

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิกสำหรับควบคุมอุณหภูมิเตาอบโดยใช้  
คอมพิวเตอร์

THE FUZZY LOGIC CONTROLLER DESIGN FOR OVEN  
TEMPERATURE CONTROL USING COMPUTER



เลขหมู่.....**61985**  
เลขทะเบียน.....  
วัน,เดือน,ปี.....**2 5 ก.ค. 2549**

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม  
ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารที่บ.รังที่มีกรนำไปได้

บ.รังที่มีกรนำไปได้.....  
i.....

**THE FUZZY LOGIC CONTROLLER DESIGN FOR OVEN  
TEMPERATURE CONTROL USING COMPUTER**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING  
DEPARTMENT OF INSTRUMENTATION ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**2004**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองปริญญาโท

หัวข้อปริญญาโท การออกแบบตัวควบคุมพีซีที่ลอจิกสำหรับควบคุมอุณหภูมิเตาอบโดยใช้คอมพิวเตอร์

THE FUZZY LOGIC CONTROLLER DESIGN FOR OVEN  
TEMPERATURE CONTROL USING COMPUTER

นักศึกษาผู้จัดทำ

นายรัตนพล บัวลม รหัสประจำตัว 45015519

นายวิชัย ใจบุญ รหัสประจำตัว 45015524

นายวีระพล ทันอินทรอาจ รหัสประจำตัว 45015527

ปริญญา



วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมการวัดคุม

ปีการศึกษา

2547

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท	ลายมือชื่อ
ผศ.อาจินต์ น่วมสำราญ	
รศ.วิทยา ทิพย์สุวรรณพร	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ

วันพุธที่ 23 มีนาคม พ.ศ. 2548

สถานที่สอบ

ณ ห้องสอบปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

ภาควิชารับรองแล้ว

(รศ.ประสิทธิ์ จุลเสวีวงศ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น **ห้ามนำเอกสารไปใช้ในการค้า**  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ การออกแบบตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิกสำหรับควบคุมอุณหภูมิเตาอบโดยใช้คอมพิวเตอร์

THE FUZZY LOGIC CONTROLLER DESIGN FOR OVEN  
TEMPERATURE CONTROL USING COMPUTER

นักศึกษาผู้จัดทำ นายรัตนพล บัวลม  
นายวิชัย ใจบุญ  
นายวีระพล ทันอินทรอาจ  
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.อาจินต์ น่วมสำราญ  
รศ.วิทยา ทิพย์สุวรรณพร  
ปีการศึกษา 2547

### บทคัดย่อ

เนื้อหาของปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอการออกแบบตัวควบคุมแบบฟัซซี่เพื่อควบคุมอุณหภูมิในเตาอบด้วยคอมพิวเตอร์ให้ได้ค่าตามเป้าหมายที่ได้ตั้งไว้ ซึ่งจะมีข้อดีคือสามารถออกแบบตัวควบคุมได้โดยไม่ต้องรู้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการ โดยการทำงานของตัวควบคุมแบบฟัซซี่จะประกอบด้วยโครงสร้างหลัก 3 ส่วนคือ การฟัซซิฟิเคชัน (Fuzzification), การฟัซซี่อินเฟอร์เรนซ์ (Fuzzy Inference) และการดีฟัซซิฟิเคชัน (Defuzzification) สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ในการอินเทอร์เฟสผ่านพอร์ต USB จะใช้ Module USB-M01 เป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ MicroConverter ADuC812 ซึ่งมีหน้าที่แปลงสัญญาณ A to D Converter และ D to A Converter ซึ่งในการทดสอบสมรรถนะของตัวควบคุมแบบฟัซซี่นี้ จะทำการทดลองเปรียบกับตัวควบคุมแบบ PID ที่ได้สร้างขึ้นมาจากคอมพิวเตอร์เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Thesis Title</b>	The Fuzzy Logic Controller Design for Oven Temperature Control Using Computer	
<b>Authors</b>	Mr. Rattanaphon	Bualom
	Mr. Wichai	Jaiboon
	Mr. Weeraphol	Tanintharaart
<b>Thesis Advisor</b>	Asst.Prof. Arjin	Numsomran
	Assoc.Prof. Vittaya	Tipsuwannaporn
<b>Year</b>	2004	

### ABSTRACT

This thesis presents a design of fuzzy controller based on computer to control the temperature in the oven an advantage of this design is not necessary to know the mathematical model for any process. The fuzzy controller architecture consist of three parts, there are fuzzification, fuzzy inference and defuzzification. The interfacing method between computer and analog to digital and digital to analog (MicroConverter ADuC812) through Module USB-M01 parallel communication. The experimental results was compared with the traditional PID controller.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเพราะได้รับความเมตตาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อาจิ้นค์ น่วมสำราญ และรองศาสตราจารย์วิทยา ทิพย์สุวรรณพร ที่ได้ให้คำแนะนำแก่ผู้วิจัยตลอดมา อีกทั้งยังเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ในการทำปริญญานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

และที่ลืมเสียมิได้คือ ขอกราบขอบพระคุณพ่อ-แม่ อันเป็นที่รักยิ่ง ที่สนับสนุนและเป็นแรงบันดาลใจในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญภาพ.....	VIII
<b>บทที่ 1 บทนำ</b> .....	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานพนธ์.....	3
1.3 ขอบเขตของปริญญานพนธ์.....	3
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	4
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีของพีชชีเซต</b> .....	<b>5</b>
2.1 พีชชีเซต.....	5
2.2 การแทนข้อมูล โดยพีชชีเซต.....	6
2.3 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก.....	8
2.3.1 สมการเชิงเส้น.....	10
2.3.2 รูปสามเหลี่ยม.....	10
2.3.3 รูปสี่เหลี่ยมคางหมู.....	10
2.3.4 เส้นโค้งรูปตัว S.....	11
2.3.5 รูปประหมังกว้า.....	11
2.4 ตัวดำเนินการพีชชีเซต.....	14
2.4.1 เซตย่อย.....	14
2.4.2 คอมพลิเมนต์.....	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.3 อินเตอร์เซกชันของ A และ B.....	14
2.4.4 ยูเนียนของ A และ B.....	14
2.4.5 A ยกกำลังด้วยค่า $\alpha$ .....	15
2.4.6 Concentration ของเซต A.....	15
2.4.7 Dilation ของเซต A.....	15
2.4.8 Contrast Intensification ของเซต A.....	15
2.5 ส่วนขยายของฟัซซีเซต.....	15
<b>บทที่ 3 การออกแบบตัวควบคุม Fuzzy.....</b>	<b>17</b>
3.1 การกำหนดเซตทางอินพุทของ Fuzzy.....	17
3.2 การกำหนดหน่วยฟัซซีฟิเคชัน (Fuzzification).....	18
3.3 การกำหนดหน่วยกฎการควบคุม (Fuzzy Rule Base).....	20
3.4 การกำหนดของหน่วยฟัซซีอินเฟอร์เรนซ์ (Fuzzy Inference).....	20
3.5 การกำหนดหน่วยดีฟัซซีฟิเคชัน (Defuzzification).....	21
<b>บทที่ 4 หน้าที่การทำงานของส่วนต่างๆในระบบ.....</b>	<b>23</b>
4.1 Module USB M-01.....	24
4.2 MicroConverter ADuC812.....	27
4.2.1 Analog to Digital Converter (ADC).....	27
4.2.2 Digital to Analog Converter (DAC).....	28
4.3 Signal Converter (SC 95).....	30
4.4 Thermocouple Transmitter (TT 95).....	30
4.5 โปรแกรมตัวควบคุมแบบฟัซซี.....	31
4.5.1 โครงสร้างการทำงานของตัวควบคุม.....	31
4.5.2 ฟังก์ชันตอนการทำงานของโปรแกรมควบคุม.....	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง.....	39
5.1 การทดลองชุดรับ – ส่งสัญญาณอนาล็อกผ่าน USB .....	41
5.2 การทดลองตัวควบคุมกระบวนการที่สร้างด้วยคอมพิวเตอร์.....	45
5.2.1 ผลการทดลองการควบคุมกระบวนการด้วยตัวควบคุมแบบ Fuzzy .....	46
5.2.2 ผลการทดลองการควบคุมกระบวนการด้วยตัวควบคุมแบบ PID.....	47
บทที่ 6 สรุปผลและแนวทางการพัฒนา.....	49
6.1 สรุปผลการทดลอง.....	49
6.2 ปัญหาที่พบ.....	49
6.3 แนวทางการพัฒนา.....	49
บรรณานุกรม.....	50



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3-1 แสดงตาราง Rule Base.....	20
3-2 แสดงการอินเฟอร์เรนซ์.....	21
3-3 แสดงการฟัซซี่ฟิเคชัน.....	22
5-1 แสดงผลการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล (ขาขึ้น).....	41
5-2 แสดงผลการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล (ขาลง).....	42
5-3 แสดงผลการแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอก.....	43



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2-1 แสดงค่าความเป็นสมาชิกของเซต $A$ ในกรณีที่เป็นเซตธรรมดา	6
2-2 แสดงค่าความเป็นสมาชิกของเทอมเซต $A$ ในกรณีที่เป็นฟัซซี่เซต	7
2-3 แสดงกราฟฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปร “ความสูง” ที่ประกอบด้วย 3 เทอมเซต	8
2-4 แสดงกราฟฟังก์ชันความเป็นสมาชิกชนิดต่างๆ	13
2-5 แสดง Hedge ของตัวแปรอุณหภูมิ	16
3-1 แสดง โครงสร้างพื้นฐานของตัวควบคุมฟัซซี่	17
3-2 แสดงชุดเซต Error	17
3-3 แสดงชุดเซต Delta Error	18
3-4 แสดงกราฟค่า Error และ Delta Error	18
3-5 แสดงการทำการฟัซซี่ไฟเคชั่น โดยอิงเกิดขึ้น	19
3-6 แสดงบล็อกของการ Fuzzification	19
4-1 แสดง โครงสร้างของตัวควบคุม	23
4-2 แสดง ไดอะแกรมเวลาสำหรับการอ่านข้อมูลจาก Module USB M-01	24
4.3 แสดง ไดอะแกรมเวลาสำหรับการเขียนข้อมูลไปยัง Module USB M-01	24
4.4 แสดง ไดอะแกรมเวลาสำหรับการเขียนข้อมูลจาก MicroConverter ไปยัง Module USB-M01	26
4-5 แสดงวงจรภายในของ Module USB M-01	26
4-6 แสดง โครงสร้างของ Internal ADC	27
4-7 แสดงการคำนวณค่า 1 LSB	27
4-8 แสดงรูป ADC Transfer Function	28
4-9 แสดงการวางผลลัพธ์จากการแปลง ADC ภายในรีจิสเตอร์ ADCDATA H/L	28
4-10 แสดงวงจรเสมือนของ DAC	29
4-11 แสดงช่วงของการไม่เป็นเชิงเส้นของวงจรขยายสัญญาณ	29
4-12 แสดง โครงสร้างวงจรภายในของ SC 95	30
4-13 แสดง โครงสร้างวงจรภายในของ TT 95	31
4-14 แสดง โครงสร้างของ GUI	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-15 แสดงหน้าจอการปรับแต่งฟังก์ชันความเป็นสมาชิก.....	33
4-16 แสดงหน้าจอสำหรับปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID และกฎการควบคุมของตัวควบคุมแบบฟัซซี่.....	33
4-17 แสดงผังขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมควบคุมแบบฟัซซี่.....	35
4-18 แสดงผังขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมตัวควบคุมแบบ PID.....	38
5-1 แสดงกระบวนการควบคุมอุณหภูมิของเตาอบ.....	39
5-2 แสดงภาพของ Thermocouple Transmitter (TC 95) และ Signal Converter (SC 95).....	40
5-3 แสดงภาพของชุดรับ – ส่งสัญญาณอนาล็อกผ่าน USB.....	40
5-4 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล.....	43
5-5 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของการแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก.....	44
5-6 แสดงการใส่ไหลคด้วยน้ำ 1 แก้วให้กับระบบขณะทำการทดลอง.....	45
5-7 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการที่ค่าเป้าหมาย 50 °C.....	46
5-8 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการเมื่อเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 50 °C เป็น 75 °C.....	46
5-9 แสดงผลการตอบสนองของกระบวนการเมื่อเปลี่ยนค่าเป้าหมาย จาก 75 °C เป็น 100 °C.....	46
5-10 แสดงผลตอบสนองเมื่อทำการรบกวนระบบโดยการเปิดฝาดู้นาน 1 นาที 30 วินาที.....	47
5-11 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการที่ค่าเป้าหมาย 50 °C.....	47
5-12 แสดงผลการตอบสนองของกระบวนการเมื่อเปลี่ยนค่าเป้าหมาย จาก 50 °C เป็น 75 °C.....	48
5-13 แสดงผลการตอบสนองของกระบวนการเมื่อเปลี่ยนค่าเป้าหมาย จาก 75 °C เป็น 100 °C.....	48
5-14 แสดงผลการตอบสนองเมื่อทำการรบกวนระบบโดยการเปิดฝาดู้นาน นาน 1 นาที 30วินาที.....	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปี ค.ศ. 1965 ศาสตราจารย์ Lofti Zadeh วิศวกรและนักวิทยาศาสตร์ทางด้านระบบที่เชี่ยวชาญด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์ได้พัฒนาทฤษฎีหนึ่งขึ้นมา โดยมีใจความว่า “ปัญหาการควบคุมในโลกของความเป็นจริงสามารถแทนที่ด้วยระดับของค่าต่างๆ ให้ออกมาเป็นระดับๆ ได้” Zadeh ได้ค้นพบว่าปัญหาต่างๆ สามารถแก้ไขได้โดยวิธีการที่คล้ายคลึงกับระบบการคิดของมนุษย์ คิดว่าการใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ที่นำมาแต่เดิม แทนที่จะบอกว่าปัญหาในโลกนี้เป็นความจริงหรือเท็จโดยสมบูรณ์ แต่ทฤษฎีนี้จะนิยามปัญหาออกให้มีค่าความจริงเป็นระดับของแต่ละปัญหา ทฤษฎีดังกล่าวนี้มีชื่อว่า ฟัซซี่ลอจิก

แม้ว่าฟัซซี่ลอจิก ได้รับพิสูจน์และทดสอบมานานกว่า 30 ปีแล้ว แต่ก็ยังไม่เป็นที่แพร่หลายกันทั่วไปนัก เหตุผลข้อหนึ่งก็คือคำว่า ฟัซซี่ (Fuzzy) ในภาษาอังกฤษหมายถึง เลือนราง, ไม่ชัดเจน ดังนั้นในทางจิตวิทยาแล้วจะ ไม่ค่อยมีใครสนใจ แต่สำหรับประเทศญี่ปุ่นแล้ว คำว่าฟัซซี่ไม่ได้ถูกแปลความหมาย ดังนั้นญี่ปุ่นได้ทำการทดลองอย่างรวดเร็ว โดยปราศจากความคิดที่เป็นอคติและพิสูจน์ได้ว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ไม่เป็นที่ต้องการอีกต่อไป

ในการออกแบบระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับควบคุมกระบวนการทางอุตสาหกรรมแบบที่ใช้กันอยู่เดิม ใช้วิธีการประมาณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการนั้น สำหรับในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่และมีความซับซ้อน เช่น กระบวนการผลิตซีเมนต์ กระบวนการทำปฏิกิริยาทางเคมี และกระบวนการหลอมโลหะ เป็นต้น มักจะพบปัญหาว่ากระบวนการเหล่านี้จะยากและถ้าการประมาณค่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการผิดพลาด จะทำให้ได้สมรรถนะของระบบควบคุมไม่ดี ตามปกติความรู้และประสบการณ์ในการควบคุมกระบวนการเหล่านี้มักจะถูกอยู่ในรูปของภาษามนุษย์ซึ่งง่ายต่อการทำความเข้าใจและปฏิบัติตาม แต่ยากสำหรับการนำไปออกแบบและสร้างให้เป็นการควบคุมอัตโนมัติโดยวิธีการแบบดั้งเดิม ทั้งนี้เนื่องจากวิธีการในการควบคุมของผู้ปฏิบัติการจะมีกฎซึ่งอยู่ในรูปเงื่อนไข “ถ้า...แล้ว...” ให้เป็นกฎการควบคุมที่มีตัวแปรเป็นฟัซซี่เซตและตัวควบคุมฟัซซี่นี้ จะเป็นตัวกลางในการเชื่อมโยงระหว่างสัญญาณที่ใช้งานจริง เช่น สัญญาณในการตรวจวัดจากอุปกรณ์ตรวจจับ และสัญญาณในการควบคุมอุปกรณ์ซึ่งถูกวัดเป็นตัวแปรในเชิงปริมาณกับกฎการควบคุม ซึ่งถูกนิยามด้วยตัวแปรฟัซซี่ การทำงานของตัวควบคุมฟัซซี่จะประกอบด้วยโครงสร้างหลัก 3 ส่วนคือ

1. การฟัซซีฟิเคชัน (Fuzzification) เป็นการแปลงสัญญาณจากอุปกรณ์ตรวจจับ ซึ่งจะเป็นตัวแปรเชิงปริมาณ ให้เป็นตัวแปรฟัซซี
2. การฟัซซีอินเฟอเรนซ์ (Fuzzy Inference) เป็นการประมวลเพื่อหาสัญญาณควบคุมจากกฎการควบคุม โดยใช้วิธีการหาหลักการเหตุผลตามอัลกอริทึมของฟัซซี
3. การดีฟัซซีฟิเคชัน (Defuzzification) เป็นการหาขนาดของสัญญาณควบคุม โดยการแปลงตัวแปรฟัซซีให้เป็นตัวแปรเชิงปริมาณ

ตัวควบคุมฟัซซีมีข้อดีที่เป็นจุดเด่นหลายประการดังนี้

- สามารถออกแบบตัวควบคุมได้ โดยไม่ต้องรู้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการเนื่องจากการออกแบบตัวควบคุมใช้วิธีแปลงความรู้หรือประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญให้กฎควบคุมในรูปแบบอื่นใด
- สามารถควบคุมกระบวนการที่ไม่เป็นเชิงเส้นได้ เนื่องจากความไม่เป็นเชิงเส้นจะถูกควบคุมได้โดยการกำหนดความสัมพันธ์ของกฎการควบคุมแบบไม่เป็นเชิงเส้น
- สามารถออกแบบตัวควบคุมสำหรับควบคุมกระบวนการที่มีหลายอินพุตและหลายเอาต์พุตได้สะดวก เนื่องจากความซับซ้อนของความสัมพันธ์ระหว่างแต่ละอินพุตและเอาต์พุตจะถูกแทนด้วยความสัมพันธ์ของกฎการควบคุม ซึ่งอยู่ในรูปแบบที่สามารถทำความเข้าใจง่าย และทำการปรับเปลี่ยนได้ง่าย

แนวความคิดในการทำโครงการนี้ มาจากความต้องการที่จะนำระบบควบคุมแบบอัตโนมัติมาใช้แทนการควบคุมแบบเดิมซึ่งอาศัยการสั่งงานจากผู้ปฏิบัติ ซึ่งลักษณะของงานบางประเภทอาจมีความเสี่ยงในการเกิดอันตรายแก่ผู้ปฏิบัติงานสูง และการปฏิบัติงานของผู้ปฏิบัติงานบางครั้งอาจทำให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อนสูง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการนำเอาระบบควบคุมแบบอัตโนมัติมาใช้ในการควบคุม ลักษณะของโครงการนี้จะเป็นการควบคุมกระบวนการซึ่งกระบวนการจะประกอบไปด้วยเตาอบ โดยที่เตาอบจะมีอุปกรณ์ตรวจวัดที่เป็นเซ็นเซอร์ติดตั้ง (Temperature Measurement) และจะส่งสัญญาณให้กับคอมพิวเตอร์ เพื่อทำการเปรียบเทียบค่าที่วัดได้ (Pv) กับค่าที่กำหนด (Sp) ว่ามีความแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด เพื่อที่จะนำค่าความแตกต่างมาทำการคำนวณเพื่อที่จะส่งสัญญาณไปควบคุมอุปกรณ์ Final Control Element เพื่อให้อุณหภูมิมีค่าเท่ากับค่าที่กำหนดไว้ ในการออกแบบวงจรและการเลือกใช้อุปกรณ์จะเป็นการออกแบบที่มีสัญญาณรบกวนน้อยที่สุดเพื่อให้ระบบควบคุมเสถียรภาพมากที่สุด

## 1.2 วัตถุประสงค์ของปฏิญานิพนธ์

1. เพื่อศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับพีชชีลลจิก
2. เพื่อศึกษาเกี่ยวกับการควบคุมกระบวนการอุณหภูมิในเตาอบ
3. เพื่อออกแบบการ์ดอินเตอร์เฟสแบบอนาล็อก
4. เพื่อเขียน โปรแกรมอินเตอร์เฟสและควบคุมอุณหภูมิในเตาอบ
5. เพื่อศึกษาการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ภายนอกกับคอมพิวเตอร์ ผ่านพอร์ต USB

## 1.3 ขอบเขตการของปฏิญานิพนธ์

โครงการนี้นำเสนอการออกแบบตัวควบคุมอุณหภูมิโดยใช้คอมพิวเตอร์ในการประมวลผล ซึ่งคอมพิวเตอร์นี้จะทำหน้าที่รับค่าตัวแปร Error, Delta Error จากกระบวนการแล้วนำมาประมวลผลโดยใช้หลักการของ “พีชชีลลจิก” ในการวิเคราะห์ค่าอินพุตที่ได้รับมา เพื่อที่จะส่งค่าเอาต์พุตที่เหมาะสมที่สุดไปยังกระบวนการ เพื่อควบคุมอุณหภูมิในเตาอบให้มีค่าเท่ากับค่าเป้าหมาย (Set point) ที่เราได้กำหนดไว้

