

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การควบคุมระดับน้ำและอัตราการไหล โดยใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซี่  
LEVEL & FLOW CONTROLS USING FUZZY CONTROLLER



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน.....  
วัน,เดือน,ปี..... 7 เม.ย. 2548

.....  
.....  
.....

# LEVEL & FLOW CONTROLS USING FUZZY CONTROLLER



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

2003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองปริญญาโท

หัวข้อปริญญาโท การควบคุมระดับน้ำและอัตราการไหล โดยใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซี่  
LEVEL & FLOW CONTROLS USING FUZZY CONTROLLER

นักศึกษาผู้จัดทำ นางสาวนิตา แซ่ตั้ง รหัสประจำตัว 44015422

นายสุพรรณ สวัสดิ์ รหัสประจำตัว 44015452

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม

ปีการศึกษา 2546

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท	ลายมือชื่อ
รศ.วิริยะ กองรัตน์	
อาจารย์อานันต์ น่วมสำราญ	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ วันพุธที่ 24 มีนาคม 2547

สถานที่สอบ ณ ห้องสอบปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

ภาควิชารับรองแล้ว

(รศ.ประสิทธิ์ จุลเสวีวงศ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การควบคุมระดับน้ำและอัตราการไหล โดยใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซี่ LEVEL & FLOW CONTROLS USING FUZZY CONTROLLER	
นักศึกษาผู้จัดทำ	นางสาวชนิดา	แช่ตั้ง
	นายสุวรรณ	สวัสดิ์
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.วิริยะ	กองรัตน์
	อาจารย์อาจินต์	น่วมสำราญ
ปีการศึกษา	2546	

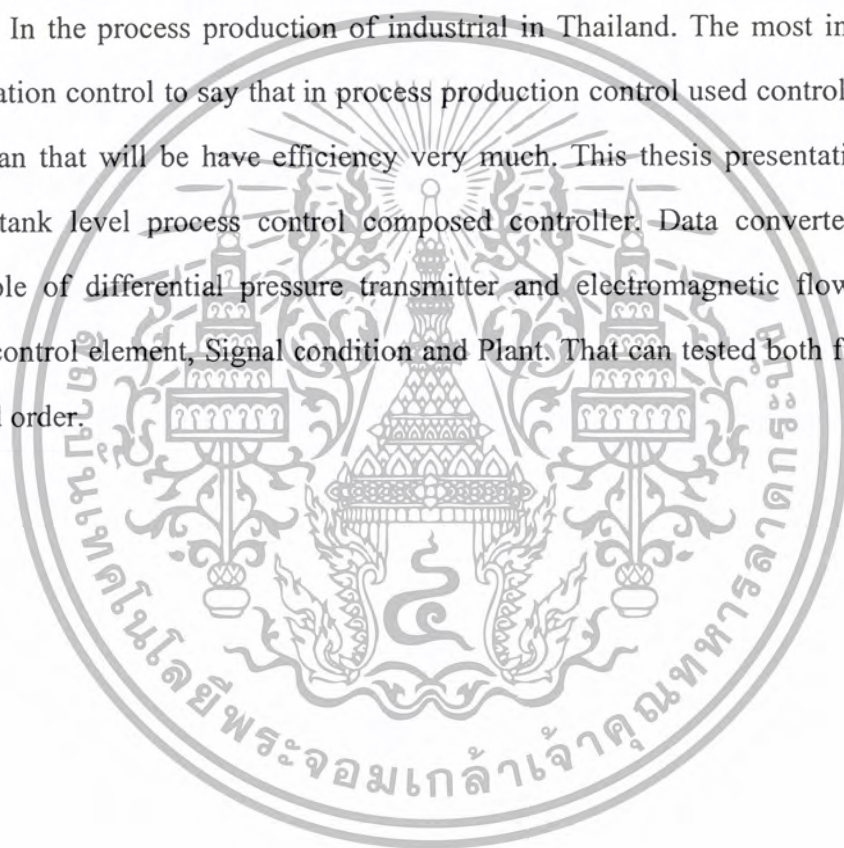
### บทคัดย่อ

กระบวนการผลิตของระบบอุตสาหกรรมภายในประเทศในปัจจุบัน โดยส่วนใหญ่ จะมีการควบคุมในลักษณะอัตโนมัติ กล่าวคือ ในการควบคุมกระบวนการผลิตต่างๆ จะใช้เครื่องควบคุม (Controller) ควบคุมกระบวนการแทนมนุษย์ซึ่งจะทำให้กระบวนการผลิต มีประสิทธิภาพมากขึ้น ปริญญานิพนธ์เล่มนี้ได้นำเสนอการออกแบบการควบคุมระดับน้ำ ซึ่งประกอบไปด้วยการออกแบบตัวควบคุม (Controller) ชุดแปลงสัญญาณ (Data Converter) อุปกรณ์ตรวจวัด (Sensor) โดยใช้ Differential Pressure Transmitter และ Magnetic Flow Transmitter อุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้าย (Final Control Element) Plant ที่สามารถใช้ทดลอง ได้ทั้งแบบ First Order และ Second Order

<b>Thesis Title</b>	Level & Flow Controls Using Fuzzy Controller	
<b>Authors</b>	Miss.Chanida	Saetang
	Mr.Suwan	Sawadee
<b>Thesis Advisors</b>	Assoc.Prof. Viriya	Kongrat
	Mr. Arjin	Numsamran
<b>Year</b>	2003	

## ABSTRACT

In the process production of industrial in Thailand. The most industrial used automation control to say that in process production control used controller instead of a human that will be have efficiency very much. This thesis presentation design of multi tank level process control composed controller. Data converter, Sensor on principle of differential pressure transmitter and electromagnetic flow transmitter, Final control element, Signal condition and Plant. That can tested both first order and second order.



# กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เพราะได้รับปรึกษาและความอนุเคราะห์จาก อาจารย์อานันต์ น่วมสำราญ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างสูง และขอกราบขอบพระคุณที่ได้ให้คำแนะนำและคำปรึกษาในการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณรศ.วิริยะ กองรัตน์และ ผศ.ทวีพล ชื่อสัตย์ ซึ่งได้ให้คำปรึกษาและช่วยเหลือ ในการทำวิจัยรวมทั้งช่วยตรวจสอบแก้ไขข้อผิดพลาดต่าง ๆ พร้อมทั้งแนะนำวิธีแก้ปัญหาอย่างเต็มที่

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม ทุกท่านที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือ ทั้งหมด ตลอดจนสถานที่ จนสามารถทำปริญญาานิพนธ์นี้สำเร็จ

ขอขอบคุณ คุณเทียนชัย สุขศรี นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม ที่ได้แนะนำแนวทางคำปรึกษาแก่ผู้ทำวิจัยด้วยดีเสมอมา

ขอขอบคุณ เพื่อนทุกท่าน ซึ่งคอยเป็นกำลังใจที่ดี ในการทำปริญญาานิพนธ์ครั้งนี้ คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ผู้วิจัยขอบพระคุณ บิดา มารดา ผู้ซึ่ง ให้การศึกษาแก่ผู้วิจัยอันเป็นสิ่งที่ดีที่สุดในชีวิต

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และทำซ้ำอย่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญภาพ.....	VIII
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้.....	2
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	3
<b>บทที่ 2 องค์ประกอบของระบบควบคุม.....</b>	<b>4</b>
2.1 การควบคุมกระบวนการอัตโนมัติ.....	4
2.2 ประเภทของการควบคุม.....	6
2.3 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับการควบคุมแบบป้อนกลับ.....	7
2.3.1 อุปกรณ์วัด.....	9
2.3.2 ตัวควบคุม.....	11
2.3.3 อุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย.....	11
2.3.4 กระบวนการ.....	12
<b>บทที่ 3 ทฤษฎีทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับพีชชี.....</b>	<b>14</b>
3.1 พีชชีเซต.....	15
3.1.1 ทฤษฎีเซตแบบเคิม.....	15
3.1.2 ทฤษฎีพีชชีเซต.....	17

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.1.3 ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของฟuzzyเซต.....	25
3.2 ฟuzzyลอจิก.....	32
3.2.1 ตัวแปลลจกวตตค.....	32
3.2.2 ทฤษฎีตรรกศาสตร์แบบเดิม.....	36
3.3 ทฤษฎีฟuzzyลอจิก.....	37
3.3.1 การหาข้อสรุปตามหลักการเหตุผล โดยใช้ทฤษฎีฟuzzyลอจิก.....	41
3.3.2 ความสัมพันธ์ฟuzzy.....	43
3.3.3 การคอมโพสิชันแบบฟuzzy.....	46
3.3.4 การอินเฟอร์เรนซ์แบบฟuzzy.....	48
3.3.5 การฟuzzyฟิเคชัน.....	50
3.3.6 การดีฟuzzyฟิเคชัน.....	52
3.4 ตัวควบคุมฟuzzy.....	54
3.4.1 ฐานกฎการควบคุมฟuzzy.....	55
3.4.2 หน่วยอินเฟอร์เรนซ์.....	55
3.4.3 หน่วยดีฟuzzyฟิเคชัน.....	56
3.5 ตัวควบคุมฟuzzyแบบปรับแต่งพารามิเตอร์ด้วยตัวเอง.....	57
3.5.1 หน่วยวัดสมรรถนะ.....	57
3.5.2 หน่วยปรับแต่งกฎการควบคุม.....	58
3.6 การวิเคราะห์ระบบควบคุมฟuzzy.....	58
3.6.1 ความสมบูรณ์ของฐานกฎการควบคุม.....	58
3.6.2 การเกิดกิริยาระหว่างกันของกฎการควบคุม.....	58
3.6.3 ความสอดคล้องกันของกฎการควบคุม.....	59
3.6.4 ความคงทนในกฎการควบคุม.....	60
<b>บทที่ 4 การออกแบบตัวควบคุมฟuzzy.....</b>	<b>61</b>
4.1 โครงสร้างพื้นฐานของตัวควบคุมฟuzzy.....	61
4.1.1 การกำหนดตัวแปรอินพุตและตัวแปรเอาต์พุตของตัวควบคุม.....	61

# สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.1.2 การนอมอลไลซ์โครงสร้างอินพุทของตัวควบคุม.....	62
4.1.3 การเลือกพีชชีพีเคชัน.....	62
4.1.4 การกำหนดจำนวนพีชชีเซตของตัวแปรอินพุท.....	63
4.1.5 การกำหนดฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวแปรอินพุท.....	63
4.1.6 การกำหนดตัวแปรลิงกวิสติก.....	65
4.1.7 การกำหนดฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวแปรเอาต์พุท.....	65
4.1.8 การกำหนดรูปแบบของกฎควบคุม.....	66
4.1.9 แนวทางการออกแบบกฎการควบคุม.....	67
4.1.10 การอินเฟอร์เรนซ์ของพีชชี.....	69
4.1.11 การดีพีชชีพีเคชัน.....	72
4.1.12 การดีนอมอลไลซ์โครงสร้างเอาต์พุท.....	73
4.2 การปรับแต่งพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีชชี.....	73
4.3 ค่าอัตราขยายของตัวแปรอินพุทและเอาต์พุท.....	74
4.4 การออกแบบโปรแกรมควบคุม.....	76
4.4.1 ขั้นตอนการออกแบบ Flow Chart.....	76
<b>บทที่ 5 การทดลอง.....</b>	<b>78</b>
5.1 กระบวนการที่ใช้ในการทดลอง.....	78
5.2 การทดลองอุปกรณ์ที่ใช้.....	80
5.3 การทดลองการควบคุมกระบวนการ.....	81
5.3.1 การหา Open loop Transfer Function.....	81
5.3.2 การควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบ พีไอดี.....	82
5.3.3 การควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบ พีไอดีคาสเคด.....	83
5.3.4 การควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบ พีชชี.....	84
5.3.4.1 การควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบ พีชชี 9 กฎ.....	84
5.3.4.1 การควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบ พีชชี 49 กฎ.....	85
5.4 สรุปผลการทดลอง.....	86

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและขอเสนอแนะ.....	87
6.1 บทสรุป.....	87
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	87
บรรณานุกรม.....	88
ภาคผนวก.....	89



# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แสดงค่าความจริงของประพจน์ในการปฏิบัติการตรรกศาสตร์บูลีน.....	37
3.2 แสดงตารางความจริงสำหรับตัวปฏิบัติการพีชชีลอจิกตามนิยามของ Zadeh.....	39
3.3 แสดงตารางความจริงสำหรับตัวปฏิบัติการพีชชีลอจิกตามนิยามของ Baldwin.....	40
3.4 แสดงผลของการหาข้อสรุปตามหลักการเหตุผล โดยใช้ GMD ด้วยหลักการของ Fukami....	43
3.5 แสดงผลของการหาข้อสรุปตามหลักการเหตุผล โดยใช้ GMT ด้วยหลักการของ Fukami....	43
4.1 แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรอินพุตและเอาต์พุตของการออกแบบกฎ.....	68
4.2 แสดงกฎการควบคุม.....	73
5.1 แสดงการทดลอง D/P Transmitter.....	80
5.2 แสดงการทดลองสัญญาณควบคุม Electromagnetic flow transmitter และ Control valve.....	80



# สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 แสดงการควบคุมกระบวนการ.....	4
2.2 แสดงระบบควบคุมแบบ Open Loop.....	5
2.3 แสดงระบบควบคุมแบบ Closed Loop.....	5
2.4 แสดงการควบคุมแบบไปข้างหน้า.....	6
2.5 แสดงการควบคุมแบบป้อนกลับ.....	6
2.6 แสดงการควบคุมระดับน้ำในถังแบบ Manual Control.....	7
2.7 แสดงบล็อกไดอะแกรมของการควบคุมระดับน้ำในถังแบบ Manual Control.....	7
2.8 แสดงการควบคุมระดับน้ำในถังด้วยการควบคุมอัตโนมัติ.....	8
2.9 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบป้อนกลับ โดยทั่วไป.....	9
2.10 แสดงวาล์วควบคุม.....	12
2.11 แสดงวงรอบการควบคุมระดับของเหลว.....	13
3.1 แสดงคลิป์เซต.....	15
3.2 แสดงค่าความเป็นสมาชิกของเซต A ในกรณีเซตธรรมดา.....	18
3.3 แสดงค่าความเป็นสมาชิกของเทอร์มเซต A ในกรณีฟัซซีเซต.....	19
3.4 แสดงฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต A และระดับการเป็นสมาชิกของความสูง.....	20
3.5 แสดงซัพเพอร์, $\alpha$ -Cut จุดตัดข้ามและศูนย์กลางฟัซซีของฟังก์ชันการเป็นสมาชิก.....	21
3.6 แสดงฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวแปรความสูงที่ประกอบด้วย 3 เทอร์มเซต.....	26
3.7 แสดงกราฟฟังก์ชันการเป็นสมาชิกรูปสามเหลี่ยม ( $a=150, b=160, c=170$ ).....	27
3.8 แสดงพารามิเตอร์และรูปทรงของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกแบบสี่เหลี่ยมคางหมู.....	27
3.9 แสดงฟังก์ชันการเป็นสมาชิกเส้นโค้งรูปตัว S ( $a=160, b=170, c=180$ ).....	28
3.10 แสดงกราฟฟังก์ชันการเป็นสมาชิก $\pi$ ( $c = 160, \lambda = 10$ ).....	29
3.11 แสดงรูปทรงของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกแบบ Gaussian ( $x = 160$ ).....	30
3.12 แสดงกราฟฟังก์ชันความเป็นสมาชิก Beta ( $x = 160; \beta = 5, p = 6$ ).....	31
3.13 แสดงค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวแปรลิงกวิสติก “Probability”.....	33
3.14 แสดงค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของเทอม “true” และ “false” ตามนิยามของ Zadeh.....	34
3.15 แสดงค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวแปรลิงกวิสติก “Truth” ตามนิยามของ Baldwin.....	35
3.16 แสดงการคอมโพสิชันของความสัมพันธ์ฟัซซี.....	46

# สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.17 แสดงการหาข้อสรุปจากหลักฐาน โดยใช้เงื่อนไขความสัมพันธ์ระหว่างเหตุและผล.....	48
3.18 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของตัวควบคุมพีชชี.....	54
3.19 แสดงโครงสร้างของตัวควบคุมพีชชีแบบปรับแต่งพารามิเตอร์ด้วยตนเอง.....	57
4.1 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของตัวควบคุมพีชชี.....	61
4.2 แสดงฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวแปรอินพุต $e$ และ $\Delta e$ .....	65
4.3 แสดงผลการตอบสนองของการเปลี่ยนระดับและการแบ่งช่วงของผลการตอบสนองเพื่อ ความสัมพันธ์ของ ค่าผิดพลาดและการเปลี่ยนแปลงของค่าผิดพลาด.....	67
4.4 แสดงกลุ่มของกฎทั้ง 5 ที่ได้จากการออกแบบกฎของตัวควบคุมแบบฮิวริสติก.....	69
4.5 แสดงโครงข่ายป้อนไปด้านหน้าของตัวควบคุมพีชชี.....	74
4.6 แสดง Flow chart ของการทำงานทั้งกระบวนการ.....	76
4.7 แสดง Flow chart ของการทำงานส่วน Interface.....	76
4.8 แสดง Flow chart ของการทำงานส่วนการคำนวณด้วยหลักการพีชชี.....	77
5.1 แสดงไดอะแกรมของกระบวนการควบ.....	78
5.2 แสดงกระบวนการควบคุม.....	79
5.3 แสดงกราฟการทดลอง Open Loop Level.....	81
5.4 แสดงกราฟการทดลอง Open Loop Flow.....	82
5.5 แสดงการควบคุมระดับน้ำด้วยตัวควบคุมแบบ พีไอดี.....	82
5.6 แสดงการควบคุมอัตราการไหลด้วยตัวควบคุมแบบ พีไอดี.....	83
5.7 แสดงการควบคุมระดับน้ำด้วยตัวควบคุมแบบ พีไอดีคาสเคด: ฐปนอก.....	83
5.8 แสดงการควบคุมระดับน้ำด้วยตัวควบคุมแบบ พีไอดีคาสเคด: ฐปนใน.....	84
5.9 แสดงการควบคุมระดับน้ำด้วยตัวควบคุมแบบ พีชชี 9 กฎ.....	84
5.10 แสดงการควบคุมอัตราการไหลด้วยตัวควบคุมแบบ พีชชี 9 กฎ.....	85
5.11 แสดงการควบคุมระดับน้ำด้วยตัวควบคุมแบบ พีชชี 49 กฎ.....	85

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

แนวคิดในการนำเสนอวิทยานิพนธ์นี้ เริ่มต้นจากความต้องการนำระบบควบคุมอัตโนมัติมาใช้แทนระบบควบคุมเดิมซึ่งอาศัยการสั่งงานจากผู้ปฏิบัติการ ในการออกแบบระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับควบคุมกระบวนการทางอุตสาหกรรมขนาดใหญ่และมีความซับซ้อน เช่น กระบวนการผลิตซีเมนต์ กระบวนการทำปฏิกิริยาทางเคมี และกระบวนการหลอมโลหะมักจะพบปัญหาว่ากระบวนการเหล่านี้จะไม่เป็นเชิงเส้น (Non-Linear) มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา (Time-Variant) เมื่อถูกใช้งานในสภาวะแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลง มีการรบกวนจากภายนอก (Disturbance) และจากสัญญาณรบกวน (Noises) ทำให้การออกแบบตัวควบคุมอัตโนมัติแบบดั้งเดิม ซึ่งออกแบบโดยใช้วิธีการประมาณโมเดลทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการทำให้ยากและถ้าประมาณค่าโมเดลทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการผิดพลาด จะทำให้ได้ผลตอบสนองของระบบไม่ดี

ตัวควบคุมฟัซซี่ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในเรื่องการควบคุมกระบวนการในอุตสาหกรรม เนื่องจากมีข้อดีที่เป็นจุดเด่นหลายประการดังนี้

1. สามารถออกแบบตัวควบคุมได้โดยไม่ต้องรู้โมเดลทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการ เนื่องจากการออกแบบตัวควบคุมใช้วิธีการแปลงความรู้หรือประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญให้เป็นกฎการควบคุมในรูปแบบเงื่อนไข (If-Then)
2. สามารถควบคุมกระบวนการที่ไม่เป็นเชิงเส้นได้ เนื่องจากความไม่เป็นเชิงเส้นนี้ จะถูกควบคุมได้ โดยการกำหนดความสัมพันธ์ของกฎการควบคุมแบบไม่เป็นเชิงเส้น
3. เหมาะสำหรับระบบที่มีตัวแปรที่คลุมเครือไม่สามารถหาค่าที่แน่นอน ซึ่งความคลุมเครือนี้จะถูกแทนด้วยค่าระดับความเป็นสมาชิกในนิยามของฟัซซี่เซต
4. สามารถออกแบบตัวควบคุม สำหรับควบคุมกระบวนการที่มีหลายอินพุต หลายเอาต์พุต ได้สะดวก เนื่องจากความซับซ้อนของความสัมพันธ์ระหว่างแต่ละอินพุตและเอาต์พุต จะถูกแทนด้วยความสัมพันธ์ของกฎการควบคุม ซึ่งอยู่ในรูปแบบที่สามารถทำความเข้าใจ และทำการปรับเปลี่ยนได้ง่าย

ปัญหาสำคัญที่พบในการออกแบบตัวควบคุมฟัซซี่ โดยใช้วิธีออกแบบกฎการควบคุมและฟังก์ชันการเป็นสมาชิกได้จากความรู้หรือประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญ ในกรณี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ไม่มีความรู้หรือประสบการณ์ในการควบคุมหรือเมื่อเกิดความไม่สมบูรณ์ในการถ่ายทอดประสบการณ์จากผู้เชี่ยวชาญ การออกแบบกฎการควบคุมจะทำได้ยาก

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อการศึกษาการออกแบบและการสร้างตัวควบคุมฟัซซี่ ซึ่งสามารถปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมได้ด้วยตัวเอง โดยไม่ต้องรู้ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการ ไม่ต้องใช้ฐานความรู้หรือประสบการณ์จากผู้เชี่ยวชาญ มีความสามารถปรับตัวเองในการควบคุมเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการหรือสภาพแวดล้อม หรือมีสัญญาณรบกวนจากภายนอก ด้วยการเรียนรู้จากสมรรถนะของระบบควบคุม ค่าผิดพลาด และการเปลี่ยนแปลงของค่าผิดพลาดที่แต่ละช่วงเวลาในการสุ่มสัญญาณ และทำการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ
2. พัฒนาโครงสร้างของตัวควบคุมฟัซซี่ที่ออกแบบให้เหมาะสม สำหรับนำไปสร้างด้วยซอฟต์แวร์บนเครื่อง ไมโครคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้ควบคุมกระบวนการทางอุตสาหกรรมจริงได้
3. เพื่อศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราขยาย (Scaling factor) ของตัวแปรอินพุต ที่มีต่อสมรรถนะของระบบควบคุมและประสิทธิภาพการเรียนรู้ของตัวควบคุมนั้น

## 1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

ปัจจุบันเทคโนโลยีฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy logic) และเป็นที่สนใจอย่างกว้างขวางทั้งในวงการศึกษาศาสตร์และอุตสาหกรรม ในส่วนข้อดีของฟัซซี่ลอจิกมีการคิดคล้ายกับการคิดของมนุษย์ ใช้กฎของ If-Then และความง่ายในการทำความเข้าใจและประยุกต์ใช้กับความรู้จากผู้เชี่ยวชาญ เมื่อรวมเอาข้อดีของฟัซซี่ลอจิกเข้าด้วยกัน สามารถนำการเรียนรู้ในระดับต่ำและการคำนวณฟัซซี่ลอจิก และยังใช้การทำงานในระดับสูงโดยใช้กฎ If Then และเหตุผลของฟัซซี่

## 1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้

ระบบฟัซซี่ประกอบด้วยพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ฟัซซี่เซตที่ให้เป็นตัวแปรอินพุต และเอาท์พุต ฟังก์ชันการเป็นสมาชิก (Membership function) ระบบฟัซซี่สามารถจัดให้อยู่ในรูปของฟังก์ชันไม่เป็นเชิงเส้นทั่วไปเรียกว่า Universal approximations นำเสนอโดย Kosko วิธีการดังกล่าวมีความสามารถเป็นฟังก์ชันประมาณการไม่เป็นเชิงเส้น โดยทั่วไป (Approximating general nonlinear function) ได้

การรวมกันของฟัซซี่กับวิธีการแรกจะประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก เป็นส่วนของฟัซซี่ คือมีการฟัซซี่ฟิเคชัน (Fuzzification), การฟัซซี่อินเฟอเรนซ์ (Fuzzy inference) และการดีฟัซซี่ฟิเคชัน (Defuzzification) พารามิเตอร์ในส่วนของ Antecedent และพารามิเตอร์ในส่วนของ Consequent

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของฟัซซี่ วิธีที่สองมีส่วนประกอบหลักเป็นการส่งถ่ายข้อมูลผ่านเลเยอร์ การถ่วงผ่านข้อมูล จากโหนดในเลเยอร์แรกสู่เลเยอร์ถัดไป มี Threshold ในเลเยอร์สุดท้าย ใช้ฟัซซี่ลอจิกในขบวนการปรับค่าถ่วงน้ำหนัก

### 1.5 ขอบเขตการวิจัย

ขอบเขตการวิจัยมุ่งเน้นการออกแบบตัวควบคุมฟัซซี่ด้วยซอฟต์แวร์ที่ประยุกต์ขึ้นใช้คอมพิวเตอร์ ในการควบคุมกระบวนการ ซึ่งถือเป็นการจำลองการควบคุมทางอุตสาหกรรมจริง กระบวนการที่ควบคุมเป็นการควบคุมระดับน้ำและกระบวนการควบคุมการไหล ตัวควบคุมฟัซซี่เป็นแบบ 2 อินพุต 1 เอาท์พุต การปรับแต่งพารามิเตอร์ของฟัซซี่พารามิเตอร์ที่ปรับแต่งในการวิจัยนี้มีทั้งหมด 3 ตัวแปร คือในส่วนของ Antecedent ใช้ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกแบบเกาส์เซียน มีตัวแปรสองตัวที่ต้องปรับแต่งคือค่ากลาง (Center) และความกว้าง (Width) และในส่วนของ Consequent มีตัวแปรหนึ่งตัวคือเอาท์พุตกฎการควบคุมฟัซซี่ ทดลองการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราขยายของตัวแปรอินพุตที่มีต่อสมรรถนะของระบบควบคุมและประสิทธิภาพการเรียนรู้ของตัวควบคุมนี้



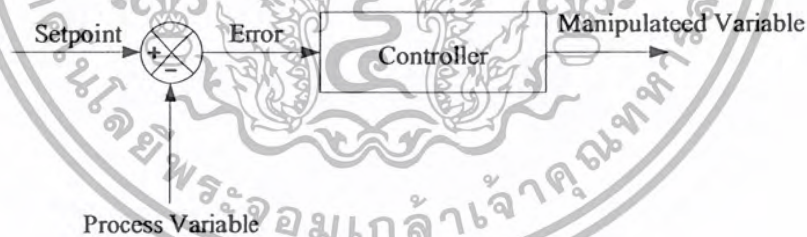
## บทที่ 2

# องค์ประกอบของระบบควบคุม

วัตถุประสงค์ของหัวข้อปริญญาโทนี้แสดงถึง ความจำเป็นในการควบคุมกระบวนการแบบอัตโนมัติกระบวนการก็คือ ลักษณะทางพลศาสตร์(Dynamic) ตามธรรมชาติที่แปรเปลี่ยนอยู่ตลอดเวลา การควบคุมกระบวนการอัตโนมัติ คือ การรักษาให้ตัวแปรทางกายภาพ ของกระบวนการที่ต้องการควบคุมให้คงที่ เช่น อุณหภูมิ ความดัน อัตราการไหล และปริมาณต่าง ๆ ทางกายภาพ

### 2.1 การควบคุมกระบวนการอัตโนมัติ

การควบคุมกระบวนการแบบอัตโนมัติ เป็น การควบคุมที่มีการรับค่าตัวแปรกระบวนการ (Process variable) เช่น อุณหภูมิ (Temperature), ความดัน (Pressure), อัตราการไหล (Flows) และค่าตำแหน่งต่างๆ(Composition) ในการควบคุมกระบวนการให้เป็นผลสำเร็จ ได้ นั้น เราต้องการหาความคลาดเคลื่อน(Error) โดยการวัดค่าตัวแปรเหล่านี้ แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ตั้งไว้ (Set point) แล้วตัดสินใจว่าทำอย่างไรกับค่าความแตกต่างนี้เพื่อให้ได้ค่าที่เราต้องการ ซึ่งสามารถทำได้ โดยใช้ผู้ปฏิบัติการ(Operator) แต่ในโรงงานส่วนใหญ่แล้วจะมีตัวแปรต่างๆ เหล่านี้มากมาย ทำให้ต้องใช้คนมากตามไปด้วย



ภาพที่ 2.1 แสดงการควบคุมกระบวนการ

ในการทำงานเช่นนี้ ระบบควบคุมดังภาพที่ 2.1 จะต้องได้รับการออกแบบมาให้มีส่วนประกอบที่สำคัญสำหรับการควบคุม 4 อย่างดังนี้

1. ตัวตรวจจับสัญญาณ (Sensor) เป็นอุปกรณ์ตัวแรก (Primary element)
2. ตัวส่งผ่านสัญญาณ (Transmitter) เป็นอุปกรณ์ตัวที่สอง (Secondary element)
3. ตัวควบคุม (Controller) เป็นสมองของระบบควบคุม
4. อุปกรณ์ควบคุมตัวสุดท้าย (Final control element) เป็นตัวส่งสัญญาณไปที่ระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปฏิบัติการ 3 อย่างที่ต้องมีในระบบควบคุม คือ

1. การวัด(Measurement) เป็นการวัดค่าตัวแปรที่ถูกควบคุม ที่กระทำโดยตัวตรวจจับสัญญาณและตัวส่งผ่านสัญญาณ
2. การตัดสินใจ(Decision) ขึ้นอยู่กับการวัดตัวควบคุมต้องตัดสินใจว่าจะทำอะไรเพื่อให้ได้ค่าตัวแปรตามที่เรากำลังต้องการ
3. การกระทำ(Action) เป็นผลจากการตัดสินใจของตัวควบคุมจะต้องถูกกระทำโดยอุปกรณ์ควบคุมตัวสุดท้าย

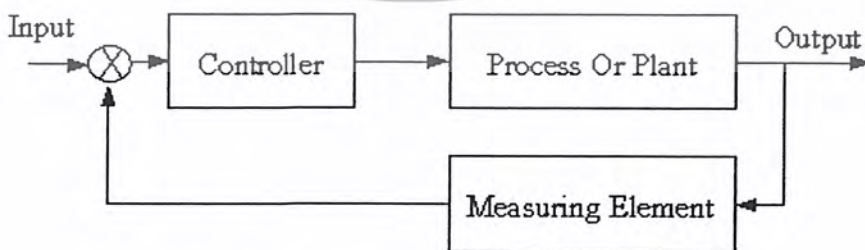
ระบบควบคุมอาจแบ่งอย่างง่ายๆ ออกเป็น 2 แบบคือ ระบบควบคุมแบบ Open Loop และระบบควบคุมแบบ Closed Loop

ระบบควบคุม Open Loop เป็นระบบควบคุมเอาต์พุตของระบบจะไม่มีผลต่อการควบคุม นั่นคือ เอาต์พุตของระบบจะไม่ถูกต้อง หรือถูกป้อนกลับเพื่อมาเปรียบเทียบกับอินพุตดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 แสดงระบบควบคุมแบบ Open Loop

ระบบควบคุมแบบ Closed loop เป็นระบบควบคุมแบบหนึ่งซึ่งสัญญาณเอาต์พุตจะส่งผลโดยตรงต่อการควบคุม ดังนั้นระบบควบคุมแบบ Closed loop ก็คือระบบควบคุมแบบป้อนกลับนั่นเอง สัญญาณค่าความคลาดเคลื่อน ซึ่งเป็นสัญญาณความแตกต่างระหว่างสัญญาณอินพุตกับสัญญาณการป้อนกลับ เพื่อที่จะลดค่าความคลาดเคลื่อนให้น้อยลง และทำให้เอาต์พุตของระบบมีค่าที่ต้องการ สัญญาณการป้อนกลับนี้อาจเป็นสัญญาณจากเอาต์พุตโดยตรง หรือเป็นสัญญาณที่อยู่ในรูปของฟังก์ชันก็ได้ ระบบควบคุมแบบ Closed loop แสดงได้ดังภาพที่ 2.3

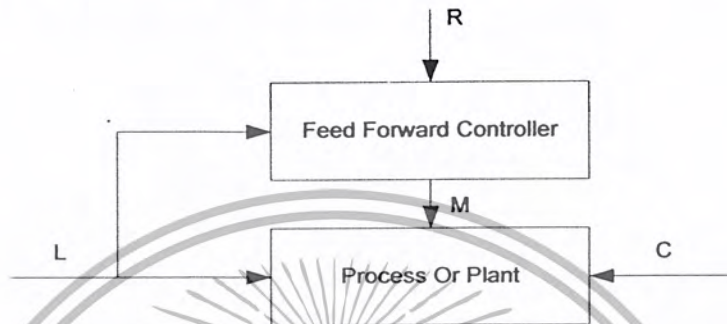


ภาพที่ 2.3 แสดงระบบควบคุมแบบ Closed loop

## 2.2 ประเภทของการควบคุม

- การควบคุมแบบไปข้างหน้า(Feed forward control)

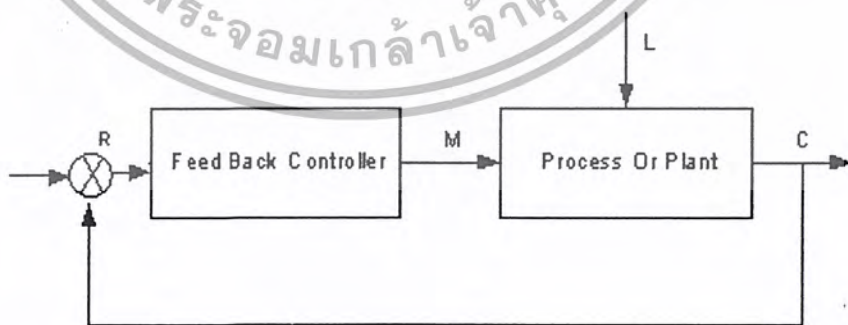
จุดประสงค์ของการควบคุมแบบไปข้างหน้า คือ การวัดการรบกวนกระบวนการและชดเชยให้กับมัน ก่อนที่ค่าตัวแปรที่ถูกควบคุมจะเบี่ยงเบนไปจากค่าที่ตั้งไว้ ถ้าหากเราประยุกต์ใช้ได้ ค่าตัวแปรที่ถูกควบคุมจะไม่เบี่ยงเบนไปจากค่าที่ตั้งไว้ และนำมาประยุกต์ใช้ได้อย่างถูกต้อง ค่าตัวแปรที่ถูกควบคุมจะไม่เบี่ยงเบนไปจากค่าเป้าหมาย



ภาพที่ 2.4 แสดงการควบคุมแบบไปข้างหน้า

- การควบคุมแบบป้อนกลับ(Feed back control)

การควบคุมแบบป้อนกลับ คือ เป็นวิธีการที่ง่ายที่ชดเชยการรบกวนกระบวนการทุกชนิด การรบกวนการทุกๆ ตัวจะมีผลต่อตัวแปรที่ถูกควบคุมและเมื่อค่าตัวแปรเบี่ยงเบนไปจากค่าที่ตั้งไว้ ตัวควบคุมจะเปลี่ยนแปลงค่าเอาท์พุทให้กลับเข้าสู่ค่า เป้าหมายแต่มันสามารถชดเชยการรบกวนได้เพียงหลังจากที่ตัวแปรที่ถูกควบคุม เบี่ยงเบนไปจากค่าที่ตั้งไว้แล้วเท่านั้น นั่นคือ การรบกวนจะกระจายไปยังกระบวนการทั้งหมด ก่อนที่การควบคุมแบบป้อนกลับจะชดเชยให้มัน



ภาพที่ 2.5 แสดงการควบคุมแบบป้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

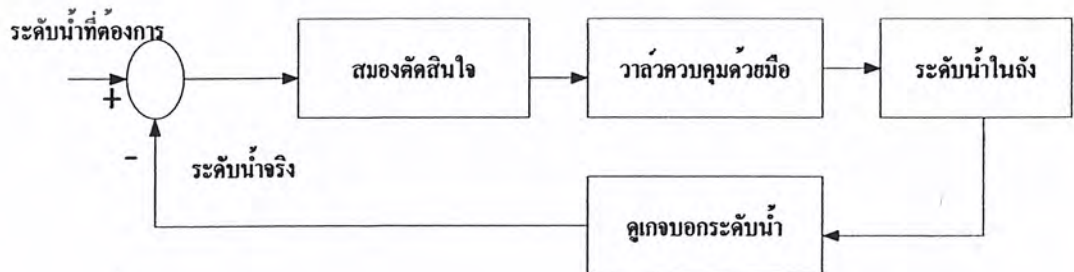
### 2.3 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับการควบคุมแบบป้อนกลับ

โดยทั่วไปเป้าหมายของระบบควบคุมกระบวนการต่างๆ ในอุตสาหกรรมนั้น คือการรักษาปริมาณทางฟิสิกส์ อันได้แก่ ค่าอุณหภูมิ (Temperature), ค่าความดัน (Pressure), ค่าอัตราการไหล (Flow Rate), ค่าระดับ (Level), ค่าความเป็นกรดต่าง (PH) และค่าอื่นๆ ให้มีค่าใกล้เคียงกับค่าเป้าหมาย (Set point) หรือค่าที่ต้องการมากที่สุด แม้ว่าสถานะการทำงานและสภาพแวดล้อมอาจเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาซึ่งการควบคุมที่ดีย่อมเริ่มจากการเลือกแบบการควบคุมที่เหมาะสมในอดีต การควบคุมกระบวนการต่างๆ จะเลือกใช้ การควบคุมแบบง่ายๆ ด้วยมือ (Manual control) ซึ่งอาศัยพนักงานหรือผู้ควบคุม(Operator) ซึ่งจะคอยทำหน้าที่เกี่ยวกับการตรวจวัดและปรับแต่งการควบคุม ผลตอบสนองเป็นไปตามต้องการ ยกตัวอย่าง เช่น การควบคุมระดับน้ำในถัง ดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 แสดงการควบคุมระดับน้ำในถังแบบ Manual control

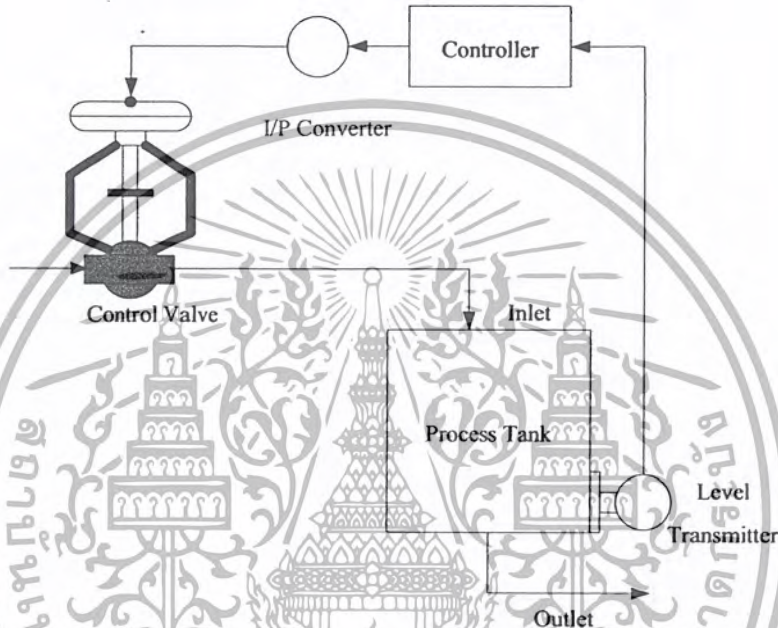
จากรูป การควบคุมระดับน้ำในถังจะอาศัยพนักงานคอยทำหน้าที่ในการตรวจวัดระดับน้ำในถังว่าได้ที่ต้องการหรือไม่โดยใช้สายตาจากเกจวัดระดับ (Level gauge) จากนั้นสมองจะตัดสินใจสั่งการให้มือทำหน้าที่เปิด หรือ ปิดวาล์ว เพื่อให้ระดับน้ำเป็นไปตามต้องการ ซึ่งขั้นตอนของการควบคุมสามารถเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมได้ดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 แสดงบล็อกไดอะแกรมของการควบคุมระดับน้ำในถังแบบ Manual control

