สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การควบคุมกระบวนการด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซี

PROCESS CONTROL BY FUZZY CONTROLLER

T061939

โดย

ว่าที่ร้อยตรีธีรวุฒิ แสวงบุญ

นายสุวัฒชัย สุวรรณ์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 61939
วัน,เดือน,ปี 25 ก.ค. 2549

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2547

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การควบคุมกระบวนการโดยตัวควบคุมแบบฟัซซี

ผู้จัดทำ

1.ว่าที่ร้อยตรีธีรวุฒิ แสวงบุญ รหัสประจำตัว 45015324

2.นายสุวัฒชัย สุวรรณ์ รหัสประจำตัว 45015344

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พรสุข รติโรจอนันต์)

อาจารย์ สว่าง เลิศฤิรสุนทร อาจารย์ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมกระบวนการโดยตัวควบคุมแบบฟัซซี

ว่าที่ ร.ต.ธีรวุฒิ แสวงบุญ
นาย สุวัฒชัย สุวรรณ
ผศ.พรสุข รติโรจน์อนันต์ อาจารย์ที่ปรึกษา
อ.สว่าง เลิศธิรสุนทร อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2547

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการศึกษาทฤษฎีของตัวควบคุมฟัซซี และสร้างตัวควบคุมฟัซซีเพื่อใช้ในการควบคุมกระบวนการระดับของเหลวแบบอันดับหนึ่งโดยได้เปรียบเทียบสมรรถนะการควบคุมระหว่างวิธีการใช้ตัวควบคุมฟัซซีกับตัวควบคุมแบบพีไอ ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสมรรถนะของแต่ล่ะวิธีการควบคุมขึ้นกับประสบการณ์ความรู้ความสามารถในการปรับแต่งกฎพื้นฐานและปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม

ในปริญญานิพนธ์เล่มนี้ได้ใช้โปรแกรมภาษาวิชวลเบสิค(Visual Basic 6.0) บนระบบปฏิบัติการวินโดว์(Windows OS.)โดยมีการเชื่อมต่อผ่านทางระบบบัส I^2C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROCESS CONTROL BY FUZZY CONTROLLER

Acting 2, Lt. Teerawut Savangboon

Mr. Suwachai Suwan

Asst. Prof. Phornsuk Ratiroch-anant Advisor

Ajarn Sawang Leardthirasoonthorn Advisor

2005

Abstract

This thesis is to study the principle of fuzzy controlled and construct the fuzzy controller to control the first order level process. The PI control is used to compare the control performance to the fuzzy control method. The experiment results show that the control performance for each control method depends on the tuning experience and the rule base adjustment. The visual basic is used on personal computer through the I^2C for all experiments.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์	1
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 กล่าวนำ	3
2.2 Piping (or Process) and Instrument Diagrams (P&IDs)	4
2.3 เครื่องมือวัดและตัวควบคุม	5
2.3.1 วาล์วควบคุม (Control valve)	5
2.3.2 เครื่องเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดันลม(Current to Pressure converter)	6
2.3.3 เครื่องวัดระดับโดยการวัดค่าประจุไฟฟ้า	7
2.3.4 โพซิชั่นเนอร์(Positioners)	8
2.4 ทฤษฎีของฟัซซีลอจิก	9
2.4.1 ฟัซซีเซต	9
2.4.2 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก	10
2.4.3 ตัวดำเนินฟัซซีเซต	13
2.4.4 ส่วนขยายของฟัซซีเซต	14
2.2.5 ตัวควบคุมฟัซซี	14
2.4.5.1 การฟัซซิฟิเคชัน (Fuzzification)	15
2.4.5.2 ฐานกฎการควบคุมฟัซซี (Fuzzy rule base)	16
2.4.5.3 การอินเฟอเรนซ์แบบฟัซซี(Fuzzy Inference)	17
2.4.5.4 การดีฟัซซิฟิเคชัน (Defuzzification)	18
2.4.6 สรุป	28
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้างตัวควบคุมฟัซซี	27
3.1 การออกแบบตัวควบคุม	28
3.1.1 การกำหนดตัวแปรอินพุต และตัวแปรเอาต์พุต	28
3.1.2 การกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรอินพุต	28
3.1.3 การกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรเอาต์พุต	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2หลักการของบัส I^2C 31
3.2.1การเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรมกับระบบบัส I^2C 31
3.2.2 คุณสมบัติโดยทั่วไปของบัส I^2C 31
3.2.3 สภาวะที่เกิดขึ้นบนบัส I^2C 33
3.2.4การทำงานบนบัส I^2C 34
3.2.5วงจรแปลงสัญญาณพอร์ตอนุกรมเพื่อเชื่อมต่อกับระบบบัส I^2C 36
3.3 โปรแกรมตัวควบคุมฟัซซี 36
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง 39
4.1 กล่าวนำ 39
4.2 ผลการทดลองกับกระบวนการควบคุมระดับน้ำด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซี 39
4.2.1 ลำดับขั้นตอนการทดลอง 40
บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป 52
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน 52
5.2ปัญหาและอุปสรรค 52
5.3ข้อเสนอแนะ 53
กิตติกรรมประกาศ
บรรณนานุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบป้อนกลับโดยทั่วไป 4

รูปที่ 2.2 แสดงมาตรฐาน ANSI/ISA-S5.1 4

รูปที่ 2.3 ไดอะแฟรมวาล์วชนิดรีเวอร์ส 5

รูปที่ 2.4 เครื่องเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดันลม 6

รูปที่ 2.5 แสดงP&ID ของวาล์วควบคุมที่ติดต่อกับไอทูพี 7

รูปที่ 2.6 การวัดระดับโดยการวัดค่าประจุไฟฟ้า 7

รูปที่ 2.7โพซิชั่นเนอร์ 8

รูปที่ 2.8 ฟัซซีเซต 10

รูปที่ 2.9 กราฟฟังก์ชันแสดงความเป็นสมาชิกแบบซิงเกลตัน 11

รูปที่ 2.10 กราฟฟังก์ชันแสดงความเป็นสมาชิกในแบบต่างๆ 12

รูปที่ 2.11โครงสร้างพื้นฐานของตัวควบคุมฟัซซี 15

รูปที่ 2.12 การฟัซซิฟิเคชันแบบซิงเกลตัน 15

รูปที่ 2.13 การอินเฟอรเรนซ์แบบฟัซซี 18

รูปที่ 2.14 การดีฟัซซิฟิเคชัน โดยการหาค่าระดับการเป็นสมาชิกสูงสุด 19

รูปที่ 2.15 การดีฟัซซิฟิเคชัน โดยการหาค่ากลางสูงสุด 19

รูปที่ 2.16 การดีฟัซซิฟิเคชัน โดยการหาค่าเฉลี่ยของน้ำหนัก 20

รูปที่ 2.17 การดีฟัซซิฟิเคชั่น โดยการหาจุดศูนย์กลางของฟัซซี 21

รูปที่ 2.18 แผนผังการควบคุมระดับของน้ำในถัง 22

รูปที่ 2.19 บล็อคไดอะแกรมการควบคุมระดับน้ำใช้โดยฟัซซี 22

รูปที่ 2.20 เทอมเซตของตัวแปรอินพุต 23

รูปที่ 2.21 เมตริกซ์ FAM ของระบบควบคุมระดับน้ำในถัง 23

รูปที่ 2.22 การทำฟัซซิฟิเคชันของระบบควบคุมน้ำในถัง 24

รูปที่ 2.23 การอินเฟอเรนซ์ของระบบควบคุมระดับน้ำในถัง 25

รูปที่ 2.24 การดีฟัซซิฟิเคชันของระบบควบคุมระดับน้ำในถัง 25

รูปที่ 3.1 แผนผังของกระบวนการ 27

รูปที่ 3.2 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรอินพุต ERROR และ ΔERROR 29

รูปที่ 3.3 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเอาต์พุตแบบสามเหลี่ยมของกระบวนการ 30

รูปที่ 3.4 โครงสร้างวงจรเอาท์พุตของอุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อบนบัส I^2C 31

รูปที่ 3.5 แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์บนระบบบัส I^2C ที่ใช้ไฟเลี้ยงไม่เท่ากัน 32

รูปที่ 3.6 การต่อตัวต้านทานเพื่อป้องกันแรงดันกระชาก 32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูปที่ 3.7 รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการอ้างถึงอุปกรณ์บนระบบบัส ระบบบัส I^2C 35
รูปที่ 3.8 รูปแบบข้อมูลอนุกรมที่ใช้ในการติดต่อกับอุปกรณ์บนระบบบัส I^2C แบบ7บิต ข้อมูลในไบต์ต่อมาคือข้อมูลที่ทำการถ่ายทอดจริง(data) 35
รูปที่ 3.9 รูปแบบข้อมูลอนุกรมที่ใช้ในการติดต่อกับอุปกรณ์บนระบบบัส I^2C แบบ10บิต 36
รูปที่ 3.10 แสดงการกำหนดช่วงของฟัซซีเซต 37
รูปที่ 3.11 แสดงช่วงฟัซซีต่างๆที่ถูกกำหนดขึ้น 37
รูปที่ 3.12 แสดงผังขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมควบคุม 38
รูปที่ 4.1 โครงสร้างการทดลองของกระบวนการควบคุม 39
รูปที่ 4.2 ผลการทดลองโดยไม่มีการปรับแต่งกฎ 40
รูปที่ 4.3 แสดงกฎและช่วงของการปรับแต่งครั้งแรก 41
รูปที่ 4.4 การควบคุมระดับที่เป้าหมาย 50% 42
รูปที่ 4.5 การควบคุมระดับที่เป้าหมาย 90% 42
รูปที่ 4.6 การควบคุมระดับที่เป้าหมาย 10% 43
รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงเป้าหมายจาก 10%-70% 43
รูปที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงเป้าหมายจาก 50%-90% 44
รูปที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงเป้าหมายจาก 90%-10% 44
รูปที่ 4.10 แสดงการปรับช่วงสมาชิกใหม่ 45
รูปที่ 4.11 แสดงการควบคุมระดับน้ำที่เป้าหมาย 20% 46
รูปที่ 4.12 แสดงการควบคุมระดับน้ำที่เป้าหมาย 50% 46
รูปที่ 4.13 แสดงการควบคุมระดับน้ำที่เป้าหมาย 70% 47
รูปที่ 4.14 แสดงการเปลี่ยนแปลงเป้าหมายจาก 20 – 50% 47
รูปที่ 4.15 แสดงการเปลี่ยนแปลงเป้าหมายจาก 50 – 90% 48
รูปที่ 4.16 การเปรียบเทียบระหว่างตัวควบคุมฟัซซีและพีไอดี ที่ระดับน้ำ50% 49
รูปที่ 4.17 การเปรียบเทียบระหว่างตัวควบคุมฟัซซีและพีไอดี ที่ระดับน้ำ10% 50
รูปที่ 4.18 การเปรียบเทียบระหว่างตัวควบคุมฟัซซีและพีไอดี ที่ระดับน้ำ90% 51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์

กระบวนการผลิตของระบบอุตสาหกรรมในประเทศไทยในปัจจุบัน โดยส่วนใหญ่จะมีการควบคุมในลักษณะกึ่งอัตโนมัติ กล่าวคือในการควบคุมกระบวนการผลิตต่างๆ จะใช้ตัวควบคุม (Controller) ควบคุมกระบวนการแทนมนุษย์ ในขณะเดียวกันต้องอาศัยการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมจากผู้มีประสบการณ์หรือความชำนาญ

ในการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแต่ละกระบวนการ เพื่อให้ได้ผลตอบสนองที่ดีตามต้องการ โดยตัวควบคุมที่ได้รับความนิยมและถูกนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมในขณะนี้ก็คือตัวควบคุมแบบ PID (Proportional-Integral-Derivative Controller) ขณะเดียวกันนั่นเองได้มีการคิดค้นตัวควบคุมแบบใหม่เกิดขึ้น เนื่องจากระบบบางอย่างใช้เหตุผลชี้เฉพาะเจาะจงอย่างใดอย่างหนึ่งไปเลยไม่ได้ เช่น อุณหภูมิ เราไม่สามารถบอกได้ว่า 25°c ร้อนหรือเย็น บางคนบอกว่า อากาศสบายหรือกำลังดี เราไม่มีวิธีแสดงให้แจ่มชัด แต่ฟัซซีเซตสามารถแสดงให้เห็นได้อย่างง่ายดายโดยแสดงเป็นลักษณะของเซตซึ่งจะอธิบายในบทถัดไป

ปริญญานิพนธ์นี้จึงได้ออกแบบโปรแกรมตัวควบคุมแบบฟัซซีโดยใช้ในการควบคุมกระบวนการควบคุมระดับของของเหลวของระบบจำลอง เพื่อให้ได้ผลตอบสนองที่ดีตามต้องการ และนำผลการทดลองไปแสดงให้เห็นว่า ตัวควบคุมฟัซซีสามารถควบคุมกระบวนการนี้ได้ดีอย่างไร แล้วนำไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองของตัวควบคุม PID ในกระบวนการเดียวกัน

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. ทำการศึกษาทฤษฎีและหลักการของฟัซซีเพื่อนำไปใช้ออกแบบตัวควบคุม
2. ทำการศึกษาหลักการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆที่อยู่ในกระบวนการ
3. ทำการศึกษาแนวคิดในการเขียนโปรแกรมเพื่อใช้ควบคุมและแสดงผล
4. ศึกษาหลักการการติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1. ศึกษาโครงสร้างและการทำงานของการควบคุมระดับน้ำ
2. ศึกษาการติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับระบบ โดยใช้ในการรับส่งสัญญาณอนาลอกกับระบบและแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลเพื่อใช้ในการควบคุมกระบวนการระบบ
3. ใช้โปรแกรมภาษาวิชวลเบสิคในการสร้างตัวควบคุมพีซีและแสดงผลบนหน้าจอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 กล่าวนำ

ระบบควบคุมทางอุตสาหกรรมแบบป้อนกลับโดยทั่วไปประกอบด้วยอุปกรณ์4ส่วนคือ

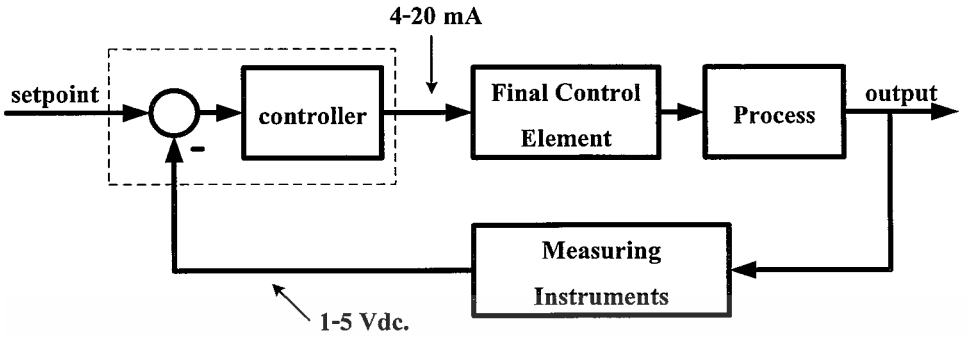
1.ตัวควบคุม (Controller) เป็นเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณควบคุมเพื่อทำหน้าที่ควบคุมให้ระบบหรือกระบวนการที่ต้องการควบคุมมีเอาต์พุตหรือผลตอบสนองเป็นไปตามต้องการ ตัวควบคุมมีหลายแบบเช่นตัวควบคุมเปิด-ปิด (ON-OFF), ตัวควบคุมแบบพี, ตัวควบคุมแบบไอ, ตัวควบคุมแบบดี หรือการใช้ตัวควบคุมหลายๆ แบบร่วมกันเช่นตัวควบคุมแบบพีไอ ตัวควบคุมแบบพีดี และตัวควบคุมแบบพีไอดี ซึ่งในการทำปริญญานิพนธ์นี้เป็นการเลือกใช้ตัวควบคุมชนิดฟัซซี เป็นตัวควบคุมเป็นต้นซึ่งสัญญาณที่ออกจากตัวควบคุมคือตัวแปรปรับกระบวนการ (Mainipulated Variable)

2.อุปกรณ์ควบคุมตัวสุดท้าย (Final Control Element) คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ปรับสภาวะของกระบวนการ ด้วยการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรปรับกระบวนการหรือสัญญาณควบคุมที่ได้รับจากตัวควบคุม อุปกรณ์ควบคุมตัวสุดท้ายนั้นมีอยู่หลายอย่างเช่น วาล์วควบคุม (Control Valve) อินเวอร์เตอร์ (Inverter) และตัวขับบเคลื่อน (Actuater) เป็นต้น แต่ที่มักพบเห็นกันมากในกระบวนการทางอุตสาหกรรมได้แก่ วาล์วควบคุม

3.กระบวนการ (Plant or Process) หมายถึงระบบหรือกระบวนการทางฟิสิกส์ที่ต้องการควบคุมสถานะเป็นไปตามต้องการ เช่น กระบวนการเกี่ยวกับการควบคุมระดับของเหลว หรือกระบวนการเกี่ยวกับการควบคุมอุณหภูมิเป็นต้น ซึ่งสถานะของกระบวนการแสดงด้วยตัวแปรกระบวนการ (Process Variable)

4.อุปกรณ์วัด (Measuring Instruments) หมายถึงอุปกรณ์ซึ่งอาจจะได้แก่ เซนเซอร์ (Sensor), ทรานสดิวเซอร์ (Transducer) หรืออุปกรณ์แปลง (Transmitter) หรือเครื่องวัดสัญญาณอื่นๆ ในกระบวนการเพื่อนำสัญญาณที่ได้ไปใช้ในการควบคุม โดยสัญญาณขาออกของอุปกรณ์วัดทั่วไปจะป็นสัญญาณมาตรฐานอุตสาหกรรม เช่น สัญญาณกระแสไฟฟ้า 4-20 มิลลิแอมป์(4-20 mA), สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 1-5 โวลต์ (1-5 Vdc.) หรือ สัญญาณลมขนาด 3-15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (3-15 psi. หรือ 0.2-1.0 Kg/cm^2) เป็นต้น

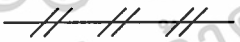
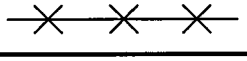
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบป้อนกลับโดยทั่วไป

2.2 Piping (or Process) and Instrument Diagrams (P&IDs)

P&IDs เป็นลักษณะรายละเอียดของระบบ ซึ่งแสดงท่อ เครื่องมือ และการใช้เครื่องมือที่สัมพันธ์กับระบบที่แสดงการทำงานของระบบทั้งหมดที่มี และมีหลายรูปแบบขึ้นแต่ละบริษัท โดยเฉพาะการใช้เครื่องมือสามารถแสดงได้หลายรูปแบบ ซึ่งมีแต่อธิบายง่ายจนถึงรายละเอียดปลีกย่อย ไม่มีแบบใดสมบูรณ์ที่สุด และจะมีเอกสารที่ใช้อ้างอิงในการเขียนภาพ (Legend sheet) ที่ทำให้ผู้อ่านทราบชัดแจ้งว่า P&IDs ไม่ได้มาจากสามัญสำนึก มันจะบอกถึงการใช้ของสัญลักษณ์และข้อบังคับที่เป็นหลักมาตรฐาน ซึ่งมักจะอ้างอิงเอกสารที่ใช้อ้างอิงในการเขียนภาพมาจาก ANSI/ISA-S5.1 ซึ่งแสดงดังตัวอย่างนี้

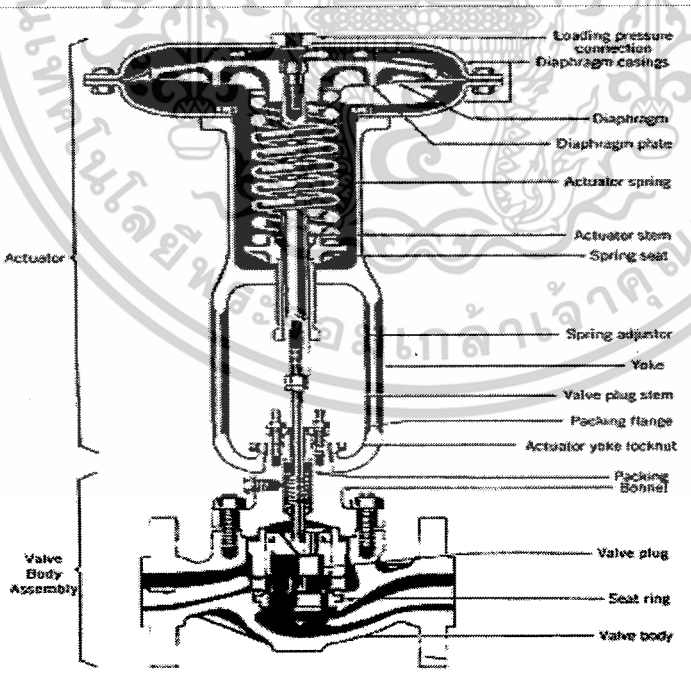
Item	Schematic symbol
Piping or mechanic linkage from measued object to indicator, controller, transmitter or other instrument or device	
Pneumatic piping	
Hydraulic pressure piping	
Electrical wiring	
Capillary	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Kind of actuator	Schematic symbol for actuator	Schematic symbol for valve
Diaphragm or bellows type		Diaphragm type control valve
Motor-driven or electromagnatic type		Electromagnetic type valve
Position type		Position type control valve
Manual type		Manual control Valve

2.3 เครื่องมือวัดและตัวควบคุม

2.3.1 วาล์วควบคุม (Control valve)

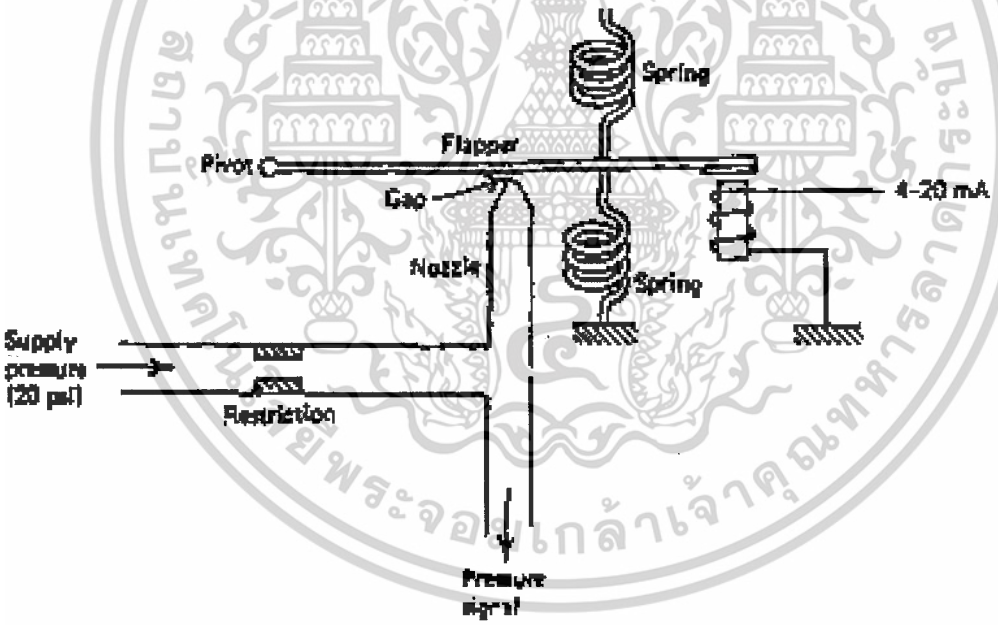


รูปที่ 2.3 ไดอะแฟรมวาล์วชนิดรีเวอร์ส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นอุปกรณ์ควบคุมตัวสุดท้าย(Final Control Element) ที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่าง ตัวควบคุม(Controller)กับกระบวนการ(Process)และยังเป็นตัวชดเชยกระบวนการได้อีกด้วย วาล์วควบคุมประกอบด้วยตัวกระตุ้นวาล์วให้เกิดการทำงาน(Power actuator)และตัววาล์ว(Valve body) และที่ตัววาล์วมีซีท (Seat) และมีปลั๊ก (Plug) ตัวกระตุ้นจะทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนที่ของปลั๊กให้ขึ้นลงในลักษณะแนวดิ่งให้นั่งที่ซีท ตามสัญญาณควบคุมของตัวควบคุม เป็นการบังคับพื้นที่ส่วนที่ให้ของเหลวไหลผ่าน(Port area)เพื่อควบคุมอัตราการไหลของของไหลให้คงที่ หรือที่เรียกว่า Throttle the flow และส่วนของตัวกระตุ้นประกอบด้วย ไดอะแฟรมเคส(Diaphragm Case), ไดอะเฟรมเพลท(Diaphragm plate)และตัวสปริง(Spring) ทั้งตัวกระตุ้นและตัววาล์วสามารถออกแบบให้ทำงานแบบทางตรง(Direct Normally Open)และกลับทาง(Reverse Normally Closed)

2.3.2 เครื่องเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดันลม (Current to Pressure converter)

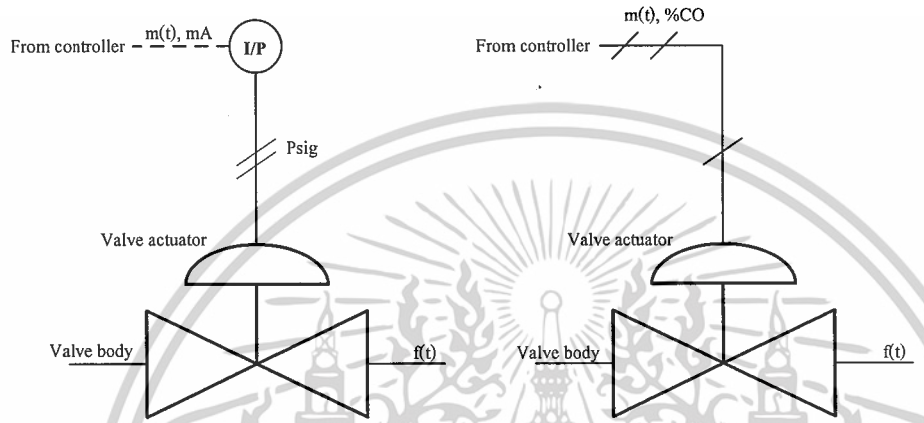


รูปที่ 2.4 เครื่องเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดันลม

เครื่องเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดันลม(I/P converter)เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการควบคุมกระบวนการ(Process Control)เพราะเมื่อเราต้องการใช้งานสัญญาณที่มีค่ากระแสน้อยๆสะดวกและจะให้ค่าเป็นเชิงเส้น โดยแปลง 4-20 mA ไปเป็น 3-15 Psig ซึ่งเครื่องแปลงชนิดนี้มีหลายรูปแบบ แต่

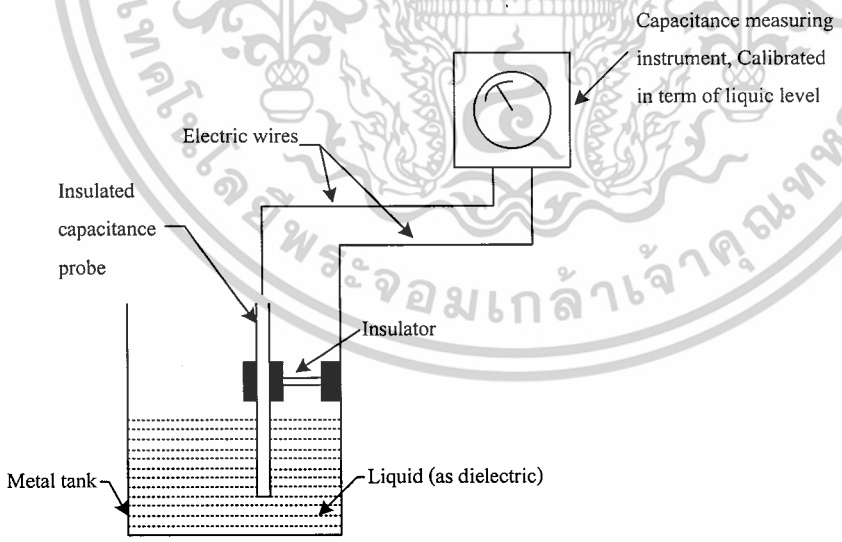
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบ แต่ที่เป็นพื้นฐานสำคัญจะประกอบไปด้วย นอซเซิล(Nozzle) ,แฟลบเปอร์(flapper) รูปที่ 2 จะแสดงวิธีทางพื้นฐานที่สำคัญของเครื่องเปลี่ยน สังเกตในรูปภาพกระแสจะไหลผ่านขดลวดและสร้างแรงที่จะขยับแฟลบเปอร์ลงเพื่อปิดช่องว่าง ค่ากระแสมากๆจะสร้างความดันสูง ดังนั้น อุปกรณ์ชนิดนี้ กระทำโดยวิธีทางตรง การปรับสปริงและตำแหน่ง สัมพันกับแกนหมุนที่ติดกับแฟลบเปอร์ ให้ปรับวัดขนาด 4 mA ให้เท่ากับ 3 Psig และ 20 mA ให้เท่ากับ 15 Psig



