# การปรับแต่งตัวควบคุมพีไอดีด้วยฟัซซีลอจิกบนระบบควบคุมแบบกระจาย ส่วนพีซีเอส 7

# TUNING OF PID USING FUZZY LOGIC BASED ON PCS 7


อิศราวุฒิ รักตะสุวรรณ

วชิระ เสรีสงแสง

วิลาสินี ตันติมณีโชติ


ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

# การปรับแต่งตัวควบคุมพีไอดีด้วยฟัซซีลอจิกบนระบบควบคุมแบบกระจาย ส่วนพีซีเอส 7

# TUNING OF PID USING FUZZY LOGIC BASED ON PCS 7

อิศราวุฒิ รักตะสุวรรณ
วชิระ เสรีสงแสง
วิลาสินี ตันติมณีโชติ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# TUNING OF PID USING FUZZY LOGIC BASED ON PCS 7

ITSARAWUT RAKTASUWAN

VACHIRA SAREESONGSAENG

VILASINEE TANTIMANEECHOT

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUE OF TECHNOLOGY LARDKRABANG

ACADEMIC YEAR 2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2556

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

.....

**หัวข้อปริญญานิพนธ์** การปรับแต่งตัวควบคุมพีไอดีด้วยฟัซซีลอจิกบนระบบควบคุมแบบกระจายส่วนพีซีเอส 7

TUNING OF PID USING FUZZY LOGIC BASED ON PCS 7


**นักศึกษาผู้จัดทำ** นายอิศราวุฒิ รักตะสุวรรณ **รหัสนักศึกษา** 53010667

นายวชิระ เสรีสงแสง **รหัสนักศึกษา** 53011389

นางสาววิลาสินี ตันติมณีโชติ **รหัสนักศึกษา** 53011490


**ปริญญา** วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

**สาขาวิชา** วิศวกรรมการวัดคุม

**ปีการศึกษา** 2556

| อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์ | ลายมือชื่อ |
|---|---|
| อาจารย์สักรียา ชิตวงศ์ | |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|---|---|---|
| **หัวข้อปริญญานิพนธ์** | การปรับแต่งตัวควบคุมพีไอดีด้วยฟัซซีลอจิกบนระบบควบคุมแบบกระจายส่วนพีซีเอส7<br>TUNING OF PID USING FUZZY LOGIC BASED ON PCS 7 | |
| **นักศึกษาผู้จัดทำ** | นายอิศราวุฒิ รักตะสุวรรณ | รหัสนักศึกษา 53010667 |
| | นายวชิระ เสรีสงแสง | รหัสนักศึกษา 53011389 |
| | นางสาววิลาสินี ตันติมณีโชติ | รหัสนักศึกษา 53011490 |
| **อาจารย์ที่ปรึกษา** | รองศาสตราจารย์สักรียา ชิตวงศ์ | |
| **ปีการศึกษา** | 2556 | |

## บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีการการปรับแต่งตัวควบคุมแบบพีไอดีด้วยหลักการฟัซซีลอจิกบนระบบควบคุมแบบกระจายส่วนพีซีเอส 7 ทำการเซ็ตค่าพารามิเตอร์ของอุปกรณ์วัด และคอนฟิกต่างๆ ของระบบควบคุม และออกแบบการปรับแต่งตัวควบคุม วิธีการควบคุมอัตราการไหลจะถูกนำมาประยุกต์ใช้งาน โดยที่การสื่อสารระหว่างอุปกรณ์วัดและระบบควบคุมด้วยโปรฟิบัสพีเอ ผลการทดลองของผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบพีไอที่พารามิเตอร์ถูกปรับแต่งด้วยวิธีการฟัซซีลอจิกอย่างอัตโนมัติแสดงให้เห็นว่า ตัวแปรของกระบวนการอัตราการไหลสามารถสู่เป้าหมายได้ตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|---|---|---|
| **Thesis Title** | TUNING OF PID USING FUZZY LOGIC BASED ON PCS 7 | |
| **Authors** | Mr. Itsarawut | Raktasuwan |
| | Mr. Vachira | Sareesongsaeng |
| | Miss. Vilasinee | Tantimaneechot |
| **Thesis Advisor** | Assoc. Prof. Sakreya | Chitwong |
| **Year** | 2013 | |


## ABSTRACT

This thesis presents the method of tuning PID controller based on principle of fuzzy logic on distributed control system, namely PCS7. First, parameters of field instrument and configurations of control system are set. Tuning of controller is designed. In this thesis, flow rate control is implemented at which communication between filed instrument and control system is with Profibus PA. Experimental Results of response of PI controller by which parameters are automatically adjusted by fuzzy logic method show that process variable, flow rate, can reach to set-point following as desire.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

โครงงานนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีเพราะได้รับความเมตตากรุณาและสนับสนุนจาก อาจารย์ สักรียา ชิตวงศ์ ที่ได้ให้คำแนะนำแก่ผู้จัดทำตลอดเวลา อีกทั้งยังเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ในการทำโครงงาน ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้ง และขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณาอาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้เพื่อนำความรู้ที่ได้มาประยุกต์ใช้ในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณพี่ๆทุกท่านที่ให้คำปรึกษาแนะนำตลอดจนความช่วยเหลือในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ของคณะผู้จัดทำทุกท่าน ผู้ที่มอบชีวิต การศึกษา และอนาคตตลอดจนให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือในด้านต่างๆ และกำลังใจในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจ และหากเกิดข้อผิดพลาดประการใด คณะผู้จัดทำต้องขอ อภัยมา ณ โอกาสนี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญรูป.....VII

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์.....1

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์.....2

1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....2

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....2

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....3

2.1 ทฤษฎีฟัซซีลอจิก.....3

2.1.1 รูปแบบกฎฟัซซี.....3

2.1.2 โครงสร้างพื้นฐานของระบบฟัซซี.....4

2.1.3 การประมวลผลของฟัซซี.....4

2.1.4 ชนิดของระบบกฎฟัซซี.....8

2.1.5 การประยุกต์ใช้ตรรกะแบบฟัซซี.....8

2.2 โปรฟิบัส.....9

2.2.1 มาตรฐานโปรฟิบัส.....10

2.2.2 โครงสร้างการสื่อสาร.....11

2.2.3 ตระกูลของโปรฟิบัส.....12

2.2.4 ประเภทของอุปกรณ์ในระบบโปรฟิบัส.....13

2.2.5 ไฟล์ GSD.....13

2.2.6 อุปกรณ์พีเอ.....14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)


2.3 ตัวควบคุมพีไอดี....15
2.3.1 การควบคุมแบบต่อเนื่อง....15
2.3.2 การควบคุมพีไอดีแบบดิสครีต....17
2.4 สรุป....17

**บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน....18**
3.1 คำนำ....18
3.2 โครงสร้างของกระบวนการ....18
3.2.1 แผนผังแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับกระบวนการและอุปกรณ์ควบคุม....18
3.2.2 แผนผังการเดินสายไฟ....20
3.2.3 องค์ประกอบของกระบวนการ....22
3.2.3.1 วาล์วควบคุม....22
3.2.3.2 อุปกรณ์วัดอัตราการไหล....22
3.2.3.3 ตัวควบคุม....23
3.2.3.4 ตัวแปลงสัญญาณระหว่างดีพีและพีเอ....24
3.2.3.5 อุปกรณ์แปลงสัญญาณ FI303 / IF303....25
3.2.3.6 โปรแกรมพีซีเอส 7 รุ่น 7.1....25
3.2.3.7 โปรแกรม Fuzzy control++ V6....26
3.2.4 โครงสร้างของการปรับค่าตัวควบคุมพีไอดีด้วยฟัซซีลอจิก....26
3.3 การออกแบบตัวควบคุมฟัซซี....27
3.3.1 สัญญาณอินพุต....27
3.3.2 สัญญาณเอาต์พุต....28
3.4 สรุป....31

**บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง....32**
4.1 คำนำ....32
4.2 วิธีการทดลอง....32
4.3 ผลการทดลอง....32
4.4 สรุป....40


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)


**บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ** ..... **41**

5.1 สรุปผลการทดลอง ..... 41

5.2 วิเคราะห์ปัญหาและข้อเสนอแนะ ..... 41

**บรรณานุกรม** ..... **42**

**ภาคผนวก** ..... **43**

ภาคผนวก ก ..... 43

ภาคผนวก ข ..... 60



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป


รูปที่ หน้า

2.1 โครงสร้างพื้นฐานของระบบฟัซซี....4

2.2 ตัวอย่างกระบวนการตัดสินใจในระบบกฎฟัซซี....5

2.3 แสดงการประมวลผล Max – Min Inference กับค่า Crisp Input $x_0$ และ $y_0$....6

2.4 แสดงการประมวลผล Max – Dot Inference กับค่า Crisp Input $x_0$ และ $y_0$....7

2.5 กระบวนการแปลงค่าฟัซซีเป็นค่าเอาต์พุตทั่วไป....7

2.6 แสดงชนิดของระบบกฎฟัซซี....8

2.7 โครงสร้างพื้นฐานของระบบโปรฟิบัส....11

2.8 ระดับการสื่อสารของระบบอุตสาหกรรมตามมาตรฐานโปรฟิบัส....12

2.9 GSD File....14

2.10 บล็อกไดอะแกรมระบบควบคุมที่มีการป้อนกลับ....16

3.1 พีแอนด์ไอดี ไดอะแกรม....19

3.2 แผนผังการเดินสายไฟ....21

3.3 วาล์วควบคุม....22

3.4 อุปกรณ์วัดอัตราการไหล....23

3.5 ตัวควบคุม....24

3.6 ตัวแปลงสัญญาณระหว่างดีพีและพีไอ....24

3.7 อุปกรณ์แปลงสัญญาณ FI303 / IF303....25

3.8 โครงสร้างของการปรับค่าตัวควบคุมพีไอดีด้วยฟัซซีลอจิก....26

3.9 แสดงฟังก์ชันสมาชิกของอัตราการไหลของน้ำภายในท่อ....27

3.10 แสดงฟังก์ชันสมาชิกของ D_Flow....28

3.11 แสดงสัญญาณเอาต์พุต Kp....29

3.12 แสดงสัญญาณเอาต์พุต Ki....29

3.13 เมตริกซ์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุต....30

4.1 ผลตอบสนองระบบควบคุมอัตราการไหลของน้ำขาขึ้น....33
เมื่อค่าเป้าหมายเปลี่ยนแปลงจาก 0 ไปยัง 5 ลิตรต่อนาที

4.2 ผลตอบสนองระบบควบคุมอัตราการไหลของน้ำขาลง....33
เมื่อค่าเป้าหมายเปลี่ยนแปลงจาก 5 ไปยัง 0 ลิตรต่อนาที



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป (ต่อ)


รูปที่ หน้า

4.3 ผลตอบสนองระบบควบคุมอัตราการไหลของน้ำขาขึ้น....34
เมื่อค่าเป้าหมายเปลี่ยนแปลงจาก 0 ไปยัง 10 ลิตรต่อนาที

4.4 ผลตอบสนองระบบควบคุมอัตราการไหลของน้ำขาลง....34
เมื่อค่าเป้าหมายเปลี่ยนแปลงจาก 10 ไปยัง 0 ลิตรต่อนาที

4.5 ผลตอบสนองระบบควบคุมอัตราการไหลของน้ำขาขึ้น....35
เมื่อค่าเป้าหมายเปลี่ยนแปลงจาก 0 ไปยัง 15 ลิตรต่อนาที

4.6 ผลตอบสนองระบบควบคุมอัตราการไหลของน้ำขาลง....35
เมื่อค่าเป้าหมายเปลี่ยนแปลงจาก 15 ไปยัง 0 ลิตรต่อนาที

4.7 ผลตอบสนองระบบควบคุมอัตราการไหลของน้ำขาขึ้น....36
เมื่อค่าเป้าหมายเปลี่ยนแปลงจาก 0 ไปยัง 20 ลิตรต่อนาที

4.8 ผลตอบสนองระบบควบคุมอัตราการไหลของน้ำขาลง....36
เมื่อค่าเป้าหมายเปลี่ยนแปลงจาก 20 ไปยัง 0 ลิตรต่อนาที

4.9 ผลตอบสนองระบบควบคุมอัตราการไหลของน้ำขาขึ้น....37
เมื่อค่าเป้าหมายเปลี่ยนแปลงจาก 0 ไปยัง 25 ลิตรต่อนาที

4.10 ผลตอบสนองระบบควบคุมอัตราการไหลของน้ำขาลง....37
เมื่อค่าเป้าหมายเปลี่ยนแปลงจาก 25 ไปยัง 0 ลิตรต่อนาที

4.11 ผลตอบสนองระบบควบคุมอัตราการไหลของน้ำขาขึ้น....38
เมื่อค่าเป้าหมายเปลี่ยนแปลงจาก 0 ไปยัง 30 ลิตรต่อนาที

4.12 ผลตอบสนองระบบควบคุมอัตราการไหลของน้ำขาลง....38
เมื่อค่าเป้าหมายเปลี่ยนแปลงจาก 30 ไปยัง 0 ลิตรต่อนาที

4.13 ผลตอบสนองระบบควบคุมอัตราการไหลของน้ำขาขึ้น....39
เมื่อค่าเป้าหมายเปลี่ยนแปลงจาก 0 ไปยัง 35 ลิตรต่อนาที

4.14 ผลตอบสนองระบบควบคุมอัตราการไหลของน้ำขาลง....39
เมื่อค่าเป้าหมายเปลี่ยนแปลงจาก 35 ไปยัง 0 ลิตรต่อนาที