ซึ่งในการทำโครงการนี้ จะใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุม โดยจะเขียนซอฟต์แวร์ด้วยโปรแกรม Delphi 5 แล้วมีการอินเตอร์เฟสกับอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ต USB โดยใช้ Module USB-M01 เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยให้คอมพิวเตอร์สามารถติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ภายนอกที่ทำหน้าที่เป็นตัว Converter ผ่านทางพอร์ต USB ได้ โดยอุปกรณ์ที่มีหน้าที่ในการแปลงสัญญาณทั้งแบบ A to D Converter และแบบ D to A Converter สำหรับโครงการนี้จะใช้อุปกรณ์ ADuC812 ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ จึงจำเป็นจะต้องศึกษาวิธีการเขียนโปรแกรมลงบนตัวไมโครคอนโทรลเลอร์นี้ด้วยภาษา C นอกจากนี้ จะต้องมีอุปกรณ์ Signal Converter (SC95) เพื่อนำแรงดัน 1-5 V ที่ได้จาก D to A Converter มาแปลงเป็นกระแส 4-20 mA แล้วส่งสัญญาณไปยัง Final Control Element เพื่อควบคุมพลังงานของฮีตเตอร์ โดยใช้หลักการควบคุมแบบเฟสของการทรานซิสเตอร์ที่ขาเกตของ SCR สำหรับการวัดอุณหภูมิในเตาอบนั้นจะใช้ Thermocouple type K เป็นตัวเซ็นเซอร์ ซึ่งจะต่อร่วมกับอุปกรณ์ Thermocouple Transmitter (TT95) ที่มีหน้าที่แปลงค่าอุณหภูมิที่ได้ให้เป็นแรงดัน 1-5 V เพื่อส่ง Feedback กลับไปยัง A to D Converter ต่อไป

## 1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาทฤษฎีของพีชชีลจิก เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบตัวควบคุม
2. ศึกษาวิธีการใช้งานวงจรอินเทอร์เฟส Module USB-M01
3. ศึกษาหลักการทำงาน และการเขียน โปรแกรมตั้งค่าการทำงาน ให้กับอุปกรณ์แปลงสัญญาณ MicroConverter ADuC812
4. เขียนซอฟต์แวร์ด้วยโปรแกรม Delphi 5 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของตัวควบคุมบนคอมพิวเตอร์ก่อนที่จะนำไปออกแบบตัวควบคุมเพื่อใช้ควบคุมกระบวนการจริง เพื่อจะได้ทราบว่าตัวควบคุมที่ได้ออกแบบขึ้นมาสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับกระบวนการจริงได้
5. ศึกษาส่วนต่างๆ ของเตาอบ ซึ่งเป็นกระบวนการที่ต้องการจะควบคุม
6. ทำการทดสอบสมรรถนะการควบคุมในกระบวนการจริง ของตัวควบคุมพีชชีที่ได้ ออกแบบขึ้นมา โดยเปรียบเทียบกับตัวควบคุมแบบ PID ที่ได้สร้างขึ้น

## 1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ความสำเร็จของโครงการนี้คือนำการ์ดอินเทอร์เฟสที่ได้ออกแบบ พร้อมกับ โปรแกรมพีชชีลจิกประยุกต์ไปใช้ในการควบคุมอุณหภูมิในเตาอบและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการอื่นๆ ทางอุตสาหกรรมได้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีของฟัซซีลอจิก

### 2.1 ฟัซซีเซต

ฟัซซีเซตเป็นเซตที่แสดงถึงความสัมพันธ์ของสมาชิกภายในกลุ่มแต่ละตัวของค่าจำกัด ความของเซตนั้นๆ โดยความสัมพันธ์นี้ถูกแสดงในลักษณะของระดับความเป็นสมาชิกที่มีค่าอยู่ในช่วง  $[0,1]$  แทนที่จะแสดงว่าสมาชิกตัวใดเป็นสมาชิกหรือไม่เป็นสมาชิกของเซตนั้นอย่างเซตธรรมดา (ซึ่งมีค่า  $\{0,1\}$ ) ถ้าเรากำหนดให้  $U$  เป็นเซตเอกภพสัมพัทธ์ และฟัซซีเซต  $A$  มีสมาชิกของเซตเป็น  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  โดยที่  $x_i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ) เป็นค่าฟัซซีเซตคั้งนั้นฟัซซีเซต  $A$  สามารถแสดงในรูปแบบของความสัมพันธ์ในฟัซซีเซตได้โดย  $\mu_A(x_i)$  ความสัมพันธ์เช่นนี้ในทางทฤษฎีของฟัซซีเซตจะเรียกว่า ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function) และสามารถเขียนเป็นสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ได้โดย

$$\mu_A(x) : U \rightarrow [0,1] \quad (2-1)$$

โดยที่  $\mu_A(x)$  คือ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเซต  $A$

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเซตใดก็จะ สอดคล้องกับค่าจำกัดความของเซตนั้น และค่าจำกัดความเหล่านี้ก็คือตัวแปรต่างๆ ของฟัซซีเซตที่อยู่ภายใต้ขอบเขตของเซตเอกภพสัมพัทธ์หรือระบบใดๆ ที่เราสนใจ

ตัวแปรฟัซซีเซต (Fuzzy Variable) หรือบางครั้งอาจจะเรียกว่าตัวแปร Linguistic ซึ่งก็คือฟัซซีเซตใดๆ ของระบบที่เราสนใจดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ตัวอย่างเช่น ถ้าเราพิจารณา “อุณหภูมิ” เป็นตัวแปรฟัซซีและถ้าค่าของตัวแปรของเซตนี้คือ (ต่ำ, ปานกลาง, สูง) ซึ่งจะเรียกเซตของค่าตัวแปรฟัซซีนี้ว่าเทอมเซต (Term Set) หรือเซตย่อยและนอกจากนี้ตัวแปรฟัซซีแต่ละตัวอาจจะมีส่วนขยายของ (Hedges หรือ Qualifiers) เพื่อปรับค่าตัวแปรให้มีความยืดหยุ่นมากขึ้น เช่น จากค่าของตัวแปรอุณหภูมิ “ต่ำ  $\rightarrow$  ต่ำมาก”, “สูง  $\rightarrow$  ค่อนข้างสูง” เป็นต้น คำว่า “มาก” หรือ “ค่อนข้าง” ในที่นี้เป็นส่วนขยายของตัวแปรฟัซซี ซึ่งในทางปฏิบัติสามารถจะแทนด้วยฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ได้ทั้งนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

## 2.2 การแทนข้อมูลโดยฟัซซี่เซต

เพื่อให้เข้าใจการแทนข้อมูลโดยฟัซซี่เซตได้ง่าย เราจะยกตัวอย่างของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวันคือ เราจะพิจารณาความสูงของผู้ชายไทยโดย “ความสูง” ในที่นี้จะเป็นตัวแปรฟัซซี่เซต และเพื่อให้เข้าใจความหมายของฟัซซี่เซต ได้เด่นชัดขึ้นเราจะเปรียบเทียบการแทนข้อมูลของฟัซซี่เซตกับเซตธรรมดา การแปลงข้อมูลเพื่อคำนวณค่าความเป็นสมาชิกของเซตธรรมดาจะต้องมีการกำหนดค่าเทรชโฮลด์ เพื่อจะนำมาเป็นตัวตัดสินว่าตัวใดในเซตเอกภพสัมพัทธ์ที่เป็นสมาชิกเซตที่กำลังพิจารณาอยู่บ้าง สำหรับในตัวอย่างของเซตความสูงของผู้ชายไทยสมมุติอยู่ในช่วง 140-180 cm. (โดเมนของเซตเอกภพสัมพัทธ์) แต่ในที่นี้เราสนใจคนที่สูง ถ้าเรากำหนดให้เซต  $A$  เป็นเซตของคนสูง (“สูง” ในกรณีฟัซซี่เซตจะเป็นเทอมเซต) ดังนั้นเซต  $A$  ในกรณีของเซตธรรมดาจะต้องมีค่าขีดเริ่มเปลี่ยนหรือค่าเทรชโฮลด์ (Threshold) ซึ่งในที่นี้จะกำหนดให้เท่ากับ 170 cm. นั่นคือถ้าชายไทยคนใดมีความสูงมากกว่าหรือเท่ากับ 170 cm. จะถือว่าคนนั้นเป็นสมาชิกของเซต  $A$  ซึ่งสามารถเขียนเป็นฟังก์ชันคุณลักษณะ (Characteristic Function) หรือฟังก์ชันความเป็นสมาชิกได้ดังนี้

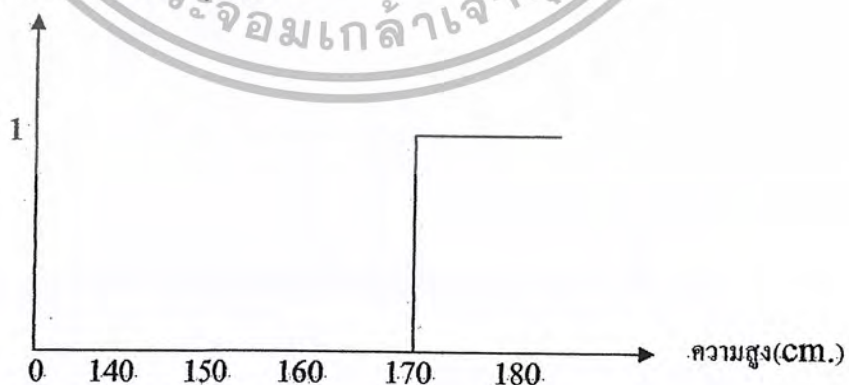
$$\mu_A(X_i) : \{X_i \geq 170\}$$

(2-2)

โดยที่  $X_i$  คือ ความสูงของผู้ชายไทยคนที่  $i$

ในสมการที่ (2-2) สามารถนำมาเขียนเป็นกราฟของความเป็นสมาชิกได้ดังรูป

ระดับความเป็นสมาชิก :  $\mu_A$



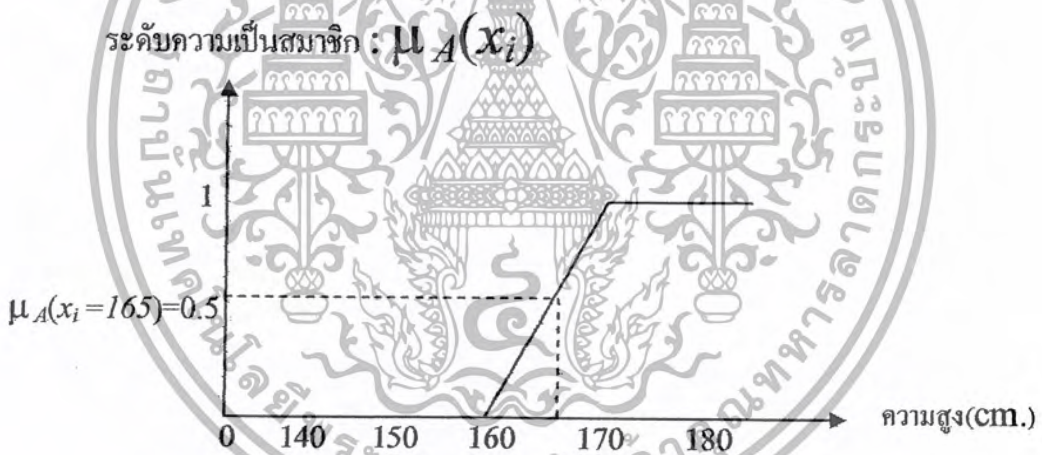
ภาพที่ 2-1 แสดงค่าความเป็นสมาชิกของเซต  $A$  ในกรณีที่เป็นเซตธรรมดา

ในกราฟภาพที่ 2-1 บนแกนแนวตั้งแทนค่าระดับความเป็นสมาชิกที่มีค่าเป็น 0 (ไม่เป็นสมาชิกของเซต  $A$ ) และ 1 (เป็นสมาชิกของ  $A$ ) และจะเห็นว่าคนที่มีความสูงมากกว่าหรือเท่ากับ 170 cm. ขึ้นไปเท่านั้นจึงจะถือว่าเป็นผู้ชายคนนั้นสูง นอกจากนั้นจะไม่ใช่สมาชิกของเซต  $A$

ในกรณีของฟuzzyเซตฟังก์ชันความเป็นสมาชิกจะมีความยืดหยุ่นกว่า และสอดคล้องกับความจริงมากกว่าเซตธรรมดา ดังในสมการที่ 2-3

$$\mu_A(X_i) = \begin{cases} \frac{1}{(170-160)} (x_i - 160) & ; \text{ ถ้า } 160 \leq x_i \leq 170 \\ 1 & ; \text{ ถ้า } x_i > 170 \\ 0 & ; \text{ ในกรณีอื่นๆ} \end{cases} \quad (2-3)$$

ในสมการที่ (2-3) เป็นการกำหนดค่าความเป็นสมาชิกให้กับเทอมเซตของคนสูง และในภาพที่ 2-2 แสดงกราฟระดับความเป็นสมาชิกของสมการนี้



ภาพที่ 2-2 แสดงค่าความเป็นสมาชิกของเทอมเซต  $A$  ในกรณีที่เป็นฟuzzyเซต

เมื่อเปรียบเทียบฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในกราฟภาพที่ 2-1 กับภาพที่ 2-2 จะเห็นว่ากราฟความเป็นสมาชิกของฟuzzyเซตจะมีความต่อเนื่องในค่าระดับความเป็นสมาชิกในช่วง  $[0,1]$  เช่น คนที่มีความสูง 165 cm. ก็จะเป็นคนสูงเช่นกัน แต่เขาจะมีระดับความเป็นสมาชิกของเซตของคนสูงเท่ากับ 0.5 ถ้าเปรียบเทียบกับเซตธรรมดาคนที่มีความสูง 165 cm. จะไม่เป็นสมาชิกของเซต  $A$  ทั้งที่เขามีความสูงแตกต่างจากคนที่สูงไม่กี่เซนติเมตรเท่านั้น หรือแม้แต่คนที่มีความสูง 169 cm. ซึ่งมีความสูงแตกต่างจากคนที่ถือว่าสูงเพียง 1 cm. เท่านั้น แต่ในเซตธรรมดาจะถือว่าเขาไม่ใช่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

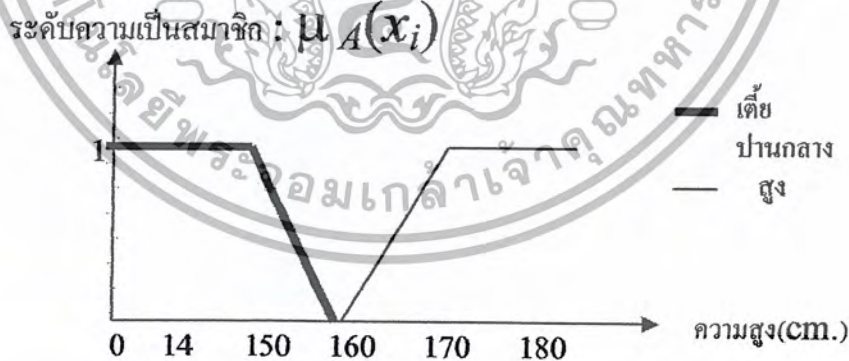
คนสูง ซึ่งจะไม่ตรงกับความเป็นจริง แต่สำหรับการแทนข้อมูล โดยฟัซซี่เซตจะถือว่าคนนี้เป็นเซตของคนสูงด้วยค่าระดับความเป็นสมาชิกเท่ากับ 0.9 (คือเกือบจะเป็นคนสูงเลยทีเดียว)

### 2.3 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกหรือฟังก์ชันคุณลักษณะในกรณีของฟัซซี่เซต ไม่ใช่แค่การ Normalization ข้อมูลอย่างที่หลายๆ คนเข้าใจกัน แต่ฟังก์ชันนี้จะต้องถูกกำหนดขึ้นตามคำจำกัดความของเทอมเซตที่มีความยืดหยุ่นและตรงตามความเป็นจริง แต่ก่อนที่จะพิจารณาถึงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกชนิดต่างๆ เราจะไปดูคุณสมบัติบางประการของฟัซซี่เซตก่อน

#### -เซตเอกภาพสัมพัทธ์

เมื่อพิจารณาถึงกราฟภาพที่ 2-2 แกนนอนของกราฟจะแทน โดเมนของฟัซซี่เซต ส่วนแกนตั้งจะแทนค่าระดับความเป็นสมาชิก แต่ในกราฟภาพที่ 2-2 มีเทอมเซตเพียงเทอมเดียว ซึ่งเป็นเทอมของคนสูงเท่านั้น เพื่อให้ครอบคลุมกลุ่มประชากรที่เราสนใจจึงเพิ่มเทอมเซตอีกสองเทอมคือเทอมเซตของคน “เตี้ย” และเทอมเซตของคนที่มีความสูงปานกลาง “ปานกลาง” ดังภาพที่ 2-3 ซึ่งในกรณีที่โดเมนของตัวแปรฟัซซี่ที่ครอบคลุมประชากรทั้งหมดที่ทำการศึกษา เราจะเรียก โดเมนของตัวแปรนี้ว่า เซตเอกภาพสัมพัทธ์ และในแต่ละเทอมเซตก็จะมีโดเมนของตัวเอง เช่น เทอมเซตของคนเตี้ยจะมีโดเมนอยู่ในช่วง 140-160 cm เทอมเซตของคนที่มีความสูงปานกลางจะมีโดเมนอยู่ในช่วง 150-170 cm เทอมเซตของคนที่สูงจะมีโดเมนอยู่ในช่วง 160-180 cm



ภาพที่ 2-3 แสดงกราฟฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปร “ความสูง” ที่ประกอบด้วย 3 เทอมเซต

### -ซัพพอร์ตเซต

ในกรณีที  $\xi_i (\forall i)$  ในบางเทอมเซตมีค่าน้อยกว่าโดเมนของมัน เช่น ในเทอมของคนเดียวซึ่งมีโดเมนอยู่ในช่วง [140-160] เมื่อทำการวัดความสูงของประชากรกลุ่มนี้ปรากฏว่าความสูงที่วัดได้จริงๆ ของพวกเขาอยู่ในช่วง [145-160] ซึ่งช่วงของข้อมูลที่วัดได้จริงๆ จะเรียกว่า ซัพพอร์ตเซต (Support Set) ของเทอมนั้นๆ ถ้ารับซัพพอร์ตเซตจะมีประโยชน์ในการปรับขนาดของเทอมเซตโดยอัตโนมัติ

### -การเทรซโฮลด์ฟัซซี่เซต

การเทรซโฮลด์หรืออัลฟาคัท (Alpha-Cut, หรือ  $\alpha$ -Cut) ของฟัซซี่เซตจะมีความสัมพันธ์กับซัพพอร์ตเซต คือค่าระดับของ  $\alpha$  ( $0 \leq \alpha \leq 1$ ) จะเป็นค่าเทรซโฮลด์ภายในขอบเขตโดเมนของเทอมเซตที่ค่า  $\alpha$  เป็นค่าขอบเขตล่างของซัพพอร์ตเซต หรืออาจจะเป็นค่าใดๆ ที่เราสนใจในช่วง  $[0,1]$   $\alpha$ -Cut มีอยู่สองชนิดด้วยกันคือ

1. Strong  $\alpha$ -Cut ซึ่งกำหนดได้โดย

$$\mu_A(x_i) = \begin{cases} \mu_A(x_i); & \text{ถ้า } \mu_A(x_i) \geq \alpha \\ 0; & \text{ในกรณีอื่นๆ} \end{cases} \quad (2-4)$$

2. Weak  $\alpha$ -Cut สามารถกำหนดได้โดย

$$\mu_A(x_i) = \begin{cases} \mu_A(x_i); & \text{ถ้า } \mu_A(x_i) > \alpha \\ 0; & \text{ในกรณีอื่นๆ} \end{cases} \quad (2-5)$$

เมื่อ  $A$  เป็นเทอมเซตใดๆ ประโยชน์ของ  $\alpha$ -Cut มีอยู่สองประการด้วยกัน อย่างแรกคือ Strong  $\alpha$ -Cut ใช้ในการกำหนดซัพพอร์ตเซต อย่างที่สองคือทำให้มีความยืดหยุ่นสำหรับระบบการควบคุมที่ใช้ฟัซซี่เซตในกรณีที่มีการอินเตอร์เซกชันกันหลายเทอม ซึ่งได้อธิบายในหัวข้อของกฎฟัซซี่เซตต่อไป ตอนนี้เราจะพิจารณาถึงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบต่างๆ ที่จะใช้ในการประมาณค่าระดับความเป็นสมาชิกของแต่ละเทอมเซต โดยมีทั้งแบบที่ประมาณค่าเป็นเชิงเส้น เช่น รูปสามเหลี่ยม รูปสี่เหลี่ยมคางหมู และแบบที่ประมาณค่าโดยฟังก์ชันต่อเนื่อง เช่น  $s, s^{-1}$ , ระฆังคว่ำ เป็นต้น ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.1 สมการเชิงเส้น

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบสมการเชิงเส้นที่ใช้ในการแปลงค่าความสัมพันธ์ของ โดเมน ไปยังเรนจ์ สำหรับข้อมูลที่มีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้น ดังสมการที่ 2-3