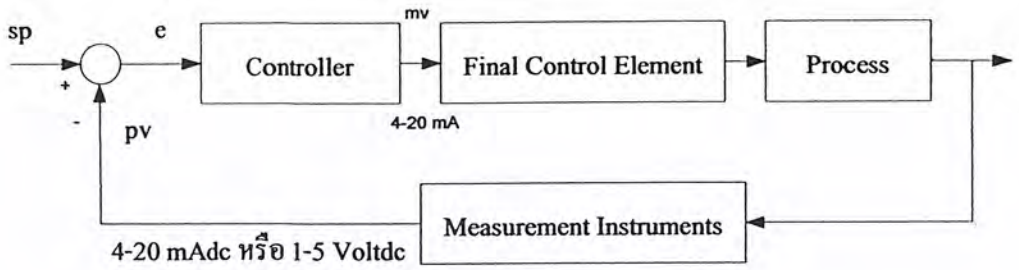
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นว่าการควบคุมแบบนี้ จำเป็นต้องอาศัยประสบการณ์และความชำนาญของพนักงาน ดังนั้น การควบคุมจะดีหรือไม่อย่างไรจะขึ้นอยู่กับพนักงานผู้ควบคุมเป็นหลัก ซึ่งในการปฏิบัติงานตามความเป็นจริงแล้ว มนุษย์หรือพนักงานควบคุมนั้น ไม่สามารถทำงานให้ดีได้เท่ากันตลอดเวลา จึงทำให้ประสิทธิภาพของการควบคุมลดลง ดังนั้นปัจจุบัน โครงการที่ต้องการการควบคุม ที่มีความแม่นยำและประสิทธิภาพสูง จำเป็นต้องนำการควบคุมแบบอัตโนมัติ(Automatic control) มาใช้งาน ซึ่งจากกระบวนการควบคุมระดับน้ำที่เป็นแบบ Manual control ตามภาพที่ 2.6 ถ้านำมาทำการควบคุมแบบอัตโนมัติ สามารถแสดงการควบคุมได้ดังภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 แสดงการควบคุมระดับน้ำในถังด้วยการควบคุมแบบอัตโนมัติ

จากภาพที่ 2.8 ระดับน้ำในถังกระบวนการจะถูกวัด โดยเครื่องวัดระดับ (Level transmitter) และส่งสัญญาณในการวัดให้กับเครื่องควบคุม (Controller) ซึ่งเครื่องควบคุม จะนำไปใช้เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจสั่งให้วาล์วควบคุมเปิด หรือ ปิด เพื่อให้ระดับน้ำเป็นไปตามต้องการ โดยเครื่องควบคุมจะเป็นตัวที่ทำหน้าที่หลักในการคำนวณหาสัญญาณควบคุมที่เหมาะสมตามกฎเกณฑ์การควบคุม(Control law) ที่พนักงานได้กำหนดไว้ล่วงหน้า สำหรับระบบควบคุมแบบอัตโนมัติที่เราพบเห็นกันอยู่บ่อยๆ ในโรงงานอุตสาหกรรม คือ ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback control system) โดยรูปแบบการควบคุมกระบวนการทางอุตสาหกรรมแบบป้อนกลับ โดยทั่วไปแสดงดังภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบป้อนกลับโดยทั่วไป

จากบล็อกไดอะแกรมดังภาพที่ 2.9 จะสังเกตเห็นว่าระบบควบคุมทางอุตสาหกรรมแบบป้อนกลับทั่วไปประกอบด้วยอุปกรณ์ 4 ส่วน คือ

### 2.3.1 อุปกรณ์วัด (Measuring Instruments)

หมายถึง ตัวตรวจจับสัญญาณ (Sensor), ตัวทรานสดิวเซอร์ (Transducer) หรืออุปกรณ์แปลง (Transmitter) หรือเครื่องวัดสัญญาณอื่นๆ ในกระบวนการเพื่อนำสัญญาณที่ได้ไปใช้เป็นตัวแปรในการควบคุม โดยสัญญาณขาออกของอุปกรณ์วัดตามทั่วไปจะเป็นสัญญาณมาตรฐานทางอุตสาหกรรม เช่น สัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง 4 ถึง 20 มิลลิแอมป์ สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 1 ถึง 5 โวลท์ หรือ สัญญาณลมขนาด 3 – 15 ปอนด์/ตารางนิ้ว เป็นต้น

อุปกรณ์วัดจะเป็นตัววัดปริมาณทางฟิสิกส์ เชิงกลและเชิง ไฟฟ้าของตัวแปรกระบวนการ ส่วนอุปกรณ์ส่งสัญญาณ จะทำหน้าที่ เปลี่ยนปรากฏการณ์เหล่านี้เป็นสัญญาณ ที่สามารถส่งออกมา ซึ่งสัญญาณที่ได้นั้น จะมีความสัมพันธ์กับตัวแปรในกระบวนการ อุปกรณ์วัดและอุปกรณ์ส่งสัญญาณจะมีขอบข่ายประกอบกัน 3 เทอมคือ พิกัด (Range) ของเครื่องมือวัดถูกกำหนดโดยค่าสูงและต่ำสุดของตัวแปรกระบวนการที่ทำกรวัด โดยพิจารณาอุปกรณ์วัดและส่งสัญญาณที่ถูกปรับ เทียบไว้แล้ว ให้มีการวัดระหว่าง 20 psig และ 50 psig นั่นคืออุปกรณ์วัดแรงดันและส่งสัญญาณดังกล่าวมีพิกัด 20 ถึง 50 psig ช่วงการวัด (Span) ของเครื่องมือวัดคือความแตกต่างระหว่างค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของพิกัด(Range) นั่นคืออุปกรณ์วัดแรงดันและส่งสัญญาณนี้ มีช่วงการวัดเท่ากับ 30psig ส่วน ซีโร (Zero) ของเครื่องมือวัดคือค่าต่ำสุดของพิกัดซึ่งมีค่า 20 psig

ในบางครั้งที่เป็นสิ่งสำคัญ สำหรับการวิเคราะห์ระบบที่จะรู้ถึงพารามิเตอร์ที่เป็นตัวบ่งบอกในพฤติกรรมของอุปกรณ์วัดและส่งสัญญาณ ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่า การควบคุมกระบวนการต่างๆ ทางอุตสาหกรรมแบบอัตโนมัติ นั้น เป็นการรักษาระดับปริมาณในการทำงาน ทางฟิสิกส์ ซึ่งรูปแบบการควบคุมจะใช้ตัวควบคุมที่ทำงานด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์เป็นเครื่องควบคุมกระบวนการ แทนมนุษย์ ดังนั้นในการทำงานจึงจำเป็นต้องมีเครื่องมือหรืออุปกรณ์วัดที่ทำหน้าที่ในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการต่างๆ ที่ควบคุม โดยสัญญาณที่วัดได้จะนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการตัดสินใจสร้างลักษณะควบคุมไปที่เหมาะสมต่อไป อุปกรณ์เหล่านี้อาจจะได้แก่ ตัวตรวจจับสัญญาณ(Sensor), ทรานสดิวเซอร์(Transducer) หรืออุปกรณ์แปลงหรือ วัดสัญญาณอื่นๆ ที่ทำหน้าที่ตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการหรือตัวแปรกระบวนการและส่งสัญญาณที่วัดได้ให้กับตัวควบคุมเพื่อใช้เป็นเกณฑ์เลือกสัญญาณควบคุม ที่เหมาะสม อุปกรณ์วัดหรือเครื่องมือวัดมีอยู่หลายอย่างด้วยกัน แต่ที่มักพบเห็นและใช้กันมากในอุตสาหกรรม ได้แก่ ตัววัดอุณหภูมิแบบอาร์ทีดี (Resistance temperature detectors หรือ RTD) ตัววัดอุณหภูมิแบบเทอร์โมคัพเปิ้ล (Thermocouple) ตัววัดความดันแตกต่าง (Differential pressure transmitter หรือ D/P transmitter) ตัวแปลงสัญญาณกระแสไฟฟ้าเป็นสัญญาณลม (Current-To-Pneumatic converter หรือ I-To-P converter) ตัวแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้า เป็นสัญญาณลม (Voltage-To-Pneumatic converter หรือ E-To-P converter) และตัวแปลงความดันเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้า (Pressure-To-Current converter หรือ P-To-I converter) เป็นต้น

ตัวตรวจจับสัญญาณ (Sensors) ในระบบอัตโนมัติใดๆ ตัวตรวจจับสัญญาณเป็นตัวเชื่อมอันดับแรกในสายงานของการควบคุมเพื่อจะตรวจสอบดูว่าอะไรจะเกิดขึ้นเหมือนกับการตรวจสอบไม่ให้มีการหักเหไปจากข้อกำหนด

เครื่องมือวัด (Measuring instrument) คือการรวมตัวของ ตัวตรวจจับสัญญาณ (sensor) และ ตัวแสดงค่า (Indicator) การวัดสามารถกระทำได้ 2 วิธี คือ วิธีแรก คุณสมบัติทางฟิสิกส์บางประการ ของ ตัวตรวจจับสัญญาณ (Sensors) สามารถใช้ประโยชน์ได้โดยตรงหรือเปลี่ยนแปลง โดยให้เปรียบเทียบกับสิ่งที่เรารู้แล้วแต่ปรับค่าให้มีคุณภาพที่แท้จริงเหมือนกัน ในวิธีที่สองนี้ กรรมวิธี ของการวัดเกี่ยวกับการกำหนดค่าที่แน่นอนให้เท่ากันระหว่างปริมาณค่า 2 ค่าที่คล้ายกัน

ตัวตรวจจับสัญญาณ (Sensor) ต้องมีพื้นฐานที่สำคัญดังต่อไปนี้

1. ต้องรู้ว่าผลอะไรจะเกิดขึ้นเมื่อ ตัวตรวจจับสัญญาณ (Sensors) กำหนดวัดปริมาณค่าอันหนึ่ง ในกรณีที่ดีที่สุด ตัวตรวจจับสัญญาณ (Sensors) ไม่ควรเปลี่ยนแปลงสภาวะซึ่งดำรงอยู่ก่อนที่จะทำการวัด ในทางปฏิบัติจะกระทำได้ยากมาก

2. ตัวตรวจจับสัญญาณ (Sensors) บางชนิดผลตอบสนองต่อคุณสมบัติอื่นเสียมากกว่า สิ่งพื้นฐานที่ต้องการ เช่น โวลท์มิเตอร์ จะมีผลตอบสนอง (Response) ต่อค่าเฉลี่ย (Average) ของสัญญาณกระแสสลับหรือค่าพีค (Peak) ดังนั้นมีความสำคัญในการเลือก ตัวตรวจจับสัญญาณ (Sensors) จะต้องให้มั่นใจว่ามันจะมีผลตอบสนอง (Response) ต่อคุณสมบัติที่เราต้องการเท่านั้น

3. ความเร็วของผลตอบสนอง(Response) ซึ่งตัวตรวจจับสัญญาณ (Sensor) จะต้องตอบสนองอย่างรวดเร็วต่อการเปลี่ยนสภาวะของกระบวนการ

### 2.3.2 ตัวควบคุม (Controller)

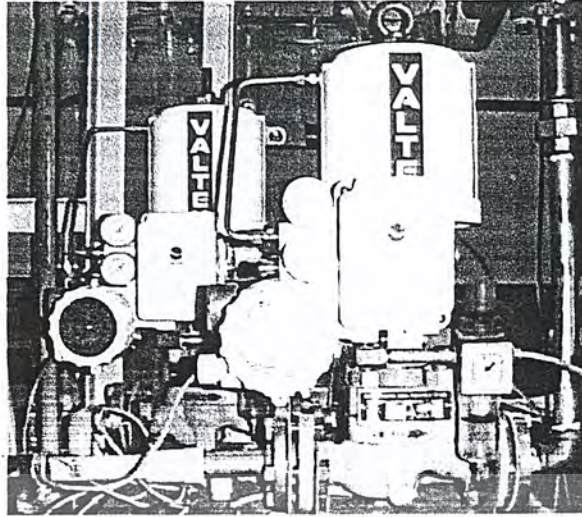
เป็นเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณควบคุม เพื่อทำหน้าที่ควบคุมและสั่งการด้วยการสร้างสัญญาณสำหรับควบคุมกระบวนการต่างๆ ให้ระบบหรือกระบวนการที่ต้องการจะควบคุม มีเอาต์พุตหรือให้เกิดผลตอบสนองเป็นไปตามต้องการซึ่งสัญญาณดังกล่าวจะเป็นไปตามกฎและรูปของการควบคุมที่ผู้ควบคุมได้เลือกและกำหนดไว้ล่วงหน้า ค่าเป้าหมายและตัวแปรของกระบวนการนั่นเอง

ปัจจุบันเครื่องควบคุมสามารถแบ่งตามโครงสร้างการทำงานได้ 3 ชนิดคือ เครื่องควบคุมแบบนิวเมติกส์ที่ทำงานโดยใช้สัญญาณลม เครื่องควบคุมแบบอิเล็กทรอนิกส์ทำงานโดยใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์เชิงเส้น (Linear circuits) ในการสร้างสัญญาณควบคุม และเครื่องควบคุมแบบดิจิทัลทำงานโดยใช้วงจรตรรก (Logic circuits) หรือไมโครโปรเซสเซอร์สร้างสัญญาณควบคุม

2.3.3 อุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย (Final Control Element) คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ ปรับสถานะของกระบวนการ ด้วยการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการ ตามคำสั่งหรือสัญญาณควบคุมที่ได้รับจากตัวควบคุม อุปกรณ์ควบคุมสุดท้ายนั้นมีอยู่หลายอย่างด้วยกัน เช่น วาล์วควบคุม (Control valve) อินเวอร์เตอร์ ในบางครั้งที่เป็นสิ่งสำคัญ สำหรับการวิเคราะห์ระบบที่จะรู้ถึงพารามิเตอร์ที่เป็นตัวบ่งบอกในพฤติกรรมของอุปกรณ์วัดและ ส่งสัญญาณ ในเทอมของอัตราขยายนั้นเป็นสิ่งที่ง่ายมากถ้ารู้เพียงช่วงของการวัด โดยพิจารณาอุปกรณ์วัดแรงดันและส่งสัญญาณแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่มีพิคคเป็น 0 ถึง 200 psig จากอัตราขยายนั้นได้ถูกกำหนดให้เป็นการเปลี่ยนแปลงของทางออกหรือตัวแปรผลตอบสนองหารด้วยการเปลี่ยนแปลงของทางเข้าหรือฟังก์ชันขับในกรณี ทางออกของสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์คือ สัญญาณกระแส 4 ถึง 20 มิลลิแอมป์

#### - วาล์วควบคุม (Control valve)

วาล์วควบคุมโดยทั่วไปแล้วใช้สำหรับเป็นอุปกรณ์ควบคุมขั้นสุดท้ายจะพบในกระบวนการที่ควบคุมอัตราการไหล วาล์วควบคุมมีการทำงานคล้ายกับ ตัวต้านทานการไหลที่ปรับค่าได้ (Variable Restriction) โดยการเปลี่ยนแปลงการเปิดปิดและจะทำหน้าที่ส่งสัญญาณเพื่อควบคุมอัตราการไหล



ภาพที่ 2.10 วาล์วควบคุม (Control Valve)

- กริยาของวาล์วควบคุม (Control valve action)

เมื่อเกิดความล้มเหลวหรือผิดปกติของแหล่งจ่ายกำลังตำแหน่งของวาล์วจะต้องอยู่ตำแหน่ง (Fail Position) ใด หลักการของการพิจารณา ก็คือ เหตุผลของความปลอดภัย ถ้าวิศวกรตัดสินใจในเรื่องของความปลอดภัยแล้วว่า ควรจะให้วาล์วควบคุมนั้นปิด ก็จะต้องเลือกแบบ ปกติปิด หรือที่เรียกว่า Fail To Closed (FC) และแน่นอนจะต้องมีวาล์วอีกแบบหนึ่ง ก็คือ แบบปกติเปิด Fail To Open (FO) เมื่อเกิดผิดปกติของแหล่งจ่ายกำลังวาล์ว จะถูกเปิดวาล์วควบคุมแบบนิวแมติกส์ นั้นจะใช้ความดันลมเป็นแหล่งจ่ายกำลัง วาล์วแบบปกติปิดจะต้องการความดันลมเพื่อที่จะเปิด เพราะฉะนั้นจะเป็นการทำงานแบบ ความดันลมเพื่อเปิด Air to Open (AO) และวาล์วแบบปกติเปิดจะต้องการความดันลมเพื่อปิด ซึ่งเป็นการทำงานแบบ ความดันลมเพื่อปิด Air to Close (AC)

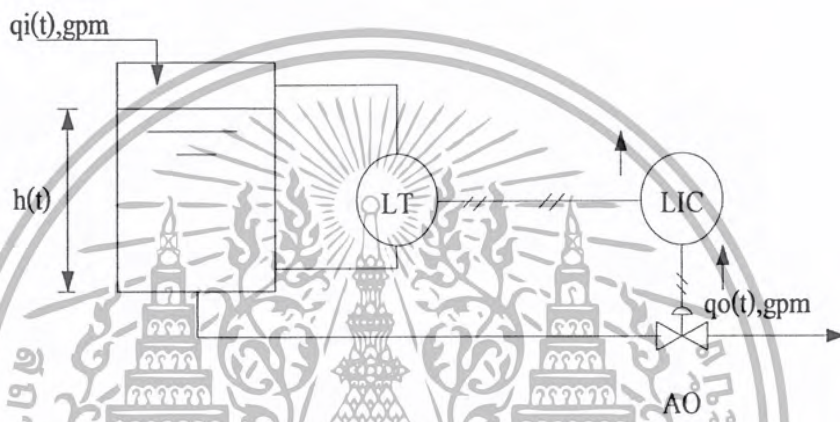
2.3.4 กระบวนการ (Plant or Process) หมายถึง ระบบหรือกระบวนการทางฟิสิกส์ที่ต้องการควบคุมให้มีสถานะเป็นไปตามต้องการเช่นกระบวนการเกี่ยวกับควบคุมระดับของเหลว กระบวนการเกี่ยวกับการควบคุมอุณหภูมิ เป็นต้น ซึ่งสถานะของกระบวนการแสดงด้วยตัวแปรกระบวนการ (Process variable: Pv)

การควบคุมแบบอัตโนมัติจากรูปที่ 4 มีขั้นตอนการทำงานคือ อุปกรณ์วัดหรือเครื่องวัดจะวัดค่าตัวแปรกระบวนการ (Pv) เช่น อุณหภูมิ ความดัน อัตราการไหล และระดับของของเหลว เป็นต้นเพื่อเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงหรือค่าเป้าหมาย(Sp) และตัวควบคุมจะนำค่าความคลาดเคลื่อน (Error) ในการควบคุมมาใช้ในการคำนวณ เพื่อหาสัญญาณควบคุมที่เหมาะสมที่จะไปควบคุมกระบวนการให้เข้าสู่ค่าเป้าหมายที่ต้องการ จะเห็นว่าก่อนที่จะทำการควบคุมกระบวนการใดๆนั้น จะต้องศึกษาถึงชนิดและการทำงานของอุปกรณ์วัด ตัวควบคุมและอุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวมถึงวิธีควบคุมและวิธีการปรับแต่งต่างๆเสียก่อน เพื่อที่จะได้เลือกใช้อุปกรณ์และรูปแบบของการควบคุมได้อย่างถูกต้องในอันที่จะทำให้การควบคุมมีประสิทธิภาพสูงสุด

พิจารณาวงรอบของการควบคุมระดับของเหลวในภาพที่ 2.15 ถ้าระดับของเหลวเคลื่อนที่เหนือจุดเป้าหมายเครื่องควบคุมก็จะต้องเปิดวาล์ว เพื่อที่จะให้ระดับของเหลวกลับเข้าสู่จุดเป้าหมาย เมื่อวาล์วที่ใช้เป็นแบบแรงดันลมเพื่อเปิด(AO) เครื่องควบคุมจะต้องเพิ่มขนาดของสัญญาณทางออก (สังเกตลูกศรในรูป) โดยจะต้องตั้งเครื่องควบคุมไว้ที่ กริยาทางออกแบบตรง (Direct action) และบางผู้ผลิตจะเรียกกริยานี้ว่า กริยาเพิ่มขึ้น (Increase) คือมีการเพิ่มขึ้นในสัญญาณทางเข้าของเครื่องควบคุมแล้วเป็นผลให้สัญญาณทางออกของเครื่องควบคุมจะเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 2.11 วงรอบการควบคุมของระดับของเหลว

สรุปไว้ว่าในการที่จะเลือกกริยาของเครื่องควบคุมวิศวกรจะต้องรู้ในเรื่องราวต่างๆ ดังนี้ อะไรเป็นสิ่งที่ต้องการจะควบคุมในกระบวนการกริยาของวาล์วควบคุม หรืออุปกรณ์ขั้นสุดท้าย แบบอื่นทั้งสองสิ่งนี้จะต้องถูกนำมาพิจารณาร่วมกัน ผู้อ่านสามารถจะถามตัวเองได้ว่าจะต้องใช้กริยาเครื่องควบคุมแบบใดถ้าหรับใช้กับการควบคุมระดับของเหลว ถ้าใช้วาล์วแบบแรงดันลมเพื่อเปิด(AO) หรือถ้าระดับของเหลวนั้นถูกควบคุมจากอัตราไหลทางเข้าแทนที่จะเป็นการควบคุมจากอัตราไหลทางออก กริยาของเครื่องควบคุมปกติจะตั้ง โดยสวิทช์ที่ด้านข้าง

### บทที่ 3

## ทฤษฎีทางคณิตศาสตร์เกี่ยวกับฟัซซี่

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาวิธีการจัดการสัญญาณให้มีคุณสมบัติที่เป็นเชิงเส้นโดยการใช้อไมโครคอมพิวเตอร์ที่มีโปรแกรมเป็นตัวจัดการสัญญาณจะมีความยืดหยุ่นและสะดวกเมื่อใช้งานเป็นอย่างมาก ทั้งนี้ความเร็วในการประมวลผลของไมโครคอมพิวเตอร์ในยุคปัจจุบันมีความเร็วสูงมากทำให้เกิดปัญหาน้อยมากในการใช้งานกระบวนการจริง ในปี ค.ศ. 1965 Professor Lotfi Zadeh ได้มีการนำเสนอฟัซซี่เซต (Fuzzy set) และฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy logic) เพื่อใช้หาข้อสรุปตามหลักการและเหตุผล เมื่อตัวแปรของระบบถูกนิยามในเชิงคุณภาพและมีความคลุมเครือ ในปี ค.ศ. 1974 Professor E.H. Mamdani ได้นำหลักการนี้มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบตัวควบคุมแบบฟัซซี่ (Fuzzy controller) โดยแปลงความรู้ที่ได้จากประสบการณ์การควบคุมของผู้ปฏิบัติการที่อยู่ในรูปเงื่อนไข ถ้า...แล้ว...ให้เป็นกฎการควบคุม (Fuzzy rule) ที่มีตัวแปรเป็นฟัซซี่เซต ทำให้ทฤษฎีของฟัซซี่เซตและฟัซซี่ลอจิกเข้ามามีบทบาทในการควบคุมกระบวนการทางอุตสาหกรรมเนื่องจากมีข้อดีที่เป็นจุดเด่นหลายประการดังนี้

1. สามารถออกแบบตัวควบคุมได้ โดยไม่ต้องรู้โมเดลทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการ เนื่องจากการออกแบบตัวควบคุม ใช้วิธีแปลงความรู้หรือประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญ ให้เป็นกฎการควบคุมในรูปเงื่อนไข
2. สามารถควบคุมกระบวนการที่ไม่เป็นเชิงเส้นได้ เนื่องจากความไม่เป็นเชิงเส้นนี้จะถูกควบคุมได้ โดยการกำหนดความสัมพันธ์ของกฎการควบคุมแบบไม่เป็นเชิงเส้น
3. สามารถออกแบบตัวควบคุม สำหรับควบคุมกระบวนการที่มีหลายสัญญาณจุดเข้าหลายสัญญาณจุดออกได้สะดวก เนื่องจากความซับซ้อนของความสัมพันธ์ระหว่างแต่ละสัญญาณจุดเข้าและสัญญาณจุดออกจะถูกแทนด้วยความสัมพันธ์ของกฎการควบคุม ซึ่งอยู่ในรูปแบบที่สามารถทำความเข้าใจและทำการปรับเปลี่ยนได้ง่าย

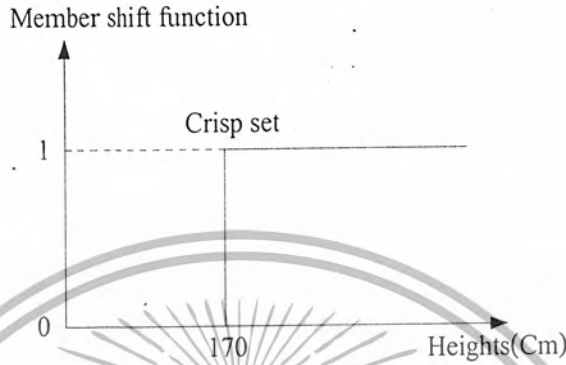
ในการออกแบบตัวควบคุมฟัซซี่จำเป็นจะต้องอาศัยความรู้ทางคณิตศาสตร์เกี่ยวกับฟัซซี่เพื่อใช้เป็นพื้นฐานในการทำความเข้าใจโครงสร้างและหลักการทำงานของตัวควบคุมฟัซซี่ รวมทั้งเพื่อใช้ กำหนดโครงสร้างและวิธีการออกแบบให้เหมาะสมกับการใช้งาน ดังนั้นเนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีทางคณิตศาสตร์เกี่ยวกับฟัซซี่ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 3.1 ฟัซซีเซต (Fuzzy set)

#### 3.1.1 ทฤษฎีเซตแบบเดิม (Crisp set theory)

##### นิยาม 1 คลิซป์เซต (Crisp set)

คลิซป์เซต คือ กลุ่มของสมาชิกที่มีคุณสมบัติตามข้อกำหนด ซึ่งอาจจะมีจำนวนจำกัดหรือไม่จำกัดก็ได้



ภาพที่ 3.1 แสดงคลิซป์เซต

##### นิยาม 2 เอกภพสัมพัทธ์ (Universe of discourse: U)

เอกภพสัมพัทธ์ คือ เซตที่มีสมาชิกเป็นสมาชิกทั้งหมดของขอบเขตที่ทำการพิจารณา กำหนดให้  $\mu$  เป็นสมาชิกใดๆ ของ U เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์  $u \in U$

##### นิยาม 3 ฟังก์ชันการเป็นสมาชิก (Membership function : $\mu$ )

ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของเซต เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์  $\mu$  ถูกลนิยามดังนี้

- $\mu_A(u)$  มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อ  $u$  เป็นสมาชิกของเซต A
- $\mu_A(u)$  มีค่าเท่ากับ 0 เมื่อ  $u$  ไม่เป็นสมาชิกของเซต A

จะได้ว่า

$$\mu_A(u): U \in (0, 1)$$

$$\mu_A(u) = \begin{cases} 1; u \in A \\ 0; u \notin A \end{cases} \tag{3.1}$$

#### นิยาม 4 การเท่ากันของเซต

เซต A จะเท่ากับเซต B ก็ต่อเมื่อ สมาชิกทุกตัวของเซต A เป็นสมาชิกของเซต B และสมาชิกทุกตัวของเซต B เป็นสมาชิกของเซต A เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์  $A = B$

$$(A = B) \iff ((\forall a \in B) \wedge (\forall b \in A)) \quad (3.2)$$

โดยที่  $a \in A, b \in B$ )

#### นิยาม 5 การเป็นสับเซต (Sub Set)

เซต A จะเป็นสับเซตของเซต B ก็ต่อเมื่อ สมาชิกทุกตัวของเซต A เป็นสมาชิกของเซต B เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์  $A \subseteq B$

$$(A \subseteq B) \iff (\forall a \in B) \quad (3.3)$$

โดยที่  $a \in A$ )

เซต A จะเป็นสับเซตแท้ของเซต B ก็ต่อเมื่อ สมาชิกทุกตัวของเซต A เป็นสมาชิกของเซต B และเซต A ไม่เท่ากับเซต B เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์  $A \subset B$

$$(A \subset B) \iff ((\forall a \in B) \wedge (A \neq B); a \in A) \quad (3.4)$$

#### นิยาม 6 ปฏิบัติการพื้นฐานของเซต

คอมพลีเมนต์ คือ ตัวปฏิบัติการในการสร้างเซตใหม่จากเซตเดิม โดยที่สมาชิกของเซตใหม่คือสมาชิกของเอกภพสัมพัทธ์ U ที่ไม่เป็นสมาชิกของเซตเดิม เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ ดังนี้

$$A' = \{ x \mid (x \in u) \wedge (x \notin A) \} \quad (3.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยูเนียน คือ ตัวปฏิบัติการในการสร้างเซตใหม่จากเซตเดิม 2 เซต โดยที่สมาชิกของเซตใหม่ ได้จากการรวมสมาชิกทั้งหมดที่เป็นสมาชิกของเซตใดเซตหนึ่ง หรือทั้ง 2 เซต เขียนแทนด้วย สัญลักษณ์ดังนี้

$$A \cup B = \{ x \mid (x \in A) \vee (x \in B) \} \tag{3.6}$$

อินเตอร์เซกชัน คือ ตัวปฏิบัติการในการสร้างเซตใหม่จากเซตเดิม 2 เซต โดยที่สมาชิกของเซตใหม่ได้มาจากการรวมสมาชิกทั้งหมดที่เป็นสมาชิกของเซตเดิมทั้ง 2 เซต เขียนแทนด้วย สัญลักษณ์ ดังนี้

$$A \cap B = \{ x \mid (x \in A) \wedge (x \in B) \} \tag{3.7}$$

### 3.1.2 ทฤษฎีฟัซซีเซต (Fuzzy Set Theory)

#### นิยาม 7 ฟัซซีเซต (Fuzzy Set)

ฟัซซีเซต คือเซตของคู่อันดับ  $u$  และฟังก์ชันการเป็นสมาชิก  $\mu_A(u)$  โดยที่  $u$  เป็นสมาชิกใดๆ ของ เอกภพสัมพัทธ์  $U$  เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ ดังนี้

$$A = \{ (u, \mu_A(u)) \mid u \in U \} \tag{3.8}$$

ในเซตธรรมดา การแสดงความสัมพันธ์ของสมาชิกภายในกลุ่มแต่ละตัวกับค่าจำกัดความของเซตนั้นๆ จะแสดงว่าสมาชิกตัวใด “เป็น” หรือ “ไม่เป็น” สมาชิกของเซตนั้น ซึ่งมีค่าเป็น  $(0, 1)$  แต่สำหรับฟัซซีเซต การแสดงความสัมพันธ์นี้จะแสดงในลักษณะของระดับความเป็นสมาชิกที่มีค่าอยู่ในช่วง  $(0, 1)$  ถ้าเรากำหนดให้  $U$  เป็นเซตเอกภพสัมพัทธ์ และฟัซซีเซต  $A$  มีสมาชิกของเซตเป็น  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  โดยที่  $x_i (i = 1, 2, 3, \dots, n)$  เป็นค่าฟัซซีเซตแล้ว การแสดงความสัมพันธ์ในรูปแบบฟัซซีเซตของฟัซซีเซต  $A$  สามารถแทนได้โดย  $\mu_A(x_i)$  ซึ่งทางทฤษฎีเซตเรียกว่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function) สามารถเขียนเป็นสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$\mu_A(x_i) \in U \rightarrow [0, 1] \tag{3.9}$$

โดยที่  $\mu_A(x_i)$  คือฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเซต  $A$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาเอกสารส่งต่อหรือแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกจะสอดคล้องกับคำจำกัดความของเซต ซึ่งคำจำกัดความก็คือ ตัวแปรต่างๆ ของฟัซซี่เซต หรือ ตัวแปรฟัซซี่ (Fuzzy Variable) หรือ ตัวแปร Linguistic ที่อยู่ภายใต้ขอบเขตของเซตเอกภพสัมพัทธ์หรือระบบใดๆ ที่เราสนใจ ตัวอย่างเช่น พิจารณา “ระดับน้ำ” เป็นตัวแปรฟัซซี่ ค่าของตัวแปรเซตนี้คือ (ต่ำ, ปานกลาง, สูง) ซึ่งเซตของค่าตัวแปรฟัซซี่นี้ถูกเรียกว่า เทอมเซต (Term Set) หรือ เซตย่อย โดยที่ตัวแปรฟัซซี่แต่ละตัวอาจมีส่วนขยาย (Hedges หรือ Qualifies) ที่ช่วยให้ตัวแปรสามารถมีความยืดหยุ่นได้มากขึ้น อาทิเช่น จากค่าของตัวแปรระดับน้ำต่ำ เป็น ต่ำมาก, สูง เป็น ค่อนข้างสูง ซึ่งคำว่า “มาก” และ “ค่อนข้าง” เป็นส่วนขยาย ซึ่งในทางปฏิบัติสามารถแทนได้โดยการใช้ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

เพื่อให้เข้าใจความหมายของฟัซซี่เซต ได้ง่ายขึ้นจะทำการเปรียบเทียบการแทนข้อมูลระหว่างฟัซซี่เซตกับเซตธรรมดา ตัวอย่างเช่น การพิจารณาความสูงของผู้ชายไทย ในกรณีของเซตธรรมดาการแปลงข้อมูลเพื่อคำนวณค่าความเป็นสมาชิกจะต้องมีการกำหนดค่าเทร โชลด์ (Threshold) เพื่อใช้เป็นตัวตัดสินว่ามีสมาชิกใดในเอกภพสัมพัทธ์ที่เป็นสมาชิกเซตที่กำลังพิจารณาอยู่บ้าง สำหรับเซตความสูงของผู้ชายไทยซึ่งสมมติให้อยู่ในช่วง 140 – 180 ซม. (โดเมนของเซตเอกภพสัมพัทธ์) ในที่นี้เราสนใจคนสูง ถ้าเรากำหนดให้เซต A เป็นเซตของคนสูงในกรณีของเซตธรรมดาจึงต้องมีการกำหนดค่าเทร โชลด์หรือค่าขึ้นเริ่มเปลี่ยน ซึ่งในที่นี้กำหนดให้เท่ากับ 170 ซม. นั่นคือ ถ้าผู้ชายไทยคนใดมีความสูงตั้งแต่ 170 ซม. ขึ้นไปก็จะถือว่าเป็นสูงหรือเป็นสมาชิกของเซต A นั่นเอง ซึ่งสามารถเขียนเป็นฟังก์ชันความเป็นสมาชิกได้ดังนี้

$$\mu_A(x_i) = \{x_i \geq 170\} \quad [0, 1]$$

โดยที่  $x_i$  คือ ความสูงของผู้ชายไทยคนที่  $i$  และสามารถเขียนเป็นกราฟแสดงค่าความเป็นสมาชิกได้ดังภาพที่ 3.2

Member shift function:  $\mu_A(x_i)$

140 150 160 170 Heights(Cm)

ภาพที่ 3.2 แสดงค่าความเป็นสมาชิกของเซต A ในกรณีเซตธรรมดา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในแนวตั้งซึ่งแทนค่าระดับความเป็นสมาชิก 0 (ไม่เป็นสมาชิก) และ 1 (เป็นสมาชิก) จะเห็นว่าในกรณีของคนที่มีความสูงตั้งแต่ 170 ซม. ขึ้นไปเท่านั้นจึงจะเป็นสมาชิกของเซต A ได้ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

แต่ในกรณีของฟuzzyเซต ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกจะมีความยืดหยุ่นและสอดคล้องกับความเป็นจริงมากกว่าเซตธรรมดา ซึ่งในที่นี้ “ความสูง” ก็คือ ตัวแปรฟuzzy โดยเราสามารถกำหนดค่าความเป็นสมาชิกให้กับเทอมเซตของคนสูงได้

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

สามารถแสดงค่าระดับความเป็นสมาชิกของสมการ ได้ดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 แสดงค่าความเป็นสมาชิกของเทอมเซต A ในกรณีฟuzzyเซต

พิจารณากราฟจะเห็นได้ว่า ในกรณีของฟuzzyเซตกราฟจะมีความต่อเนื่องของค่าระดับความเป็นสมาชิกในช่วง (0, 1) ยกตัวอย่างเช่น คนที่มีความสูง 165 ซม. กรณีของฟuzzyยังถือว่าเป็นคนสูง โดยมีค่าระดับความเป็นสมาชิกของเซตของคนสูงเท่ากับ 0.5 ในขณะที่เซตธรรมดาเขาไม่ได้เป็นสมาชิกของเซ A เลยทั้งๆที่เขาที่มีความสูงแตกต่างจากคนสูงของเซตธรรมดาเพียงไม่กี่เซนติเมตรเท่านั้น หรือแม้แต่กรณีของคนสูง 169 ซม. ก็เช่นกัน ในเซตธรรมดาจะถือว่าเขาไม่ใช่คนสูงเลย ซึ่งจะไม่ตรงตามความเป็นจริง ในขณะที่กรณีฟuzzyเซตเขาจะเป็นสมาชิกของคนสูงด้วยค่าระดับความเป็นสมาชิกเท่ากับ 0.9 ซม. ซึ่งเกือบจะเท่าคนสูงเลขที่เดียว

นิยาม 8 ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของฟuzzyเซต (Membership function of fuzzy set:  $\mu_A(u)$  )

ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของฟuzzyเซต A ถูกนิยามให้มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์  $\mu_A(u)$

- โดยที่ ค่า  $\mu_A(u)$  เป็นค่าที่ระบุถึงระดับความเป็นสมาชิกของ u ในฟuzzyเซต A
- ถ้า  $\mu_A(u)$  มีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่า u ไม่มีความเป็นสมาชิกของฟuzzyเซต A
- ถ้า  $\mu_A(u)$  มีค่าน้อย แสดงว่า u มีความเป็นสมาชิกของฟuzzyเซต A น้อย
- ถ้า  $\mu_A(u)$  มีค่ามาก แสดงว่า u มีความเป็นสมาชิกของฟuzzyเซต A มาก
- ถ้า  $\mu_A(u)$  มีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่า u มีความเป็นสมาชิกของฟuzzyเซต A อย่างสมบูรณ์

จะได้ว่า  $\mu_A(u) \rightarrow (0,1)$  (3.10)



ภาพที่ 3.4 แสดงฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของฟuzzyเซต A และระดับการเป็นสมาชิกของความสูง

นิยาม 9 การเท่ากันของฟuzzyเซต

ฟuzzyเซต A จะเท่ากับฟuzzyเซต B ก็ต่อเมื่อ สมาชิก u ทุกตัวในเอกภพสัมพัทธ์ U มีค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของฟuzzyเซต A เท่ากับค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของฟuzzyเซต B เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์  $A = B$

$$(A = B) \iff (\mu_A(u) = \mu_B(u)) \tag{3.11}$$

โดยที่  $\forall (u \in U)$

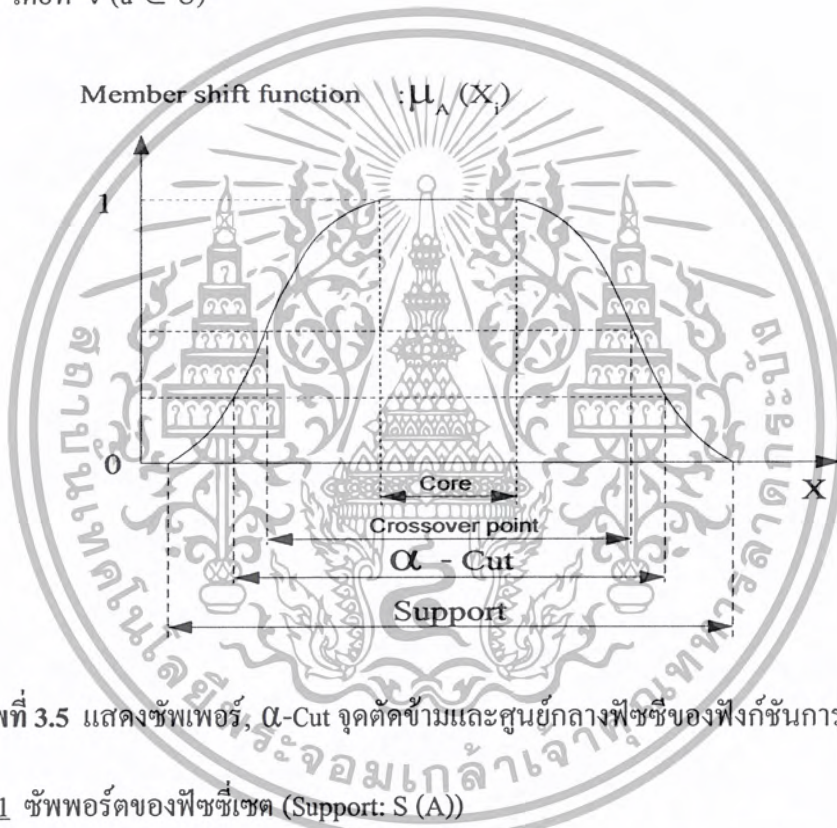
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### นิยาม 10 การเป็นสับเซตของฟัซซี่เซต

ฟัซซี่เซต  $A$  จะเป็นสับเซตของฟัซซี่เซต  $B$  ก็ต่อเมื่อ สมาชิก  $u$  ทุกตัวในเอกภพสัมพัทธ์  $U$  มีค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของฟัซซี่เซต  $A$  น้อยกว่าหรือเท่ากับ ค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของฟัซซี่เซต  $B$  เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์  $A \subset B$

$$A \subset B \iff \mu_A(u) \leq \mu_B(u) \quad (3.12)$$

โดยที่  $\forall (u \in U)$



ภาพที่ 3.5 แสดงซัพพอร์ต,  $\alpha$ -Cut จุดตัดข้ามและศูนย์กลางฟัซซี่ของฟังก์ชันการเป็นสมาชิก

### นิยาม 11 ซัพพอร์ตของฟัซซี่เซต (Support: $S(A)$ )

ซัพพอร์ตของฟัซซี่เซต คือ เซตของสมาชิก  $u$  ในเอกภพสัมพัทธ์  $U$  ที่มีค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของฟัซซี่เซตมากกว่า 0 เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ ดังนี้

$$S(A) = \{u \in U \mid \mu_A(u) > 0\} \quad (3.13)$$

โดยที่ ฟัซซี่เซตมากกว่า 0

นิยาม 12 ฟัชซีซิงเกิลตัน (Fussy singleton)