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์

ในปัจจุบันนั้น เป็นยุคของอุตสาหกรรม ซึ่งก็มีโรงงานอุตสาหกรรมเกิดขึ้นมามากมาย จึงทำให้มีการแข่งขันกันสูง ซึ่งการที่จะให้โรงงานอุตสาหกรรมมีประสิทธิภาพที่ดี ก็จะต้องมีระบบควบคุมที่มีประสิทธิภาพเช่นกัน จึงได้มีการพัฒนาระบบควบคุมเกิดขึ้นอย่างมากมาย และเพื่อให้ระบบควบคุมมีกระบวนการที่ดี มีกระบวนการผลิตที่เป็นไปได้อย่างราบรื่น ระบบควบคุมจึงควรมีกระบวนการคิดวิเคราะห์ที่ลึกซึ้งอย่างการคิดแบบมนุษย์ ซึ่งฟัซซีลอจิกเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจโดยยอมให้มีความยืดหยุ่นได้ และใช้หลักเหตุผลที่ซับซ้อนคล้ายมนุษย์ โครงงานนี้จึงเลือกใช้ฟัซซีลอจิกมาเป็นตัวปรับแต่งตัวควบคุมพีไอดีเพื่อไปควบคุมอัตราการไหลของน้ำภายในท่อบนระบบควบคุมแบบกระจายส่วนพีซีเอส 7 ซึ่งฟัซซีลอจิกจะมีลักษณะที่พิเศษกว่าบูลีนลอจิกตรงที่เป็นตรรกศาสตร์ที่มีส่วนขยายในค่าของความจริง ซึ่งบูลีนลอจิกจะมีค่าความจริงเป็นจริงกับเท็จเท่านั้น แต่ถ้าเป็นฟัซซีลอจิกจะมีค่าความจริงอยู่ระหว่างจริงกับเท็จ การตัดสินใจโดยให้ฟัซซีลอจิกเป็นตัวปรับแต่งตัวควบคุมพีไอดีจึงทำให้มีประสิทธิภาพในการควบคุมมากขึ้น

## 1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. เรียนรู้หลักการของระบบสื่อสารที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม (Industrial communication)
2. เข้าใจโครงสร้าง โครงข่าย และสถาปัตยกรรมของโปรฟิบัสพีเอ
3. ศึกษา และเรียนรู้การใช้งานโปรแกรมตั้งค่าคอนฟิกของโครงข่าย อุปกรณ์ และตัวควบคุม (Network, Device and Control Configuration Program) ที่มีการสื่อสารแบบโปรฟิบัสพีเอ (Profibus PA) และโปรฟิบัสดีพี (Profibus DP)
4. เรียนรู้วิธีการตั้งค่าพารามิเตอร์ของอุปกรณ์วัด (Instrument configuration) บนระบบที่มีการสื่อสารแบบโปรฟิบัสพีเอ
5. สามารถตั้งค่าคอนฟิกต่างๆ ของระบบควบคุมแบบโครงข่าย (Hardware configuration)
6. สามารถเข้าใจหลักการใช้งานและเขียนโปรแกรมเพื่อสั่งงานตัวควบคุมด้วยฟังก์ชันชาร์ทแบบต่อเนื่อง (Continuous Function Chart : CFC)
7. เข้าใจหลักการของระบบควบคุมอัตราการไหล (Flow rate control)
8. ออกแบบตัวควบคุม สำหรับควบคุมอัตราการไหลบนระบบที่มีการสื่อสารแบบโปรฟิบัสพีเอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

ติดตั้งและตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ทดสอบ ใช้งานอุปกรณ์วัด และระบบควบคุมแบบโครงข่ายที่มีการสื่อสารแบบโปรฟิบัสพีเอและโปรฟิบัสดีพี สำหรับการควบคุมอัตราการไหล

## 1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาทฤษฎีฟัซซีลอจิก และการประยุกต์การใช้งาน
2. ศึกษาโปรแกรม PCS 7 และฟังก์ชันชาร์ทแบบต่อเนื่อง (Continuous Function Chart : CFC)
3. ศึกษาและเรียนรู้การใช้งานโปรแกรมเซ็ตค่าคอนฟิกของโครงข่าย อุปกรณ์ และตัวควบคุมที่มีการสื่อสารแบบโปรฟิบัสพีเอและโปรฟิบัสพีดี
4. ศึกษากระบวนการที่จะควบคุม เพื่อให้เข้าใจระบบในการควบคุมอัตราการไหล
5. ศึกษาการเขียนฟัซซีเพื่อมาควบคุมพีไอดีบนระบบควบคุมแบบกระจายส่วน PCS 7

## 1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถเรียนรู้ เข้าใจหลักการ และประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยีของอุปกรณ์วัดที่มีการสื่อสารแบบโปรฟิบัสพีเอ สำหรับระบบการวัด พร้อมทั้งเชื่อมต่ออุปกรณ์วัดเข้ากับระบบควบคุมแบบโครงข่าย
2. สามารถเรียนรู้ เข้าใจหลักการ และประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยีของระบบควบคุม สำหรับควบคุมกระบวนการ
3. เข้าใจพฤติกรรมของระบบควบคุมอัตราการไหล
4. สามารถนำองค์ความรู้ที่ได้ไปประกอบอาชีพต่อไปในอนาคตหลังจากจบการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 2
# ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 ทฤษฎีฟัซซีลอจิก

ในระบบปัญญาประดิษฐ์ (artificial intelligence) หรือเครื่องจักรอัจฉริยะ (machine intelligence) มีวิธีการหลายวิธีในการที่จะแสดงองค์ความรู้ของมนุษย์ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ตรรกะ (logic) เฟรม (frames) โครงข่ายความหมาย (semantic nets) ออนโทโลยี (ontology) และกฎ (rules) ซึ่งแบบหลังสุดเป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในระบบฟัซซี

บทนี้จะกล่าวถึงระบบกฎแบบฟัซซี (fuzzy rule-based systems) หัวข้อที่จะครอบคลุม ได้แก่ รูปแบบกฎฟัซซี โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก และชนิดของระบบกฎฟัซซี

ตรรกะแบบฟัซซี เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจภายใต้ความไม่แน่นอนของข้อมูล โดยยอมให้มีความยืดหยุ่นได้ ใช้หลักเหตุผลที่คล้ายการเลียนแบบวิธีความคิดที่ซับซ้อนของมนุษย์ ฟัซซีลอจิกมีลักษณะที่พิเศษกว่าตรรกะแบบเท็จจริง (Boolean Logic) เป็นแนวคิดที่มีการต่อขยายในส่วนของความจริง โดยค่าความจริงจะอยู่ในช่วงระหว่างจริงกับเท็จ ส่วนตรรกศาสตร์เดิมจะมีค่าเป็นจริงกับเท็จเท่านั้น

### 2.1.1 รูปแบบกฎฟัซซี

ในระบบฟัซซีองค์ความรู้สามารถแสดงในรูปประโยค ถ้า : ข้อตั้ง (ข้อนำ) ดังนั้น : ข้อยุติ (ข้อตาม) เช่น $Rule_i$ : ถ้า $x_1$ คือ $A_{i1}$ และ $x_2$ คือ $A_{i2}$ ... และ $x_n$ คือ $A_{in}$ ดังนั้น y คือ $B_i$