รูปที่ 2.5 แสดงP&ID ของวาล์วควบคุมที่ติดต่อกับไอทูพี

2.3.3 เครื่องวัดระดับโดยการวัดค่าประจุไฟฟ้า



รูปที่ 2.6 การวัดระดับโดยการวัดค่าประจุไฟฟ้า

ถ้าเราใส่ตัวนำ(Electrode)ติดตั้งลงไปในแนวตั้งของภาชนะดังรูปที่ 4 เมื่อป้อนไฟฟ้าไปที่ขั้วตัวนำและโลหะของภาชนะจะเกิดประจุไฟฟ้า(Capacitor) โดยขั้วตัวนำและโลหะของภาชนะจะเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผ่นโลหะที่มีตัวเก็บประจุ คือสารที่ถูกประจุอยู่ในภาชนะนั้น สารทุกชนิดมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (Dielectric Constant) ไม่เท่ากัน ซึ่งเป็นคุณสมบัติประจำของสารนั้นๆ ดังรูปที่4 ค่าประจุระหว่างแผ่นโลหะทั้ง2 จะมีค่าเปลี่ยนไปตามสมการที่ 2-1

$$C = KA / D \qquad (2\text{-}1)$$

เมื่อ C = ค่าประจุไฟฟ้า มีหน่วยเป็น ฟารัด

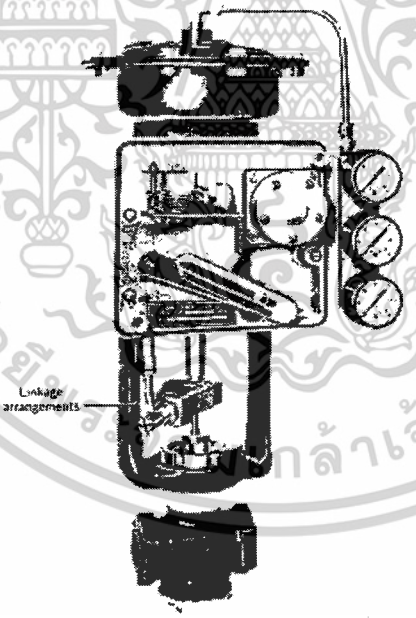
K = ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของตัวกลาง มีหน่วยเป็น ฟารัดต่อตารางเมตร

A = พื้นที่ตั้งฉากของแผ่นโลหะกับทิศทางของเส้นแรงไฟฟ้า มีหน่วยเป็น ตารางเมตร

D = ระยะห่างระหว่างแผ่นโลหะ มีหน่วยเป็นเมตร

เพราะฉะนั้น ถ้าเรากำหนด ค่า A และ D เป็นค่าคงที่ ค่าของประจุไฟฟ้าจะมีค่าเป็นสัดส่วนกับค่าไดอิเล็กทริกส์

2.3.4. โพซิชั่นเนอร์(Positioners)



รูปที่ 2.7 โพซิชั่นเนอร์

Positioner เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่คล้ายกับตัวควบคุมแบบพี หน้าที่ของPositioners คือ การเปรียบเทียบสัญญาณจากตัวควบคุมกับ Valve stem Position ถ้า stem ไม่ได้ตำแหน่งตามสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตัวควบคุม Positioners จะเพิ่มขนาดสัญญาณลมจนกระทั่ง valve stem ได้ตำแหน่งตามที่รับสัญญาณจากตัวควบคุม

2.4ทฤษฎีของฟัซซีลอจิก

ทฤษฎีฟัซซีลอจิกในระยะแรกนั้น ได้ถูกพัฒนาโดย Zadeh (บิดาแห่งฟัซซีลอจิก) ซึ่งเขามีแนวคิดในเรื่องนี้ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1960 เพื่อที่จะสร้างแบบจำลองการให้เหตุผลของมนุษย์แต่ไม่ประสบความสำเร็จมากนักจนกระทั่งในปี ค.ศ. 1975 ได้มีการเผยแพร่ผลงานวิจัยเรื่อง An Experiment In Linguistic Synthesis With A Fuzzy Logic Controller ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้ฟัซซีลอจิกในงานควบคุมกระบวนการพลวัต (Dynamic Process) โดย Ebrahim Mamdani และ Seto Assilian หลัง จากการเผยแพร่ผลงานวิจัยเรื่องนี้ประมาณ10ปี งานวิจัยและพัฒนาฟัซซีลอจิกในงานควบคุมจึงได้ดำเนินไปอย่างรวดเร็วและกว้างขวาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งหลังจากการที่มีการประกาศใช้ฟัซซีชิป (Fuzzy Chip) ตัวแรกในปี ค.ศ. 1987 ฟัซซีลอจิกได้ถูกประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายในแทบทุกสาขา ทั้งนี้เนื่องจากฟัซซีลอจิกสามารถประยุกต์ใช้ได้กับระบบที่มีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น แปรเปลี่ยนตามเวลา และยากที่จะกำหนดแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ อีกทั้งสามารถใช้กับระบบหลายอินพุตหลายเอาต์พุตได้อีกด้วย ซึ่งปัญหาที่เคยเกิดขึ้นกับระบบควบคุมเดิมเหล่านี้ สามารถขจัดไปได้ด้วยการควบคุมแบบฟัซซีลอจิก เนื่องจากการควบคุมแบบฟัซซีลอจิกนั้นเป็นการประมาณความเป็นไปได้ของเหตุการณ์ด้วยประสบการณ์หรือการใช้เหตุผลของมนุษย์โดยไม่ต้องอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบเป็นเครื่องมือ ในการออกแบบตัวควบคุมแบบฟัซซีนั้นจะต้องอาศัยทฤษฎีและความรู้ทางคณิตศาสตร์เกี่ยวกับระบบฟัซซีซึ่งจะอธิบายในลำดับต่อไป

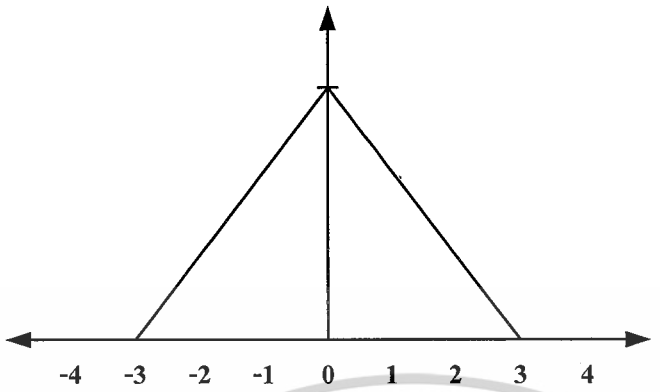
2.4.1 ฟัซซีเซต

ฟัซซีเซตเป็นเซตที่แสดงถึงความสัมพันธ์ของสมาชิกภายในกลุ่มแต่ละตัวกับคำจำกัดความของเซตนั้นๆโดยความสัมพันธ์นี้จะถูกแสดงในลักษณะของระดับความเป็นสมาชิกที่มีค่าอยู่ในช่วง [0,1] แทนที่จะแสดงว่าสมาชิกตัวใดเป็นสมาชิกหรือไม่เป็นสมาชิกของเซตนั้นอย่างเซตธรรมดา ซึ่งมีค่าเป็น {0, 1} ถ้าเรากำหนดให้ U เป็นเซตเอกภพสัมพัทธ์ และฟัซซีเซต A มีสมาชิกของเซตเป็น $x_1,x_2,x_3,....,x_n$ โดยที่ x_i $(i = 1,2,3,...,n)$ เป็นค่าฟัซซีเซต ดังนั้นฟัซซีเซต A สามารถแสดงในรูปของความสัมพันธ์ฟัซซีเซตได้โดย $\mu_A(x_i)$ ความสัมพันธ์เช่นนี้ในทางทฤษฎีของฟัซซีจะเรียกว่า ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership function) และสามารถเขียนเป็นสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$A = \{(x,\mu_A(x))|x \in U\} \qquad (2.2)$$

โดยที่ $\mu_A(x_i)$ ก็คือฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเซต A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 ฟัซซีเซต

จากรูปที่ 2.8 แสดงให้เห็นถึงฟัซซีเซต โดยกำหนดให้เอกภพสัมพัทธ์ U มีค่าต่างๆดังนี้ { -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4} โดยที่เซต A มีสมาชิก ตัวคือ x_i = {-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3} ซึ่งจะพบว่าสมาชิกของเซต A แต่ละตัวมีระดับการเป็นสมาชิกของสมาชิกค่านั้นๆเป็นคู่ลำดับกันไปทำให้พิจารณาได้ว่าฟัซซีเซตจะไม่สามารถแยกแยะการเป็นสมาชิกแต่ละค่าได้ แต่สมาชิกแต่ละตัวจะมีระดับการเป็นสมาชิกอยู่ในช่วง 0 ถึง 1

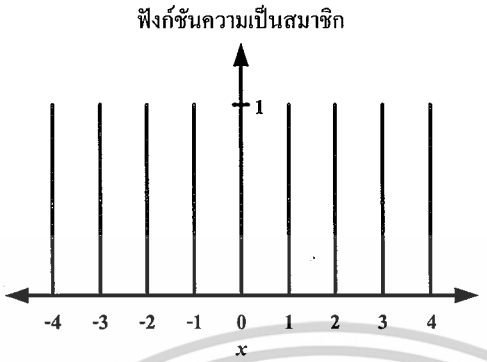
ตัวแปรฟัซซี (Fuzzy Variable) หรือบางครั้งอาจจะเรียกว่า Linguistic ซึ่งก็คือฟัซซีเซตใดๆของระบบที่เราสนใจดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นตัวอย่างเช่น ถ้าเราพิจารณา " อุณหภูมิ " เป็นตัวแปรฟัซซี และถ้าค่าของตัวแปรฟัซซีนี้คือ {ต่ำ, ปานกลาง,สูง} ซึ่งจะเรียกเซตของค่าตัวแปรนี้ว่าเทอมเซต (Term Set) หรือ เซตย่อย และนอกจากนี้ตัวแปรฟัซซีแต่ละตัวอาจมีส่วนขยายของ Linguistic (Hedges หรือ Qualifiers) เพื่อปรับค่าตัวแปรให้มีความยืดหยุ่นมากขึ้น เช่น จากค่าของตัวแปรอุณหภูมิ " ต่ำ ต่ำมาก ", " สูง ค่อนข้างสูง" เป็นต้น คำว่า มาก หรือ ค่อนข้าง ในที่นี้เป็นส่วนขยายของตัวฟัซซี ซึ่งในทางปฏิบัติสามารถแทนด้วยฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ได้ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดในลำดับต่อไป

2.4.2 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกจะถูกกำหนดขึ้นตามคำจำกัดความของเทอมเซตที่มีความยืดหยุ่นและตรงตามความเป็นจริง โดยการกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกนั้นจะต้องสัมพัทธ์กับระบบที่ทำการควบคุม ซึ่งรูปแบบฟังก์ชันความเป็นสมาชิกมีอยู่หลายแบบด้วยกัน ดังรายระเอียดต่อไปนี้

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบซิงเกลตัน (Singleton membership function) จะมีฟังก์ชันความเป็น สมาชิกเพียงตัวเดียว และมีค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเท่ากับ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 กราฟฟังก์ชันแสดงความเป็นสมาชิกแบบซิงเกลตัน

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบรูปสามเหลี่ยม (Triangular membership function)ถูกกำหนดโดย 3 พารามิเตอร์ $\{a,b,c\}$ แสดงดังนี้

$$triangle\ (x;a,b,c) = \begin{cases} 0, & x \le a \\ \dfrac{x-a}{b-a} & a \le x \le b \\ \dfrac{c-x}{c-b} & b \le x \le c \\ 0, & c \le x \end{cases} \qquad (2.3)$$

โดยที่ a<b<c พารามิเตอร์ $\{a,b,c\}$ เป็นตัวตัดสินค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกจากค่า x

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal membership function) ถูกกำหนดโดย 4 พารามิเตอร์ $\{\ a,b,c,d\ \}$ แสดงดังนี้

$$trapezoid\ \ (x;a,b,c) = \begin{cases} 0, & x \le a \\ \dfrac{x-a}{b-a} & a \le x \le b \\ 1, & b \le x \le c \\ \dfrac{d-x}{d-c} & c \le x \le b \\ 0, & d \le x \end{cases} \qquad (2.4)$$

โดยที่ $a < b < c < d$ พารามิเตอร์ $\{\ a,b,c,d\ \}$ตัวตัดสินค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกจากค่า x

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบเก๊าส์เซียน (Gaussian membership function) ถูกกำหนดโดย 2 พารามิเตอร์ $\{c, \sigma\}$ แสดงดังนี้

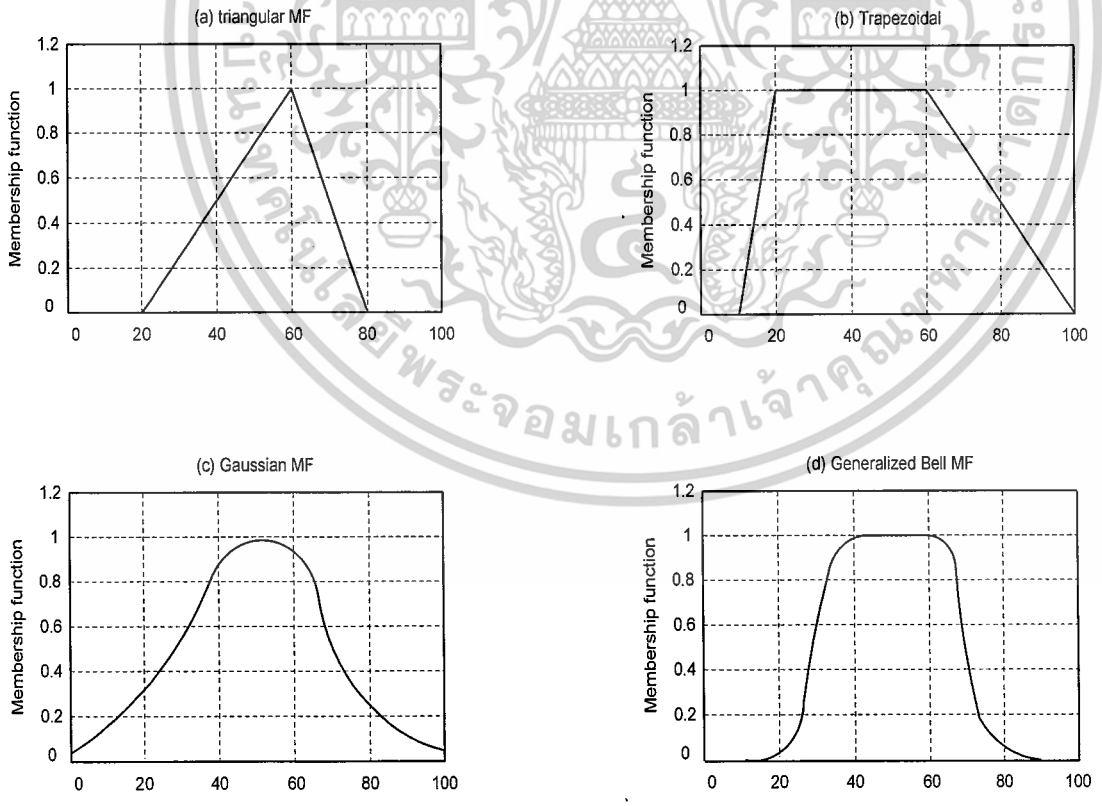
$$gaussian\ (x;c,\sigma) = \exp^{-0.5\left(\frac{x-c}{\sigma}\right)^2} \tag{2.5}$$

โดยที่ c เป็นค่ากลางและ σ เป็นความกว้างของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบเก๊าส์เซียน ตามลำดับ

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบระฆัง (Bell membership function) ถูกกำหนดโดย 3 พารามิเตอร์ $\{a,b,c\}$ แสดงดังนี้

$$bell(x;a,b,c) = \frac{1}{1+\left|\frac{x-c}{a}\right|^{2b}} \tag{2.6}$$

โดยที่ b ต้องเป็นบวก



รูปที่ 2.10 กราฟฟังก์ชันแสดงความเป็นสมาชิกในแบบต่างๆ (a) สามเหลี่ยม (x; 20, 60, 80); (b) สี่เหลี่ยมคางหมู (*x*; 10, 20, 60, 95); (c) เก๊าส์เซียน(*x*; 50, 20); (*d*) ระฆัง (*x*; 20, 40, 50)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 ตัวดำเนินฟัซซีเซต

ตัวดำเนินการของฟัซซีเซตส่วนใหญ่จะมีตัวดำเนินการคล้ายกับเซตธรรมดา เช่น อินเตอร์เซกชัน, ยูเนียน, คอมพลีเมนต์, เป็นต้น ซึ่งตัวดำเนินการเหล่านี้จะใช้ในการอนุมานฟัซซีเซตเพื่อประโยชน์ในการตัดสินใจโดยการประมาณค่าของตัวแปร ในที่นี้เราจะเสนอตัวดำเนินการของฟัซซีเซตบางส่วนเฉพาะที่ใช้ในแบบจำลองการตัดสินใจของระบบควบคุมโดยใช้ฟัซซีเซตเท่านั้น โดยกำหนดให้ U เป็นเซตเอกภพสัมพัทธ์ A, B เป็นเทอมเซตใดๆที่อยู่ใน U และตัวดำเนินการพื้นฐานต่างๆ สามารถกำหนดได้ดังนี้

1. เซตย่อย

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

$$\mu_A(x_i) \le \mu_B(x_i) \ ; \forall x_i \in U \tag{2.7}$$

2. ยูเนียน

ยูเนียนระหว่าง A และ B ($A \cup B$) ก็ต่อเมื่อ

$$\mu_{A \cup B}(x_i) = Max(\mu_A(x_i), \mu_B(x_i)) \ ; \forall x_i \in U \tag{2.8}$$

3. อินเตอร์เซกชัน

อินเตอร์เซกชันระหว่าง A และ B ($A \cap B$) ก็ต่อเมื่อ

$$\mu_{A \cap B}(x_i) = Min(\mu_A(x_i), \mu_B(x_i)) \ ; \forall x_i \in U \tag{2.9}$$

4. คอมพลีเมนต์

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

$$\mu_A(x_i) = \mu_{B'}(x_i) = 1 - \mu_B(x_i) \ ; \forall x_i \in U \tag{2.10}$$

5. A ยกกำลังด้วยค่า α (A^{α}) กำหนดได้โดย

$$\mu_{A^{\alpha}}(x_i) = \left(\mu_A(x_i)\right)^{\alpha} \ ; \forall x_i \in U \tag{2.11}$$

6. Concentration ของเซต A กำหนดได้โดย

$$CON(A) \Rightarrow \mu_{CON(A)}(x_i) = \left(\mu_A(x_i)\right)^2 \ ; \forall x_i \in U \tag{2.12}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. Dilation ของเซต A กำหนดได้โดย

$$DIL(A) \Rightarrow \mu_{DIL}(x_i) = \left(\mu_A(x_i)\right)^{0.5} \quad ; \forall x_i \in U \tag{2-13}$$

2.4.4 ส่วนขยายของฟัซซีเซต

ส่วนขยาย (Hedge) ของฟัซซีเซตจะมีคุณสมบัติคล้ายกับคำคุณศัพท์ในประโยคที่เราใช้พูดคุยติดต่อสื่อสารกันซึ่งจะขยายให้มีใจความของประโยคให้มีความหมายที่ชัดเจนยิ่งขึ้นหรือทำให้ความหมายเปลี่ยนไป สำหรับ Hedge ของฟัซซีเซตนั้นจะขยายเทอมเซตของตัวแปรฟัซซีเซต เพื่อให้มีการประมาณค่าของตัวแปรมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น เมื่อขยายเทอมเซตใดด้วย Hedge จะส่งผลให้รูปร่างของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเทอมเซตนั้นๆเปลี่ยนไป และในบางกรณีอาจจะทำให้ได้เทอมเซตใหม่ขึ้นมา โดยที่แต่ละตัวจะเป็นตัวดำเนินการของฟัซซีเซต เช่น คำว่า “มาก” Zadeh ได้ให้ความหมายของคำนี้ไว้โดยการยกกำลังค่าการเป็นสมาชิกทุกตัวในเทอมเซตด้วยสอง ซึ่งก็คือตัวดำเนินการ Concentration ของฟัซซีเซต ส่วน Hedge ของคำว่า “ค่อนข้าง” Zadeh ได้ให้ความหมายของคำนี้ไว้โดยการถอดรากที่สองของค่าความเป็นสมาชิกทุกตัวในเทอมเซต หรือก็คือตัวดำเนินการ Dilation ของฟัซซีเซตนั่นเอง

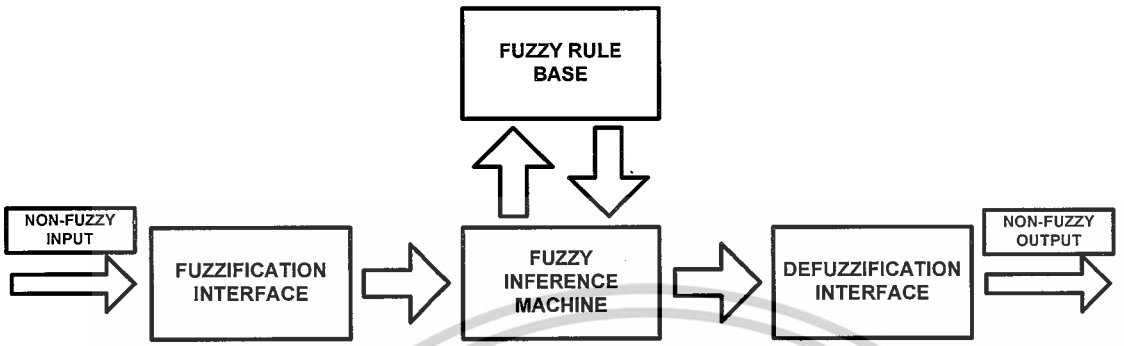
สาเหตุที่ Zadeh แทนความหมาย Hedge ของคำว่า “มาก” และ “ค่อนข้าง” ด้วยตัวดำเนินการยกกำลัง คือ ยกกำลังด้วย 2 และ 0.5 ตามลำดับ ก็เพื่อทำการแปลงค่าความเป็นสมาชิกให้เหมาะสมกับเทอมเซตนั้นๆยิ่งขึ้นอย่างเช่น Hedge คำว่า “มาก” เมื่อนำไปขยายเทอมเซตใด แสดงว่าค่อนข้างที่จะแน่ใจว่าข้อมูลของเทอมเซตนั้นต้องการความถูกต้องสูง และเพื่อให้แน่ใจว่าค่าระดับความเป็นสมาชิกของเทอมเซตนี้มีความถูกต้องสูงจริงๆ จึงทำการลดค่าระดับความเป็นสมาชิกลงมาโดยตัวดำเนินการ Concentration ส่วน Hedge คำว่า “ค่อนข้าง” แสดงถึงความไม่แน่ใจในผลตอบสนองของเทอมเซตนั้นๆ จึงทำการเพิ่มค่าระดับความเป็นสมาชิกให้มากขึ้น โดยการยกกำลังด้วย 0.5 ความจริงความหมายของ Hedge เป็นการแปลความหมายตามอำเภอใจ ดังนั้นคำว่า “มาก” อาจจะไม่จำเป็นต้องยกกำลังสองก็ได้ เช่น อาจจะยกกำลังด้วย 1.3 หรือ 1.8 เป็นต้น สำหรับเทอมเซตตัวอื่นๆ ที่มักพบบ่อยคือตัวดำเนินการคอมพลีเมนต์ หรือ Hedge คำว่า “ไม่”, ส่วน Hedge ที่ใช้ในการเปรียบเทียบ เช่น “มากกว่า”, “น้อยกว่า” หรือ “ต่ำกว่า” เป็นต้น

2.4.5 ตัวควบคุมฟัซซี

จากหัวข้อที่กล่าวมาทั้งหมดในเรื่องของฟัซซีเซต จะถูกนำมาใช้ในการออกแบบจำลองฟัซซีโดยโครงสร้างของตัวควบคุมฟัซซีประกอบไปด้วย 4 หน่วยหลัก คือ หน่วยฟัซซีฟิเคชัน (Fuzzification unit) หน่วยฐานกฎการควบคุม (Fuzzy rule base) หน่วยอินเฟอเรนซ์ (Inference unit)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

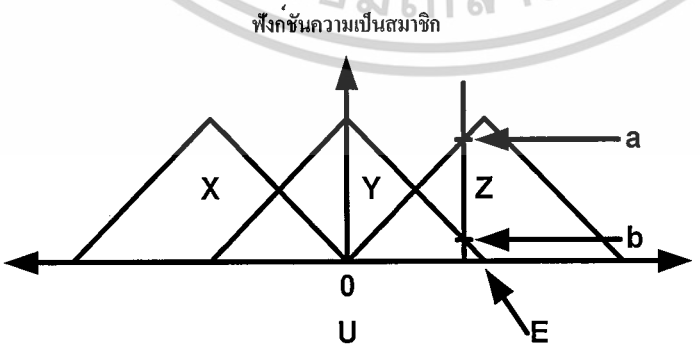
และหน่วยดีฟัซซิฟิเคชัน (Defuzzification unit) ดังรูปแสดงที่ 2.11 ซึ่งการทำงานของแต่ละหน่วยสามารถอธิบายได้ดังนี้



รูปที่ 2.11 โครงสร้างพื้นฐานของตัวควบคุมฟัซซี

2.4.5.1 การฟัซซิฟิเคชัน (Fuzzification)

การฟัซซิฟิเคชัน คือ กระบวนการแปลงค่าของตัวแปรอินพุต ไปเป็นค่าระดับความเป็นสมาชิกของแต่ละเทอมเซต โดยใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ได้เสนอไปแล้ว การเลือกใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก เราต้องเลือกให้เหมาะสมกับคุณสมบัติของตัวแปร เช่น ถ้าตัวแปรมีคุณสมบัติเป็นเชิงเส้นจะต้องเลือกฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่เป็นเชิงเส้นด้วยซึ่งอาจจะเป็นสมการรูปสามเหลี่ยมและรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ส่วนตัวแปรที่มีคุณสมบัติไม่เป็นเชิงเส้นก็ต้องใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ไม่เป็นเชิงส้นด้วยเช่น ฟังก์ชัน S,π,Beta, และ Guassian ซึ่งการฟัซซิฟิเคชันสามารถกระทำได้หลายวิธีตัวอย่างเช่น การฟัซซิฟิเคชันโดยใช้ฟัซซีซิงเกลตัน,การฟัซซิฟิเคชัน โดยใช้ฟัซซีนัมเบอร์ หรือการฟัซซิฟิเคชันโดยใช้ไฮบริดนัมเบอร์ ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้จะกล่าวเฉพาะในส่วนของการฟัซซิฟิเคชันโดยใช้ฟัซซีซิงเกลตัน ซึ่งสามารถแสดงการกระทำได้ดังนี้