ฟัชซีซิงเกิลตัน คือ ฟัชซีเซตที่มีซัพพอร์ตของเซตสมาชิกเพียงตัวเดียว และมีค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกเท่ากับ 1

นิยาม 13 เซต  $\alpha$  - Level ของฟัชซีเซต ( $A_\alpha$ )

เซต  $\alpha$  - Level ของฟัชซีเซต A คือ เซตของสมาชิก u ในเอกภพสัมพัทธ์ U ที่มีค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของฟัชซีเซต A มากกว่าหรือเท่ากับ  $\alpha$  เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ดังนี้

$$A_\alpha = \{ u \in U \mid \mu_A(u) \geq \alpha \} \quad (3.14)$$

นิยาม 14 ความสูงของฟัชซีเซต (Height of fuzzy set)

ความสูงของฟัชซีเซต A คือ ค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกสูงสุดของฟัชซีเซต A เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์  $\text{hgt}(A)$

$$\text{Hgt}(A) = \{ u \in U \mid \mu_A(u) \} \quad (3.15)$$

นิยาม 15 คุณสมบัติการนอร์มอลไลซ์ของฟัชซีเซต (Normalization)

ฟัชซีเซต A จะมีคุณสมบัติการนอร์มอลไลซ์ก็ต่อเมื่อ ฟัชซีเซต A มีความสูงเท่ากับ 1

$$A \text{ is normalized.} \iff \text{Hgt}(A) = 1 \quad (3.16)$$

นิยาม 16 คุณสมบัติการคอนเวกซ์ของฟัชซีเซต (Convexity)

ฟัชซีเซต A จะมีคุณสมบัติการคอนเวกซ์ ก็ต่อเมื่อ ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของ A สอดคล้องตามเงื่อนไขต่อไปนี้

$$A \text{ is convex.} \iff \mu_A(\lambda u_1 + (1-\lambda) u_2) \geq \min \{ \mu_A(u_1), \mu_A(u_2) \} \quad (3.17)$$

$$\text{โดยที่ } u_1, u_2 \in U, \lambda \in (0,1)$$

นิยาม 17 ฟัชซีนัมเบอร์ คือ ฟัชซีเซตที่มีคุณสมบัติการนอร์มอลไลซ์และการคอนเวกซ์

ฟัชซีนัมเบอร์ คือ ฟัชซีเซตที่มีคุณสมบัติการนอร์มอลไลซ์ และการคอนเวกซ์

นิยามที่ 18 จุดตัดข้าม (Crossover point)

จุดตัดข้ามของฟัซซี่เซต A คือ จุดที่สมาชิก  $u$  ในเอกภพสัมพัทธ์  $U$  ที่มีฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของฟัซซี่เซต เท่ากับ 0.5 เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ดังนี้

$$\text{Crossover}(A) = \{ u \in U \mid \mu_A(u) = 0.5 \}$$

นิยามที่ 19 แบนวิคท์ (Bandwidth หรือ Width)

ฟัซซี่เซตที่มีคุณสมบัติการนอมอลไลซ์และการคอนเวกซ์ มีแบนวิคท์คือระยะทางระหว่างจุดตัดที่ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกสองจุดเท่ากับ 0.5 (Crossover point)

$$\begin{aligned} & (\mu_A(u_1) = \mu_A(u_2) = 0.5) \\ \text{Bandwidth}(A) &= |u_1 - u_2| \end{aligned}$$

นิยามที่ 20 การสมมาตร (Symmetric)

ฟัซซี่เซต A สมมาตรเมื่อ เซตของสมาชิก  $u$  ในเอกภพสัมพัทธ์  $U$  มีฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของฟัซซี่เซต A รอบจุดใด ๆ สมมาตรกัน เช่น จุดที่  $u=c$

$$\mu_A(c+u) = \mu_A(c-u)$$

นิยามที่ 21 เปิดซ้าย (Open left), เปิดขวา (Open right), ปิด (Close)

ฟัซซี่เซต A เปิดซ้าย (Open left) ตามเงื่อนไขดังนี้

$$\text{ถ้า } \lim_{u \rightarrow -\infty} \mu_A(u) = 1 \text{ และ } \lim_{u \rightarrow +\infty} \mu_A(u) = 0$$

ฟัซซี่เซต A เปิดขวา (Open right) ตามเงื่อนไขดังนี้

$$\text{ถ้า } \lim_{u \rightarrow -\infty} \mu_A(u) = 0 \text{ และ } \lim_{u \rightarrow +\infty} \mu_A(u) = 1$$

ฟัซซี่เซต A ปิด (closed) ตามเงื่อนไขดังนี้

$$\text{ถ้า } \lim_{u \rightarrow -\infty} \mu_A(u) = \lim_{u \rightarrow +\infty} \mu_A(u) = 0$$

โดยที่ A เป็นฟัซซี่เซต

นิยาม 22 คาร์ดินาลิตีของฟัซซีเซต (Cardinality)

สกาลาร์คาร์ดินาลิตี (Scalar cardinality) ของฟัซซีเซต  $A$  บนเอกภพสัมพัทธ์  $U$  คืออัตราส่วนระหว่างค่าสกาลาร์คาร์ดินาลิตีของฟัซซีเซต  $A$  เท่ากับ ค่าสกาลาร์คาร์ดินาลิตีของเอกภพสัมพัทธ์  $u$  เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ ดังนี้

$$|A| = \sum_{u \in U} \mu_A(u)$$

คาร์ดินาลิตีสัมพัทธ์ (Relative cardinality) ของฟัซซีเซต  $A$  บนเอกภพสัมพัทธ์  $U$  คือค่า อัตราส่วนระหว่างค่าสกาลาร์คาร์ดินาลิตีของฟัซซีเซต  $A$  กับ ค่าสกาลาร์คาร์ดินาลิตีของเอกภพสัมพัทธ์  $U$  เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ดังนี้

$$\left| \left| A \right| \right| = \sum_{u \in U} \mu_A(u)$$

คาร์ดินาลิตีสัมพัทธ์ (Relative cardinality) ของฟัซซีเซต  $A$  บนเอกภพสัมพัทธ์  $U$  คืออัตราส่วนระหว่างค่าสกาลาร์คาร์ดินาลิตีฟัซซีเซต  $A$  กับค่าสกาลาร์คาร์ดินาลิตีของเอกภพสัมพัทธ์  $U$  เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ดังนี้

$$\left| \left| A \right| \right| = \frac{|A|}{|U|} \quad (3.18)$$

นิยาม 23 ปฏิบัติการพื้นฐานของฟัซซีเซต

คอมพลีเมนต์ของฟัซซีเซต  $A$  เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์  $A'$  ถูกนิยามในรูปฟังก์ชันการ เป็นสมาชิกดังนี้

$$\mu_{A'}(u) = 1 - \mu_A(u) \quad (3.19)$$

ยูเนียนของฟัซซีเซต  $A$  เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์  $A \cup B$  ถูกนิยามในรูปฟังก์ชันการเป็นสมาชิก ดังนี้

$$\mu_{A \cup B}(u) = t(\mu_A(u), \mu_B(u)) \leq \min \{ \mu_A(u), \mu_B(u) \} \quad (3.20)$$

โดยที่  $s$  คือ ตัวปฏิบัติการ Triangular co-norms  
อินเตอร์เซกชันของฟัซซีเซต  $A$  เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์  $A \cap B$  ถูกนิยามในรูปฟังก์ชันการเป็นสมาชิกดังนี้

$$\mu_{A \cap B}(u) = t(\mu_A(u), \mu_B(u)) \leq \min \{ \mu_A(u), \mu_B(u) \} \quad (3.21)$$

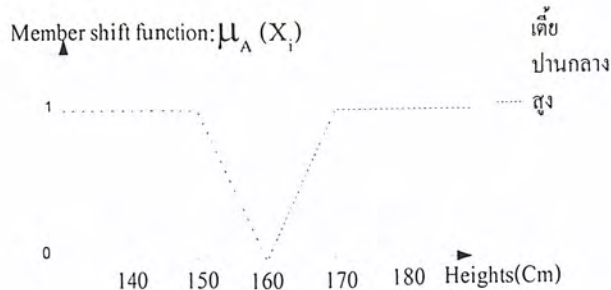
โดยที่  $t$  คือ ตัวปฏิบัติการ Triangular norms

### 3.1.3 ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต

ก่อนที่จะพิจารณาดังฟังก์ชันความเป็นสมาชิกประเภทต่างๆ ของฟัซซีเซต ควรทำความเข้าใจกับความหมายของคำจำกัดความและคุณลักษณะบางประการของฟัซซีเซตอันได้แก่

#### -เซตเอกภพสัมพัทธ์

เซตเอกภพสัมพัทธ์ เป็นคำที่ใช้เรียก โดเมนของตัวแปรฟัซซีที่ครอบคลุมประชากรทั้งหมดที่ทำการศึกษา พิจารณากราฟจะเห็นว่ามีเทอมเซตของคนสูงเพียงเทอมเดียว ในที่นี้เราจะกำหนดเทอมเซตเพิ่มอีก 2 เทอมคือเทอมเซตของคนเตี้ยและเทอมเซตของคนสูงปานกลางเพื่อให้ครอบคลุมกลุ่มประชากรที่เราสนใจทั้งหมด แสดงดังรูปดังนั้น โดเมนของตัวแปร “ความสูง” ที่ประกอบด้วย 3 เทอมเซตที่ได้นี้ จึงเป็นเซตเอกภพสัมพัทธ์ ซึ่งแต่ละเทอมเซตก็จะมีโดเมนของตัวเอง โดยเทอมเซตของคนเตี้ยจะมีโดเมนอยู่ในช่วง 140 – 160 ซม. เทอมเซตของคนที่สูงจะมีโดเมนอยู่ในช่วง 160 – 180 ซม.



ภาพที่ 3.6 แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปร 'ความสูง' ที่ประกอบด้วย 3 เทอเซต

สำหรับฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบต่างๆ ที่ใช้ในการประมาณค่าระดับความเป็นสมาชิกของแต่ละเทอมเซตนั้นมีทั้งที่เป็นฟังก์ชันแบบเชิงเส้น และฟังก์ชันแบบต่อเนื่องดังนี้

-สมการเชิงเส้น

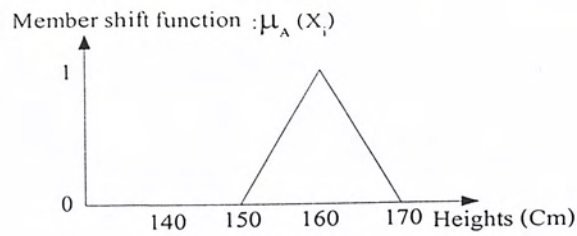
ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบสมการเชิงเส้นใช้ในการแปลงค่าความสัมพันธ์จากโดเมนเป็นเรนจ์สำหรับข้อมูลที่มีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้น

นิยามที่ 24 ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกแบบสามเหลี่ยม (Triangular membership function) ถูกกำหนดโดย 3 พารามิเตอร์  $\{a, b, c\}$  แสดงได้ดังนี้

เทอมเซตที่กำหนดโดยฟังก์ชันนี้จะต้องมีค่าที่เหมาะสมที่สุดเพียงค่าเดียวที่ทำให้ค่าความเป็นสมาชิกเท่ากับ 1 สำหรับค่าอื่นๆ ที่มีค่าห่างจากค่านี้มากเท่าไรก็จะมีค่าความเป็นสมาชิกลดลงเรื่อยๆ จากตัวอย่างตัวแปรความสูงเทอมเซต "ปานกลาง" จะเห็นว่ามีฟังก์ชันความเป็นสมาชิกรูปสามเหลี่ยม ทั้งนี้ถ้ากำหนดให้  $a, b$  และ  $c$  เป็นเลขจำนวนจริงใดๆ โดยที่  $a \leq b \leq c$  เราสามารถแสดงสมการของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกรูปสามเหลี่ยมได้ดังนี้

$$\text{triangle}(x; a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{cases}$$

โดยที่  $a \leq b \leq c$  พารามิเตอร์  $\{a, b, c\}$  เป็นตัวตัดสินใจฟังก์ชันการเป็นสมาชิกจากค่า  $x$

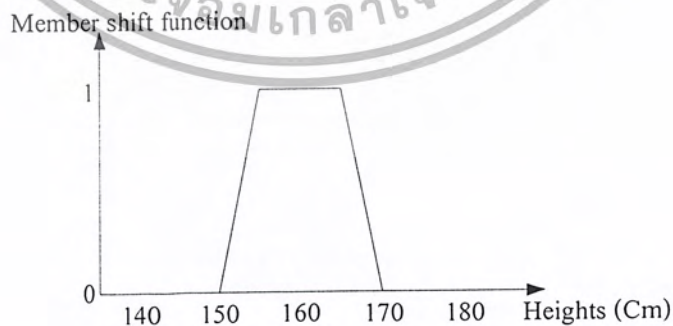


ภาพที่ 3.7 แสดงกราฟฟังก์ชันความเป็นสมาชิกรูปสามเหลี่ยม ( $a = 150, b = 160, c = 170$ )

นิยามที่ 26 ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกแบบสี่เหลี่ยมคางหมู (trapezoidal membership function) ถูกกำหนดโดย 4 พารามิเตอร์  $\{a, b, c, d\}$  แสดงได้ดังนี้

$$\text{trapezoid}(x; a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & d \leq x \end{cases}$$

โดยที่  $a \leq b \leq c \leq d$  พารามิเตอร์  $\{a, b, c, d\}$  เป็นตัวตัดสินค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกจาก  
ค่า  $x$



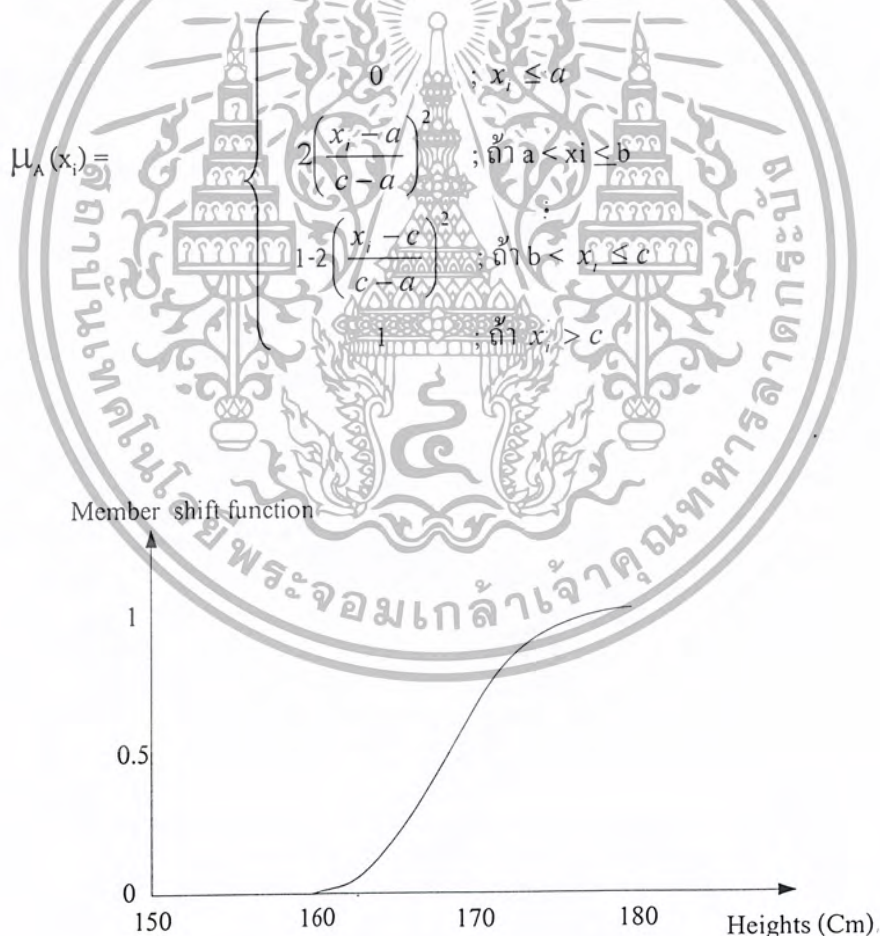
ภาพที่ 3.8 แสดงพารามิเตอร์และรูปทรงของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกแบบสี่เหลี่ยมคางหมู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกแบบสามเหลี่ยมและฟังก์ชันการเป็นสมาชิกแบบสี่เหลี่ยมคางหมู เป็นสูตรที่ง่ายและการคำนวณไม่ยาก ซึ่งมีการใช้อย่างกว้างขวางแต่มีข้อเสียของการเป็นเส้นตรง คือไม่มีความราบเรียบจุดที่เป็นมุมของเส้นตรง

-เส้นโค้งรูปตัว S

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่กำหนดด้วยเส้นโค้งรูปตัว S (S - Curve, Sigmoid หรือ Logistic) เป็นการกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างโดเมนไปยังเรนจ์แบบไม่เป็นเชิงเส้น ตัวแปรที่เหมาะสมที่จะใช้ฟังก์ชันนี้คือพวกอายุการใช้งานของอุปกรณ์ต่างๆ ตัวแปรที่ใช้ในด้านการประมวลผลภาพ เป็นต้น ถ้ากำหนดให้  $a$ ,  $b$  และ  $c$  เป็นเลขจำนวนจริงใดๆ โดยที่  $a$ ,  $b$  และ  $c$  เป็นเลขจำนวนจริงใดๆ โดยที่  $a \leq b \leq c$  เราสามารถแสดงสมการของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเส้นโค้งรูปตัว S ได้



ภาพที่ 3.9 แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเส้นโค้งรูปตัว S ( $a = 160$ ,  $b = 170$ ,  $c = 180$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

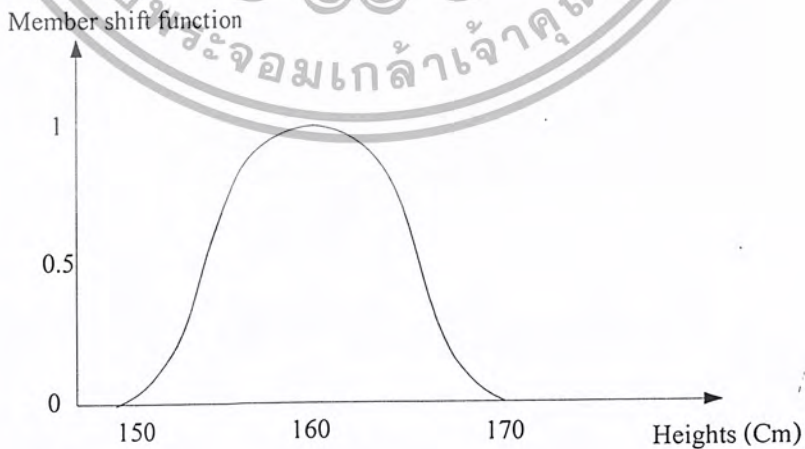
-รูประฆังคว่ำ

เทอมเซตที่ใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบรูประฆังคว่ำ จะมีคุณสมบัติของข้อมูลคล้ายกับสมการรูประฆังคว่ำและสี่เหลี่ยมคางหมู แต่ข้อมูลของโดเมนที่แปลงไปยังเรจันจะมีความสัมพันธ์ในลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น สมการของรูประฆังคว่ำมีด้วยกันหลายรูปแบบแต่ที่นิยมใช้กันมากมีอยู่ด้วยกัน 3 รูปแบบได้แก่ ฟังก์ชัน  $\pi$ , ฟังก์ชัน Gaussian, และฟังก์ชัน Beta มีรายละเอียดของแต่ละฟังก์ชันดังนี้

1. ฟังก์ชัน  $\pi$  กำหนดดังนี้

$$\mu_A(x_i) = \begin{cases} 2 \left( 1 - \frac{\|x_i - c\|}{\lambda} \right)^2 & ; \text{ถ้า } \frac{\lambda}{2} \leq \|x_i - c\| \leq \lambda \\ 1 - 2 \left( \frac{\|x_i - c\|}{\lambda} \right)^2 & ; \text{ถ้า } 0 < \|x_i - c\| \leq \frac{\lambda}{2} \\ 0 & ; \text{สำหรับกรณีอื่นๆ} \end{cases}$$

เมื่อ  $\lambda > 0$  เป็นคาร์คัมของฟังก์ชัน,  $C$  เป็นจุดศูนย์กลาง ฟังก์ชันนี้จะมีคุณสมบัติของข้อมูลคล้ายสมการรูประฆังคว่ำ คือให้ค่าความเป็นสมาชิกเท่ากับ 1 สำหรับข้อมูลที่เหมาะสมเพียงค่าเดียว คือเมื่อข้อมูล  $x$  ตก ณ ตำแหน่งจุดศูนย์กลาง  $C$  นอกนั้นค่าของฟังก์ชันจะลดลงเรื่อยๆ เมื่อระยะห่างระหว่างข้อมูลและจุดศูนย์กลางลดลง



ภาพที่ 3.10 แสดงกราฟฟังก์ชันความเป็นสมาชิก  $\pi$  ( $C = 160, \lambda = 10$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ฟังก์ชัน Gaussian มีคุณสมบัติคล้ายสมการรูปลสามเหลี่ยมเช่นกัน กำหนดดังนี้

$$\text{gaussian}(x; c, \sigma) = \exp\left[-\left(\frac{x-c}{\sigma}\right)^2\right]$$

โดยที่  $c$  เป็นศูนย์กลางและ  $\sigma$  เป็นความกว้างของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกตามลำดับ

Member shift function



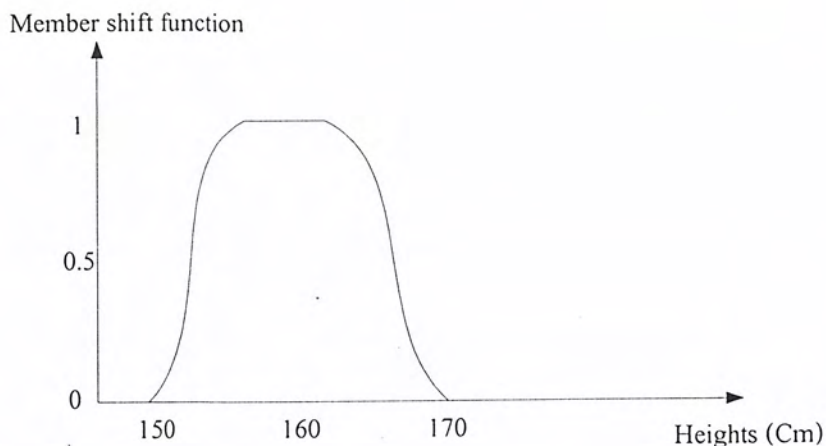
ภาพที่ 3.11 แสดงรูปทรงของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกแบบ Gaussian ( $X = 160$ )

3. ฟังก์ชัน Beta กำหนดดังนี้

$$\mu_A(x_i) = \frac{1}{1 + \left(\frac{Z_i}{\beta}\right)^p}$$

เมื่อ  $Z_i$  เป็นระยะห่างจากข้อมูล  $X_i$  ถึงจุดศูนย์กลาง  $x^*$

สำหรับฟังก์ชัน Beta มีคุณสมบัติของข้อมูลคล้ายสมการรูปลี่เหลี่ยมคางหมู กล่าวคือ จะมีช่วงของข้อมูลที่เหมาะสมอยู่กลุ่มหนึ่ง (มีความกว้างของช่วงเท่ากับค่า  $\beta$ ) ที่ทำให้ค่าความเป็นสมาชิกของเทอมเซตเข้าใกล้ 1 โดยที่ค่า  $p \rightarrow \infty$  มากเท่าไรก็ยิ่งทำให้ข้อมูลในช่วง  $\beta$  มีค่าเข้าใกล้ 1 มากขึ้น โดยมีจุดศูนย์กลางอยู่ที่  $x^*$



ภาพที่ 3.12 แสดงกราฟฟังก์ชันความเป็นสมาชิก Beta ( $x = 160$ ,  $\beta = 5$ ,  $p = 6$ )

นิยาม 27 ตัวปฏิบัติการ Triangular norms หรือ t-norms

t-norms คือ ฟังก์ชัน  $(0,1) \times (0,1) \rightarrow (0,1)$  ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

$$1. t(\mu_A(u), 0) = 0, t(\mu_A(u), 1) = t(1, \mu_A(u)) = \mu_A(u) ; (\text{Boundary condition})$$

$$2. t(\mu_A(u), \mu_B(u)) = t(\mu_B(u), \mu_A(u)) ; (\text{Commutativity})$$

$$3. t(\mu_A(u), t(\mu_B(u), \mu_C(u))) = t(t(\mu_A(u), \mu_B(u)), \mu_C(u)) ; (\text{Associativity})$$

$$4. \text{ ถ้า } \mu_A(u) \leq \mu_C(u) \text{ และ } \mu_B(u) \leq \mu_D(u)$$

$$\text{แล้ว } t(\mu_A(u), \mu_B(u)) \leq t(\mu_C(u), \mu_D(u)) ; (\text{Monotonicity})$$

ตัวอย่างปฏิบัติการ T-norms

$$\text{Minimum} : t(\mu_A(u), \mu_B(u)) = \min \{ \mu_A(u), \mu_B(u) \} \quad (3.22)$$

$$\text{Algebraic product} : t(\mu_A(u), \mu_B(u)) = \mu_A(u) \cdot \mu_B(u) \quad (3.23)$$

นิยาม 28 ตัวปฏิบัติการ Triangular Co-norms หรือ S-norms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

S-norms คือ ฟังก์ชัน  $(0,1) \times (0,1) \longrightarrow (0,1)$  ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

1.  $s(\mu_A(u), 1) = 1, s(\mu_A(u), 0) = s(0, \mu_A(u)) = \mu_A(u)$  (Boundary condition)
2.  $s(\mu_A(u), \mu_B(u)) = s(\mu_B(u), \mu_A(u))$  (Commutativity)
3.  $s(\mu_A(u), s(\mu_B(u), \mu_C(u))) = s(s(\mu_A(u), \mu_B(u)), \mu_C(u))$  (Associativity)
4. ถ้า  $\mu_A(u) \leq \mu_C(u)$  และ  $\mu_B(u) \leq \mu_D(u)$   
 แล้ว  $s(\mu_A(u), \mu_B(u)) \leq s(\mu_C(u), \mu_D(u))$  (Monotonicity)

ตัวอย่างปฏิบัติการ S-norms

Maximum :  $s(\mu_A(u), \mu_B(u)) = \max \{ \mu_A(u), \mu_B(u) \}$  (3.24)

Algebraic sum :  $s(\mu_A(u), \mu_B(u)) = \mu_A(u) + \mu_B(u) - \mu_A(u) \cdot \mu_B(u)$  (3.25)

### 3.2 ฟัชซีลอจิก (Fuzzy Logic)

#### 3.2.1 ตัวแปรลึงกวิสติก (Linguistic Variable)

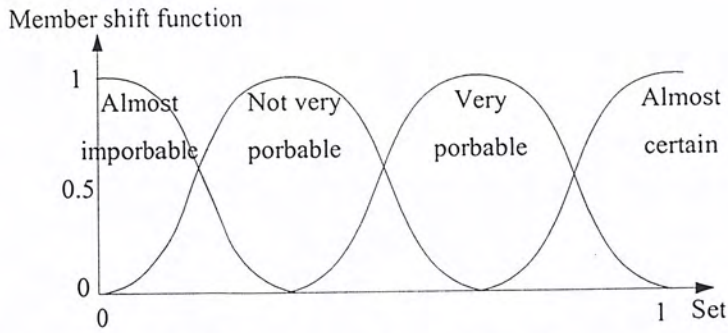
นิยาม 29 ตัวแปรลึงกวิสติก

ตัวแปรลึงกวิสติก ถูกนิยามด้วยฟังก์ชัน 5 เทอม คือ  $(x, T(x), U, G, M)$

- โดยที่  $x$  คือ ชื่อของตัวแปร (label)
- $T(x)$  คือ เซตของค่าลึงกวิสติกของ  $x$
- $U$  คือ เอกภพสัมพัทธ์ โดยที่  $u \in U$
- $X$  คือ ชื่อของค่าลึงกวิสติกของ  $x$  ที่ถูกสร้างตามกฎ  $G$  เรียกว่า เทอม (term)
- $G$  คือ Syntactic rule ในการกำหนดชื่อของเทอม  $X$
- $M$  คือ Semantic rule ในการนิยามคุณสมบัติของเทอม  $X$
- $M(X)$  คือ ฟัชซีเซตของเอกภพสัมพัทธ์  $U$

ตัวแปรลึงกวิสติกที่สำคัญในฟัชซีเซลอจิก ได้แก่ ตัวแปร “Probability” และ “Truth” ซึ่งตัวอย่างการนิยามค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของเทอมของตัวแปรลึงกวิสติก “Probability” แสดงในภาพที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.13 แสดงค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวแปรลึงกวิสติก “Probability”

ในการนิยามตัวแปรลึงกวิสติก “Truth” ได้มีผู้นำเสนอไว้ต่าง ๆ กันดังนี้ ในปี ค.ศ.1973 Zadeh ได้นิยาม เซตของเทอมของตัวแปรลึงกวิสติก “Truth”

$$T(\text{Truth}) = \{ \text{true, not true, very true, not very true, ..., false, not false, very false, ..., not very true and not very false, ...} \} \quad (3.26)$$

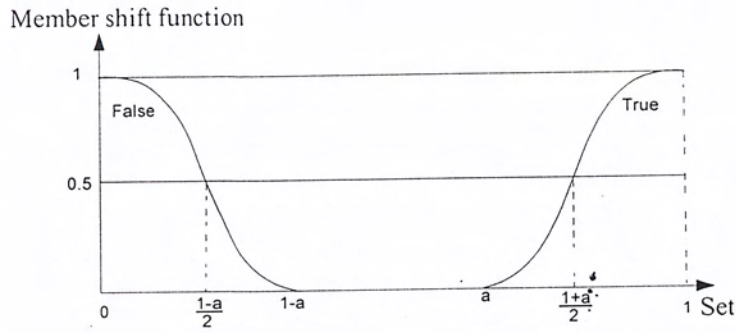
โดยได้นิยามเทอมปฐม (primary term) ของตัวแปรลึงกวิสติก “Truth” คือ “true” และ “false” และกำหนดค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของแต่ละเทอม ซึ่งสามารถแสดงได้ในภาพที่ 2 และได้นิยามเทอมอื่น ๆ จากการขยายเทอมปฐม โดยการเติม modifier หรือ hedge ที่เหมาะสมในเทอม “true” และ “false”

$$\mu_{\text{true}}(V) = \begin{cases} 0 & ; 0 \leq V \leq a \\ 2 \left( \frac{V-a}{1-a} \right)^2 & ; a \leq V \leq \frac{a+1}{2} \\ 1 - 2 \left( \frac{a+1}{1-a} \right)^2 & ; \frac{a+1}{2} \leq V \leq 1 \end{cases} \quad (3.27)$$

$$\mu_{\text{false}}(v) = \mu_{\text{true}}(1-V) ; 0 \leq V \leq 1 \quad (3.28)$$

เมื่อ  $V = (1+a)/2$  คือ จุดตัดข้าม (crossover)  
 $a \in (0,1)$  คือ ค่าพารามิเตอร์ที่บอกถึงค่าต่ำสุดของ  $V$  ในการตัดสินใจ ความถูกต้องของประพจน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.14 แสดงค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของเทอม “true” และ “false” ตามนิยามของ Zadeh

ต่อมาในปี ค.ศ.1979 Baldwin ได้นิยามเซตของเทอมของตัวแปรลิงกวิสติก “Truth”

$$T(\text{Truth}) = \{ \text{true, very true, fairly true, false, very false, fairly false} \} \quad (3.29)$$

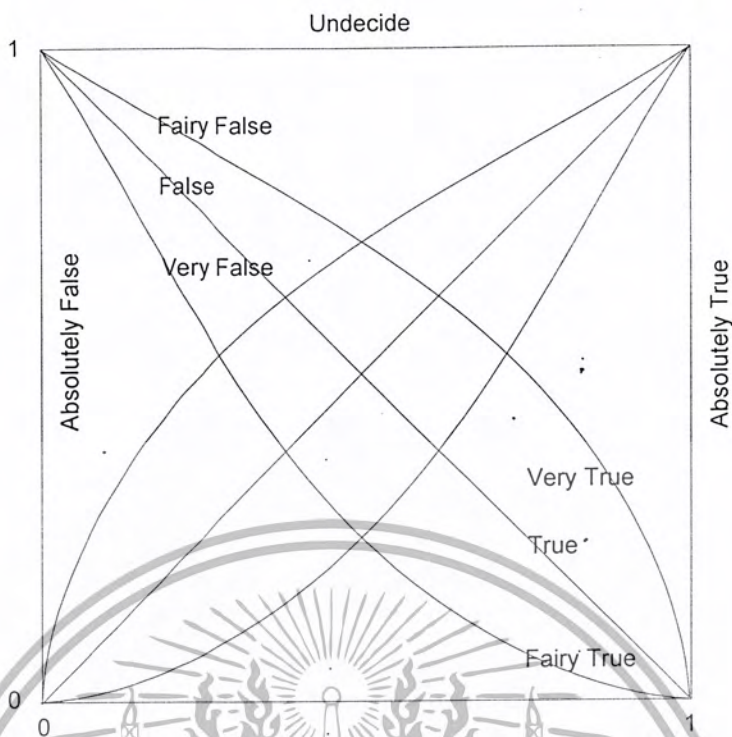
โดยกำหนดให้ค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของแต่ละเทอมว่า

$$\mu_{\text{very true}}(v) = (\mu_{\text{true}}(v))^2; v \in (0,1) \quad (3.30)$$

$$\mu_{\text{fairly true}}(v) = (\mu_{\text{true}}(v))^{1/2}; v \in (0,1) \quad (3.31)$$

$$\mu_{\text{very false}}(v) = (\mu_{\text{false}}(v))^2; v \in (0,1) \quad (3.32)$$

$$\mu_{\text{fairly false}}(v) = (\mu_{\text{false}}(v))^{1/2}; v \in (0,1) \quad (3.33)$$



ภาพที่ 3.15 แสดงค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวแปรลึงกวิสติค “Truth” ตามนิยามของ

Baldwin

นิยาม 30 ตัวปฏิบัติการ Linguistic hedge หรือ Modifier

Linguistic hedge หรือ Modifier คือ ตัวปฏิบัติการในการแปลงหรือขยายขอบเขตของ ความหมายของฟัซซี่เซต ซึ่งในที่นี้คือเทอมของตัวแปรลึงกวิสติค

กำหนดให้ A เป็นฟัซซี่เซตในเอกภพสัมพัทธ์ U โดยที่  $u \in U$

นิยามตัวปฏิบัติการ Modifier: m บนฟัซซี่เซต A เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์  $m(A)$  ดังนี้

$$\text{Concentration} : \mu_{\text{con}(A)}(u) = (\mu_A(u))^2 \tag{3.34}$$

$$\text{Dilation} : \mu_{\text{dil}(A)}(u) = \begin{cases} (\mu_A(u))^{\frac{1}{2}} \\ 2(\mu_A(u))^2 \end{cases} ; \mu_A(u) \in (0,0.5) \tag{3.35}$$

$$\text{Intensification} : \mu_{\text{int}(A)}(u) = 1-2(1-\mu_A(u))^2 ; \mu_A(u) \in (0.5, 1) \tag{3.36}$$

จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{very } A = \text{con } (A) \quad (3.37)$$

$$\text{more or less } A = \text{dil } (A) \quad (3.38)$$

$$\text{plus } A = A^{1.25} \quad (3.39)$$

$$\text{slightly } A = \text{int } (\text{plus } A \text{ and not } (\text{very } A)) \quad (3.40)$$

### นิยาม 31 ตัวแปรลึงกวิสติกบูลีน (Boolean Linguistic Variable)

ตัวแปรลึงกวิสติกบูลีน คือ ตัวแปรลึงกวิสติกที่มีเทอมเป็นค่าบูลีน ซึ่งมีเทอมปฐม 2 ตัว โดยที่เทอมทั้งหมด จะอยู่ในรูป  $X_p$  และ  $m(X_p)$

เมื่อ  $X_p$  คือ เทอมปฐม  
 $m(X_p)$  คือ เทอมที่ได้จากการทำปฏิบัติการ modifier บนเทอมปฐม  $X_p$

#### 3.2.2 ทฤษฎีตรรกศาสตร์แบบเดิม

ทฤษฎีตรรกศาสตร์ ซึ่งเป็นหลักการพื้นฐานของการหาข้อสรุปโดยใช้เหตุผล ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ค่าความจริง (Truth value) การปฏิบัติการ (Vocabulary) และวิธีการหาข้อสรุปตามหลักการเหตุผล (Reasoning procedure) ในตรรกศาสตร์บูลีนได้นิยามส่วนประกอบแต่ละส่วนดังนี้

### นิยาม 32 ค่าความจริงของประพจน์ในตรรกศาสตร์บูลีน

ประพจน์ในตรรกศาสตร์บูลีน จะมีค่าความจริงเท่ากับ 0 เมื่อประพจน์เป็นเท็จ และจะมีค่าความจริงเท่ากับ 1 เมื่อประพจน์เป็นจริง

### นิยาม 33 ปฏิบัติการทางตรรกศาสตร์บูลีน

ปฏิบัติการทางตรรกศาสตร์บูลีน ถูกนิยามด้วยค่าความจริงของประพจน์ ดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าความจริงของประพจน์ในการปฏิบัติการทางตรรกศาสตร์บูลีน

A	B	$\wedge$	$\vee$	XV	$\rightarrow$	$\rightarrow$
1	1	1	1	0	1	1
1	0	0	1	1	0	0
0	1	0	1	1	1	0
0	0	0	0	0	1	1

### นิยาม 34 การหาข้อสรุปตามหลักการเหตุผล

การหาข้อสรุปตามหลักการเหตุผล โดยใช้ทฤษฎีตรรกศาสตร์แบบเดิม จะใช้สัจนิรันดร์ (Tautology) สำหรับเป็นพื้นฐานในการหาข้อสรุป ตัวอย่างสัจนิรันดร์ที่ใช้เป็นพื้นฐานในการหาข้อสรุปตามหลักการเหตุผล แสดงดังนี้

Modus ponens :  $(A \wedge (A \rightarrow B)) \rightarrow B$

Modus tollens :  $((A \rightarrow B) \wedge (\neg B)) \rightarrow (\neg A)$

Syllogism :  $((A \rightarrow B) \wedge (B \rightarrow C)) \rightarrow (A \rightarrow C)$

Contraposition :  $(A \rightarrow B) \rightarrow ((\neg B) \rightarrow (\neg A))$

### 3.3 ทฤษฎีพีชชีลอจิก

พีชชีลอจิกเป็นทฤษฎีทางตรรกศาสตร์ที่ขยายมาจากทฤษฎีตรรกศาสตร์หลายค่า (Multivolume logic) โดยนิยามค่าความจริงของประพจน์เป็นตัวแปรลิงกวิสติก ได้มีการนิยามการปฏิบัติการทางตรรกศาสตร์สำหรับพีชชีลอจิกไว้ต่าง ๆ กัน ในวิทยานิพนธ์นี้ จะอ้างอิงจากนิยามดั้งเดิมของ Zadeh ดังต่อไปนี้

### นิยาม 35 ค่าความจริงของประพจน์ในทฤษฎีพีชชีลอจิก

กำหนดให้  $V(A)$  เป็นพีชชีเซตในเอกภพสัมพัทธ์  $V = (0,1)$  ซึ่งแทนค่าความจริงของประพจน์ A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ว่า 
$$V(A) = \{(v_i, \mu_i) \mid i = 1, 2, \dots, n; v_i \in (0, 1)\} \quad (3.41)$$

$$V(\text{not } A) = 1 - V(A) = \{(1 - v_i, \mu_i) \mid i = 1, 2, \dots, n; v_i \in (0, 1)\} \quad (3.42)$$

นิยาม 36 การปฏิบัติทางตรรกศาสตร์ในทฤษฎีฟัซซีลอจิก

กำหนดให้ 
$$V(A) = \{(v, \mu_A(v)) \mid \mu_A(v) \in (0, 1); (v) \in (0, 1)\}$$

$$V(B) = \{(v, \mu_B(v)) \mid \mu_B(v) \in (0, 1); (v) \in (0, 1)\}$$

จะได้ว่า 
$$V(A) \wedge V(B) = V(A \text{ and } B) = \{(v, \min\{\mu_A(v), \mu_B(v)\})\} \quad (3.43)$$

$$V(A) \vee V(B) = V(A \text{ or } B) = \{(v, \max\{\mu_A(v), \mu_B(v)\})\} \quad (3.44)$$

$$\neg V(A) = \text{not } (V(A)) = \{(v, 1 - \mu_A(v))\} \quad (3.45)$$

$$\begin{aligned} V(A) \rightarrow V(B) = V(A \rightarrow B) &= \neg V(A) \vee V(B) \\ &= \{(v, \max\{(1 - \mu_A(v)), \mu_B(v)\})\} \end{aligned} \quad (3.46)$$

ในกรณีที่ 
$$V(A) = \{(v_i, \alpha_i) \mid i = 1, 2, \dots, n; v_i \in (0, 1); \alpha_i \in (0, 1)\}$$

$$V(B) = \{(w_i, \beta_i) \mid i = 1, 2, \dots, n; w_i \in (0, 1); \beta_i \in (0, 1)\}$$