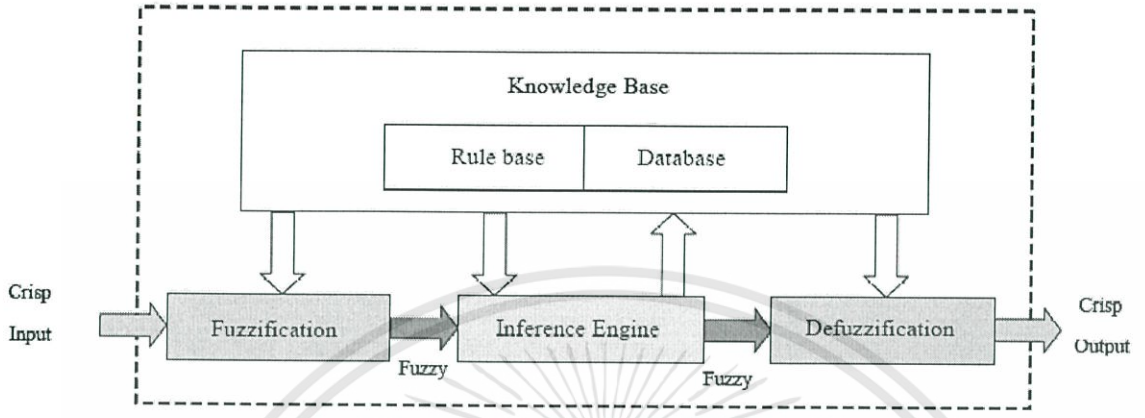
ข้อความข้างต้นเป็นที่รู้จักกันดีในนาม “รูปแบบกฎถ้า-ดังนั้น” (IF-THEN rule-based form) หรือ รูปแบบนิรภัย (deductive form) ในรูปแบบการแสดงอนุมาน หากเราทราบความจริง (ข้อตั้ง ข้อสมมุติฐาน หรือข้อนำ) แล้วเราสามารถอนุมาน หรือหาข้อสรุปความจริงอีกอย่างหนึ่งที่เรียกว่า ข้อยุติหรือข้อตาม การแสดงรูปแบบองค์ความรู้นี้ เรียกว่า องค์ความรู้ตื้น (shallow knowledge) ซึ่งค่อนข้างมีความเหมาะสมในบริบทของภาษา เนื่องจากเป็นการแสดงประสบการณ์ของมนุษย์และองค์ความรู้เชิงศึกษาสำนึก (heuristics) ในรูปแบบประโยคภาษามนุษย์ที่ใช้ในการสื่อสารทั่วไป แต่ไม่เป็นรูปแบบองค์ความรู้ที่ลึกล้ำ แบบที่เป็นการรู้เอง เป็นโครงสร้าง เป็นฟังก์ชัน หรือเป็นพฤติกรรมของวัตถุรอบๆตัวเรา อย่างที่เรียกว่า อุปนัย (inductive)

ระบบกฎฟัซซีเป็นสิ่งที่มีประโยชน์ในการจัดรูปแบบของระบบที่ซับซ้อนที่สามารถสังเกตได้โดยมนุษย์ เพราะระบบเหล่านี้สามารถแสดงด้วยตัวแปรภาษาในข้อนำและข้อตามของกฎได้ ตัวแปรภาษาสามารถนำแสดงเชิงธรรมชาติด้วยฟัซซีเซตและตัวเชื่อมตรรกะของเซตเหล่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.2 โครงสร้างพื้นฐานของระบบฟัซซี

โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟัซซี ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 4 ส่วน ดังนี้ ดังรูปที่ 2.1




**รูปที่ 2.1** โครงสร้างพื้นฐานของระบบฟัซซี

ส่วนที่การแปลงอินพุตทั่วไปเปลี่ยนเป็นการอินพุตแบบตัวแปรฟัซซี (Fuzzification) หรือในรูปแบบเซตฟัซซีหรือเรียกว่าเป็นตัวแปรเชิงภาษา (Linguistic Variable)

ฐานความรู้ (Knowledge base) เป็นส่วนที่จัดเก็บรวบรวมข้อมูลในการควบคุม ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ฐานกฎ (Rule base) และ ฐานข้อมูล (Database)

ฐานกฎ (Rule base) ส่วนของการกำหนดวิธีการควบคุม ซึ่งได้จากผู้เชี่ยวชาญในรูปแบบของชุดข้อมูลแบบกฎเชิงภาษา (Linguistic rule)

ฐานข้อมูล (Database) เป็นการจัดเตรียมข้อมูลส่วนที่จำเป็น ได้แก่ ชนิดของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก และพารามิเตอร์ต่างๆ

เครื่องอนุมานหรือการตีความ (Inference Engine) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ตรวจสอบข้อเท็จจริงและกฎ เพื่อใช้ในการตีความหาเหตุผล เหมือนกลไกสำหรับควบคุมการใช้ความรู้ในการแก้ไขปัญหา รวมทั้งการกำหนดวิธีการของการตีความเพื่อหาคำตอบ

ส่วนที่แปลงการเอาต์พุตให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม (Defuzzification) เป็นการทำการแปลงข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบฟัซซีให้เป็นค่าที่สรุปผลหรือค่าการควบคุมระบบ

