอยู่ในรูป state space จะได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu \\ y &= cx + Du \end{aligned}$$

เนื่องจากใช้ Taylor's series ที่จุดสมดุล [3] ในการแก้สมการของระบบ สมการที่ได้จะอยู่ในรูปของค่า

$$\begin{aligned} \frac{d\Delta x(t)}{dt} &= A\Delta x(t) + B\Delta u(t) \\ \Delta y(t) &= C\Delta x(t) + D\Delta u(t) \end{aligned}$$

(1) โดยมีค่า $\Delta x(t) = x(t) - x_0(t)$, $\Delta u(t) = u(t) - u_0(t)$ และค่า

A , B , C และ D เท่ากับโดย

$$A = \begin{bmatrix} -u_{1s} \alpha_1 60 & \alpha_2 60 u_{1s} & u_{1s} \alpha_1 60 \\ 0 & -u_{1s} \alpha_1 60 & 0 \\ u_{1s} \beta_1 60 - u_{1s} \beta_1 15 & -u_{1s} \beta_3 45 & -u_{1s} \beta_1 60 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} \alpha_1 60 X_{3s} - \alpha_1 60 X_{1s} - \alpha_2 60 w_s + \alpha_2 60 X_{2s} & 0 \\ \alpha_1 60 w_s - \alpha_1 60 X_{2s} & 0 \\ b_{31} & b_{32} \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$D = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

สมการข้างต้นได้มาจากข้อสมมติดังนี้

1. ประพุดติดเป็นก๊าซในอุดมคติ
2. การผสมกันเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์
3. เป็นขบวนการความดันคงที่
4. ไม่สนใจการเก็บความร้อนของผนัง
5. ไม่สนใจการซึมผ่านของอากาศเข้าและออก
6. ไม่สนใจการสูญเสียความร้อนระหว่างส่วนประกอบ
7. ไม่สนใจผลชั่วขณะของการไหลในตัวแบ่งแยกและตัวผสม

จากสมการ (1) กำหนดให้

$$u_1 = f \quad u_2 = N \quad x_1 = T_3 \quad x_2 = w_3$$

$$x_3 = T_2 \quad y_1 = T_3 \quad y_2 = w_3$$

และกำหนดให้ตัวแปรดังนี้

$$\alpha_1 = \frac{1}{V_s} \quad \alpha_2 = \frac{h_{fg}}{C_p V_s}$$

$$\alpha_3 = \frac{1}{\rho C_p V_s} \quad \alpha_4 = \frac{1}{\rho V_s} \quad \beta_1 = \frac{1}{V_{he}}$$

$$\beta_2 = \frac{1}{C_p V_{he}} \quad \beta_3 = \frac{h_{ref}}{C_p V_{he}}$$

ดังนั้นสมการ (1) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$\begin{aligned} \dot{X}_1 &= u_1 \alpha_1 60 (X_3 - X_1) - u_1 \alpha_2 60 (w_s - X_2) \\ &+ \alpha_3 (Q_0 - h_{fg} M_0) \\ \dot{X}_2 &= u_1 \alpha_1 60 (w_s - X_2) + \alpha_4 M_0 \\ \dot{X}_3 &= u_1 \beta_1 60 (X_1 - X_3) + u_1 15 \beta_1 (T_0 - X_1) \\ &- u_1 \beta_3 60 \left((0.25w_0 + 0.75X_2) - w_s \right) \\ &- \beta_2 n V u_2 60 \Delta h_{ref} \end{aligned}$$

$$y_1 = X_1$$

$$y_2 = X_2 \tag{ 2 }$$

สำหรับกฎการควบคุมและ จุดประสงค์ของการออกแบบรูปแบบทางคณิตศาสตร์ของ HVAC เป็นดังสมการ (2) ซึ่งจะเขียน

ค่าเชิงตัวเลขที่ถูกใช้ในการจำลองเป็นดังตารางที่ 1 และเงื่อนไขหรือสภาวะการทำงานเป็นดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1

ค่าของตัวแปรในระบบ

$\rho = 0.74 \text{ lb/ft}^3 \quad (1.19 \text{ kg/m}^3)$
$C_p = 0.24 \text{ Btu/lb} \cdot \text{F} \quad (1.005 \text{ kJ/Kg} \cdot \text{C}^\circ)$
$f_{ref} = 400 \text{ cfm} \quad , \quad f_{oref} = 100 \text{ cfm}$
$t_f = 24 \text{ hours}$
$T_{2ref} = 55^\circ \text{F} \quad , \quad T_{3ref} = 77^\circ \text{F}$
$w_s = 0.0070 \text{ lb/lb} \quad , \quad w_{3ref} = 0.0092 \text{ lb/lb}$
$V_s = 45 \text{ ft}^3$
$V_{he} = 2.5 \text{ ft}^3$