รูปที่ 2.12 การฟัซซิฟิเคชันแบบซิงเกลตัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ E เป็นฟัซซีซิงเกลตัน ซึ่งมี $S(E)=\{u_0\}$

$$\mu_E(u)=1;u=u_0$$
$$\mu_E(u)=0;u\neq u_0$$

จากรูปที่ 2.12 สามารถแสดงให้เห็นได้ว่าการหาฟัซซิฟิเคชันด้วยการฟัซซิซิงเกลตันนั้น จะใช้หลักการอินเตอร์เซกชันระหว่างกลุ่มเซตทางอินพุตที่ถูกกำหนดขึ้นกับเซตแบบซิงเกลตัน ซึ่งจากรูปจะเห็นได้ว่าการกำหนดให้กลุ่มเซตทางอินพุตประกอบด้วยเซต X,Y และ Z ซึ่งเป็นฟัซซีเซตแบบฟัซซีเซตนัมเบอร์ และเซตที่ถูกนำมาอินเตอร์เซกชันคือเซต E ที่เป็นเซตแบบซิงเกลตัน ซึ่งจะเกิดขึ้นในตำแหน่งที่มีอินพุดเข้ามา ซึ่งเมื่อทำการอินเตอร์เซกชันหรือการซ้อนทับกันจะทำให้เกิดจุดซ้อนทับกันสองจุด คือ จุดa ซึ่งเป็นจุดที่เซต E ซ้อนทับกับเซต Z และจุด b ซึ่งเป็นจุดที่เซต E ซ้อนทับกับเซต Y ซึ่งทั้งจุด aและจุด b จะเป็นค่าระดับการเป็นสมาชิกที่จะนำมาใช้เป็นตัวแทนทางอินพุต

2.4.5.2 ฐานกฎการควบคุมฟัซซี (Fuzzy rule base)

ฐานกฎการควบคุมฟัซซีเป็นหน่วยที่รวบรวมกฎการควบคุมแบบฟัซซีซึ่งอยู่ในรูปแบบ IF...THEN กำหนดให้กฎการควบคุมอยู่ในรูปแบบนี้

IF x_1 is X_1^k and...and x_m is X_m^k **THEN** y is Y^k

หรือ **IF** x is X^k **THEN** y is Y^k ; $k=1,2,3,....,m$

โดยที่ x คือ ตัวแปรสถานะของกระบวนการ ซึ่งใช้เป็นอินพุตของตัวควบคุมฟัซซี

x $=[x_1,...,x_m]$

X^k คือ ฟัซซีเซตของตัวแปรอินพุตในส่วนเหตุของกฎการควบคุมที่ k

X^k $=X_1^k\times...\times X_m^k$

m คือ จำนวนตัวแปรอินพุตของตัวควบคุม

y คือ ตัวแปรเอาต์พุตของตัวควบคุมฟัซซี

Y^k คือ ฟัซซีเซตของตัวแปรเอาต์พุตในส่วนผลของกฎการควบคุมที่ k

M คือ จำนวนกฎการควบคุมทั้งหมดในฐานกฎการควบคุม

ซึ่งจากคำจำกัดความในรูปของสมการข้างต้น สามารถอธิบายได้ว่ากฎการควบคุมจะถูกกำหนดตามเงื่อนไข ถ้า.....แล้ว เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

IF X is *hot* **THEN** Y is *zero*

โดยที่ X และ Y เป็นตัวแปรฟัซซีเซต ส่วน *hot* และ *zero* เป็นเทอมเซตที่สอดคล้องกับตัวแปร X , Y ประพจน์ของฟัซซีเซตคือ X is *hot* เป็นส่วนของเงื่อนไขที่เรียกว่า Antecedent ซึ่งก็คือส่วนของอินพุตของแบบจำลองฟัซซีลอจิก ส่วนประพจน์ที่ตามหลัง THEN คือ Y is *zero* จะเรียกว่า Consequent หรือส่วนของเอาต์พุตของแบบจำลองฟัซซีลอจิก Antecedent อาจจะประกอบด้วยจำนวนประพจน์หลายประพจน์ ซึ่งจำนวนของประพจน์จะขึ้นอยู่กับจำนวนตัวแปรอินพุตและจำนวนของเทอมเซตแต่ละตัว เช่น ถ้าอินพุตมีสองตัวแปรในส่วนของ Antecedent จะมีสองประพจน์เชื่อมต่อกันในกฎหนึ่งกฎ และในการเชื่อมต่อกันของประพจน์จะต้องมีตัวเชื่อมซึ่งในแบบจำลองฟัซซีจะมีตัวเชื่อมอยู่สองตัวด้วยกันคือ ยูเนียน และอินเตอร์เซกชัน เช่น ในกรณีที่เชื่อมด้วยยูเนียน

IF X is *hot* or M is *high* THEN Y is *zero*

และในกรณีที่เชื่อมด้วยอินเตอร์เซกชัน

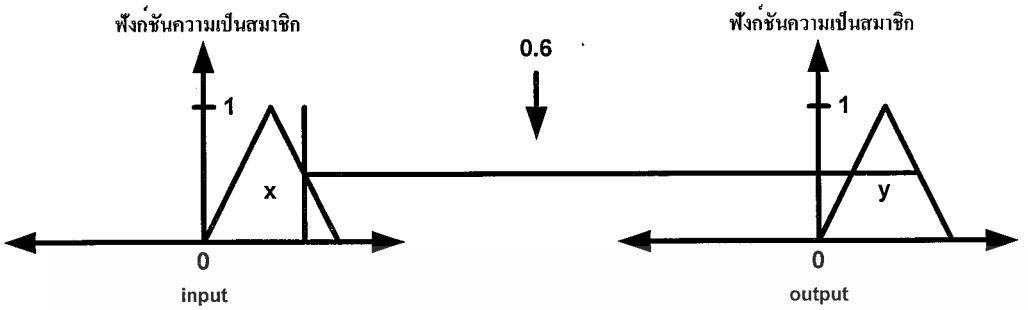
IF X is *hot* and M is *high* THEN Y is *zero*

สำหรับจำนวนกฎในแบบจำลองฟัซซีลอจิกของระบบหนึ่งๆจะขึ้นอยู่กับตัวแปรอินพุตและจำนวนเทอมเซตของแต่ละตัวแปร เช่นถ้าอินพุตมีสองตัวแปร และตัวแปรแต่ละตัวมี 5 เทอมเซต จำนวนกฎทั้งหมดจะเท่ากับ 25 กฎ

2.4.5.3 การอินเฟอเรนซ์แบบฟัซซี(Fuzzy Inference)

การอินเฟอเรนซ์ คือ กระบวนการในการหาข้อสรุป (Conclusion)จากหลักฐาน (Premise) ซึ่งในกระบวนการอินเฟอเรนซ์หลักฐานที่นำมาใช้จะได้มาจากส่วนของกฎการควบคุมที่ถูกกำหนดขึ้นมาจากความชำนาญ โดยในกระบวนการนี้จะทำการหาค่าเอาต์พุตของระบบฟัซซีจากค่าตัวแปรอินพุตแบบฟัซซี X
เพื่อหาค่าระดับความเป็นสมาชิกของแต่ละกฎจากความสำคัญระหว่างตัวแปรอินพุตแบบฟัซซี X กับฟัซซีเซตในส่วนเหตุของแต่ละกฎ X^k แล้วจึงคำนวณหาค่าเอาต์พุตแบบฟัซซีจากระดับการเป็นสมาชิกกับฟัซซีเซตในส่วนผลของแต่ละกฎ Y^k .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
61939



รูปที่ 2.13 การอินเฟอรเรนซ์แบบฟัซซี

จากรูปที่ 2.13 ถ้าส่วนกำหนดการควบคุมกำหนดไว้ว่าถ้ามีข้อมูลอินพุตเข้ามาที่เซต X ค่าเอาต์พุตที่ได้จะต้องเป็นเซต Y ซึ่งจากหลักฐานนี้เองทำให้หน่วยอินเฟอเรนซ์สามารถที่จะสรุปหาข้อสรุปออกมาได้โดยให้อินพุต x อยู่ในช่วงสมาชิกของเซต X จึงจะสามารถระบุได้เลยว่าข้อสรุปที่ได้จะต้องเป็นสมาชิกของเซต Y ซึ่งในรูปจะเห็นได้ว่าการที่สมาชิกแต่ละตัวมีระดับการเป็นสมาชิกไม่เท่ากันจึงทำให้ข้อสรุปจะต้องขึ้นอยู่กับระดับการเป็นสมาชิกของเซตด้วย

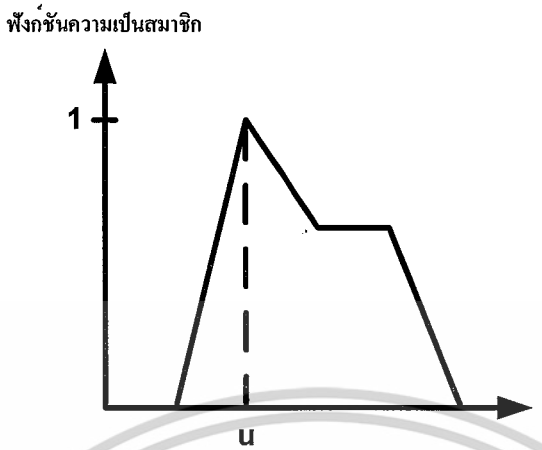
2.4.5.4 การดีฟัซซิฟิเคชัน (Defuzzification)

การดีฟัซซิฟิเคชัน คือ กระบวนการหาค่าเอาต์พุตเพียงค่าเดียวที่เหมาะสมที่สุดเพื่อเป็นตัวแทนของฟัซซีเอาต์พุต โดยค่าที่ได้จะกระจายอยู่บนเอกภพสัมพัทธ์ของเอาต์พุต หรือจะกล่าวอีกลักษณะหนึ่ง คือการแปลงค่าตัวแปรทางฟัซซีให้เป็นค่าจำนวนจริงเพื่อที่จะนำไปควบคุมกระบวนการต่อไป โดยการดีฟัซซิฟิเคชันจะสามารถกระทำได้หลายวิธีดังต่อไปนี้

2.4.5.4.1 การหาค่าระดับการเป็นสมาชิกสูงสุด (Max – membership procedure)

การดีฟัซซิฟิเคชันด้วยวิธีการหาค่าระดับการเป็นสมาชิกสูงสุดเป็นการหาค่าเอาต์พุตที่มีค่าระดับการเป็นสมาชิกสูงสุดเพียงค่าเดียว ซึ่งอธิบายได้ดังรูปที่ 2.7 โดยแสดงถึงเซตเอาต์พุตที่ได้จากหน่วยอินเฟอเรนซ์จะเห็นได้ว่าค่าเอาต์พุตที่มีระดับการเป็นสมาชิกสูงสุด คือค่า u ซึ่งก็คือค่าที่เป็นตัวแทนของเอาต์พุตนั่นเอง

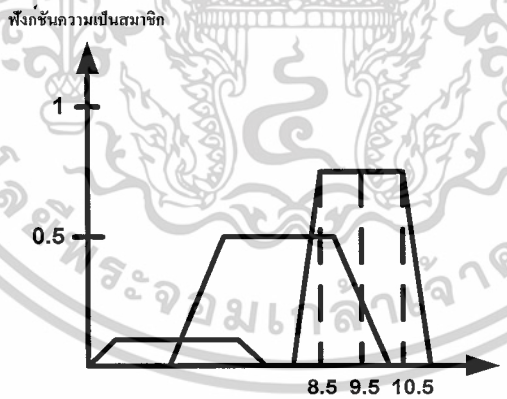
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 การดีฟัซซิฟีเคชันโดยการหาค่าระดับการเป็นสมาชิกสูงสุด

2.4.5.4.2 การหาค่ากลางสูงสุด (Mean of Max procedure)

การดีฟัซซิฟีเคชันด้วยวิธีการหาค่ากลางสูงสุดเป็นการหาค่ากลางของค่าสูงสุดของระดับการเป็นสมาชิกที่ตำแหน่งสูงสุด ซึ่งการดีฟัซซิฟีเคชันด้วยวิธีนี้จะเป็นการแก้ปัญหาที่เกิดจากการที่เซตที่จะนำมาทำการดีฟัซซิฟีเคชันมีค่าระดับการเป็นสมาชิกสูงสุดอยู่หลายค่าซึ่งการดีฟัซซิฟีเคชันด้วยวิธีการของการหาค่ากลางสูงสุดไม่สามารถกระทำได้



รูปที่ 2.15 การดีฟัซซิฟีเคชันโดยการหาค่ากลางสูงสุด

จากรูปที่ 2.15 จะพบได้ว่าเซตมีค่าระดับการเป็นสมาชิกสูงสุดอยู่หลายค่าจึงต้องใช้วิธีการหาค่าสูงสุดมาทำการดีฟัซซี ซึ่งในการหาค่ากลางจะหาค่าเฉพาะช่วงที่มีค่าสูงสุดตามเส้นประที่ลากลงมา ดังในรูปซึ่งจะทำให้ได้ค่าการดีฟัซซิฟีเคชันออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.5.4.3 การหาค่าเฉลี่ยของน้ำหนัก (Weighted average method)

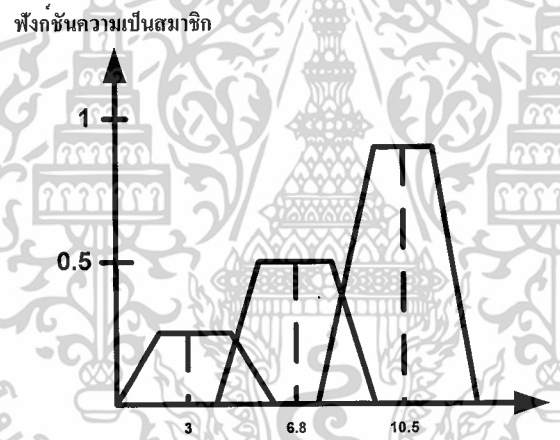
การดีฟัซซิฟีเคชันด้วยวิธีการหาค่าเฉลี่ยของน้ำหนักเป็นวิธีการหาค่าเอาต์พุตที่เหมาะสม โดย การหาค่าเอาต์พุตเฉลี่ย ซึ่งหาได้จากสมการ (2.14)

$$v_0 = \frac{\sum \mu_B(v).v}{\sum \mu_B(v)} \qquad (2\text{-}14)$$

กำหนดให้ B คือ ค่าเซตเอาต์พุต

v คือ สมาชิกของเอกภพสัมพัทธ์ทางเอาต์พุต

v_o คือ ค่าที่ได้รับจาการดีฟัซซิฟีเคชัน



รูปที่ 2.16 การดีฟัซซิฟีเคชันโดยการหาค่าเฉลี่ยของน้ำหนัก

กระบวนการดีฟัซซิฟีเคชันด้วยวิธีการหาค่าเฉลี่ยของน้ำหนัก ในขั้นตอนแรกจะต้องทำการแยกกลุ่มเซตเอาต์พุตที่จะนำมาทำการดีฟัซซิฟีเคชันว่าประกอบด้วยเซตใดบ้าง จากรูปที่ 2.16 เซตเอาต์พุตประกอบด้วย 3 เซตขั้นตอนต่อไปทำการหาค่ากลางสมาชิกของแต่ละเซต ซึ่งจากรูปคือตำแหน่งที่ลากเส้นประลงมาในแต่ละเซต แล้วนำค่ากลางที่ได้คูณกับค่าระดับการเป็นสมาชิก ของค่ากลางเซตนั้นๆ แล้วจึงนำค่าที่ได้ของแต่ละเซตมาบวกเข้าด้วยกันแล้วจึงนำผลบวกที่ได้มาหารด้วยผลรวมของระดับการเป็นสมาชิกที่ตำแหน่งกลางของทุกเซต ซึ่งจากรูปค่ากลางของแต่ละเซต คือ 3,6.8,10.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.5.4.4 การหาค่าจุดศูนย์กลางของพื้นที่ (Centroid method)

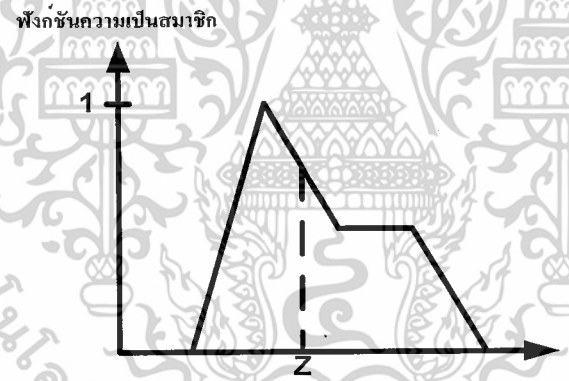
การดีฟัซซิฟิเคชันด้วยวิธีการหาค่าจุดศูนย์กลางของพื้นที่เป็นวิธีการหาจุดศูนย์กลางของพื้นที่ใต้กราฟของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก เพื่อใช้เป็นตัวแทนของฟัซซีเอาต์พุต ซึ่งทำได้โดยการแบ่ง พื้นที่ใต้กราฟของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก ออกเป็น 2 ส่วน เท่าๆกัน โดยในรูปที่ 2.17 คำตอบของการดีฟัซซิฟิเคชันที่ได้คือ Z โดยที่จะสามารถหาค่า Z จากสมการ (2.14)

$$z = \frac{\int \mu_c(u).u du}{\int \mu_c(u) du} \qquad (2.14)$$

กำหนดให้ c คือ ค่าเซตเอาต์พุต

μ คือ สมาชิกของเอกภพสัมพัทธ์ทางเอาต์พุต

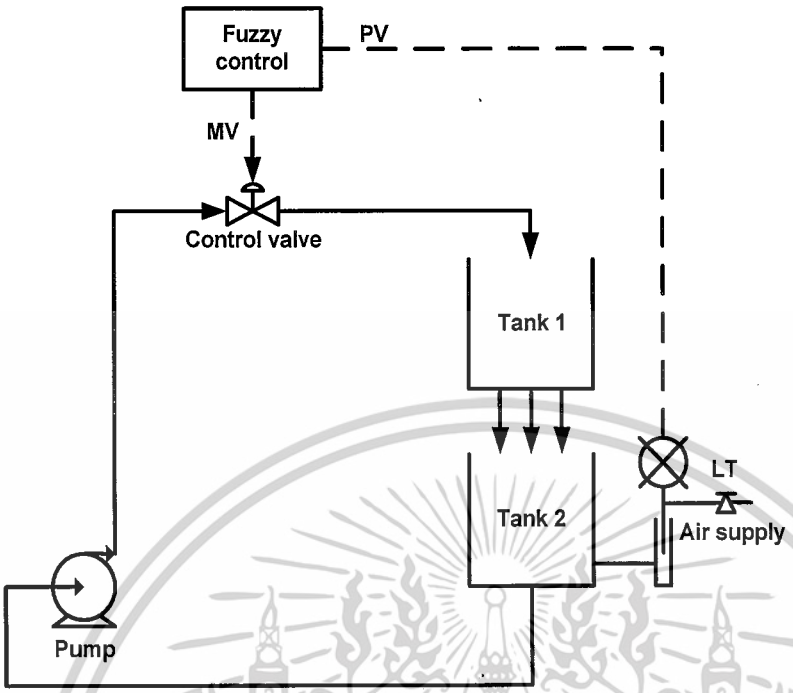
z คือ ค่าที่ได้รับจาการดีฟัซซิฟิเคชัน



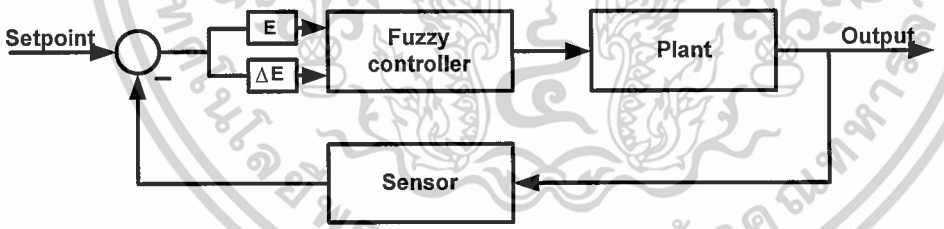
รูปที่ 2.17 การดีฟัซซิฟิเคชั่น โดยการหาจุดศูนย์กลางของฟัซซี

ตัวอย่างแบบจำลองกระบวนการโดยใช้ฟัซซีลอจิกควบคุมระดับน้ำในถัง ซึ่งมีแผนผังการควบคุมแสดงดัง รูปที่ 2.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



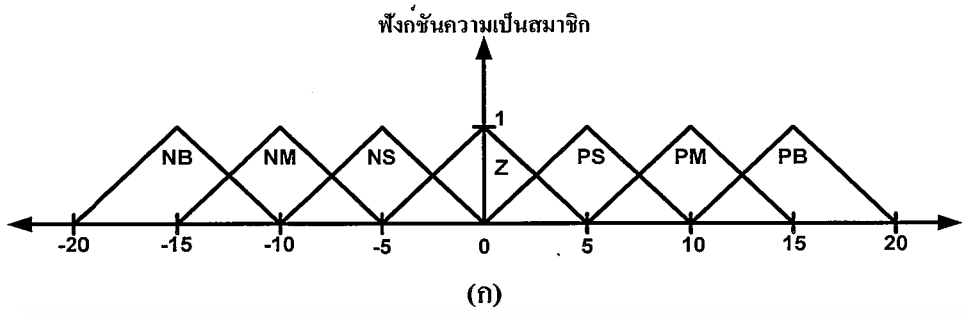
รูปที่ 2.18 แผนผังการควบคุมระดับของน้ำในถัง



รูปที่ 2.19 บล็อคไดอะแกรมการควบคุมระดับน้ำใช้โดยฟัซซี

จากบล็อกไดอะแกรมของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถัง อินพุตของแบบจำลองฟัซซีลอจิกมีสองตัวแปรคือ E : Error และ ΔE : ΔError ส่วนของเอาต์พุตมีตัวแปรหนึ่งตัว คือ การเปิดปิดวาวล์ควบคุม กำหนดให้ตัวแปรของอินพุตแต่ละตัวจะมีเทอมเซตอย่างละ 7 เทอม คือ { NB, NM, NS, Z, PS, PM, PB } ในรูปที่ 2.20 แสดงเทอมเซตของตัวแปรทั้งสองอินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 เทอมเซตของตัวแปรอินพุต (ก) ERROR และ (ข) ΔERROR

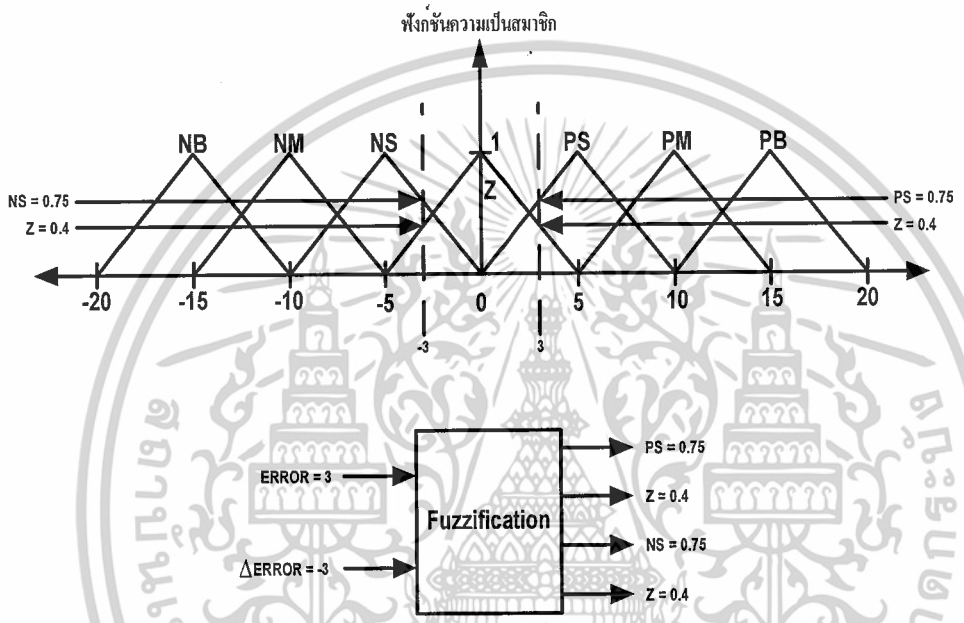
ในส่วนของเทอมเซตเอาต์พุตได้ทำการออกแบบเป็นแบบฟัซซีซิงเกลตัน และเมื่อนำแต่ละเทอมเซตของแต่ละตัวแปรมาเขียนเพื่อกำหนดกฎการควบคุมก็จะได้กฎการควบคุมทั้งหมด 49 กฎ โดยสามารถนำเขียนเป็นเมตริกซ์ที่แสดงความสัมพันธ์ร่วมกันของตัวแปรได้ดังรูปที่ 2.21 ซึ่งเมตริกซ์จะถูกเรียกว่า Fuzzy Associative (FAM) โดย FAM จะมีมิติเท่ากับจำนวนตัวแปรของอินพุต ซึ่งในตัวอย่างนี้มีสองตัวแปรดังนั้น FAM จะมีเมตริกซ์เป็นสองมิติ ขนาด M × N เมื่อ M แทนจำนวนเทอมเซตของตัวแปร ERROR และ N เป็นจำนวนเทอมเซตของตัวแปร ΔERROR และสมาชิกของเมตริกซ์นี้คือค่าของตัวแปรเอาต์พุตซึ่งเป็นแบบซิงเกลตัน ซึ่งที่มาของค่าต่างๆในตารางข้างล่างนี้เป็นการกำหนดขึ้นมาเอง เพื่อใช้ในการยกตัวอย่าง

		ΔERROR						
		NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
ERROR	NB	-50	-50	-50	-40	-50	-50	-50
	NM	-45	-45	-45	-35	-45	-45	-45
	NS	-40	-40	-40	-40	-40	-41	-41
	Z	-36	-31	-27	-27	-27	-28	7
	PS	10	10	14	18	20	31	31
	PM	34	34	34	34	34	34	34
	PB	40	40	40	50	50	50	50

รูปที่ 2.21 เมตริกซ์ FAM ของระบบควบคุมระดับน้ำในถัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมติค่า ERROR ที่วัดได้ที่เวลา t เท่ากับ 3 จากกฎฟัซซีเทอมเซตของ PS และ Z จะถูกนำมาพิจารณา ซึ่งค่าที่ได้ มีค่าเท่ากับ 0.75 และ 0.4 ในกรณีเดียวกัน ค่า ΔERROR ที่วัดได้ในเวลา t เดียวกัน มีค่าเท่ากับ -3 เทอมเซตที่ได้คือ NS และ Z ซึ่งค่าที่ได้ มีค่าเท่ากับ 0.75 และ 0.4 ตามลำดับ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวนี้เรียกว่ากระบวนการฟัซซิฟิเคชัน โดยแสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 การทำฟัซซิฟิเคชันของระบบควบคุมน้ำในถัง

การทำงานของหน่วยอินเฟอเรนซ์มีหน้าที่ในการตัดสินใจที่จะทำการเลือกค่าเอาต์พุตโดยจะเลือกตามกฎการควบคุมที่กำหนดไว้ในตารางกฎการควบคุม โดยจะนำค่าที่ได้จากหน่วยฟัซซิฟิเคชันมาทำการเปรียบเทียบจากตัวอย่างค่าที่ได้ เซตเอาต์พุต ERROR คือค่า PS = 0.75, Z = 0.4 และในส่วนของเซตชุด dERROR คือค่า NS = 0.75, Z = 0.4 โดยค่าที่ได้จะถูกนำไปเลือกกฎการควบคุมดังรูปที่ 2.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ΔERROR

ERROR	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
NB	-50	-50	-50	-40	-50	-50	-50
NM	-45	-45	-45	-35	-45	-45	-45
NS	-40	-40	-40	-40	-40	-41	-41
Z	-36	-31	***-27***	***-27***	-27	-28	7
PS	10	10	***14***	***18***	20	31	31
PM	34	34	34	34	34	34	34
PB	40	40	40	50	50	50	50

เซต Z, NS จะเลือกกฎ **-27**

เซต Z, Z จะเลือกกฎ **-27**

เซต PS, NS จะเลือกกฎ **14**

เซต PS, Z จะเลือกกฎ **18**

Set(ERROR,ΔERROR)	Output	Membership function
Z, NS	-27	0.4
Z, Z	-27	0.4
PS, NS	14	0.75
PS, Z	18	0.4

$$Output = \frac{(-27 \times 0.4) + (14 \times 0.75) + (18 \times 0.4)}{(0.4 + 0.4 + 0.75 + 0.4)} = -2$$