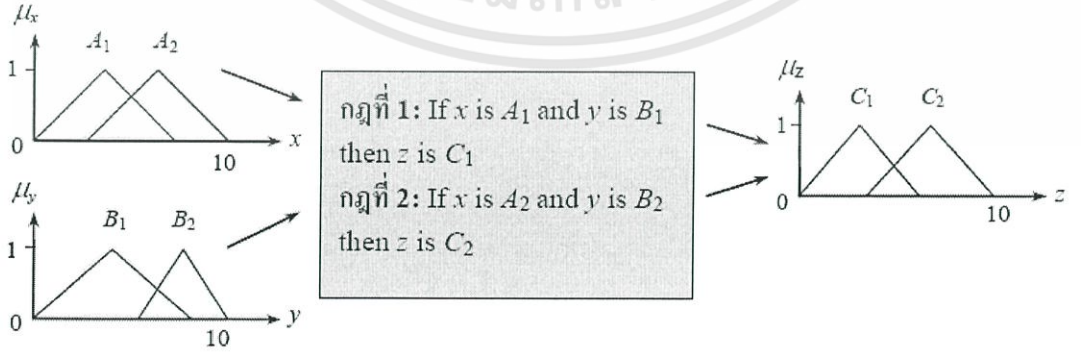
### 2.1.3 การประมวลผลของฟัซซี

ขั้นตอนการประมวลผลของระบบฟัซซี โดยทั่วไปมีรูปแบบการทำงานเป็น 5 ส่วน ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การแปลงค่าอินพุตทั่วไปเป็นค่าฟัซซี (fuzzification) เป็นการคำนวณค่าฟัซซีผ่านฟังก์ชันความเป็นสมาชิกจากส่วนข้อสมมุติฐานจริงของกฎฟัซซีเพื่อหาค่าดีกรีระหว่าง 0 ถึง 1
2. การรวมค่าฟัซซีจากส่วนข้อสมมุติฐาน (combining) เป็นการรวมค่าฟัซซีจากฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในส่วนข้อสมมุติฐานของกฎข้อเดียวกันเข้าด้วยกันโดยใช้ตัวดำเนินการ fuzzy AND (min) หรือ fuzzy OR (max) ทำเป็นค่าดีกรีความแข็งแรงเป็นค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ส่งออกไปจากส่วนข้อสมมุติฐาน
3. การตีความ (implication) เป็นการใช้ค่าดีกรีฟัซซีสนับสนุนจากทั้งกฎเพื่อกำหนดค่ารูปร่างของฟัซซีเซตเอาต์พุตของกฎ ข้อตามของกฎฟัซซีเป็นสิ่งกำหนดฟัซซีเซตที่เอาต์พุตซึ่งแสดงโดยฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ถูกกำหนดไว้เพื่อแสดงปริมาณของข้อตาม ถ้าข้อสมมุติฐานถูกต้องเพียงบางส่วน (ค่าฟัซซีต่ำกว่า 1) ฟัซซีเซตเอาต์พุตจะถูกตัดออกไป วิธีการที่นิยมใช้ในการตีความ ได้แก่ Max – Min method และ Max – Dot method
4. การรวมค่าฟัซซีเอาต์พุตจากกฎทุกข้อ (aggregation) เป็นการรวมค่าจากข้อตามหรือข้อสรุปของกฎทุกข้อเพื่อเป็นฟัซซีเซตของระบบทั้งหมดด้วยวิธี fuzzy OR
5. การทำค่าฟัซซีเป็นค่าปกติ (defuzzification) เป็นการทำค่าฟัซซีเอาต์พุตที่รวมจากกฎทุกข้อเป็นค่าปกติที่ใช้ในงานจริงในบางงาน เช่น ในระบบควบคุม

สำหรับขั้นตอน 1 ถึง 4 เป็นขั้นตอนของวิธีการทั่วไปสำหรับการประมวลผลแบบฟัซซี และขั้นตอนที่ 5 เป็นทางเลือกสำหรับการทำให้ค่าฟัซซีเอาต์พุตเป็นค่าปกติ โดยรูปที่ 2.2 เป็นตัวอย่างกระบวนการตัดสินใจของระบบฟัซซี




**รูปที่ 2.2** ตัวอย่างกระบวนการตัดสินใจในระบบกฎฟัซซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการกระบวนการตัดสินใจของระบบฟัซซีมีคุณสมบัติดังรูปที่ โดยกฎการตีความหาเหตุผลแบบฟัซซีพื้นฐานมี 2 กฎ คือ

- กฎที่ 1 ถ้า x เท่ากับ $A_1$ และ y เท่ากับ $B_1$ ดังนั้น z จะเท่ากับ $C_1$
- กฎที่ 2 ถ้า x เท่ากับ $A_2$ และ y เท่ากับ $B_2$ ดังนั้น z จะเท่ากับ $C_2$

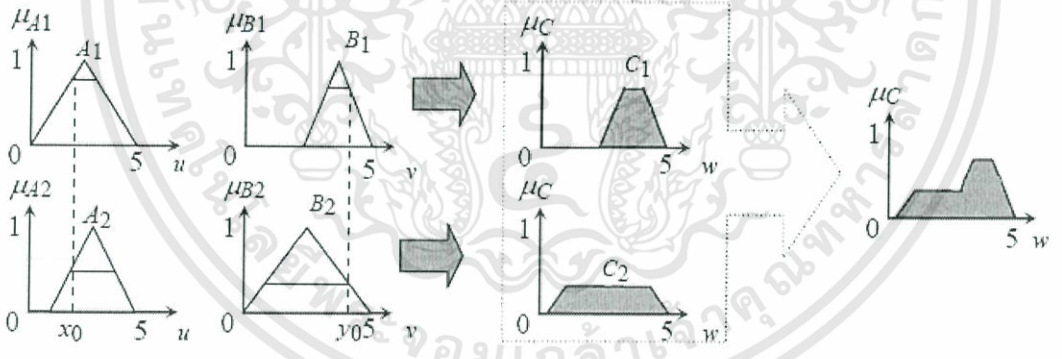
ในกระบวนการตัดสินใจ กำหนดให้ $\alpha_1$ และ $\alpha_2$ เป็นผลลัพธ์ของความสัมพันธ์ของส่วนแรกของกฎข้อที่ 1 และกฎข้อที่ 2 ตามลำดับ จะได้ค่า $\alpha_1$ และ $\alpha_2$ สำหรับอินพุต $x_0$ และ $y_0$ จากกฎการตีความพื้นฐานดังนี้

ถ้า x เท่ากับ $A_1$ และ y เท่ากับ $B_1$ ดังนั้นจะได้ $\alpha_1 = \mu_{A1}(x_0) \wedge \mu_{B1}(y_0)$

ถ้า x เท่ากับ $A_2$ และ y เท่ากับ $B_2$ ดังนั้นจะได้ $\alpha_2 = \mu_{A2}(x_0) \wedge \mu_{B2}(y_0)$

Max – Min method จะใช้กฎการหาค่าต่ำสุด (Minimum Operation Rule) ของกฎแบบ Mamdani เป็นฟังก์ชันความเป็นสมาชิกสำหรับหาค่า โดยค่าสมาชิกของผลลัพธ์ c จากกฎ 2 ข้อ มีลักษณะเป็นแบบ Point – Wise ซึ่งจะกำหนดตามสมการข้างล่างนี้ และรูปที่ 2.3 แสดงการประมวลผล Max – Min Inference

$$\mu_C(w) = (\alpha_1 \wedge \mu_{C1}(w)) \vee (\alpha_2 \wedge \mu_{C2}(w))$$

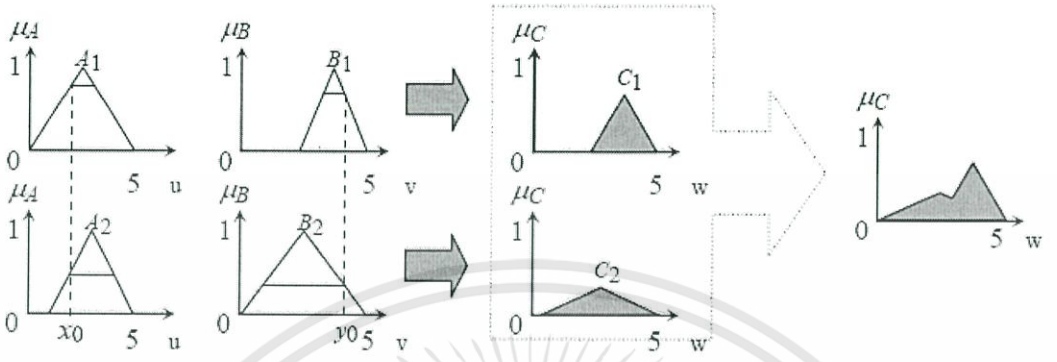



**รูปที่ 2.3** แสดงการประมวลผล Max – Min Inference กับค่า Crisp Input $x_0$ และ $y_0$

Max – Dot method จะใช้กฎของผลคูณ (Product Operation Rule) เป็นฟังก์ชันความเป็นสมาชิกสำหรับหาค่า โดยค่าความเป็นสมาชิกของผลลัพธ์ C จากกฎทั้งหมด 2 ข้อ โดยมีลักษณะเป็นแบบ Point – Wise ซึ่งจะกำหนดตามสมการต่อไปนี้ และรูปที่ 2.4 แสดงการประมวลผล Max – Dot Inference