จะได้ว่า

$$V(A) \wedge V(B) = V(A \text{ and } B) = \left\{ \left( \min\{v_i, w_i\}, \max_{\min\{v_i, w_i\}} \min\{\alpha_i, \beta_i\} \right) \right\} \quad (3.47)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V(A) \vee V(B) = V(A \text{ or } B) = \left\{ \left( \max\{V_i, \omega_i\}, \max_{\max\{V_i, \omega_i\}} \min\{\alpha_i, \beta_i\} \right) \right\} \quad (3.48)$$

$$V(A) \vee V(B) = V(A \text{ or } B) = V(A \rightarrow B) = \neg V(A) \vee V(B)$$

$$= \left\{ \left( \max\{V_i, \omega_i\}, \max_{\max\{V_i, \omega_i\}} \min\{1 - \alpha_i, \beta_i\} \right) \right\} \quad (3.49)$$

Zadeh ได้เสนอตารางความจริง สำหรับพิจารณาค่าความจริงในการปฏิบัติการของฟัซซี่ลอจิก โดยการขยายจากตรรกศาสตร์บูลีน มาเป็นตรรกะ 3 ค่า คือ True (T), False (F) และ Unknown (T + F) ได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3.2 แสดงตารางความจริงสำหรับตัวปฏิบัติการฟัซซี่ลอจิกตามนิยามของ Zadeh

A	B	$\wedge$	$\vee$	$\neg A$
T	T	T	T	F
T	F	F	T	F
T	T+F	T+F	T	F
F	T	F	T	T
F	F	F	F	T
F	T+F	F	T+F	T
T+F	T	T+F	T	T+F
T+F	F	F	T+F	T+F
T+F	T+F	T+F	T+F	T+F

Baldwin ได้เสนอการสร้างตารางความจริงสำหรับฟัซซี่ลอจิก โดยทำการนิยามเทอม และฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวแปรลิงกวิสติก "Truth" ซึ่งแสดงในภาพที่ 3 ดังนี้

$$\text{true} = \{(v, \mu_{\text{true}}(v) = v) \mid v \in (0,1)\}$$

$$\text{false} = \{(v, \mu_{\text{false}}(v) = 1 - \mu_{\text{true}}(v)) \mid v \in (0,1)\}$$

$$\text{very true} = \{(v, (\mu_{\text{true}}(v))^2) \mid v \in (0,1)\}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 \text{very false} &= \{(v, (1-\mu_{\text{true}}(v))^2) \mid v \in (0,1)\} \\
 \text{fairly true} &= \{(v, (\mu_{\text{true}}(v))^{1/2}) \mid v \in (0,1)\} \\
 \text{fairly false} &= \{(v, (1-\mu_{\text{true}}(v))^{1/2}) \mid v \in (0,1)\} \\
 \text{undecided} &= \{(v, 1) \mid v \in (0,1)\} \\
 \text{absolutely true} &= \{(v, \mu_{\text{at}}(v)) \mid v \in (0,1)\}; \mu_{\text{at}}(v) = \begin{cases} 1; & v = 1 \\ 0; & v \neq 1 \end{cases} \\
 \text{absolutely false} &= \{(v, \mu_{\text{af}}(v)) \mid v \in (0,1)\}; \mu_{\text{af}}(v) = \begin{cases} 1; & v = 1 \\ 0; & v \neq 1 \end{cases}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น

$(\text{very})^k \text{ true} \rightarrow \text{absolutely true}$  เมื่อ  $k \rightarrow \infty$   
 $(\text{very})^k \text{ false} \rightarrow \text{absolutely false}$  เมื่อ  $k \rightarrow \infty$   
 $(\text{fairly})^k \text{ true} \rightarrow \text{undecided}$  เมื่อ  $k \rightarrow \infty$   
 $(\text{fairly})^k \text{ false} \rightarrow \text{undecided}$  เมื่อ  $k \rightarrow \infty$

นอกจากนี้ Baldwin ได้นิยามตัวปฏิบัติการ "and" และ "or" ด้วย minimum และ maximum ตามลำดับ และสร้างตารางความจริงของการปฏิบัติการพีชคณิตได้ผลลัพธ์ดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 3.3 แสดงตารางความจริงสำหรับตัวปฏิบัติการพีชคณิตตามนิยามของ Baldwin

V(P)	V(Q)	V(P and Q)	V(P or Q)
false	False	false	false
true	False	false	true
true	true	true	true
undecided	false	false	undecided
undecided	true	undecided	true
undecided	undecided	undecided	undecided
true	very true	true	very true
true	fairly true	fairly true	true

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.1 การหาข้อสรุปตามหลักการเหตุผลโดยใช้ทฤษฎีฟัซซี่ลอจิก

การหาข้อสรุปตามหลักการเหตุผล โดยใช้ทฤษฎีฟัซซี่ลอจิก จะเป็นการขยายนิยามของสังจนิรันคร์ที่ใช้ในตรรกศาสตร์แบบเดิม เพื่อใช้หาข้อสรุปตามหลักการเหตุผลของประพจน์ที่เป็นฟัซซี่เซต โดยทำการขยายนิยามของ Modus ponens และ Modus tollens สำหรับฟัซซี่ลอจิก เรียกว่า Generalized modus ponens : GMP และ Generalized modus tollens : GMT ดังแสดงในนิยาม 30 และนิยาม 31 ตามลำดับ

#### นิยาม 37 Generalized modus ponens : GMP

Generalized modus ponens คือ การหาข้อสรุปจากเหตุไปหาผล (Forward data – driven)

GMP:	Premise	$u \text{ is } A'$
	Implication	If $u \text{ is } A$ then $v \text{ is } B$ .
	Conclusion	$v \text{ is } B'$

โดยที่ GMP Implication ถูกนิยามดังสมการ

$$A \rightarrow B = \max \{c \in (0,1), t(A,c) \leq B\} \quad (3.50)$$

#### นิยาม 38 Generalized modus tollens : GMT

Generalized modus tollens คือ การหาข้อสรุปจากผลไปหาเหตุ (Backward goal – driven)

GMP :	Premise	$v \text{ is } B'$
	Implication	If $u \text{ is } A$ then $v \text{ is } B$ .
	Conclusion	$u \text{ is } A'$

โดยที่ GMT Implication ถูกนิยามดังสมการ

$$A \rightarrow B = \min \{c \in (0,1), s(B,c) \leq A\} \quad (3.51)$$

#### นิยาม 39 ฟัซซี่อิมพลิเคชัน (Fuzzy implication)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟัซซีอิมพลีเคชัน คือ เงื่อนไขความสัมพันธ์แบบฟัซซีระหว่างส่วนเหตุ (Antecedent) และส่วนผล (Consequence) ที่ใช้ในการหาข้อสรุปตามหลักการเหตุผล

จากนิยามของ GMP Implication ตามนิยาม 30 และนิยามของ GMT Implication ตามนิยามที่ 31 จะเห็นว่าฟัซซีอิมพลีเคชันจะขึ้นอยู่กับทางเลือกใช้ตัวปฏิบัติการ T-norms และ S-norms ซึ่งมีผู้เสนอวิธีการทำฟัซซีอิมพลีเคชันแบบต่าง ๆ กัน ตามตัวปฏิบัติการ T-norms และ S-norms ที่เลือกใช้ ดังแสดงในตัวอย่างต่อไปนี้

Mamdani's implication

$$R_m = A \times B = \{((u,v), \min \{ \mu_A(u), \mu_B(v) \})\} \quad (3.52)$$

Larsen's Implication

$$R_L = A \times B = \{((u,v), \{ \mu_A(u), \mu_B(v) \})\} \quad (3.53)$$

Zadeh's arithmetic rule of fuzzy implication

$$R_{Z_a} = (\text{not } A \times V) \oplus (U \times B) = \{((u,v), \min \{ 1 - \mu_A(u) + \mu_B(v) \})\} \quad (3.54)$$

Boolean fuzzy implication

$$R_B = (\text{not } A \times V) \cup (U \times B) = \{((u,v), \max \{ (1 - \mu_A(u)), \mu_B(v) \})\} \quad (3.55)$$

Zadeh's max-min rule of fuzzy implication

$$R_{Z_m} = (A \times B) \cup (\text{not } A \times V) = \{((u,v), \max \{ \min \{ \mu_A(u), \mu_B(v) \}, (1 - \mu_A(u)) \})\} \quad (3.56)$$

Standard sequence fuzzy implication

$$R_s = A \times V \rightarrow U \times B = ((u,v), \mu_{R_s}(u,v)) \quad \mu_{R_s}(u,v) = \quad (3.57)$$

ในปี ค.ศ.1980 Fukamieta ได้พิสูจน์ถึงหลักการเลือกฟังก์ชันสำหรับการอิมพลีเคชันของ GMP และ GMT และทำการหาข้อสรุปตามหลักการเหตุผล ได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 4 และ ตารางที่ 5 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 แสดงผลของการหาข้อสรุปตามหลักการเหตุผลโดยใช้ GMP ด้วยหลักการของ Fukami

Criteria	Premise (u is A')	Conclusion (v is B')
1	u is A	v is B
2a	u is (very A)	v is (very B)
2b	u is (very A)	v is B
3a	u is (more or less A)	v is (more or less B)
3b	u is (more or less A)	v is B
4a	u is (not A)	v is unknown
4b	u is (not A)	v is (not B)

ตารางที่ 3.5 แสดงผลของการหาข้อสรุปตามหลักการเหตุผลโดยใช้ GMT ด้วยหลักการของ Fukami

Criteria	Premise (u is B')	Conclusion (v is A')
1	v is (not B)	u is (not A)
2	v is (not very B)	u is (not very A)
3	v is (not more or less B)	u is (not more or less A)
4a	v is B	u is unknown
4b	v is B	u is A

### 3.3.2 ความสัมพันธ์ฟัซซี (Fuzzy relation)

นิยาม 33 ผลคูณคาร์ทีเซียน (Cartesian product)

กำหนดให้  $A_1, \dots, A_n$  เป็นฟัซซีเซตในเอกภพสัมพัทธ์  $U_1, \dots, U_n$

โดยที่  $u_1, \dots, u_n \in U_1, \dots, U_n$  ตามลำดับ

ผลคูณคาร์ทีเซียนของ  $A_1, \dots, A_n$  คือ ฟัซซีเซตในเอกภพสัมพัทธ์  $U_1 \times \dots \times U_n$  ที่มีฟังก์ชัน

การเป็นสมาชิกดังนี้

$$\mu_{A_1 \times \dots \times A_n}(U_1, \dots, U_n) = \begin{cases} \min \{ \mu_{A_1}(u_1), \dots, \mu_{A_n}(u_n) \} & \text{min-intersection} \\ \mu_{A_1}(u_1) \cdot \dots \cdot \mu_{A_n}(u_n) & \text{algebraic product} \end{cases} \quad (3.58)$$

นิยาม 34 ความสัมพันธ์ฟัซซี

กำหนดให้  $R$  เป็นความสัมพันธ์ฟัซซีจากฟัซซีเซต  $A$  ไปยังฟัซซีเซต  $B$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ A เป็นฟัซซี่เซตในเอกภพสัมพัทธ์ U ;  $u \in U$   
 และ B เป็นฟัซซี่เซตในเอกภพสัมพัทธ์ V ;  $v \in V$

$$\text{จะได้ว่า } R_{U \times V} = A \times B = \{((u,v), \mu_R(u,v)) \mid (u,v) \in U \times V\} \quad (3.59)$$

$$\mu_R(u,v) = \mu_{A \times B}(u,v) = \begin{cases} \min \{ \mu_A(u), \mu_B(v) \} & \text{min-intersection} \\ \mu_A(u) \cdot \mu_B(v) & \text{algebraic product} \end{cases} \quad (3.60)$$

ความสัมพันธ์ฟัซซี่ขนาด n มิติของฟัซซี่เซต  $A_1, \dots, A_n$  (เมื่อ  $A_1, \dots, A_n$  เป็นฟัซซี่เซตในเอกภพสัมพัทธ์  $U_1, \dots, U_n$  ตามลำดับ) คือ ฟัซซี่สับเซตในเอกภพสัมพัทธ์  $U_1 \times \dots \times U_n$  ที่ถูกกำหนดดังนี้

$$R_{U_1 \times \dots \times U_n} = \{((u_1, \dots, u_n), \mu_R(u_1, \dots, u_n)) \mid (u_1, \dots, u_n) \in U_1 \times \dots \times U_n\} \quad (3.61)$$

$$\text{โดยที่ } \mu_R(u_1, \dots, u_n) \leq \mu_{A_i}(u_i) ; i=1, \dots, n ; \forall (u_1, \dots, u_n) \in U_1 \times \dots \times U_n \quad (3.62)$$

นิยาม 35 การปฏิบัติการของความสัมพันธ์ฟัซซี่

กำหนดให้  $R_1$  และ  $R_2$  เป็นความสัมพันธ์ฟัซซี่บนระนาบเดียวกัน คือ  $U_1 \times \dots \times U_n$  ยูเนียน นิยามโดยใช้ตัวปฏิบัติการ Maximum ได้ดังนี้

$$\mu_{R_1 \cup R_2}(u_1, \dots, u_n) = \max \{ \mu_{R_1}(u_1, \dots, u_n), \mu_{R_2}(u_1, \dots, u_n) \} \quad (3.63)$$

$$\text{โดยที่ } (u_1, \dots, u_n) \in U_1 \times \dots \times U_n$$

อินเตอร์เซกชัน นิยามโดยใช้ตัวปฏิบัติการ Minimum ได้ดังนี้

$$\mu_{R_1 \cap R_2}(u_1, \dots, u_n) = \min \{ \mu_{R_1}(u_1, \dots, u_n), \mu_{R_2}(u_1, \dots, u_n) \} \quad (3.64)$$

$$\text{โดยที่ } (u_1, \dots, u_n) \in U_1 \times \dots \times U_n$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิยาม 36 คุณสมบัติของความสัมพันธ์ฟัซซี่

กำหนดให้  $R = \{((u,v), \mu_R(u,v)) \mid (u,v) \in U \times V\}$  เป็นความสัมพันธ์ฟัซซี่  $j$

Reflexivity  $R$  จะมีคุณสมบัติเป็น Reflexivity ก็ต่อเมื่อ  $\mu_R(u,u) = 1 ; \forall u \in U$

Irreflexivity  $R$  จะมีคุณสมบัติเป็น Irreflexivity ก็ต่อเมื่อ  $\mu_R(u,u) = 0 ; \forall u \in U$

Symmetry  $R$  จะมีคุณสมบัติเป็น Symmetry ก็ต่อเมื่อ  $R(u,v) = R(v,u)$

Antisymmetry  $R$  จะมีคุณสมบัติเป็น Aantisymmetry ก็ต่อเมื่อ

$$\text{ถ้า } u \neq v \text{ แล้ว } \mu_R(u,v) \neq \mu_R(v,u) \text{ หรือ } \mu_R(u,v) = \mu_R(v,u) = 0 ; \forall u, \forall v \in U$$

Perfectly antisymmetry  $R$  จะมีคุณสมบัติเป็น Antisymmetry อย่างสมบูรณ์ ก็ต่อเมื่อ

$$\text{ถ้า } u \neq v \text{ และ } \mu_R(u,v) > 0 \text{ แล้ว } \mu_R(v,u) = 0 ; \forall u, \forall v \in U$$

Transitivity  $R$  จะมีคุณสมบัติเป็น transitivity ก็ต่อเมื่อ

$$R \circ R \subseteq R \text{ หรือ } \max_{v \in V} \{ \min [\mu_R(u,v), \mu_R(v,w)] \} \leq \mu_R(u,w)$$

นิยาม 37 โปรเจกชันของความสัมพันธ์ฟัซซี่ (Fuzzy relation projection)

กำหนดให้  $R = \{((u,v), \mu_R(u,v)) \mid (u,v) \in U \times V\}$  เป็นความสัมพันธ์ฟัซซี่

โปรเจกชันของความสัมพันธ์ฟัซซี่  $R$  ถูกนิยาม ดังนี้

$$\text{First projection : } R^{(1)} = \left\{ \left( u, \max_v \mu_R(u,v) \right) \mid (u,v) \in U \times V \right\} \quad (3.65)$$

$$\text{Second projection: } R^{(2)} = \left\{ \left( v, \max_u \mu_R(u,v) \right) \mid (u,v) \in U \times V \right\} \quad (3.66)$$

$$\text{Total projection: } R^{(T)} = \left\{ \left( (u,v), \max_u \max_v \mu_R(u,v) \right) \mid (u,v) \in U \times V \right\} \quad (3.67)$$

### 3.3.3 การคอมโพสิชันแบบฟัซซี่ (Fuzzy Composition)

กำหนดให้  $R_1(u,v)$  เป็นความสัมพันธ์จากเอกภพสัมพัทธ์  $U$  ไป  $V$  โดยที่  $(u,v) \in U \times V$

และ  $R_2(v,w)$  เป็นความสัมพันธ์จากเอกภพสัมพัทธ์  $V$  ไป  $W$  โดยที่  $(v,w) \in V \times W$

การคอมโพสิชัน คือ ปฏิบัติการในการหาความสัมพันธ์  $R_3(u,w)$  จากความสัมพันธ์ที่ถ่ายทอดต่อเนื่องกันเป็นลูกโซ่  $R_1(u,v)$  และ  $R_2(v,w)$



ภาพที่ 3.16 แสดงการคอมโพสิชันของความสัมพันธ์ฟัซซี่  $[U \times V] [V \times W]$

กำหนดให้  $R_1(u,v)$  เป็นความสัมพันธ์ฟัซซี่ บนระนาบ  $U \times V$  โดยที่  $(u,v) \in U \times V$

และ  $R_2(v,w)$  เป็นความสัมพันธ์ฟัซซี่ บนระนาบ  $V \times W$  โดยที่  $(v,w) \in V \times W$

การคอมโพสิชันของความสัมพันธ์ฟัซซี่ ถูกนิยามดังนี้

#### นิยาม 38 Max-Min composition

$$R_3 = R_1 \circ R_2 = \left\{ (u,w), \max_{v \in V} \{ \min [ \mu_{R_1}(u,v), \mu_{R_2}(v,w) ] \} \} \mid u \in U, v \in V, w \in W \right\} \quad (3.68)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิยาม 39 Max-Average composition

$$R_3 = R_1 \text{ av } R_2 = \left\{ \left( (u,w), \max_{v \in V} \left\{ \frac{\mu_{R_1}(u,v) + \mu_{R_2}(v,w)}{2} \right\} \right) \mid u \in U, v \in V, w \in W \right\} \quad (3.70)$$

นิยาม 41 Min-Max composition

$$R_3 = R_1 \bullet R_2 = \left\{ \left( (u,w), \max_{v \in V} \{ \min [\mu_{R_1}(u,v), \mu_{R_2}(v,w)] \} \right) \mid u \in U, v \in V, w \in W \right\} \quad (3.71)$$

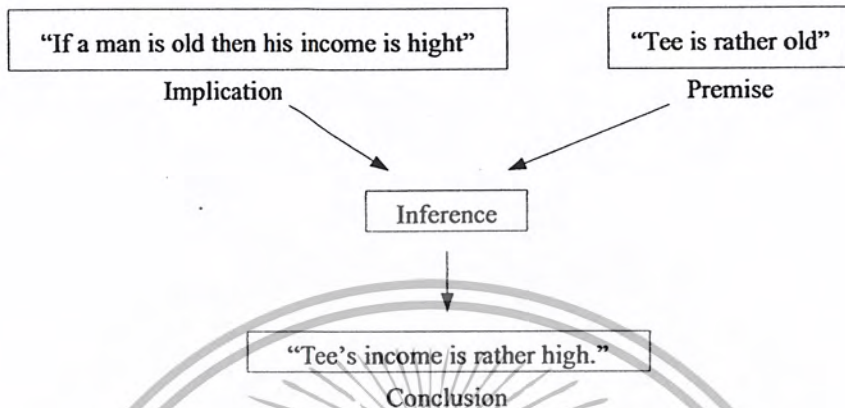
วิธีการ Max-Min composition เป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุด มีคุณสมบัติที่สำคัญ ดังนี้

1.  $(R_1 \cup R_2) \circ R_3 = (R_1 \circ R_3) \cup (R_2 \circ R_3)$  Distributed w.r.t. union
2.  $(R_1 \cap R_2) \circ R_3 \subset (R_1 \circ R_3) \cap (R_2 \circ R_3)$  Non - distributed w.r.t. intersection
3.  $(R_1 \circ R_2) \circ R_3 = R_1 \circ (R_2 \circ R_3)$  Association property
4. ถ้า  $R_1 \subset R_2$   
แล้ว  $(R_1 \circ R_3) \subset (R_2 \circ R_3)$  Inclusion property
5. ถ้า  $R_1, R_2$  มีคุณสมบัติเป็น Reflexivity  
แล้ว  $R_1 \circ R_2$  จะมีคุณสมบัติเป็น Reflexivity
6. ถ้า  $R_1, R_2$  มีคุณสมบัติเป็น Symmetry และ  $R_1 \circ R_2 = R_2 \circ R_1$   
แล้ว  $R_1 \circ R_2$  จะมีคุณสมบัติเป็น Symmetry
7. ถ้า  $R_1, R_2$  มีคุณสมบัติเป็น Transitivity และ  $R_1 \circ R_2 = R_2 \circ R_1$   
แล้ว  $R_1 \circ R_2$  จะมีคุณสมบัติเป็น Transitivity
8. ถ้า  $R$  มีคุณสมบัติเป็น Symmetry และ Transitivity  
แล้ว  $\mu_R(u,v) \leq \mu_R(u,u); \forall u, \forall v \in U$
9. ถ้า  $R$  มีคุณสมบัติเป็น Reflexivity  
แล้ว  $R \subset R \circ R$
10. ถ้า  $R$  มีคุณสมบัติเป็น Reflexivity และ Transitivity  
แล้ว  $R \circ R = R$

3.3.4 การอินเฟอร์เรนซ์แบบฟัซซี่ (Fuzzy inference)

นิยาม 42 การอินเฟอร์เรนซ์

การอินเฟอร์เรนซ์ คือกระบวนการในการหาข้อสรุป (Conclusion) จากหลักฐาน (Premise) โดยใช้เงื่อนไขความสัมพันธ์ระหว่างเหตุและผล (Implication)



ภาพที่ 3.17 แสดงการหาข้อสรุปจากหลักฐาน โดยใช้เงื่อนไขความสัมพันธ์ระหว่างเหตุและผล

นิยาม 43 กฎการคอมโพสิชันของการอินเฟอร์เรนซ์ (Compositional rule of inference: CRI)

กำหนดให้	Premise	$u$ is $A'$ .
	Implication	If $u$ is $A$ then $v$ is $B$ .
	Conclusion	$u$ is $B'$ .

เมื่อ  $A, A'$  เป็นฟัซซี่เซตในเอกภพสัมพัทธ์  $U$  โดยที่  $u \in U$   
 $B, B'$  เป็นฟัซซี่เซตในเอกภพสัมพัทธ์  $V$  โดยที่  $v \in V$

ทำการแปลงอิมพลีเคชันเป็นความสัมพันธ์ฟัซซี่  $R$  ใน  $U \times V$  ดังนั้น จะหา  $B'$  ได้ดังนี้

$$B' = \begin{cases} A' \circ R & \text{Max-Min composition} \\ A' * R & \text{Max-Product composition} \\ A' \text{ av } R & \text{Max-Average composition} \\ A' \bullet R & \text{Min-Max composition} \end{cases} \quad (3.72)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการคอมโพสิชันที่นิยมใช้มากที่สุด ในการอินเฟอเรนซ์ คือ CRI ของ Zadeh ซึ่งจะใช้ตัวปฏิบัติการ Max และ Min ในการปฏิบัติการ S-norm และ T-norm ตามลำดับ สามารถหา  $B'$  ได้ ดังสมการต่อไปนี้

$$B' = A' \circ R = \left\{ (v, \max_{u \in U} \{ \min [\mu_{A'}(u), \mu_R(u,v)] \}) \mid u \in U, v \in V \right\} \quad (3.73)$$

จากวิธีการฟัซซีอินเฟอเรนซ์ ดังกล่าวข้างต้นพบว่า ทำให้สามารถหา  $B'$  จาก  $A' \circ R$  ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ฟัซซีที่สำคัญสำหรับการควบคุม แต่นอกจากนี้ ยังพบปัญหาที่สำคัญอื่น ๆ คือ

1. ปัญหาในการสร้าง โมเดล โดยการหาความสัมพันธ์ฟัซซี R จาก ฟัซซีเซต A และ B
2. ปัญหาการออกแบบตัวควบคุม โดยใช้วิธีการหาฟัซซีเซต A จากความสัมพันธ์ฟัซซี R และฟัซซีเซต B

ซึ่งจะเห็นได้ว่าการแก้ปัญหาทั้งสองนี้จะต้องใช้ตัวปฏิบัติการผกผันของการคอมโพสิชัน จึงมีการนิยามตัวปฏิบัติการ  $\oslash$ -Composition สำหรับการคอมโพสิชันผกผันดังนี้

นิยาม 44 ตัวปฏิบัติการ  $\oslash$ -Composition

$\oslash$ -Composition คือตัวปฏิบัติการผกผันของการคอมโพสิชันเป็นฟังก์ชันจาก  $(0,1) \times (0,1)$  ไปยัง  $(0,1)$  ซึ่งถูกนิยามดังนี้

$$\oslash = \max [c \in (0,1) \mid t(x,c) \leq y; x, y \in (0,1)] \quad (3.74)$$

$\oslash$ -Composition ของความสัมพันธ์ฟัซซี R บนระนาบ  $U \times V$  กับฟัซซีเซต B ซึ่งถูกเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์  $R \oslash B'$  และถูกนิยามในรูปฟังก์ชันการเป็นสมาชิกดังนี้

$$\mu_{(R \oslash B')}(u) = \min_{v \in B'} [\mu_R(u,v) \oslash \mu_{B'}(v)] \quad (3.75)$$

นิยาม 45 คุณสมบัติของตัวปฏิบัติการ - composition

1.  $x \oslash \max (y,z) \geq \max (x \oslash y, x \oslash z) ; z \in (0,1)$
2.  $t(x, (x \oslash y)) \leq y$
3.  $x \oslash t(x, y) \geq y$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.  $A' \circ (A' \circ B') \subseteq B'; \forall A', \forall B'$
5.  $R \subseteq A' \circ (A' \circ R); \forall A', \forall B'$
6.  $(R \circ B') \circ R \subseteq B'; \forall A', \forall B'$
7.  $A' \subseteq R \circ (A' \circ R); \forall A', \forall R \in (U \times V)$
8.  $R = A' \circ B'$  คือคำตอบของการคอมโพสิชันผกผัน  $A' = B' \circ R$
9.  $A' = R \circ B'$  คือคำตอบของการหาฟังก์ชันเซตผกผัน  $A' \circ R = B'$

### การฟัซซีฟิเคชัน (Fuzzification)

#### นิยาม 46 การฟัซซีฟิเคชัน

การฟัซซีฟิเคชัน คือ กระบวนการหาค่าฟัซซีเซตบนเอกภพสัมพัทธ์  $U$  ของอินพุต เพื่อเป็นตัวแทนของอินพุต ซึ่งมีค่าเป็นตัวเลข สำหรับใช้เป็นอินพุตของระบบฟัซซี การฟัซซีฟิเคชันสามารถทำได้ 3 วิธี ดังนี้

1. การฟัซซีฟิเคชัน โดยใช้ฟังก์ชันเชิงเส้น จะได้ว่า Fuzzification  $(u_0) = A$

โดยที่  $A$  เป็นฟังก์ชันเชิงเส้นที่มี  $S(A) = \{u_0\}$

$$\text{หรือ } \mu_A(u) = \begin{cases} 1; u = u_0 \\ 0; u \neq u_0 \end{cases} \quad (3.76)$$

2. การฟัซซีฟิเคชัน โดยใช้ฟังก์ชันนัมเบอร์ จะได้ว่า Fuzzification  $(u_0) = A$

โดยที่  $A$  เป็นฟังก์ชันนัมเบอร์

$$\mu_A(u) = 1 \quad \text{เมื่อ } u = u_0$$

และ  $\mu_A(u)$  ลดลง เมื่อ  $u$  อยู่ห่างออกไปจาก  $u_0$

ตัวอย่างของการฟัซซีฟิเคชัน โดยใช้ฟังก์ชันนัมเบอร์ เช่น

$$\mu_A(u) = \exp \left( -\frac{(u-u_0)^T (u-u_0)}{\sigma^2} \right) \quad (3.77)$$

โดยที่  $\sigma$  เป็นพารามิเตอร์ในการกำหนดรูปร่างของ  $\mu_A(u)$

3. การฟัซซีฟิเคชันโดยใช้ไฮบริด 넘เบอร์ (hybrid number) จะได้ว่า fuzzification  $(u_0) = A$

โดยที่  $A$  เป็น ไฮบริด 넘เบอร์ (ไฮบริด 넘เบอร์ คือ ฟัซซี 넘เบอร์ที่สมาชิกในเอกภพสัมพัทธ์เป็น Random number)

$$\mu_A(u) = 1$$

เมื่อ  $u = u_0$

และ  $\mu_A(u)$  ลดลง เมื่อ  $u$  อยู่ห่างออกไปจาก  $u_0$

การดีฟัซซีฟิเคชัน (Defuzzification)

นิยาม 47 การดีฟัซซีฟิเคชัน

การดีฟัซซีฟิเคชัน คือ กระบวนการหาค่าเอาต์พุตเพียงค่าเดียว (ซิงเกิลตัน) ที่เหมาะสมที่สุด เพื่อเป็นตัวแทนของฟัซซีเอาต์พุตที่มีค่าความเป็นไปได้กระจายอยู่บนเอกภพสัมพัทธ์  $V$  ของ เอาต์พุต

กำหนดให้  $R$  คือ ความสัมพันธ์ฟัซซีจากเอกภพสัมพัทธ์  $U$  ไป  $V$  ที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุต  $u$  และเอาต์พุต  $v$   
 $u_0$  คือ อินพุตที่วัดได้ เป็นฟัซซีซิงเกิลตัน

ในการคอมโพสิชันระหว่างฟัซซีซิงเกิลตัน  $u_0$  กับความสัมพันธ์ฟัซซี  $R$  จะได้ผลลัพธ์เป็นฟัซซีเซต  $B$  ซึ่งเป็นสับเซตของเอกภพสัมพัทธ์  $V$  และเมื่อทำดีฟัซซีฟิเคชัน จะหาฟัซซีซิงเกิลตัน  $v_0$  ซึ่งเป็นตัวแทนของฟัซซีเอาต์พุต  $B$  เพื่อใช้เป็นเอาต์พุตที่แท้จริงของระบบได้

ตัวอย่างวิธีการดีฟัซซีฟิเคชัน ที่นิยมใช้มีดังนี้

#### 1. Max Procedure

เป็นวิธีการดีฟัซซีฟิเคชัน โดยเลือกค่าเอาต์พุตที่มีค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกมากที่สุด เพื่อใช้เป็นตัวแทนของฟัซซีเอาต์พุต สามารถแสดงด้วยสมการดังนี้

$$v_0 = \max_{v \in V} \mu_B(v) \quad (3.78)$$

## 2. Mean of Maxima (MOM)

เป็นวิธีที่ขยายมาจากวิธี max procedure เพื่อใช้ในกรณีที่ค่าเอาต์พุตมีค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกสูงสุดเท่ากันหลายค่า ให้ทำการหาค่าเฉลี่ยของค่าเอาต์พุต ที่มีค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกสูงสุดเท่ากัน โดยใช้สมการดังนี้

$$v_0 = \text{MOM}(B) = \sum_{j=1}^J \frac{v_j}{J} \quad (3.79)$$

เมื่อ  $v_j$  คือ ค่าเอาต์พุตแต่ละค่าที่มีค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกสูงสุดเท่ากัน  
 $j$  คือ จำนวนเอาต์พุตที่มีค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกสูงสุดเท่ากัน

## 3. Centre of Area (COA) / Centre of Gravity (COG)

วิธี COA เป็นวิธีหาจุดศูนย์กลางของพื้นที่ใต้กราฟของฟังก์ชันการเป็นสมาชิก เพื่อใช้เป็นตัวแทนของฟัซซี่เอาต์พุต ซึ่งทำได้โดยการแบ่งพื้นที่ใต้กราฟของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกออกเป็น 2 ส่วนเท่า ๆ กัน และค่า  $v_0$  จะหาได้จากค่าของ  $v$  ที่ตำแหน่งของเส้นแบ่งครึ่ง สามารถแสดงด้วยสมการดังนี้

$$\int_{-\infty}^{\text{COA}(B)} \mu_B(v) dv = \int_{\text{COA}(B)}^{\infty} \mu_B(v) dv \quad (3.80)$$

ในทางปฏิบัติ การคำนวณโดยใช้สมการที่ (2.80) ทำได้ยาก จึงประมาณการคำนวณของวิธี COA โดยใช้วิธี COG ซึ่งเป็นการหาจุดศูนย์กลางการถ่วงน้ำหนักแทนการหาจุดศูนย์กลางของพื้นที่ใต้กราฟ สมการของการดีฟัซซิฟิเคชัน โดยใช้วิธี COG สามารถแสดงดังนี้

$$v_0 = \text{COG}(B) = \frac{\int v \mu_B(v) dv}{\int \mu_B(v) dv} \quad (3.81)$$

ในกรณีที่เอกภพสัมพัทธ์  $V$  มีสมาชิกเป็นค่าที่ไม่ต่อเนื่อง (discrete) สามารถหาค่า  $v_0$  ได้จากสมการดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$v_0 = \text{COG}(B) = \frac{\sum_{i=1}^{N_q} v_i \mu_B(v_i)}{\sum_{i=1}^{N_q} \mu_B(v_i)} \quad (3.82)$$

เมื่อ  $N_q$  คือ ระดับการควอนไทซ์  
 $v_i$  คือ ค่าเอาต์พุตของแต่ละค่าในการควอนไทซ์

4. Fuzzy Mean Method (FM) เป็นวิธีที่ปรับปรุงมาจากวิธี COG เพื่อลดเวลาในการคำนวณ โดยการลดระดับการควอนไทซ์ลงให้เท่ากับจำนวนเทอมของตัวแปรเอาต์พุตในเอกภพสัมพัทธ์  $V$  และใช้ค่าเฉลี่ยของแต่ละเทอมเป็นตัวแทนของค่าเอาต์พุตของแต่ละค่าการควอนไทซ์สมการของการดีฟัซซิฟิเคชัน โดยใช้วิธี FM สามารถแสดงได้ดังนี้

$$x_0 = \text{FM}(B) = \frac{\sum_{k=1}^{N_v} \gamma_k v_k}{\sum_{k=1}^{N_v} \gamma_k} \quad (3.83)$$

เมื่อ  $N_v$  คือ จำนวนฟัซซี่เซตของตัวแปรเอาต์พุตในเอกภพสัมพัทธ์  $V$   
 $\gamma_k$  คือ ค่าเฉลี่ยที่ใช้เป็นตัวแทนของฟัซซี่เซตของตัวแปรเอาต์พุตแต่ละเทอม บนเอกภพสัมพัทธ์  $V$   
 $v_k$  คือ ค่าระดับการเป็นสมาชิกของฟัซซี่เซตของตัวแปรเอาต์พุตแต่ละเทอม บนเอกภพสัมพัทธ์  $V$

#### 5. Weighted Fuzzy Mean Method (WFM)

เป็นวิธีที่ขยายมาจากวิธี FM โดยเพิ่มการคูณสัมประสิทธิ์ถ่วงน้ำหนักของตัวแปรเอาต์พุตในแต่ละเทอม สมการของการดีฟัซซิฟิเคชันโดยใช้วิธี WFM สามารถแสดงได้ดังนี้

$$v_0 = \text{WFM}(B) = \frac{\sum_{k=1}^{N_v} \omega_k \gamma_k v_k}{\sum_{k=1}^{N_v} \omega_k \gamma_k} \quad (3.84)$$

เมื่อ  $\omega_k$  คือ สัมประสิทธิ์ถ่วงน้ำหนักของแต่ละเทอมของตัวแปรเอาต์พุต  
ภายในเอกภพสัมพัทธ์  $V$   
 $v_i$  คือ ค่าเอาต์พุตของแต่ละค่าในการควอนไทซ์

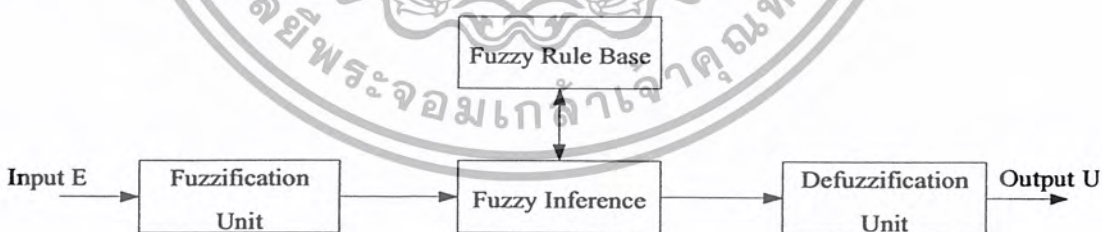
#### 6. Indexed Defuzzification Method (IDFZ)

เป็นวิธีการที่ขยายมาจากคาร์ดิฟซซิฟิเคชันแบบเดิม โดยตัดเอาต์พุตบางส่วนที่มีค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกน้อยกว่าค่าเทรชโฮลด์ (Threshold) ที่กำหนด โดยจะคำนวณเฉพาะค่าเอาต์พุตที่มีค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกมากกว่าค่าเทรชโฮลด์ ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{IDFZ}(B, \alpha_i) = \text{DFZ}(\alpha\text{-cut}(B, \alpha_i)) \quad (3.85)$$

### 3.4 ตัวควบคุมฟัซซี่

โครงสร้างหลักของตัวควบคุมฟัซซี่ ประกอบด้วย 4 หน่วย 4 หน่วย คือ หน่วยฟัซซิฟิเคชัน หน่วยอินเฟอเรนซ์ หน่วยดีฟัซซิฟิเคชัน และฐานกฎการควบคุมฟัซซี่ (Fuzzy rule base) การทำงานของแต่ละหน่วยสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 3.18 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของตัวควบคุมฟัซซี่

หน่วยฟัซซิฟิเคชันทำหน้าที่นอมอลไลซ์ตัวแปรสถานะของระบบ  $x = [x_1, \dots, x_m]^T$  ที่จะใช้เป็นอินพุตของตัวควบคุมให้อยู่ในเอกภพสัมพัทธ์ที่กำหนด และทำการแปลงตัวแปรอินพุต  $x$  ให้เป็นตัวแปรฟัซซี่  $X'$  โดยใช้ฟัซซี่จิงเกิลตัน ฟัซซินัมเบอร์ หรือไฮบริคินัมเบอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.1 ฐานกฎการควบคุมฟัซซี่

ฐานกฎการควบคุมฟัซซี่ เป็นหน่วยที่รวบรวมกฎการควบคุมแบบฟัซซี่ ซึ่งอยู่ในรูปแบบ IF... THEN....