### 2.3.2 รูปสามเหลี่ยม

การกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกโดยใช้รูปสามเหลี่ยม นิยมใช้กันมากในระบบควบคุมที่ใช้พีชคณิต เทอมเซตที่กำหนด โดยฟังก์ชันนี้จะต้องมีค่าที่เหมาะสมที่สุดอยู่เพียงค่าเดียวที่ทำให้ค่าความเป็นสมาชิกเท่ากับหนึ่ง ส่วนค่าอื่นๆ จะมีค่าความเป็นสมาชิกลดลงเรื่อยๆ เมื่อยิ่งห่างจากค่านี้น่าขึ้น ในตัวอย่างของตัวแปรความสูง เทอมเซต “ปานกลาง” มีฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเป็นรูปสามเหลี่ยม ถ้ากำหนดให้  $a \leq b \leq c$  เมื่อ  $a, b$  และ  $c$  เป็นเลขจำนวนจริงใดๆ ดังนั้นสมการของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของรูปสามเหลี่ยมสามารถกำหนดได้ดังนี้

$$\mu_A(x_i) = \begin{cases} \frac{1}{b-a} (x_i - a) & ; \text{ถ้า } a < x_i \leq b \text{ และ } a \neq b \\ \frac{1}{c-b} (c - x_i) & ; \text{ถ้า } b < x_i \leq c \text{ และ } b \neq c \\ 0 & ; \text{สำหรับกรณีอื่นๆ} \end{cases} \quad (2-6)$$

### 2.3.3 รูปสี่เหลี่ยมคางหมู

สำหรับฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่กำหนดด้วยสมการรูปสี่เหลี่ยมคางหมู นิยมใช้ในระบบควบคุมที่ใช้พีชคณิตเช่นกัน แต่จะพบน้อยกว่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่กำหนดด้วยสมการรูปสามเหลี่ยม ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่จะกำหนดด้วยสมการรูปสี่เหลี่ยมคางหมูจะต้องมีช่วงค่าที่เหมาะสมมากที่สุดอยู่กลุ่มหนึ่งที่ทำให้ค่าความเป็นสมาชิกของเทอมเซตนั้นๆ มีค่าเท่ากับหนึ่ง นอกจากนั้นจะมีค่าความเป็นสมาชิกน้อยลงเรื่อยๆ เมื่อยิ่งห่างจากข้อมูลกลุ่มนี้ ถ้ากำหนดให้  $a \leq b \leq c \leq d$  เมื่อ  $a, b, c$  และ  $d$  เป็นเลขจำนวนจริงใดๆ ดังนั้นสมการของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของรูปสี่เหลี่ยมคางหมูสามารถกำหนดได้ดังนี้

$$\mu_A(x_i) = \begin{cases} \frac{1}{b-a} (x_i - a) ; & \text{ถ้า } a \leq x_i \leq b \text{ และ } a \neq b \\ 1 & ; \quad \text{ถ้า } b < x_i \leq c \\ \frac{1}{d-c} (d - x_i) ; & \text{ถ้า } c < x_i \leq d \text{ และ } c \neq d \\ 0 & ; \quad \text{สำหรับกรณีอื่นๆ} \end{cases} \quad (2-7)$$

### 2.3.4 เส้นโค้งรูปตัว S

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่กำหนดด้วยเส้นโค้งรูปตัว S (S-Curve; Sigmoid หรือ Logistic) เป็นการกำหนดความสัมพันธ์ระหว่าง โดเมน ไปยังเรนจ์แบบไม่เป็นเชิงเส้น ตัวแปรที่เหมาะสมที่จะใช้ฟังก์ชันนี้คือพวกอายุการใช้งานของอุปกรณ์ต่างๆ ตัวแปรส่วนใหญ่ที่ใช้ในทางการประมวลผลภาพ เป็นต้น ซึ่งตัวแปรพวกนี้มักจะมีความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเชิงเส้นที่เป็นรูปตัว S หรือ S<sup>-1</sup> ถ้ากำหนดให้  $a \leq b \leq c$  เมื่อ a, b และ c เป็นเลขจำนวนจริงใดๆ ดังนั้นสมการของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเส้นโค้งรูปตัว S สามารถกำหนดได้ดังสมการที่ (2-8) และ S<sup>-1</sup> สามารถคำนวณได้โดยหาค่าคอมพลีเมนต์ของสมการที่ (2-8) ( $S^{-1} = 1 - \mu_A(x)$ ) โดยที่  $\mu_A(x)$  ได้จากสมการที่ (2-8)

$$\mu_A(x_i) = \begin{cases} 0 & ; \quad \text{ถ้า } x_i \leq a \\ 2 \left[ \frac{x_i - a}{c - a} \right]^2 & ; \quad \text{ถ้า } a < x_i \leq b \\ 1 - 2 \left[ \frac{x_i - a}{c - a} \right]^2 & ; \quad \text{ถ้า } b < x_i \leq c \\ 1 & ; \quad \text{ถ้า } x_i > c \end{cases} \quad (2-8)$$

### 2.3.5 รูปประจักษ์คว่ำ

เทอมเซตที่ใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบรูปประจักษ์คว่ำ จะมีคุณสมบัติของข้อมูลคล้ายกับสมการรูปสามเหลี่ยม แต่ข้อมูลของโดเมนที่แปลงไปยังเรนจ์จะมีความสัมพันธ์ในลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น สมการของรูปประจักษ์คว่ำมีด้วยกันหลายสมการแต่ที่ใช้กันมากที่สุดคือ ฟังก์ชัน  $\pi$  [1, 30] ฟังก์ชัน Gaussian และฟังก์ชัน Beta ซึ่งสามารถกำหนดได้ดังนี้

-ฟังก์ชัน  $\pi$  คำนวณได้จากสมการที่ (2-9)

$$S(x_i; a, b, c) = \begin{cases} 0 & ; \text{ ถ้า } x_i \leq a \\ 2 \left[ \frac{x_i - a}{c - a} \right]^2 & ; \text{ ถ้า } a < x_i \leq b \\ 1 - 2 \left[ \frac{x_i - a}{c - a} \right]^2 & ; \text{ ถ้า } b < x_i \leq c \\ 1 & ; \text{ ถ้า } x_i > c \end{cases} \quad (2-9)$$

โดยที่  $b = \frac{c-a}{2}$

ดังนั้นฟังก์ชัน  $\pi$  สามารถกำหนดได้โดย

$$\mu_A(x_i) = \begin{cases} S(x_i; c-b, c-\frac{b}{2}, c) & \text{ในกรณีที่ } x_i \leq c \\ 1 - S(x_i; c+\frac{b}{2}, c+b) & \text{ในกรณีที่ } x_i > c \end{cases} \quad (2-10)$$

-ฟังก์ชัน Gaussian

$$\mu_A(x_i) = e^{-K(x_i - \bar{x})^2} \quad (2-11)$$

โดยที่  $K = \frac{1}{2\sigma^2}$  ซึ่งเป็น โดเมนของฟังก์ชันเซต A ที่มีค่าเฉลี่ยเป็น  $\bar{x}$  และส่วนเบี่ยงเบน

มาตรฐาน  $\sigma$

-ฟังก์ชัน Beta ฟังก์ชันนี้จะมีคุณสมบัติคล้ายกับสมการรูปลิ่มเหลี่ยมคางหมู คือจะมีช่วงของข้อมูลที่เหมาะสมกับเทอมเซตนั้นๆ อยู่กลุ่มหนึ่งที่ทำให้ค่าความเป็นสมาชิกของเทอมเซตมีค่าเข้าใกล้ 1 ซึ่งข้อมูลกลุ่มนี้จะมีความกว้างของช่วงเท่ากับค่า  $\beta$  ซึ่งถ้าค่า  $p \rightarrow \infty$  จะทำให้ข้อมูลในช่วง  $\beta$  มีค่าเข้าใกล้ 1 มากยิ่งขึ้น โดยมีจุดศูนย์กลางอยู่ที่  $\bar{x}$  ดังแสดงในสมการที่ (2-12)

$$\mu_A(x_i) = \frac{1}{1 + \left( \frac{x_i - \bar{x}}{\beta} \right)^p} \quad (2-12)$$

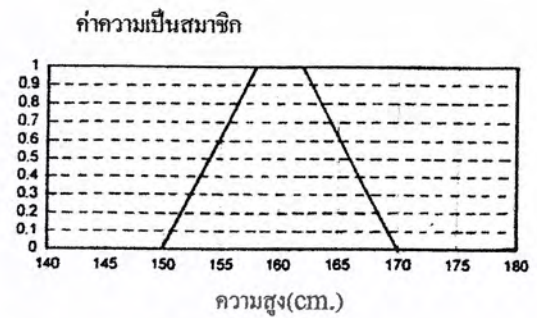
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (2-6) ถึง (2-12) ในภาพที่ 2-4 แสดงรูปภาพของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในแต่ละเทอมเซต ซึ่งจะมีทั้งฟังก์ชันแบบเชิงเส้นและแบบค่อเนื่อง



— A: “ปานกลาง”

$a=150$   $b=158$   $c=162$   $d=170$   
(ก.รูปสามเหลี่ยม)



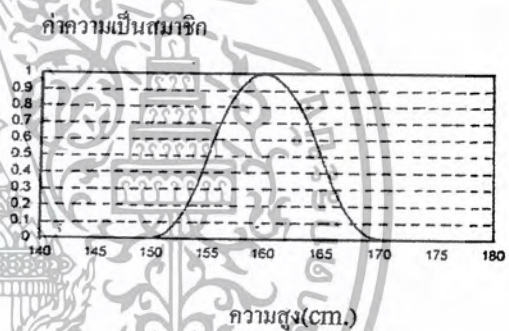
— A: “ปานกลาง”

$a=150$   $b=158$   $c=162$   $d=170$   
(ข.รูปสี่เหลี่ยมคางหมู)



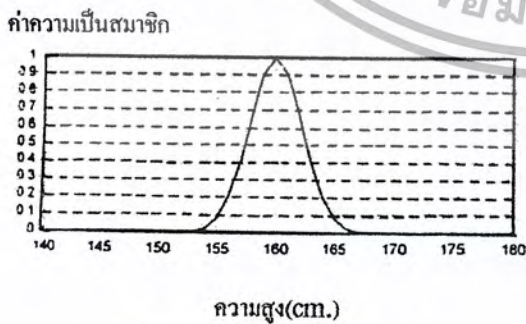
— A: “สูง”

$a=160$   $b=170$   $c=180$   
(ค.S-Curve)



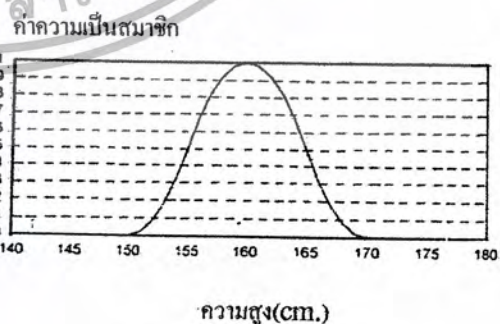
— A: “ปานกลาง”

$a=10$   $c=160$   
(ง.π)



— A: “ปานกลาง”

$K=1/10$   $x=160$   
(จ.Gaussian)



— A: “ปานกลาง”

$\beta=5$   $p=6$   $x=160$   
(ฉ.Beta)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น และอยู่ภายใต้ลิขสิทธิ์ของคณะผู้บริหารและบุคลากรของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่สามารถนำออกเผยแพร่ได้ ห้ามนำไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต

## 2.4 ตัวดำเนินการพีชชีเซต

ตัวดำเนินการของพีชชีเซตส่วนใหญ่แล้วจะมีตัวดำเนินการคล้ายกับเซตธรรมดา เช่น อินเตอร์เซกชัน ยูเนียน คอมพลิเมนต์ เป็นต้น ซึ่งตัวดำเนินการเหล่านี้จะใช้ในการอนุมานพีชชีเซตเพื่อประโยชน์ในการตัดสินใจโดยการประมาณค่าของตัวแปร ในที่นี้เราจะเสนอตัวดำเนินการของพีชชีเซตบางส่วนเฉพาะที่ใช้ในแบบจำลองการตัดสินใจของระบบควบคุมโดยใช้พีชชีเซตเท่านั้น

กำหนดให้  $U$  เป็นเซตเอกภพสัมพัทธ์และ  $A, B$  เป็นเทอมเซตใดๆ ที่อยู่ใน  $U$  และตัวดำเนินการพื้นฐานต่างๆ สามารถกำหนดได้ดังนี้

### 2.4.1 เซตย่อย

$A$  เป็นเซตย่อยของ  $B$  ( $A \subseteq B$ ) ก็ต่อเมื่อ

$$\mu_A(x_i) \leq \mu_B(x_i), \forall x_i \in U \quad (2-13)$$

### 2.4.2 คอมพลิเมนต์

$A$  เป็นคอมพลิเมนต์ของ  $B$  ( $A = B'$ ) ก็ต่อเมื่อ

$$\mu_A(x_i) = \mu_B(x_i) = 1 - \mu_B(x_i), \forall x_i \in U \quad (2-14)$$

### 2.4.3 อินเตอร์เซกชันของ $A$ และ $B$

$(A \cap B)$  กำหนดได้โดย

$$\mu_{A \cap B}(x_i) = \text{Min}(\mu_A(x_i), \mu_B(x_i)), \forall x_i \in U \quad (2-15)$$

### 2.4.4 ยูเนียนของ $A$ และ $B$

$(A \cup B)$  กำหนดได้โดย

$$\mu_{A \cup B}(x_i) = \text{Max}(\mu_A(x_i), \mu_B(x_i)), \forall x_i \in U \quad (2-16)$$

### 2.4.5 A ยกกำลังด้วยค่า $\alpha$

$(A^\alpha)$  กำหนดได้โดย

$$\mu_{A^\alpha}(x_i) = (\mu_A(x_i))^\alpha; \forall x_i \in U \quad (2-17)$$

### 2.4.6 Concentration ของเซต A กำหนดได้โดย

$$CON(A) \Rightarrow \mu_{CON(A)}(x_i) = (\mu_A(x_i))^2; \forall x_i \in U \quad (2-18)$$

### 2.4.7 Dilation ของเซต A กำหนดได้โดย

$$DIL(A) \Rightarrow \mu_{DIL(A)}(x_i) = (\mu_A(x_i))^{0.5}; \forall x_i \in U \quad (2-19)$$

### 2.4.8 Contrast Intensification ของเซต A กำหนดได้โดย

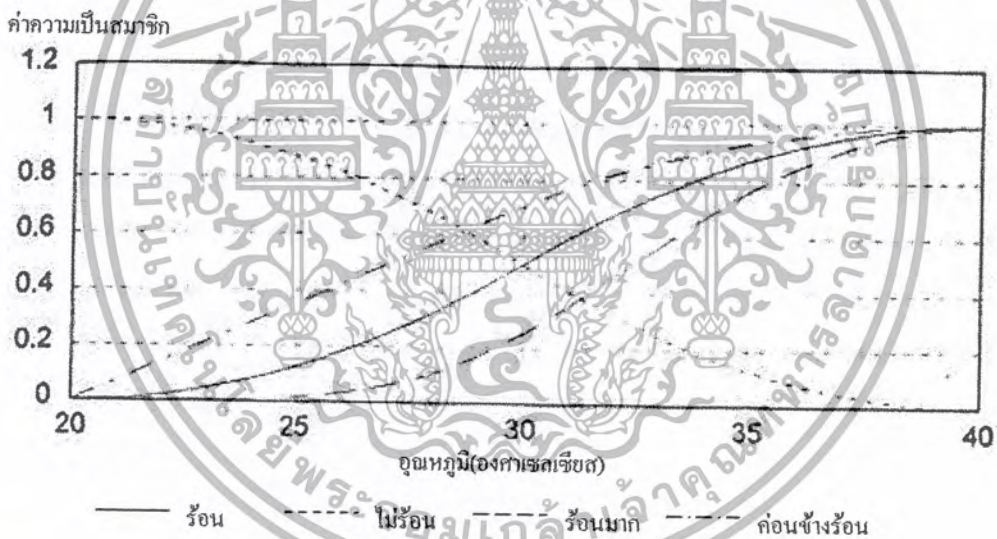
$$INT(A) \Rightarrow \mu_{INT(A)}(x_i) = \begin{cases} 2(\mu_A(x_i))^2; & \text{ถ้า } 0 \leq \mu_A(x_i) \leq 0.5 \\ 1 - 2(1 - \mu_A(x_i))^2; & \text{ถ้า } 0.5 < \mu_A(x_i) \leq 1 \end{cases} \quad (2-20)$$

## 2.5 ส่วนขยายของฟังก์ชันเซต

ส่วนขยาย (Hedge) ของฟังก์ชันเซตจะมีคุณสมบัติคล้ายกับค่าคุณศัพท์ในประโยคที่เราใช้พูดคุยติดต่อสื่อสารกัน ซึ่งจะขยายให้มีใจความของประโยคให้ได้ความหมายที่ชัดเจนยิ่งขึ้นหรือทำให้ความหมายเปลี่ยนไป สำหรับ Hedge ของฟังก์ชันเซตนั้นจะขยายเทอมเซตของตัวแปรฟังก์ชันเซต เพื่อให้การประมาณค่าของตัวแปรมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น เมื่อขยายเทอมเซตใดด้วย Hedge จะส่งผลให้รูปร่างของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเทอมเซตนั้นๆ เปลี่ยนไปและในบางกรณีอาจทำให้ได้เทอมเซตใหม่ขึ้นมา Hedge แต่ละตัวจะเป็นตัวดำเนินการของฟังก์ชันเซต เช่น Hedge คำว่า “มาก” Zadeh ได้ให้ความหมายของคำนี้ไว้โดยการยกกำลังค่าความเป็นสมาชิกทุกตัวในเทอมเซตด้วยสอง ซึ่งก็คือตัวดำเนินการ Concentration ของฟังก์ชันเซต ส่วน Hedge ของคำว่า “ค่อนข้าง” Zadeh ได้ให้ความหมายของคำนี้ไว้โดยการถอดรากที่สองของค่าความเป็นสมาชิกทุกตัวในเทอมเซตหรือก็คือตัวดำเนินการ Dilation ของฟังก์ชันเซตนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาเหตุที่ Zadeh แทนความหมายของ Hedge ของคำว่า “มาก” และ “ค่อนข้าง” ด้วยตัวดำเนินการยกกำลังคือยกกำลังด้วย 2 และ 0.5 ตามลำดับ ก็เพื่อทำการแปลงค่าความเป็นสมาชิกให้เหมาะสมกับทอเมเซตนั้นๆ ยิ่งขึ้น อย่างเช่น คำว่า “มาก” เมื่อนำไปขยายเซตใด แสดงว่าค่อนข้างแน่ใจว่าข้อมูลของทอเมเซตนั้นต้องการความถูกต้องสูง และเพื่อให้แน่ใจว่าค่าระดับความเป็นสมาชิกของทอเมเซตนี้มีความถูกต้องสูงจริงๆ จึงทำการลดค่าระดับความเป็นสมาชิกลงมาโดยตัวดำเนินการ Concentration ส่วน Hedge คำว่า “ค่อนข้าง” แสดงถึงความไม่แน่ใจในผลตอบสนองของทอเมเซตนั้นๆ จึงทำการเพิ่มค่าระดับความเป็นสมาชิกให้มากขึ้นโดยการยกกำลังด้วย 0.5 ความจริงความหมายของ Hedge เป็นการแปลความหมายตามอำเภอใจ ดังนั้นคำว่า “มาก” อาจจะไม่จำเป็นต้องยกกำลังสองก็ได้ เช่น อาจยกกำลังด้วย 1.3 หรือ 1.8 เป็นต้น สำหรับทอเมเซตตัวอื่นๆ ที่มักพบบ่อยคือตัวดำเนินการคอมพลิเมนต์หรือ Hedge คำว่า “ไม่” ส่วน Hedge ที่ใช้ในการเปรียบเทียบเช่น “มากกว่า” หรือ “สูงกว่า”, “น้อยกว่า” หรือ “ต่ำกว่า” เป็นต้น ภาพที่ 2-5 แสดง Hedge ของแปรตัวอุณหภูมิ ซึ่งเป็นอุณหภูมิห้อง



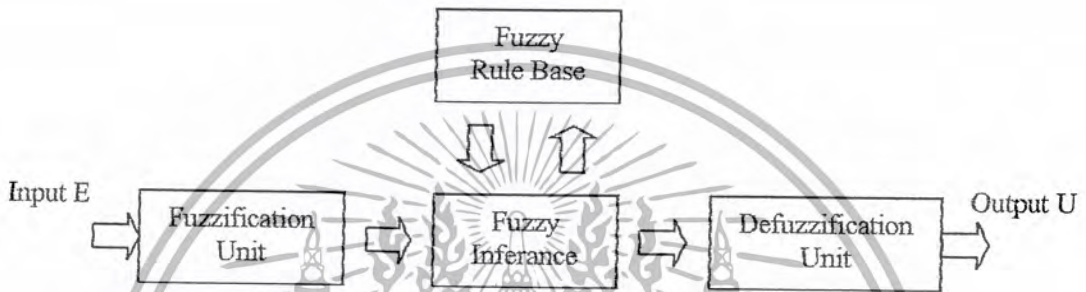
ภาพที่ 2-5 แสดง Hedge ของตัวแปรอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบตัวควบคุม Fuzzy

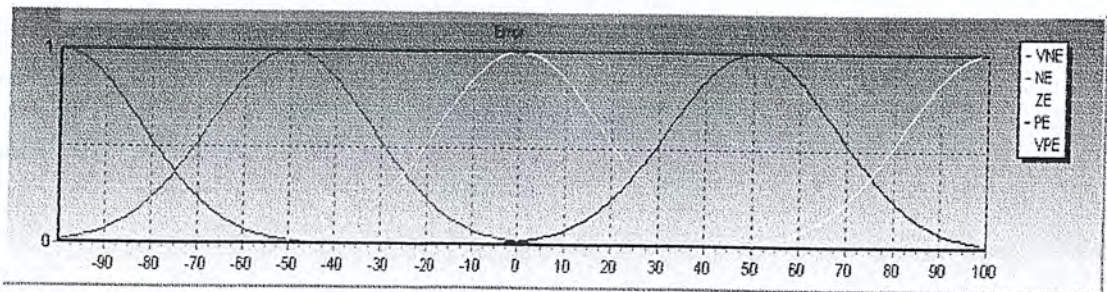
จากหัวข้อที่กล่าวมาแล้วทั้งหมดในเรื่องของฟัซซี่เซต จะถูกนำมาใช้ในแบบจำลองฟัซซี่ (Fuzzy Model) ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ใช้ในการอนุมานค่าของตัวแปร ซึ่งมีขั้นตอนการทำงาน ดังบล็อกไดอะแกรมในภาพที่ 3-1