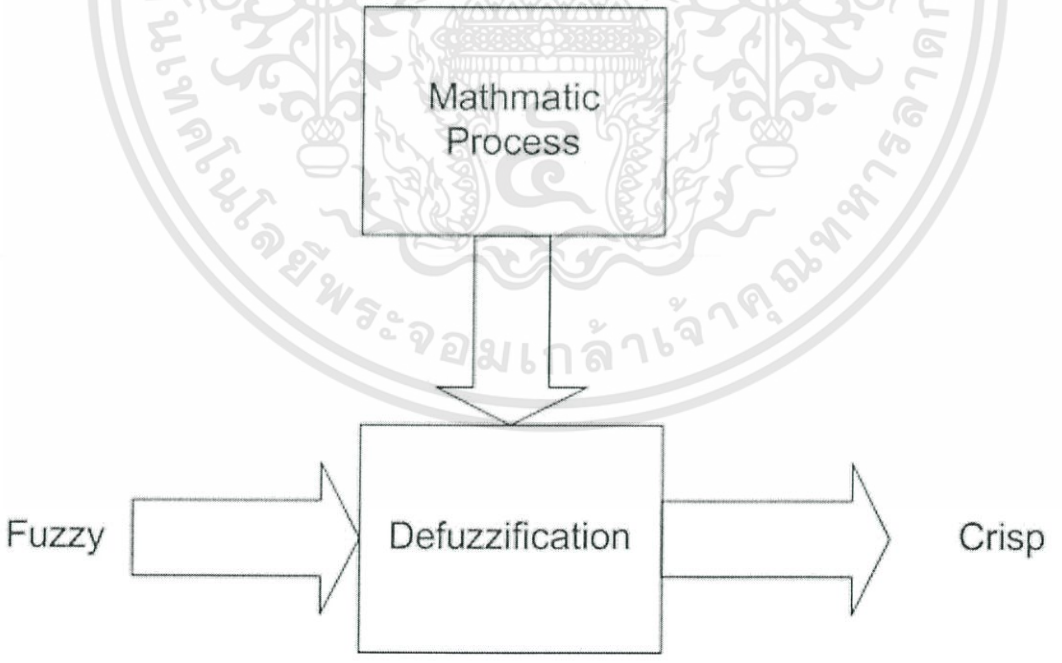
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\mu_C(w) = (\alpha_1 \cdot \mu_{C1}(w)) \vee (\alpha_2 \cdot \mu_{C2}(w))$$




**รูปที่ 2.4** แสดงการประมวลผล Max – Dot Inference กับค่า Crisp Input $x_0$ และ $y_0$

ขั้นตอนสุดท้ายหรือขั้นตอนการสรุปเหตุผลฟัซซี โดยจะเปลี่ยนฟัซซีเอาต์พุตให้เป็นค่าเอาต์พุตทั่วไป ตามรูปที่ 2.5 เพื่อนำค่าที่ได้มาใช้ในการตัดสินใจเพื่อควบคุมระบบในสถานการณ์นั้นๆ

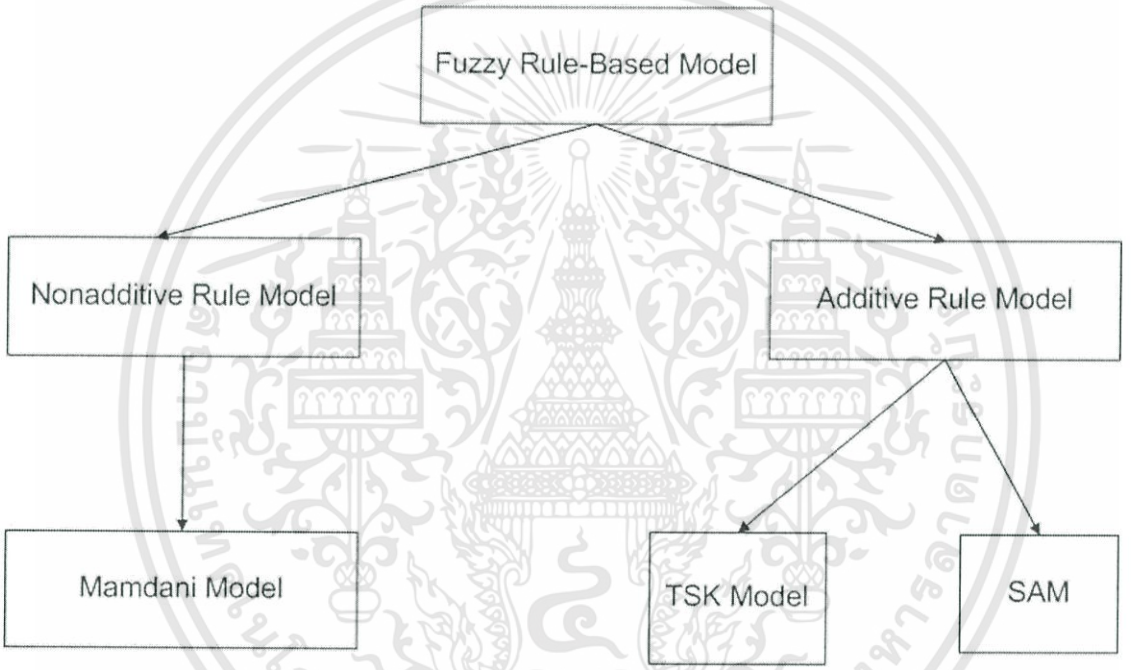



**รูปที่ 2.5** กระบวนการแปลงค่าฟัซซีเป็นค่าเอาต์พุตทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.4 ชนิดของระบบกฎฟัซซี

ในการประมาณค่าฟังก์ชัน (function approximation) ระบบกฎฟัซซีที่ใช้มี 3 ชนิดใหญ่ๆ ได้แก่ (1) รูปแบบ Mamdani (2) รูปแบบ Takagi – Sugeno – Kang (TSK) และ (3) รูปแบบ Standard Additive Model (SAM) รูปแบบ Mamdani รวมผลการอนุมาน (inference) ของกฎโดยวิธีการซ้อนทับ(superimposition) จากกฎหลายๆข้อ ซึ่งไม่เป็นแบบบวกกัน จึงเรียกระบบแบบนี้ว่าเป็น nonadditive rule model แต่สำหรับ TSK และ SAM มีการอนุมานแบบรวมค่าน้ำหนัก (weighted sum) จากหลายๆกฎ เพื่อรวมเป็นข้อสรุปสุดท้าย จึงเรียกระบบแบบนี้ว่า additive rule model การจัดกลุ่มของระบบกฎแบบฟัซซีแสดงในรูปที่ 2.6




**รูปที่ 2.6** แสดงชนิดของระบบกฎฟัซซี

### 2.1.5 การประยุกต์ใช้ตรรกะแบบฟัซซี

การประมวลข้อมูลเป็นไปตามพื้นฐานของตรรกศาสตร์แบบฟัซซีที่เหมาะสม ปกติแล้วการประมวลผลจะถูกกำหนดในรูปแบบของการแสดงด้วยคำพูด “ถ้า.....แล้ว” ยกตัวอย่างเช่น ในกระบวนการผลิตที่ซับซ้อน จะสังเกตเห็นได้ว่า ผู้ประกอบการส่วนใหญ่จะทำการควบคุมกระบวนการด้วยการใช้พื้นฐานจากประสบการณ์ของพวกเขาโดยใช้เกณฑ์ง่ายๆ ถ้า.....แล้ว (ถ้าอุณหภูมิสูงและความดันปานกลาง แล้ว ฉันต้องเปิดวาล์วครึ่งหนึ่งของทั้งหมด) พวกเขามักจะใช้วิธีการนี้ให้เกิดการดำเนินการที่ดีเพื่อให้ได้ผลที่มีคุณภาพ