รูปที่ 2.24 การดีฟัซซิฟิเคชันของระบบควบคุมระดับน้ำในถัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำหนดหน่วยฟัซซิฟิเคชันในส่วนของการหาค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบฟัซซีหรือการแปลงตัวแปรแบบฟัซซีมาเป็นตัวแปรของกระบวนการในหน่วยดีฟัซซิฟิเคชันนี้จะใช้วิธีการของการหาค่าเฉลี่ยของน้ำหนัก โดยจะนำค่าเซตของเอาต์พุตที่ได้จากหน่วยอินเฟอเรนซ์มาคำนวณ เช่น Z, NS ได้ค่าเอาต์พุตเท่ากับ -27 และมีระดับการเป็นสมาชิก 2 ค่าคือ 0.4 และ 0.75 แต่การ ดีฟัซซิฟิเคชันด้วยวิธีนี้จะใช้หลักการของการกระทำแบบ Min Operator ก็คือการเลือกค่าระดับการเป็นสมาชิกที่ต่ำกว่า ดังนั้น ค่าระดับการเป็นสมาชิกของเงื่อนไขอินพุตนี้ คือ 0.4 ในทำนองเดียวกันค่าเงื่อนไขอินพุตที่เหลืออีก 3 เงื่อนไขก็จะใช้หลักการเดียวกันกับ ตารางที่ 2.1 แสดงค่าเอาต์พุตที่ต้องใช้ในการคำนวณของกระบวณการดีฟัซซิฟิเคชัน

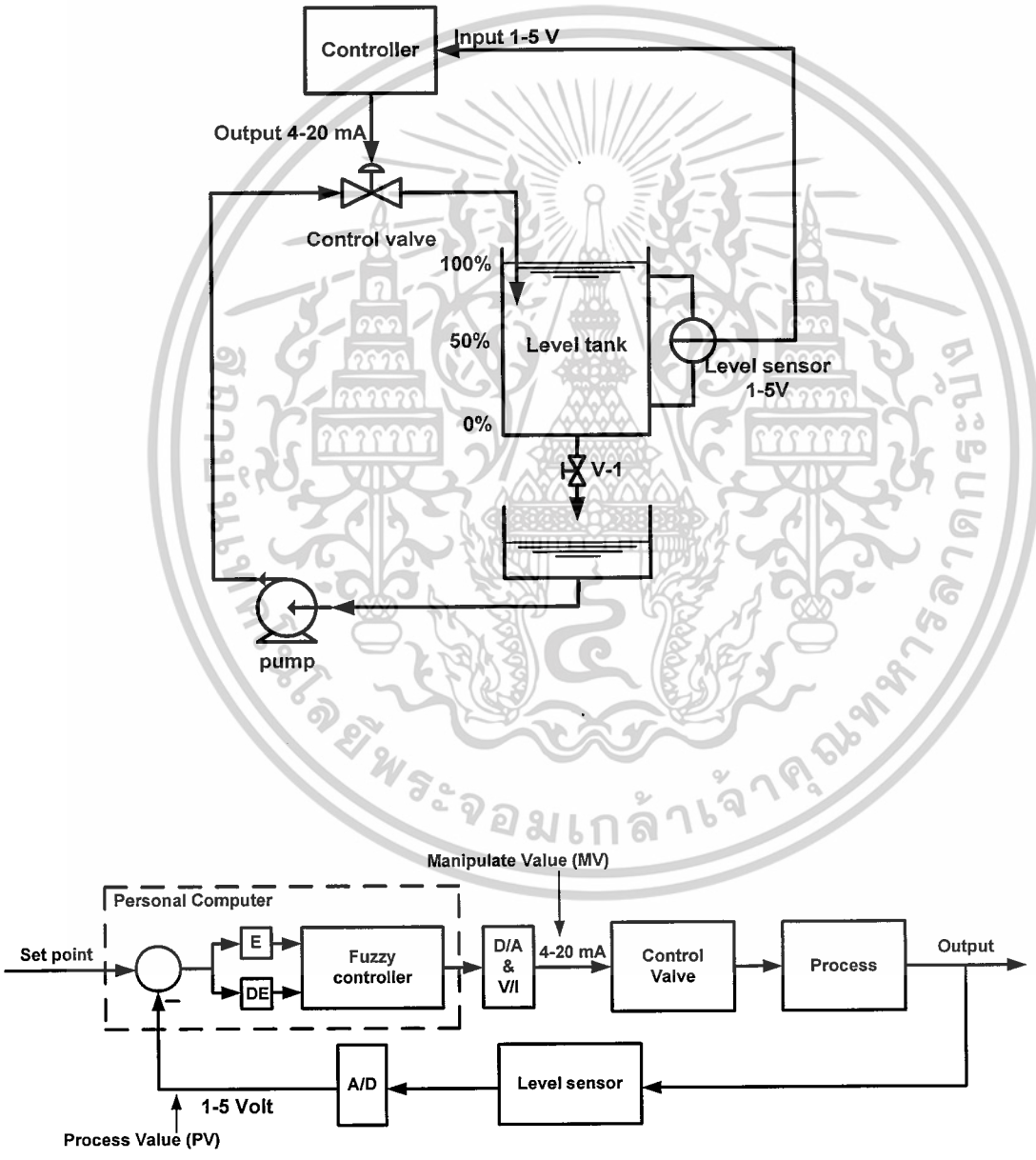
2.4.6 สรุป

การควบคุมด้วยฟัซซีลอจิกเป็นวิธีควบคุมสมัยใหม่อีกวิธีหนึ่ง ที่อาศัยรูปแบบการแก้ปัญหาหรือการให้เหตุผลของมนุษย์เป็นแนวทางในการวิเคราะห์ และทำการควบคุมระบบโดยอาศัยการดำเนินการเชิงตรรกกะแบบฟัซซีเป็นเครื่องมือ ซึ่งลักษณะตัวควบคุมแบบฟัซซีนี้มีลักษณะเป็นตัวประมาณค่าตัวแปรที่ต้องการควบคุม โดยไม่จำเป็นต้องใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบทำให้สามารถใช้กับระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้นหรือระบบที่ยากแก่การหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ดี อีกทั้งยังสามารถใช้ได้กับระบบที่มีหลายอินพุตหลายเอาต์พุตได้อีกด้วย ซึ่งแนวทางของทฤษฎีระบบควบคุมแบบฟัซซีนี้ สามารถแก้ปัญหาที่เคยเกิดขึ้นกับระบบควบคุมแบบเดิมได้ และเนื่องจากฟัซซีลอจิกไม่ต้องใช้คณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนเวลาคำนวณ ทำให้สามารถพัฒนาระบบให้ทำงานแบบทันทีได้โดยไม่ยากนัก ทั้งนี้แนวโน้มการเติบโตของการควบคุมแบบฟัซซียังคงมีต่อไป ดังในปัจจุบันกำลังมีการวิจัยค้นคว้าเกี่ยวกับระบบ Fuzzy Rule-Base Expert System, ระบบ Neuro-Fuzzy ที่มีลักษณะการผสมผสานกันของฟัซซีกับโครงข่ายประสาท (Neural Network) หรือแม้กระทั่งระบบ Adaptive Fuzzy System ที่สามารถปรับการควบคุมตามพฤติกรรมของระบบได้ดียิ่งขึ้นอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การคำนวณและการสร้างตัวควบคุมฟัซซี

กระบวนการที่นำมาใช้ควบคุมเป็นกระบวนการชนิดการควบคุมระดับของเหลว (Level control) สามารถแสดงแผนผังการทำงานได้ดังนี้



รูปที่ 3.1 แผนผังของกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของกระบวนการอธิบายได้ดังนี้ อุปกรณ์วัดระดับ(level sensor) จะส่งสัญญาณไปที่ตัวควบคุม(controller)เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับระดับที่ต้องการควบคุม(set point) และตัวควบคุมจะส่งสัญญาณออกมาที่วาล์วควบคุม(control valve) เพื่อควบคุมปริมาณของน้ำให้เหมาะสมหรือรักษาระดับตามที่ต้องการ

เมื่อเข้าใจหลักการทำงานของกระบวนการนี้แล้วสามารถออกแบบตัวควบคุมฟัซซีได้ตามขั้นตอนดังนี้

3.1 การออกแบบตัวควบคุม

3.1.1 การกำหนดตัวแปรอินพุต และตัวแปรเอาต์พุต

ในการกำหนดตัวแปรอินพุต และตัวแปรเอาต์พุตของตัวควบคุมจะประกอบด้วย 2 ตัวแปรอินพุต และ1ตัวแปรเอาต์พุต โดยตัวแปรอินพุตของตัวควบคุม คือ ตัวแปรค่าความผิดพลาด e (Error) แสดงดังสมการที่ (3.1) และตัวแปรค่าเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาดΔe (Change of error) แสดงดังสมการที่(3.2) ส่วนตัวแปรเอาต์พุตของพุตของตัวควบคุม คือ สัญญาณควบคุม y (Control output) ซึ่งแทนด้วยค่าจำนวนจริงที่อยู่ในตารางกฎการควบคุม

$$e(n) = SP - P(n) \tag{3.1}$$

$$\Delta e(n) = e(n) - e(n-1) \tag{3.2}$$

โดยที่ $e(n)$ คือ ตัวแปรค่าความผิดพลาดของระบบลำดับที่ n

SP คือ ค่าเป้าหมาย (Set point)

$P(n)$ คือ สัญญาณป้อนกลับของกระบวนการ

$\Delta e(n)$ คือ ตัวแปรค่าการเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาด

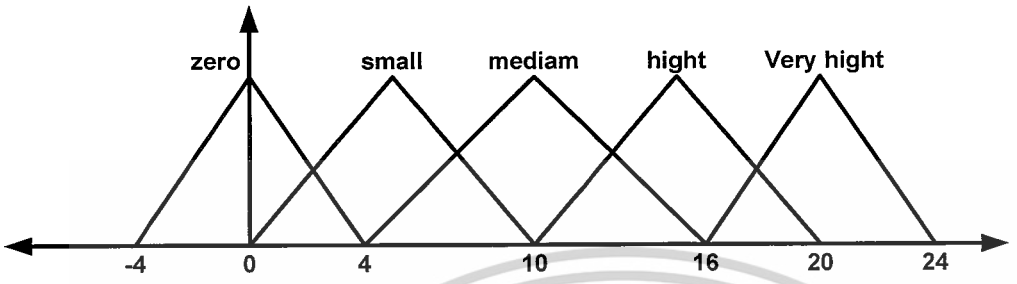
$e(n-1)$ คือ ค่าความผิดพลาดของระบบลำดับที่ $n-1$

3.1.2 การกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรอินพุต

ในการงานวิจัยนี้ได้ออกแบบตัวควบคุม โดยกำหนดให้รูปร่างของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซตของตัวแปรอินพุต e และ Δe เป็นรูปทรงแบบสามเหลี่ยม ซึ่งง่ายต่อการออกแบบในการกำหนดเทอมเซตของตัวแปรอินพุตตัวแรกคือ ERROR ซึ่งกำหนดให้แต่ละตัวแปรมีจำนวนเทอมเซตเท่ากับ 5 เซต คือ zero, small,mediam,hight และ very hight ส่วนอินพุตตัวที่สองคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ΔERROR มีตัวแปรจำนวนเทอมเซตเท่ากับ 3 คือ negative, zero, positive โดยค่าที่นำมาแสดงนั้นมาจากการลองผิดลองถูกจนได้กฎที่เหมาะสมกับระบบนี้ที่สุด สามารถแสดงในรูปที่ 3.2 ได้ดังนี้



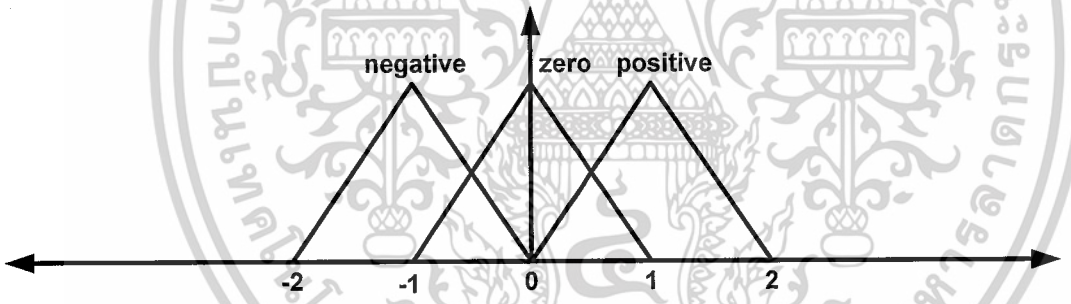
1.zero = 0

2.small = 5

3.medium = 10

4.hight = 15

5.very hight = 20



1.negative = -1

2.zero = 0

3.positive = 1

รูปที่ 3.2 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรอินพุต ERROR และ ΔERROR

3.1.3 การกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรเอาต์พุต

การกำหนดความซับซ้อนของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอินพุตและตัวแปรเอาต์พุตที่ดีนั้น จำนวนฟัซซีเซตของตัวแปรอินพุตแต่ละตัวจะมีผลต่อขนาดของฐานกฎการควบคุมซึ่งเป็นส่วนของตัวแปรเอาต์พุต ในการหากกฎการควบคุมนั้นสามารถหาได้ตามสมการที่(3.3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$M = Ne \times N\Delta e \tag{3.3}$$

โดยที่ M คือ ขนาดของกฎการควบคุม

Ne คือ จำนวนเทอมเซตของตัวแปรอินพุต e

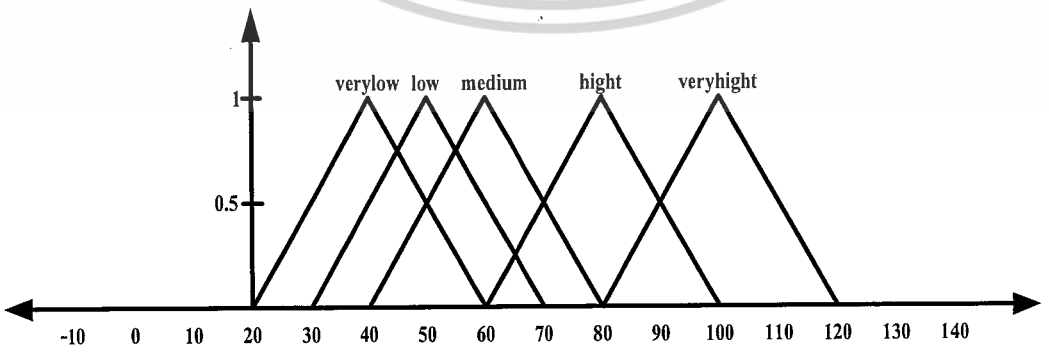
$N\Delta e$ คือ จำนวนเทอมเซตของตัวแปรอินพุต Δe

จากที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ผ่านมาตัวแปรอินพุต e และ Δe มีเทอมเซตเท่ากับ 5 และ 3 เทอม ดังนั้น จำนวนกฎการควบคุมทั้งหมดเท่ากับ M = 5×3= 15 เซต ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ΔE \ E	Ze	Sm	Me	H	VH
N	low	medium	medium	hight	hight
Ze	low	low	medium	hight	very hight
P	very low	low	medium	medium	very hight

ตารางที่ 3.1 กฎการควบคุมที่ใช้ในกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถัง

จากตารางกฎการควบคุม ค่ากฎต่างๆที่กำหนดขึ้นมาเป็นค่าเริ่มต้นที่จะนำไปใช้ทดสอบกระบวนการ ซึ่งค่ากฎต่างๆเหล่านี้ผู้ออกแบบได้กำหนดขึ้นเองโดยอาศัยตามหลักความเป็นจริงของกระบวนการที่ควรจะเกิดขึ้น เช่น ระดับน้ำที่วัดได้มีค่าต่ำกว่า set point มาก ทำให้ค่า ERROR และ ΔERROR มีค่าสูง (very hight) ส่วนค่าตัวแปรเอาต์พุตอยู่ในรูปแบบของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบสามเหลี่ยม มีการกำหนดเซตแบบทับซ้อนกันเพื่อให้เหมาะสมกับการทำงานของระบบ เนื่องจาก ถ้ากำหนดสมาชิกแบบสามเหลี่ยมแบบสมมาตรกัน จะทำให้ระบบทำงานได้ไม่ดีนัก ซึ่งฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ได้ปรับแต่งแล้วสามารถแสดงได้ดังรูปที่3.3



รูปที่ 3.3 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเอาต์พุตแบบสามเหลี่ยมของกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2หลักการของบัส I^2C

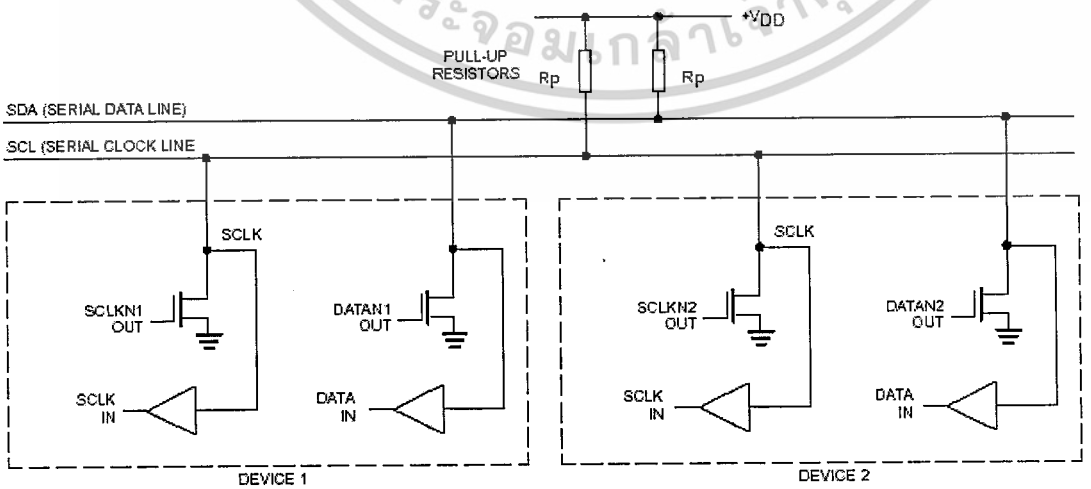
3.2.1การเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรมกับระบบบัส I^2C

I^2C ย่อมาจาก Inter-IC Communication หมายถึงการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซีโดยบัส I^2C ได้รับการพัฒนาขึ้นโดยฟิลิปส์(Philips) ด้วย จุดมุ่งหมายหลักคือ ต้องการให้ไอซีหรือโมดูลสามารถติดต่อ สั่งงาน และควบคุมภายใต้สัญญาณเพียง 2 เส้น นั่นคือเส้นหนึ่งเป็น ข้อมูล อีกเส้นหนึ่งเป็นสายสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ในการกำหนดจังหวะการทำงานการต่อร่วมกันของอุปกรณ์บนบัส I^2Cทำได้ง่ายมาก เพียงต่อสายข้อมูลและสายสัญญาณนาฬิกาของอุปกรณ์แต่ล่ะตัวขนานกันหรือพ่วงกันไป ส่วนการกำหนดแอดเรสหรือตำแหน่งสำหรับติดต่ออุปกรณ์แต่ล่ะตัว จะใช้รหัสข้อมูลและการกำหนดสภาวะลอจิกที่ขาแอดเรสของอุปกรณ์แต่ล่ะตัว

สายข้อมูลบนบัส I^2C มีชื่อเรียกคือ **SDA(Searial Data line)** ส่วนสายสัญญาณนาฬิกามีชื่อเรียกว่า **SCL(Serial Clock Line)** ในการอธิบายต่อไปนี้จะเรียกสายสัญญาณทั้งสองว่า SDA และ SCL อุปกรณ์ที่ใช้การเชื่อมต่อด้วยบัส I^2C มีหลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นไอซีขยายพอร์ต (I/O Expander), ไอซีแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล(ADC)และแปลงดิจิตอลเป็นอนาลอก(DAC), ไอซีรีลไทม์คล็อก(RTC), ไอซีขับโมดูลLCD,หน่วยความจำอีพรอม และไมโครคอนโทลเลอร์

3.2.2 คุณสมบัติโดยทั่วไปของบัส I^2C

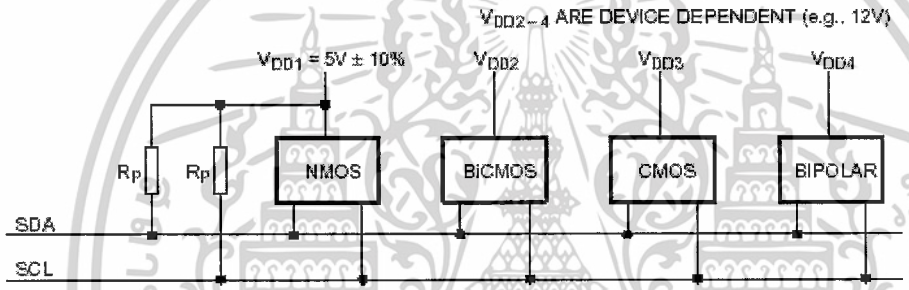
สาย SDA และ SCL เป็นสายสัญญาณสองทิศทาง (bi-direction Line) ต้องมีการต่อตัวต้านทานพูลอัปกับแรงดัน +5V ไว้ตลอดเวลา เพื่อให้สายมีสถานะลอจิกสูงในณะที่ไม่มีการติดต่อใช้งาน ทั้งยังช่วยป้องกันสัญญาณรบกวนที่อาจเข้ามาในสายสัญญาณทั้งสองวงจรเอาท์พุตของอุปกรณ์ที่ติดต่ออยู่บนบัส I^2C ซึ่งต้องมีลักษณะเป็นวงจรเดรนเปิด(Open Drain) หรือ คอลเล็กเตอร์เปิด (Open collector) ดังรูป 3.4



รูปที่ 3.4 โครงสร้างวงจรเอาท์พุตของอุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อบนบัส I^2C

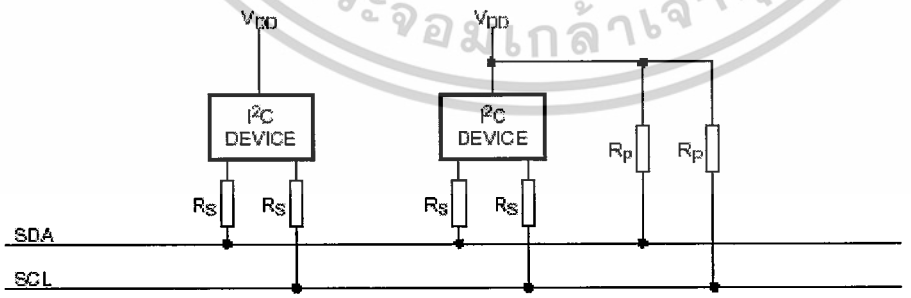
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการถ่ายทอดข้อมูลบนบัส I^2C สูงถึง 100กิโลบิตต่อวินาทีในโหมดปกติ(Standard mode) และสูงถึง 400กิโลบิตต่อวินาทีในโหมดความเร็วสูง(Fast mode) อุปกรณ์ที่ต่อร่วมอยู่บนบัส I^2Cจะต้องมีค่าความจุไฟฟ้ารวมที่เกิดขึ้นระหว่างสาย SDAและSCLไม่เกิน 400pF การเข้าถึงอุปกรณ์บนบัส I^2C มี2 แบบคือแบบ 7 บิต (7 Bit addressing) และ 10 บิต(10 Bit addressing)
ข้อเด่นอีกประการของบัส I^2C คือ สามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่ใช้ไฟเลี้ยงไม่เท่ากันให้สามารถติดต่อสื่อสารกันได้ โดยอุปกรณ์บนบัส I^2Cตัวหนึ่งอาจใช้ไฟเลี้ยงเพียง 5V ในขณะที่อีกตัวหนึ่งใช้ไฟเลี้ยง +12 V การต่อร่วมกันบนบัส I^2C สามารถกระทำได้ในลักษณะเดียวกันกับกรณีที่อุปกรณ์ทั้งสองใช้ไฟเลี้ยงเท่ากัน กล่าวคือ ให้ต่อสาย SDA และ SCL ของอุปกรณ์แต่ละตัวเข้าด้วยกันและต้องต่อตัวต้านทานพูลอัป(Rp)เข้ากับแรงดัน +5V ไว้ด้วยเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์บนระบบบัส I^2C ที่ใช้ไฟเลี้ยงไม่เท่ากัน

ในกรณีที่อาจมีแรงดันไฟฟ้ากระชากขนาดใหญ่ปะปนเข้ามาในบัส I^2C ที่ขา SDA และ SCL ของอุปกรณ์แต่ละตัวต้องต่อตัวต้านทานอนุกรมเข้ากับขา SDA และ SCL เรียกว่า Rs ก่อนต่อเข้าสู่บัส I^2C ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 การต่อตัวต้านทานเพื่อป้องกันแรงดันกระชากที่อาจปะปนเข้ามาในไฟเลี้ยงของอุปกรณ์ระบบบัส I^2C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัส I^2C ประกอบด้วยสายสัญญาณ 2 เส้น คือ SDA และ SCL อุปกรณ์ที่ต่อพ่วงบนบัสสามารถมีได้มากมาย ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดรูปแบบการติดต่อบนบัส หรือที่เรียกว่า **โปรโตคอล (protocal)** เพื่อให้ผู้ใช้งานทราบว่า ขณะนี้อุปกรณ์ใดติดต่อกันอยู่ และอุปกรณ์ตัวใดเป็นตัวรับและตัวส่ง ต่อไปนี้จะอธิบายลักษณะ หน้าที่ และนิยามของอุปกรณ์ที่ต่ออยู่บนบัส I^2C เพื่อเป็นข้อตกลงพื้นฐานก่อนที่จะอธิบายการทำงานของบัส I^2C ต่อไป

อุปกรณ์ที่เป็นผู้สร้างข้อมูลหรือส่งข้อมูล เรียกว่า ตัวส่ง (transmitter)

อุปกรณ์ที่เป็นผู้รับข้อมูล เรียกว่า ตัวรับ(receiver)

ในอุปกรณ์บนบัส I^2C สามารถเป็นได้ทั้งตัวรับและตัวส่ง บางอุปกรณ์ทำหน้าที่เป็นตัวรับเพียงอย่างเดียว จะไม่มีอุปกรณ์ใดบนบัส I^2C ที่ทำหน้าที่เป็นตัวส่งเพียงอย่างเดียว

อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ควบคุมจังหวะการทำงานหรือการติดต่อบนบัส I^2C เรียกว่า มาสเตอร์ (Master)

อุปกรณ์ที่ถูกควบคุมหรืออุปกรณ์ที่ต่อพ่วงเข้าไปบนบัส I^2C เรียกว่า สลาฟ(Slave)

ข้อกำหนด 2 ประการสำคัญของการติดต่อบนบัส I^2C คือ

(1) การถ่ายทอดข้อมูลจะเกิดขึ้นได้เมื่อบัสว่างเท่านั้น

(2) ในระหว่างการถ่ายทอดข้อมูล เมื่อใดก็ตามที่สาย SCL มีสถานะลอจิกสูงสายข้อมูลต้องรักษาข้อมูลไว้ อย่าให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเด็ดขาด มิฉะนั้น สัญญาณที่เกิดขึ้นจะได้รับการแปลความหมายเป็นสัญญาณควบคุมแทน

3.2.3 สภาวะที่เกิดขึ้นบนบัส I^2C

มีด้วยกัน 5 สภาวะดังนี้

(1) บัสว่าง(Bus not busy) สภาวะนี้เกิดขึ้นเมื่อสถานะบนลอจิกบนสาย SDA และ SCL เป็นลอจิกสูงทั้งคู่ นั่นหมายความว่า การถ่ายทอดข้อมูลสามารถเริ่มต้นขึ้นได้

(2) เริ่มต้นการถ่ายทอดข้อมูล(start data transfer) เกิดขึ้นเมื่อสาย SDA เปลี่ยนระดับลอจิกจากสูงไปต่ำ ในขณะที่สาย SCL มีสถานะลอจิกสูง เรียกสภาวะที่เกิดขึ้นนี้ว่า ***สภาวะเริ่มต้น(START)***