กำหนดให้ กฎการควบคุมอยู่ในรูปแบบดังนี้

$$\text{IF } x_1 \text{ is } X_1^k \text{ and } x_m \text{ is } X_m^k \text{ THEN } y \text{ is } Y^k$$

หรือ  $\text{IF } x \text{ is } X^k \text{ THEN } y \text{ is } Y^k ; k = 1, 2, \dots, M$  (3.86)

โดยที่  $x$  คือ ตัวแปรสถานะของกระบวนการ ซึ่งใช้เป็นอินพุตของตัวควบคุมฟัซซี่

$$x = [x_1, \dots, x_m]^T$$

$X^k$  คือ ฟัซซี่เซตของตัวแปรอินพุต ในส่วนเหตุของกฎการควบคุม

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

$m$  คือ จำนวนตัวแปรอินพุตของตัวควบคุม

$y$  คือ ตัวแปรเอาต์พุตของตัวควบคุมฟัซซี่

$Y^k$  คือ ฟัซซี่เซตของตัวแปรเอาต์พุตในส่วนผลสมของกฎของการควบคุมที่  $k$

$M$  คือ จำนวนกฎการควบคุมทั้งหมดในฐานกฎการควบคุม

### 3.4.2 หน่วยอินเฟอร์เรนซ์

ทำหน้าที่หาค่าเอาต์พุต ของระบบฟัซซี่เซตจากค่าตัวแปรอินพุตแบบฟัซซี่  $X'$  โดยวิธี GMP Implication หาค่าระดับการเป็นสมาชิก (Fire strength) ของแต่ละกฎจากความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอินพุตแบบฟัซซี่  $X'$  กับฟัซซี่เซตในส่วนเหตุของแต่ละกฎ  $X^k$  แล้วจึงคำนวณหาค่าเอาต์พุตแบบฟัซซี่จาก ระดับการเป็นสมาชิกกับฟัซซี่เซตในส่วนผลสมของแต่ละกฎ  $Y^k$  ตัวอย่างการอินเฟอร์เรนซ์ โดยใช้ CRI ของ Zadeh แสดงด้วยสมการดังนี้

$$\mu_{Y^k}(y) = \bigvee_{x \in U} [\mu_{X^k}(x) \rightarrow Y_k(x,y) \wedge \mu_{X'}(x)]$$

### 3.4.3 หน่วยดีฟัซซีฟิเคชัน

ทำหน้าที่แปลงตัวแปรฟัซซีเอาต์พุตให้เป็นค่าเชิงเกิตตัน และทำการคืนอมอลไลซ์ ให้อยู่ในเอกภพสัมพัทธ์ที่ต้องการ เพื่อใช้เป็นค่าเอาต์พุตของตัวควบคุม โดยใช้วิธีการที่ได้กล่าวถึงในเรื่องการดีฟัซซีฟิเคชัน

ตัวอย่างของการดีฟัซซีฟิเคชัน โดยใช้วิธี FM แสดงดังสมการ

$$y = \frac{\sum_{k=1}^M \bar{y}^k \mu_{Y^k}(\bar{y}^k)}{\sum_{k=1}^M \mu_{Y^k}(\bar{y}^k)} \quad (3.88)$$

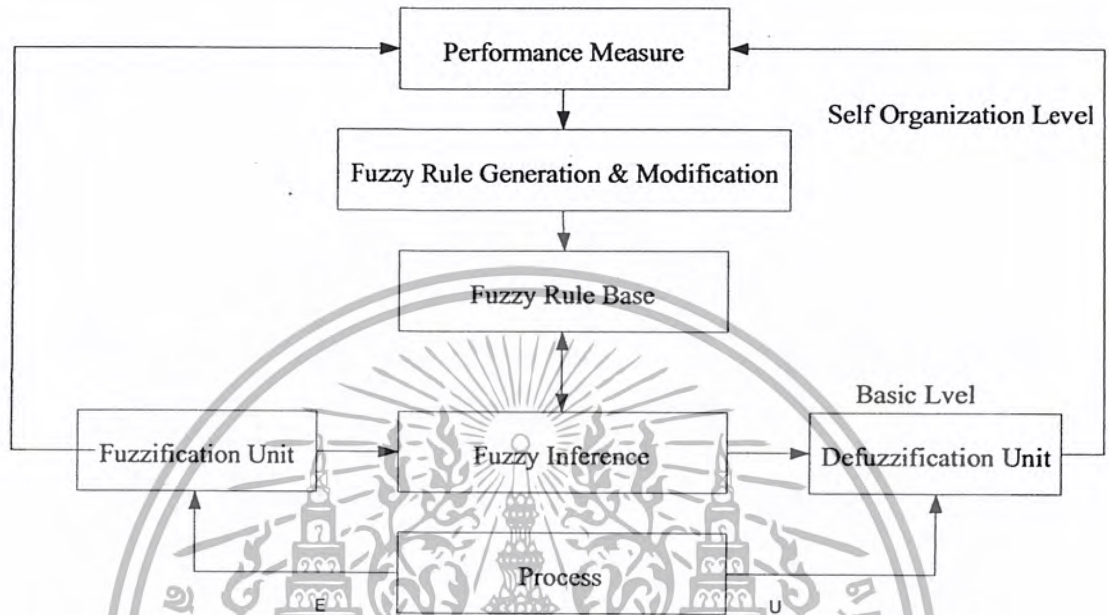
เมื่อ  $\bar{y}^k$  คือ ค่าเฉลี่ยที่ใช้เป็นตัวแทนของฟัซซีเซตของเอาต์พุต  $Y^k$  ในส่วนผลของกฎที่  $k$

$\mu_{Y^k}(\bar{y}^k)$  คือ ค่าระดับการเป็นสมาชิกของ  $\bar{y}^k$  ในฟัซซีเซตเอาต์พุต  $Y^k$



### 3.5 ตัวควบคุมฟัซซีแบบปรับแต่งพารามิเตอร์ด้วยตนเอง

โครงสร้างของตัวควบคุมฟัซซีแบบปรับแต่งพารามิเตอร์ด้วยตนเอง ดังแสดงในภาพที่ 7 แบ่งออกเป็น 2 ระดับ คือระดับพื้นฐาน (Basic level) และระดับการปรับแต่งพารามิเตอร์ (Self-organizing level)



ภาพที่ 3.19 แสดงโครงสร้างของตัวควบคุมฟัซซีแบบปรับแต่งพารามิเตอร์ด้วยตนเอง

โครงสร้างระดับพื้นฐานของตัวควบคุมฟัซซีแบบปรับแต่งพารามิเตอร์ตนเองนั้นจะเหมือนกับโครงสร้างของตัวควบคุมฟัซซีปกติแต่ฐานกฎการควบคุมจะสามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยการทำงานของหน่วยปรับแต่งกฎการควบคุม

โครงสร้างระดับการปรับแต่งพารามิเตอร์ของตัวควบคุม จะประกอบด้วย 2 หน่วย คือ หน่วยวัดสมรรถนะ (performance measure) และหน่วยปรับแต่งกฎการควบคุม (Rule generation and modification) การทำงานของแต่ละหน่วย สามารถอธิบายได้ดังนี้

#### 3.5.1 หน่วยวัดสมรรถนะ

หน่วยวัดสมรรถนะทำหน้าที่วัดสมรรถนะของระบบจากตัวแปรสถานะของกระบวนการ ซึ่งแสดงถึงค่าที่เอาต์พุตของระบบเบี่ยงเบนไปจากเอาต์พุตที่ต้องการ และคำนวณค่า Performance modification: PM จากตัวแปรสถานะของกระบวนการ โดยใช้ความสัมพันธ์จากตารางดัชนีสมรรถนะ (Performance index table) หรือสมการดัชนีสมรรถนะ (Performance index equation)

### 3.5.2 หน่วยปรับแต่งกฎการควบคุม

หน่วยปรับแต่งกฎการควบคุมทำหน้าที่ปรับแต่งกฎการควบคุม ทำการหากฎการควบคุม ที่มีระดับการเป็นสมาชิกสูงสุด โดยใช้ค่าระดับการเป็นสมาชิกของแต่ละกฎที่ได้จากการทำงานของหน่วยอินเฟอร์เรนซ์ และใช้ค่า PM ที่ได้จากหน่วยวัดสมรรถนะทำการแก้ไขส่วนผลของกฎนั้น แต่ถ้าไม่มีกฎการควบคุมที่สถานะนั้น ให้สร้างกฎใหม่ขึ้นในฐานกฎการควบคุม

## 3.6 การวิเคราะห์ระบบควบคุมฟัซซี่

การวิเคราะห์ระบบควบคุมฟัซซี่ จะวิเคราะห์จากคุณสมบัติเชิงสถิตย์ (Static property) และคุณสมบัติเชิงพลวัต (Dynamic property) ของตัวควบคุม โดยที่คุณสมบัติเชิงสถิตย์ จะถูกวิเคราะห์ในรูปของความสมบูรณ์ (Completeness) ของฐานการควบคุม การเกิดกิริยาระหว่างกัน (Interaction) ของกฎการควบคุม ความสอดคล้อง (Consistency) ของกฎการควบคุม และความคงทน (Robustness) ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ และการรบกวนจากภายนอก ส่วนคุณสมบัติเชิงพลวัตจะวิเคราะห์จากเสถียรภาพ (Stability) ของระบบควบคุมการวิเคราะห์ คุณสมบัติเชิงสถิตย์ของระบบควบคุมฟัซซี่

### 3.6.1 ความสมบูรณ์ของฐานกฎการควบคุม

คือความสามารถของตัวควบคุมในการที่มีกฎการควบคุมรองรับในการสร้างสัญญาณควบคุม สำหรับทุก ๆ สถานะของอินพุตกำหนดให้ฐานกฎการควบคุมมีรูปแบบดังแสดงในสมการที่ (2.86)

ฐานกฎการควบคุมจะมีความสมบูรณ์ ก็ต่อเมื่อ “สำหรับทุก ๆ สถานะของอินพุต  $x$  จะต้องมีการควบคุมอย่างน้อย 1 กฎที่มีค่าระดับการเป็นสมาชิกมากกว่า 0 เพื่อใช้ในการคำนวณหาสัญญาณควบคุม” สามารถแสดงด้วยเงื่อนไขดังนี้

$$\forall x \in X \left( \bigcup_{k=1}^M \mu^k(x) \right) > \varepsilon ; \varepsilon \in (0,1] \quad (3.89)$$

### 3.6.2 การเกิดกิริยาระหว่างกันของกฎการควบคุม

คือ การที่ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมมีการเปลี่ยนแปลงไปจากค่าเอาต์พุตที่เกิดจากกฎการควบคุมแต่ละกฎ ซึ่งเป็นผลกระทบจากการทำงานของกฎอื่น สามารถแสดงด้วยเงื่อนไขดังนี้

$$\bigvee_{k=1}^M \exists (X^k \circ R)(y) \neq Y^k(y) \quad (3.90)$$

โดยที่ R คือ ความสัมพันธ์ฟัซซี่ที่ชี้แทนความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอินพุต และตัวแปรเอาต์พุตของตัวควบคุมฟัซซี่ในฐานกฎการควบคุมปัจจัยที่ทำให้เกิดกิริยาระหว่างกันของกฎการควบคุม คือ

1. โครงสร้างของกฎการควบคุม
2. การนิยามฟัซซี่เซตและฟังก์ชันการเป็นสมาชิก
3. การเลือกวิธีการอินเฟอเรนซ์และการดีฟัซซี่ฟิเคชัน

ในหลักการของการควบคุมฟัซซี่จะต้องออกแบบตัวควบคุมให้มีการเกิดกิริยาระหว่างกันของกฎการควบคุมเสมอ ทั้งนี้เนื่องจากว่า ถ้าค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมเกิดจากกฎเดียวแล้วค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมจะไม่ขึ้นกับค่าระดับการเป็นสมาชิกของกฎการควบคุม โดยค่าเอาต์พุตจะเท่ากับจุดศูนย์กลางของฟัซซี่เซตในส่วนผลของกฎการควบคุมนั้นเสมอ ดังนั้นในการออกแบบตัวควบคุมจะต้องมีการซ้อนทับกันของฟัซซี่เซต เพื่อให้สัญญาณควบคุมในแต่ละกรณีเกิดจากกฎการควบคุมอย่างน้อย 2 กฎเสมอ

### 3.6.3 ความสอดคล้องกันของกฎการควบคุม

จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อไม่มีการขัดแย้งกันระหว่างกฎการควบคุมที่จะทำให้เกิดเอาต์พุตของตัวควบคุมผิดพลาด กล่าวคือ ค่าอินพุตที่เหมือนกันหรือใกล้เคียงกัน จะต้องนำมาซึ่งค่าเอาต์พุตหรือสัญญาณควบคุมที่เหมือนกัน หรือใกล้เคียงกัน ความขัดแย้งหรือความไม่สอดคล้องกันของกฎการควบคุม มักจะเกิดจากความผิดพลาดในการออกแบบกฎการควบคุม ซึ่งสามารถตรวจสอบได้ดังนี้

กำหนดให้ ฐานกฎการควบคุมมีรูปแบบดังแสดงในสมการที่ (3.86)

ดัชนีแสดงความไม่สอดคล้องกัน (Index of inconsistency) ระหว่างกฎที่ i และ j หาได้ดังนี้

$$c_{ij} = \left| \bigcup_{x \in X} (X^i \cap X^j) - \bigcup_{u \in U} (Y^i \cap Y^j) \right| \quad (3.91)$$

ถ้า  $X^i = X^j$  และ  $\bigcup_{u \in U} (Y^i \cap Y^j) = 0$

แล้ว  $c_{ij}$  จะมีค่าสูงสุดเท่ากับ 1 กล่าวคือกฎทั้งสองมีความขัดแย้งกัน โดยสิ้นเชิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้า  $X^i = X^j$  และ  $\bigcup_{u \in U} (Y^i \cap Y^j) = 1$

แล้ว  $c_{ij}$  จะมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0 กล่าวคือกฎทั้งสองมีความสอดคล้องกันอย่างสมบูรณ์  
ดัชนีของความไม่สอดคล้องของกฎที่ 1 ในฐานกฎการควบคุม หาได้ดังนี้

$$c_i = \sum_{j=1}^M c_{ij} \quad (3.92)$$

โดยที่  $M$  คือจำนวนกฎการควบคุมทั้งหมดในฐานกฎการควบคุม

ในการออกแบบกฎการควบคุมของตัวควบคุมพีชชี จะต้องกำจัดกฎที่มีความไม่สอดคล้อง  
ออกจากกฎการควบคุม และในการสร้างกฎการควบคุมใหม่ จะต้องหลีกเลี่ยงการเกิด  
ความไม่สอดคล้องกันของกฎ

#### 3.6.4 ความคงทนในการควบคุม

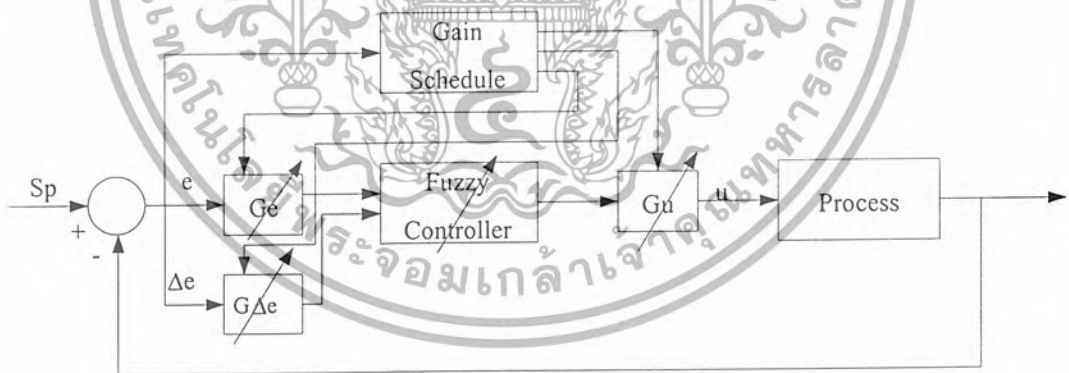
หมายถึงความสามารถของตัวควบคุมในการลดผลกระทบที่เกิดจากการรบกวนภายนอก  
จากสัญญาณนอยส์ หรือจากการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของกระบวนการ ปัจจัยในการออกแบบ  
ตัวควบคุมพีชชีที่มีผลต่อความคงทนของระบบควบคุม ได้แก่ การกำหนดความละเอียด  
ในการควอนไทซ์ การกำหนดเอกภพสัมพัทธ์ของอินพุต การกำหนดฟังก์ชันการเป็นสมาชิก  
ของพีชชีเซต และการกำหนดจำนวนกฎการควบคุม

## การออกแบบตัวควบคุมฟัซซี่

ตัวควบคุมที่นำเสนอในปริญญาานิพนธ์นี้เป็นตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิกแบบปรับแต่งพารามิเตอร์ด้วยตัวเองโดยใช้วิธีการของ Gradient descent ซึ่งมีโครงสร้างหลักๆ แบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนของตัวควบคุมฟัซซี่ และส่วนการปรับแต่งพารามิเตอร์ ซึ่งรายละเอียดขั้นตอนและวิธีการในการออกแบบจะกล่าวถึงดังต่อไปนี้

### 4.1 โครงสร้างพื้นฐานของตัวควบคุมฟัซซี่

โครงสร้างพื้นฐานของตัวควบคุมฟัซซี่ แสดงดังภาพที่ 4.1 ประกอบด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซี่ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุม รับสัญญาณป้อนกลับจากระบบแล้วทำการคำนวณค่าสัญญาณควบคุมส่งไปควบคุมกระบวนการ Gain schedule เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการตรวจสอบสัญญาณที่ได้รับมาจากกระบวนการและทำการปรับเปลี่ยนค่า Scaling factor  $G_e$ ,  $G_{\Delta e}$  และ  $G_u$  ให้ถูกต้องตามช่วงที่ได้ออกแบบไว้ เพื่อเป็นการลดหรือเพิ่มความไวของการเปลี่ยนแปลงสัญญาณ  $e$ ,  $\Delta e$  และ  $u$  ซึ่งค่า  $G_e$ ,  $G_{\Delta e}$  และ  $G_u$  นี้ได้มาจากการลองผิดลองถูก การออกแบบโครงสร้างพื้นฐานของตัวควบคุมฟัซซี่ประกอบด้วยขั้นตอนในการออกแบบดังนี้



ภาพที่ 4.1 แสดง โครงสร้างพื้นฐานของตัวควบคุมฟัซซี่

#### 4.1.1 การกำหนดตัวแปรอินพุตและตัวแปรเอาต์พุตของตัวควบคุม

ประกอบด้วย ตัวแปรอินพุต สองตัวและตัวแปรเอาต์พุตหนึ่งตัว โดยตัวแปรอินพุตของตัวควบคุมคือ ตัวแปรค่าผิดพลาด  $e$  (Error) ต่อไปจะเรียกว่าตัวแปรอินพุต  $e$  กับตัวแปรค่า

เปลี่ยนแปลงของค่าผิดพลาด  $\Delta e$  (Change of error) ต่อไปจะเรียกว่าตัวแปรอินพุต  $\Delta e$  ของระบบควบคุมและตัวแปรเอาต์พุตของตัวควบคุมคือ สัญญาณควบคุม  $u$  (Control output)

#### 4.1.2 การนอมอลไลซ์ตัวแปรอินพุตของตัวควบคุม

ให้อยู่ในเอกภพสัมพัทธ์ที่แท้จริงของตัวแปรอินพุต ซึ่งได้จากระดับสัญญาณที่วัดได้ของกระบวนการซึ่งจากคุณลักษณะของกระบวนการที่ใช้ในการทดลองสัญญาณป้อนกลับได้จากการวัดค่าเอาต์พุตของกระบวนการ จากอุปกรณ์เซ็นเซอร์แบบความดันแล้วแปลงเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้าขนาด 4 ถึง 20 mA และแปลงสัญญาณกระแสไฟฟ้าให้เป็นแรงดันไฟฟ้า โดยใช้ความต้านทาน 250 โอห์ม และแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็น สัญญาณดิจิตอลขนาด 8 bit ซึ่งทำหน้าที่เป็นทั้ง A/D และ D/A ในตัวเอง ซึ่งค่าดิจิตอลที่แปลงได้จะอยู่ในช่วง 0-4000 จากการคำนวณเพื่อหาค่าของตัวอินพุต  $e$  และ  $\Delta e$  ของระบบได้ดังนี้

$$e(nt) = sp - y(nt) \quad (4.1)$$

$$\Delta e(nt) = e(nt) - e(nt-1) \quad (4.2)$$

โดย

$sp$  = สัญญาณอ้างอิง

$y(nt)$  = สัญญาณป้อนกลับที่ได้จากการตรวจสอบสถานะของกระบวนการที่เวลา

$nt: Mv$

$e(nt)$  = ค่าผิดพลาดของระบบที่เวลา  $nt$

$e(nt-1)$  = ค่าผิดพลาดของระบบที่เวลา  $nt-1$

$\Delta e(nt-1)$  = ค่าการเปลี่ยนแปลงของค่าผิดพลาดของระบบที่เวลา  $nt$

ค่าสัญญาณอ้างอิง  $Sp$  มีช่วงอยู่ระหว่าง 0-100 เปอร์เซ็นต์ ค่าตัวแปรอินพุต  $e$  และตัวแปรอินพุต  $\Delta e$  จะอยู่ในช่วง  $\pm 100$  หรือกล่าวได้ว่ามีเอกภพสัมพัทธ์ อยู่ในช่วง  $\pm 100$  โดยวิธีการนอมอลไลซ์ ตัวแปรอินพุต ให้อยู่ในเอกภพสัมพัทธ์  $e(nt) = [-100, 100]$  ดังนี้

$$y(nt) = \frac{y(nt) - 0}{4000 - 0} \times 100 \quad (4.3)$$

#### 4.1.3 การเลือกพีซีพีเคชัน

ขึ้นอยู่กับลักษณะของสัญญาณอินพุตของตัวควบคุม ในที่นี้สัญญาณป้อนกลับจากกระบวนการที่ได้จากอุปกรณ์เซ็นเซอร์มีระดับของสัญญาณรบกวนไม่สูงมากนัก จึงเลือกใช้วิธีพีซีพีเคชันแบบ พีซีซีซึ่งเกิดขึ้นตามสมการ 4.4

$$\mu_\lambda(u) = \begin{cases} 1; u = u_0 \\ 0; u \neq u_0 \end{cases} \quad (4.4)$$

#### 4.1.4 การกำหนดจำนวนฟuzzyเซตของตัวแปรอินพุต

จะเป็นการกำหนดความซับซ้อนของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอินพุตและตัวแปรเอาต์พุต โดยจำนวนฟuzzyเซตของตัวแปรอินพุตแต่ละตัวจะมีผลต่อขนาดของฐานกฎการควบคุม ดังสมการต่อไปนี้

$$M = Ne * N\Delta e \quad (4.5)$$

โดย

$M$  คือ ขนาดของกฎการควบคุม

$Ne$  คือจำนวนเทอมของตัวแปรอินพุต  $e$

$N\Delta e$  คือ จำนวนเทอมของตัวแปรอินพุต  $\Delta e$

ในการกำหนดจำนวนฟuzzyเซตของตัวแปรนั้นควรกำหนดให้เป็นจำนวนคี่ เพื่อให้มีฟuzzyเซตหนึ่งเซตอยู่ตรงกลางของเอกภพสัมพัทธ์ ซึ่งโดยปกติใช้ 3 ถึง 7 เซต ซึ่งในปริภูมิพนธ์นี้ได้ออกแบบตัวควบคุมให้มีจำนวนฟuzzyเซตของตัวแปรอินพุต  $e$  และ  $\Delta e$  เท่ากับ 3 และ 7 เซต ดังนั้นจำนวนของกฎการควบคุมทั้งหมดเท่ากับ  $M = 3 \times 3 = 9$  และ  $M = 7 \times 7 = 49$  เซต

#### 4.1.5 การกำหนดฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวแปรอินพุต

เป็นการกำหนดความสัมพันธ์ในการแมปบิ่จค่าอินพุตในเอกภพสัมพัทธ์กับฟuzzyเซตของตัวแปรอินพุต ถ้าต้องการให้ความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้น ควรจะกำหนดรูปร่างของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกแบบเชิงเส้น เช่น รูปประฆังคว่ำ หรือเกาส์เซียน

การกำหนดการกระจายของฟuzzyเซตบนเอกภพสัมพัทธ์ สามารถกำหนดได้ทั้งแบบที่เป็นเชิงเส้นและไม่เป็นเชิงเส้น ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ออกแบบโดยบริเวณที่มีความหนาแน่นของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกสูง จะแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอินพุตและตัวแปรเอาต์พุตที่มีความซับซ้อนมากกว่าบริเวณที่มีความหนาแน่นของฟังก์ชัน การเป็นสมาชิกต่ำ

การซ้อนทับกัน (Overlap) ของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกเป็นคุณสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งของตัวควบคุมฟuzzy เนื่องจากในการอินเฟอเรนซ์แบบฟuzzyต้องการให้เกิดกิริยากันระหว่างกันของกฎการควบคุมมากกว่า 1 กฎ การกำหนดเปอร์เซ็นต์การซ้อนทับกันขึ้นอยู่กับความคลุมเครือหรือความซับซ้อนของระบบและการออกแบบใช้ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวแปรอินพุตที่มีการซ้อนทับกันมากกว่า 2 เซต จะทำให้พื้นผิวของการควบคุม (Control hyper surface) มีความราบเรียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากขึ้น แต่ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงของกฎการควบคุมใดๆจะมีผลกระทบต่อการควบคุม ดังนั้นในการออกแบบฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวแปรอินพุตจึงไม่ควรให้มีการซ้อนทับกันของฟัซซี่เซตมากกว่า 2 เซต ในการกำหนดฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวแปรอินพุตมีแนวทางที่สามารถสรุปได้ดังนี้

1. กรณีต้องการใช้เวลาในการคำนวณน้อยควรกำหนดให้รูปร่างฟังก์ชันการเป็นสมาชิกเป็นรูปสามเหลี่ยมหรือสี่เหลี่ยมคางหมู
2. การกำหนดการกระจายของฟัซซี่เซตบนเอกภพสัมพัทธ์ควรกำหนดให้สมมาตรกัน
3. การกำหนดฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวแปรอินพุต ควรกำหนดให้มีการทับซ้อนกันของฟัซซี่เซตที่อยู่ติดกัน เพื่อให้มีการเกิดกิริยาระหว่างกันของกฎการควบคุมในทุกสถานะของสัญญาณอินพุต ซึ่งแสดงถึงความสมบูรณ์ของกฎการควบคุม ปกติจะออกแบบให้มีเปอร์เซ็นต์การทับซ้อนกันของฟัซซี่เซต ประมาณ 15-25 เปอร์เซ็นต์

ในปริยายานพจน์นี้ได้ออกแบบตัวควบคุมโดยกำหนดให้รูปร่างของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของฟัซซี่เซตของตัวแปรอินพุต  $e$  และ  $\Delta e$  เป็นรูปเกาส์เซียน เนื่องจากมีความต่อเนื่องของรูปทรงและเหมาะสมกับระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้น เนื่องจากการทดลองใช้ตัวควบคุมไปควบคุมการทำงานของมอเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นปั๊มน้ำ ซึ่งมีความไม่เป็นเชิงเส้น แสดงรูปร่างของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกกับค่ากลางและตัวแปรลิงกวิสติกแต่ละตัว สมการ 4.6 เป็นสมการของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกที่ใช้

$$\mu_{Fi}(u) = e^{-\frac{(x_i - \bar{x}_i)^2}{\sigma_i^2}} \quad (4.6)$$

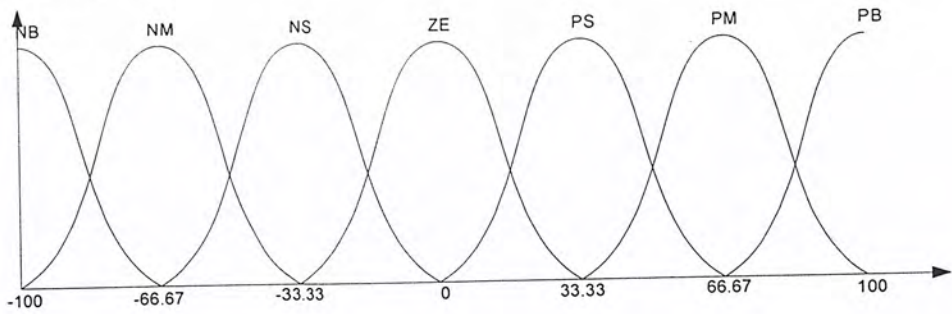
โดยที่  $\bar{x}_i$  คือ ค่ากลาง (Mean)

$\sigma_i$  คือ ความกว้าง (Width)

$x_i$  คือ อินพุต

$\mu_{Fi}(u)$  คือ ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของฟัซซี่เซตโดยมีอินพุตเป็น  $x_i$   $F_i$  เป็นฟัซซี่เซตในส่วน Antecedent  $i$  เป็นจำนวนตัวแปรอินพุต 1 เป็นจำนวนกฎการควบคุม

Member Shift Function



ภาพที่ 4.2 แสดงฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวแปรอินพุต  $e$  และ  $\Delta e$

จากรูปที่ การกำหนดฟังก์ชันการเป็นสมาชิกแบบเกาส์เซียนนั้น จะสามารถควบคุมระบบได้ทุกระบบแต่จะมีค่าผิดพลาดเนื่องมาจากความไม่เป็นเชิงเส้นของระบบในแต่ละระบบ ซึ่งจะใช้ส่วนการปรับแต่งพารามิเตอร์ของฟuzzy ทำให้ผลตอบสนองเข้าสู่สภาวะอ้างอิง

#### 4.1.6 การกำหนดตัวแปรลิงกวิสติก

จากการกำหนดจำนวนฟuzzyเซตของตัวแปรอินพุตดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าใช้จำนวนฟuzzyเซตทางอินพุตแต่ละตัวเป็น 7 เซตตัวแปรลิงกวิสติกได้กำหนดเป็น ชื่อ และค่ากลาง (Mean) หรือ ค่าของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกดังนี้

NB = Negative Big = -100

NM = Negative Medium = -66.67

NS = Negative Small = -33.33

ZE = Zero Equal = 0

PS = Positive Small = 33.33

PM = Positive Medium = 66.67

PB = Positive Big = 100

และความกว้าง (Width) หรือ  $\sigma$  มีค่าเริ่มต้นเท่ากันคือ 25 ในการปรับค่าความกว้างนี้มีเงื่อนไขว่าถ้าน้อยกว่า 0 ให้เริ่มต้นใหม่ที่ค่า 25

#### 4.1.7 การกำหนดฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวแปรเอาต์พุต

จะมีแนวทางคล้ายกับการกำหนดฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวแปรอินพุตโดยกำหนดให้ฟuzzyเซตของตัวแปรเอาต์พุตเป็นฟuzzyซึ่งเกิดต้น

#### 4.1.8 การกำหนดรูปแบบของกฎการควบคุม

ในการออกแบบตัวควบคุมแบบฟัซซี(Fuzzy controller) นั้น มีปัญหาสำคัญอันหนึ่ง ที่ควรคำนึงถึงคือการหากฎควบคุม (Fuzzy control rule) ที่เหมาะสม ซึ่งวิธีที่สามารถนำมาใช้ได้จริง ในงานควบคุมกระบวนการ (Process control) อยู่ 3 วิธี คือ

1. จากความรู้และประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญ โดยทั่วไปส่วนมากตัวควบคุมแบบฟัซซี (Fuzzy controller) จะได้รับการออกแบบโดยอ้างอิงกับ ความรู้และประสบการณ์ของ วิศวกรควบคุม ซึ่งอันที่จริงแล้วสามารถกล่าวได้ว่าการควบคุมแบบฟัซซี(Fuzzy control) นั้นเป็นการประยุกต์ใช้ (Application) ที่ได้จริงอันแรกทางด้านระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert system) เลยทีเดียวการออกแบบ ด้วยวิธีนี้เหมาะกับระบบที่ผู้ควบคุมเป็นหลักสำคัญกฎควบคุม(Control rule) นั้นก็จะได้มาจากการระบุ วิธีการควบคุม แต่ข้อเสียของวิธีนี้ก็คือ ส่วนมากผู้ควบคุมจะไม่สามารถถ่ายทอดออกมาได้ เป็นลายลักษณ์อักษร โดยเฉพาะเมื่อระบบมีความซับซ้อนมาก

2. จากการจำลองลักษณะการทำงานของผู้ควบคุม เมื่อทักษะของผู้ควบคุมเป็นสิ่งสำคัญ จึงจำเป็นมากที่จะหากฎการควบคุมฟัซซี(Fuzzy control rule) มาจากการจำลองลักษณะการทำงานของ ผู้ควบคุม ซึ่งวิธีนี้สามารถเป็นไปได้ที่จะแปลงการทำงานของผู้ควบคุมมาเป็นอินพุต และเอาต์พุตของตัวควบคุม( Controller)

วิธีค่อนข้างคล้ายคลึงกับการจำลองกระบวนการ แต่ว่าการจำลองการทำงานของ ผู้ควบคุมนั้นจะง่ายกว่าการจำลองกระบวนการ เพราะอินพุตของระบบหาได้ง่ายกว่า แต่ในสถานการณ์จริงนั้นก็ควรจะมีวิธีที่ 1 และ 2 เข้าด้วยกัน

3. จากการจำลองกระบวนการ ในวิธีแรกนั้นมีพื้นฐานมาจากความคิดคร่าวๆ ที่เกี่ยวกับ คุณสมบัติของกระบวนการ เช่นเอาต์พุตเพิ่มขึ้นเมื่ออินพุตเพิ่มขึ้น กระบวนการที่มี Time lag ฯลฯ ส่วนวิธีที่ 2 จะใช้เฉพาะตัวแปรที่มีให้แก่ผู้ควบคุมกระบวนการ ซึ่งทั้งสองวิธีนี้จะใช้ได้ดี เฉพาะในกรณีที่ผู้ควบคุมมีบทบาทสำคัญในการควบคุมกระบวนการเท่านั้น

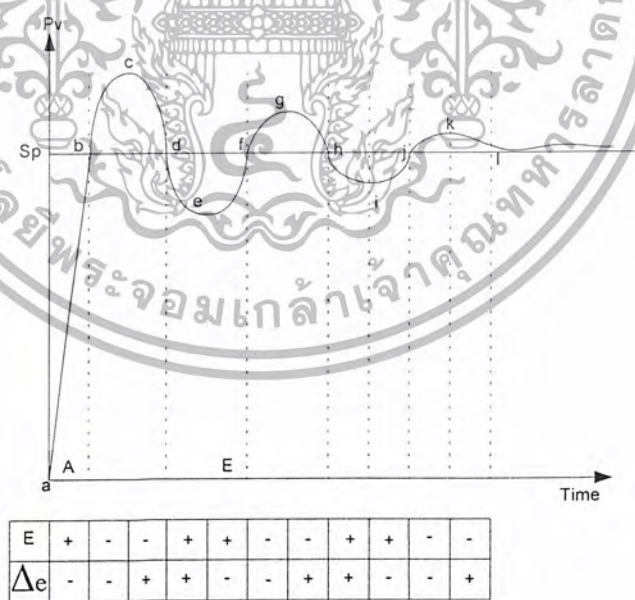
แต่ถ้าไม่ต้องการขึ้นอยู่กับผู้ควบคุมและต้องการให้ผลการควบคุมดีกว่าการควบคุมด้วย ผู้ควบคุม ก็จะมีการออกแบบอีกวิธีหนึ่งคือ การจำลองกระบวนการ ซึ่งเป็นวิธีที่ซับซ้อนกว่า ใน การออกแบบวิธีนี้ได้การศึกษาวิจัยมาหลายครั้งด้วยกัน การจำลองกระบวนการในที่นี้จะเป็นการ แสดงคุณลักษณะของกระบวนการ(Process) ออกมาด้วยฟัซซีเซต (Fuzzy set) โดยพิจารณาอินพุต ตัวแปรสถานะและเอาต์พุตที่มีแนวความคิดสองทางด้วยกัน ในการออกแบบตัวควบคุมแบบฟัซซี (Fuzzy controller) จากแบบจำลองฟัซซี

1. ทางแรก คือ การออกแบบให้ตัวควบคุม(Control rule) นั้น กระทำการชดเชย (Compensate) ลักษณะที่ไม่ต้องการของกระบวนการเพื่อให้ได้ตามเป้าหมายที่ต้องการ
2. ทางที่สองคือเป็นไปตามทฤษฎีของ Optimal control ซึ่งให้โครงสร้างและพารามิเตอร์ของกฎควบคุม(Control rule) ทำให้ระบบที่มีตัวควบคุมแบบพีชซีควบคุมอยู่นั้นเป็นไปตามเป้าหมายที่ต้องการ

#### 4.1.9 แนวทางการออกแบบกฎการควบคุม

กฎถือว่าเป็นหัวใจสำคัญในตัวควบคุมพีชซี โดยกฎจะเป็นที่รวมของประสบการณ์เกี่ยวกับพฤติกรรมตอบสนองของระบบเชิงประมาณที่ต้องการควบคุม ซึ่งวิธีการกำหนดอาจจะสรุปแน่นอนไม่ได้ ดังนั้นหลักเกณฑ์ประมาณค่ากฎอาจจะกำหนดได้จากคุณสมบัติของระบบอย่างง่าย ๆ และทำการปรับแต่งให้เหมาะสมหรืออาจจะทดสอบจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ เพื่อใช้เป็นแนวทางการออกแบบ

การออกแบบกฎโดยวิธีฮิวริสติก (Heuristic) เป็นการออกแบบกฎจากพฤติกรรมการตอบสนองของระบบที่ได้จากประสบการณ์หรือจากการทดสอบจนกระทั่งได้ค่าสมรรถนะที่ต้องการ ซึ่งการออกแบบกฎโดยประมารนี้จะใช้วิธีการพิจารณาความสัมพันธ์ของอินพุตและผลการตอบสนอง ดังแสดงในรูปที่ 4.3 ซึ่งสามารถเขียนเป็นกฎแบบหยาบได้ดังนี้แสดงในตารางที่ 4.1



ภาพที่ 4.3 แสดงผลการตอบสนองของการเปลี่ยนระดับและการแบ่งช่วงของผลการตอบสนองเพื่อหาความสัมพันธ์ของ ค่าผิดพลาดและการเปลี่ยนแปลงของค่าผิดพลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรอินพุตและเอาต์พุตของการออกแบบกฎ

Rule no.	e	$\Delta e$	Output	Reference
1	P	Z	P	Points a, e, I
2	Z	N	N	Points b, f, j
3	N	Z	N	Points c, g, k
4	Z	P	P	Points d, h, l
5	Z	N	Z	Set point
6	P	N	P	Range A, E

นอกจากนี้จากความสัมพันธ์ของอินพุตและผลการตอบสนองทำให้สามารถแบ่งกฎแบบละเอียดได้ 5 กลุ่มดังแสดงในรูปที่ 3.15 ดังนี้

กำหนดให้ คำลึงค์วิสตติ สำหรับค่าผิดพลาด อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าผิดพลาด และ เอาท์ พูทของระบบพีซซี คือ

PB = Positive Big

PM = Positive Medium

PS = Positive Small

ZE = Zero

NS = Negative Small

NM = Negative Medium

NB = Negative Big

กลุ่มที่ 0 (Group 0) คือ กลุ่มของกฎที่มี ค่า e (k) และค่า  $\Delta e$  (k) เป็น (Positive หรือ Negative) ด้วยขนาด (Small หรือ Zero) ซึ่งหมายความว่า ค่าปัจจุบันของเอาต์พุตอยู่ห่างจากค่าที่กำหนดไว้เพียงเล็กน้อย ดังนั้น ค่า u (k) ควรมีค่าน้อยด้วย (Small หรือ Zero) สรุปกฎในกลุ่มนี้จะสัมพันธ์กับสภาวะ Steady state ของระบบ

กลุ่มที่ 1 (Group 1) คือ กลุ่มของกฎที่มีค่า e(k) เป็น (NB, NM) ซึ่งหมายความว่า ค่าเอาต์พุตมีค่ามากกว่าค่าที่กำหนดให้มาก ขณะเดียวกัน ค่า  $\Delta e$  (k) เป็น Positive แสดงว่า เอาท์พุตวิ่งเข้าหาค่าที่กำหนดให้ ดังนั้น ค่า u (k) เป็นบวก (Positive) แสดงว่า ค่าเอาต์พุต เคลื่อนที่ออกจากค่าที่กำหนดไว้ ดังนั้น ค่า u (k) จะเป็นตัวที่เร่งให้ระบบเข้าสู่ค่าที่กำหนดเร็วขึ้นหรือหน่วงให้ระบบเข้าสู่ค่าที่กำหนดช้าลงนั่นเอง เช่น ถ้า ค่าเอาต์พุตของระบบพีซซีมีค่ามากกว่าค่าที่กำหนดให้มาก (e (k) is NB) และ มันกำลังเคลื่อนที่เข้าหาค่าที่กำหนดไว้อย่างช้าๆ ( $\Delta e$ (k)

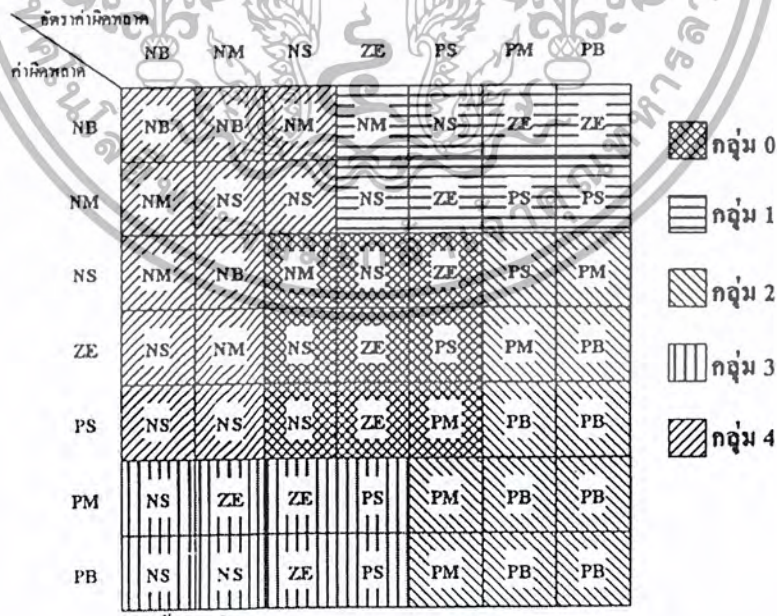
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

is PS) ดังนั้น ขนาดของ การเคลื่อนที่เข้าสู่ค่าที่กำหนดควรจะถูกกระตุ้นให้เร็วขึ้น ( $u(k)$  is NM) เป็นต้น

กลุ่มที่ 2 (Group 2) คือ กลุ่มของกฎที่มีค่า  $e(k)$  มีค่าเข้าใกล้ค่าที่กำหนด (PS, ZE, NS) หรือ มีค่าต่ำกว่าค่าที่กำหนดมาก (PM, PB) ขณะเดียวกัน ค่า  $\Delta e(k)$  เป็นบวก (Positive) แสดงว่าค่าเอาต์พุต เคลื่อนที่ออกจากค่าที่กำหนดไว้ ดังนั้น ค่า  $u(k)$  ควรมีค่าเป็นบวกเพื่อเปลี่ยนค่าเอาต์พุต ให้เคลื่อนที่สู่ค่าที่กำหนดให้แทนที่จะเคลื่อนที่ออกจากค่าที่กำหนดให้

กลุ่มที่ 3 (Group 3) คือ กลุ่มของกฎที่มีค่า  $e(k)$  เป็น Positive medium หรือ Big ซึ่งหมายความว่า เอาต์พุต มีค่าต่ำกว่าค่าที่กำหนดมาก ขณะเดียวกัน ค่า  $\Delta e(k)$  เป็นลบ (Negative) แสดงว่าเอาต์พุต เคลื่อนที่สู่ค่าที่กำหนดให้  $u(k)$  จะเป็นตัวที่เร่งให้ระบบเข้าสู่ค่าที่กำหนดเร็วขึ้น หรือหน่วงให้ระบบเข้าสู่ค่าที่กำหนดช้าลงนั่นเอง เช่น ถ้า เอาต์พุตของระบบมีค่ามากกว่าค่าที่กำหนดให้มาก ( $e(k)$  is PB) และ มันกำลังเคลื่อนที่เข้าหาค่าเป้าหมายที่กำหนดไว้อย่างรวดเร็ว ( $\Delta e(k)$  is NM) ดังนั้น ขนาดของ การเคลื่อนที่เข้าสู่ค่าที่กำหนดและจะถูกกระตุ้นให้เร็วขึ้น เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ( $u(k)$  is PS) เป็นต้น