ตารางที่ 2

เงื่อนไขของระบบ HVAC

$X_1 = 77^\circ \text{F}$	$X_2 = 0.0092 \text{ lb/lb}$
$X_3 = 55^\circ \text{F}$	$w_0 = 0.018 \text{ lb/lb}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$T_0 = 85^\circ F$	$w_s = 0.0070 \text{ lb/lb}$
$u_1 = 400 \text{ cfm}$	$u_2 = 3000 \text{ rpm}$

2.2 การควบคุมระบบเปิด

สมการของระบบปรับอากาศค่าที่ถูกใช้ในการจำลองจะมีค่าดังตารางที่ 1 และ ตารางที่ 2 รวมถึงค่าคงที่ดังต่อไปนี้

$$\Delta h_{ref} = 67 \text{ Btu/lbm}$$

ผลต่างเอนทาลปีของน้ำยาทำความเย็น R-12 ที่ $10^\circ F$

$$h_{fg} = 1049.6 \text{ Btu/lbm}$$

ค่าเอนทาลปีของไอน้ำประมาณที่อุณหภูมิ $77^\circ F$

$$h_w = 23.07 \text{ Btu/lbm}$$

ค่าเอนทาลปีของน้ำสภาวะของเหลวที่อุณหภูมิ $55^\circ F$

สมการทางคณิตศาสตร์ของระบบปรับอากาศนี้ เป็นระบบไม่เชิงเส้น ซึ่งสามารถจัดการเป็นระบบเชิงเส้น ได้โดยวิธี

Linearization รอบ ๆ จุดที่กำหนดของการปฏิบัติงานดังตารางที่ 2 และแทนค่า ที่ได้ลงใน state space จะได้

$$\dot{x} = Ax + Bu \tag{4}$$

โดยเมตริก A และ B มีค่าดังนี้

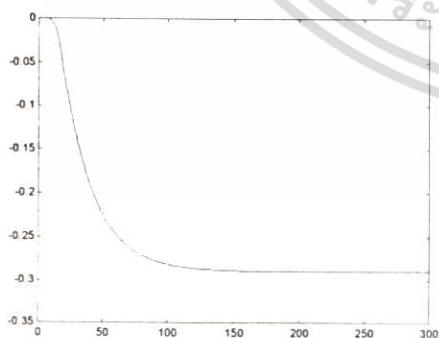
$$A = \begin{bmatrix} -5.33 \times 10^2 & 2.3546 \times 10^2 & 5.33 \times 10^2 \\ 0 & -5.33 \times 10^2 & 0 \\ 7.2 \times 10^3 & -6.921 \times 10^2 & -9.6 \times 10^2 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} -1.6383 \times 10^4 & 0 \\ -2.933 \times 10^{-1} & 0 \\ 6.2585 \times 10^2 & -7.97 \times 10^2 \end{bmatrix}$$

เอาพู่ของระบบโดยมีเมตริก C เป็น

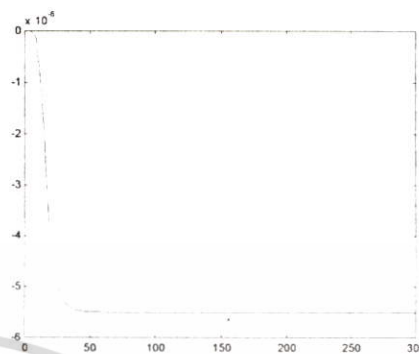
$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

ค่าผลตอบสนองของผลต่างของอุณหภูมิ
ผลต่างอุณหภูมิ $^\circ F$



เวลา (วินาที)
รูปที่ 2 (ก)

ผลตอบสนองของค่าผลต่างความชื้น
ผลต่างความชื้น (lb/lb)



เวลา (วินาที)
รูปที่ 2 (ข)

รูปที่ 2 (ก) (ข) แสดงค่าผลต่างของค่าตอบสนองที่ได้ของระบบ state space ของผลต่างอุณหภูมิระบบ ณ จุดอ้างอิง

3.ความเหมาะสมในการควบคุม

สิ่งที่เป็นตัวแสดงในการจัดการระบบที่ออกแบบหนึ่ง ๆ จากระบบที่ได้อธิบายไปโมเดลของระบบจะสามารถจัดอยู่ในรูปโมเดลทางคณิตศาสตร์ดังนี้

$$\dot{x}(t) = f(x, u, t)$$

โดย $x(t) \in R^n$ คือ เวกเตอร์ของ state ภายใน และ $u(t) \in R^m$ คือ เวกเตอร์ของสัญญาณป้อนควบคุม ซึ่งจะนำไปใช้ในการควบคุมระบบ ร่วมกับสมการวัตถุประสงค์เพื่อที่จะเลือกค่าของระบบการควบคุม