(3) ข้อมูลดำรงอยู่บนบัส(data valid) สภาวะนี้เกิดขึ้นถัดจากสภาวะเริ่มต้น โดยสถานะลอจิกที่เกิดขึ้นบนสาย SDA ก็คือข้อมูลที่ทำการถ่ายทอด เมื่อสายSCL เป็นลอจิกสูง สถานะที่สาย SDA ต้องคงที่ เพื่อให้อุปกรณ์รับรู้ข้อมูลในจังหวะนั้นว่า เป็น “0” หรือ “1” ข้อมูลอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ในขณะที่สาย SCL เป็นลอจิกต่ำ แต่เมื่อใดก็ตามที่ต้องการให้เกิดการถ่ายทอดข้อมูลอย่างสมบูรณ์ สถานะลอจิกที่ขา SDA ต้องคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตลอดช่วงเวลาที่สาย SCL มีสถานะลอจิกสูง หากเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะลอจิกในขณะที่สาย SCL มีลอจิกสูงอยู่นั้น อุปกรณ์มาสเตอร์ที่ทำการควบคุมการถ่ายทอดข้อมูลจะทำการแปลความหมายเป็นสภาวะหยุดหรือสภาวะเริ่มต้นก็ได้ ทำให้ข้อมูลที่ทำการถ่ายทอดนั้นเกิดการผิดพลาดขึ้น

(4) รับรู้ข้อมูล(acknowledge) เกิดขึ้นหลังจากที่การถ่ายทอดข้อมูลจากตัวส่งมายังตัวรับเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ โดยตัวส่งจะทำการส่งข้อมูลมา 1 บิต เรียกว่า *บิตรับรู้* (acknowledge bit) มีสถานะเป็นลอจิกสูง หลังจากส่งข้อมูลมาครบถ้วน ส่วนอุปกรณ์มาสเตอร์จะทำการส่งสัญญาณรับรู้พิเศษซึ่งมีความสัมพันธ์กับสัญญาณนาฬิกา อุปกรณ์สลาฟที่ถูกอ้างถึงในการติดต่อหรือกำลังติดต่ออยู่ในขณะนั้นจะกำเนิดบิตรับรู้ที่มีสถานะลอจิกต่ำเพื่อตอบสนองให้ทราบว่าได้รับข้อมูลเรียบร้อยแล้ว

(5) หยุดการถ่ายทอดข้อมูล(stop data transfer) เกิดขึ้นเมื่อสาย SDA มีการเปลี่ยนแปลงระดับลอจิกจากต่ำไปสูง ในขณะที่สาย SCL มีสถานะลอจิกสูง เรียกสภาวะที่เกิดขึ้นนี้ว่า ***สถาวะหยุด(STOP)***

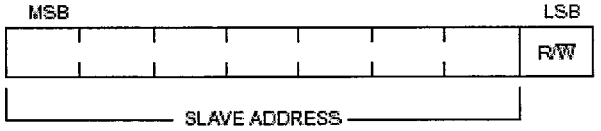
3.2.4การทำงานบนบัส I^2C

ก่อนที่จะเริ่มต้นการถ่ายทอดข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ต่างๆที่ติดต่ออยู่บนบัส ต้องมีการอ้างถึงอุปกรณเสียก่อน โดยการอ้างถึงอุปกรณ์บนบัส I^2C นั้นจะเป็นการอ้างถึงแบบ 7บิต หรือ 10 บิต ในกรณีที่มีอุปกรณ์ต่ออยู่บนบัสไม่มาก ใช้การอ้างถึงแบบ 7 บิต ก็เพียงพอ แต่มีอุปกรณ์ต่ออยู่บนบัสมากกว่า 127 แอดแดรส จำเป็นต้องใช้การอ้างถึงแบบ 10 บิต หลังจากที่ติดต่ออุปกรณ์แต่ละตัวได้เรียบร้อยแล้ว ก็จะเริ่มต้นการถ่ายทอดข้อมูล

3.2.4.1การอ้างถึงแบบ 7 บิต (7-bit addressing)

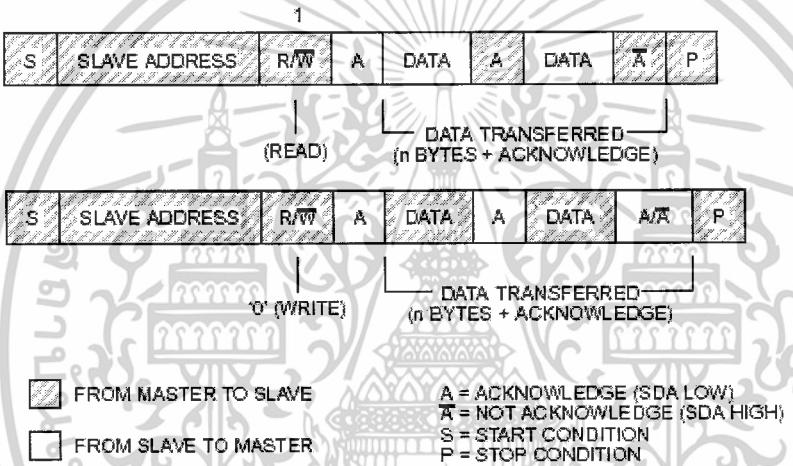
ข้อมูลไบต์แรกที่เกิดขึ้นหลังจากสภาวะเริ่มต้นคือ ข้อมูลที่ใช้ในการอ้างถึงอุปกรณ์ที่ต้องการติดต่อ โดยมีรูปแบบแสดงในรูปที่ 3.7 ใน 7 บิตบนรวมทั้งบิต MSB ด้วยจะเป็นข้อมูลแอดเดรสของอุปกรณ์สเลฟที่ต้องการติดต่อ โดยแบ่งเป็น บิตกำหนดแอดเดรสคงที่(fixed address bit)จำนวน 4 บิตซึ่งข้อมูลนี้อุปกรณ์แต่ละตัวจะถูกกำหนดมาจากผู้ผลิต ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขได้ ถัดมาอีก 3 บิตเป็นบิตกำหนดแอดเดรสที่สามารถโปรแกรมได้(programmable address bit) โดยผู้ใช้งานต้องกำหนดสถานะลอจิกให้แก่ขา A0-A2 ของอุปกรณ์ที่มีการเชื่อมต่อบนบัส I^2C ส่วนในบิต LSB เป็นบิตที่ใช้กำหนดการอ่านหรือการเขียนข้อมูลกับอุปกรณ์สเลฟตัวนั้นๆ หากบิต LSB เป็น “0” หมายถึงต้องการเขียนข้อมูลไปยังอุปกรณ์นั้น ถ้าเป็น “1” จะเป็นการอ่านข้อมูลจากอุปกรณ์สเลฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการอ้างถึงอุปกรณ์บนระบบบัส

ข้อมูลในไบต์ต่อมาคือข้อมูลควบคุม(control byte) ในอุปกรณ์แต่ล่ะตัวมีการกำหนดข้อมูลแตกต่างกันไป ยกตัวอย่าง ไอซีขยายพอร์ตที่มีข้อมูลควบคุมที่ใช้กำหนดว่า บิตใดเป็นบิตอินพุตบิตใดเป็นบิตเอาท์พุต ในขณะที่ไอซี ADC/DAC ต้องการข้อมูลควบคุมเพื่อกำหนดให้ทำงานเป็นวงจร ADC หรือ DAC



รูปที่ 3.8รูปแบบข้อมูลอนุกรมที่ใช้ในการติดต่อกับอุปกรณ์บนระบบบัส I^2C แบบ7บิตข้อมูลในไบต์ต่อมาคือ ข้อมูลที่ทำการถ่ายทอดจริง(data)

หลังจากที่มีการถ่ายทอดข้อมูลในแต่ล่ะไบต์ อุปกรณ์สเลฟที่ได้รับการติดต่อต้องส่งสัญญาณรับรู้ตอบกลับมาด้วยทุกครั้ง เพื่อให้กระบวนการถ่ายทอดข้อมูลสามารถดำเนินต่อไปได้ ในรูปที่ 3.8 แสดงรูปแบบข้อมูลอนุกรมที่เกิดขึ้นในการติดต่อบนบัส I^2C ของการอ้างถึง
แบบ 7 บิต

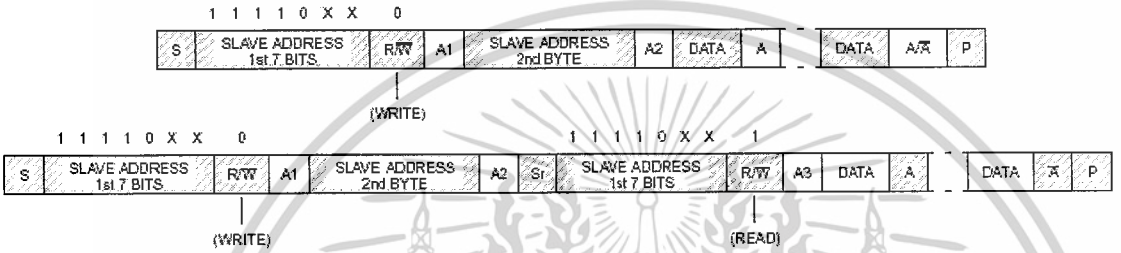
3.2.4.2การอ้างถึงแบบ 10 บิต

ในการอ้างถึงแบบนี้ยังคงใช้รูปแบบข้อมูลอนุกรมที่เหมือนกับแบบ 7 บิต หากแต่จะมีข้อมูลเพิ่มเติมขึ้นมาเล็กน้อย โดยในข้อมูลไบต์แรกหลังจากเกิดสภาวะเริ่มต้น ต้องกำหนดให้ 5 บิตบนมีข้อมูลเป็น 11110 ส่วนอีก2บิตถัดมาเป็นบิตแอดเดรสของอุปกรณ์ที่ต้องการติดต่อ ในบิต LSB ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลไบต์แรกเป็นการกำหนดว่า ต้องการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับอุปกรณ์สเลฟตัวที่ต้องการติดต่อด้วย ข้อมูลไบต์ต่อมาเป็นข้อมูลแอดเดรสในไบต์ที่ 2 ของอุปกรณ์ที่ต้องการติดต่อด้วย ข้อมูลไบต์ถัดไปจึงเป็นข้อมูลไบต์ควบคุม ข้อมูลหลังจากนั้นก็จะเป็นข้อมูลจริงที่ใช้ในการติดต่อ

เช่นเดียวกับการอ้างถึงแบบ 7 บิต หลังจากถ่ายทอดข้อมูลครบทุกไบต์ ต้องมีสภาวะรับรู้เกิดขึ้น เพื่อให้กระบวนการถ่ายทอดข้อมูลสามารถดำเนินต่อไปได้ ในรูปที่ 8-7 แสดงรูปแบบข้อมูลอนุกรมของการอ้างถึงแบบ 10 บิต



รูปที่ 3.9 รูปแบบข้อมูลอนุกรมที่ใช้ในการติดต่อกับอุปกรณ์บนระบบบัส I^2C แบบ10บิต

3.2.5วงจรแปลงสัญญาณพอร์ตอนุกรมเพื่อเชื่อมต่อกับระบบบัส I^2C

เพื่อให้สายสัญญาณของพอร์ตอนุกรมจากคอมพิวเตอร์สามารถติดต่อกับอุปกรณ์ที่มีการเชื่อมต่อแบบบัส I^2C ต้องมีวงจรเพื่อทำหน้าที่สร้างสัญญาณ SDA และ SCL ขึ้น จากสัญญาณของพอร์ตอนุกรม ดังมีวงจรตามรูปที่ 8—8 โดยในการเชื่อต่อคอมพิวเตอร์เข้าสู่ I^2C นี้ต้องกำหนดให้คอมพิวเตอร์เป็นอุปกรณ์มาสเตอร์เท่านั้น

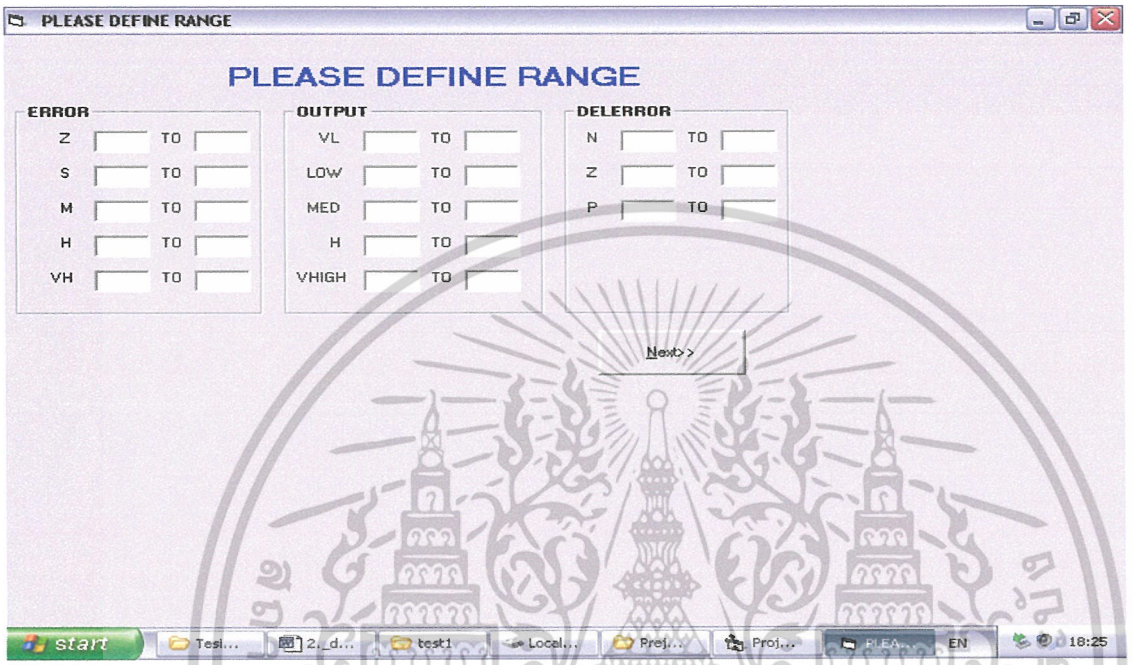
ทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q2ได้รับการจัดวงจรให้มีลักษณะเป็นวงจรบัฟเฟอร์แบบคอลเลคเตอร์เปิดตามข้อกำหนดของวงจรเอาท์พุตของบัส IC โดยQ1 ใช้สำหรับถ่ายทอดสัญญาณของสาย SDA ในขณะที่ Q2 ทำหน้าที่ถ่ายทอดสัญญาณของสาย SCL ไฟเลี้ยงของวงจรคือ +5V จึงสามารถใช้ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN เบอร์มาตรฐานเบอร์ใดก็ได้ที่สามารถตอบสนองความถี่ได้สูงถึง 100kHz ข้อมูลจากคอมพิวเตอร์จะถ่ายทอดสู่สาย SDA ของบัส I^2C ผ่านทางขา RTS และรับข้อมูลเข้าทางขา DCD ส่วนสายสัญญาณนาฬิกาที่ออกจากพอร์ตอนุกรมจะถูกส่งออกมาทางขา DTR เพื่อใช้เป็นสาย SCL สำหรับบัส I^2C

3.3 โปรแกรมตัวควบคุมฟัซซี

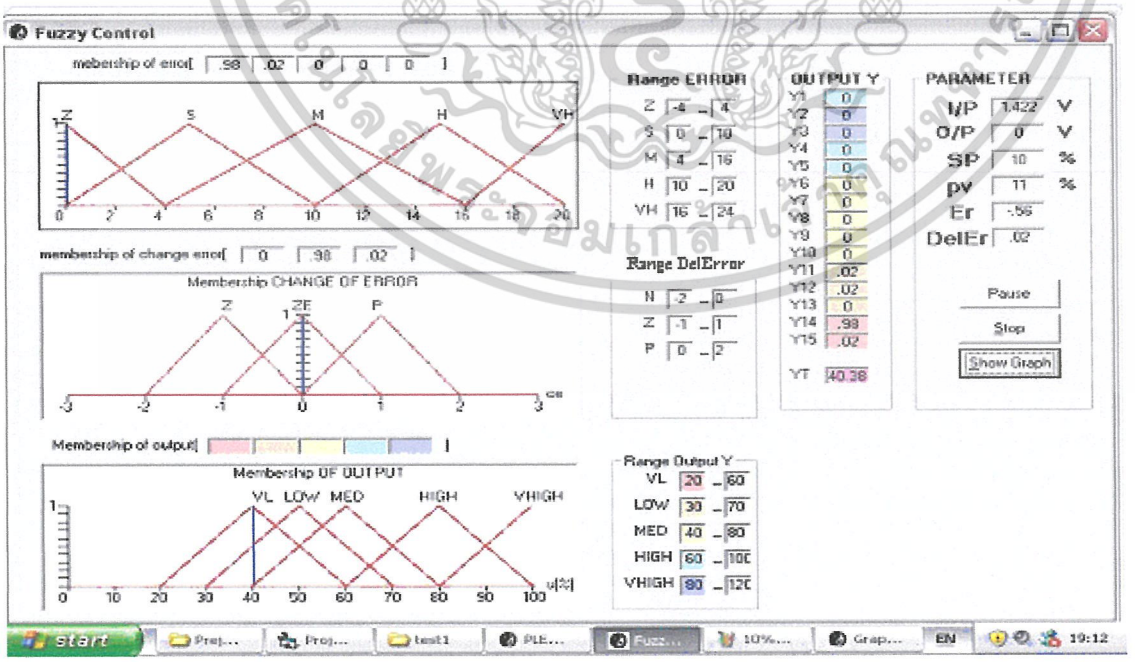
ในการทดลองนี้ได้ทำการออกแบบและสร้างตัวควบคุมโดยเลือกใช้โปรแกรมวิชวลเบสิกเวอร์ชัน 6.0 (Visual Basic 6.0) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้งานง่าย รวดเร็ว มีประสิทธิภาพสูง และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชื่อมต่อกับฮาร์ดแวร์ได้ดี ทำให้การแก้ไขโปรแกรม(Debug) สะดวกรวดเร็ว ซึ่งตัวโปรแกรมที่สร้างขึ้นมานั้น มีโครงสร้างดังนี้ ***ในโปรแกรมนี้ใช้ DelError, Change of Error แทน ΔError***



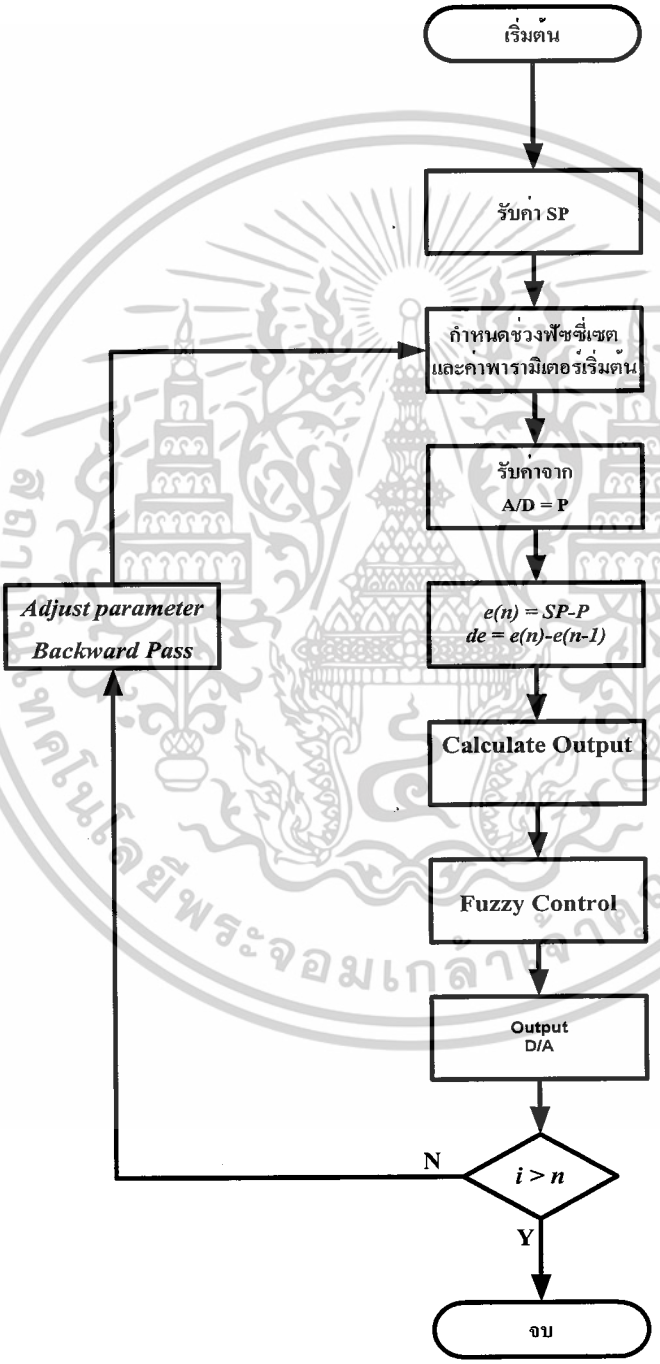
รูปที่ 3.10 แสดงการกำหนดช่วงของฟัซซีเซต



รูปที่ 3.11 แสดงช่วงฟัซซีต่างๆที่ถูกกำหนดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนผังขั้นตอนการทำงานของตัวควบคุมสามารถเขียนเป็น Flow Chart ได้ดังรูปที่ 3.11 โดยการทำงานจะเริ่มจากการกำหนดค่าเริ่มต้นต่างๆให้กับระบบควบคุม เช่น ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก กฎการควบคุม หลังจากนั้นทำการป้อนค่าเป้าหมายที่ต้องการควบคุม(Setpoint) ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดรวมทั้งควบคุมทางผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ได้



รูปที่ 3.12 แสดงผังขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

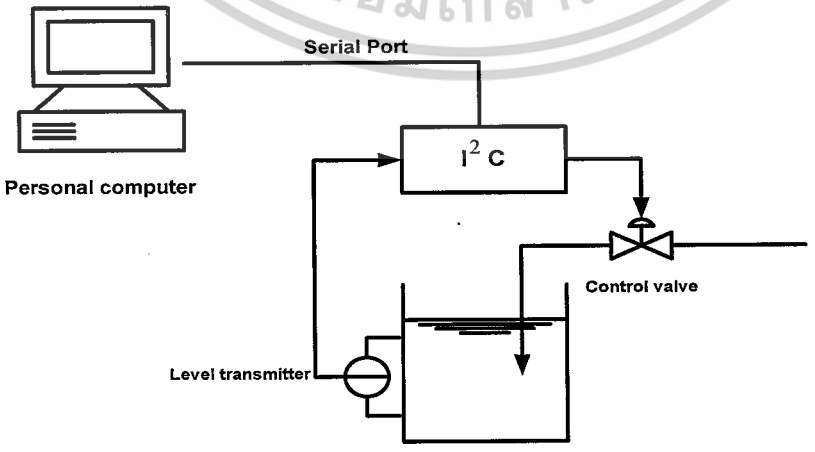
บทที่ 4
การทดลองและผลการทดลอง

4.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะเป็นการนำเครื่องคอมพิวเตอร์มาวิเคราะห์โดยใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซี เพื่อนำไปใช้กับกระบวนการควบคุมระดับน้ำ โดยให้ผลตอบสนองที่ค่าเป้าหมายต่างๆ ที่ใช้หลักการควบคุมแบบฟัซซี โดยเมื่อทำการทดลองโดยใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซีที่เงื่อนไขต่างๆเรียบร้อยแล้วจะทำการทดลองด้วยตัวควบคุมแบบ พีไอดี ที่เงื่อนไขเดียวกันเพื่อนำผลการทดลองทั้งสองมาเปรียบเทียบกัน

4.2 ผลการทดลองกับกระบวนการควบคุมระดับน้ำด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซี

การทดลองนี้ได้ใช้ชุดทดลองกระบวนการควบคุมระดับน้ำ(Project Plant)ของภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม ซึ่งการทำงานของกระบวนการเริ่มจากปั๊มจะทำหน้าที่สูบน้ำจากในถังเก็บน้ำ (Vessel) ขึ้นไปตามท่อตลอดระยะเวลาในการทดลองซึ่งน้ำที่ถูกสูบจะถูกส่งไปยังกระบวนการ (Level Tank) ผ่านตัววาล์วควบคุมโดยเริ่มแรกวาล์วควบคุมจะปิดสนิทจนกว่าจะได้รับสัญญาณระดับจากเครื่องคอมพิวเตอร์ หรือคำสั่ง Setpoint ทำให้สัญญาณจาก level sensor ส่งเข้ามาในเครื่องคอมพิวเตอร์1-5 Vdc. จากนั้นระบบแปลงสัญญาณจาก Analog เป็น Digital โดยใช้ I2C bus เครื่องคอมพิวเตอร์จะทำการประมวลผลและจ่ายเอาต์พุตออกมาเป็นสัญญาณ 0-5 Vdc.จากนั้นจะผ่านตัวแปลงสัญญาณจากแรงดันเป็นกระแสไฟฟ้า(Voltage to Current:V to I)ซึ่งมีขนาด 4-20 mA. และจะถูกแปลงจากปริมาณกระแสไฟฟ้าเป็นความดันลมที่ 3-15 psi. เพื่อสั่งการทำงานของ วาล์วชนิดไดอะแฟรม การทำงานของกระบวนการนี้จะทำเป็นวงรอบนี้ตลอด



รูปที่ 4.1 โครงสร้างการทดลองของกระบวนการควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

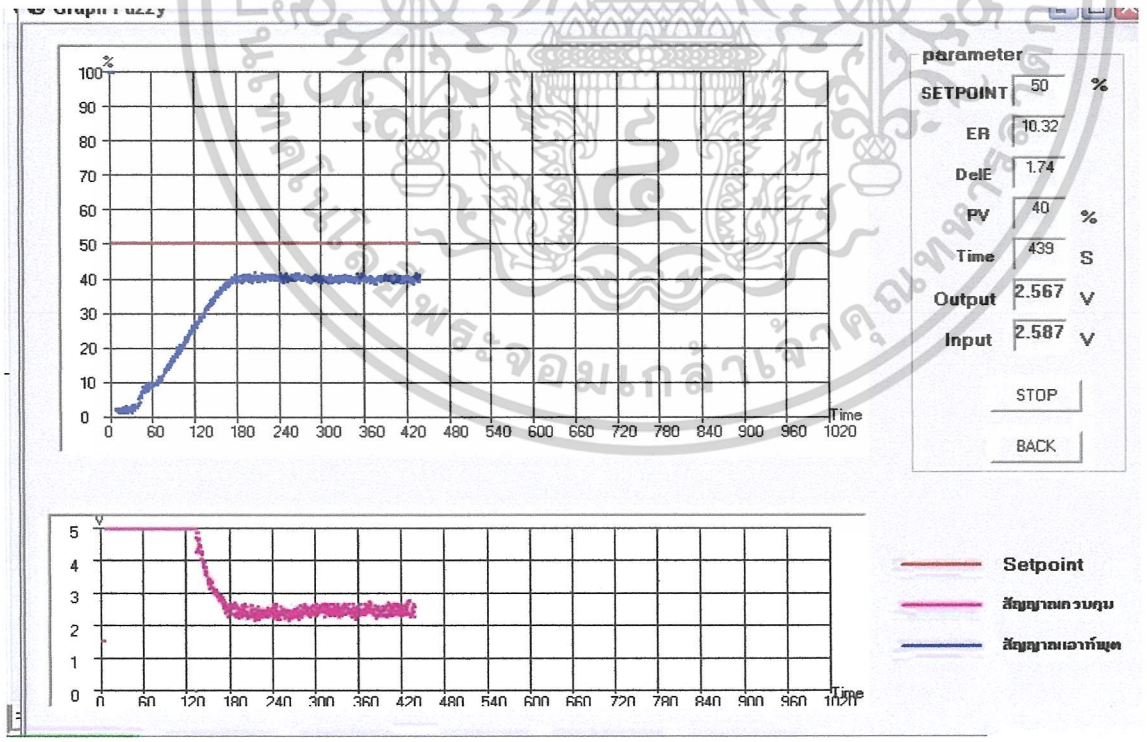
4.2.1 ลำดับขั้นตอนการทดลองการควบคุมระดับน้ำด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซี

การทดลองของการควบคุมกระบวนการด้วนตัวควบคุมฟัซซีเป็นการสังเกตุผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับในแต่ละเป้าหมายต่างๆ รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงจากระดับหนึ่งสู่อีกระดับหนึ่ง และการเข้าสู่สภาวะคงที่ (steady state) ว่าทำได้ดีมากน้อยเพียงใด ยอมรับได้หรือไม่ซึ่งมีลำดับขั้นตอนดังนี้

1. ทดสอบตัวควบคุมฟัซซีโดยไม่มีการปรับแต่งกฎโดยการตั้ง setpoint ไว้ที่ 50%
2. ทำการปรับแต่งกฎครั้งแรก
3. ทำการปรับแต่งกฎจนได้ช่วงการควบคุมที่หมาะสม
4. ทำการเปรียบเทียบผลการทดลองด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซีกับตัวควบคุมพีไอดี

ผลการทดลอง : ใส่ค่า Set point เพียงอย่างเดียว

ผลการทดลองที่ได้นั้นเกิดค่า offset สูงเนื่องจากไม่มีการปรับแต่งกฎแต่อย่างใดดังนั้นค่าเอาต์พุตที่ได้จึงเหมือนกับว่าตัวควบคุมเป็นค่า gain ค่าหนึ่ง จึงจะต้องมีการปรับแต่งกฎเพื่อให้รักษาระดับน้ำให้คงที่ จากรูปที่ 4.2 เป็นการแสดงผลของตัวควบคุม ที่ setpoint 50%

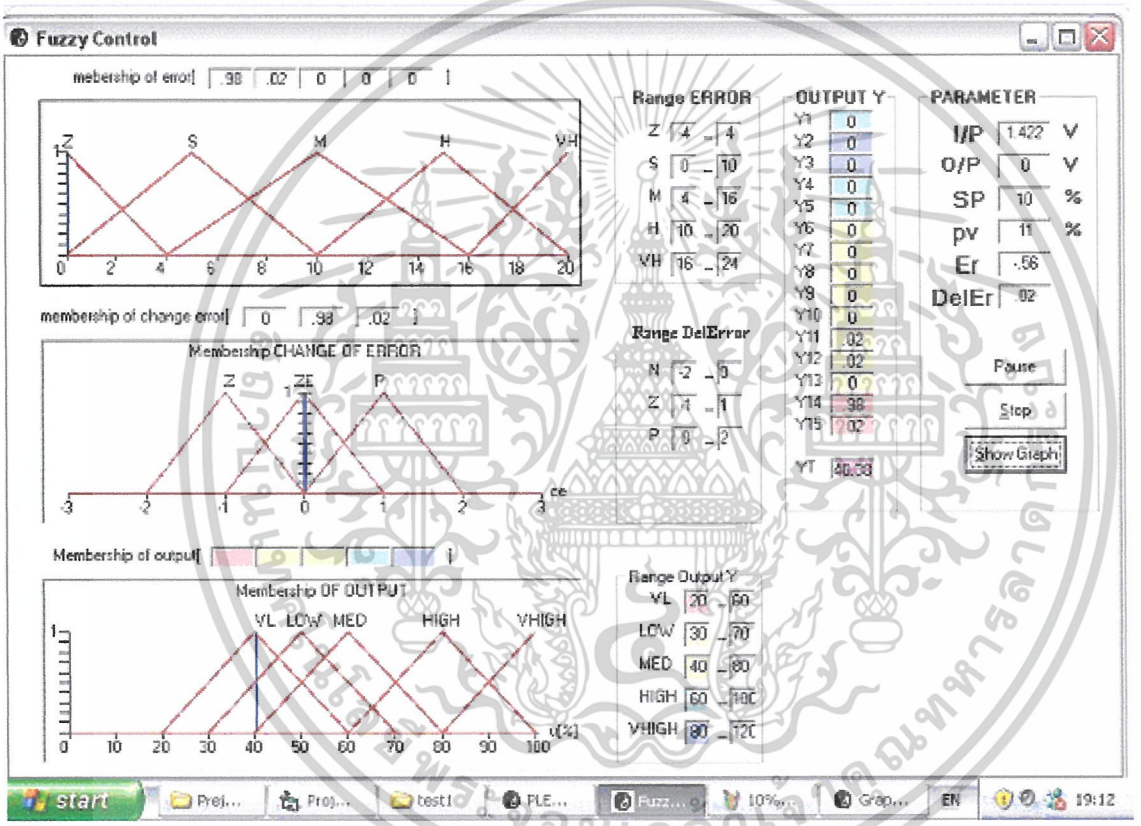


รูปที่ 4.2 ผลการทดลองโดยไม่มีการปรับแต่งกฎ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง : การปรับแต่งกฎครั้งแรก

จากผลที่ได้ในการทดลองแรกนั้นเกิดจากการใส่ค่า Set point ที่ 10 - 90 % ในตัวควบคุมแต่การทดลองนี้เป็นการทดลองใส่ค่ากฎโดยไม่มีแนวทางหรือเรียกว่าวิธีลองผิดลองถูก ซึ่งให้ผลเป็นที่น่าพอใจแต่พบว่าสัญญาณที่ไปควบคุมวาล์ว (สัญญาณเอาต์พุต) มีการเปลี่ยนแปลงที่รุนแรงสม่ำเสมอในช่วงที่รักษาระดับน้ำคงที่แล้ว แต่ข้อดีของกฎนี้คือรักษาระดับน้ำได้หลายระดับโดยที่ไม่เกิด offset เลยตั้งแต่ช่วง 10-100% ซึ่งแสดงกฎและช่วงที่ปรับไว้ดังนี้

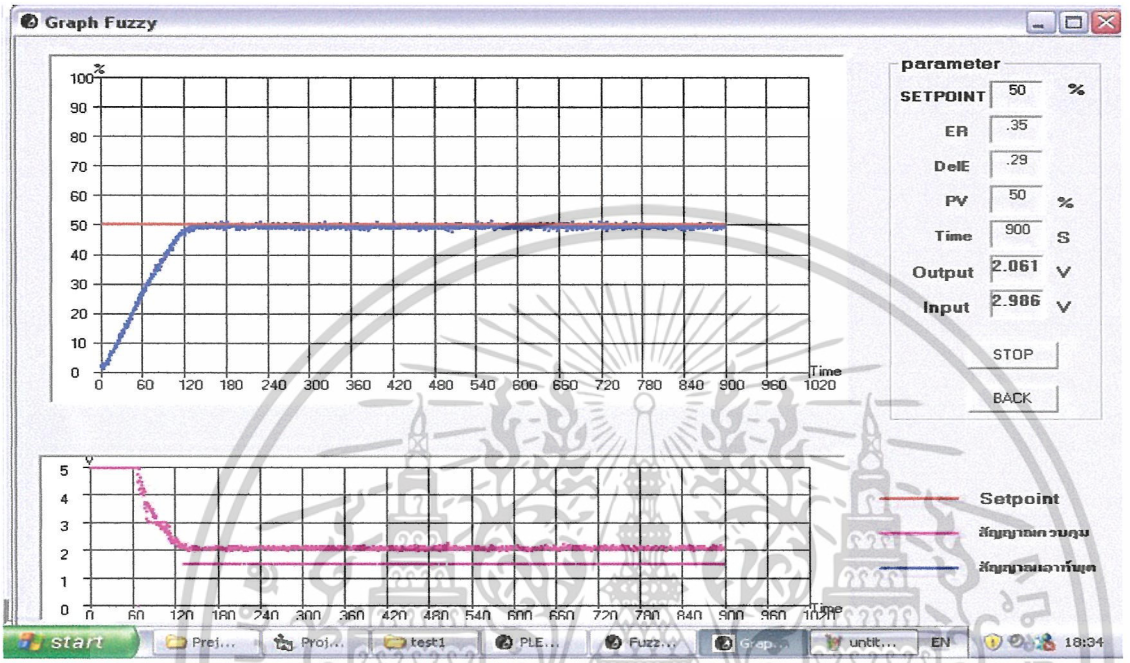


dE \ E	Ze	Sm	Me	H	VH
N	low	medium	medium	hight	hight
Ze	low	low	medium	hight	very hight
P	very low	low	medium	medium	very hight

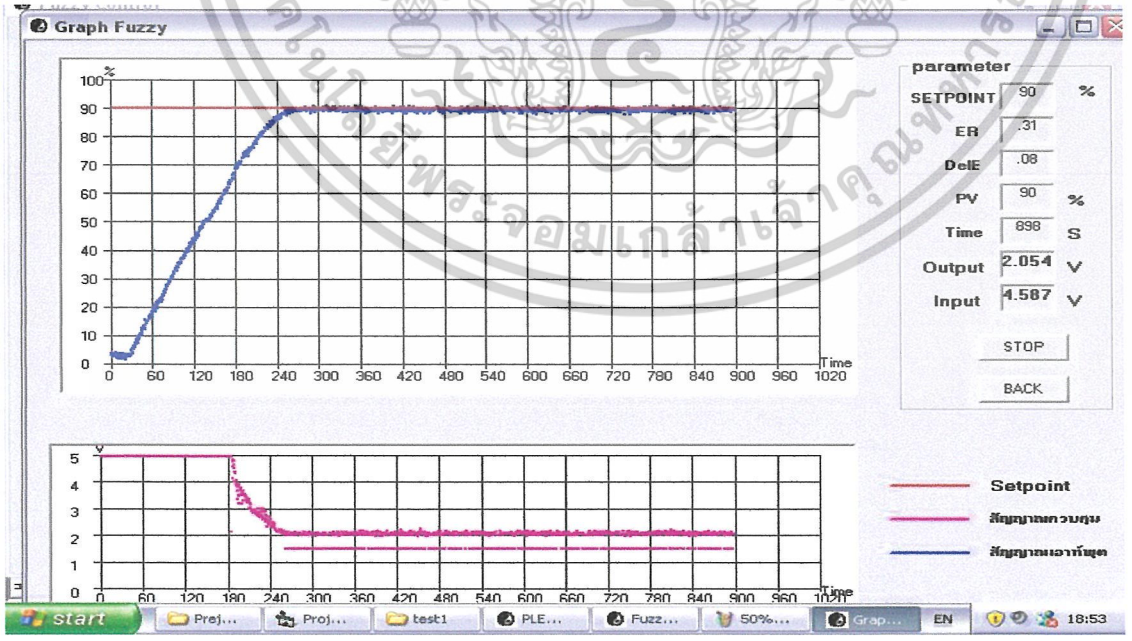
รูปที่ 4.3 แสดงกฎและช่วงของการปรับแต่งครั้งแรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองที่ได้ออกมานั้นสามารถแสดงให้เห็นว่าตัวควบคุมฟัซซีที่ออกแบบมาใช้ควบคุมกับกระบวนการที่ใช้ทดลองนี้ สามารถควบคุมได้เกือบทุกช่วงระดับกระบวนการ 10-90%

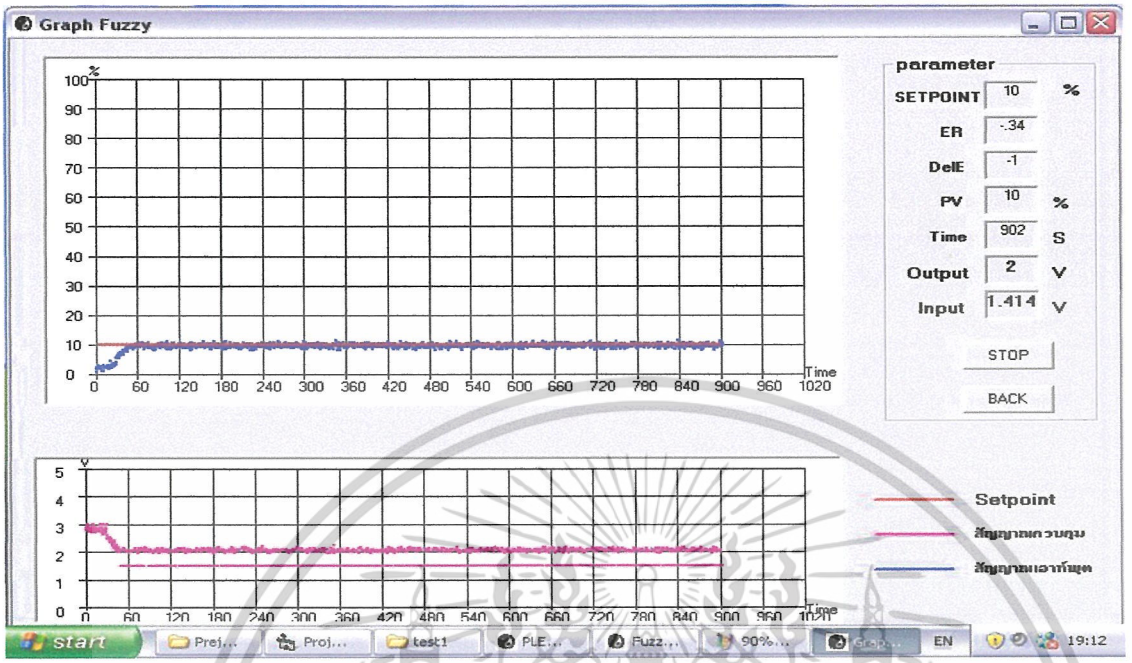


รูปที่ 4.4 การควบคุมระดับที่เป้าหมาย 50%

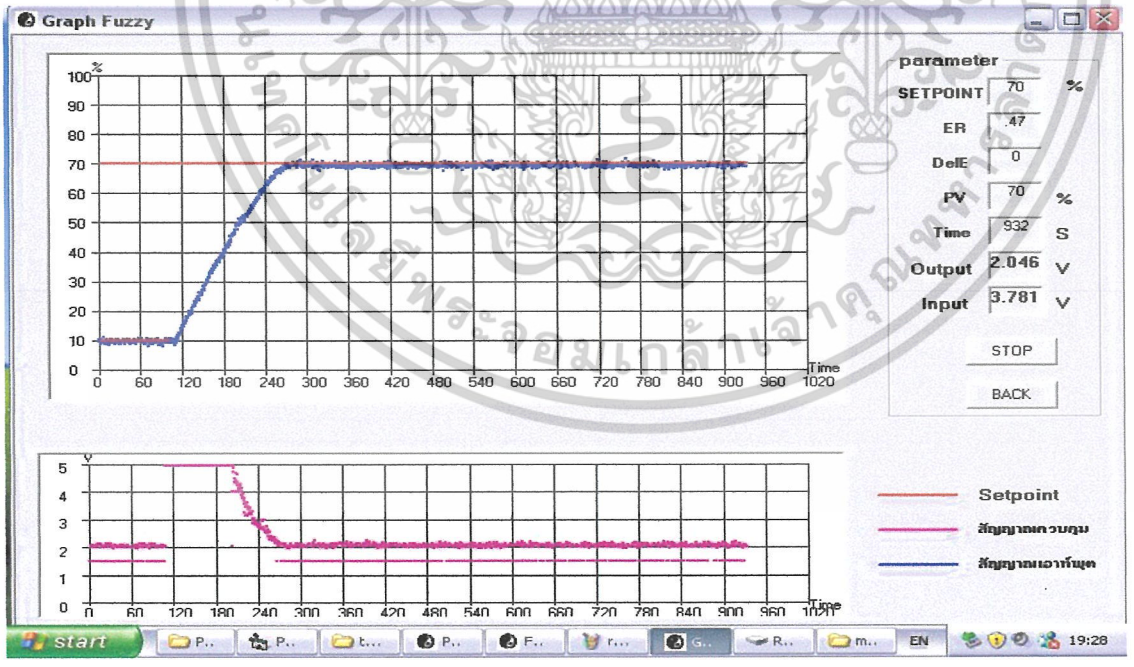


รูปที่ 4.5 การควบคุมระดับที่เป้าหมาย 90%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

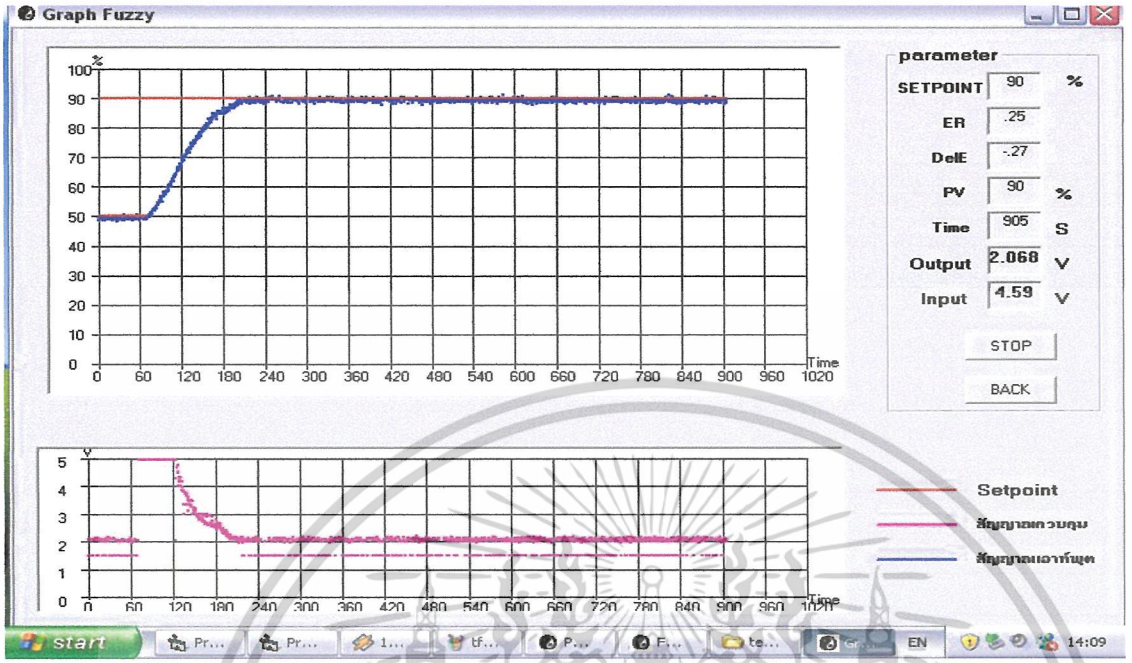


รูปที่ 4.6 การควบคุมระดับที่เป้าหมาย 10%

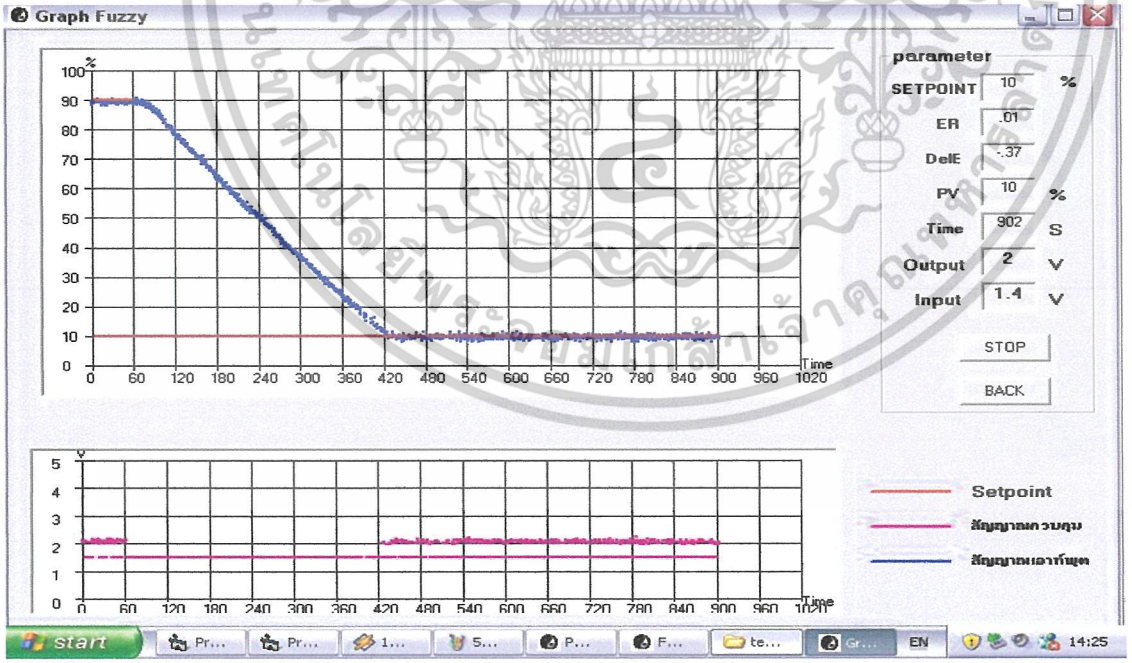


รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงเป้าหมายจาก 10%-70%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงเป้าหมายจาก 50%-90%

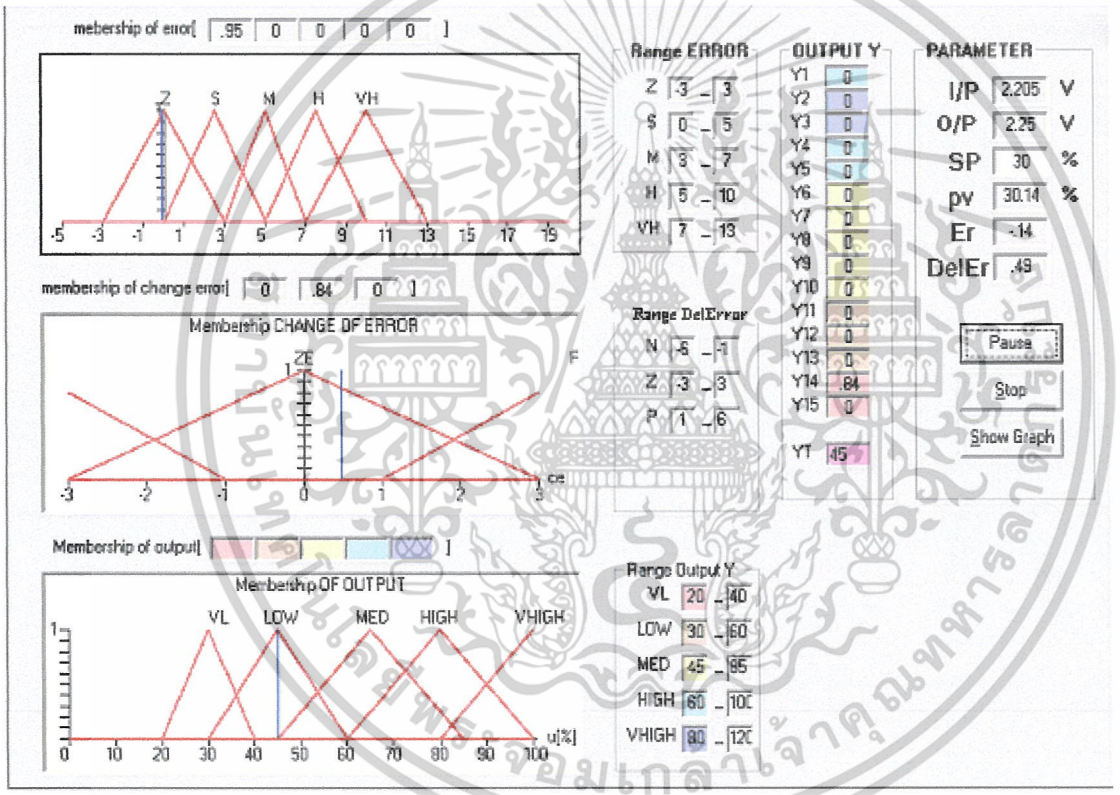


รูปที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงเป้าหมายจาก 90%-10%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง : การปรับแต่งกฎและช่วงที่เหมาะสมที่สุด

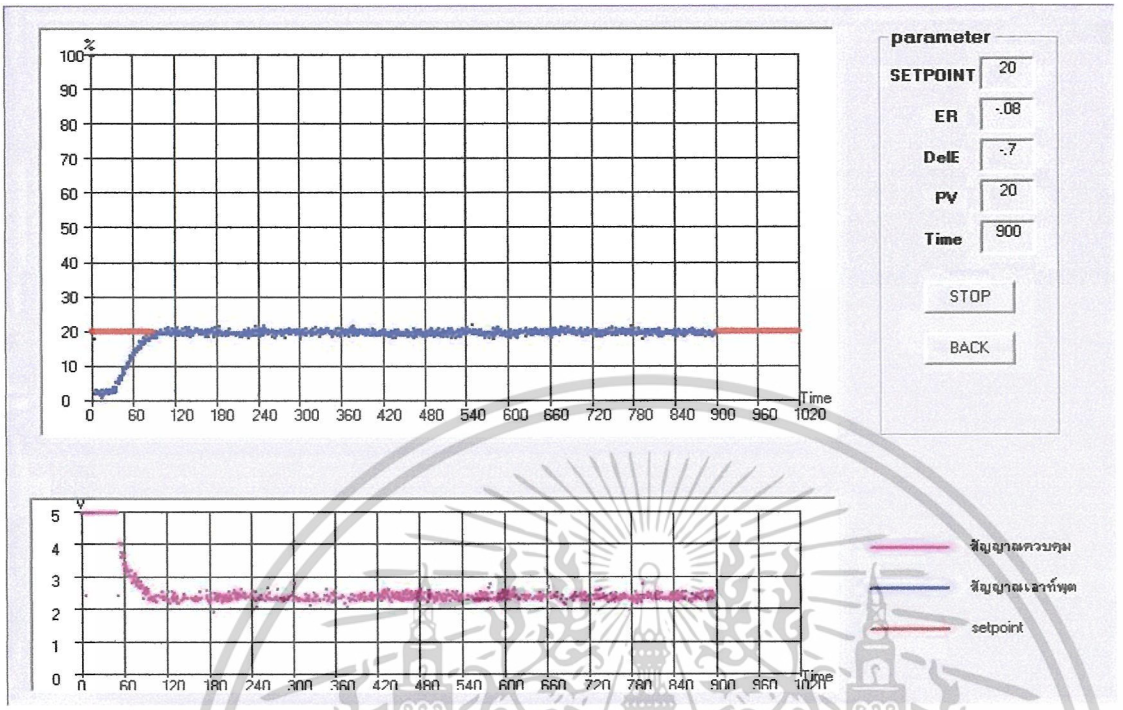
จากผลการทดลองที่ผ่านมาพบว่ากฎและช่วงที่ปรับแต่งไปนั้นมีความไม่ปลอดภัยต่อวาล์ว ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงแบบทันทีทันใดตลอดแม้ว่าจะรักษาระดับน้ำ จึงได้ทำการทดลองหลายครั้งจนได้ช่วงและกฎที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ระบบสามารถรักษาระดับน้ำได้คงที่และไม่มีอันตรายต่อวาล์วควบคุม แต่มีข้อสังเกตคือ ช่วงของการควบคุมจะลดลง ไม่ถึง 10-90% การทดลองครั้งนี้ใช้กฎเดิมต่อจากการทดลองที่ผ่านมา แต่ปรับปรุงช่วงสมาชิกใหม่ แสดงได้ดังนี้