กลุ่มที่ 4 (Group 4) คือ กลุ่มของกฎที่มีค่า  $e(k)$  ใกล้เคียงกับค่าที่กำหนด (PS, ZE, NS) หรือมีค่ามากกว่าค่าที่กำหนดไว้มาก (NM, NB) ขณะเดียวกัน ค่า  $\Delta e(k)$  เป็นลบ (Negative) แสดงว่าเอาต์พุตเคลื่อนที่ออกจาก ค่าที่กำหนดให้ ดังนั้น  $u(k)$  ควรเป็น ลบ (Negative) เพื่อเปลี่ยนให้เอาต์พุตเคลื่อนที่เข้าหาค่าที่กำหนดให้ นั่นเอง



ภาพที่ 4.4 แสดงกลุ่มของกฎทั้ง 5 ที่ได้จากการออกแบบกฎของตัวควบคุมแบบฮิวริสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากที่กล่าวข้างต้น จะเห็นได้ว่าสิ่งที่สำคัญสำหรับตัวควบคุมฟัซซี่คือ ฐานความรู้ ซึ่งจากการนำตัวควบคุมฟัซซี่มาประยุกต์ใช้กับงานด้านต่างๆ พบว่าปัญหาที่เกิดขึ้นคือ กรณีที่ฐานความรู้ไม่เหมาะสม อาจทำให้ระบบไม่สามารถเข้าสู่สภาวะคงตัวได้ หรือ กรณีที่พารามิเตอร์ของกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลง ฐานความรู้เดิมที่มีอยู่อาจจะแก้ปัญหาไม่ได้ ดังนั้น จึงได้มีการพัฒนาตัวควบคุมฟัซซี่เพื่อให้สามารถมีการเรียนรู้และปรับปรุงฐานความรู้เพื่อให้ระบบมีผลการตอบสนองที่ดี โดยการกำหนดรูปแบบของกฎการควบคุม รูปแบบของกฎการควบคุมที่ใช้ในปริภูมิพินธ์นี้อยู่ในรูปแบบเงื่อนไข If-Then โดยในส่วนของ Antecedent หรือส่วนของ If เป็นการกำหนดเงื่อนไขของค่าตัวแปรอินพุตในรูปแบบฟัซซี่เซต และส่วน Consequent หรือส่วนของ Then แสดงถึงผลลัพธ์ของตัวแปรเอาต์พุตในรูปแบบฟัซซี่เซต เมื่อตัวแปรอินพุตเป็นไปตามเงื่อนไขส่วน Antecedent กฎการควบคุมที่ใช้ในปริภูมิพินธ์นี้มีรูปแบบดังนี้

$$R' : \text{If } x_i \text{ is } F_i' \text{ AND } \dots \text{AND, } x_i \text{ is } F_i \text{ Then } y \text{ is } G_i \quad (4.7)$$

โดยที่  $i$  เป็นจำนวนของกฎการควบคุมเท่ากับ 1 ถึง 49 กฎ ดังได้กล่าวมาแล้ว  $n$  เป็นจำนวนอินพุต ในที่นี้มีค่าเท่ากับ 2  $R_i$  เป็นกฎการควบคุมลำดับที่  $i$

$F_i', \dots, F_n'$  เป็นฟัซซี่เซตของส่วน antecedent ในเอกภพสัมพัทธ์  $u_i$  ซึ่งเป็นสับเซตของจำนวนจริง เขียนแทนด้วย  $u_i \subset R$  จากที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อตัวแปรอินพุตเอกภพสัมพัทธ์ของอินพุตจะเป็น  $u_i = [-100, 100]$   $G_i'$  เป็นฟัซซี่เซตของส่วน Consequent ในเอกภพสัมพัทธ์  $v$  ซึ่งเป็นสับเซตของจำนวนจริงเขียนแทนด้วย  $v \subset R$  ในทำนองเดียวกัน เอกภพสัมพัทธ์ตัวแปรเอาต์พุตจะเป็น  $v = [-100, 100]$  สามารถแทนด้วยตัวแปรอินพุตเอาต์พุตที่กำหนดในปริภูมิพินธ์นี้ดังสมการที่ (4.8)

$$R_i : \text{If } e \text{ is } F_1' \text{ And } \Delta e \text{ is } F_2' \text{ Then } y \text{ is } G' \quad (4.8)$$

โดยที่  $F_1', F_2'$  คือตัวแปรลึงกวิสติกดังได้กล่าวมาแล้วโดยที่จะเป็นได้คือ NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB ขึ้นอยู่กับค่าของอินพุตในฟังก์ชันการเป็นสมาชิกใดหรือฟัซซี่เซตใด

#### 4.1.10 การอินเฟอร์เรนซ์ของฟัซซี่

เป็นกระบวนการประมวลผลข้อมูลอินพุตที่อยู่ในรูปตัวแปรฟัซซี่โดยใช้กฎการควบคุม If-Then ในการหาค่าเอาต์พุตในรูปของตัวแปรฟัซซี่ จากสมการที่ (4.7) เพื่อความสะดวกในการคำนวณ สามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการดังนี้

$$R' : F_1' x \dots x F_n' \longrightarrow G' \quad (4.9)$$

ในการทำงานเดียวกันเมื่อแทนตัวแปรอินพุตจะได้ดังสมการ 5.10

$$R' : F_1' x F_2' \longrightarrow G' \quad (4.10)$$

ซึ่งอยู่ในระนาบ  $U \times V$  อินพุตเวกเตอร์  $\underline{x} = (x_1, \dots, x_n)^T$  เป็นสมาชิกในเอกภพสัมพัทธ์อยู่ในรูปผลคูณคาร์ทีเซียน  $u_1 x \dots x u_n$  แทนด้วย  $\underline{x} = (x_1, \dots, x_n)^T \in u_1 x \dots x u_n$  และเอาต์พุต  $y$  เป็นสมาชิกในเอกภพสัมพัทธ์  $V$  แทนด้วย  $y \in v$  ต่อไปจะแทนด้วยตัวแปรลึงกวิสติก กำหนดให้  $A'$  อยู่ในเอกภพสัมพัทธ์  $U$  เป็นอินพุต อินเฟอเรนซ์ของฟัชซี ในการประมวลผลฟัชซีเซต  $B'$  ในเอกภพสัมพัทธ์  $V$  ซึ่งเป็นเอาต์พุตของฟัชซีในปริภูมิตัวนิพนธ์นี้ เลือกใช้แบบ Sup-star composition ดังสมการ 4.11

$$\mu_{B'}(\bar{y}') = \sup_{x \in U} [\mu_{F_1' x \dots x F_n'}(x, \bar{y}') * \mu_{A'}(x)] \quad (4.11)$$

\* แทนตัวกระทำที่ใช้ในการอินเฟอเรนซ์ ซึ่งใช้การอินเฟอเรนซ์แบบ Product inference

ดังสมการที่ 5.12

$$\mu_{F_1' x \dots x F_n'}(x) = \mu_{F_1'}(x_1) \dots \mu_{F_n'}(x_n) \cdot \mu_{G'}(\bar{y}') \quad (4.12)$$

แทนสมการ 4.12 ในสมการที่ 4.11 จะได้

$$\mu_{B'}(\bar{y}') = \sup_{x \in U} [\mu_{F_1'}(x_1) \dots \mu_{F_n'}(x_n) \cdot \mu_{G'}(\bar{y}') \cdot \mu_{A'}(x)] \quad (4.13)$$

โดยที่  $\mu_{A'}(x)$  ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกที่ได้จากเอาต์พุตของฟัชซีพีเคชันการที่ปริภูมิตัวนิพนธ์นี้ เลือกใช้วิธีการฟัชซีซึ่งเกิดขึ้นตามเงื่อนไขที่กล่าวไว้ในตอนต้นสามารถแทนด้วย 1 ในทำงานเดียวกัน  $\mu_{G'}(\bar{y}')$  เป็นฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวแปรเอาต์พุตเลือกใช้วิธีฟัชซีซึ่งเกิดขึ้นเหมือนกันและเป็นจุดที่ทำให้ค่า  $\bar{y}'$  มีค่าสูงสุดซึ่งสามารถแทน  $\mu_{G'}(\bar{y}')$  ด้วย 1 ฉะนั้นสามารถเขียนสมการที่ 4.12 ใหม่ได้ดังนี้

$$\mu_{B'}(\bar{y}') = \sup_{x \in U} [\mu_{F_1'}(x) \dots \mu_{F_n'}(x_n)] \quad (4.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ สามารถเขียนอยู่ในรูปสมการที่ 4.15

$$\mu_{B'}(y^{-l}) = \prod_{i=1}^2 \mu_{F_i'}(x_i) \quad (4.15)$$

เมื่อแทนตัวแปรอินพุตจะได้สมการที่ 4.16

$$\mu_{B'}(y^{-l}) = \prod_{i=1}^2 \mu_{F_i'}(x_i) \quad (4.16)$$

#### 4.1.11 การดีฟัซซิฟิเคชัน

เป็นกระบวนการหาค่าเอาต์พุตเพียงค่าเดียวที่เหมาะสมที่สุด เพื่อเป็นตัวแทนของฟัซซีเอาต์พุตที่มีความเป็นไปได้ กระจายอยู่บนเอกภพสัมพัทธ์ของเอาต์พุต ในปริภูมิตวินนธ์นี้เลือกใช้วิธี FM ซึ่งวิธี FM นี้เป็นวิธีที่ดัดแปลงมาจากวิธี COG เพื่อลดเวลาในการคำนวณ การดีฟัซซิฟิเคชันด้วยวิธีนี้จะได้ผลเช่นเดียวกับการใช้วิธี COG ดังสมการ

$$f(x) = \frac{\sum_{l=1}^M y^{-l} (\mu_{B'}(y^{-l}))}{\sum_{l=1}^M (\mu_{B'}(y^{-l}))} \quad (4.17)$$

โดย  $y^{-l}$  คือ ศูนย์กลางของฟัซซีเซตของ  $G^l$  ซึ่งเป็นจุดที่ฟังก์ชันการเป็นสมาชิก  $\mu_{G^l}(y)$  มีค่าสูงสุด

จากสมการที่ 4.6 และสมการที่ 4.16 แทนในสมการที่ 4.17 จะแทนการดีฟัซซิฟิเคชันได้  
สมการ 4.18

$$f(x) = \frac{\sum_{l=1}^{49} y^{-l} \left( \prod_{i=1}^2 \exp\left(-\left(\frac{x_i - x_i^{-l}}{\sigma_i^{-l}}\right)^2\right) \right)}{\sum_{l=1}^{49} \left( \prod_{i=1}^2 \exp\left(-\left(\frac{x_i - x_i^{-l}}{\sigma_i^{-l}}\right)^2\right) \right)} \quad (4.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปริภูมิพจน์นี้ ได้กำหนดศูนย์กลางของฟัซซี่เซต  $y'$  เป็นตารางตามตัวแปรอินพุตที่ใช้ในปริภูมิพจน์นี้ ซึ่งเป็นตารางของกฎการควบคุม แสดงในตารางของกฎการควบคุมที่ 4.1

ตารางที่ 4.2 แสดงกฎการควบคุม

$e/\Delta e$	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	-100	-66.67	-33.33	0	33.33	66.67	100
NM	-66.67	-33.33	-64	-31	16	54	10
NS	-33.33	-21	-46	-22	33	63	33.33
ZE	-0	-10	-7	7	52	90	66.67
PS	33.33	3	22	57	50	100	100
PM	66.67	30	64	85	100	100	100
PB	100	33.33	40	66.67	100	100	100

#### 4.1.12 การคืนอมอลไลซ์ตัวแปรเอาต์พุต

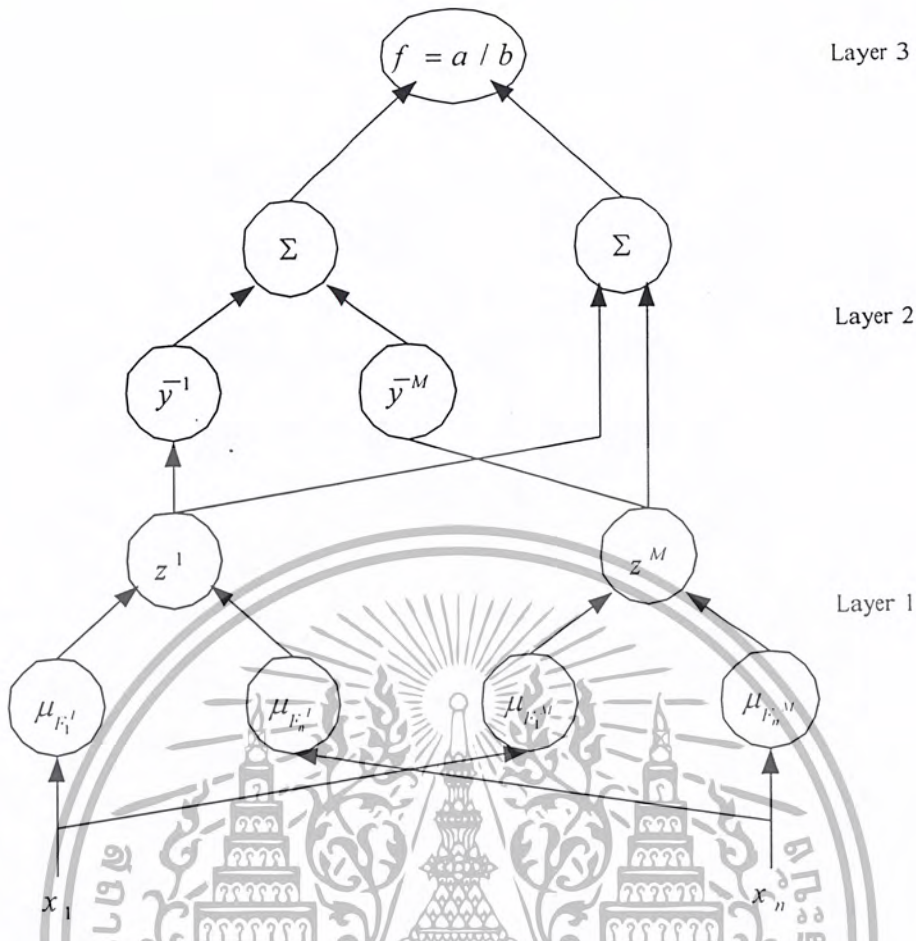
ให้อยู่ในเอกภพสัมพัทธ์ที่กำหนด เอาต์พุตของตัวควบคุมฟัซซี่มีค่าระหว่าง  $u = [-100, 100]$  แต่จากโปรแกรมจะส่งค่าให้ระหว่าง  $u = [0, 100]$  การคืนอมอลไลซ์ค่าเอาต์พุตให้อยู่ในช่วงสัญญาณควบคุมในปริภูมิพจน์นี้ คือค่าสัญญาณ  $Mv$  (Manipulate value) ดังสมการ 4.19

$$Mv = (\text{Fuzzy Output}/100) \times 4000 \quad (4.19)$$

สัญญาณ  $Mv$  ที่ได้จะถูกส่งต่อไปให้วงจร A/D เพื่อแปลงแรงดันให้ได้ค่า 0-5 V และแปลงเป็นกระแสขนาด 4-20 mA เพื่อส่งต่อไปควบคุมการทำงานของปั๊มน้ำ

#### 4.2 การปรับแต่งพารามิเตอร์ของตัวควบคุมฟัซซี่

จากสมการที่ 4.18 สามารถแทนด้วยโครงข่ายแบบป้อนไปด้านหน้า (Feed forward network) 3 เลเยอร์ ดังรูปที่ 4.3 โดยการทำงานแบ่งเป็น 2 ส่วนคือส่วนป้อนไปด้านหน้า (Feed forward) และส่วนป้อนกลับจากด้านหลัง (Backward) ในส่วนป้อนไปด้านหน้า มีการทำงานในแต่ละเลเยอร์ดังนี้



ภาพที่ 4.5 แสดงโครงข่ายป้อนไปด้านหน้าของตัวควบคุมฟuzzy

เลขอร์ที่ 1 เป็นการรวมฟuzzyฟิเคชันและอินเฟอเรนซ์ไว้ในเลขอร์นี้มีการทำงานคือการเปลี่ยนค่าอินพุตของตัวควบคุมให้อยู่ในรูปแบบตัวแปรฟuzzyด้วยสมการที่ 4.6 ผลที่ได้เป็นระดับของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของแต่ละตัวแปรถึงกวิสตติกและอินเฟอเรนซ์ด้วยสมการที่ 4.18 เป็นการนำค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวแปรถึงกวิสตติกแต่ละตัวมาคูณกัน ผลที่ได้แทนด้วยตัวแปร รวมสมการ 4.15 และ 4.6 เข้าด้วยกันจะได้ดังสมการที่ 4.20

$$z^i = \prod_{i=1}^n \exp\left(-\left(\frac{x_i - \bar{x}_i}{\sigma_i}\right)^2\right) \quad (4.20)$$

เลขอร์ที่ 2 ผลที่ได้จากเลขอร์ที่ 1 แบ่งเป็น 2 ทางคือด้านตัวแปร a นำผลการอินเฟอเรนซ์ค่า คูณกับค่า ซึ่งเป็นจำนวนจริงของส่วน Consequent แล้วมารวมกันแทนด้วยสมการที่ 4.21

$$a = \sum_{i=1}^M (\bar{y}^i z^i) \quad (4.21)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และทางด้านตัวแปร  $b$  เกิดจากการรวมกันของค่า แทนด้วยสมการที่ 4.22

$$b = \sum_{l=1}^M z^l \quad (4.22)$$

เลขอร์ที่ 3 เป็นเอาต์พุตของระบบคือการนำค่า  $a$  หารด้วย  $b$  จะได้  $f = a/b$  ซึ่งเมื่อแทนค่าสมการทั้งหมดจะได้เอาต์พุตของระบบดังสมการที่ 4.18

### 4.3 ค่าอัตราขยายของตัวแปรอินพุตและเอาต์พุต (Scaling Factor)

สัญญาณ  $e$  และ  $\Delta e$  จากรูปที่ สัญญาณทั้งสองจะถูกคูณด้วย Scaling factor  $G_e$  และ  $G\Delta e$  ตามลำดับ การที่นอมอลไลซ์ค่า  $e$  และ  $\Delta e$  หลังจากที่คุณค่า Scaling factor จะช่วยในการลดหรือเพิ่มความไวต่อสัญญาณอินพุตทั้งสอง ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพของระบบการเพิ่ม  $G_e$  จะช่วยเพิ่มผลตอบสนองต่อค่าอ้างอิงเร็วขึ้นแต่อาจทำให้เกิดโอเวอร์ชูทสูงและออสซิลเลทที่สภาวะคงตัวมาก การเพิ่มค่า  $G\Delta e$  จะช่วยลดโอเวอร์ชูทและออสซิลเลทที่สภาวะคงตัว แต่ถ้าค่า  $G\Delta e$  มากเกินไปก็อาจทำให้ค่า Steady state error เพิ่มมากขึ้นได้ ดังนั้นการใช้งาน  $G_e$  และ  $G\Delta e$  จะต้องสัมพันธ์กันซึ่งจะทำให้ระบบทำงานมีประสิทธิภาพสัญญาณทั้งสองเป็นอินพุตของพีซซี โดย  $x = [x_1, x_2]^T = [e, \Delta e]^T$  ตามลำดับส่วนของ ส่วนสัญญาณ  $u$  ซึ่งเป็นเอาต์พุตจะถูกนำไปคูณค่า Scaling factor : $G_u$  ด้วยเช่นกัน เพื่อเป็นการเพิ่มค่าของสัญญาณควบคุม ส่วนของ Gain schedule เป็นส่วนที่ทำการ ตรวจสอบค่าสัญญาณที่ได้รับมาจากระบบการ แล้วทำการปรับเปลี่ยนค่า Scaling factor ให้อยู่ในช่วงที่ออกแบบไว้ การเกิด โอเวอร์ชูท, ไรส์ไทม์, เซตติงไทม์ และความถี่ในการออสซิลเลทของสภาวะทรานเซียน เกิดจากการกำหนดค่า  $G_e, G\Delta e$  และ  $G_u$  ไม่เหมาะสม จะเห็นได้ว่ามีตัวแปรในระบบหลายตัวจากการทดลองให้ค่าเป็นค่าคงที่ดังที่ได้กำหนดมาแล้วค่า Scaling factor ที่ใช้ในการทดลองนี้ ได้มาจากการทดลองผิดลองถูกหลายๆครั้ง และมีเงื่อนไขของค่า Scaling factor ที่ใช้ในการทดลองดังนี้

1. ช่วงของสัญญาณป้อนกลับระหว่าง 0-75 %ของสัญญาณอ้างอิง กำหนดให้  $G_e = 2$   $G\Delta e = 1$  และ  $G_u = 3$  การกำหนดช่วงดังกล่าว จะทำให้ค่าไรส์ไทม์ต่ำ ผลตอบสนองเข้าสู่สัญญาณอ้างอิงเร็ว
2. ช่วงของสัญญาณป้อนกลับระหว่าง 75-95% ของสัญญาณอ้างอิงจะกำหนดให้  $G_e=2$   $G\Delta e = 5$  และ  $G_u = 1$  การกำหนดค่าดังกล่าวเป็นการลดโอเวอร์ชูทและลดการเข้าหาสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

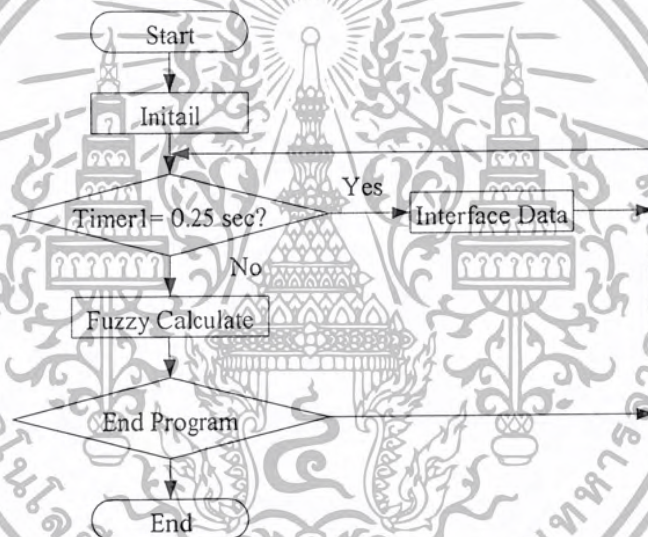
อ้างอิงที่สภาวะคงตัว ซึ่ง ถ้า  $G\Delta e$  ยิ่งมากขึ้นเท่าไรก็จะทำให้การเกิดโอเวอร์ชูทน้อยลงเท่านั้น แต่จะทำให้การเข้าสู่สภาวะคงตัวช้าลงไปด้วย

3. ช่วงของสัญญาณป้อนกลับระหว่าง 95-105% ของสัญญาณอ้างอิง จะกำหนดให้  $G_e = 1$   $G\Delta e = 1$  และ  $G_u = 1$  การกำหนดให้ค่า  $G_e, G\Delta e$  และ  $G_u$  เป็น 1 ทั้งหมดนั้นจะช่วยในการไม่ให้เกิด ออสซิลเลท และค่าผิดพลาดที่สภาวะคงตัว

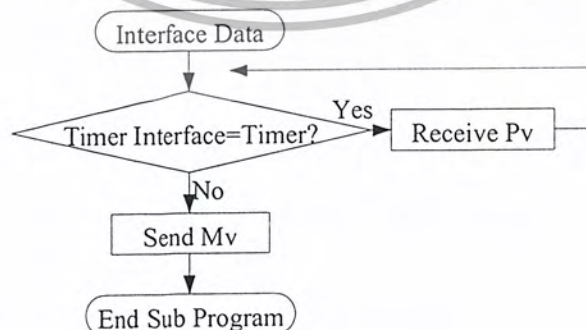
ค่าต่างๆที่กำหนดขึ้นในการออกแบบการควบคุมจะเป็นค่ากลางที่จะนำไปใช้ในการควบคุมกระบวนการ แต่ในการควบคุมกระบวนการจริงนั้นจะต้องปรับเปลี่ยนค่าต่างๆ เพื่อให้สอดคล้องกับกระบวนการจริงจนกระทั่งได้ค่าและพารามิเตอร์ที่สามารถควบคุมกระบวนการได้

#### 4.4 การออกแบบโปรแกรมควบคุม

##### 4.4.1 ขั้นตอนการออกแบบ Flow Chart

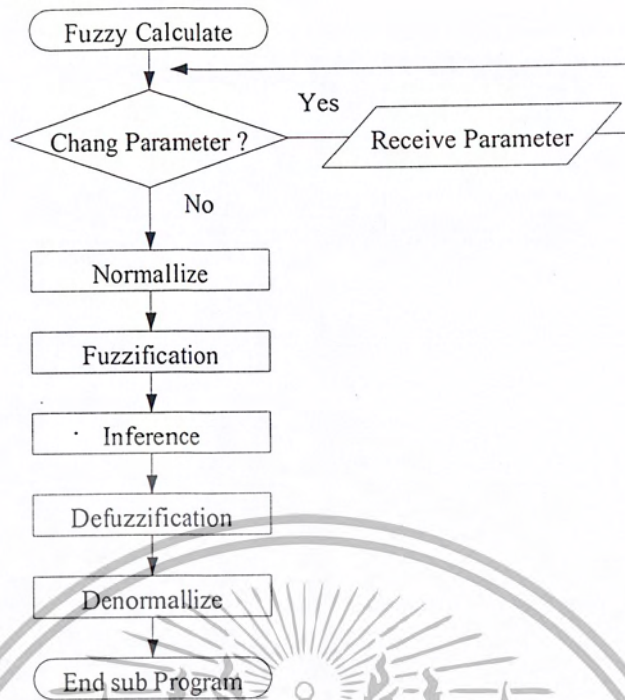


ภาพที่ 4.6 แสดง Flow Chart ของการทำงานทั้งกระบวนการ



ภาพที่ 4.7 แสดง Flow Chart ของการทำงานส่วน Interface

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



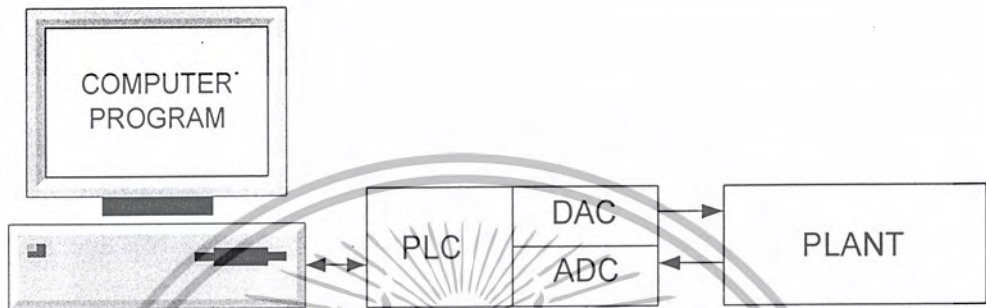
ภาพที่ 4.8 แสดง Flow Chart ของการทำงานส่วนการคำนวณด้วยหลักการฟัซซี่

## บทที่ 5

### การทดลอง

#### 5.1 กระบวนการที่ใช้ในการทดลอง

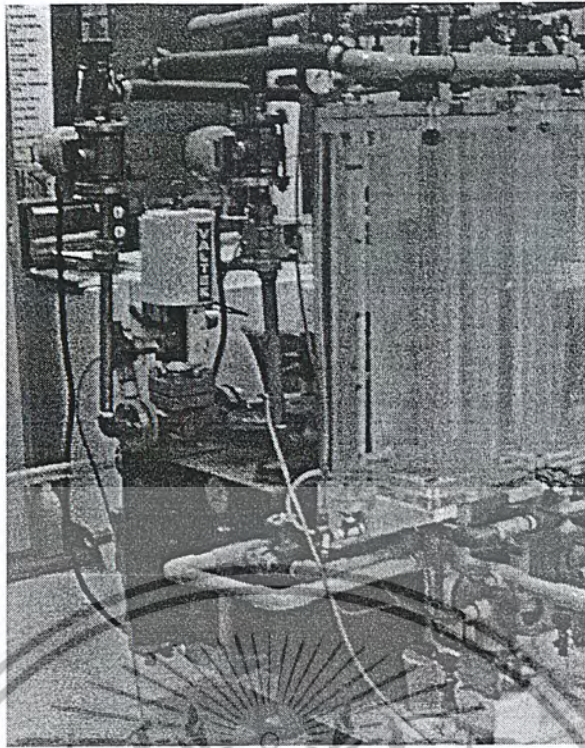
สำหรับปริญญาโทรุ่นนี้มีมีกระบวนการทำงานคร่าว ๆ ดังภาพที่ 5.1



ภาพที่ 5.1 แสดง ไดอะแกรมของกระบวนการควบคุม

Computer program เป็นส่วนที่ทำหน้าที่รับข้อมูลที่อยู่ในรูปของ สัญญาณ Digital จาก PLC มาประมวลผล ให้ได้เอาต์พุตเป็นสัญญาณควบคุม รวมถึงการทำหน้าที่สร้างโปรโตคอลในการรับส่งสัญญาณ

PLC ทำหน้าที่รับข้อมูลที่อยู่ในรูปของโปรโตคอล RS-232 จากพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์มาแกะเป็นข้อมูลส่งไปให้ DAC Module ทำการแปลงสัญญาณให้อยู่ในรูป Analog ที่เป็นสัญญาณ มาตรฐาน 4-20 mA ส่วน ADC Module จะทำหน้าที่ในการนำเอาสัญญาณ Analog มาตรฐาน 1-5 Volt จาก Transmitter มาทำให้เป็นสัญญาณ Digital ให้ PLC สร้างโปรโตคอลส่งไปยังพอร์ตอนุกรมของ Computer อีกทีหนึ่ง โดยสัญญาณควบคุมจะผ่านทางอุปกรณ์ควบคุมตัวสุดท้าย เพื่อควบคุมคุณลักษณะของให้เป็นไปตามต้องการ



ภาพที่ 5.2 แสดงกระบวนการควบคุม

โดยที่ Plant เป็นกระบวนการควบคุมระดับน้ำและอัตราการไหลแบบอันดับหนึ่ง (First Order) ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้คือ

1. ถังบรรจุน้ำ Differential pressure transmitter เป็นอุปกรณ์ตรวจจับระดับน้ำและแปลงสัญญาณให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าเพื่อการควบคุม โดยอาศัยหลักการของความดันแตกต่าง
3. Magnetic flow transmitter เป็นอุปกรณ์ตรวจจับอัตราการไหลและแปลงสัญญาณให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าเพื่อการควบคุม โดยอาศัยหลักการทางแม่เหล็ก
4. Rotameter ทำหน้าที่แสดงค่าอัตราการไหลของน้ำ
5. Control valve เป็นอุปกรณ์ที่รับเอาสัญญาณออกมาขับเคลื่อนการเปิดปิดน้ำ
6. Pump ทำหน้าที่ในการสูบน้ำเพื่อป้อนให้กับกระบวนการ

## 5.2 การทดลองอุปกรณ์ที่ใช้

ตารางที่ 5.1 แสดงการทดลอง D/P Transmitter

ระดับน้ำที่ต้องการ วัด(%)	สัญญาณ		
	ค่าสัญญาณ	ระดับน้ำ (mmH <sub>2</sub> O)	สัญญาณที่วัดได้
100	5	100.23	4.98
75	4	75.01	3.97
50	3	50.04	2.99
25	2	25.15	1.997
0.1	1	0.24	1.006

จากการทดลองจะเห็นได้ว่ามีความเป็นเชิงเส้นสูง ซึ่งจะมีค่าผิดพลาดสูงสุดที่พิจารณาจากการทดลองในช่วงเวลาดังกล่าวเพียง 0.75 % เมื่อเทียบกับสัญญาณอ้างอิง

ตารางที่ 5.2 แสดงการทดลองสัญญาณควบคุม Electromagnetic flow transmitter และ Control valve

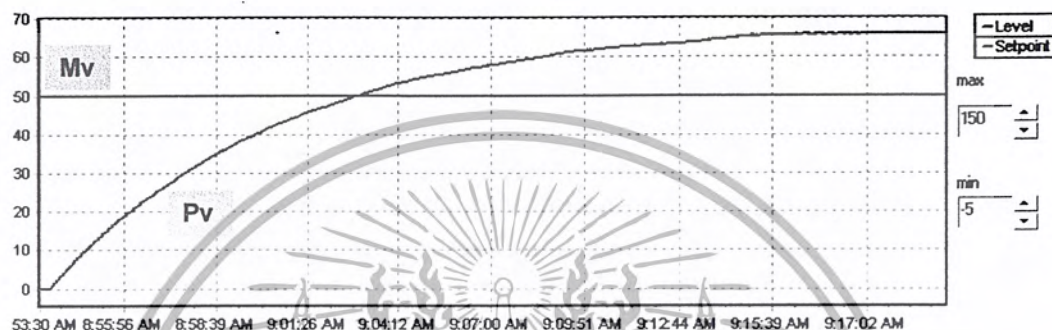
สัญญาณ ควบคุม (0-100 %)	สัญญาณ			
	แรงดัน Control valve (v)	แรงดัน Electromagnetic flow transmitter (v)	อัตราการไหล (l/min)	เปอร์เซ็นต์การไหล (0-100 %)
0	1.02	1.220	0.57	0
25	1.963	1.335	1	8.75
50	2.934	2.457	4.62	38.3
75	3.89	4.45	10.42	89.22
100	4.86	4.61	10.91	92.76

จากการทดลองจะเห็นได้ว่ามีความเป็นเชิงเส้นสูง ซึ่งจะมีค่าผิดพลาดสูงสุดของ Control Valve เพียง 0.75 % และ จาก Electromagnetic flow transmitter ในช่วงเวลาที่ทดสอบ เมื่อเทียบกับ สัญญาณอ้างอิง

### 5.3 การทดลองควบคุมกระบวนการ

#### 5.3.1 การหา Open loop transfer function

Open loop level



ภาพที่ 5.3 แสดงกราฟการทดลอง Open loop level

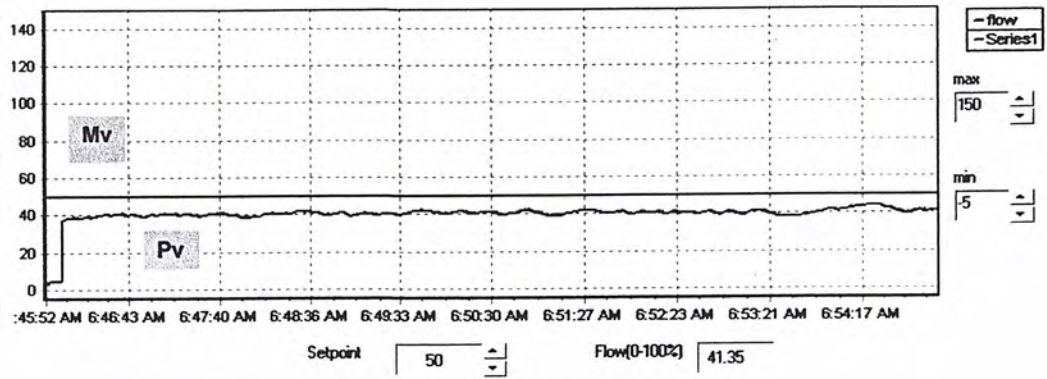
ที่เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์ว จาก 0% เป็น 50%

$$\Delta MV=50, \Delta PV=73, \tau = 385 \text{ second}, T = t_o = 81 \text{ second}$$

$$K = \Delta PV / \Delta MV = 73/50 = 1.46$$

$$TF = K e^{-sT} / \tau s + 1 = 1.46 e^{-81s} / 385s + 1$$

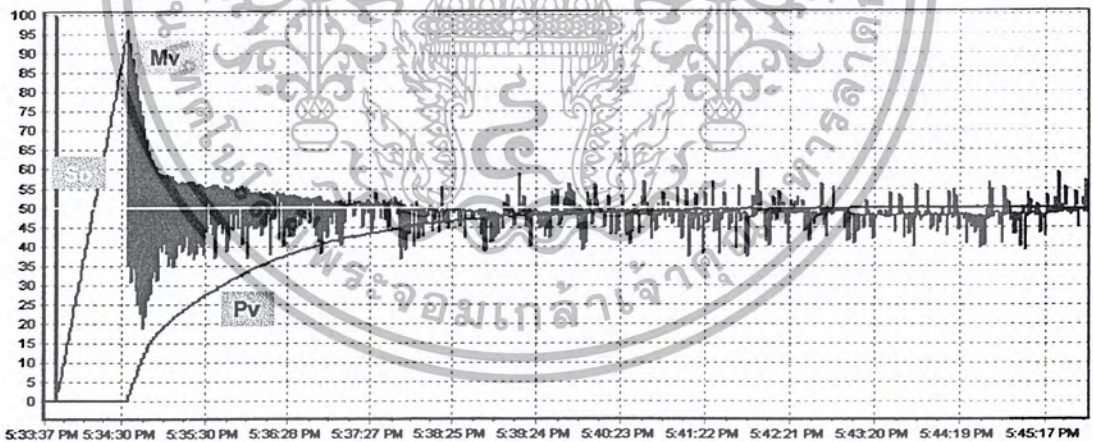
## Open loop flow



ภาพที่ 5.4 แสดงกราฟการทดลอง Open loop flow

- ที่เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์ว จาก 0% เป็น 50%
- $\Delta MV=50, \Delta PV=48, \tau = 9 \text{ second}, T = t_o = 1 \text{ second}$
- $K = \Delta PV / \Delta MV = 48/50 = 0.96$
- $TF = K e^{-sT} / \tau s + 1 = 0.96 e^{-s} / 9s + 1$

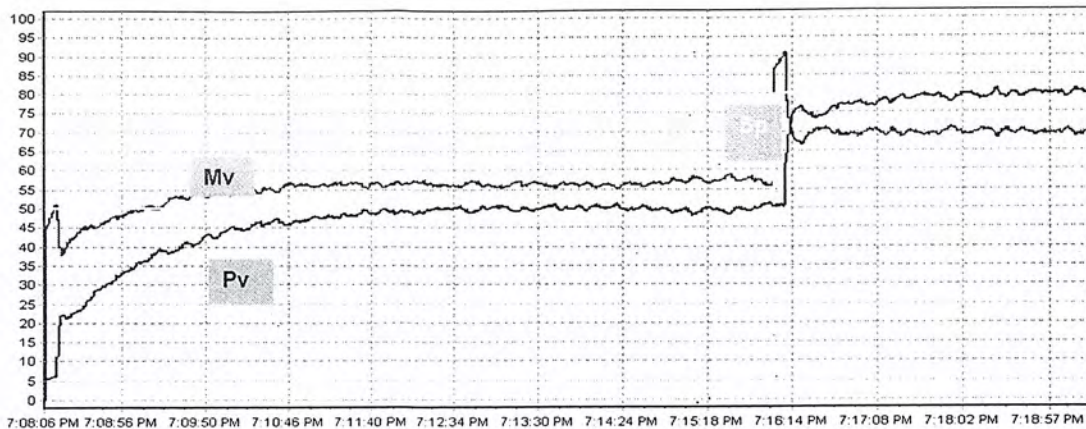
### 5.3.2 การควบคุม ด้วยตัวควบคุมแบบพีไอดี



ภาพที่ 5.5 แสดงการควบคุมระดับน้ำด้วยตัวควบคุมแบบพีไอดี

- ที่เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์ว จาก 0% เป็น 50%
- $T_s = 462 \text{ second}$

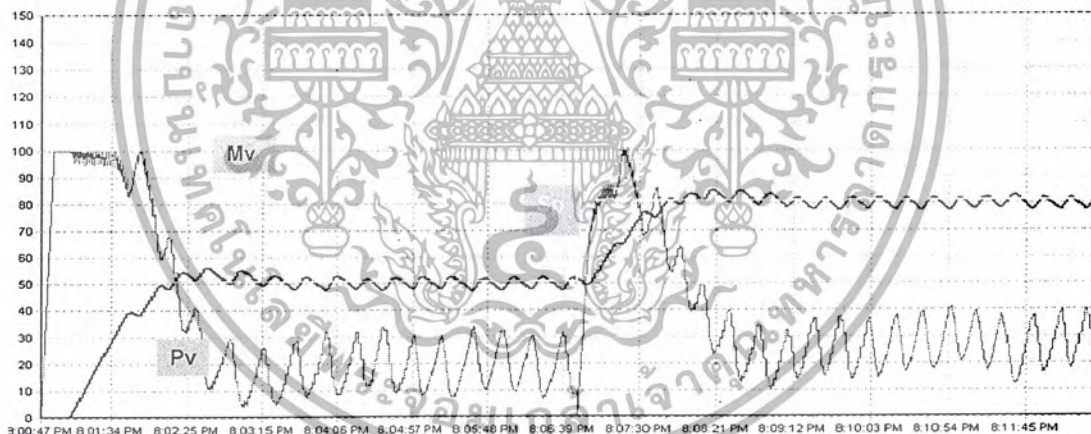
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.6 แสดงการควบคุมอัตราการไหลด้วยตัวควบคุมแบบพีไอดี

- ที่เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์ว จาก 50% เป็น 80%
- $T_s = 119\text{second}$