$$J(t_0) = \phi(x(T), T) + \int_{t_0}^T L(x(t), u(t), t) dt$$

โดย

$[t_0, T]$ คือ ช่วงเวลาที่สนใจ

$\phi(x(T), T)$ คือ ฟังก์ชันที่ได้ ณ เวลาสุดท้ายที่สนใจ

$L(x(t), u(t), t)$ คือ ค่าที่ถูกเลือกขึ้นอยู่กับสมการวัตถุประสงค์

ปัญหาในความเหมาะสมในการควบคุมคือหาค่าอินพุต $u(t)$ ในช่วงเวลา $[t_0, T]$ แล้วเลือกหาค่าที่เหมาะสมมาใช้ในระบบเพื่อหาค่าทิศทางความเป็นไปของ $x(t)$ สิ่งที่เป็นตัวกำหนดในการเลือกไปใช้กับระบบควบคุม [4] เพื่อที่จะออกแบบที่มีการใช้พลังงานน้อย และ ได้ใช้แสดงอยู่ในรูปของ linear quadratic regulator คือ

$$J = \frac{1}{2} \int_{t_0}^T (x^T Qx + u^T Ru) dt$$

(5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย

Q คือ ค่าเมตริกที่ใช้กำหนดค่าของ state

R คือ ค่าเมตริกที่ใช้กำหนดค่าของสัญญาณควบคุม

สมการ Ricati คือ

$$-\dot{S} = A^T S + SA - SBR^{-1}B^T S + Q, \quad t \leq T \quad (6)$$

สำหรับความเหมาะสมในการพิจารณาตัดสินใจในสมการ Ricati (6) ในช่วงเวลาที่พิจารณาเพื่อจะนำไปหาค่าป้อนกลับ ในที่นี้สามารถคำนวณได้โดย

$$K = R^{-1}B^T S \quad (7)$$

ผลสุดท้ายตัวแปรที่จัดการการควบคุม $u(t)$ ถูกนำไปใช้กับระบบโดย

$$u(t) = -Kx(t) \quad (8)$$

4.การวิเคราะห์ผลของการจำลอง

วัตถุประสงค์ของความเหมาะสมในการควบคุมระบบ คือ พิจารณา ค่าป้อนกลับที่เหมาะสม ซึ่งสามารถเลือกได้จากการใช้รูปแบบ linear quadratic regulator ดังนั้นค่าที่เลือกป้อนกลับนั้นขึ้นอยู่กับทางเลือกสัญญาณควบคุม และเมตริกของ state

Q และ R ตามลำดับ

ค่าเมตริก Q และ R ที่ถูกเลือกเป็น

$$Q = \begin{bmatrix} 20 & 0 & 0 \\ 0 & 20 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

ผลตอบสนองของระบบเอาพุทและค่าตัวแปร state รวมถึงสัญญาณผลต่างสัญญาณอินพุทที่สภาวะอ้างอิง unit step $r(t)$ แสดงดังรูปที่ 3 จากทางเลือกค่านี้จะได้อ่าป้อนกลับที่คำนวณได้เป็น

$$K1 = \begin{bmatrix} 4.712 \times 10^{-1} & 1.0718 \times 10^3 & 5.8285 \times 10^{-2} \\ -2.2796 & -7.0328 \times 10^3 & -1.6686 \times 10^{-1} \end{bmatrix}$$

จากนั้นได้ทำการเลือกค่า Q และ R เพื่อให้เปรียบเทียบค่าผลตอบสนองที่ได้ของผลต่างสัญญาณเอาพุทของอุณหภูมิและความชื้น ซึ่งได้ทำการเลือกค่าดังนี้

$$Q = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0.001 \end{bmatrix}$$

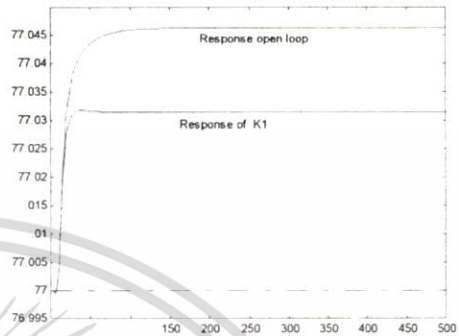
$$R = \begin{bmatrix} 0.2 & 0 \\ 0 & 0.2 \end{bmatrix}$$

ผลตอบสนองของระบบเอาพุทและค่าตัวแปร state รวมถึงสัญญาณผลต่างอินพุท unit step $r(t)$ แสดงดังรูปที่ 4 จากทางเลือกค่านี้จะได้อ่าป้อนกลับที่คำนวณได้เป็น

$$K2 = \begin{bmatrix} 1.2859 \times 10^{-1} & 3.4023 \times 10^2 & 7.4 \times 10^{-3} \\ -6.9867 \times 10^{-1} & -2.399 \times 10^3 & -3.8957 \times 10^{-2} \end{bmatrix}$$