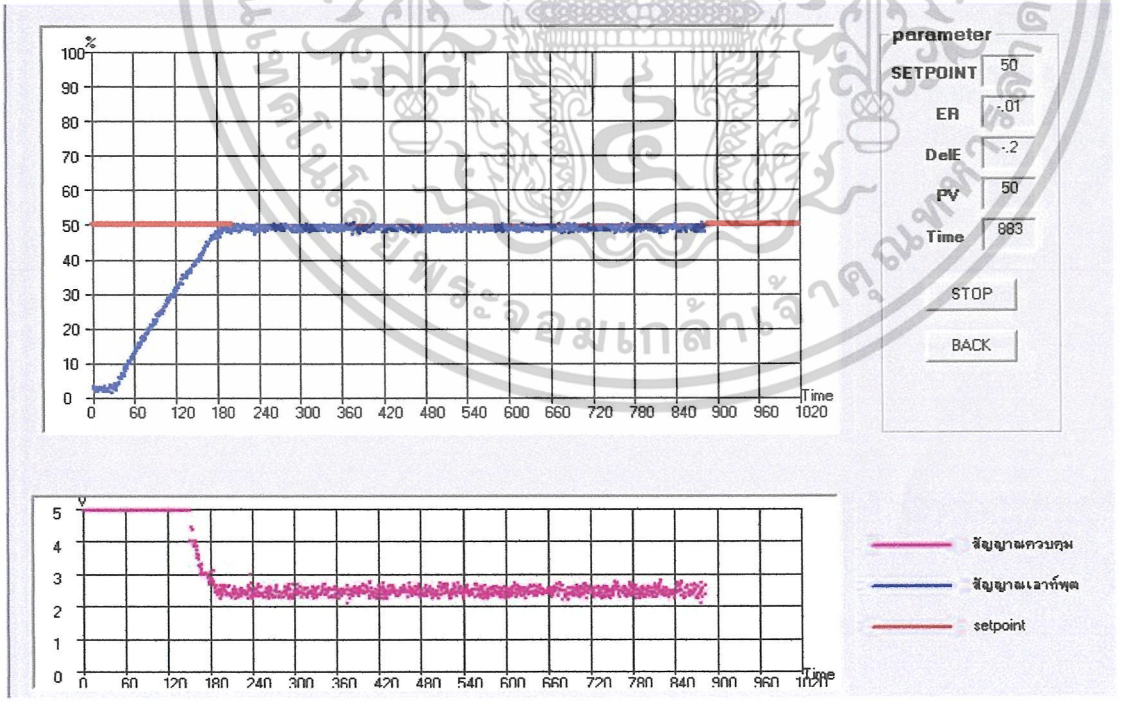
รูปที่ 4.10 แสดงการปรับช่วงสมาชิกใหม่

ผลการทดลองที่ได้จากการปรับแต่งช่วงสมาชิกครั้งนี้ให้ผลตอบสนองที่ดีและเหมาะสมกับระบบนี้มาก โดยได้ทำการทดลองที่ช่วงต่างๆ ตั้งแต่ 20-90% รวมถึงการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำจากระดับหนึ่งไปสู่อีกระดับหนึ่ง ซึ่งผลการทดลองแสดงได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

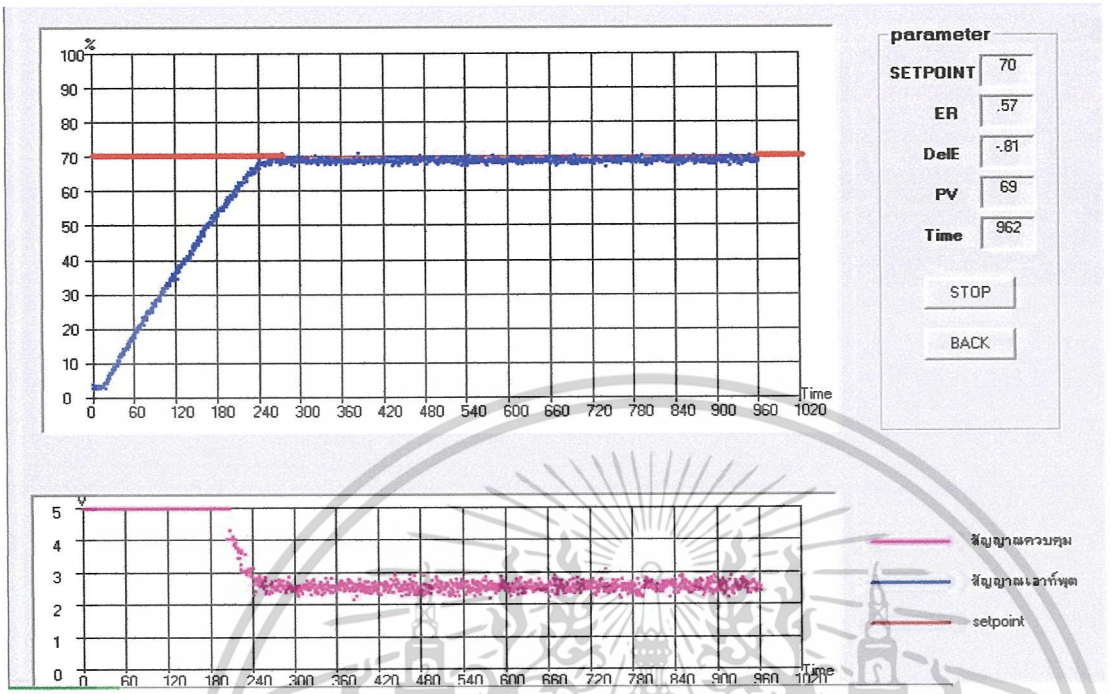


รูปที่ 4.11 แสดงการควบคุมระดับน้ำที่เป้าหมาย 20%

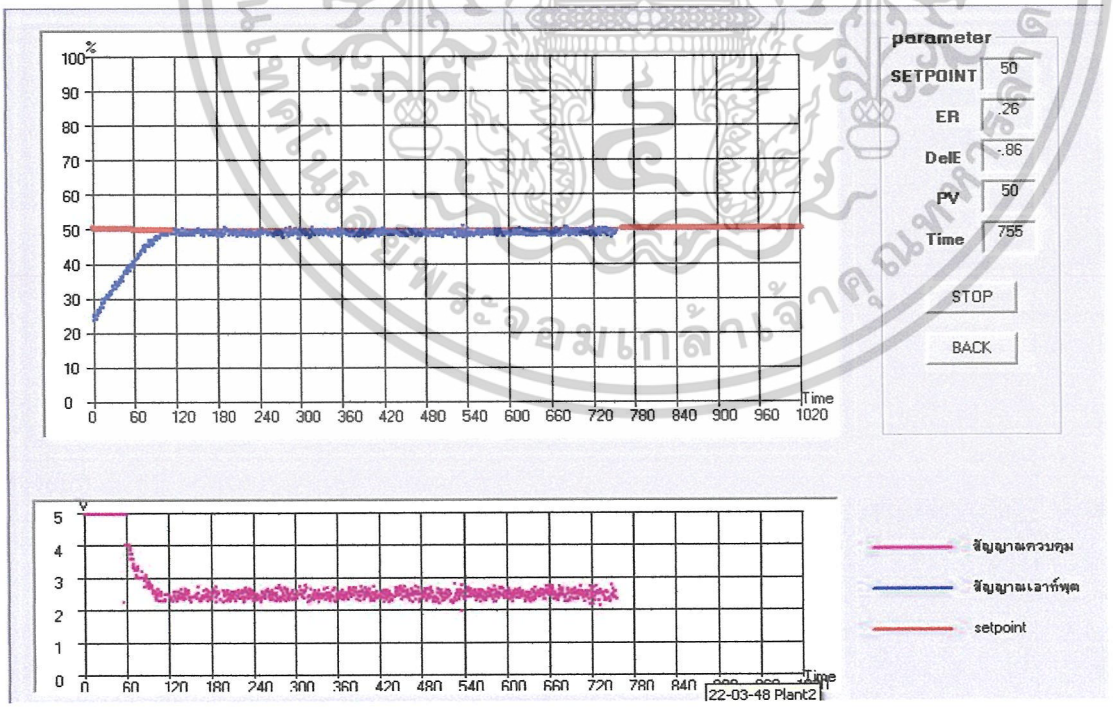


รูปที่ 4.12 แสดงการควบคุมระดับน้ำที่เป้าหมาย 50%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

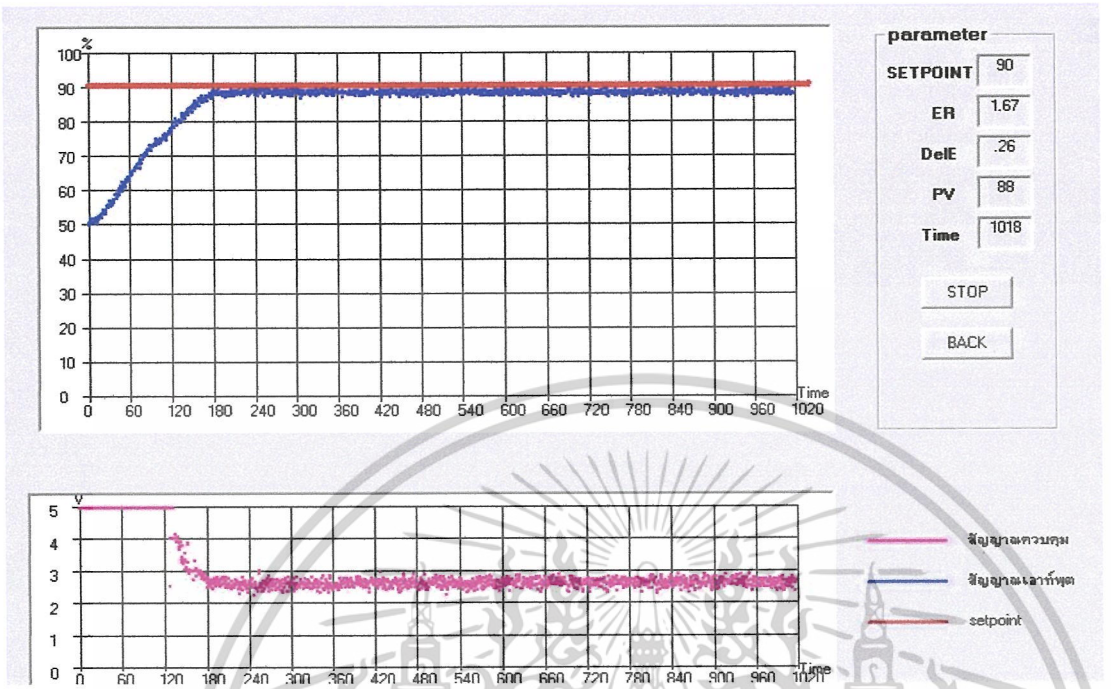


รูปที่ 4.13 แสดงการควบคุมระดับน้ำที่เป้าหมาย 70%



รูปที่ 4.14 แสดงการเปลี่ยนแปลงเป้าหมายจาก 20 – 50%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

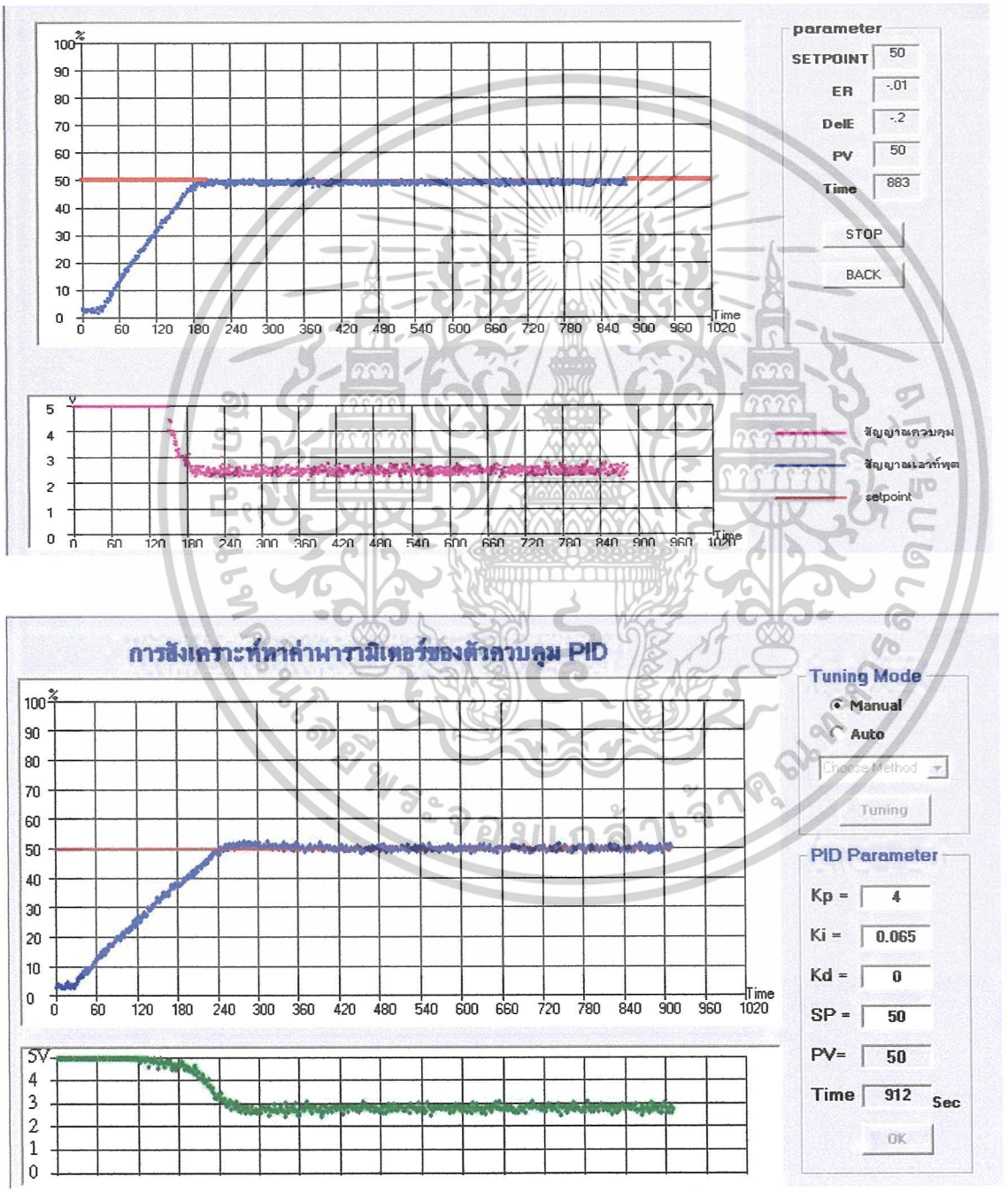


รูปที่ 4.15 แสดงการเปลี่ยนแปลงเป้าหมายจาก 50 – 90%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

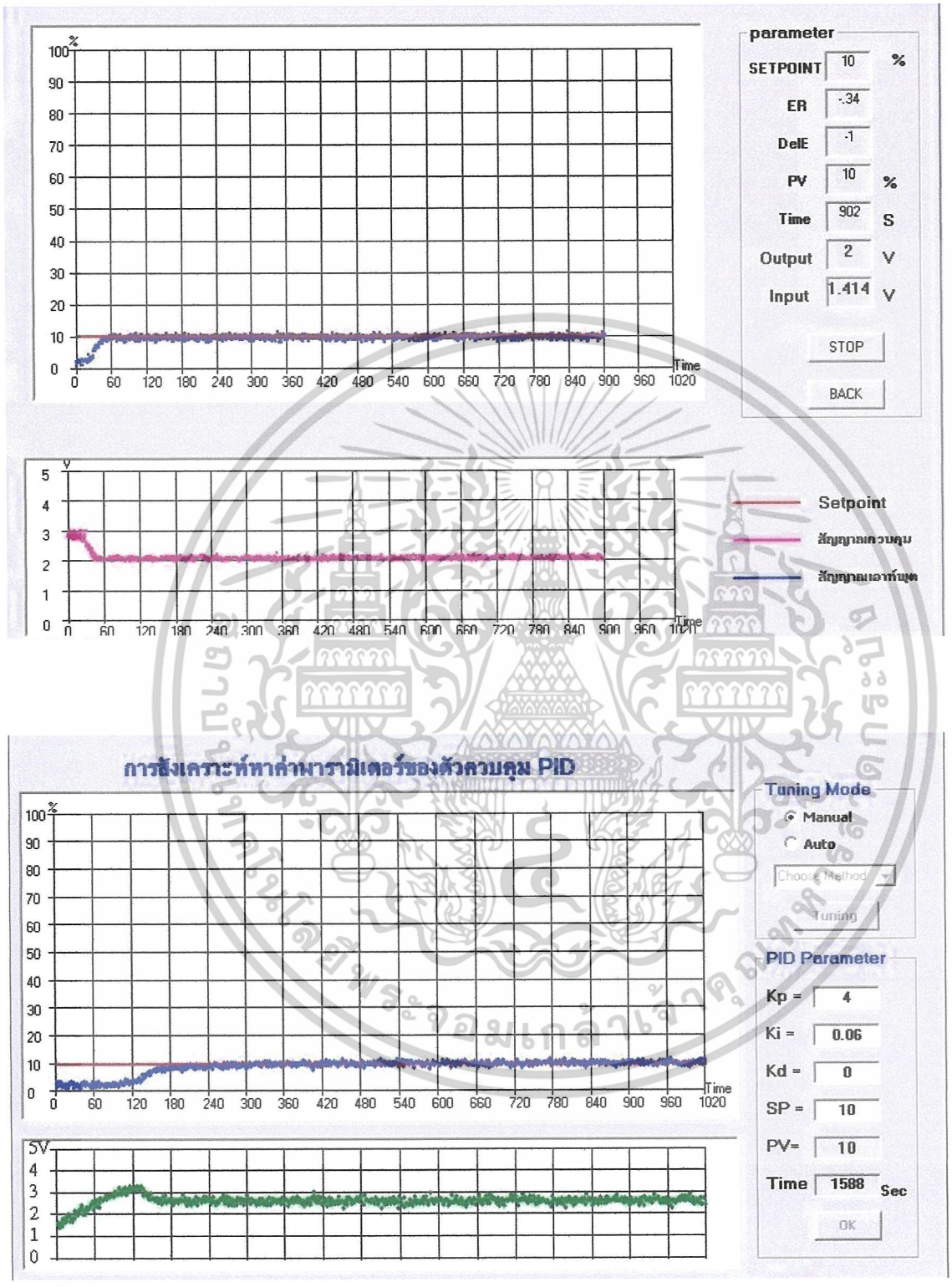
ผลการทดลอง : การเปรียบเทียบผลการทดลองด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซีกับตัวควบคุมพีไอดี

ผู้ทดลองได้ทำการทดลองโดยใช้ตัวควบคุมพีไอดีซึ่งได้ผลการทดลองออกมาแล้วนำมาเปรียบเทียบกันกับผลการทดลองโดยใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซีโดยนำเสนอที่การควบคุมระดับน้ำที่ 50% ซึ่งเป็นจุดที่ควบคุมได้ดีที่สุดของตัวควบคุมแบบฟัซซีได้ผลการทดลองดังนี้



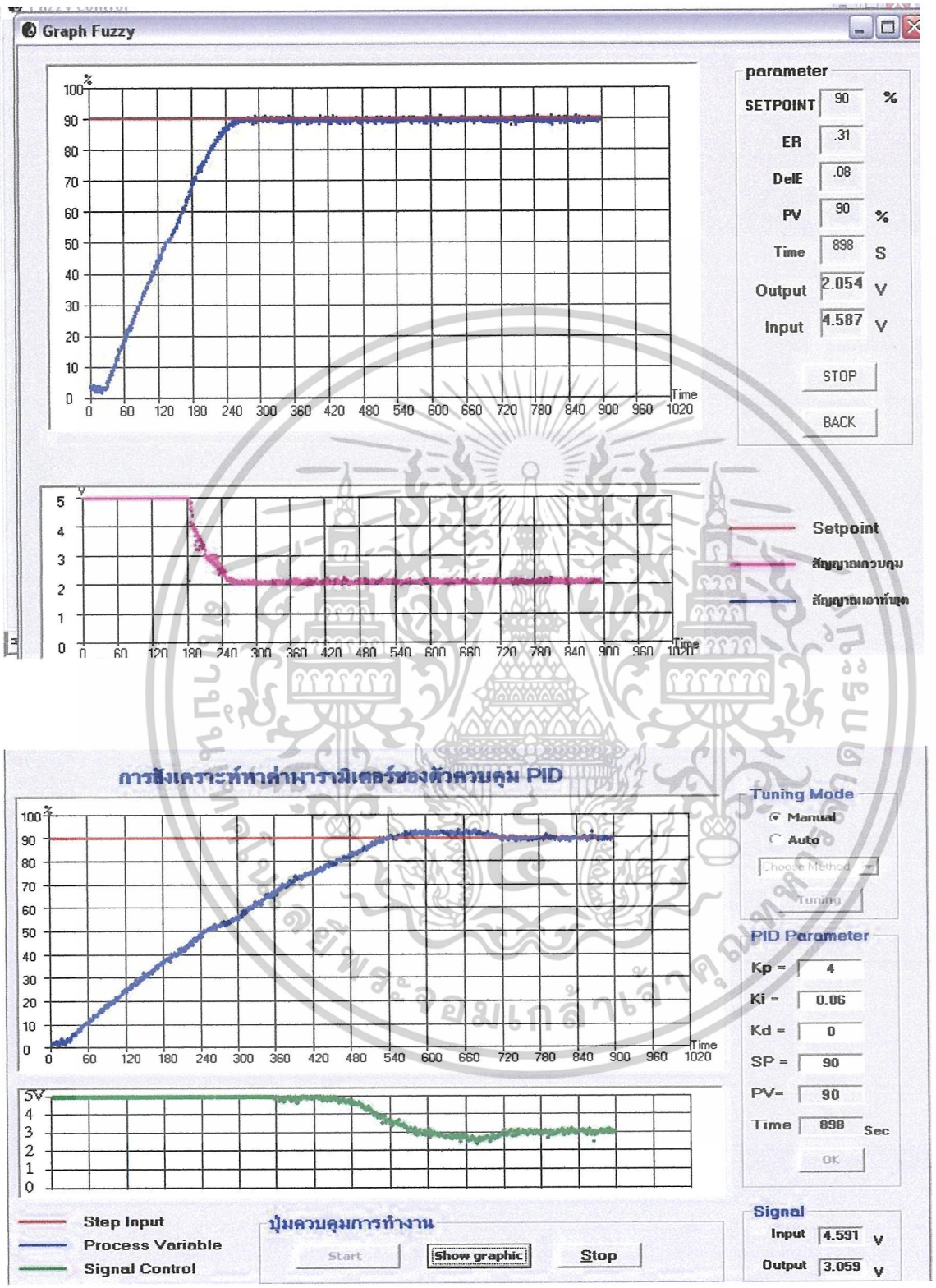
รูปที่ 4.16 การเปรียบเทียบระหว่างตัวควบคุมฟัซซี(บน) และพีไอดี(ล่าง) ที่ระดับน้ำ50%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 การเปรียบเทียบระหว่างตัวควบคุมฟัซซี(บน) และพีไอดี(ล่าง) ที่ระดับน้ำ10%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 การเปรียบเทียบระหว่างตัวควบคุมฟัซซี(บน) และพีไอดี(ล่าง) ที่ระดับน้ำ90%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทวิจารณ์และสรุป

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาโครงสร้างของระบบควบคุมระดับน้ำและการติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์ โดยใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซี

ในการควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซีแรกเริ่มนั้นเราจำเป็นที่จะต้องสร้างกฎขึ้นมาก่อนแล้วทดลองเพื่อดูผลตอบสนอง หลังจากนั้นจึงเริ่มทำการปรับแต่งกฎโดยในการปรับแต่งกฎนั้นก็จะขึ้นอยู่กับประสบการณ์ความรู้ความสามารถของผู้ปรับแต่ง ในส่วนของการทดลองเมื่อใช้กฎที่คิดว่าพอเหมาะแล้วใช้ในการควบคุมแล้วทดลองเปลี่ยนค่าเป้าหมายจากเดิมที่ตั้งไว้50% เปลี่ยนเป็นค่าน้อยๆ 20% จะพบว่าสามารถรักษาระดับที่ค่าเป้าหมายได้โดยที่วาล์วก็ไม่มีการเปิด-เปิดอย่างรุนแรง จากนั้นเมื่อทำการเปลี่ยนค่าเป้าหมายใหม่โดยใช้ค่าที่ค่อนข้างมาก 90% จะพบว่ายังสามารถรักษาระดับที่ค่าเป้าหมายได้โดยที่วาล์วก็ยังคงไม่มีการเปิด-ปิดอย่างรุนแรง ดังนั้นกฎที่ออกแบบมานี้สามารถรักษาระดับได้ตั้งแต่ 10%-90%

เมื่อทำการเปรียบเทียบกับการควบคุมแบบพีไอหรือพีไอดีแล้วถ้าจะเทียบกันว่าตัวควบคุมแบบไหนดีกว่าคงจะเทียบกันไม่ได้ แต่ถ้าเทียบกันในเรื่องของการดำเนินงานนั้น จะพบว่าตัวควบคุมแบบฟัซซีส่วนที่สำคัญคือการแต่งกฎ ในขณะที่ตัวควบคุมแบบพีไอหรือพีไอดี ส่วนสำคัญคือการปรับแต่งค่าพีค่าไอหรือค่าดี ส่วนแนวทางเพื่อที่จะหาค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ในส่วนของตัวควบคุมแบบพีไอหรือพีไอดี ก็มีผู้คิดค้นไว้คือ วิธีของดาห์ลิน หรือวิธีของซิกเลอร์-นิกโคล์ เมื่อใช้วิธีเหล่านี้ก็จะทำให้การปรับแต่งง่ายขึ้น ในส่วนของตัวควบคุมแบบฟัซซีก็มีแนวทางในการออกแบบกฎอยู่เช่นกัน ในปริญญานิพนธ์ได้ใช้แนวทางของฮิวริสติก ซึ่งเป็นแนวทางที่ผู้ที่มีประสบการณ์ความรู้ความสามารถนิยามไว้