ภาพที่ 3-1 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของตัวควบคุมฟัซซี่

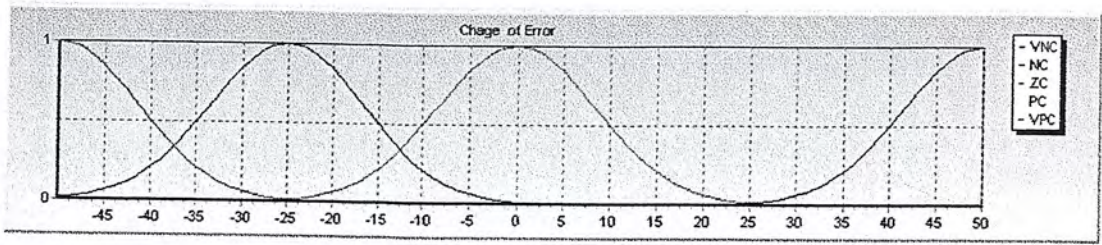
3.1 การกำหนดเซตทางอินพุตของ Fuzzy

ในการกำหนดเกณฑ์ทางอินพุต จะต้องกำหนดช่วงของการซ้อนทับกันของเซตแต่ละเซต ให้เหมาะสมกับระบบ หากเกิดการซ้อนทับกันมากก็จะทำให้เกิดการเลือกกฎการควบคุมมากทำให้เกิดการเลือกกฎการควบคุมมากทำให้ยากแก่การหากกฎควบคุมแต่จะได้รับการควบคุมที่ละเอียดมากขึ้น หากซ้อนทับกันน้อยก็จะทำให้เกิดกฎขึ้นมาน้อย แม้ว่าจะง่ายแก่การออกกฎ ในการทดลองนี้จะกำหนดให้ช่วงของเซตอินพุตอยู่ที่ช่วง -100 ถึง +100 สำหรับถ้านอกขอบเขตนี้จะทำการควบคุมแบบหยาบเพื่อให้เข้าสู่ค่าเป้าหมายได้เร็วขึ้น



ภาพที่ 3-2 แสดงชุดเซตของ Error

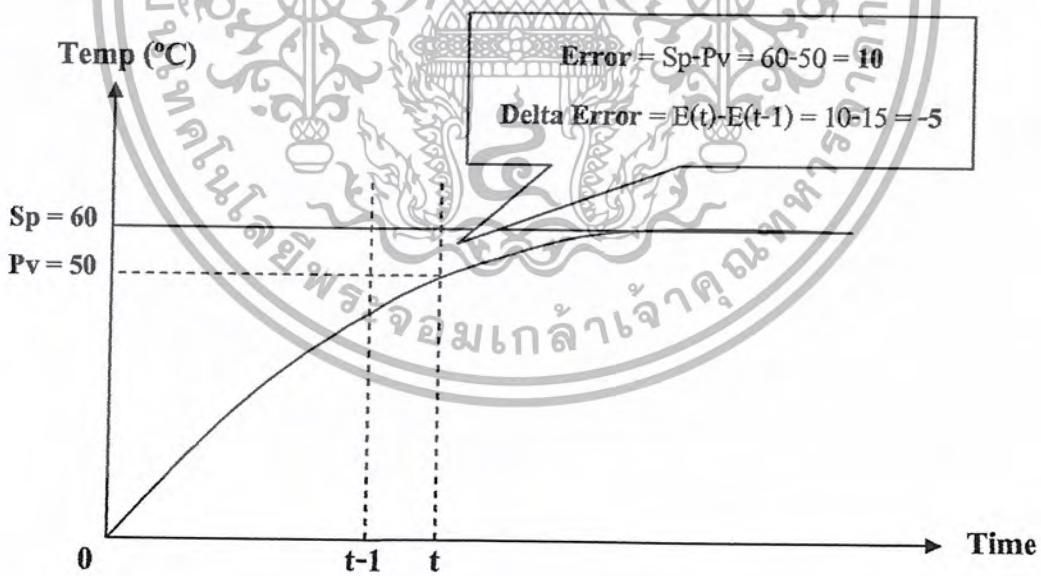
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาเอกสารอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3-3 แสดงชุดเซตของ Delta Error

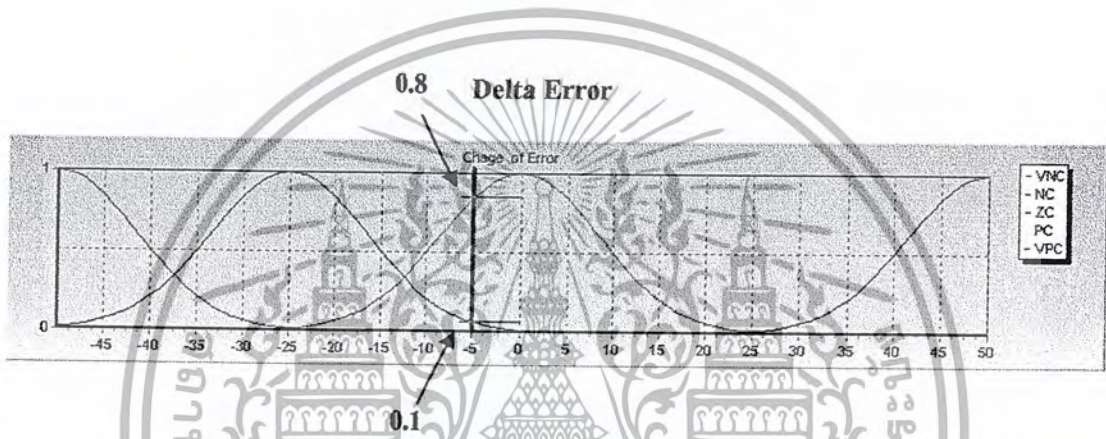
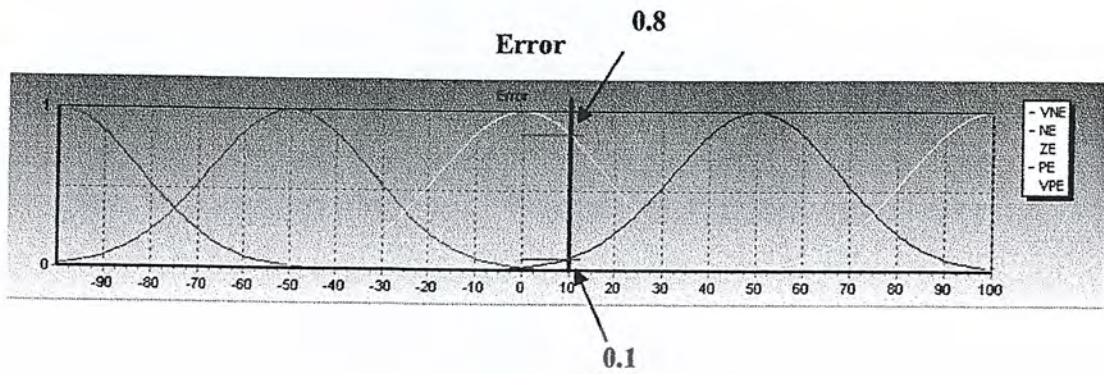
### 3.2 การกำหนดหน่วยฟัซซี่ฟิเคชัน (Fuzzification)

การทำงานฟัซซี่ฟิเคชัน จะมีหน้าที่ในการแปลงข้อมูลตัวแปรของอินพุทให้เป็นข้อมูลตัวแปรของฟัซซี่เพื่อให้หน่วยอินเฟอร์เรนซ์ทำการตัดสินใจต่อไป โดยขั้นตอนในการแปลงข้อมูลจะใช้หลักการที่ให้ค่าอินพุทเข้ามาเป็นเซตซึ่งเกิดคั่น ซึ่งเมื่อเกิดมีอินพุทเข้ามาเซตซึ่งเกิดคั่นในตำแหน่งนั้นจะทำการอินเตอร์เซกชันกับเซตทางอินพุทของฟัซซี่ที่กำหนดไว้ก่อนแล้ว ซึ่งผลลัพธ์ของการอินเตอร์เซกชันที่ได้จะเป็นค่าระดับการเป็นสมาชิกของสัญญาณอินพุท Error, Delta Error



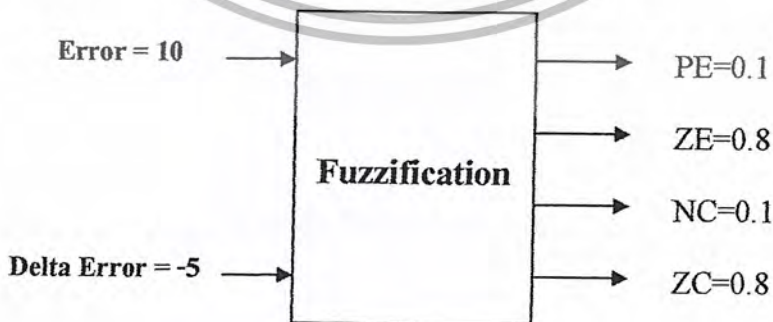
ภาพที่ 3-4 แสดงกราฟค่า Error และ Delta Error

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3-5 แสดงการฟัซซีฟิเคชันโดยขงเกิดต้น

ถ้าค่า Error เข้ามาที่ 10 เป็นขงเกิดต้น จะทำให้เกิดการอินเตอร์เซ็กชันกับเซต PE = 0.1 และ ZE = 0.8 ส่วน Delta Error เข้ามาที่ -5 จะ ได้ค่า NC = 0.1 และ ZC = 0.8



ภาพที่ 3-6 แสดงบล็อกของการ Fuzzification

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การกำหนดหน่วยกฎการควบคุม (Fuzzy Rule Base)

ในการทำกฎการควบคุมจะให้หลักเกณฑ์การพิจารณาจากค่าอินพุตแต่ละอินพุต เพื่อจะระบุเอาต์พุตที่เหมาะสมในตาราง โดยเลือกเซตเอาต์พุตซึ่งเป็นเซตซึ่งเกิดค้น ลงในตารางกฎการควบคุมนั้น จะต้องพิจารณาว่าอินพุตค่าความผิดพลาดมีค่าเป็นอย่างไร สมมุติว่ามีค่าเป็นบวก แสดงว่าค่าเอาต์พุตยังต่ำกว่าค่าเป้าหมาย ในขั้นตอนนี้ต่อไปพิจารณาที่อินพุต การเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาดว่ามีค่าเป็นอย่างไร ถ้ามีค่าเป็นบวกก็แสดงว่าแนวโน้มของการเกิดค่าความผิดพลาด (แนวโน้มที่ค่าเอาต์พุตจะออกห่างจากค่าเป้าหมาย) มีค่าเพิ่มขึ้น ได้ทั้ง 2 อินพุตแล้วได้ว่าเอาต์พุตยังไม่ถึงค่าเป้าหมายและยังแนวโน้มว่ายังไม่เข้าใกล้ค่าเป้าหมาย ฉะนั้นเซตซึ่งเกิดค้นทางเอาต์พุตที่จะถูกเลือกในกรณีของเหตุการณ์ที่เกิดกับเอาต์พุตนี้จะต้องเลือกเซตเอาต์พุตที่มีค่าบวกมากๆ ลงในตารางกฎการควบคุมของความสัมพันธ์อินพุตนี้ ซึ่งจากเหตุการณ์สมมุติข้างต้นจึงนำไปพิจารณาเงื่อนไขอินพุตเพื่อกำหนดค่าเอาต์พุตในตารางแล้วนำกฎที่กำหนดไปทดสอบควบคุมกระบวนการ ซึ่งในทางตรงกันข้าม ถ้าค่าเอาต์พุตมีค่ามากกว่าเป้าหมาย และมีแนวโน้มที่จะมากขึ้น ก็ควรที่จะเลือกเซตเอาต์พุตที่เป็นเซตซึ่งเกิดค้นที่มีค่าน้อยลง

ตารางที่ 3-1 แสดงตาราง Rule Base

	Error				
	VNE	NE	ZE	PE	VPE
VNC	-50	-11	20	50	50
NC	-50	-14	10	47	50
Delta Error ZC	-50	-36	-21	41	50
PC	-50	-39	-23	14	50
VPC	-50	-46	-42	13	50

### 3.4 การกำหนดของหน่วยฟัซซีอินเฟอร์เรนซ์ (Fuzzy Inference)

การทำงานของหน่วยอินเฟอร์เรนซ์มีหน้าที่ในการตัดสินใจที่จะเลือกค่า Output โดยจะเลือกตามกฎการควบคุมที่กำหนดโดยจะนำค่าที่ได้จากหน่วยฟัซซีฟิเคชันมาทำการเปรียบเทียบ จากตัวอย่าง ค่าที่ได้เซตของชุด Error ที่เกิดจากการอินเตอร์เซกชันกันจะได้  $PE = 0.1$ ,  $ZE = 0.8$  และของชุด Delta Error จะได้  $NC = 0.1$ ,  $ZC = 0.8$  จากนั้นนำค่าที่ได้ไปทำการเลือกกฎที่จะทำการควบคุมโดยค่าจะได้จากตารางดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3-2 แสดงการอินเฟอร์เรนซ์

	Error				
	VNE	NE	ZE	PE	VPE
VNC	-50	-11	20	50	50
NC	-50	-14	10	47	50
Delta Error ZC	-50	-36	-21	41	50
PC	-50	-39	-23	14	50
VPC	-50	-46	-42	13	50

จะได้ว่า

เขต ZE, NC จะเลือกกฎ

10

เขต PE, NC จะเลือกกฎ

47

เขต ZE, ZC จะเลือกกฎ

-21

เขต PE, ZC จะเลือกกฎ

41

### 3.5 การกำหนดหน่วยดีฟัซซีฟิเคชัน (Defuzzification)

ในส่วนของการหาค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบฟัซซี หรือการแปลงแบบฟัซซีมาเป็นตัวแปรของกระบวนการ ในหน่วยดีฟัซซีฟิเคชันนี้จะใช้วิธีการของการเฉลี่ย จะนำค่าของเซตเอาต์พุตที่ได้จากหน่วยอินเฟอร์เรนซ์มาคำนวณ โดยในตารางช่องแรก เขต ZE, NC ได้ค่าเอาต์พุตเท่ากับ 10 และมีระดับความเป็นสมาชิก 2 ค่าคือ 0.8 และ 0.1 แต่การฟัซซีฟิเคชันด้วยวิธีนี้จะใช้หลักการของ การกระทำแบบค่าต่ำสุด (Min Operator) ก็คือการเลือกค่าระดับการเป็นสมาชิกที่ต่ำกว่า ฉะนั้นเราจึงเลือกค่าระดับการเป็นสมาชิกที่ 0.1 ของเงื่อนไขอินพุตนี้ ฉะนั้นในตารางถัดไปจะใช้หลักการเดียวกันทั้งหมด ในส่วนของค่าเอาต์พุตสุดท้ายสามารถคำนวณได้ดังนี้

ตารางที่ 3-3 แสดงการฟัซซี่ฟิเคชั่น

Set (Error, Delta Error)	Output	Membership function
ZE, NC	10	0.1
PE, NC	47	0.1
ZE, ZC	-21	0.8
PE, ZC	41	0.1

$$\text{Output} = \frac{(10*0.1) + (47*0.1) + (-21*0.8) + (41*0.1)}{(0.1+0.1+0.8+0.1)} = -6.364$$

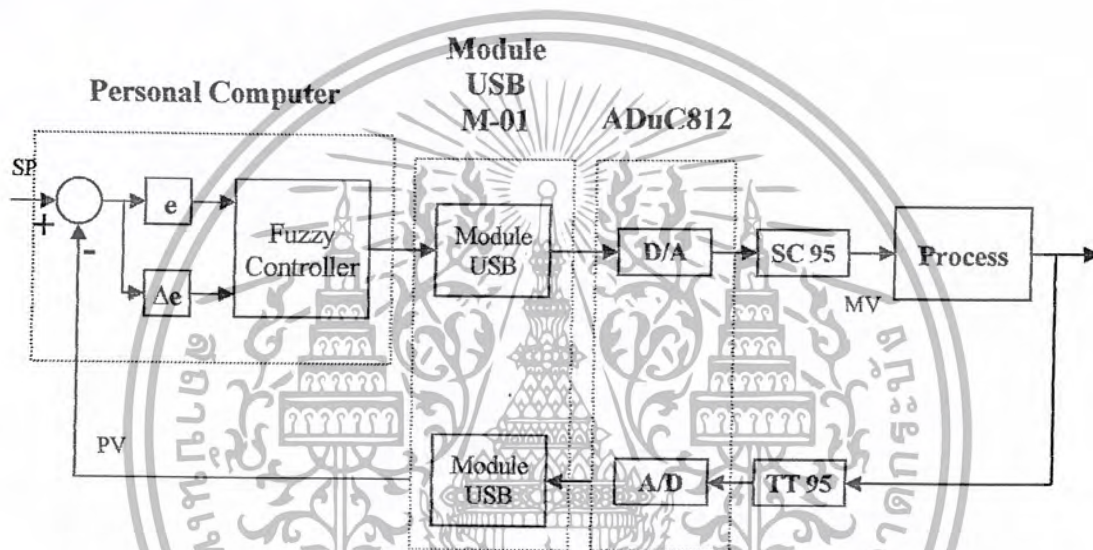
ฟัซซี่ (Fuzzy) ตามรูปศัพท์มีอยู่สองความหมายคือ เป็นฟอย, ขนปุย “Like or Having Fuzzy” ส่วนอีกความหมายหนึ่งคือ เลอะเลือน, คลุมเครือ, ไม่ชัดเจน “Blurred or Unclear Ideas” ซึ่งฟัซซี่เซตในที่นี้จะตรงกับความหมายที่สองคือเป็นเซตที่มีความคลุมเครือ (Fuzziness) คำว่า “คลุมเครือ” ในที่นี้หมายถึงความไม่ชัดเจนของตัวแปรฟัซซี่ที่เราไม่สามารถกำหนดขอบเขตให้กับตัวแปรได้อย่างแน่นอน เช่น ในประโยคที่ว่า “วัยกลางคน” ซึ่งมีตัวแปรฟัซซี่คือ อายุ จะเห็นได้ว่าเราไม่สามารถกำหนดขอบเขตได้ชัดเจนลงไปว่าช่วงอายุเท่าไรจึงจะเป็นวัยกลางคน แต่ในทางฟัซซี่เซตสามารถแทนตัวแปรอายุจากประโยค “วัยกลางคน” (เป็นเทอมเซต) ได้โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า “ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก” ซึ่งเป็นแนวความคิดที่ต่างจากเซตธรรมดา (Crisp Set) ก็ตรงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกนี้เอง คือฟัซซี่เซตจะมีแนวคิดของ “บางส่วนอาจจะเป็นสมาชิกของเซต” แต่ในกรณีของเซตธรรมดากจะบอกว่า “เป็นหรือไม่เป็น” สมาชิกเท่านั้น ซึ่งตรงจุดนี้เองที่ทำให้ฟัซซี่เซตมีความยืดหยุ่นกว่าเซตธรรมดา

ฟัซซี่เซตสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้จริง จะเห็นได้จากปัจจุบันมีสิ่งอำนวยความสะดวกหลายชนิดที่ใช้ฟัซซี่ลอจิกเป็นตัวควบคุม เช่น เครื่องปรับอากาศ, เครื่องซักผ้า, ลิฟท์, เต้าไมโครเวฟ, กล้องถ่ายรูป เป็นต้น ซึ่งผู้ที่นำฟัซซี่ลอจิกมาประยุกต์ใช้เป็นคนแรกคือ Mamdani และได้มีการพัฒนาต่อมาเป็นระบบฟัซซี่ (Fuzzy Systems) ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน

## บทที่ 4

### หน้าที่การทำงานของส่วนต่างๆในระบบ

ระบบที่ได้พัฒนาขึ้นนี้ จะใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมพีซซี ที่มีคุณสมบัติสามารถปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมให้กับกระบวนการ ได้อย่างอัตโนมัติโดยใช้โปรแกรม Delphi 5 ในการออกแบบตัวควบคุม โดยโครงสร้างของตัวควบคุมที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการแสดงดังภาพที่ 4-1