ผลตอบสนองของอุณหภูมิ

อุณหภูมิ °F

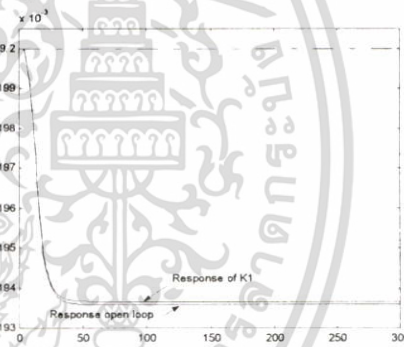


เวลา (วินาที)

รูป 3 (ก)

ผลตอบสนองของความชื้น

ความชื้นสัมบูรณ์ lb/lb



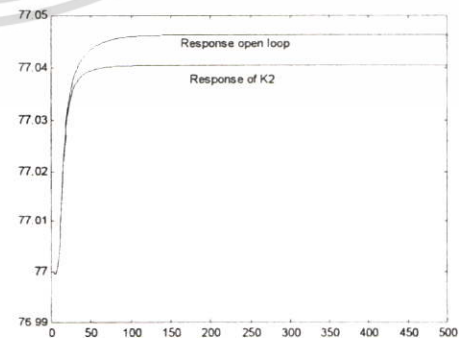
เวลา (วินาที)

รูปที่ 3 (ข)

รูปที่ 3 (ก) (ข) ผลตอบสนองของค่าป้อนกลับ K1

ผลตอบสนองของอุณหภูมิ

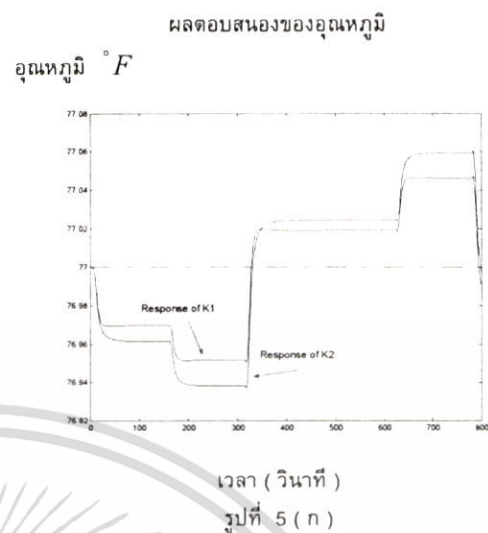
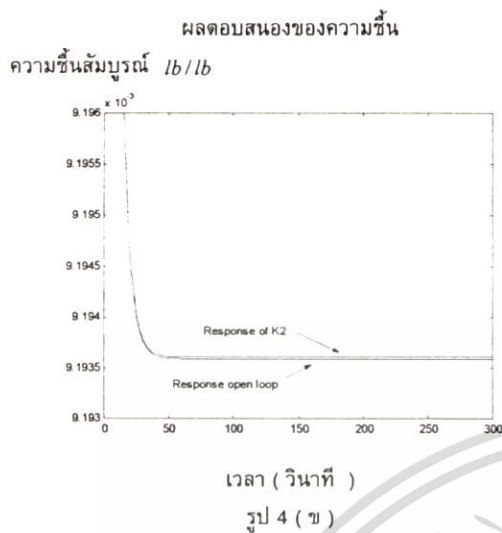
อุณหภูมิ °F



เวลา (วินาที)

รูป 4 (ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 (ก) (ข) ผลตอบสนองของค่าป้อนกลับ K2

ค่าที่ได้จากรูปที่ 3 เหมาะสมเนื่องจากเวลาที่ใช้ในการควบคุมใช้เวลาประมาณคือ ที่อุณหภูมิประมาณ 70 วินาทีและความชื้นประมาณ 60 วินาที MATLAB ถูกนำมาใช้ในการจำลองโมเดลนี้ ผลที่ได้ดัง รูปที่ 4 ซึ่งเปรียบเทียบกับรูปที่ 3 คือ ระบบในรูปที่ 4 จะลู่เข้าค่าผลต่างเร็วกว่า ระบบในรูปที่ 3 นั่นก็คือ เวลาที่ใช้ในการควบคุมระบบนั้นเร็วกว่าและเหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในการควบคุมนั่นเองดังรูปที่ 5

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้ที่ให้การช่วยเหลือในการทำบทความนี้

6.บทสรุป

บทความนี้จะกล่าวถึง ตัวควบคุมระบบปรับอากาศที่เหมาะสม โดยวิธี Linear quadratic regulator เพื่อจะนำไปหาค่าป้อนกลับที่เหมาะสมไปใช้ จะทำให้เกิดประโยชน์ในด้านการประหยัดพลังงาน จากการควบคุมพัดลมของลมจ่าย และมอเตอร์ของคอมเพรสเซอร์ ให้มีการทำงานอย่างต่อเนื่องของระบบปรับอากาศนี้ รวมถึงอุณหภูมิ และความชื้นในห้องนั้นเป็นไปตามการควบคุมที่กำหนดไว้ด้วย ด้วยเวลาการควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นที่เหมาะสม จากการจำลองพบว่า การตอบสนองจะใช้เวลาประมาณ 50 วินาที ก่อนถึงสภาวะคงตัว