5.2ปัญหาและอุปสรรค

1. มีสัญญาณรบกวนเข้ามาในระบบค่อยข้างสูง เนื่องมาจากตัวตรวจวัดระดับที่ใช้เป็นชนิดคา-ปาซิทีฟซึ่งค่อนข้างไวต่อการรบกวน
2. วาล์วที่ใช้มีการทำงานที่ไม่ดีที่ระดับต่ำคือวาล์วทำงานที่ความดันลมประมาณ 0.4bar
3. ผู้ออกแบบยังขาดประสบการณ์ทางด้านการปรับแต่งกฎ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากกระบวนการที่ใช้ทดลองเป็นกระบวนการแบบควบคุมระดับ loop เดียว ดังนั้นควรจะมีการเพิ่ม Feedforward หรือ มีการเพิ่ม loop ให้มีหลายวงรอบ เข้ามาเพื่อช่วยให้การควบคุมมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ส่วนโปรแกรมตัวควบคุมฟัซซี

```
Public toggle  As Boolean
Private Sub ShowGraph_Click()
Form2.Show
End Sub
Private Sub Start_Click()
setpoint = Val(SP.Text)
        If toggle = True Then
            Timer1.Enabled = False
            toggle = False
            Start.Caption = "Continue"
            setpoint = Val(SP.Text)
            Debug.Print setpoint
            Call DrawGraph
            Call DrawGraph1
            Call DrawGraph2
      Else
          Timer1.Enabled = True
          toggle = True
          Start.Caption = "Pause"
          setpoint = Val(SP.Text)
    End If
End Sub
Private Sub Form_Load()
Timer1.Enabled = False
MSComm1.CommPort = 1
MSComm1.PortOpen = True
Start.Enabled = False
Call DrawGraph
Call DrawGraph1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

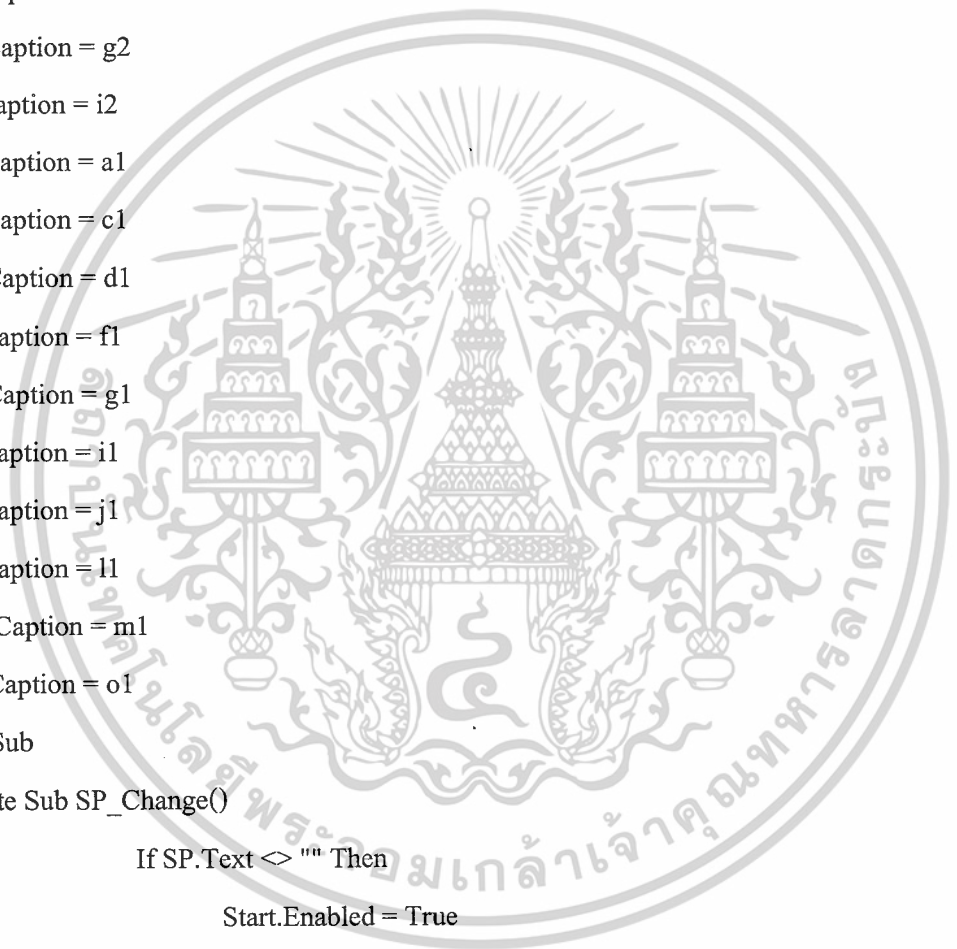
```
Call DrawGraph2
Er0 = 0
'Ch0 = 0
                    Call I2CStart
                    Call Send8BIT(&H90)
                    Call Ack
                    Call Send8BIT(&H44)
                    Call Ack
                    Call Send8BIT(0)          ' send  output 0
                    Call Ack
                    Call I2CStop
Line1.X1 = 0
Line1.Y1 = 0
Line1.X2 = 0
Line1.Y2 = 1
Line2.X1 = 0
Line2.Y1 = 0
Line2.X2 = 0
Line2.Y2 = 1
Line3.X1 = 0
Line3.Y1 = 0
Line3.X2 = 0
Line3.Y2 = 1
a00.Caption = a0
c00.Caption = c0
d00.Caption = d0
f00.Caption = f0
g00.Caption = g0
i00.Caption = i0
j00.Caption = j0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
l00.Caption = l0
m00.Caption = m0
o00.Caption = o0
a02.Caption = a2
c02.Caption = c2
d02.Caption = d2
f02.Caption = f2
g02.Caption = g2
i02.Caption = i2
a01.Caption = a1
c01.Caption = c1
d01.Caption = d1
f01.Caption = f1
g01.Caption = g1
i01.Caption = i1
j01.Caption = j1
l01.Caption = l1
m01.Caption = m1
o01.Caption = o1
End Sub
Private Sub SP_Change()
        If SP.Text <> "" Then
            Start.Enabled = True

        Else
            Start.Enabled = False
        End If
End Sub

Private Sub Stop_Click()
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Timer1.Enabled = False
End Sub

Private Sub Timer1_Timer()
Load Form2
Dim i As Integer
Ch0 = 0
For i = 1 To 100 Step 1
                    Call I2CStart
                    Call Send8BIT(&H90)
                    Call Ack
                    Call Send8BIT(&H40)
                    Call Ack
                    Call I2CStop
                    Call I2CStart
                    Call Send8BIT(&H91)
                    Call Ack
                    Ch1 = Read8Bit
IP
                    Call Ack
                    Call I2CStop
                Ch = (Ch1 + Ch)
                Ch0 = Ch1
  Next i
  IP = Round(Ch / 100, 3)
  'Debug.Print IP
PV = Round(((IP * (5 / 255)) - 1) * 25, 2)
ShowPV.Caption = Round(PV, 0)
ShowIP.Caption = Round((IP * 5) / 255, 3)
Er = Round(setpoint - PV, 3)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
If Er < 0 And Er > -0.5 Then
                    'Er = 0
                    'Out8BIT (0)
                   Call I2CStart
                   Call Send8BIT(&H90)
                   Call Ack
                   Call Send8BIT(&H44)
                   Call Ack
                   Call Send8BIT(76)
                   Call Ack
                   Call I2CStop
                     ShowEr.Caption = Er
                     ShowOP.Caption = 0
ElseIf Er < -0.5 Then
                      Call I2CStart
                   Call Send8BIT(&H90)
                   Call Ack
                   Call Send8BIT(&H44)
                   Call Ack
                   Call Send8BIT(0)
                   Call Ack
                   Call I2CStop
                     ShowEr.Caption = Er
                     ShowOP.Caption = 0

 ElseIf Er > 20 Then
                    'Out8BIT (255)
                    Call I2CStart
                    Call Send8BIT(&H90)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    Call Ack
                    Call Send8BIT(&H44)
                    Call Ack
                    Call Send8BIT(255)
                    Call Ack
                    Call I2CStop
                    ShowOP.Caption = 5
                    ShowEr.Caption = Er
Else
ShowEr.Caption = Er
DelEr = Round(Er - Er0, 3)
'Debug.Print DelEr
Er0 = Er
ShowDelEr.Caption = DelEr
'''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
    If Er >= a0 And Er <= b0 Then
        Z = (Er - a0) / (b0 - a0)
        ShowZ.Caption = Round(Z, 2)
    ElseIf Er > b0 And Er <= c0 Then
        Z = (c0 - Er) / (c0 - b0)
        ShowZ.Caption = Round(Z, 2)
    Else
        Z = 0
        ShowZ.Caption = Round(Z, 2)
    End If
'''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
    If Er >= d0 And Er <= e0 Then
        S = (Er - d0) / (e0 - d0)
        ShowS.Caption = Round(S, 2)
    ElseIf Er > e0 And Er <= f0 Then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        S = (f0 - Er) / (f0 - e0)
        ShowS.Caption = Round(S, 2)
    Else
        S = 0
        ShowS.Caption = Round(S, 2)
    End If
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
    If Er >= g0 And Er <= h0 Then
        M = (Er - g0) / (h0 - g0)
        ShowM.Caption = Round(M, 2)
    ElseIf Er >= h0 And Er <= i0 Then
        M = (i0 - Er) / (i0 - h0)
        ShowM.Caption = Round(M, 2)
        Else
        M = 0
        ShowM.Caption = Round(M, 2)
    End If
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
    If Er >= j0 And Er <= k0 Then
        H = (Er - j0) / (k0 - j0)
        ShowH.Caption = Round(H, 2)
    ElseIf Er > k0 And Er <= l0 Then
        H = (l0 - Er) / (l0 - k0)
        ShowH.Caption = Round(H, 2)
        Else
        H = 0
        ShowH.Caption = Round(H, 2)
    End If
'''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''' ''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
    If Er >= m0 And Er <= n0 Then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
VH = (Er - m0) / (n0 - m0)
ShowVH.Caption = Round(VH, 2)
ElseIf Er >= n0 And Er <= o0 Then
VH = (o0 - Er) / (o0 - n0)
ShowVH.Caption = Round(VH, 2)
Else
VH = 0
ShowVH.Caption = Round(VH, 2)
End If
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
If DelEr >= a2 And DelEr <= b2 Then
N = (DelEr - a2) / (b2 - a2)
ShowN.Caption = Round(N, 2)
ElseIf DelEr > b2 And DelEr <= c2 Then
N = (c2 - DelEr) / (c2 - b2)
ShowN.Caption = Round(N, 2)
Else
N = 0
ShowN.Caption = Round(N, 2)
End If
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
If DelEr >= d2 And DelEr <= e2 Then
ZE = (DelEr - d2) / (e2 - d2)
ShowZE.Caption = Round(ZE, 2)
ElseIf DelEr > e2 And DelEr <= f2 Then
ZE = (f2 - DelEr) / (f2 - e2)
ShowZE.Caption = Round(ZE, 2)
Else
ZE = 0
ShowZE.Caption = Round(ZE, 2)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
End If
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
    If DelEr >= g2 And DelEr <= h2 Then
        P = (DelEr - g2) / (h2 - g2)
        ShowP.Caption = Round(P, 2)
    ElseIf DelEr > h2 And DelEr <= i2 Then
        P = (i2 - DelEr) / (i2 - h2)
        ShowP.Caption = Round(P, 2)
        Else
        P = 0
        ShowP.Caption = Round(P, 2)
    End If
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
'''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''' FUZZY  RULE ''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
'''''' Rule 1.   if Er is VH and DelEr is N then Y1 is HIGH
If VH > N Then
        Y1 = Round(N, 2)
          Label37.Caption = Y1
      Else
        Y1 = Round(VH, 2)
          Label37.Caption = Y1
   End If
'''''' Rule 2.   if Er is VH and DelEr is ZE then 2 is VHIHG
If VH > ZE Then
        Y2 = Round(ZE, 2)
          Label38.Caption = Y2
      Else
        Y2 = Round(VH, 2)
          Label38.Caption = Y2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
   End If
""""" Rule 3.  if Er is VH and DelEr is P then 3 is VHIGH
If VH > P Then
        Y3 = Round(P, 2)
          Label39.Caption = Y3
      Else
        Y3 = Round(VH, 2)
          Label39.Caption = Y3
   End If
""""" Rule 4.  if Er is H  and DelEr is N then Y4  is  HIGH
If H > N Then
        Y4 = Round(N, 2)
          Label40.Caption = Y4
      Else
        Y4 = Round(H, 2)
          Label40.Caption = Y4
   End If
""""" Rule 5.  if Er is H and DelEr is ZE then Y5 is HIGH
If H > ZE Then
        Y5 = Round(ZE, 2)
          Label41.Caption = Y5
      Else
        Y5 = Round(H, 2)
          Label41.Caption = Y5
   End If
""""" Rule 6.  if Er is H and DelEr is P then Y6 is MED
If H > P Then
        Y6 = Round(P, 2)
          Label42.Caption = Y6
      Else
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        Y6 = Round(H, 2)
          Label42.Caption = Y6
    End If
""""" Rule 7.  if Er is M and DelEr is N then Y7 is MED
If M > N Then
        Y7 = Round(N, 2)
          Label43.Caption = Y7
      Else
        Y7 = Round(M, 2)
          Label43.Caption = Y7
    End If
""""" Rule 8.  if Er is M and DelEr is ZE then Y8 is MED
 If M > ZE Then
      Y8 = Round(ZE, 2)
     Label44.Caption = Y8
     Else
     Y8 = Round(M, 2)
     Label44.Caption = Y8
     End If
""""" Rule 9.  if Er is M and DelEr is P then Y9 is MED
 If M > P Then
        Y9 = Round(P, 2)
          Label45.Caption = Y9
      Else
        Y9 = Round(M, 2)
          Label45.Caption = Y9
    End If
""""" Rule 10.  if Er is S and DelEr is N then Y10 is MED
 If S > N Then
        Y10 = Round(N, 2)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            Label46.Caption = Y10
        Else
            Y10 = Round(S, 2)
            Label46.Caption = Y10
    End If
""""" Rule 11.  if Er is S and DelEr is ZE then Y11 is LOW
If S > ZE Then
    Y11 = Round(ZE, 2)
    Label47.Caption = Y11
    Else
    Y11 = Round(S, 2)
     Label47.Caption = Y11
    End If
""""" Rule 12.  if Er is S and DelEr is P then Y12 is LOW
If S > P Then
            Y12 = Round(P, 2)
            Label48.Caption = Y12
        Else
            Y12 = Round(S, 2)
            Label48.Caption = Y12
    End If
""""" Rule 13.  if Er is Z and DelEr is N then Y13 is LOW
If Z > N Then
            Y13 = Round(N, 2)
            Label49.Caption = Y13
        Else
            Y13 = Round(Z, 2)
            Label49.Caption = Y13
    End If
""""" Rule 14.  if Er is Z and DelEr is ZE then Y14 is VL
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
If Z > ZE Then
        Y14 = Round(ZE, 2)
           Label50.Caption = Y14
      Else
        Y14 = Round(Z, 2)
           Label50.Caption = Y14
   End If
'''''' Rule 15.   if Er is Z and DelEr is P then Y15 is VL
If Z > P Then
        Y15 = Round(P, 2)
           Label51.Caption = Y15
      Else
        Y15 = Round(Z, 2)
           Label51.Caption = Y15
   End If
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
'''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''' Defuzzification BY Center of Area (COA) ''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
SumY = Y1 + Y2 + Y3 + Y4 + Y5 + Y6 + Y7 + Y8 + Y9 + Y10 + Y11 + Y12 + Y13 +
Y14 + Y15
mVL = b1
mLOW = e1
mMED = h1
mHIGH = k1
mVH = n1
Yt1 = (Y1 * mHIGH) + (Y2 * mVH) + (Y3 * mVH) + (Y4 * mHIGH) + (Y5 * mHIGH)
Yt2 = (Y6 * mMED) + (Y7 * mMED) + (Y8 * mMED) + (Y9 * mMED) + (Y10 *
mMED)
Yt3 = (Y11 * mLOW) + (Y12 * mLOW) + (Y13 * mVL) + (Y14 * mVL) + (Y15 * mVL)
If SumY = 0 Then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            'If Er <= 0 Then
            '       Label85.Caption =
            '       Er = 0
            '       ShowOP.Caption = 0
            '          Out8BIT (0)
        '   ElseIf Er > 20 Then
        '           Label85.Caption =
        '         Uout = (255)
        '         Out8BIT (Uout)
        '          ShowOP.Caption = 5
    '     End If
SumY = 1
Else
            Label85.Caption =
            SumY = SumY
            YTotal = Round((Yt1 + Yt2 + Yt3) / SumY, 2)
            Label79.Caption = YTotal
            Uout = (YTotal * 255) / 100
                    Call I2CStart
                    Call Send8BIT(&H90)
                    Call Ack
                    Call Send8BIT(&H44)
                    Call Ack
                    Call Send8BIT(Uout)
                    Call Ack
                    Call I2CStop
            'Out8BIT (Uout)
            ShowOP.Caption = Round((YTotal * 5) / 100, 3)
            'Label1.Caption = YTotal
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
End If
'''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
Line1.X1 = Er
Line1.Y1 = 0
Line1.X2 = Er
Line1.Y2 = 1
Line2.X1 = DelEr
Line2.Y1 = 0
Line2.X2 = DelEr
Line2.Y2 = 1
Line3.X1 = YTotal
Line3.Y1 = 0
Line3.X2 = YTotal
Line3.Y2 = 1
End If
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Sub DrawGraph()        'Graph Of ERROR
Picture1.Scale (-1, -0.5)-(20.5, 1.3)
Picture1.Line (0, 0)-(0, 1)
Picture1.Line (0, 1)-(20, 1)
      For x = 0 To 20 Step 2
        Picture1.Line (x, 1.05)-(x, 1)
        Picture1.CurrentX = x - 0.6
       Picture1.CurrentY = 1.05
        Picture1.Print x
      Next x
      For y = 0 To 10 Step 1
        Picture1.Line (-0.3, y * 0.1)-(0, y * 0.1)
        Picture1.CurrentX = -0.7
        Picture1.CurrentY = -0.1
        Picture1.Print 1
      Next y
    Picture1.CurrentX = 102
    Picture1.CurrentY = 0.9
    Picture1.Print "Er[%]"
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Picture1.CurrentX = 35
    Picture1.CurrentY = -0.5
    Picture1.Print " Membership OF ERROR"
For x = 0 To 20 Step 0.01
''''''''''''''''''''''''''''''''Z''''''''''''''''''''''''''''''''
b0 = (a0 + c0) / 2
            If x >= a0 And x <= b0 Then
                yZ = (x - a0) / (b0 - a0)
            ElseIf x > b0 And x <= c0 Then
                yZ = (c0 - x) / (c0 - b0)
                Else
                yZ = 0
        End If
            Picture1.PSet ((x), (1 - yZ)), vbRed
            Picture1.CurrentX = b - 0.1
            Picture1.CurrentY = -0.2
            Picture1.Print "Z"
''''''''''''''''''''''''''''''''' S '''''''''''''''''''''''''''''''''
e0 = (d0 + f0) / 2
        If x >= d0 And x <= e0 Then
                yS = (x - d0) / (e0 - d0)
            ElseIf x > e0 And x <= f0 Then
                yS = (f0 - x) / (f0 - e0)
                Else
                yS = 0
        End If
            Picture1.PSet ((x), (1 - yS)), vbRed
            Picture1.CurrentX = e0 - 0.1
            Picture1.CurrentY = -0.2
            Picture1.Print "S"
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
'''''''''''''''''''''''''''' M ''''''''''''''''''''''''''''''''

h0 = (g0 + i0) / 2
        If x >= g0 And x <= h0 Then
            yM = (x - g0) / (h0 - g0)
        ElseIf x >= h0 And x <= i0 Then
            yM = (i0 - x) / (i0 - h0)
            Else
             yM = 0
    End If
        Picture1.PSet ((x), (1 - yM)), vbRed
        Picture1.CurrentX = h0 - 0.1
        Picture1.CurrentY = -0.2
        Picture1.Print "M"
'''''''''''''''''''''''''''''''''''''''' H ''''''''''''''''''''''''''''''''''''
k0 = (j0 + l0) / 2
        If x >= j0 And x <= k0 Then
            yPS = (x - j0) / (k0 - j0)
        ElseIf x > k0 And x <= l0 Then
            yPS = (l0 - x) / (l0 - k0)
            Else
            yPS = 0
    End If
        Picture1.PSet ((x), (1 - yPS)), vbRed
        Picture1.CurrentX = k0 - 0.1
        Picture1.CurrentY = -0.2
        Picture1.Print "H"
'''''''''''''''''''''''''' VH''''''''''''''''''''''''''''''''
n0 = (m0 + o0) / 2
        If x >= m0 And x <= n0 Then
            yVH = (x - m0) / (n0 - m0)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        ElseIf x >= n0 And x <= o0 Then
        yVH = (o0 - x) / (o0 - n0)
        Else
        yVH = 0
    End If
        Picture1.PSet ((x), (1 - yVH)), vbRed
        Picture1.CurrentX = n0 - 0.5
        Picture1.CurrentY = -0.2
        Picture1.Print "VH"
Next x
End Sub
Sub DrawGraph1()        'Graph Of DELERROR
   Picture2.Scale (-3.3, -0.5)-(3.5, 1.3)
  Picture2.Line (0, 0)-(0, 1)
   Picture2.Line (-3, 1)-(3, 1)
     For x = -3 To 3
       Picture2.Line (x, 1.05)-(x, 1)
       Picture2.CurrentX = x - 0.1
      Picture2.CurrentY = 1.05
       Picture2.Print x
     Next x
     For y = 0 To 10 Step 1
       Picture2.Line (-0.07, y * 0.1)-(0.1, y * 0.1)
       Picture2.CurrentX = -0.3
       Picture2.CurrentY = -0.1
       Picture2.Print 1
     Next y
   Picture2.CurrentX = 3.1
   Picture2.CurrentY = 0.9
   Picture2.Print "ce"
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
   Picture2.CurrentX = -1.5
   Picture2.CurrentY = -0.5
   Picture2.Print " Membership CHANGE OF ERROR"
For x = -3 To 3 Step 0.01
"""""""""""""""" Change N"""""""""""""""""""""""""
b2 = (a2 + c2) / 2
          If x >= a2 And x <= b2 Then
              yN = (x - a2) / (b2 - a2)
          ElseIf x > b2 And x <= c2 Then
              yN = (c2 - x) / (c2 - b2)
            Else
            yN = 0
      End If
          Picture2.PSet ((x), (1 - yN)), vbRed
          Picture2.CurrentX = b2
          Picture2.CurrentY = -0.2
          Picture2.Print "Z"
""""""""""""""""""" Change ZE """""""""""""""""""
e2 = (d2 + f2) / 2
          If x >= d2 And x <= e2 Then
          yZE = (x - d2) / (e2 - d2)
          ElseIf x >= e2 And x <= f2 Then
              yZE = (f2 - x) / (f2 - e2)
              Else
              yZE = 0
      End If
          Picture2.PSet ((x), (1 - yZE)), vbRed
          Picture2.CurrentX = e2 - 0.1
          Picture2.CurrentY = -0.2
          Picture2.Print "ZE"
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
''''''''''''''''''' Change P '''''''''''''''''''''
h2 = (g2 + i2) / 2
        If x >= g2 And x <= h2 Then
                yP = (x - g2) / (h2 - g2)
                ElseIf x >= h2 And x <= i2 Then
                yP = (i2 - x) / (i2 - h2)
                Else
                yP = 0
      End If
           Picture2.PSet ((x), (1 - yP)), vbRed
           Picture2.CurrentX = h2 - 0.1
           Picture2.CurrentY = -0.2
           Picture2.Print "P"
 Next x
   End Sub
Sub DrawGraph2()      'Graph  Of Output
Picture3.Scale (-5, -0.5)-(110, 1.3)
Picture3.Line (0, 0)-(0, 1)
Picture3.Line (0, 1)-(101, 1)
      For x = 0 To 100 Step 10
        Picture3.Line (x, 1.05)-(x, 1)
        Picture3.CurrentX = x - 3
       Picture3.CurrentY = 1.05
        Picture3.Print x
      Next x
      For y = 0 To 10 Step 1
        Picture3.Line (-2, y * 0.1)-(0, y * 0.1)
        Picture3.CurrentX = -5
        Picture3.CurrentY = -0.1
        Picture3.Print 1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Next y
  Picture3.CurrentX = 103
  Picture3.CurrentY = 0.9
  Picture3.Print "u[%]"
  Picture3.CurrentX = 35
  Picture3.CurrentY = -0.5
  Picture3.Print " Membership OF OUTPUT"
For x = 0 To 100 Step 0.1
'''''''''''''''''''''''''''  VL  '''''''''''''''''''''
b1 = (a1 + c1) / 2
        If x >= a1 And x <= b1 Then
            yVL = (x - a1) / (b1 - a1)
        ElseIf x > b1 And x <= c1 Then
            yVL = (c1 - x) / (c1 - b1)
        Else
            yVL = 0
        End If
        Picture3.PSet ((x), (1 - yVL)), vbRed
        Picture3.CurrentX = b1
        Picture3.CurrentY = -0.2
        Picture3.Print "VL"
'''''''''''''''''''''''''''  LOW  '''''''''''''''''''''
e1 = (d1 + f1) / 2
        If x >= d1 And x <= e1 Then
            yLOW = (x - d1) / (e1 - d1)
        ElseIf x > e1 And x <= f1 Then
            yLOW = (f1 - x) / (f1 - e1)
            Else
            yLOW = 0
    End If
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            Picture3.PSet ((x), (1 - yLOW)), vbRed
            Picture3.CurrentX = e1 - 3
            Picture3.CurrentY = -0.2
            Picture3.Print "LOW"
''''''''''''''''''''''MED''''''''''''''''''''''
h1 = (g1 + i1) / 2
            If x >= g1 And x <= h1 Then
                yMED = (x - g1) / (h1 - g1)
            ElseIf x >= h1 And x <= i1 Then
                yMED = (i1 - x) / (i1 - h1)
                Else
                yMED = 0
        End If
            Picture3.PSet ((x), (1 - yMED)), vbRed
            Picture3.CurrentX = h1 - 3
            Picture3.CurrentY = -0.2
            Picture3.Print "MED"
''''''''''''''''''''' HIGH ''''''''''''''''''''''
k1 = (j1 + l1) / 2
            If x >= j1 And x <= k1 Then
                yHIGH = (x - j1) / (k1 - j1)
            ElseIf x >= k1 And x <= l1 Then
                yHIGH = (l1 - x) / (l1 - k1)
                Else
               yHIGH = 0
        End If
            Picture3.PSet ((x), (1 - yHIGH)), vbRed
            Picture3.CurrentX = k1 - 4
            Picture3.CurrentY = -0.2
            Picture3.Print "HIGH"
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
''''''''''''''''''''' VHIGH '''''''''''''''''''''
n1 = (m1 + o1) / 2
        If x >= m1 And x <= n1 Then
            yVHIGH = (x - m1) / (n1 - m1)
            ElseIf x > n1 And x <= o1 Then
            yVHIGH = (o1 - x) / (o1 - n1)
            Else
            yVHIGH = 0
    End If
        Picture3.PSet ((x), (1 - yVHIGH)), vbRed
        Picture3.CurrentX = n1 - 4
        Picture3.CurrentY = -0.2
        Picture3.Print "VHIGH"
Next x
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์พรสุข รติโรจนอนันต์ อาจารย์ที่ปรึกษา สำหรับความรู้ทางด้าน Process Control / Instrument ที่ทำให้ผู้จัดทำเข้าใจอย่างลึกซึ้ง รวมทั้งยังคอยเป็นห่วงเป็นใยผู้จัดทำว่าปริญญานิพนธ์นี้จะสำเร็จหรือไม่ ไม่ต้องเป็นห่วงครับ เสร็จแล้ว

ขอขอบคุณอาจารย์สว่าง เลิศถิรสุนทร ผู้เสนอหัวข้อปริญญานิพนธ์ ข้อแนะนำต่างๆสำหรับการเริ่มต้นเป็นวิศวกรที่ดีรวมทั้งประสบการณ์ที่ไม่มีในห้องเรียน ข้าวมื้อเที่ยง และเรื่องอื่นๆอีกมากมาย

ขอขอบคุณเพื่อนๆซอยไปรษณีย์ที่เอื้อเฟื้อสถานที่พักสำหรับผู้จัดทำในช่วงใกล้สอบ ช่วงสอบ Project รวมทั้งช่วงเวลาสำคัญที่จำเป็นต้องค้างคืนที่ลาดกระบังเนื่องจากกิจกรรมบางอย่าง

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ภาคCONTROL ทั้ง3ห้อง (E,O,EM) โดยเฉพาะห้อง O สำหรับความสนุก การใช้ชีวิตในการเป็นนักศึกษา มิตรภาพ ทุกสิ่งทุกอย่างที่เกิดขึ้นจากสังคมเล็กๆ กลุ่มนี้ ทุกอย่างช่างลงตัวเหลือเกินสำหรับที่แห่งนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] อรรถพล บุญยะโภคา,วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล,ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล, "พอร์ตอนุกรม" , บริษัท อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด

[2] กิตติ ภักดีวัฒนะกุล,จำลอง ครูอุตสาหะ, "Visual Basic 6 ฉบับโปรแกรมเมอร์", บริษัทเคทีพี คอมพ์ แอนด์ คอนซัลท์ จำกัด, 2546

[3] นางสาวสุพดี พนาดำรง และ นายสุรวุฒิ แพรศรี, "การควบคุมกระบวนการ 1" , ปริญญานิพนธ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม, 2544

[4] นายวิวิธ บัวเผื่อน และ นางสาวประอรรัตน์ กีรติผจญ, "การควบคุมระดับของเหลวด้วยตัวควบคุมพีไอดีอัตโนมัติ (Process control 2)" , ปริญญานิพนธ์คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม, 2544

[5] นางสาวการะเกต จันทสังข์ และ นายสิทธิชัย โลจน์รัศมีกุล, "การควบคุมกระบวนการ" , ปริญญานิพนธ์คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม, 2545

[6] นางสาวอรอุมา ทองคงอ่วม และ นายเอกลักษณ์ ตรีวิมล , "การควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ตัวควบคุมฟัซซี", ปริญญานิพนธ์คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม, 2543

[7] Mohammad Jamshidi, " Applications of fuzzy logic " , Prentice Hall, 1997.

[8] Toshiro Terano, Kiyoji Asai, Michio Sugeno, "Applied fuzzy system", AP Professional,1994.

[9] Pedrycz, Witold, "Fuzzy control and fuzy systems", RSP, 1993.

[10] Raymond Mully, "Control System Documentation Applying Symbols and Identification", Instrumentation Society of America, 1994.

[11] Carlos A. Smith. Armando B. Corripio, "Principles and Practice of Automatic Process Control", 2nd edition, John Wiley&Sons.Inc., 1997.

[12] Katsuhiko Okata, "Modern Control Engineering", 2nd edition, Prentice Hall Edition, New Jersey, 1990.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้