ภาพที่ 4-1 แสดง โครงสร้างของตัวควบคุม

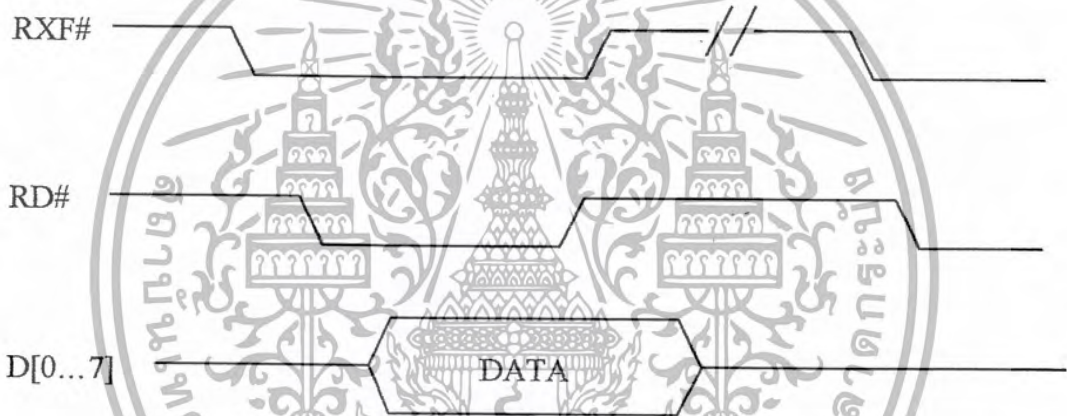
จากภาพที่ 4-1 การทำงานเริ่มต้นจากสัญญาณป้อนกลับที่ได้จากเตาอบ โดยใช้ Thermocouple type K ซึ่งจะต่ออยู่กับ Thermocouple Transmitter (TT 95) เพื่อวัดอุณหภูมิในเตาอบแล้วแปลงเป็นสัญญาณมาตรฐาน 1-5 V ไปยังอุปกรณ์ ADuC812 เพื่อแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นดิจิตอล (A/D Converter) แล้วส่งออกสัญญาณดิจิตอลที่อยู่ในรูปแบบของ Parallel ไปยัง USB-Module เพื่อทำให้สามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ทางพอร์ต USB ได้ จากนั้นคอมพิวเตอร์ก็จะทำการประมวลผลตามหลักการของพีซซี เพื่อที่จะนำค่าที่เหมาะสมส่งออกมาที่ USB-Module แล้วส่งไปยัง ADuC812 อีกทีเพื่อแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอก (D/A Converter) แล้วนำสัญญาณอนาลอก 1-5 V ที่ได้ ไปแปลงเป็นสัญญาณมาตรฐาน 4-20 mA ที่ตัว Signal Converter (SC 95) แล้วนำสัญญาณที่ได้ส่ง ไปยัง Process ซึ่งจะมี Final Control Element เพื่อควบคุมพลังงานของฮีตเตอร์โดยใช้หลักการควบคุมมุมเฟสการทริกสัญญาณที่ขาเกตของ SCR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1 Module USB M-01

การส่งข้อมูลที่เชื่อมต่อกับโมดูล เช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์ไปยังโฮสคอมพิวเตอร์สามารถโดยการเขียนข้อมูลขนาด 8 ไบต์ ไปยังโมดูลในขณะที่ขา TXE# มีสถานะเป็นลอจิกต่ำ ถ้าบัพเฟอร์สำหรับส่ง (384 ไบต์) ถูกเขียนข้อมูลลงไปแล้ว หรือยังอยู่ในสถานะที่ไม่ว่าง (Busy) เนื่องจากการเขียนข้อมูลในครั้งนี้ ตัวโมดูลจะทำให้สถานะที่ขา TXE# นี้เป็นลอจิกสูงเพื่อหยุดการเขียนข้อมูลจนกระทั่งข้อมูลของ FIFO ถูกส่งผ่านสาย USB ไปยังโฮสแล้ว

เมื่อโฮสส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์รอบข้างโดยผ่านสาย USB แล้ว ตัวโมดูลจะทำให้ขา RXF# อยู่ในสถานะลอจิกต่ำเพื่อเป็นการบอกรับข้อมูลว่าในขณะนี้ข้อมูลอยู่อย่างน้อย 1 ไบต์ พร้อมให้วงจรถืออ่านออกไปได้ ข้อมูลจะถูกอ่านโดยวงจรถืออ่านจนกระทั่งขา RXF# ของโมดูล มีสถานะเป็นลอจิกสูงซึ่งเป็นการบ่งบอกว่าข้อมูลที่อยู่ในบัพเฟอร์หมดแล้ว



ภาพที่ 4-2 แสดงไคอะแกรมเวลาสำหรับการอ่านข้อมูลจาก Module USB-M01



ภาพที่ 4-3 แสดงไคอะแกรมเวลาสำหรับการเขียนข้อมูลไปยัง Module USB-M01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การรับส่งข้อมูลระหว่าง PC กับ MicroConvertor

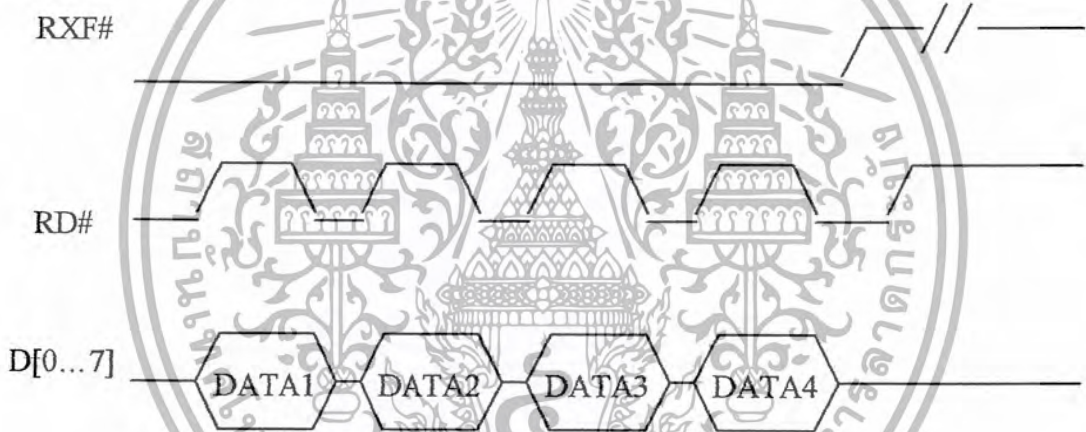
การส่งข้อมูลระหว่าง PC กับ MicroConvertor จะเป็นการรับส่งแบบขนานขนาด 8 บิต โดยมี Module USB เป็นตัวอินเตอร์เฟสกันระหว่าง PC กับ MicroConvertor การรับส่งหนึ่งครั้งจะส่งค่าดิจิทัลที่จะแปลงเป็นสัญญาณอนาล็อก (D/A Converter) และสัญญาณดิจิทัลที่ได้จากการแปลงสัญญาณอนาล็อก (A/D Converter) โดยในการ Converse สัญญาณแต่ละครั้งจะประกอบด้วยข้อมูลอยู่ 2 ชุด คือ ชุดที่เป็นไบต์สูงและไบต์ (ถ้ามองจาก PC การส่งค่าคือการส่งสัญญาณดิจิทัล DAC0H และ DAC0L ส่วนการรับค่าคือ ADC DATAH และ ADCDATAL) ในเริ่มแรกจะเขียนข้อมูลจำนวน 8 ไบต์ลงไปในบัฟเฟอร์ (FIFO) ด้านส่ง (DAC0H และ DAC0L) เพื่อให้ MicroConvertor มารับสัญญาณเพื่อไป Converse ต่อไปหลังจากเขียนข้อมูลลงไปในบัฟเฟอร์ด้านส่ง (FIFO) จากนั้นก็จะเริ่มทำการอ่านข้อมูลจากบัฟเฟอร์ด้านรับ (FIFO) โดยจะทำการอ่านจำนวนไบต์ที่อยู่ในบัฟเฟอร์จากนั้นก็ทำการอ่านข้อมูลออกมาโดยการเก็บข้อมูลจะเป็นการเก็บแบบอาร์เรย์และในขณะที่เดียวกันในการอ่านข้อมูลจะต้องมี Pointer ในการชี้ตำแหน่งข้อมูล ลักษณะการทำงานทางด้าน PC เมื่ออ่านข้อมูลจากบัฟเฟอร์จนหมดแล้วก็จะส่งข้อมูลชุดใหม่ (DAC0H และ DAC0L) เมื่อส่งข้อมูลจนครบแล้วก็จะอ่านจำนวน ไบต์ข้อมูลและอ่านข้อมูลจะกระทำอย่างนี้ไปเรื่อยๆ

การรับข้อมูลของ MicroConvertor จะใช้การอินเทอร์รัพท์จากภายนอก (INTO#) ซึ่งสัญญาณอินเทอร์รัพท์คือ RXF# ของ Module USB เมื่อมีการส่งข้อมูลมายังบัฟเฟอร์ของ Module USB ขาสัญญาณ RXF# ของตัว Module จะเป็นจะเป็นลอจิก 0 เพื่อที่จะบอกกับอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อ (MicroConvertor) ว่าขณะนี้ข้อมูลมารออยู่ที่บัฟเฟอร์ จากนั้นเมื่ออุปกรณ์ภายนอก (MicroConvertor) ทราบว่ามีข้อมูลอยู่ที่บัฟเฟอร์ของ Module USB ตัว MicroConvertor ก็จะส่งสัญญาณ SRD เป็นลอจิก 0 เพื่อบอกกับตัว Module USB ว่าขณะนี้มีการอ่านข้อมูลจากบัฟเฟอร์ขนาด 1 ไบต์เมื่ออ่านข้อมูลใน ไบต์นี้เสร็จสิ้น MicroConvertor ก็จะส่งสัญญาณ SRD เป็นลอจิก 1 เพื่อบอกกับ Module USB ให้ทำการเลื่อน ไบต์ข้อมูลถัดไปจากนั้นก็ทำการตรวจสอบสัญญาณ RXF# ว่ายังมีสถานะเป็นลอจิก 0 หรือไม่ถ้ายังเป็น 0 แสดงว่ายังมีข้อมูลอยู่ในบัฟเฟอร์ของ Module โปรแกรม ก็จะวนกลับไปอ่านข้อมูลอีกจนขาสัญญาณ RXF# เป็น 1 ซึ่งในตอนแรกเราได้ทำการเซ็ทให้เป็น 1 ซึ่งแสดงว่าไม่มีข้อมูลส่งเข้ามาที่บัฟเฟอร์ โปรแกรมจะกลับมารอการอินเทอร์รัพท์อีกครั้ง (ข้อมูลที่รับมาจะเป็นข้อมูลที่เป็นดิจิทัลขนาด 2 ไบต์ DAC0H และ DAC0L) ที่จะแปลงเป็นสัญญาณอนาล็อก

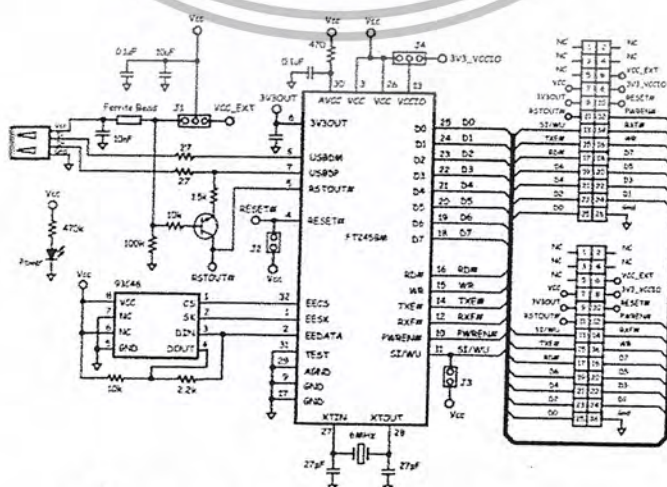
การส่งข้อมูลจาก MicroConvertor ไปยัง Module USB จะใช้อินเทอร์รัพท์ภายใน (ADC Interrupt) ซึ่งเกิดจากการแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิทัลเสร็จสิ้นในการส่งข้อมูล 1 ครั้ง โปรแกรมจะทำการตรวจสอบสัญญาณ TXE# ว่า เป็นลอจิก 0 หรือไม่สัญญาณนี้เป็นสัญญาณที่ส่งมาจาก Module USB เพื่อที่จะบอกกับอุปกรณ์ภายนอกว่าขณะนี้บัฟเฟอร์ด้านรับยังว่างอยู่และ

สามารถรับข้อมูลได้โดยการส่งสัญญาณ TXE# เป็นลอจิก 0 (เมื่อข้อมูลที่ส่งมาครั้งก่อนนี้ทำให้ บัฟเฟอร์ทางด้านรับของ Module USB เต็ม Module จะส่งสัญญาณ TXE# ที่เป็นลอจิก 1 เพื่อบอก กับอุปกรณ์ภายนอกว่าขณะนี้ Module ไม่สามารถที่จะรับข้อมูลได้อีก) เมื่อตรวจสอบพบว่า TXE# เป็นลอจิก 0 จากนั้น โปรแกรมก็จะส่งสัญญาณ SWR เป็นลอจิก 1 เพื่อบอกว่าขณะนี้ต้องการเขียน ข้อมูลขนาด 1 ไบต์ มายังบัฟเฟอร์ด้านรับของ Module USB เมื่อส่งข้อมูลเสร็จก็จะส่งสัญญาณ ที่เป็นลอจิก 0 ตามเดิม (ในตอนแรกเราเซตให้เป็น 0) ซึ่งการรับส่งข้อมูลทั้งทางด้าน PC และ MicroConverter แสดงดังภาพที่ 4-4

ในการอินเตอร์รัพท์ 1 ครั้ง (การส่งข้อมูลจาก MicroConverter ไปยัง โมดูล) จะส่งข้อมูล ทั้งหมด 4 ไบต์ คือ 2 ไบต์แรกใช้เช็คความถูกต้องของข้อมูล และ 2 ไบต์หลังเป็นข้อมูลที่ได้จากการ แปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิตอล (ADCDATAH และ ADCDATA L) ซึ่งชุดของข้อมูลที่ส่ง 1 ครั้งแสดงดังภาพที่ 4-4 ดังนั้นทางด้านรับก็ต้องมีการเขียน โปรแกรมเพื่อตรวจสอบข้อมูลเช่นกัน



ภาพที่ 4-4 แสดงไทม์ไลน์สำหรับการเขียนข้อมูลจาก MicroConverter ไปยัง Module USB-M01

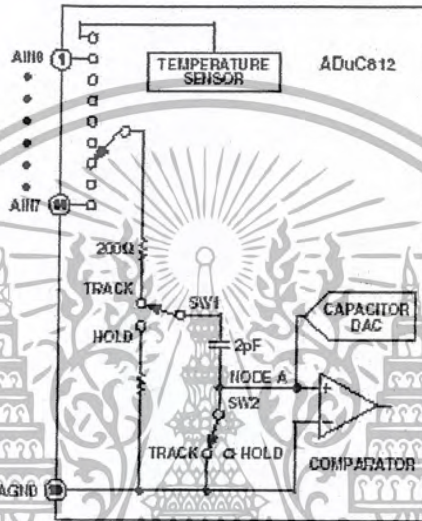


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับภาพที่ 4-5 แสดงวงจรภายในของ Module USB-M01 ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 MicroConverter ADuC812

### 4.2.1 Analog to Digital Converter (ADC)

ในส่วนของ ADC Converter นี้จะมีขนาด 12-bit, 8-channel โดยเลือกสัญญาณอินพุตจาก Mux ซึ่งจะมีอยู่ภายในตัวชิพ นอกจากนั้นยังมีคุณสมบัติอื่นๆ ดังนี้ คือ มี Track/Hold, On-chip reference, calibration feature ดังแสดงในภาพที่ 4-6 ซึ่งส่วนประกอบทั้งหมดนี้สามารถปรับได้จาก รีจิสเตอร์ SFR 3 ตัวคือ ADCCON1, ADCCON2, ADCCON3



ภาพที่ 4-6 แสดง โครงสร้างของ Internal ADC

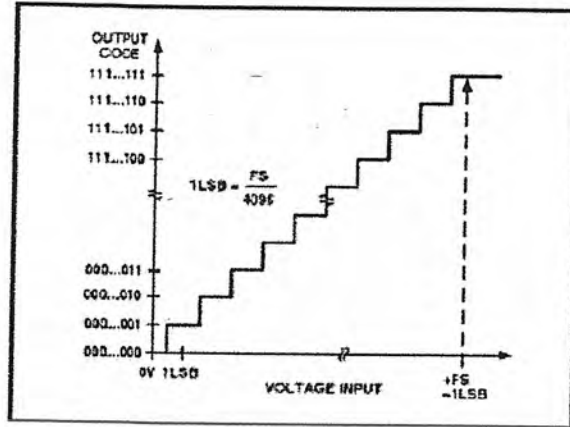
ADC Converter ภายในจะมีส่วนของ Successive Approximation (SAR) อยู่ภายในด้วย ในการแปลงสัญญาณอนาล็อกทางอินพุตจะอยู่ในช่วง 0 ถึง  $V_{REF}$  ซึ่งความเที่ยงตรงในการแปลงสัญญาณอนาล็อกทางอินพุตนั้นมีความถูกต้องสูงมาก โดยภายในจะมีแรงดันอ้างอิง ( $V_{REF}$ ) อยู่ภายในอยู่แล้วที่ 2.5 V ค่าสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จะเป็นเลขไบนารี 12 บิต ดังนั้น ค่าแรงดัน 1 LSB จะหาได้ดังแสดงในภาพที่ 4-7 และภาพแสดงคุณสมบัติการถ่ายโอนข้อมูลแสดงในภาพที่ 4-8 นอกจากนี้ผู้ใช้สามารถจะใช้แรงดันอ้างอิงจากภายนอกได้อีกด้วย (External reference) ซึ่งแรงดันจะอยู่ในช่วง 1 V ถึง  $AV_{DD}$

$$1 \text{ LSB} = \frac{FS}{4096} \quad ; \text{เมื่อ } 4096 = 2^{12\text{bit}}$$

$$= \frac{2.5V}{4096} = 0.61 \text{ mV.}$$

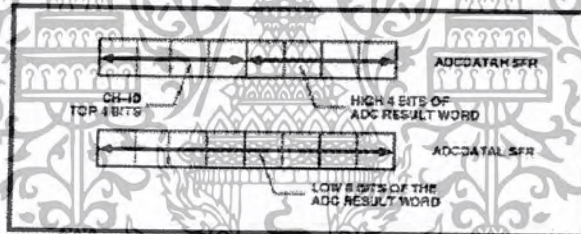
*Note* : 1 LSB คือ Least Significant Bit หมายถึง ค่าแรงดันอินพุตในแต่ละขั้นนั่นเอง.

ภาพที่ 4-7 แสดงการคำนวณค่า 1-LSB



ภาพที่ 4-8 แสดงรูป ADC Transfer Function

การใช้งาน ADC จะต้องตั้งงานผ่านรีจิสเตอร์ 3 ตัว คือ ADCCON1, ADCCON2, ADCCON3 และค่าตอบ 12 บิต ของการแปลงข้อมูลจะถูกเก็บในรีจิสเตอร์ ADCDATAH และ ADCDATAH ซึ่งแสดงดังภาพที่ 4-9



ภาพที่ 4-9 แสดงการวางผลลัพธ์จากการแปลง ADC ภายในรีจิสเตอร์ ADCDATA H/L

4.2.2 Digital to Analog Converter (DAC)

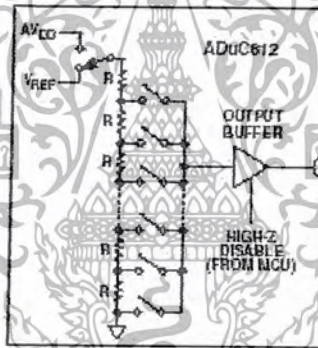
ภายใน ADuC812 จะมีขา DAC ทั้งหมด 2 ขา จำนวน 12 บิต ซึ่งแต่ละขาจะมี Buffer ที่สามารถขับโหลดได้ 10 kOhm/100pF นอกจากนั้น แต่ละขาของ DAC จะสามารถเลือกช่วง แรงดันการทำงานได้ 2 ช่วง คือ 0 V ถึง  $V_{REF}$  ( $V_{REF} = 2.5V$  ซึ่งคือ Internal band gap 2.5 V Reference) และ 0 V ถึง  $AV_{DD}$  นอกจากนั้นขา DAC สามารถทำงานได้ทั้งโหมด 12 bit และ 8 bit โดย DAC ทั้ง 2 จะมีรีจิสเตอร์ที่ใช้ควบคุมมันซึ่ง ได้แก่ DACCON และมีรีจิสเตอร์อีก 4 ตัวสำหรับ เก็บข้อมูล ได้แก่ DACIH, DACIL, DACOH, DACOLซึ่ง แรงดันที่ขา DAC จะเปลี่ยนแปลงทันที ในขณะที่รีจิสเตอร์ DACL ถูกเขียนข้อมูล ดังนั้น รีจิสเตอร์ข้อมูลควรจะให้มีการเปลี่ยนแปลงหรือ กำหนดค่าข้อมูลที่ รีจิสเตอร์ DACH ก่อนแล้วจึงค่อยตามด้วยค่ารีจิสเตอร์ DACL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

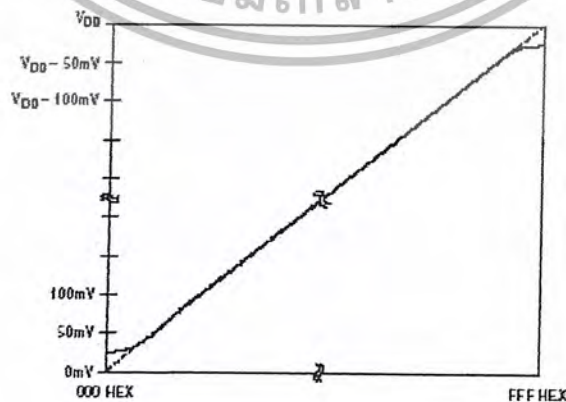
### การทำงานของ DAC

วงจรการทำงานเสมือนของ DAC ภายในจะประกอบไปด้วยตัวต้านทานและ Buffer Amplifier ซึ่งแสดงได้ดังภาพที่ 4-10 ซึ่งคุณสมบัติเด่นของมันคือ ความเป็น linear ของการทำงาน จากภาพที่ 4-10 จะเห็นว่า มี switch เลือกแรงดันอ้างอิง ซึ่งมีอยู่ 2 แหล่ง คือ  $V_{DD}$  และ  $V_{REF}$  ซึ่งในการใช้งานในโหมด 0-to- $V_{DD}$  แรงดันเอาต์พุตที่ได้จะอยู่ในช่วง 0 V ถึงค่าแรงดันที่ขา  $V_{DD}$  และในกรณีที่ใช้งานในโหมด 0-to- $V_{REF}$  ค่าแรงดันเอาต์พุตของ DAC จะอยู่ในช่วง 0 V ถึงค่าแรงดันอ้างอิงภายใน  $V_{REF}$  ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.5 V