รูปที่ 5 (ก) (ข) แสดงผลตอบสนองของสัญญาณป้อนเข้าที่จุดอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

- [1] M.S. Imbabi : " Computer validation of scale Model tests for building energy simulation " ,Int J. Energy Res., vol.14 ,pp 727 –736 ,1990
- [2] Betzaida Arguello-Serrano, Miguel Velez-Reyes, "Nonlinear Control of a Heating, Ventilating and Air Conditioning System with Thermal Load Estimation" , IEEE Transactions on control systems technology, Vol. 7, No 1 January 1999, pp. 56-63.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [3] Graham C. Goodwin, Stefan F. Graebe, Mario E. Salgado, "Control System Design ", New Jersey, Prentice Hall.
- [4] Frank L. Lewis, " Applied Optimal Control & Estimation", Digital Design & Implementation, New Jersey, Prentice Hall.
- [4] John J. D'Azzo , Constantine H. Houpis, " Linear Control System Analysis and design", Conventional and modern, Electrical Engineering Series, Mc Graw Hill.
- [5] Sigurd Skogestad, Ian Postlethwaite, "Multivariable Feedback Control", Analysis and design, John Wiley & Son.
- [6] C.Henry Edwards, David E. Penny, "Differential Equations & Linear Algebra, Prentice Hall.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ICASE SAE CAA AAI

ICCAS 2003
International Conference on Control, Automation and Systems

October 22-25, 2003
Gyeongju TEMF Hotel, Gyeongju, KOREA

ICASE The Institute of Control, Automation and Systems Engineers, KOREA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Simulation of the Air Conditioning System Using Fuzzy Logic Control

M.Mongkolwongroj , and W. Sarawit

Electro – Mechanical Engineering Lab, ReCCIT ,
Faculty of Engineering,
King Mongkut's Institute Of Technology Ladkrabang , Thailand
(Tel : +662 3264197 Ext. 103; E-mail: kmmongko@kmitl.ac.th)

Abstract: Fuzzy logic control has been widely implemented in air conditioning and ventilation systems which has uncertainty or high robust system. Since the dynamic behaviors of the systems contain complexity and uncertainty in its parameters , several fuzzy logic controllers had been implemented to control room temperature in the field of air conditioning system. In this paper, the fuzzy logic control has been developed to control room temperature and humidity in the precision air conditioning systems. The nonlinear mathematical model was formulated using energy and continuity equations. MATLAB was used to simulate the fuzzy logic control of the multi-variable air conditioning systems. The simulation results show that fuzzy logic controller can reduce the steady-state errors of the room temperature and relative humidity in multivariable air conditioning systems. The offset are less than 0.5 degree Celsius and 3 percent in relative humidity respectively under random step disturbance in heating load and moisture load respectively

Keywords: Fuzzy Logic Control, Multivariable Control System, Air Conditioning System, HVAC

1. INTRODUCTION

The consumption of energy in heating, ventilating, and air conditioning (HVAC) equipment in industrial and commercial buildings constitutes 50 % of the world energy consumption [1]. Therefore, an HVAC system is essential to a building in order to keep occupant comfortable. However , many HVAC systems do not maintain a uniform temperature and humidity throughout the interior areas of building. In a modern intelligent building a sophisticate control system should provide excellent environmental control.

Over the last few year, fuzzy logic control has been widely applied for handling the system which has uncertainty or high robust system. Since the dynamic behaviors of the systems contain complexity and uncertainty in its parameters, several fuzzy logic controllers have been implemented to control room temperature only in the field of air conditioning system. [3,4]

In this paper, the fuzzy logic control has been developed to control room temperature and humidity in the precision air conditioning systems. The output manipulating variable are flow rate of refrigerant and air supply flow rate. The nonlinear mathematical model was formulated using energy and continuity equations [2]. MATLAB was used to simulate the fuzzy logic control of the multivariable air conditioning systems.

2. PLANT MODEL

2.1 Description

We consider the single-zone air conditioning system shown in Fig. 1. It consists of the following components: air conditioner , a circulating air fan , the thermal space , ductwork , dampers and mixing air components. In our system, we assume the system is operating on the cooling mode.

The assumptions of the simulation of air conditioning system in cooling mode are as follows.

- First, 25 % of fresh air is allowed into the system and it gets mixed with 75 % of the circulated air (position 5) at the flow mixer.

- Second, air mixed at the flow mixer (position 1) enters the heat exchanger where it gets cooling.
- Third, the cooling air enter the fan coil into thermal space. It is called supply air (position 2)
- Fourth, the supply air enters the thermal space to offset the sensible (actual heat) and latent (humidity) heat thermal loads acting upon the system.
- Finally, the air in thermal space is drawn through a fan (position 4), 75 % of this air returned and the rest is exhausted from the system.