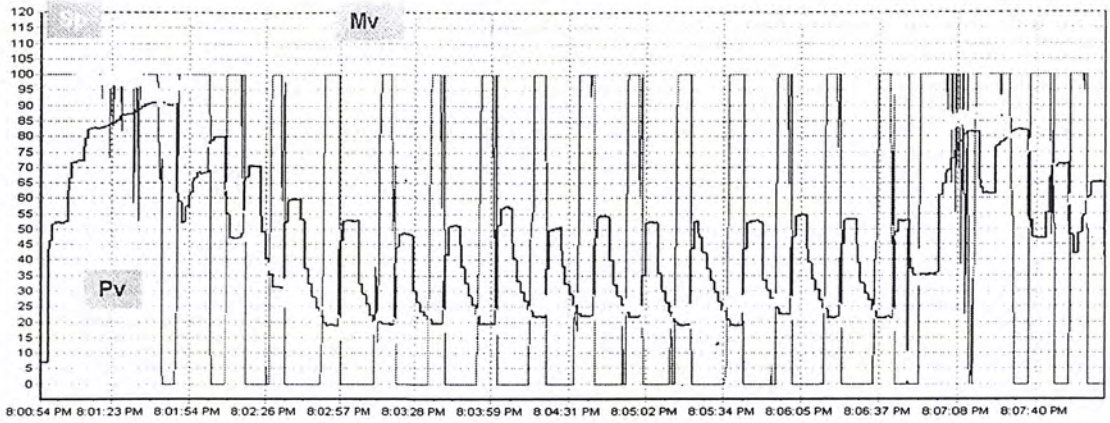
5.3.2 การควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบพีไอดีคลาสสิก



ภาพที่ 5.7 แสดงการควบคุมระดับน้ำด้วยตัวควบคุมแบบพีไอดีคลาสสิก: รูปนอก

- ที่เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์ว จาก 50% เป็น 80%
- $T_s = 146\text{ second}$

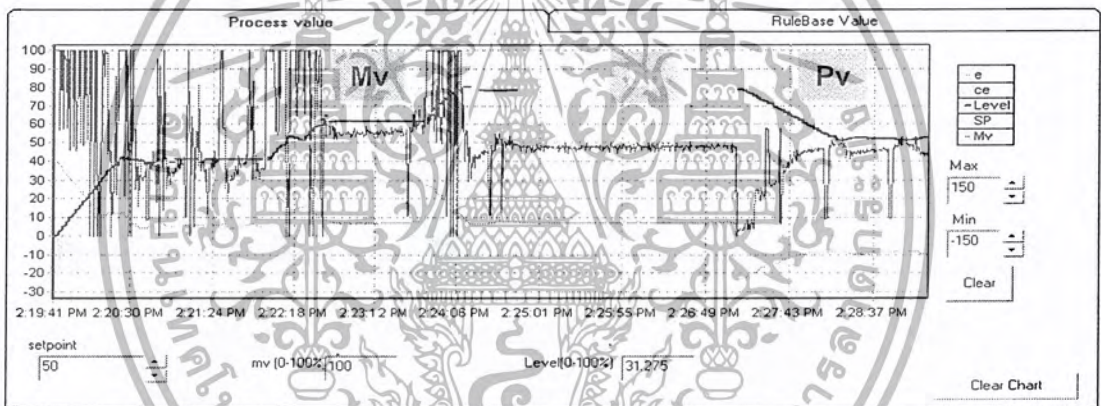
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.8 การควบคุมระดับน้ำ ด้วยตัวควบคุมแบบพีไอคลาสเคด: ลูปใน

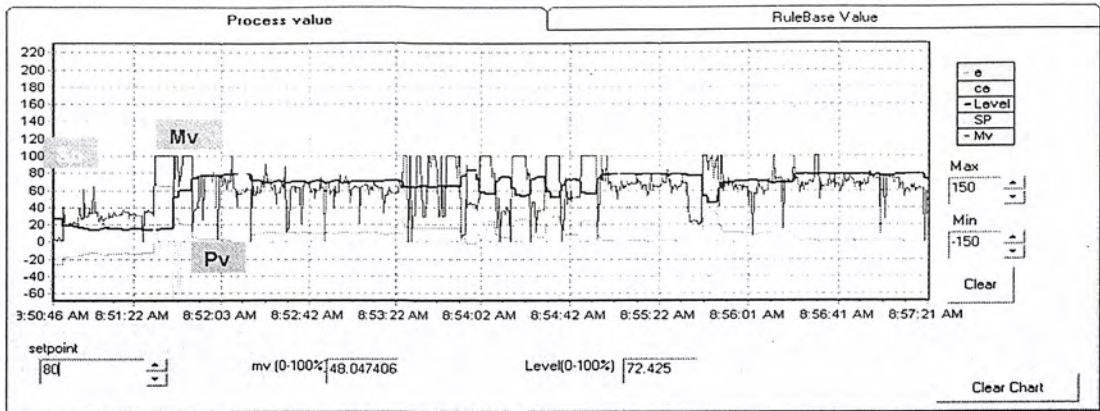
### 5.3.4 การควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบพีซซี

#### 5.3.4.1 การควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบพีซซี: 9 กฏ



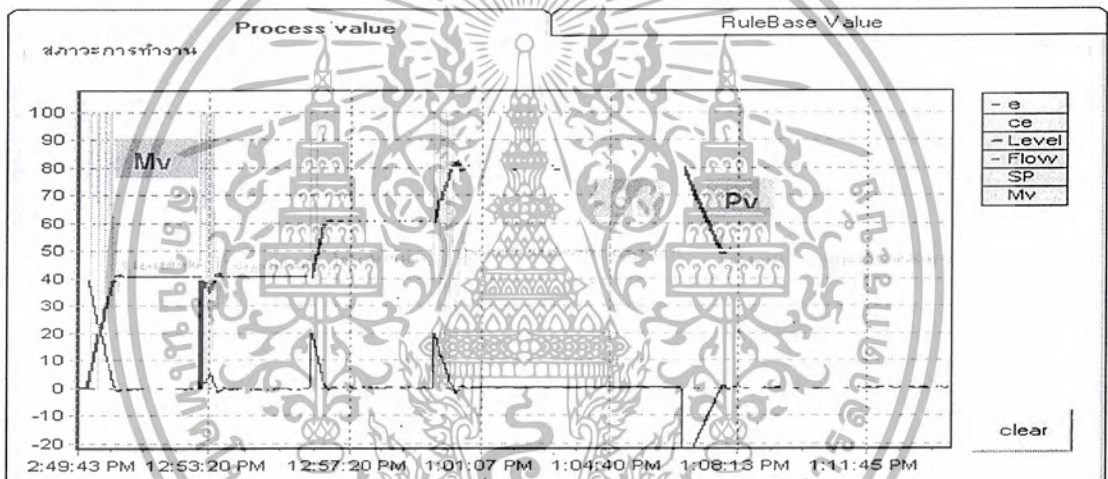
ภาพที่ 5.9 แสดงการควบคุมระดับน้ำด้วยตัวควบคุมแบบพีซซี: 9 กฏ

- ที่เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์ว จาก 40 % เป็น 80%
- $T_s = 88$  second



ภาพที่ 5.10 แสดงการควบคุมอัตราการไหลด้วยตัวควบคุมแบบพีซซี: 9 กฏ

### 5.3.4.2 การควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบพีซซี: 49 กฏ



ภาพที่ 5.11 แสดงการควบคุมระดับน้ำด้วยตัวควบคุมแบบพีซซี: 49 กฏ

- ที่เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์ว จาก 60% เป็น 80%
- $T_s = 100$  second

#### 5.4 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองใช้ตัวควบคุมกระบวนการนั้นจะพบว่าการควบคุมแบบพีชซีจะให้ผลตอบสนองที่รวดเร็ว ค่าเอาต์พุตเข้าสู่ค่าเป้าหมายได้รวดเร็ว ขึ้น แต่จะมีปัญหาอยู่บ้าง การสร้างกฎ ไม่เหมาะสมกับกระบวนการ

อีกทั้งในการควบคุมระดับน้ำเมื่อเปรียบเทียบกับการควบคุมอัตราการไหล ทั้งสองกระบวนการนี้ใช้อุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย เป็นวาล์วควบคุม(Control valve) เช่นเดียวกัน แต่รูปการควบคุมระดับน้ำจะให้ผลตอบสนองที่ช้ากว่า รูปการควบคุมอัตราการไหลผลแห่งความแตกต่างนี้ จะทำให้การหาค่าพารามิเตอร์มาป้อนให้กับควบคุมแบบคาสเทคทำได้ยากขึ้น

ในการควบคุมแบบพีชซีนั้นหากเป็นผู้เชี่ยวชาญในระบบนั้น ตัวควบคุมแบบนี้ถือเป็นตัวควบคุมที่ดีอีกทางเลือกหนึ่ง



## บทที่ 6

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 6.1 บทสรุป

ปริญญานิพนธ์นี้ได้นำเสนอวิธีการออกแบบตัวควบคุมระดับน้ำและอัตราการไหลด้วยหลักการของการควบคุมแบบพีซีซีใช้ฟังก์ชันการเป็นสมาชิก ใช้การดีพีซีพีเคชั้นแบบ COG

จากการทดลองพบว่าการควบคุมแบบพีซีซีเป็นที่น่าพอใจในเรื่องของความเร็วของผลตอบสนอง การเข้าหาค่าเป้าหมายส่วนในเรื่องความผิดพลาดในช่วงสภาวะคงตัวก็ไม่ยุ่งยากนักในการที่จะทำให้ได้ผลตอบสนองที่ยอมรับได้

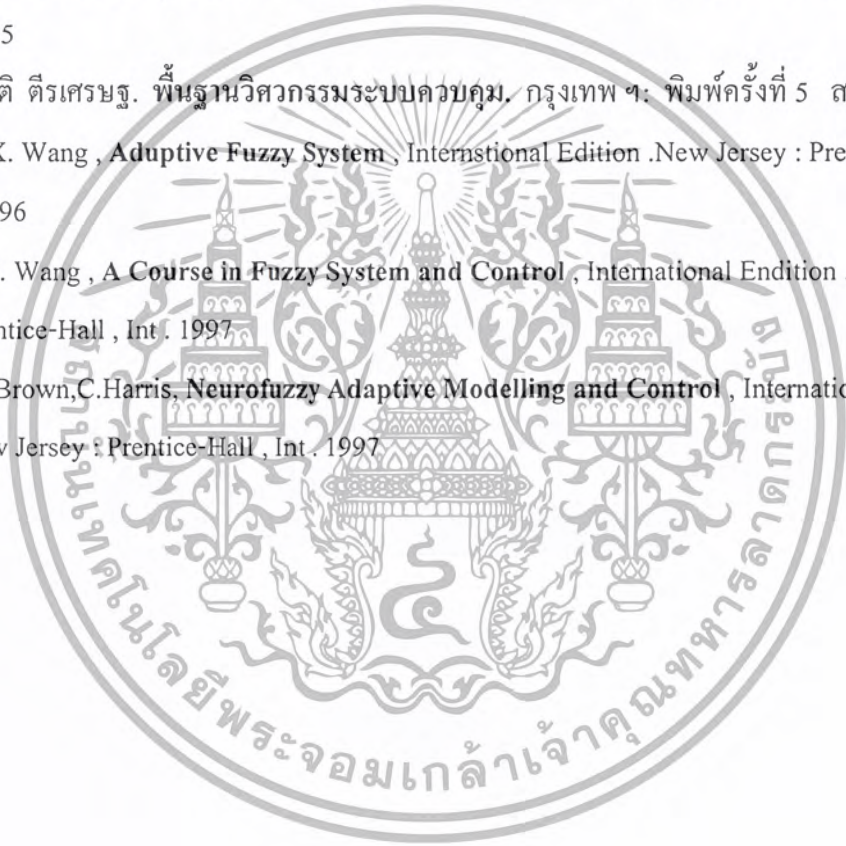
ดังนั้นในการควบคุมระดับน้ำและอัตราการไหล ตัวควบคุมแบบพีซีซีก็เป็นทางเลือกที่ดี ทางเลือกหนึ่งในการควบคุมกระบวนการ

### 6.2 ข้อเสนอแนะ

ในการควบคุมแบบพีซีซีนั้น เป็นการควบคุมโดยอาศัยประสบการณ์ของผู้ควบคุมอาศัยความชำนาญของผู้เชี่ยวชาญในกระบวนการนั้น ดังนั้นจึงต้องทำการทดลองแบบลองผิดลองถูก ซ้ำแล้วซ้ำอีก จึงจะได้พารามิเตอร์ที่เหมาะสมต่อการควบคุมและได้ผลตอบสนองที่ดีตามมา

## บรรณานุกรม

- [1] ธิดาพร พิทักษ์พรพันธ์ , ตัวควบคุมแบบฟัซซี่แบบปรับพารามิเตอร์ด้วยตัวเอง , วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2539
- [2] จักรพงษ์ เกาเทียน , การออกแบบตัวควบคุมแบบฟัซซี่ในการควบคุมการทางอุตสาหกรรม , วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2543
- [3] กิตติ ตีรเศรษฐ. อุปกรณ์วัดและควบคุมในกระบวนการ. กรุงเทพฯ ฯ: พิมพ์ครั้งที่ 2 สจล. , 2535
- [4] กิตติ ตีรเศรษฐ. พื้นฐานวิศวกรรมระบบควบคุม. กรุงเทพฯ ฯ: พิมพ์ครั้งที่ 5 สจล. , 2539
- [5] L.X. Wang , **Adaptive Fuzzy System** , International Edition .New Jersey : Prentice-Hall , Int . 1996
- [6] L.X. Wang , **A Course in Fuzzy System and Control** , International Edition . New Jersey : Prentice-Hall , Int . 1997
- [7] M. Brown,C.Harris, **Neurofuzzy Adaptive Modelling and Control** , International Edition . New Jersey : Prentice-Hall , Int . 1997



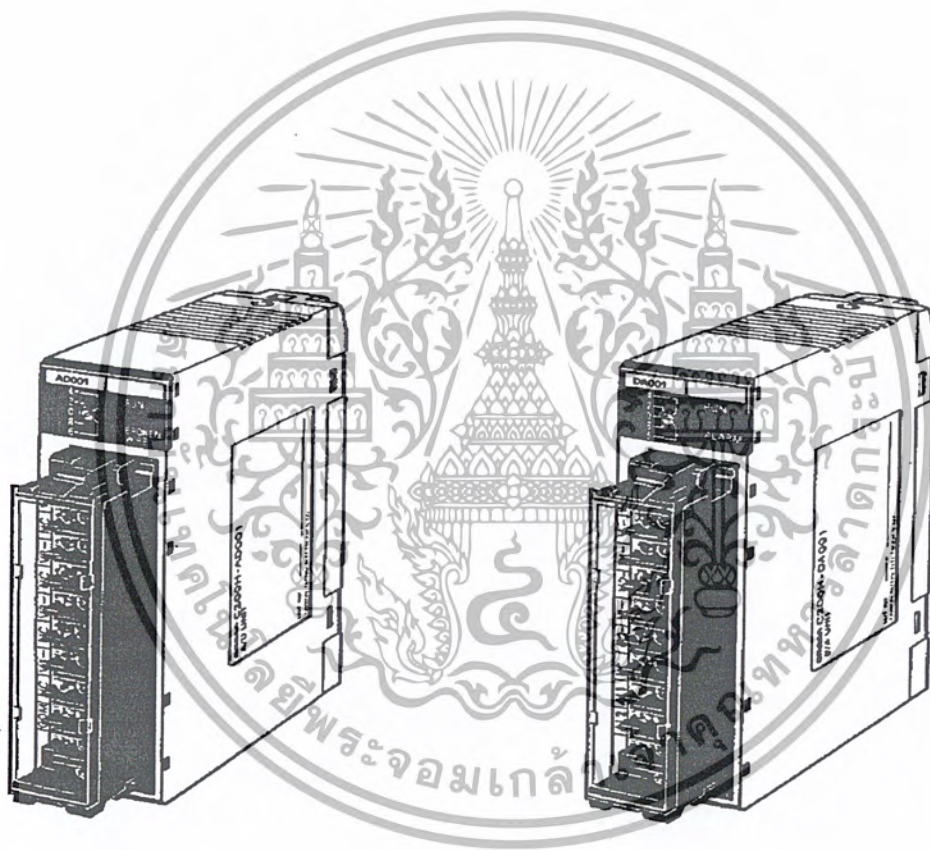


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# SYSMAC C200H/C200HS C200H-AD001/DA001 Analog I/O Units

## Operation Guide

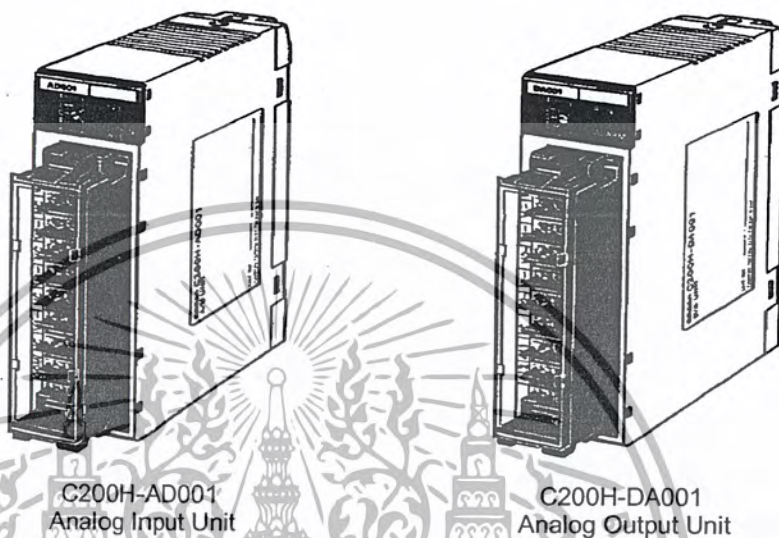
*Revised September 1995*



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1-1 Introduction

The C200H-AD001 Analog Input Unit is used to convert the output of analog field devices, usually sensors, to a digital form (12-bit binary) that the PC can read. The C200H-DA001 Analog Output Unit converts the digital output of the PC to analog signals which drive analog field devices.



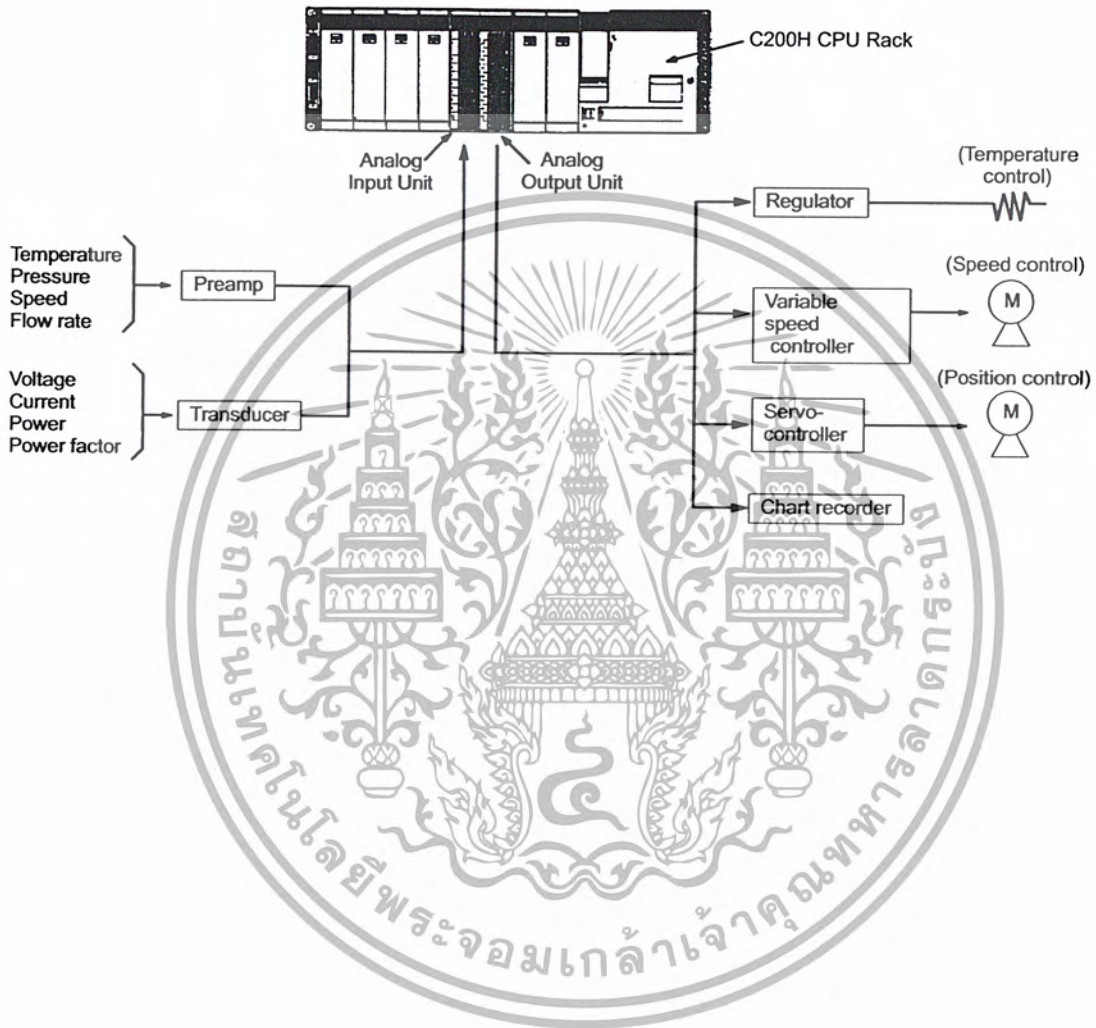
## 1-2 Safety Precautions

- Be sure that you have read this manual carefully and have understood the explanations before attempting any of the procedures described herein. OMRON accepts no responsibility for any damage or injury that may result from carrying out any operation that is not covered in this manual.
- Be sure to turn off the power supply to the PC before carrying out any of the following operations:
  - a) Mounting or removing a Unit.
  - b) Setting switches.
  - c) Mounting or removing a Terminal Block or connectors.
  - d) Wiring the System or Units.
- Use twisted-pair cables and keep high-voltage lines and power lines in separate ducts to reduce the risk of malfunctions due to electrical noise.
- Before turning on the power supply, check to be sure that the switch settings and wiring are correct.
- Check to be sure that the user program operates correctly.

### 1-3 Basic Configuration

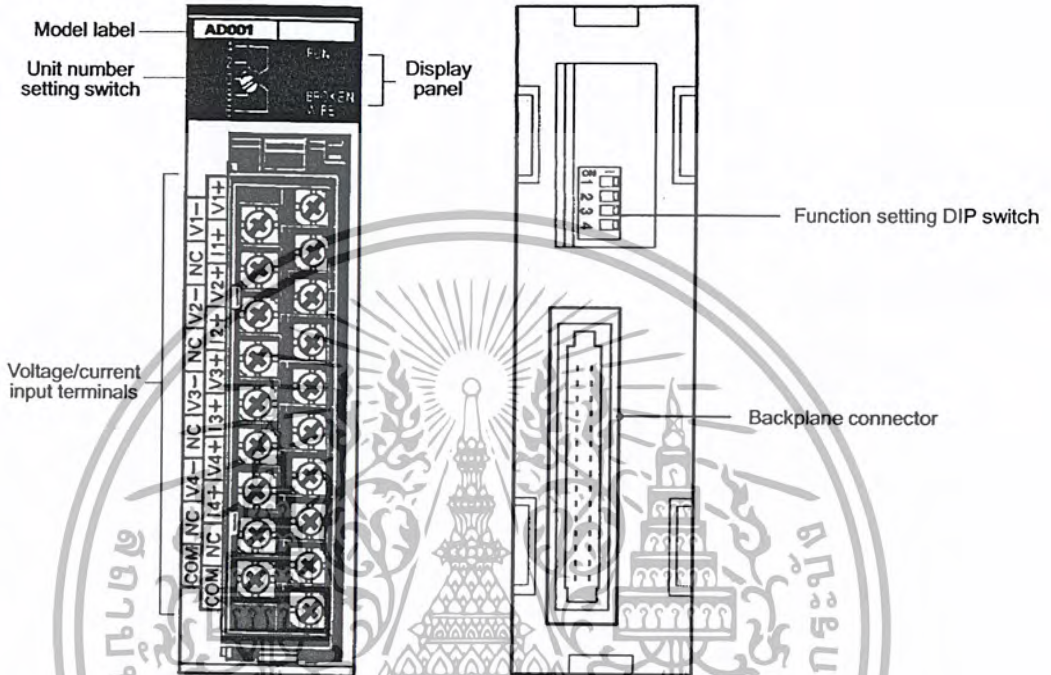
This diagram shows some of the possible field devices for the Analog I/O Units. Any I/O device can be used as long as voltage/current requirements fall within the specified ranges.

The I/O device connected to the Analog I/O Unit will often serve as an interface for another device. For example, a preamplifier may amplify the output of a pressure gauge to the level required for the Analog Input Unit and a regulator may interface a heating system to control temperature.



## 2-1 Before Operation

### 2-1-1 Nomenclature and Functions



#### Indicators

Indicator	Color	Function
RUN	Green	Lit when the Analog Input Unit is operating correctly. If operation is not normal, this indicator turns OFF and Unit operation is stopped.
BROKEN WIRE	Red	Lit when an input signal wire is disconnected. This indicator operates only when the input range is set to 1 to 5 V/4 to 20 mA.

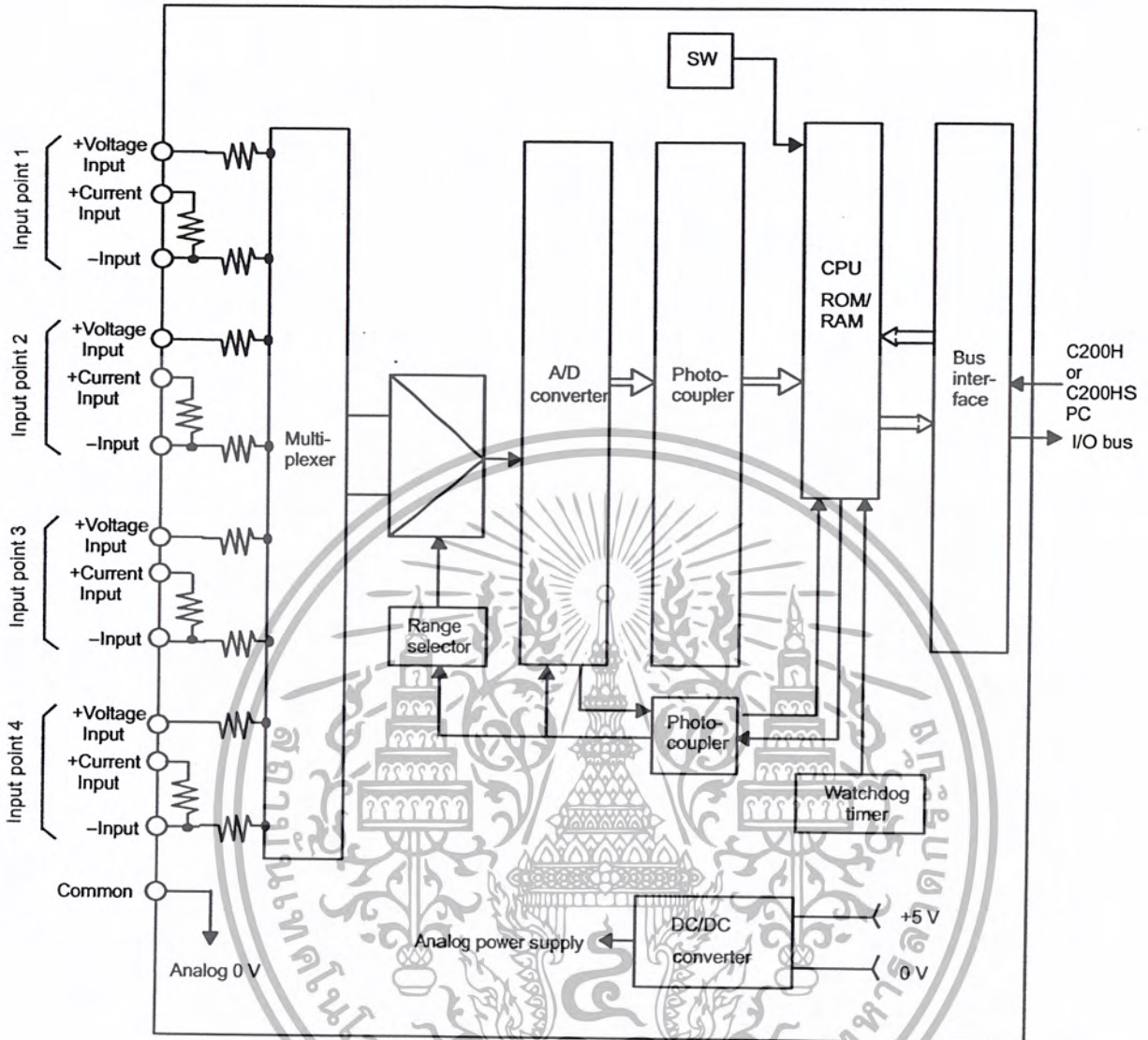
#### Functions

The following table briefly outlines the basic functions of the C200H-AD001. These functions are covered in more detail in *2-3 Functions and Programming*.

Function	Explanation
Input range setting	The input range can be set according to the input signal level that is to be used. The same input range is used for all of the inputs for a particular Unit. The voltage range of 1 to 5 V and the current range of 4 to 20 mA, however, can be used at the user's option for any input.
Square root	Converts quadratic data, such as thermocouple input, to linear data.
Scaling	Converts an analog input signal to a preset range of BCD data for output.
Mean value	Sums the sampling data and calculates the mean value for output.
Peak value	Holds the maximum values for A/D conversion data, scaling data, mean data, and square root data, and outputs them as output data.
Disconnection detection	The Disconnection Detection Flag is turned ON and the BROKEN WIRE indicator is lit if the input signal wire becomes disconnected when 1 to 5 V/4 to 20 mA are set.

Block Diagram

The following diagram shows the basic internal configuration of the Unit.

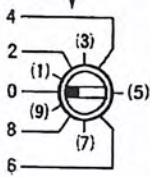


### 2-1-2 Switch Settings

There are four settings necessary for this Unit: unit number, number of inputs, input range, and data reading mode.

#### Unit Number

Unit number setting switch



The switch notch points to the unit number. The switch in the figure to the left is set to 0. Odd numbers, in parentheses here, are not shown on the Unit.

Use a standard screwdriver and set a different unit number for each Analog I/O Unit. IR area memory is allocated according to unit number, as shown in the table below.

Switch setting	Unit number	IR words	DM words
0	Unit #0	IR 100 to 109	DM 1000 to 1099
1	Unit #1	IR 110 to 119	DM 1100 to 1199
2	Unit #2	IR 120 to 129	DM 1200 to 1299
3	Unit #3	IR 130 to 139	DM 1300 to 1399
4	Unit #4	IR 140 to 149	DM 1400 to 1499
5	Unit #5	IR 150 to 159	DM 1500 to 1599
6	Unit #6	IR 160 to 169	DM 1600 to 1699
7	Unit #7	IR 170 to 179	DM 1700 to 1799
8	Unit #8	IR 180 to 189	DM 1800 to 1899
9	Unit #9	IR 190 to 199	DM 1900 to 1999

- Note**
1. The unit number setting switch is factory set to 0.
  2. If two or more Special I/O Units are assigned the same unit number, an I/O UNIT OVER error will be generated and the PC will not operate.
  3. Make the unit number settings with the power turned off to the PC. If the settings are made with the power on, they will not go into effect until either the power is turned off and then on again or the Special I/O Unit Restart Flag (AR0100 to AR0109) is turned ON.

#### Number of Inputs

There can be 1, 2, or 4 inputs depending on the settings of pins 1 and 2, as shown in the table below.



The following table shows the effects of the various pin combinations. If there is no need to use all of the inputs, processing time can be shortened by setting the pins so that the smallest possible number of inputs is enabled.

Pin number		Number of inputs	Inputs enabled
1	2		
OFF	ON	1	Input 1 only is enabled.
ON	OFF	2	Inputs 1 and 2 only are enabled.
OFF	OFF	4	All inputs are enabled.
ON	ON	Not used.	—

Input Range

Use pin 3 to set the input range.

Pin number 3	Input range	
OFF	Voltage input	1 to 5 V
	Current input	4 to 20 mA
ON	Voltage input	0 to 10 V

**Note** The same input range is used for all of the inputs for a particular Unit. The voltage range of 1 to 5 V and the current range of 4 to 20 mA, however, can be used at the user's option at any input.

Data Reading Mode

In normal mode, the input data is read only once before being converted from analog to digital. In filter mode, the input data is read three times and then the average values are converted from analog to digital. This helps to reduce the effects of electrical noise and so on. Using filter mode, however, results in longer processing time, as shown in the following table.

Pin number 3	Data reading mode	A/D conversion time
OFF	Normal mode	2.5 ms/input max.
ON	Filter mode	4 ms/input

2-1-3 Wiring

Terminal Allocation

The following illustration shows the function of each terminal.

Input 1 (-)	A0	B0	Voltage input 1 (+)
Not used.	A1	B1	Current input 1 (+)
Input 2 (+)	A2	B2	Voltage input 2 (+)
Not used.	A3	B3	Current input 2 (+)
Input 3 (-)	A4	B4	Voltage input 3 (+)
Not used.	A5	B5	Current input 3 (+)
Input 4 (-)	A6	B6	Voltage input 4 (+)
Not used.	A7	B7	Current input 4 (+)
Common (Analog 0 V)	A8	B8	Not used.
		B9	Common (Analog 0 V)

The same input range is used for all of the inputs for a particular Unit. The voltage range of 1 to 5 V and the current range of 4 to +20 mA, however, can be used at the user's option at any input.

Use the DIP switch on the back panel of the Unit to set the input range and the number of inputs. (For details, refer to 2-1-2 *Switch Settings*.)

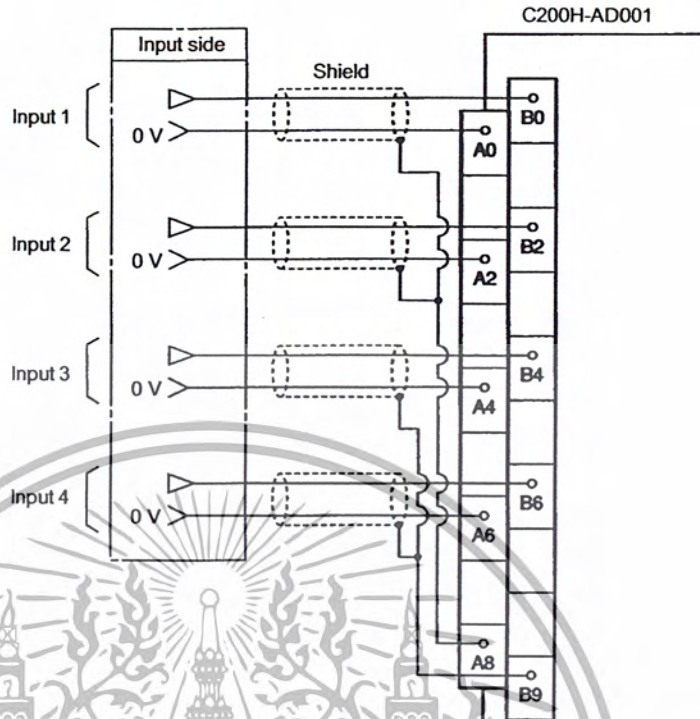
When current input is used, short circuit the voltage input (+) and current input (+) terminals.

The common terminal is connected to the 0 V of the Analog Input Unit's analog circuit. Noise interference can be reduced by using shielded cables for input lines.

The A8 and B9 terminals are short circuited internally.

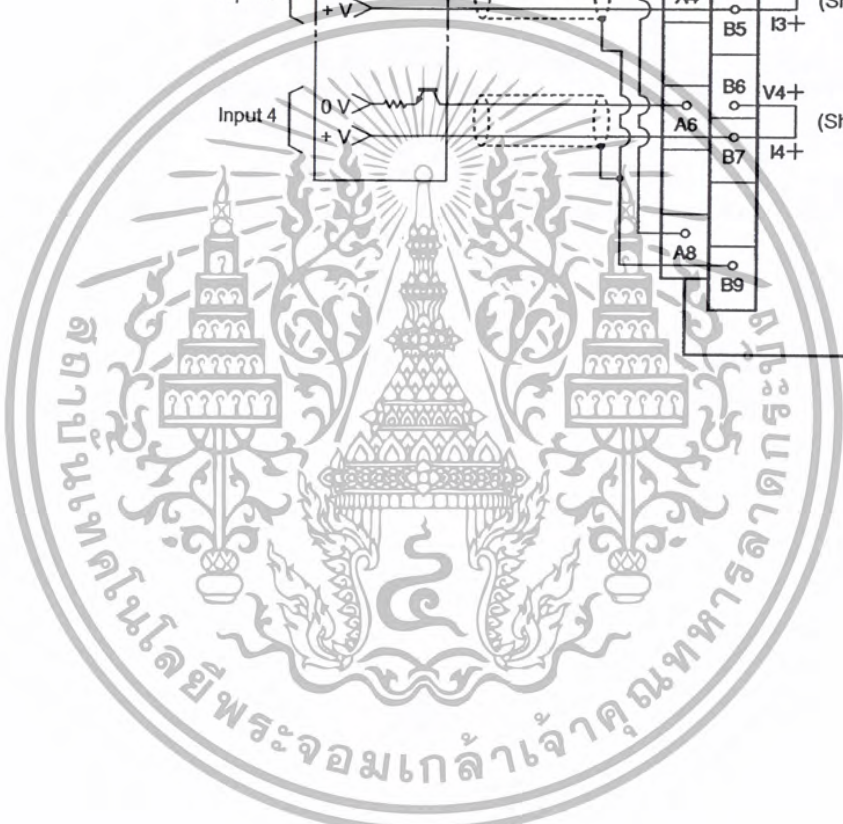
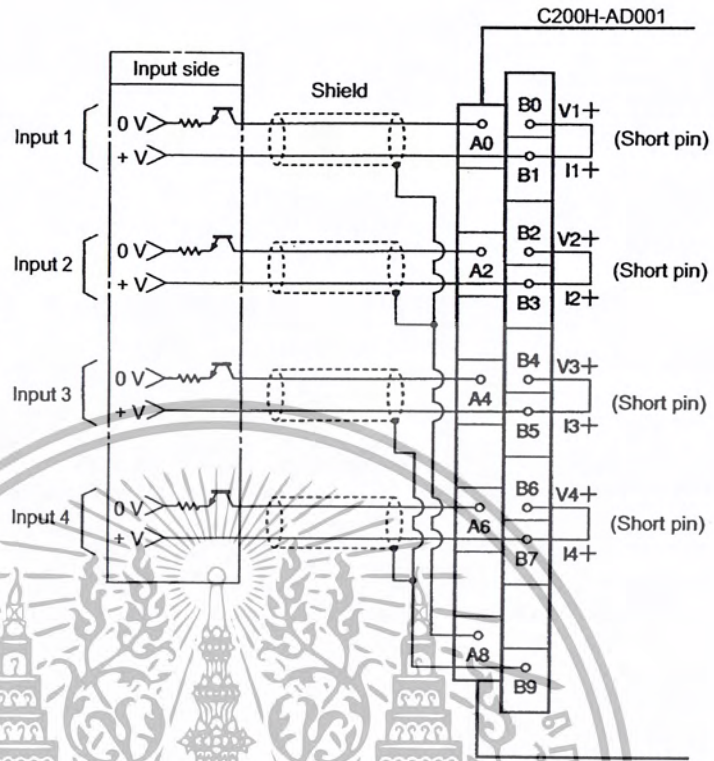
Voltage Inputs

The following diagram illustrates the external wiring of voltage inputs for the C200H-AD001.



Current Inputs

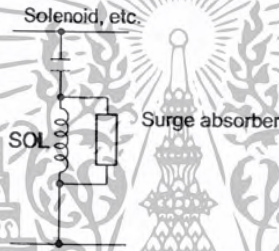
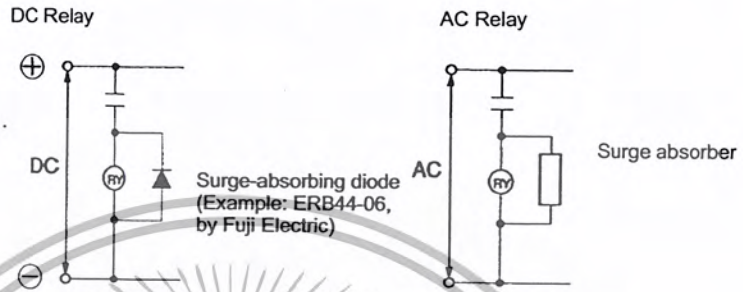
The following diagram illustrates the external wiring of current inputs for the C200H-AD001. When current inputs are used, use the short pins provided with the Unit to short circuit the V+ and I+ terminals as shown in the diagram.



Input Wiring Considerations

When wiring inputs, apply the following points to avoid noise interference and optimize Analog Input Unit performance.

- Use shielded twisted-pair cable for external connections and power lines.
- Route input cables separately from the AC cable, and do not run the Unit's cables near a main circuit cable, high voltage cable, or a non-PC load cable.
- Be sure to install surge-absorbing diodes or surge absorbers for inductive loads (relays, solenoids, electromagnetic valves, etc.) They should be installed right next to relays and solenoids. Use surge-absorbing diodes with a dielectric strength of at least five times the circuit voltage.