ความผิดพลาดหนึ่งที่แสดงให้เห็นในภาพที่ 4-11 คือ การไม่เป็นเชิงเส้นในช่วงเริ่มต้นและช่วงปลาย ซึ่งทางเอาต์พุตของวงจรขยายจะเกิดการ Saturation ซึ่งในทางอุดมคติเราต้องการการทำงานที่เป็นเชิงเส้น (linear) ตลอดทั้งย่านซึ่งแสดงด้วยเส้นประในภาพที่ 4-11 โดยในภาพที่ 4-11 นี้จะเป็นการแสดง Transfer function ของโหมด 0-to- $V_{DD}$  เท่านั้น แต่ในโหมด 0-to- $V_{REF}$  จะมีลักษณะที่เหมือนกัน แต่ระยะความไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear) จะน้อยกว่าเนื่องจาก  $V_{REF} < V_{DD}$



ภาพที่ 4-10 แสดงวงจรเสมือนของ DAC

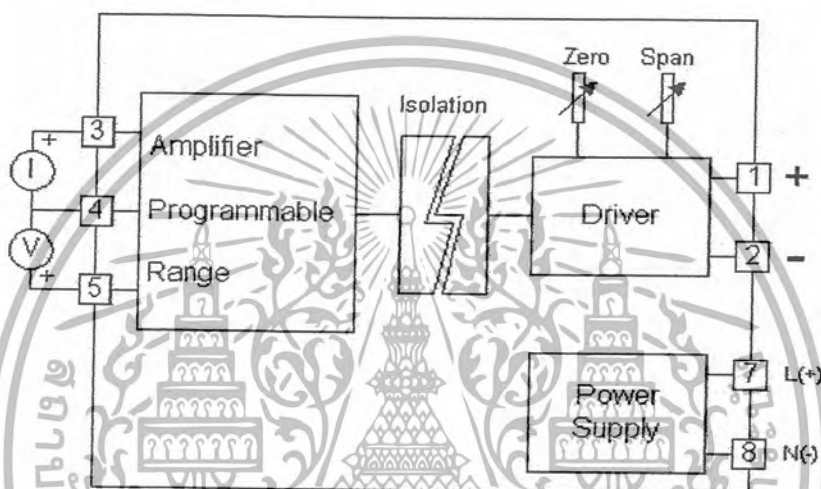


ภาพที่ 4-11 แสดงช่วงของการไม่เป็นเชิงเส้นของวงจรขยายสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 Signal Converter (SC95)

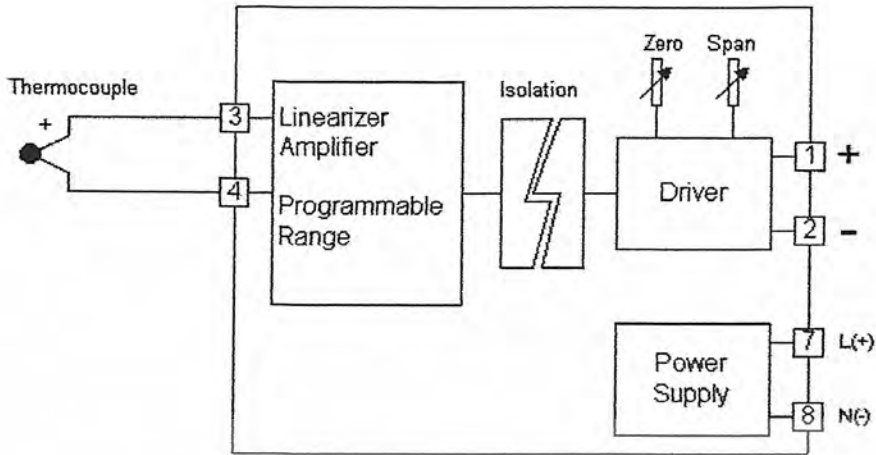
เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณแรงดันอนาล็อก 1-5 V เป็นกระแส 4-20 mA เพื่อที่จะส่งกระแสที่ได้นี้ไปยัง Final Control Element เพื่อทำการควบคุมฮีดเตอร์ต่อไป ซึ่งโครงสร้างวงจรภายในของ SC95 นี้ แสดงดังภาพที่ 4-12 โดยที่การใช้งาน จะต่อสัญญาณแรงดันอินพุทเข้าที่ขา 4 กับ 5 ส่วนสัญญาณกระแสเอาต์พุท จะต่อออกทางขา 1 กับ 2 โดยที่จะต้องต่อแรงดันไฟสลับ 220 VAC เพื่อเลี้ยงวงจรเข้าที่ขา 7 กับ 8 ด้วย



ภาพที่ 4-12 แสดงโครงสร้างวงจรภายในของ SC95

### 4.4 Thermocouple Transmitter (TT95)

เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงจากสัญญาณแรงดันขนาดเล็ก ซึ่งมีหน่วยเป็นมิลลิโวลต์ จาก Thermocouple ให้เป็นสัญญาณแรงดันมาตรฐาน 1-5 V เพื่อส่งต่อสัญญาณไปยังตัว MicroConverter ADuC812 เพื่อทำการแปลงจากสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลต่อไป ซึ่งโครงสร้างวงจรภายในของ TT95 นี้ แสดงดังภาพที่ 4-13 โดยที่การใช้งาน จะต่อสัญญาณแรงดันอินพุทจาก Thermocouple เข้าที่ขา 3 กับ 4 ส่วนสัญญาณแรงดันเอาต์พุท จะต่อออกทางขา 1 กับ 2 โดยที่จะต้องต่อแรงดันไฟสลับ 220 VAC เพื่อเลี้ยงวงจรเข้าที่ขา 7 กับ 8 ด้วย



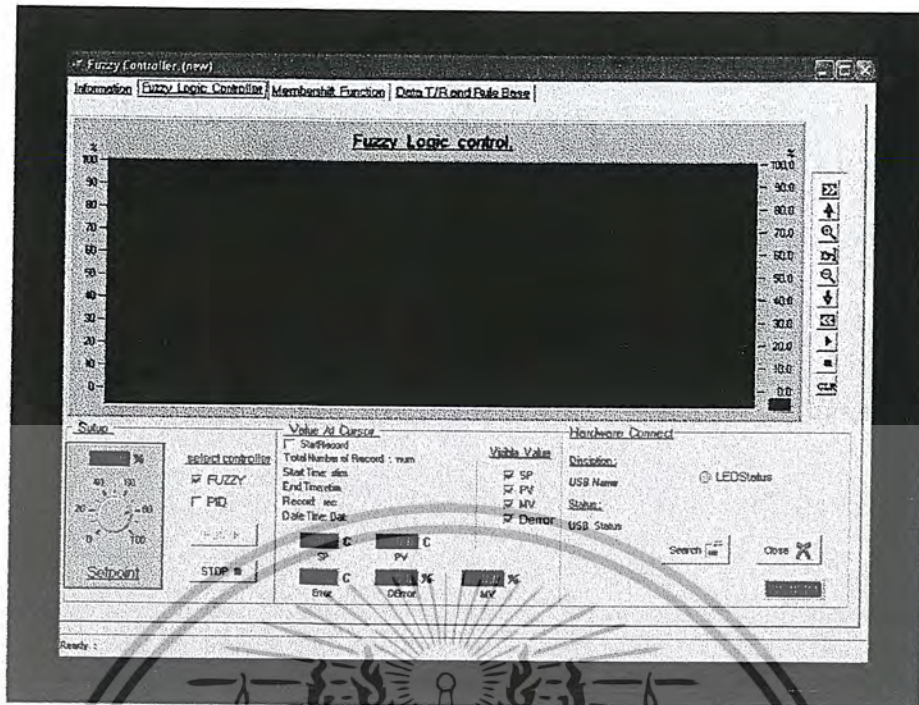
ภาพที่ 4-13 แสดงโครงสร้างวงจรภายในของ TT95

#### 4.5 โปรแกรมควบคุมแบบพีซี และ PID

ในงานวิจัยนี้ทำการออกแบบและสร้างตัวควบคุมพีซี และ PID โดยเลือกใช้โปรแกรม Delphi 5 โดยเขียนโปรแกรมให้เชื่อมต่อกับผู้ใช้ทางกราฟิก (Graphic User Interface, GUI) ซึ่งเป็นวิธีเชื่อมต่อระหว่างผู้ใช้กับคอมพิวเตอร์ โดยคอมพิวเตอร์จะถูกใช้งานก็ต่อเมื่อได้เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก แล้วป้อนข้อมูลที่ต้องการผ่านทางคีย์บอร์ด, เมาส์ หรือ trackball อย่างใดอย่างหนึ่งให้กับคอมพิวเตอร์ ซึ่งคอมพิวเตอร์จะแสดงตัวอักษรและกราฟิกต่างๆ บนจอภาพ สำหรับการเชื่อมต่อกับผู้ใช้ทางกราฟิก GUI จะสร้าง Object ต่างๆ ที่ใช้สำหรับการติดต่อหรือใช้งานร่วมกันคือ หน้าต่าง, ไอคอน, ปุ่ม, กรอบ, เมนู Popup และตัวอักษรต่างๆ ซึ่งสาเหตุที่ผู้วิจัยเลือกใช้วิธีการเขียนโปรแกรมโดย Delphi 5 ในการออกแบบและสร้างตัวควบคุมก็เนื่องมาจาก โปรแกรมนี้ง่ายต่อการศึกษาทำความเข้าใจ และมีการประมวลผลที่เร็วกว่า Visual Basic เนื่องจากมีการเขียนโปรแกรมที่กระชับกว่านั่นเอง ส่วนถ้าหากจะใช้โปรแกรม Matlab ก็จะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการซื้อการ์ดอินเตอร์เฟสซึ่งมีราคาแพง ทำให้ต้นทุนที่ใช้ในการทำฮาร์ดแวร์มีราคาสูงกว่าการใช้โปรแกรม Delphi 5 ซึ่งเสียค่าใช้จ่ายในการซื้อตัวอินเตอร์เฟสน้อยกว่า

##### 4.5.1 โครงสร้างหน้าจอแสดงผลการทำงานของตัวควบคุม

การติดต่อระหว่างผู้ใช้ทางกราฟิก หรือ GUI ที่ผู้วิจัยได้ทำการสร้างขึ้นได้แบ่งหน้าจอแสดงผลออกเป็น 3 ส่วนด้วยกันคือ หน้าจอควบคุมการทำงานหลัก, หน้าจอปรับแต่งฟังก์ชันความเป็นสมาชิก และหน้าจอสำหรับปรับแต่งค่าพารามิเตอร์



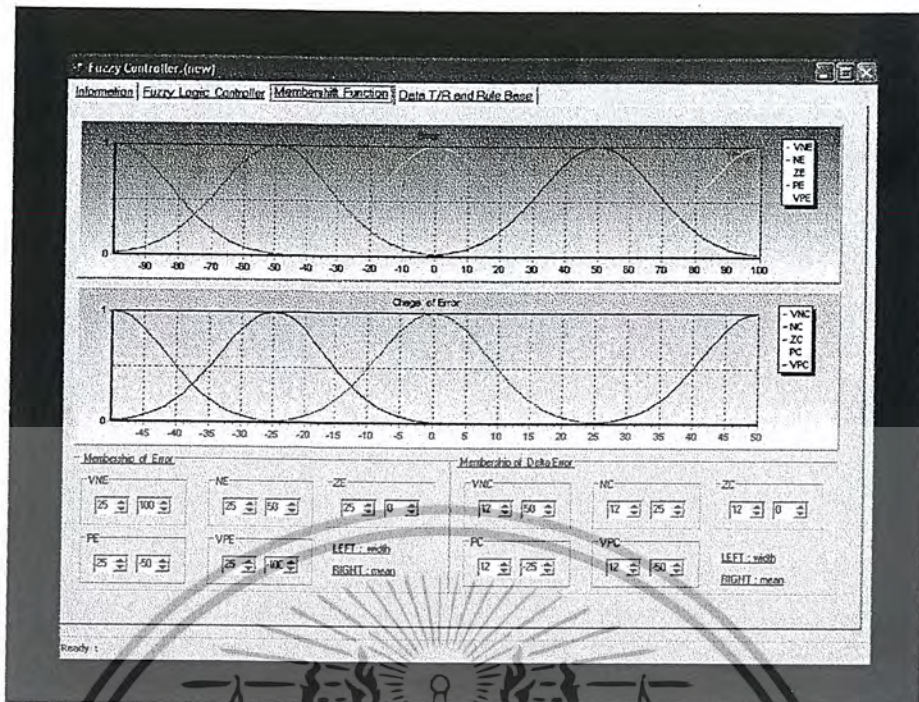
ภาพที่ 4-14 แสดง โครงสร้างของ GUI

โดยหน้าจอแสดงผลการควบคุมหลักแสดงดังภาพที่ 4-14 หน้าี่ของหน้าจอแสดงผลหลัก คือ การตั้งค่าเริ่มต้นก่อนการทำงาน การปรับเปลี่ยนค่าเป้าหมายรวมถึงกราฟแสดงผลตอบสนองของกระบวนการ ซึ่ง โครงสร้างของหน้าจอแสดงผลหลักประกอบด้วย 4 ส่วนหลักคือ

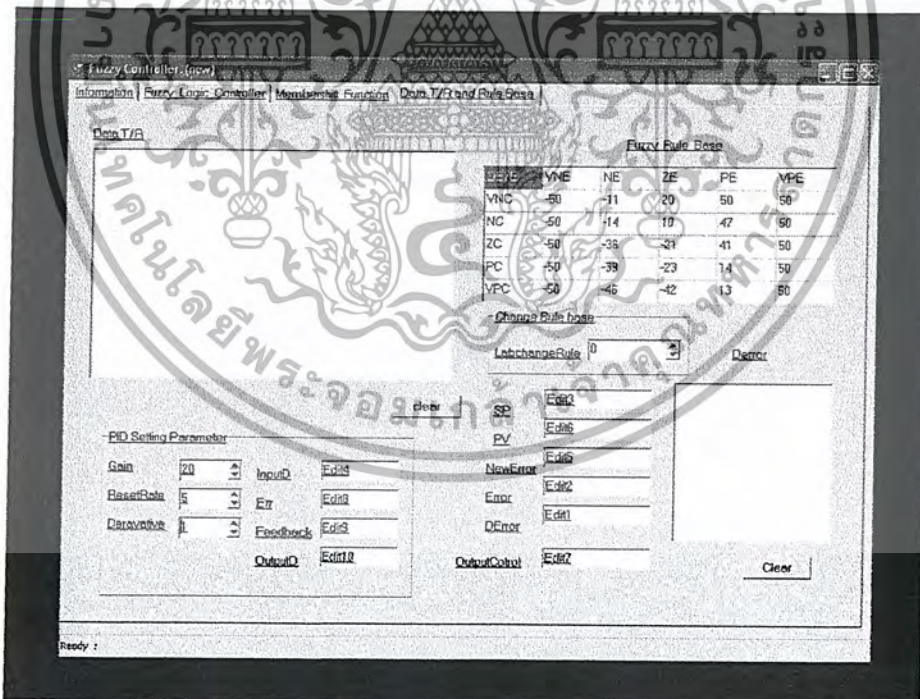
- 1) Set point คือการกำหนดค่าเป้าหมายของกระบวนการ ซึ่งอยู่ในหน่วยขององศาเซลเซียส
- 2) Value at Cursor เป็นส่วนที่จะแสดงค่า Sp, Pv, Mv, Error, Delta Error ที่ตำแหน่งใดๆ เมื่อเราเลื่อน Cursor ไปวางที่ตำแหน่งนั้นบนกราฟแสดงผล
- 3) Hardware Connect เป็นส่วนที่แสดงถึงสถานะที่ทำการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอก ว่าในขณะนี้มีการเชื่อมต่อกันหรือไม่
- 4) กราฟแสดงผล จะแสดงเส้นกราฟของค่าตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการควบคุมคือ ค่า Sp, Pv และ Mv ซึ่งจะเป็นส่วนที่แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิที่ได้นั้น เข้าสู่ Set point หรือไม่

นอกจากหน้าจอแสดงผลหลักแล้ว ยังมีหน้าจอที่ใช้ในการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์อีกสองหน้าจอคือ หน้าจอปรับแต่งฟังก์ชันความเป็นสมาชิกรวมทั้งสำหรับปรับแต่งพารามิเตอร์ของ PID และกฎการควบคุมของตัวควบคุมแบบฟัซซี่ซึ่งแสดงในภาพที่ 4-15 และ 4-16 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4-15 แสดงหน้าจอการปรับแต่งฟังก์ชันความเป็นสมาชิก



ภาพที่ 4-16 แสดงหน้าจอสำหรับปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID และกฎการควบคุมของตัวควบคุมแบบฟัซซี่

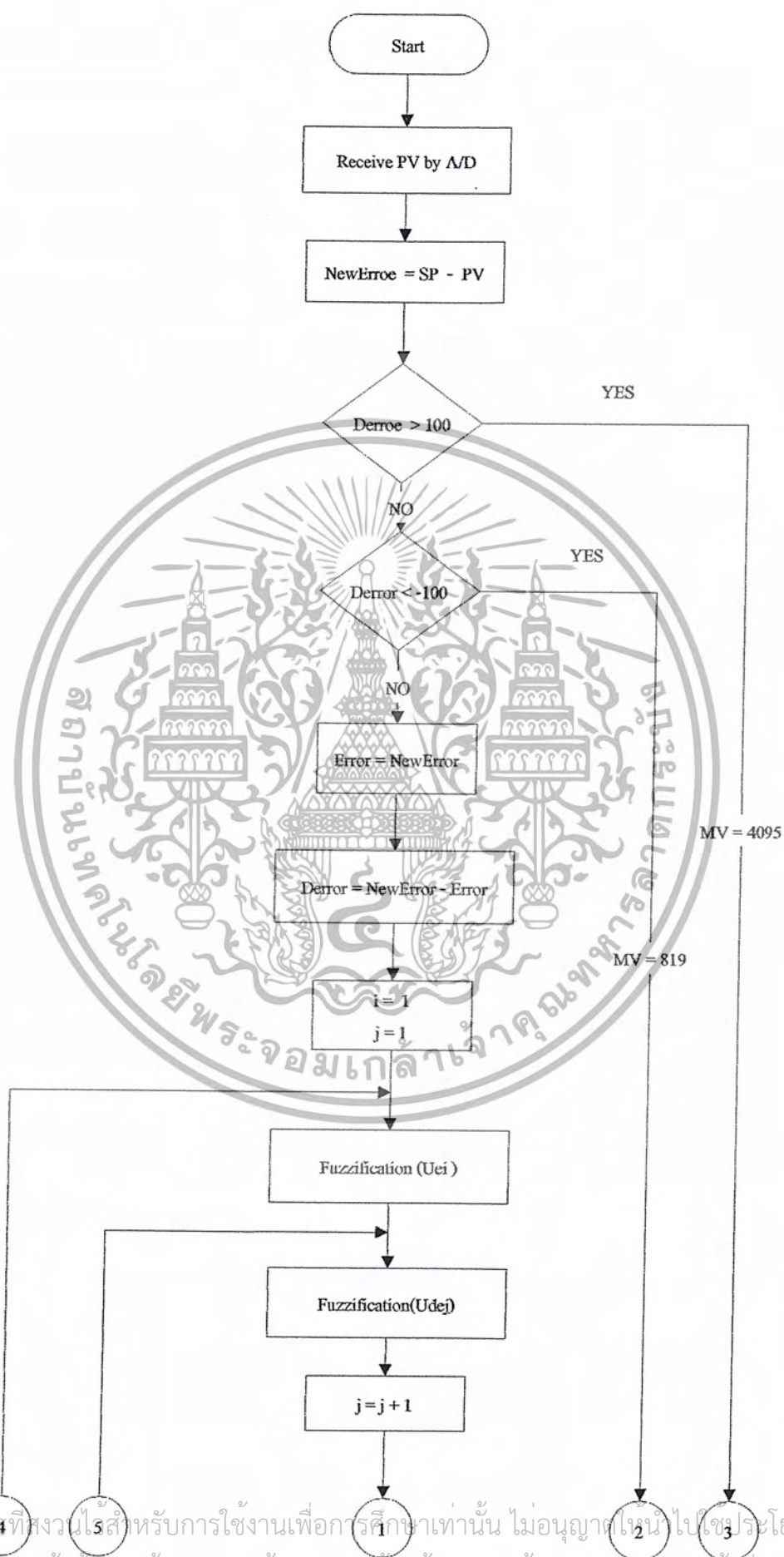
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5.2 ผังขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมควบคุม