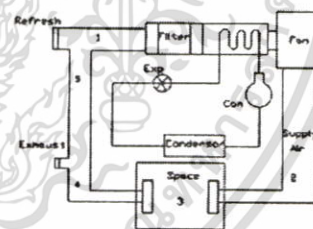


Fig. 1 HVAC plant

For design , the controller maintains temperature and relative humidity at set point 25 °C and 33 % RH (relative humidity) respectively. This controller input for system are the regulate speed of compressor which vary refrigerant from air conditioning system to cooling coil and the circulating air flow rate using the variable speed fan These set of control actions characterize the air conditioning system as :

- A variable air volume system (VAV) that results in the lowest energy.
- In regulated speed of compressor that can save energy during starting the motor every time in operation.

Our objective is to design an air conditioning system aiming at maintaining comfort conditions within a thermal space, without energy waste. The need to achieve the proposed objective is justified by the drawbacks of current HVAC control methodologies. The importance of the problem at

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

hand lies on the impact that energy efficient HVAC systems can have on industrial and commercial energy consumption.

2.2 Plant Model

The differential equations describing the dynamic behavior Of the air conditioning system as shown in Fig.1 can be derived from energy equation and mass conservation equation as :

$$\dot{T}_3 = \frac{f}{V_s}(T_2 - T_3) - \frac{f \times h_{fg}}{C_p V_s}(w_s - w_3) + \frac{1}{\rho V_s C_p}(Q_0 - h_{fg} M_o)$$

$$\dot{w}_3 = \frac{f}{V_s}(w_2 - w_3) + \frac{M_o}{\rho V_s}$$

$$\dot{T}_2 = \frac{f}{V_{he}}(T_3 - T_2) + 0.25 \frac{f}{V_{he}}(T_o - T_3)$$

$$- \frac{f \times h_{ref}}{C_p V_{he}} \left((0.25w_o - 0.75w_3) - w_s \right) - \frac{nV\Delta h_{ref}}{C_p V_{he}} \quad (1)$$

where T_o = Temperature of outdoor air
 T_2 = Temperature of supply air
 T_3 = Temperature of thermal space
 f = Volumetric flow rate of air
 h_{fg} = Enthalpy of water vapor
 ρ = Air mass density
 V_s = Volume of thermal space
 C_p = Specific heat of air
 w_s = Humidity ratio of supply air
 w_3 = Humidity ratio of thermal space
 M_o = Moisture load
 V_{he} = Volume of heat exchanger
 Δh_{ref} = Different Enthalpy of refrigerant
 V = Volume space of compressor.

Assumptions

1. Ideal gas with perfect mixing
2. neglected wall and thermal loss between components
3. neglected infiltration and exfiltration effects

The numerical values used in the simulation are given in Table. 1

3. FUZZY CONTROLLER

The proposed fuzzy logic controller structure for air conditioning system is shown in Fig. 2 This scheme consists of a two input-two output fuzzy controller to make the overall system stable. The input variables of the fuzzy controller are temperature error , e_t and humidity ratio error , e_h which are defined as :

$$\begin{aligned} e_t &= T_r - T_y \\ e_h &= H_r - H_y \end{aligned} \quad (2)$$

where T_r = Set point room temperature

T_y = Actual room temperature
 H_r = Set point room humidity ratio
 H_y = Actual room relative humidity ratio

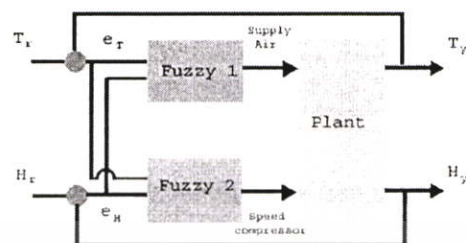


Fig.2 HVAC fuzzy control system

Table. 1 Numerical values for simulation

$\rho = 1.19 \text{ Kg} / \text{m}^3$
$C_p = 1.005 \text{ kJ} / \text{Kg} \text{ } ^\circ\text{C}$
$f_{ref} = 400 \text{ cfm}$, $f_{oref} = 100 \text{ cfm}$
$t_f = 24 \text{ hours}$
$T_{2ref} = 12.7 \text{ } ^\circ\text{C}$, $T_{3ref} = 25 \text{ } ^\circ\text{F}$
$w_s = 0.0070 \text{ kg} / \text{kg}$, $w_{3ref} = 0.0092 \text{ kg} / \text{kg}$
$V_s = 8.0 \text{ m}^3$
$V_{he} = 0.9 \text{ m}^3$
$\Delta h_{ref} = 67.65 \text{ kJ} / \text{kg}$
$T_o = 35 \text{ } ^\circ\text{C}$

In the fuzzy controller, the measured e_t and e_h values are scale to some real number in the interval of (-1,1). The values of linguistic variable are composed of linguistic terms PB (Positive large), P (Positive small), Z (Zero), N (Negative small) and NB (Negative large) which are all fuzzy set. This set of linguistic terms forms a fuzzy partition of input and output spaces . The knowledge base of the fuzzy logic controller is composed of a database and rule base. The rule base represents fuzzy control rules. The membership function of the fuzzy sets and the fuzzy rules have significant effect on the control performance. Fig. 3 and Fig. 4 show the membership functions of the fuzzy set for temperature error and humidity ratio error and control inputs.