การประยุกต์ใช้ฟัซซีลอจิกไม่จำกัดว่า ระบบควบคุมนั้นจะต้องเป็นระบบปิดหรือระบบเปิด ฟัซซีลอจิกได้ถูกใช้สำหรับการประมวลผลข้อมูลซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการวัด (การจดจำรูปแบบ ,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประมวลผลสัญญาณ) ในการบริหารดำเนินการและการวางแผน (การจัดตารางเวลา , การคาดการณ์) ฟัซซีลอจิกยังช่วยถ่ายโอนประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ระบบดำเนินการได้โดยอัตโนมัติ มีการแก้ปัญหาได้อย่างรวดเร็ว แม้ว่าอาจจะยังไม่ดีที่สุดก็ตาม

ประโยชน์พื้นฐานของตรรกะแบบฟัซซีนั้น จะมีต่อกระบวนการที่ทำงานโดยอัตโนมัติ ซึ่งไม่มีคำอธิบายทางคณิตศาสตร์ ในรูปแบบของสมการพีชคณิตหรือสมการอนุพันธ์ จึงจำเป็นต้องใช้ฟัซซีในการออกแบบและใช้เพื่อควบคุมระบบ

อย่างไรก็ตาม กระบวนการที่ไม่ได้ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ยังเป็นแหล่งที่มาของความไม่แน่นอน ตัวอย่างเช่น สามารถใช้ประโยชน์ได้ในการออกแบบระบบฟัซซี หลายดีกรี ที่มีความเป็นอิสระให้เปรียบเทียบภาพรวมดังต่อไปนี้

- ฟัซซีลอจิก ใช้งานง่ายโดยกฎการแสดงออกด้วยคำพูด (ถ้า.....แล้ว) เป็นการปัญหาโดยคอมพิวเตอร์
- พฤติกรรมของระบบฟัซซี เป็นที่เข้าใจได้ง่ายสำหรับมนุษย์
- ฟัซซีลอจิกหลีกเลี่ยงการพัฒนาเพื่อการอธิบายทางคณิตศาสตร์ ซึ่งขัดกับวิธีการทั่วไป
- ฟัซซีลอจิกสามารถใช้ในกระบวนการการประมวลผลที่ยุ่งยาก ซับซ้อน และกระบวนการที่เกี่ยวข้อง
- การที่ยังมีคำจำกัดความ ที่มีความรู้ไม่เพียงพอหรือการที่พฤติกรรมของระบบไม่แน่ชัดอาจส่งผลเสียต่อระบบ ทำให้วิธีการแก้ปัญหาคลุมเครือนั้นไม่สามารถใช้งานได้
- ระบบฟัซซีมักไม่สามารถปรับเปลี่ยนและเรียนรู้ได้เอง ถ้าพฤติกรรมของระบบมีการเปลี่ยนแปลงไป
- การออกแบบของระบบฟัซซี จำเป็นต้องใช้ประสบการณ์ เนื่องจากว่ามีกรณีที่ไม่เกี่ยวข้องกับสิ่งอื่นใด ที่มีความซับซ้อน เป็นสมการหลายอันดับ

## 2.2 โปรฟิบัส

ปัจจุบันมีการขยายตัวของระบบอัตโนมัติเป็นอย่างมาก ส่งผลให้มีการนำเทคโนโลยีระบบบัส (Bus System) มาใช้เพื่อการสื่อสารข้อมูลทางด้านอุตสาหกรรม (Industrial communication) ที่มีความซับซ้อน ให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุด การทำงานในระบบการสื่อสารข้อมูลต้องการระบบที่มีสายบัส (Bus Line) เพียงเส้นเดียว (Single bus System) ในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ทั้งหมด ให้เป็นเครือข่ายเดียวกัน โดยระบบบัสสามารถติดต่อได้ทุกจุดในฟิลด์ (Field) ทำให้ระบบฟิลด์บัส (Fieldbus System) กลายมาเป็นระบบที่สามารถสื่อสารข้อมูลที่มีประสิทธิภาพสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

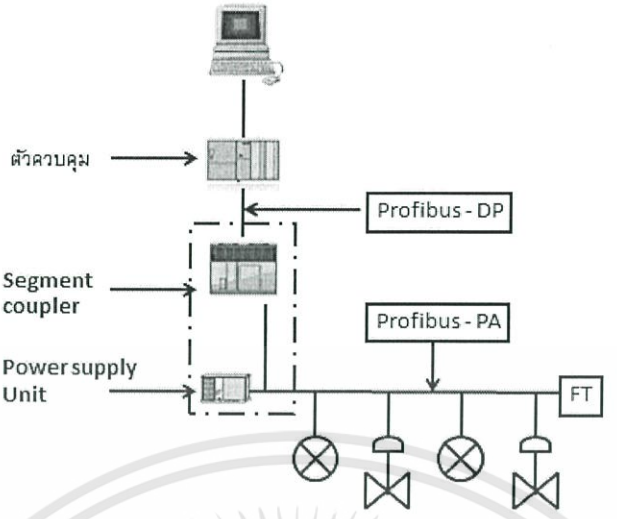
โปรฟิบัส (PROFIBUS) ย่อมาจากคำว่า Process Field Bus เป็นการสื่อสารภาคสนามฟิลบัสชนิดหนึ่งที่ได้รับความนิยมในระบบอัตโนมัติอุตสาหกรรม มีการสื่อสารแบบดิจิตอลโดยมีการส่งข้อมูลแบบบิตอนุกรม ระหว่างอุปกรณ์ภาคสนามในที่ต่างๆ เช่น ตัวตรวจจับ อุปกรณ์สั่งงาน อุปกรณ์ขับเคลื่อน ไปยังจุดศูนย์กลางของระบบควบคุม โปรฟิบัสเกิดจากการร่วมมือกันของกลุ่มบริษัทผู้ผลิตในเยอรมันในปี ค.ศ. 1987 ที่วางแผนในการสร้างมาตรฐานระบบเปิดสำหรับการเชื่อมต่อของระบบฟิลด์บัสในระบบอัตโนมัติทางอุตสาหกรรมเป็นการนำแนวความคิดของระบบฟิลด์บัสมาใช้ โดยไม่ขึ้นกับอุปกรณ์ของผู้ผลิตรายใด มีรูปแบบของสัญญาณการสื่อสารเป็นดิจิตอล นิยมใช้กันในการใช้งานด้านการผลิตแบบอัตโนมัติ (Automatic) โดยอุปกรณ์ที่ผลิตจากผู้ผลิตที่ต่างกันสามารถเชื่อมต่อเข้าด้วยกันภายในเครือข่ายโดยไม่ต้องมีการแปลงมาตรฐาน และสามารถส่งข้อมูลได้ที่ความเร็วสูง ใช้ในงานที่สำคัญแบบการตรวจจับเวลา (Time - Critical) งานที่มีการสื่อสารที่ซับซ้อนมาก ใช้ในการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์และเครื่องมือวัดต่างๆในอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมประกอบชิ้นส่วน กระบวนการผลิตอาหาร ระบบควบคุมอาคาร เป็นต้น อุปกรณ์ในเครือข่ายโปรฟิบัส แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ อุปกรณ์หลัก (Master) และ อุปกรณ์รอง (Slave) การสื่อสารแลกเปลี่ยนข้อมูลของอุปกรณ์ในเครือข่ายกระทำผ่านการ์ดฟิวบัสอินพุต – เอาต์พุต (I/O Fieldbus Card)