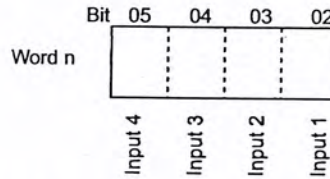
- If there is noise interference from power lines (if, for example, the power supply is shared with electrical welding devices or electrical discharge machines, or if there is a high-frequency generation source nearby) install a noise filter at the power supply input area.
- Use at least a class-3 ground (to 100 Ω or less), with as heavy a wire as possible (i.e., at least 1.25 mm<sup>2</sup>).



### 2-3-3 Scaling

The scaling function automatically converts the analog input signal to a preset range for use in specific engineering applications. The scaling function is executed for an input when its Scaling Bit is ON, i.e., it can be set separately for each input. This function can be used at the same time as other functions.

To set this function for an input, turn ON the Scaling Bit corresponding to that input in word n.



The high and low limits of the output data range for each input are 4-digit BCD values preset in the DM area, as shown in the following table (n is the unit number set on the front panel.) A lower limit must be less than the corresponding upper limit.

DM word	Range limit (BCD)	DM word	Range limit (BCD)	Bit of IR 1n0	Scaling bit
1n00	Input 1 lower limit	1n04	Input 3 lower limit	02	Input 1
1n01	Input 1 upper limit	1n05	Input 3 upper limit	03	Input 2
1n02	Input 2 lower limit	1n06	Input 4 lower limit	04	Input 3
1n03	Input 2 upper limit	1n07	Input 4 upper limit	05	Input 4

Set the scaling data with the Programming Console, this data cannot be changed from the user's program.

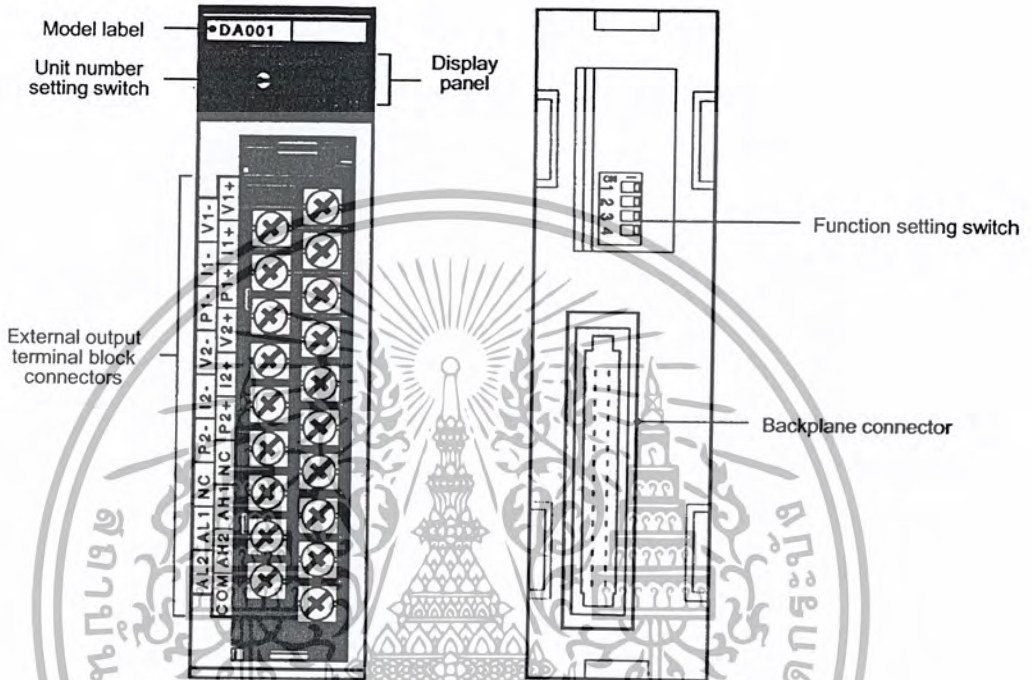
Data set in the DM area is transmitted when the Unit is turned on or initialized. If data is modified in the middle of a session, then the modified data becomes effective the next time the Unit is turned on, or by toggling the appropriate Special I/O Restart Bit in the AR area.

Scaled data is calculated using the formula below. Only the integer value is kept, the remainder is truncated.

$$\text{Scaling data} = \frac{\text{Input data} \times (\text{upper limit} - \text{lower limit})}{4000} + \text{lower limit}$$

### 3-1 Before Operation

#### 3-1-1 Nomenclature and Functions



**Indicators**

Indicator	Color	Function
RUN	Green	Lit when the Analog Output Unit is operating correctly. If operation is not normal, this indicator turns OFF and Unit operation is stopped.
ALARM	Red	Lit when an alarm is output as a result of the upper or lower limits being exceeded,

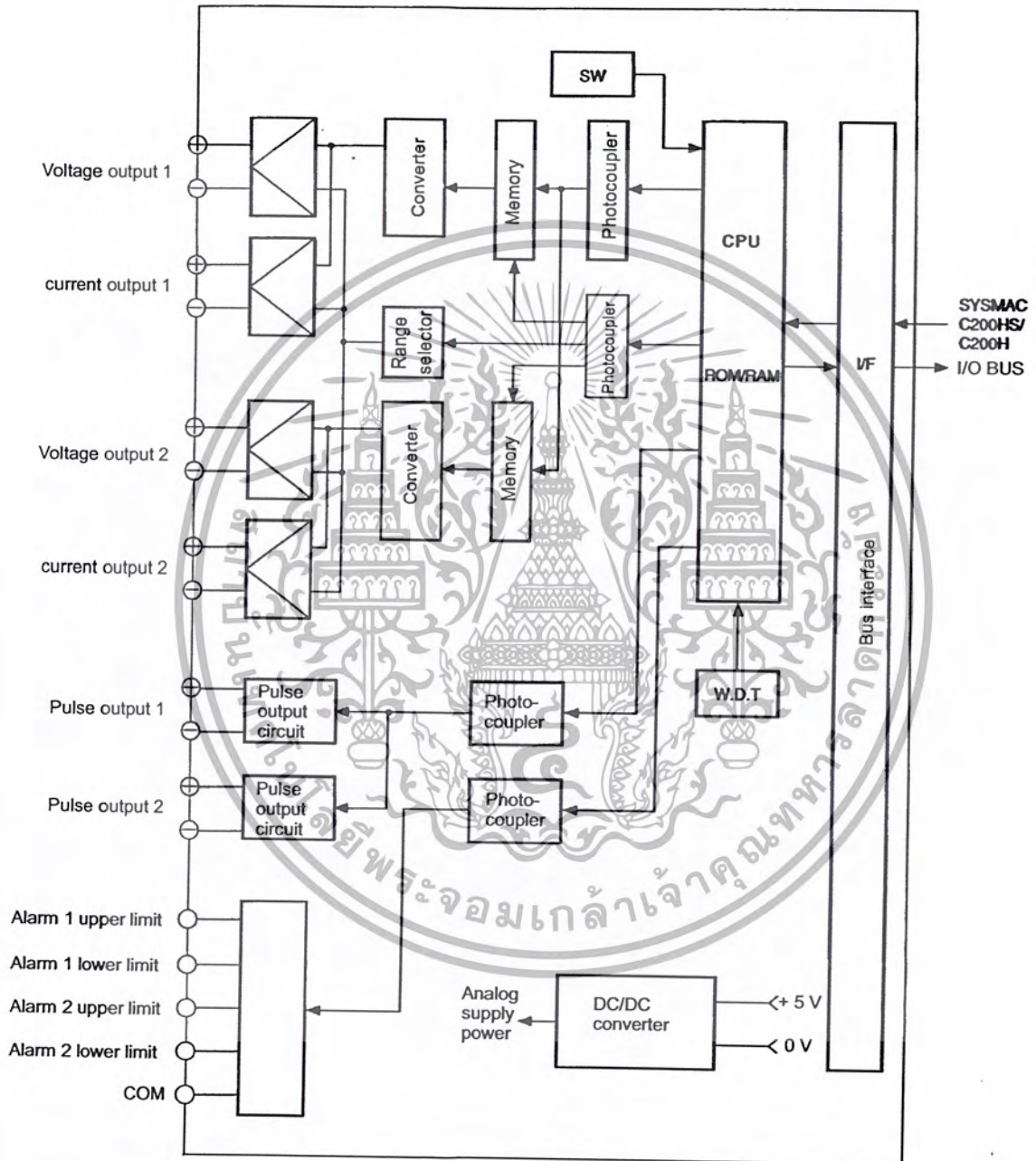
**Functions**

The following table briefly outlines the basic functions of the C200H-DA001. These functions are covered in more detail in *3-3 Functions and Programming*.

Function	Explanation
Output range setting	The output range can be set according to the output signal level that is to be used. The same output range is used for all of the outputs for a particular Unit. The voltage range of 1 to 5 V and the current range of 4 to 20 mA, however, can be used at the user's option at any output.
Output limit	The output limit function sets upper and lower limits on the output signal. The upper and lower limits are preset in the DM area. The output remains at the limit level as long as the output limit function is activated.
Output limit alarm	This function activates an alarm if the output signal is outside of the range defined by the upper and lower limits preset in the DM area, but it does not alter the output level. It is possible to include a deadband, which delays the resetting of the alarm. The output limit alarm turns ON and OFF according to the following conditions.
Pulse output	This function creates a 0 V to 5 V pulse output separate from the analog output.

Block Diagram

The following diagram shows the basic internal configuration of the Analog Output Unit.

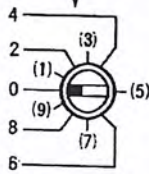


### 3-1-2 Switch Settings

There are four settings necessary for this Unit: unit number, output range, pulse output line, and pulse output ON/OFF.

#### Unit Number

Unit number setting switch



The switch notch points to the unit number. The switch in the figure to the left is set to 0. Odd numbers, in parentheses here, are not shown on the Unit.

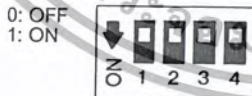
Use a standard screwdriver to set a different unit number for each Analog I/O Unit. IR area memory is allocated according to unit number, as shown in the table below.

Switch number	Unit number	IR words	DM words
0	Unit #0	IR 100 to 109	DM 1000 to 1099
1	Unit #1	IR 110 to 119	DM 1100 to 1199
2	Unit #2	IR 120 to 129	DM 1200 to 1299
3	Unit #3	IR 130 to 139	DM 1300 to 1399
4	Unit #4	IR 140 to 149	DM 1400 to 1499
5	Unit #5	IR 150 to 159	DM 1500 to 1599
6	Unit #6	IR 160 to 169	DM 1600 to 1699
7	Unit #7	IR 170 to 179	DM 1700 to 1799
8	Unit #8	IR 180 to 189	DM 1800 to 1899
9	Unit #9	IR 190 to 199	DM 1900 to 1999

- Note**
1. The unit number setting switch is factory set to 0.
  2. If two or more Special I/O Units are assigned the same unit number, an I/O UNIT OVER error will be generated and the PC will not operate.
  3. Make the unit number settings with the power turned off to the PC. If the settings are made with the power on, they will not go into effect until either the power is turned off and then on again or the Special I/O Unit Restart Flag (AR0100 to AR0109) is turned ON.

#### DIP Switch Settings

Set pins 1 through 3 before powering up the system. Pin 4 is not used, so please leave it set to OFF.



#### Output Range

Use pin 1 to set the output range.

Pin number 3	Output range	
OFF	Voltage input	1 to 5 V
	Current input	4 to 20 mA
ON	Voltage input	0 to 10 V

**Note** The same output range is used for all of the outputs for a particular Unit. The voltage range of 1 to 5 V and the current range of 4 to 20 mA, however, can be used at the user's option at any output.

**Pulse Output Line** Use pin 2 to set the pulse output line.  
 Pin 2 OFF: Output 1  
 Pin 2 ON: Output 2

**Pulse Output ON/OFF** Use pin 3 to set pulse outputs to ON or OFF.  
 Pin 3 OFF: Pulse output OFF  
 Pin 3 ON: Pulse output ON

### 3-1-3 Wiring

**Terminal Allocation** The following illustration shows the function of each output.

Voltage output 1 (-)	A0	B0	Voltage output 1 (+)
Current output 1 (-)	A1	B1	Current output 1 (+)
Pulse output 1 (-)	A2	B2	Pulse output 1 (+)
Voltage output 2 (-)	A3	B3	Voltage output 2 (+)
Current output 2 (-)	A4	B4	Current output 2 (+)
Pulse output 2 (-)	A5	B5	Pulse output 2 (+)
Not used.	A6	B6	Not used.
Lower limit alarm output 1	A7	B7	Upper limit alarm output 1
Lower limit alarm output 2	A8	B8	Upper limit alarm output 2
		B9	Alarm output common

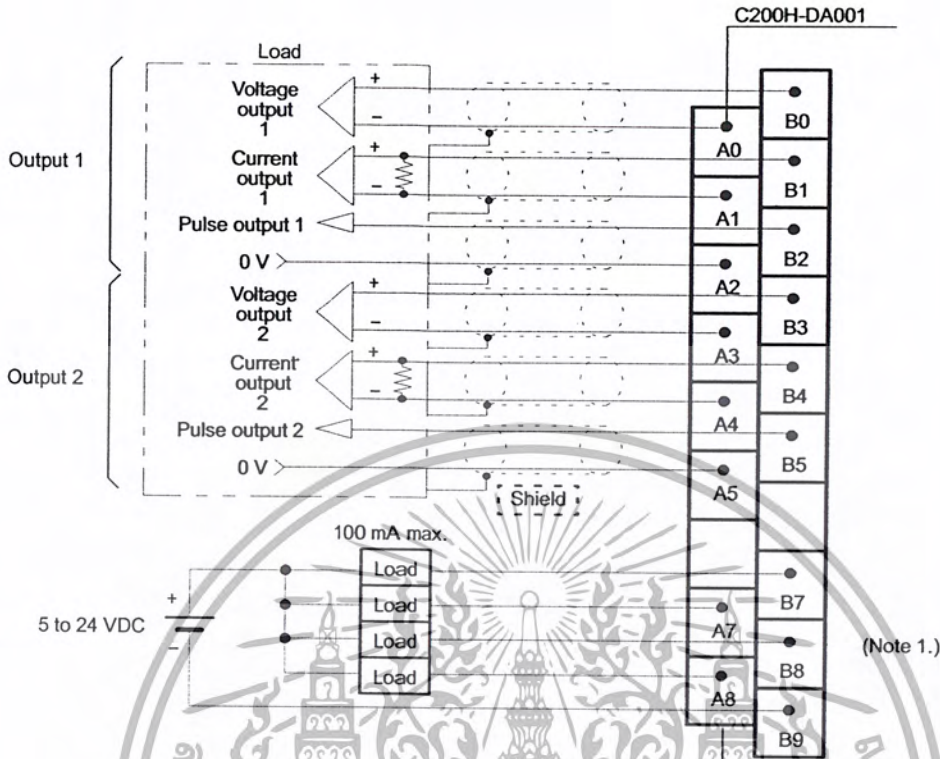
The Analog Output Unit has two built-in output lines, but it is not possible to simultaneously use one of them for both voltage and current outputs.

The same output range is used for all of the outputs for a particular Unit. The voltage range of 1 to 5 V and the current range of 4 to 20 mA, however, can be used at the user's option at any output.

Pulse output is possible for either output 1 or output 2, but not for both. Refer to 3-1-2 *Switch Settings* for details.

Output Wiring

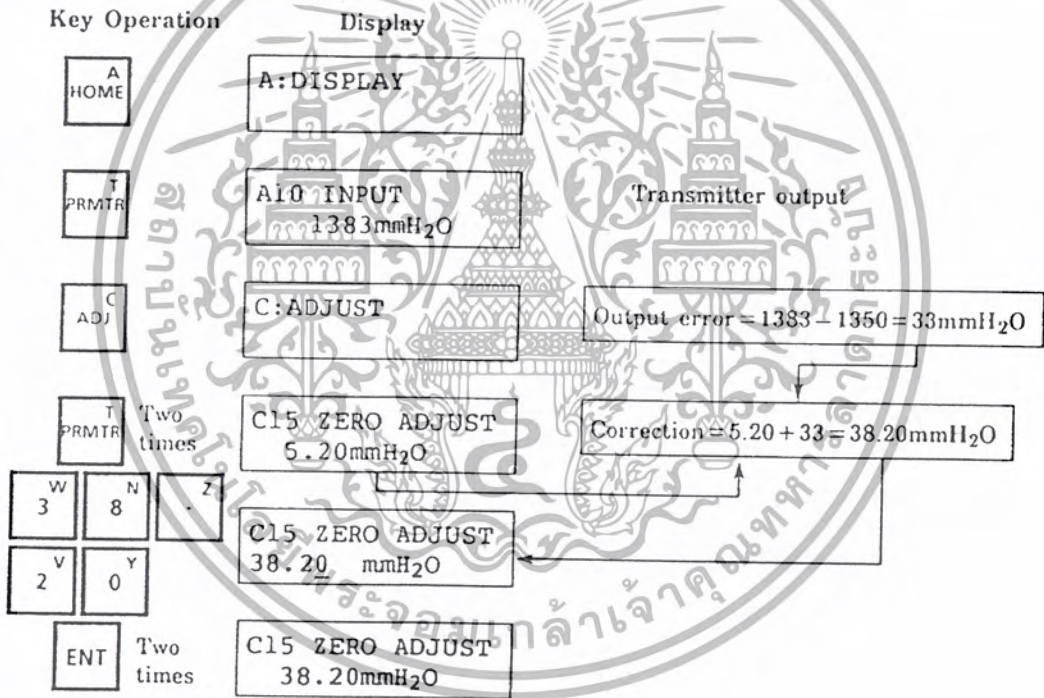
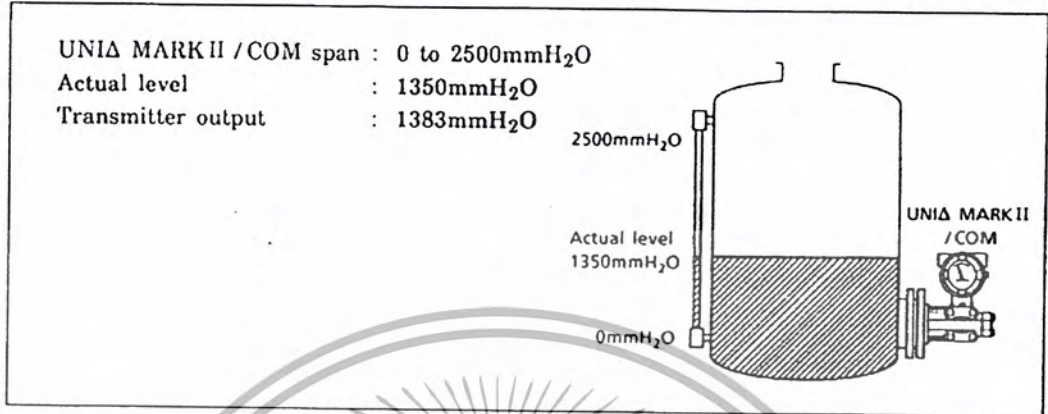
The following diagram shows the external wiring of outputs for the C200H-DA001.



- Note**
1. The maximum current capacity for this alarm output (open-collector output) is 100 mA/circuit.
  2. A single output line cannot be used for voltage and current output at the same time.

### 3.2.2 Manual Zero Adjustment (Arbitrary Level Adjustment)

This zero adjustment applies to tank level measurements, etc. where the actual tank level cannot be set to zero. For this adjustment, use the actual tank level obtained with a glass gauge or the like to meet the UNIA MARKII /COM output.



### Note

This manual C15 zero-adjustable range is limited to  $\pm 5\%$  of the capsule maximum span.

## 4. BASIC OPERATION OF THE BRAIN TERMINAL

### 4.1 Interconnection Between UNIA MARKII / COM and the BRAIN TERMINAL

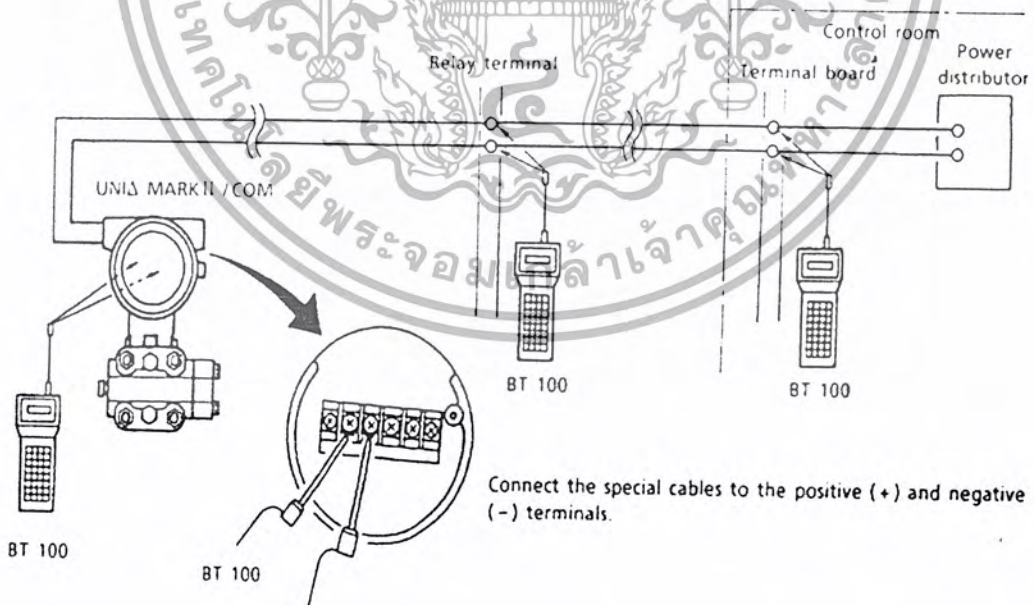
#### (1) Terminal Box Connection

The BRAIN TERMINAL is provided with two metal fittings to connect the positive (+) and negative (-) terminals. To connect the BRAIN TERMINAL to the transmitter on site, use a dedicated cable with IC-clips on the tips and connect it as shown in Figure 4.1.1. Polarities are indicated on the terminal box metal fittings and on the dedicated cable tips.

However, there is no need to worry about their polarities.

#### (2) Interconnection Using a Relay Terminal Board

Usually, a relay terminal board on site or a terminal board in a control room does not have the special clips needed for BRAIN TERMINAL connections, so use special cables with alligator clips for the BRAIN TERMINAL connection.



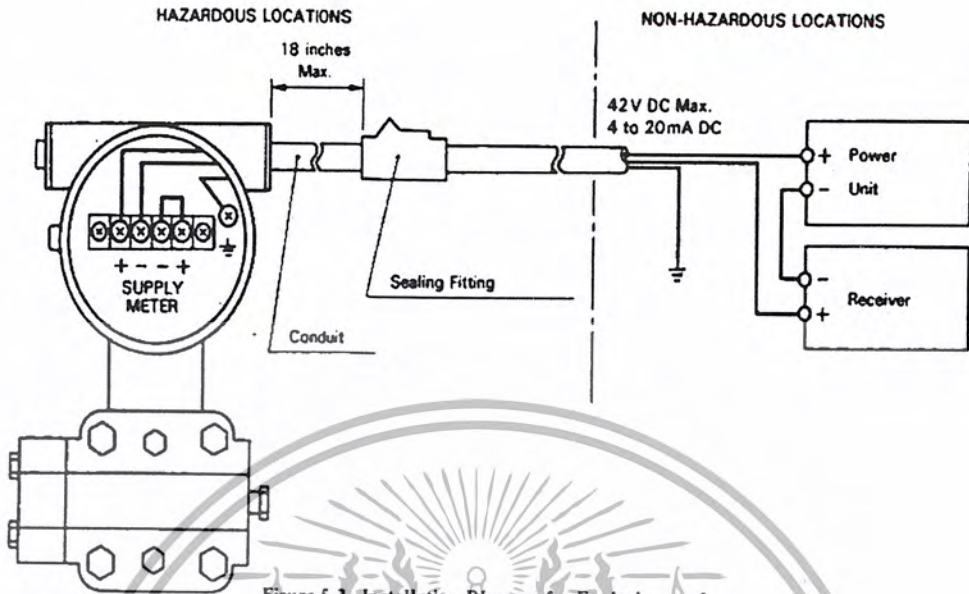


Figure 5-2. Installation Diagram for Explosionproof Type.

### 5-3. Maintenance.

#### 5-3-1. Warning.

- (1) Maintenance for intrinsically safe instruments must be performed in a non-hazardous area and must be returned to the original conditions.
- (2) Modification or specification changes to intrinsically safe instruments by the user are strictly prohibited. If such necessity arises, contact Yokogawa.
  - a. It is not permitted for the user to install an indicator in the transmitter or remove the built-in indicator from the transmitter.
  - b. The capsule can be replaced only with one having the same part number. (The capsule may not be replaced with a capsule for a different range or a capsule made of different materials.)
- (3) When calibrating the transmitter, or adjusting zero or span, always carry out together with the safety barriers.

#### 5-3-2. Operation.

- (1) Do not open cover while circuit is alive.
- (2) Take care not to generate mechanical spark when access to the instrument and peripheral devices in hazardous location.

#### 5-3-3. Calibration.

As a rule, transmitter normal operation checks must be performed in a room where calibration equipment is provided. A dead-weight tester or mercury manometer must be used to calibrate the transmitter.

#### 5-3-4. Adjustments.

Linearity, zero and span adjustments including disassembly and reassembly must be performed in a maintenance room which is provided with maintenance equipment.

## 7.3 Calibration Procedures

To check the operation of the UNIA MARKII / COM during periodical maintenance servicing or after the measuring range has been changed, proceed as follows:

### 7.3.1 Preliminary

Interconnect all equipment (see Figure 7.3.1 Calibration Equipment Setup) and turn on the power to all the equipment that is required.

Let the instrument warm up at least 5 minutes.

#### Notice

For the best calibration, adjust the transmitter with the power supply and load resistance as close as possible to the actual installation conditions.

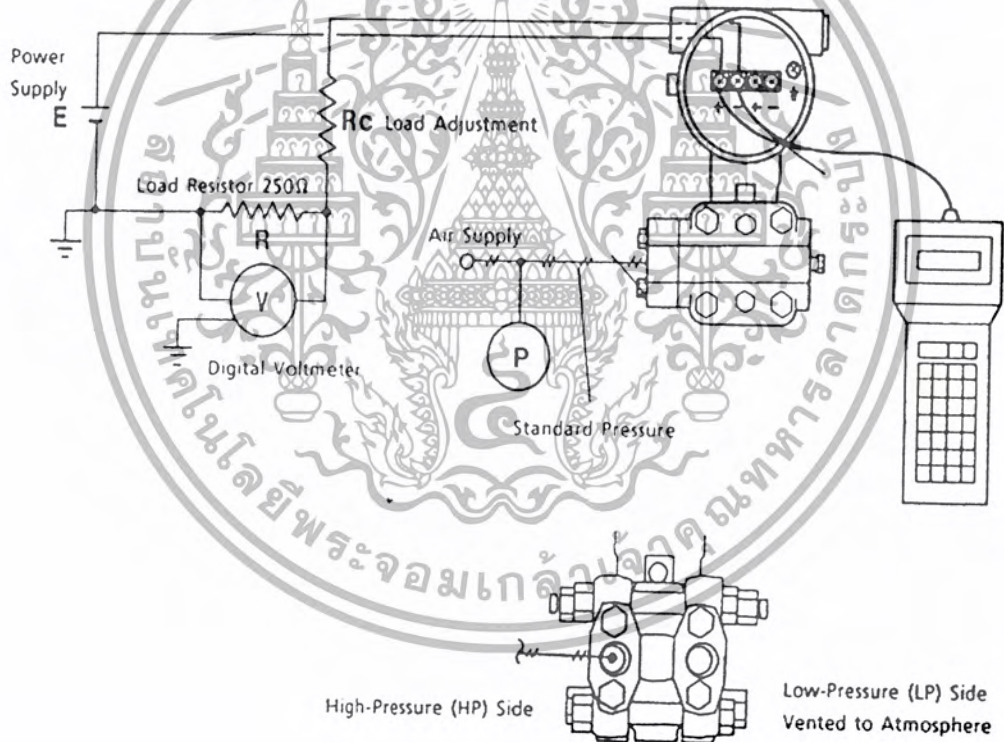


Figure 7.3.1 Calibration Equipment Setup

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 7-2. Wiring Cables and Wires.

- (1) Use 600V PVC insulated wire of equivalent stranded wire or cable.
- (2) Use shielded wire in areas susceptible to electrical noise.
- (3) In areas with high or low ambient temperatures, use wires or cables suitable for such temperatures.
- (4) In atmospheres where oils or solvents, corrosive gases or liquids may be present, use suitable wires or cables.

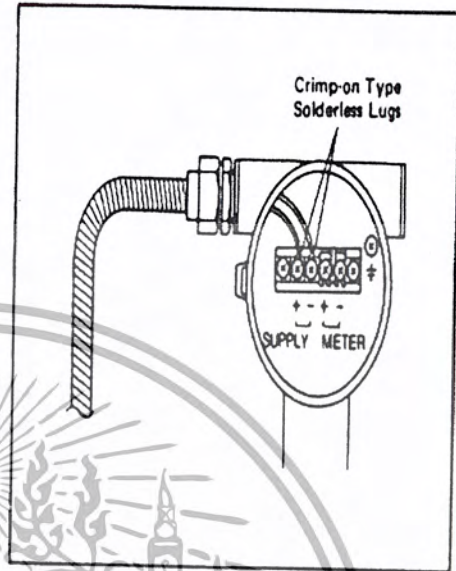


Figure 7-3. Conduit Wiring (general use type).

## 7-3. Notes on Wiring.

- (1) Lay wiring as far as possible from electrical noise sources such as large transformers, motors and power supplies.
- (2) Remove terminal box cover and wiring connection dust-cap before wiring.
- (3) It is recommended that crimp-on type solderless lugs (for 4 mm screw) be used for leadwire ends.
- (4) It is recommended that conduits and ducts or racks be used to protect wiring from water or mechanical damage. A 16 mm diameter rigid steel conduit or 15 mm diameter flexible metal conduit is recommended. See Figure 7-3.

### 8-8. Closed Tank Liquid Level Measurement (for YA11 / /DFS).

#### 8-8-1. To Determine Differential Pressure Range.

The Transmitter primarily measures a liquid level and fluid density in a closed tank. For a closed tank, high and low pressures cancel each other in the tank.

#### NOTE

For liquid level measurements, it is necessary to shift (elevated) zero – if zero shift range is within 200% of span, zero can be elevated with the zero adjustment, the range exceeding 200% of span, the amplifier must be replaced with one providing optional zero adjustment.

The differential range can be obtained as follows:

$$\text{Span} = x \cdot G_L$$

$$\text{Zero elevation} = d \cdot G_S - y \cdot G_L$$

Where

$G_L$ : Specific gravity of liquid in tank.

$G_S$ : Specific gravity of liquid in diaphragm seal.

(Example)

$x = 80$  inches,  $y = 20$  inches,  $d = 120$  inches

Tank liquid specific gravity ( $G_L$ ) = 0.8

Diaphragm seal liquid specific gravity ( $G_S$ ) = 1.07

Span =  $80 \times 0.8 = 64$  (inH<sub>2</sub>O)

Zero elevation =  $120 \times 1.07 - 20 \times 0.8 = 112.4$  inH<sub>2</sub>O

The differential pressure range is  $-112.4$  to  $-48.4$  (inH<sub>2</sub>O).

Note that this range applies to the calibration where high and low diaphragm seal positions are in the same level. The minus (-) means that a pressure higher than that at the high pressure diaphragm seal is applied to the low pressure diaphragm seal.

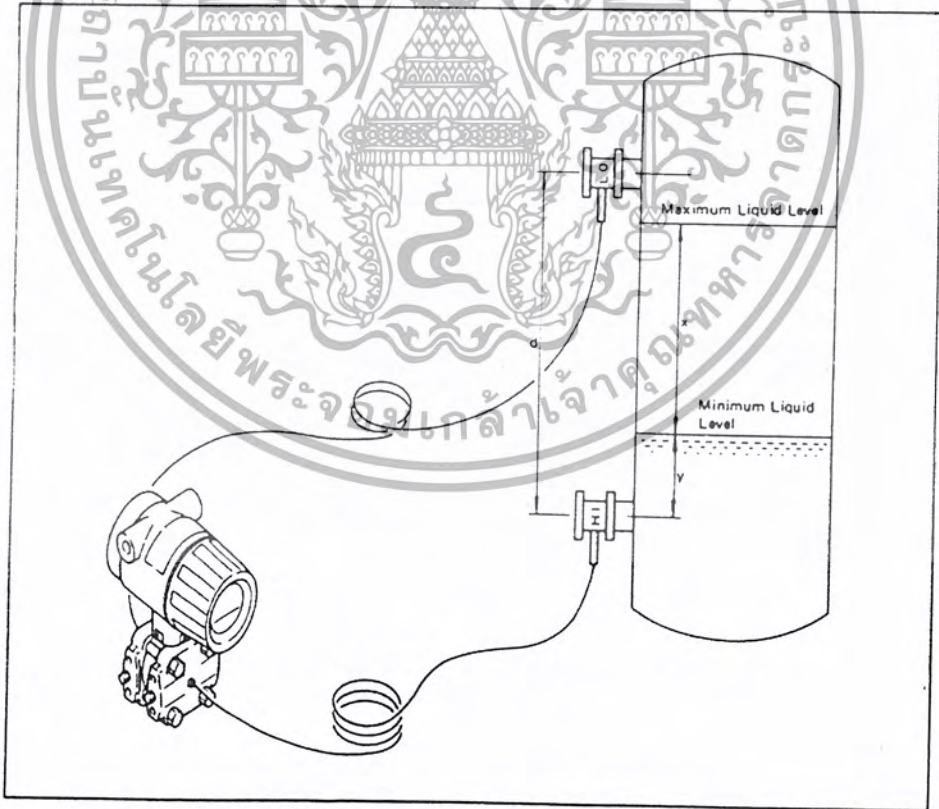
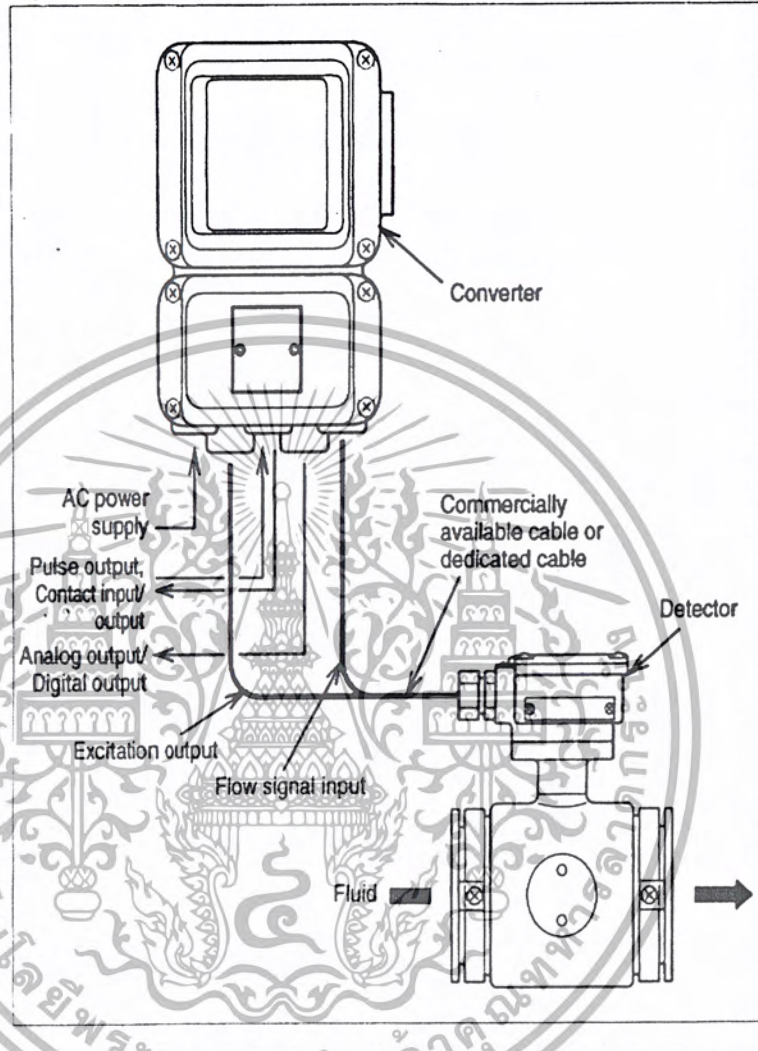


Figure 8-22. Determination of Differential Pressure Range.

# Measuring System Continued

Examples of flow measurement systems  
(Continued)

Figure 1-2 Remote configuration



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

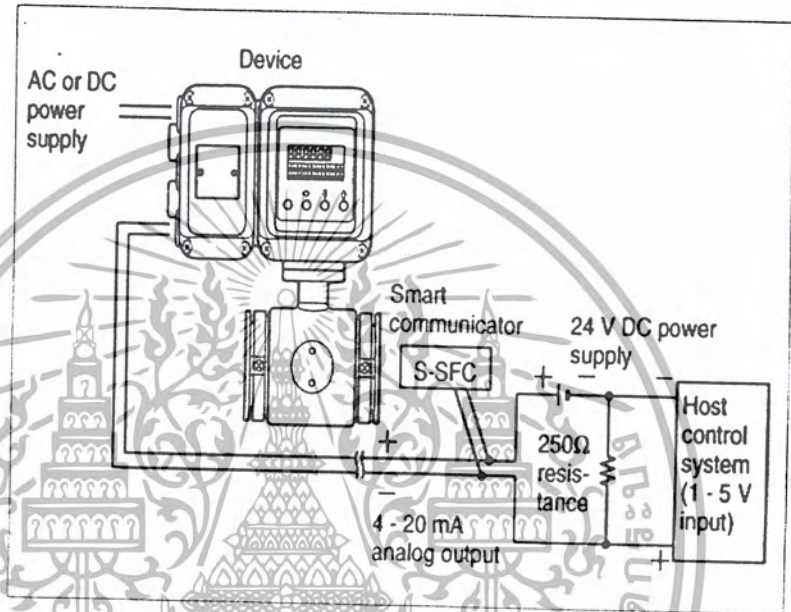
# System Configuration for Analog Output (4 - 20 mA DC output)

continued

System configuration WITH the communication function

Figure 1-4 shows a sample system configuration in which the instantaneous flow rate measured by the unit is output with a 4 - 20 mA DC analog signal. In order to enable communications, a DC power supply and a resistance of 250Ω or more must be installed on the receiving side.

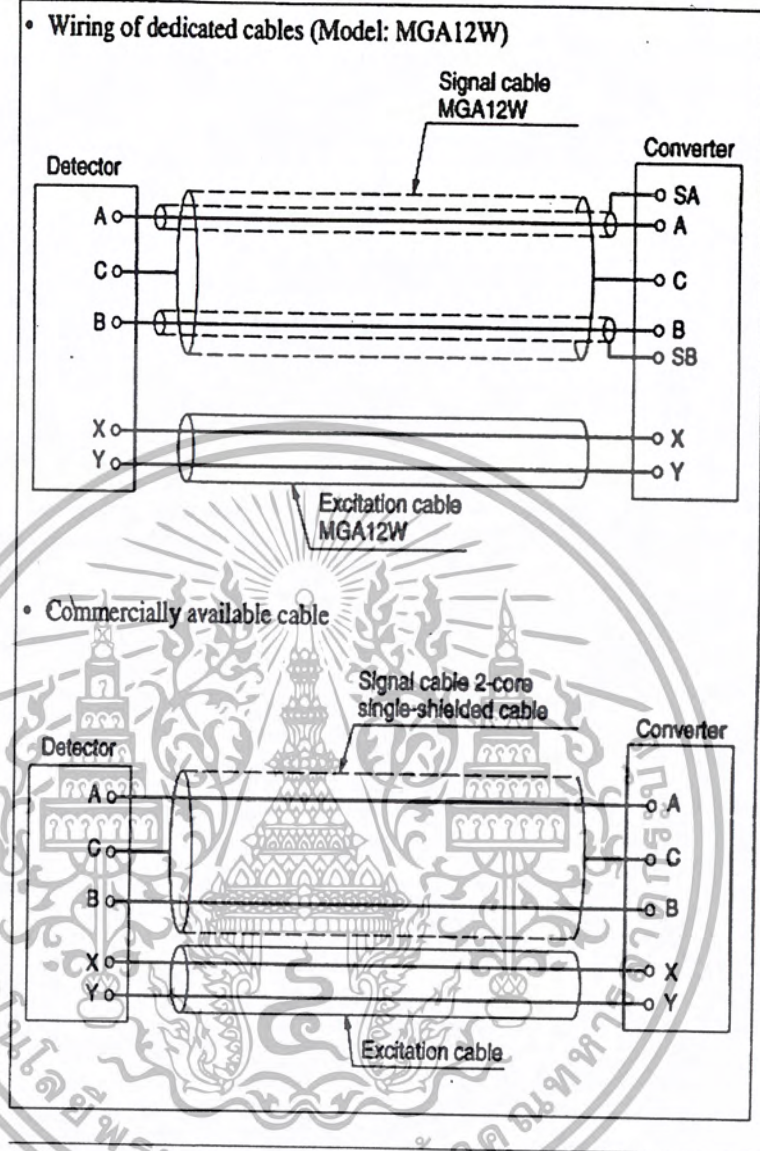
Figure 1-4 System configuration for analog output WITH the communication function (example setup)



- Smart Electromagnetic Flowmeter (device): Measures flow rate and outputs an analog signal instantaneous flow rate.
- Smart Communicator (S-SFC): Communicates with the device to read data and change the device settings.

Detector-to-converter connection

Figure 2-10 Detector-to-converter connection



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้