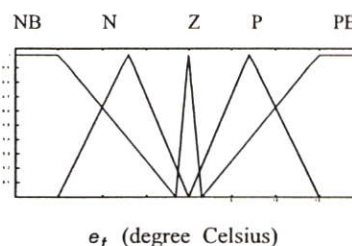


Fig. 3 Antecedent membership function of error temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

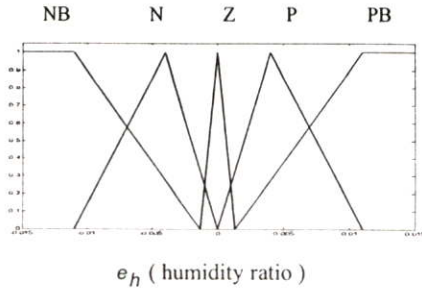


Fig. 4 Antecedent membership function of error humidity ratio

In the design of the fuzzy member the first control output signal is the flow rate of the cold supply air . There are three levels of supply air which are low , medium and high flow rate as shown in Fig. 5 . Similarly, The second control output signal is the compressor speed in the air conditioning system. There are also three levels of speed which are low , medium and high speeds as shown in Fig. 6

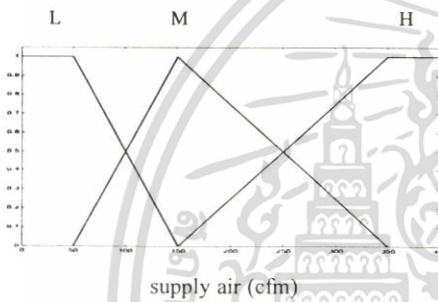


Fig. 5 Consequent membership functions of supply air

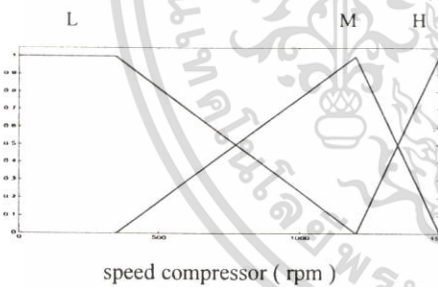


Fig. 6 Consequent membership function of compressor

The control law for this simulation on the air conditioning system are show in table 2.1 and table 2.2 as follows

Table 2.1 law of supply air

Supply air		e_h				
		NB	N	Z	P	PB
e_t	NB	H	H	M	M	L
	N	H	H	M	L	L
	Z	H	H	M	L	L
	P	H	H	M	L	L
	PB	H	M	M	L	L

Table 2.2 law of speed compressor

Speed of compressor		e_h				
		NB	N	Z	P	PB
e_t	NB	H	H	H	H	H
	N	H	H	H	H	H
	Z	H	H	M	M	M
	P	L	L	L	L	L
	PB	L	L	L	L	L