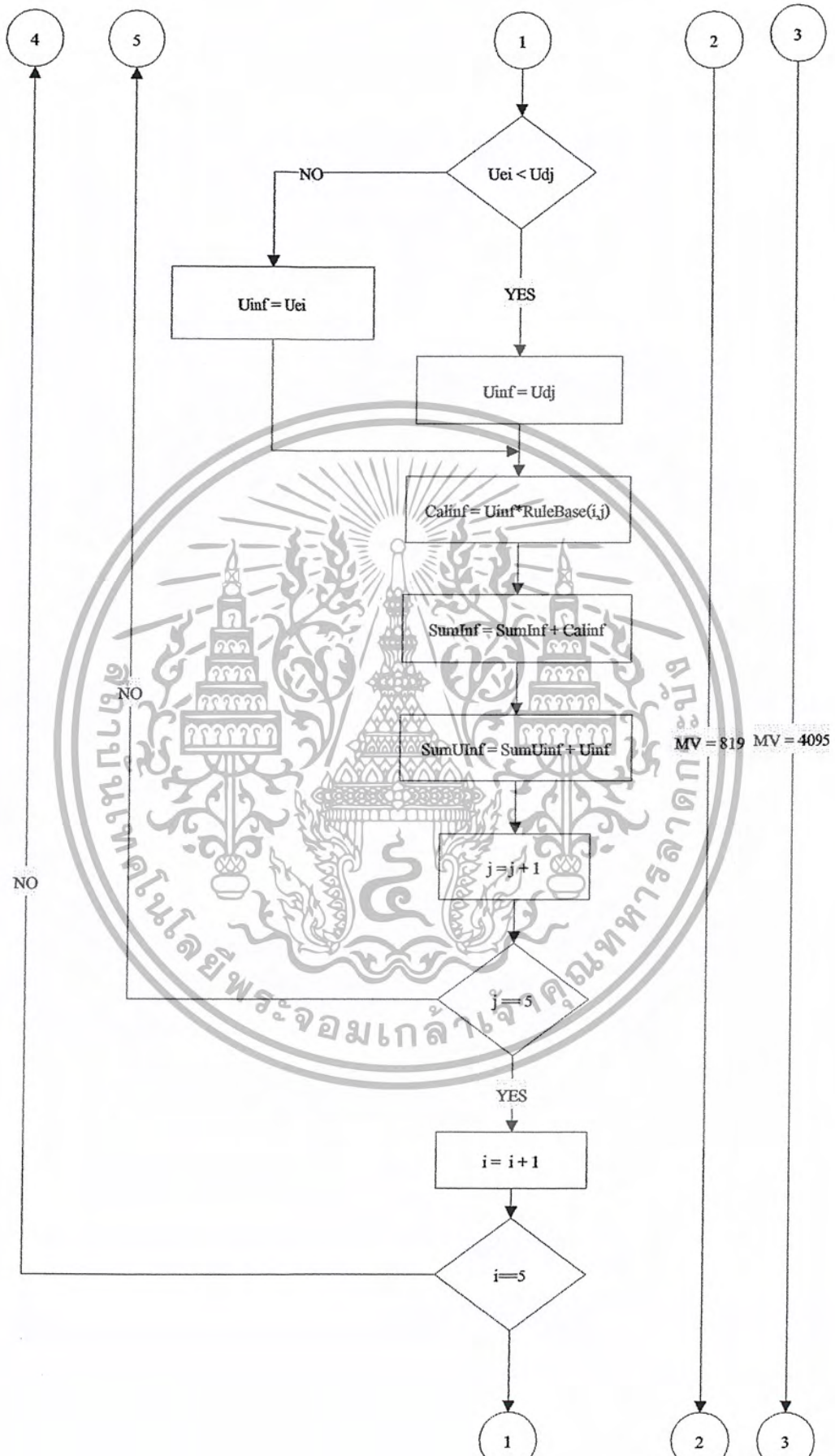
หลังจากที่เลือกตัวควบคุมและกำหนดค่าเป้าหมายรวมทั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ให้กับตัวควบคุมแล้ว ตัวควบคุมก็จะทำงานโดยอัตโนมัติ ซึ่งผังการทำงานของโปรแกรมตัวควบคุมแบบพีซีซี และตัวควบคุมแบบ PID แสดงดังภาพที่ 4-17 และภาพที่ 4-18 ตามลำดับ



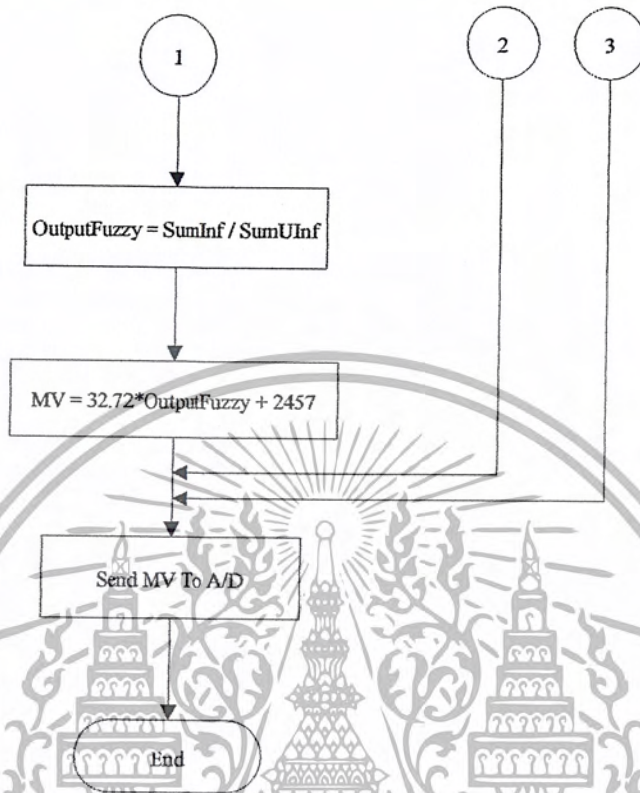
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



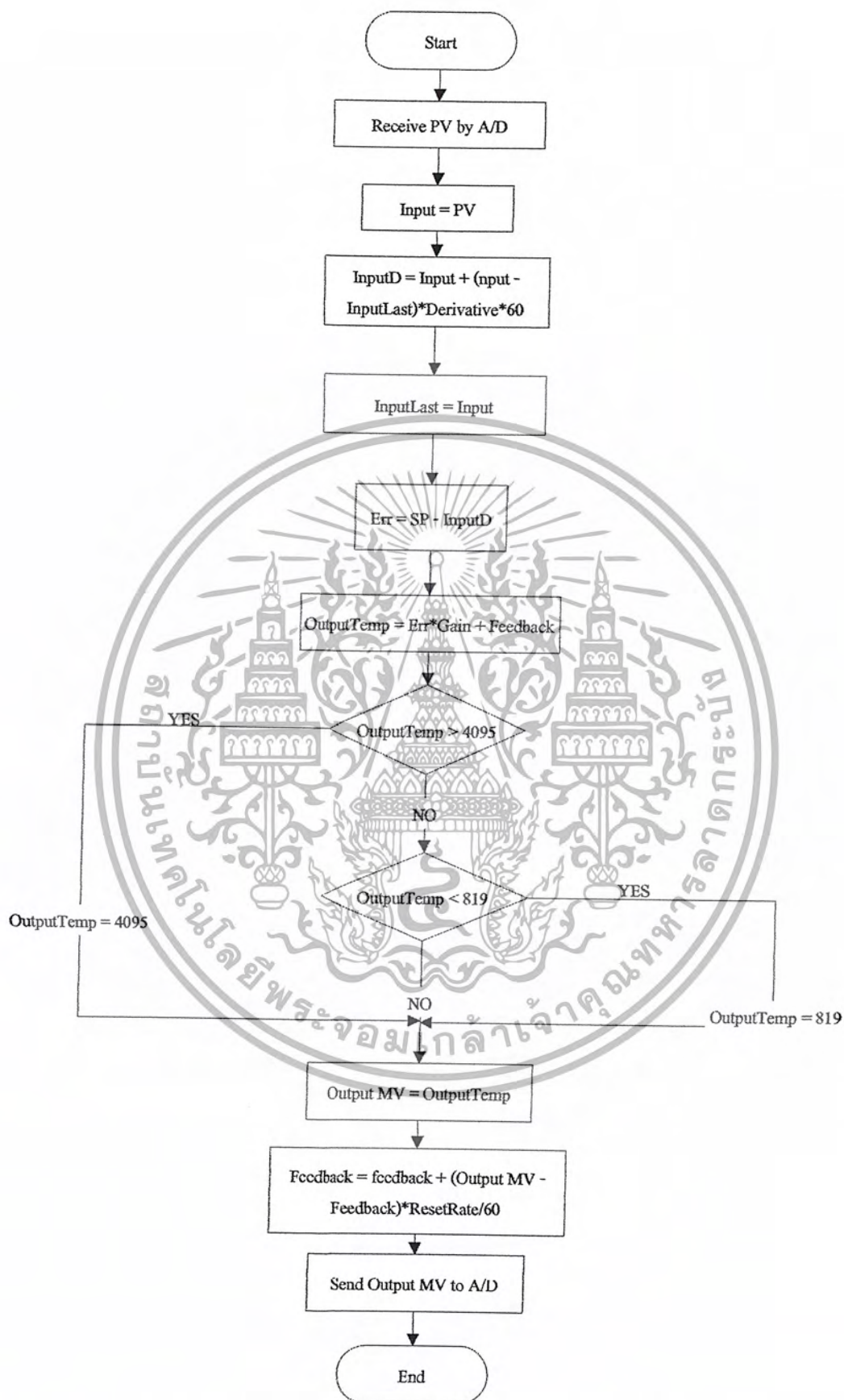
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือนำไปใช้ในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4-17 แสดงผังขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมควบคุมแบบฟัซซี่



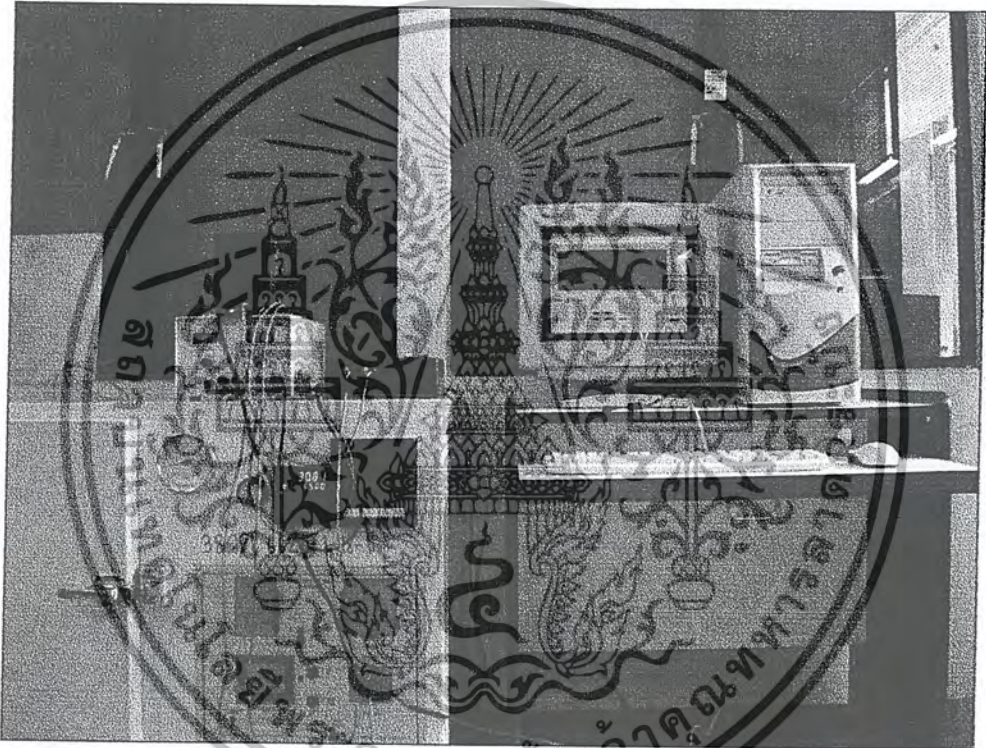
ภาพที่ 4-18 แสดงผังขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมควบคุมแบบ PID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานเท่านั้น ไม่สามารถนำออกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

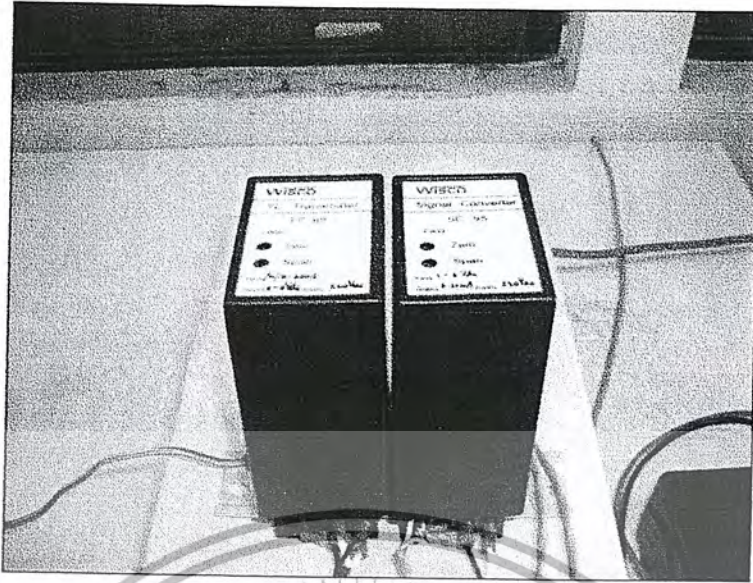
### การทดลองและผลการทดลอง

กระบวนการที่ใช้ในการทดลองคือ การควบคุมอุณหภูมิของเตาอบซึ่งแสดงดังภาพที่ 5-1 จากรูปก็จะประกอบไปด้วยเตาอบที่อยู่ด้านล่าง, Thermocouple Transmitter (TC95) และ Signal Converter (SC95) ที่อยู่ด้านซ้าย, ชุดรับ-ส่งสัญญาณอนาล็อกผ่าน USB ที่อยู่ด้านขวา และคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการควบคุม

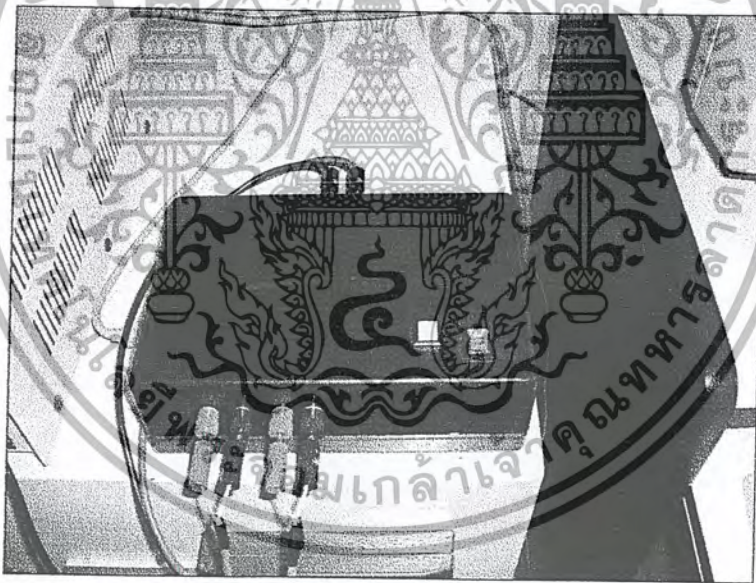


ภาพที่ 5-1 แสดงกระบวนการควบคุมอุณหภูมิของเตาอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5-2 แสดงภาพของ Thermocouple Transmitter (TC 95) และ Signal Converter (SC 95)



ภาพที่ 5-3 แสดงภาพของชุดรับ-ส่งสัญญาณอนาล็อกผ่าน USB

วัตถุประสงค์ของการทดลองกระบวนการนี้คือ เพื่อรักษาระดับอุณหภูมิตามค่าเป้าหมายที่ตั้งไว้ ในการทดลองครั้งนี้ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วนด้วยกันคือ การทดลองการส่งข้อมูลของตัวรับ-ส่งสัญญาณอนาล็อกผ่าน USB การทดลองตัวควบคุมแบบ Fuzzy และ PID ที่สร้างขึ้นด้วยคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.1 การทดลองชุดรับ - ส่งสัญญาณอนาลอกผ่านพอร์ต USB

ในส่วนนี้จะเป็นการทดลองการรับส่งค่าของชุดรับ-ส่งสัญญาณอนาลอกผ่าน USB โดยการป้อนค่าอินพุตเป็นแรงดันชุดรับ-ส่งแล้วอ่านค่าดิจิทัลที่คอมพิวเตอร์แล้วส่งสัญญาณดิจิทัลจากคอมพิวเตอร์แล้ววัดแรงดันเอาท์พุทของชุดรับ-ส่ง ผลการทดลองที่ได้แสดงดังตารางที่ 5-1

ตารางที่ 5-1 แสดงผลการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล (ขาขึ้น)

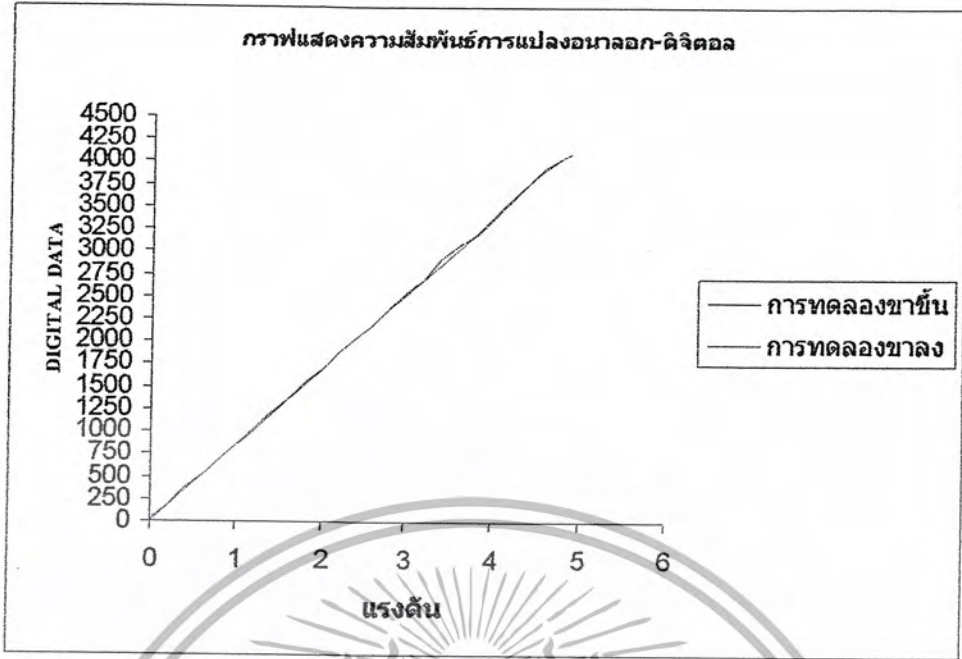
ตารางการแปลง Analog to Digital (ขาขึ้น)								
Vin	Digital Data (คำนวณ)	Y					Digital Data (ทดลอง)	Digital Error
		ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	ครั้งที่5		
0	0.00	16	22	14	20	20	18.40	18.40
0.2	167.14	177	175	177	177	173	175.80	8.66
0.4	334.29	350	349	352	348	349	349.60	15.31
0.6	501.43	516	516	515	516	522	517.00	15.57
0.8	668.57	682	682	676	681	682	680.60	12.03
1	835.71	853	853	851	855	849	852.20	16.49
1.2	1002.86	1022	1026	1025	1026	1031	1026.00	23.14
1.4	1170.00	1199	1195	1197	1198	1196	1197.00	27.00
1.6	1337.14	1358	1358	1360	1355	1355	1357.20	20.06
1.8	1504.29	1519	1513	1522	1520	1527	1520.20	15.91
2	1671.43	1699	1689	1686	1695	1688	1691.40	19.97
2.2	1838.57	1875	1868	1870	1873	1867	1870.60	32.03
2.4	2005.71	2030	2030	2031	2026	2028	2029.00	23.29
2.6	2172.86	2192	2193	2190	2196	2196	2193.40	20.54
2.8	2340.00	2372	2340	2359	2360	2351	2356.40	16.40
3	2507.14	2546	2540	2538	2550	2550	2544.80	37.66
3.2	2674.29	2706	2695	2694	2670	2692	2691.40	17.11
3.4	2841.43	2929	2923	2926	2926	2923	2925.40	83.97
3.6	3008.57	3061	3068	3073	3080	3074	3071.20	62.63
3.8	3175.71	3197	3196	3192	3196	3190	3194.20	18.49
4	3342.86	3362	3361	3352	3359	3357	3358.20	15.34
4.2	3510.00	3560	3553	3557	3559	3555	3556.80	46.80
4.4	3677.14	3763	3764	3761	3760	3764	3762.40	85.26
4.6	3844.29	3918	3911	3914	3918	3914	3915.00	70.71
4.8	4011.43	4046	4048	4046	4063	4045	4049.60	38.17
4.9	4095.00	4095	4095	4095	4095	4095	4095.00	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5-2 แสดงผลการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล (ขาลง)

ตารางการแปลง Analog to Digital (ขาลง)								
Vin	Digital Data (คำนวณ)	Y					Digital Data (ทดลอง)	Digital Error
		ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	ครั้งที่5		
0	0.00	4	12	17	14	8	11.00	11.00
0.2	167.14	174	184	173	175	187	178.60	11.46
0.4	334.29	334	342	338	337	342	338.60	4.31
0.6	501.43	509	512	509	520	514	512.80	11.37
0.8	668.57	687	677	687	680	676	681.40	12.83
1	835.71	853	850	850	853	852	851.60	15.89
1.2	1002.86	1010	1010	1010	1012	1013	1011.00	8.14
1.4	1170.00	1191	1190	1189	1192	1193	1191.00	21.00
1.6	1337.14	1358	1358	1353	1348	1359	1355.20	18.06
1.8	1504.29	1522	1530	1527	1527	1528	1526.80	22.51
2	1671.43	1688	1682	1691	1690	1684	1687.00	15.57
2.2	1838.57	1867	1864	1865	1863	1866	1865.00	26.43
2.4	2005.71	2045	2036	2040	2033	2036	2038.00	32.29
2.6	2172.86	2194	2193	2194	2195	2192	2193.60	20.74
2.8	2340.00	2364	2363	2357	2355	2360	2359.80	19.80
3	2507.14	2511	2515	2511	2518	2518	2514.60	7.46
3.2	2674.29	2702	2698	2701	2700	2700	2700.20	25.91
3.4	2841.43	2859	2864	2863	2861	2862	2861.80	20.37
3.6	3008.57	3032	3035	3031	3029	3030	3031.40	22.83
3.8	3175.71	3208	3210	3211	3214	3213	3211.20	35.49
4	3342.86	3387	3382	3384	3369	3402	3384.80	41.94
4.2	3510.00	3596	3596	3594	3594	3597	3595.40	85.40
4.4	3677.14	3769	3765	3762	3765	3761	3764.40	87.26
4.6	3844.29	3940	3940	3938	3941	3939	3939.60	95.31
4.8	4011.43	4065	4064	4064	4063	4063	4063.80	52.37
4.9	4095.00	4095	4095	4095	4095	4095	4095.00	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