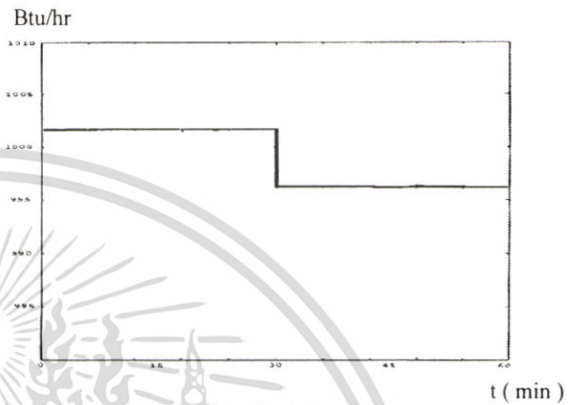


Fig. 7 Heat load disturbance

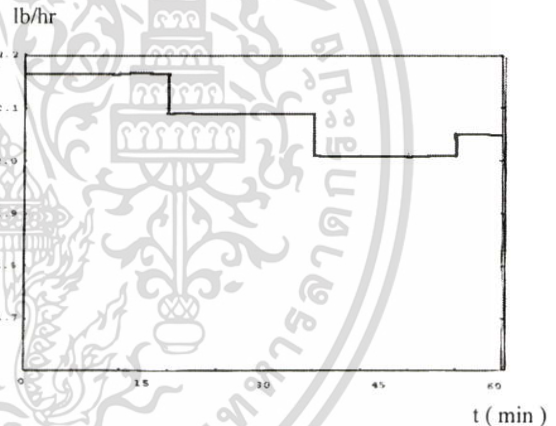


Fig. 8 Moisture load disturbance

4. SIMULATION RESULT

The HVAC system as shown in Fig. 1 has two input variables and two output variables which are the room temperature and room humidity ratio. The two manipulating variables are supply air flow rate and compressor speed or the refrigerant flow rate. The fuzzy logic control has been implemented to the multivariable HVAC system by using the system parameter in table 1. Fig. 9 and Fig. 10 show the response of the manipulating variables which are supply air and compressor speed due to random heat loads at 1000 BTU per hour average and random moisture loads at 2 lbm per hour average. The HVAC can reach steady state within 2 minute. The supply air flow rate and speed of the compressor will be operated at the minimum level that save a lot of energy. The transient response of room temperature and relative humidity of the HVAC system under heat load and moisture load as shown in Fig. 7 and Fig. 8 respectively are show in Fig. 11 and Fig. 12 with the initial conditions at 25 °C and 33 % relative humidity

response show that fuzzy logic control can reduce the steady state error to the value of less than 0.5 degree Celsius in room temperature and 3 percent in relative humidity respectively.

supply air (cfm)

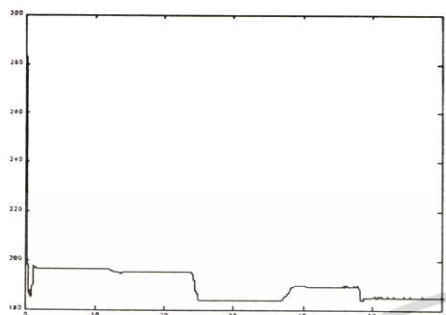


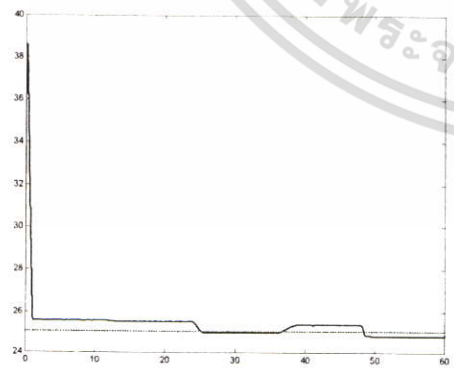
Fig. 9 The flow rate of supply air as control signal

speed of compressor (rpm)



Fig. 10 The compressor speed as control signal

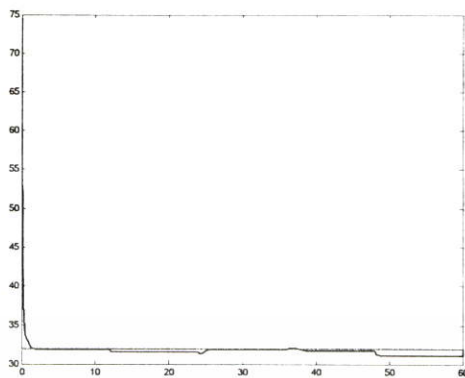
Degree Celsius (° C)



t (min)

Fig. 11 Transient response of room temperature in Air conditioning system under fuzzy logic control

Relative humidity (%)



t (min)

Fig. 12 Transient response of room humidity in air conditioning

5. CONCLUSION

The simulation of air conditioning system using fuzzy logic control can be concluded as

1. The fuzzy logic controller can reduce steady state error in the air conditioning system.
2. The offset of temperature and relative humidity are less than 0.5 degree Celsius and 3 percent in relative humidity respectively under random step disturbance of heat load and moisture load respectively

REFERENCES

[1] M. S. Imbabi : "Computer validation of scale model tests for building energy simulation", Int. J. Energy Res., vol. 14 , pp.727-736 , 1990

[2] Betzaida Arguello - Serrano and Miguel : " Nonlinear Control of a Heating , Ventilating and Air Conditioning System with Thermal Load Estimation" , IEEE Transaction on control systems technology, Vol. 7, No. 1, January 1999

[3] Piao Ying-guo, Zhang Hua-guang : "A Simple Fuzzy Adaptive control Method and Application in HVAC" IEEE , pp 528 - 532 , 1998

[4] Galada Manish , Peng - Yung Woo : "Efficiency of fuzzy and Adaptive fuzzy controllers relative to PID Controller in Temperature control" , pp. 55 - 60 , IEEE , 1996

ประวัติผู้เขียน

นาย วศิน สารวิทย์ เกิดเมื่อวันที่ 9 กันยายน พ.ศ. 2521 ที่จังหวัดพิษณุโลก สำเร็จการศึกษาชั้นประถมที่ โรงเรียนพิษณุโลกพิทยาคม สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2542 ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

1. "Theoretical Simulation of the optimal Multi-Variables Air Conditioning Systems" สัมมนาวิชาการวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 17 , ตุลาคม 2546
2. "Simulation of the Air Conditioning System Using Fuzzy Logic Control" International Conference on Control Automation and Systems ,Korea , October 2003



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้