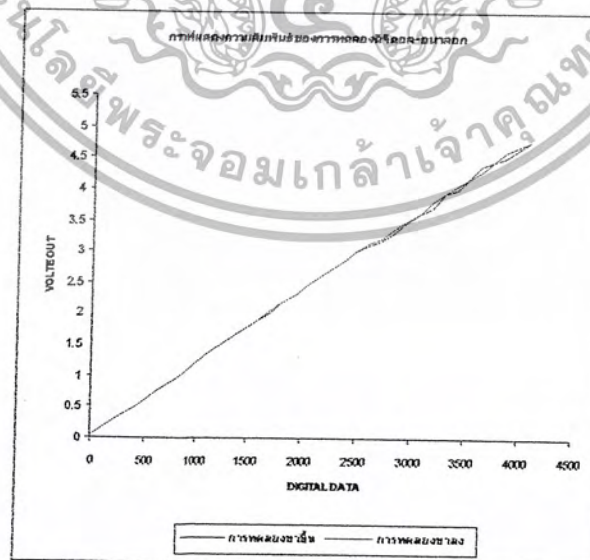


ภาพที่ 5-4 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล

ตารางที่ 5-3 แสดงผลการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอก

ตารางการแปลง Digital to Analog		
Digital Data	Vo(ขาขึ้น)	Vo(ขาลง)
0	0.026	0.025
228	0.278	0.277
455	0.558	0.555
683	0.831	0.817
910	1.099	1.097
1138	1.361	1.36
1365	1.626	1.635
1593	1.891	1.9
1707	2.024	2.032
1820	2.163	2.175
1934	2.294	2.31
2048	2.449	2.448
2162	2.588	2.582

ตารางการแปลง Digital to Analog (ต่อ)		
Digital Data	Vo(ขาขึ้น)	Vo(ขาลง)
2275	2.726	2.716
2389	2.842	2.86
2503	2.995	2.99
2617	3.111	3.14
2730	3.16	3.19
2844	3.3	3.36
2958	3.44	3.48
3072	3.61	3.61
3185	3.71	3.8
3299	3.93	3.93
3413	4	4.05
3640	4.38	4.29
3868	4.5	4.61
4095	4.77	4.77



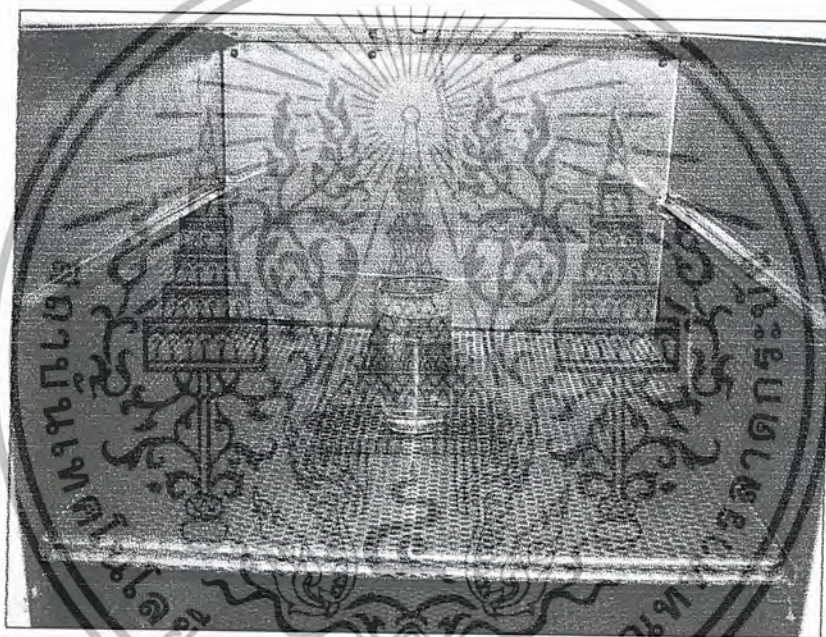
ภาพที่ 5-5 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความผิดพลาดที่เกิดจากการแปลงสัญญาณของ MicroConverter ADuC812 ที่ทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลและดิจิทัลเป็นอนาลอกที่อยู่ในชุดรับ ส่งสัญญาณอนาลอกผ่าน USB ซึ่งการทดลองนี้มีประโยชน์มากในการเปรียบเทียบขุมทมิให้ใกล้เคียงกับค่าจริงมากที่สุด

## 5.2 การทดลองตัวควบคุมกระบวนการที่สร้างด้วยคอมพิวเตอร์

ในการทดลองนี้จะแบ่งออกเป็น 2 การทดลองย่อยคือในส่วนของตัวควบคุมแบบ Fuzzy และตัวควบคุมแบบ PID โดยในแต่ละส่วนจะตั้งค่าเป้าหมายไปที่  $50^{\circ}\text{C}$ ,  $75^{\circ}\text{C}$  และ  $100^{\circ}\text{C}$  โดยมีน้ำ 1 แก้วเป็น โหลดเพื่อให้เกิดการสูญเสียความร้อนในกระบวนการขณะทำการทดลอง

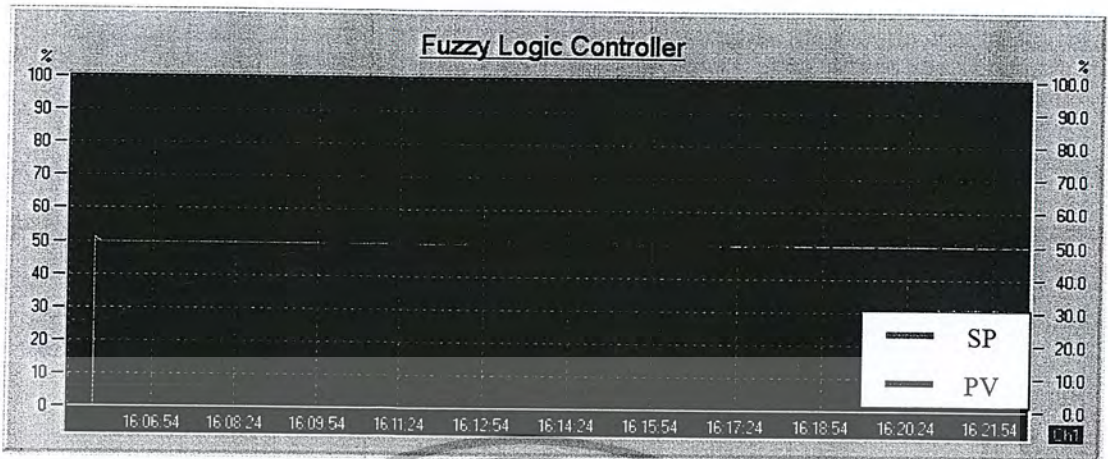


ภาพที่ 5-6 แสดงการใส่ โหลดด้วยน้ำ 1 แก้ว ให้กับระบบขณะทำการทดลอง

โดยการทดลองจะเริ่มจากตั้งค่าเป้าหมายไว้ที่  $50^{\circ}\text{C}$  และเปลี่ยนไปที่  $75^{\circ}\text{C}$  และที่  $100^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับและที่  $75^{\circ}\text{C}$  จะทำการรบกวนระบบโดยการเปิดฝาเตาอบนาน 1 นาทีครึ่งเพื่อสังเกตการเข้าสู่สภาวะคงที่ซึ่งทั้งการทดลอง Fuzzy และ PID จะเหมือนกันซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

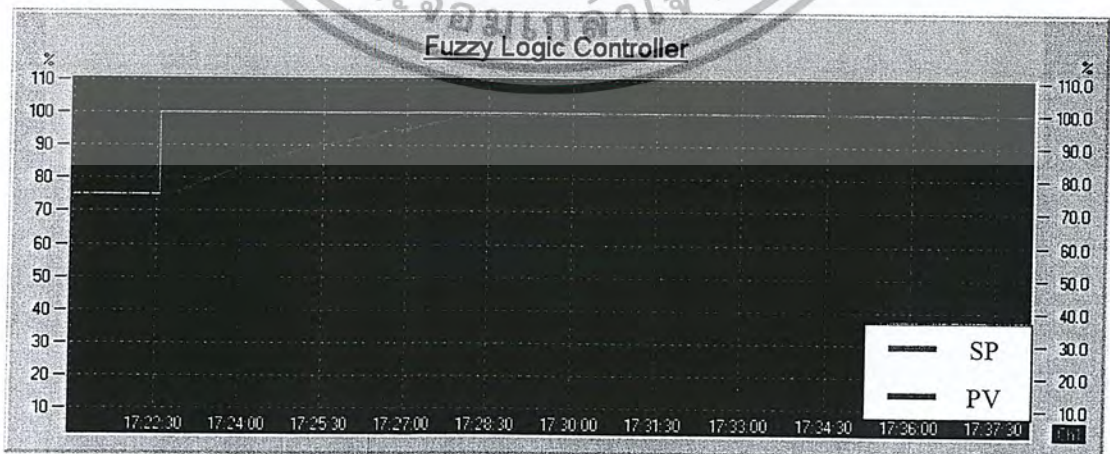
### 5.2.1 ผลการทดลองการควบคุมกระบวนการด้วยตัวควบคุมแบบ Fuzzy



ภาพที่ 5-7 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการที่ค่าเป้าหมาย 50 °C



ภาพที่ 5-8 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการเมื่อเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 50 °C เป็น 75 °C



ภาพที่ 5-9 แสดงผลการตอบสนองของกระบวนการเมื่อเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 75 °C เป็น 100 °C

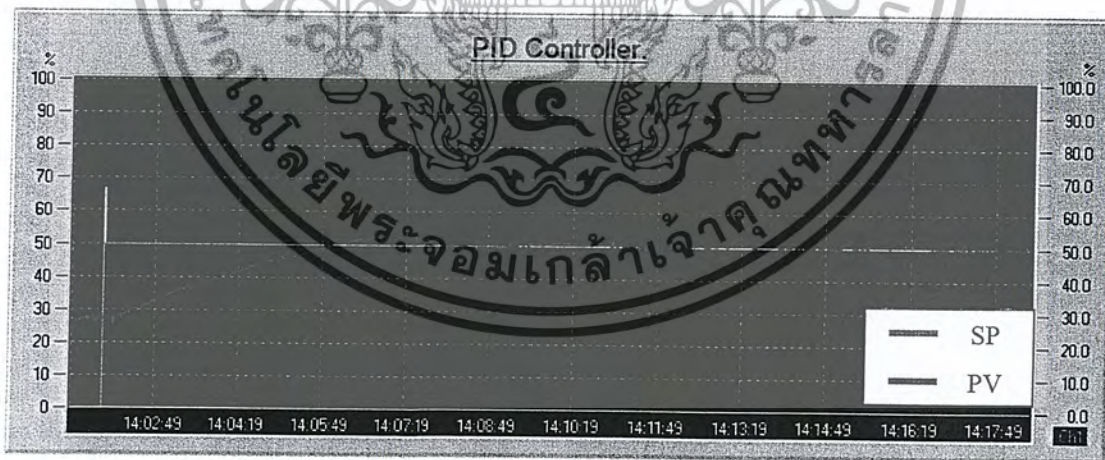
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5-10 แสดงผลตอบสนองเมื่อทำการควบคุมระบบโดยการเปิดฝาตู้นาน 1 นาที 30 วินาที

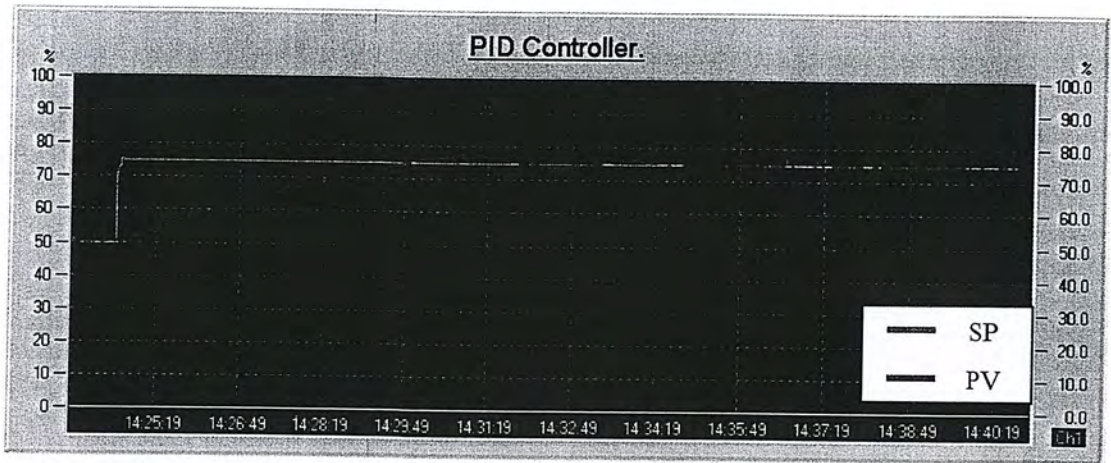
5.2.2 ผลการทดลองการควบคุมกระบวนการด้วยตัวควบคุมแบบ PID

ในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบ PID จะใช้วิธี Trial and Error ซึ่งก็คือการใช้วิธีการสุ่มรับไปทีละค่าและได้ค่าพารามิเตอร์ดังนี้ Proportional Gain=20, Ti=5min, Td=10 min

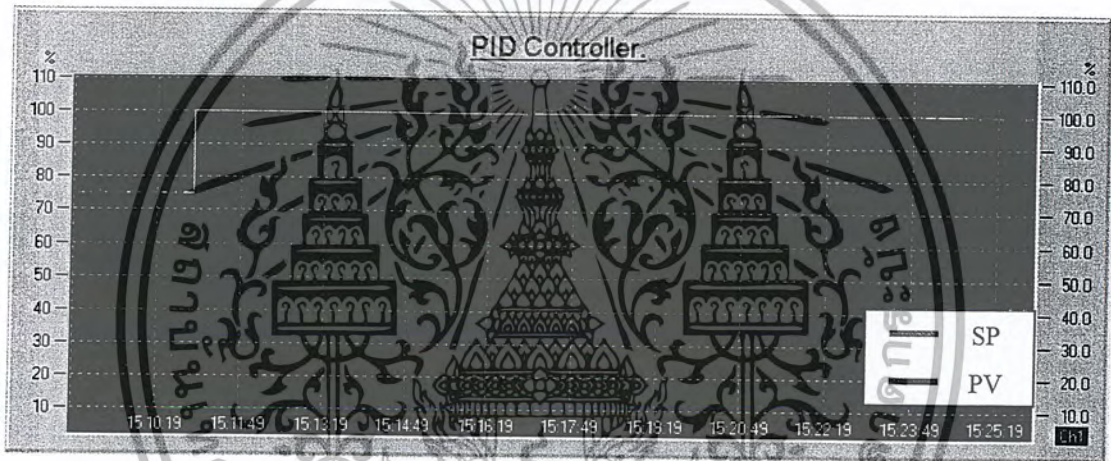


ภาพที่ 5-11 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการที่ค่าเป้าหมาย 50 °C

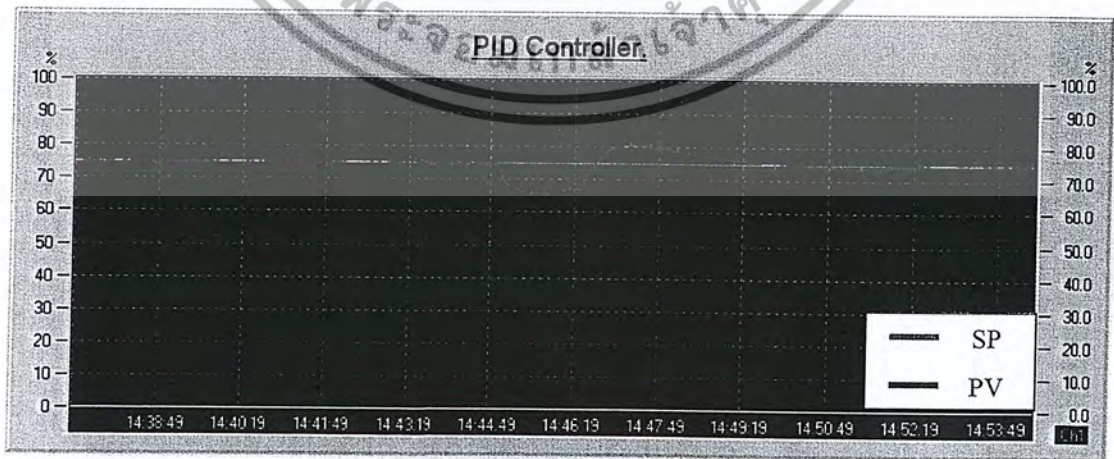
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5-12 แสดงผลการตอบสนองของกระบวนการเมื่อเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 50 °C เป็น 75 °C



ภาพที่ 5-13 แสดงผลการตอบสนองของกระบวนการเมื่อเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 75 °C เป็น 100 °C



ภาพที่ 5-14 แสดงผลตอบสนองเมื่อทำการรบกวนระบบโดยการเปิดฝาดู้นาน 1 นาที 30 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

# สรุปผลและแนวทางการพัฒนา

### 6.1 สรุปผลการทดลอง

ตัวควบคุมแบบ PID จะอาศัยการคำนวณด้วยคณิตศาสตร์เพียง 3 เทอมคือ Proportional, Integral และ Derivative ที่ทำหน้าที่ต่างกันเพื่อรักษาเสถียรภาพการทำงานของกระบวนการ แต่ในบางครั้งการคำนวณตัวควบคุมแบบ PID นี้ไม่เพียงพอที่จะควบคุมกระบวนการที่มีความซับซ้อนและมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา เช่น เตาอบที่มีการเปิด-ปิดเตาอยู่ตลอดเวลา เป็นต้น

แต่ตัวควบคุมแบบ Fuzzy สามารถควบคุมกระบวนการ ได้ดีกว่าตัวควบคุมแบบ PID และสามารถควบคุมกระบวนการได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วยการกฎการควบคุมต่างๆ ที่กำหนดขึ้นเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการในรูปแบบที่ต่างกัน ไปเหมือนกับการบันทึกประสบการณ์ที่เคยผ่านมาแล้วให้อยู่ในรูปแบบของกฎการควบคุมที่ครอบคลุมทุกเงื่อนไข

### 6.2 ปัญหาที่พบ

1. เนื่องจากค่าผิดพลาดจากการแปลงสัญญาณอนาล็อกที่ MicroConverter ADuC812 ทำให้ค่าอุณหภูมิที่อ่านได้ไม่ตรงกับค่าอุณหภูมิจริง
2. กระบวนการที่ใช้ในการทดลองเป็นกระบวนการที่มีค่าเวลาล่าช้าหลังมากดังนั้นในการทดลองจึงใช้เวลานานมากในการแก้ไขกฎการควบคุมเพื่อ ได้กฎเหมาะสมกับระบบ
3. ในการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบ PID เพื่อที่จะมาเปรียบเทียบผลการทดลอง ไม่สามารถหาค่าพารามิเตอร์ โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ ทำให้ต้องใช้เวลาในการหาค่าค่อนข้างนาน

### 6.3 แนวทางการพัฒนา

ถึงแม้ว่าตัวควบคุมแบบฟัซซี่จะไม่ทำให้เกิดโอเวอร์ชูตและมีเวลาในการเข้าสู่ค่าเป้าหมายเร็วกว่าตัวควบคุมแบบ PID ก็ตาม แต่ที่สภาวะคงตัวของแต่ละค่าเป้าหมายจะเกิดค่าผิดพลาดที่สภาวะคงตัวเล็กน้อย เนื่องจากที่สภาวะคงตัวของแต่ละค่าเป้าหมายต้องการสัญญาณควบคุมที่ต่างกัน ดังนั้นเราสามารถนำหลักการของตัวควบคุมแบบนิวโรฟัซซี่ หรือตัวควบคุมแบบ Fuzzy PID มาใช้ควบคุมกระบวนการเพื่อแก้ปัญหานี้ได้

## บรรณานุกรม

1. วรเทพ ไพบูลย์รัตนาการ, บุญอนันต์ เกียงเอีย. สัมผัสโลก USB ด้วย Ezy USB Module. จัดพิมพ์โดย บ. แอสทรอน ลอจิก รีเสิร์ชแอนด์ดีเวลอปเมนต์ จำกัด, กรุงเทพฯ.
2. จักรพงษ์ สุขประเสริฐ, สัจจะ จรัสรุ่งรวีวร. เริ่มต้นอย่างมืออาชีพด้วย Delphi 5. สำนักพิมพ์ อินโฟเรศ.
3. จักรพงษ์ เกาเทียน. การออกแบบตัวควบคุมพีซีซีในการควบคุมกระบวนการทางอุตสาหกรรม. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าบัณฑิตวิทยาลัย. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2543.
4. John A. Shaw. *The PID Control Algorithm*. 2<sup>nd</sup> Edition, 2003
5. M. Dinkelacker. *Fuzzy Control for Temperature Systems*, 1996.
6. Reznik, Leonie. *Fuzzy Controllers*. Oxford, 1997.