โปรฟิบัส – ดีพี (PROFIBUS – Decentralized Periphery) เป็นหนึ่งในรูปแบบการสื่อสารของโปรฟิบัส ออกแบบมาเพื่อใช้ในระบบอุตสาหกรรมอัตโนมัติ (Industrial Automation) ในการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างอุปกรณ์หลัก และ อุปกรณ์รอง เช่น อุปกรณ์ตรวจจับ (Sensors) และ อุปกรณ์สั่งงาน (Actuators) ทำงานได้ที่ความเร็วที่ 12 Mbps

### 2.2.1 มาตรฐานโปรฟิบัส (PROFIBUS – Process Field Bus Standard)

โปรฟิบัสเป็นมาตรฐานและวิธีการสื่อสารที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างระบบอัตโนมัติกับอุปกรณ์ในภาคสนาม (Distributed field devices) มีการกำหนดเทคนิควิธีและลักษณะการทำงานของระบบบัสอนุกรมที่ใช้ในอุตสาหกรรมแสดงในรูปที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



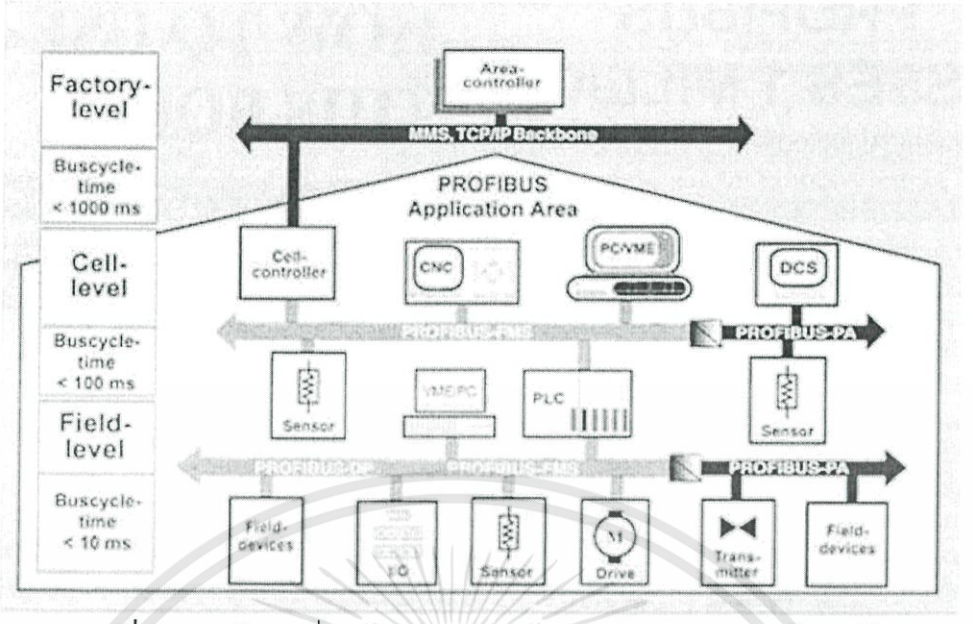

รูปที่ 2.7 โครงสร้างพื้นฐานของระบบโปรฟิบัส

### 2.2.2 โครงสร้างการสื่อสาร

โครงสร้างการสื่อสารของระบบอุตสาหกรรมอัตโนมัติสามารถแบ่งได้เป็น 3 ระดับ คือ

1. ระดับฟิลด์ (Field level) เป็นอุปกรณ์ที่อยู่ ณ จุดต่างๆ เช่น โมดูลอินพุต – เอาต์พุต (Module I/O) , อุปกรณ์วิเคราะห์ (Analysis Device) และการแลกเปลี่ยนข้อมูลแบบวนรอบ (Cyclic) เป็นเครือข่ายในระดับต่ำที่สุด ใช้สื่อสารระหว่างภาคสนาม (Field device) ที่ต้องทำงานแบบสัมพันธ์ เช่น อุปกรณ์ตรวจจับ และ อุปกรณ์สั่งงาน จำนวนข้อมูลในการสื่อสารไม่มาก และต้องการความเร็วในการสื่อสารสูง หรือเป็นการสื่อสารแบบเวลาจริง
2. ระดับเซลล์ (Cell level) เป็นส่วนของอุปกรณ์ควบคุมของระบบ เช่น พีแอลซี (PLC – Programmable Logic Controller) เป็นเครือข่ายการสื่อสารที่ใช้รับ – ส่งข้อมูลระหว่างหน่วย (Unit) หรือใช้สื่อสารระหว่างพีแอลซี จำนวนข้อมูลในการสื่อสารปานกลาง และต้องการความเร็วในการสื่อสารสูง
3. ระดับโรงงาน (Factory level) เป็นเครือข่ายในระดับบนสุด ใช้เป็นเครือข่ายการสื่อสารเพื่อควบคุมการทำงานของระบบโดยรวมทั้งหมด รวมทั้งสามารถรวบรวม เรียงลำดับ และจัดเก็บข้อมูลจากเครือข่ายต่ำกว่าแสดงในรูปที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.8** ระดับการสื่อสารของระบบอุตสาหกรรมตามมาตรฐานโปรฟิบัส

### 2.2.3 ตระกูลของโปรฟิบัส

ตระกูลของโปรฟิบัส สามารถแบ่งตามรูปแบบการสื่อสารเป็น 3 ประเภท คือ

1. โปรฟิบัสดีพี ใช้สื่อสารระหว่างส่วนควบคุมกลางกับอุปกรณ์อินพุต – เอาต์พุตที่ระดับฟิลด์ เป็นเครือข่ายที่ถูกติดตั้งในห้องควบคุม อุปกรณ์ที่อยู่ในส่วนนี้จะความเร็วสูงในการสื่อสาร ส่วนใหญ่แล้วอุปกรณ์บนเครือข่ายส่วนนี้จะมีสมรรถนะการทำงานสูง เช่น ตัวควบคุมดีซีเอส พีแอลซี เป็นต้น ใช้เทคโนโลยีของการส่งสัญญาณแบบ RS485 และใช้โปรโตคอลของการสื่อสารแบบดีพีรุ่นใดรุ่นหนึ่ง
2. โปรฟิบัสเอฟเอ็มเอส (Fieldbus Massage System) ใช้สื่อสารระหว่าง PLC กับ PC และแลกเปลี่ยนข้อมูลที่ Cell level สำหรับการสื่อสารข้อมูลที่มีความซับซ้อน
3. โปรฟิบัสพีเอ (Process Automation) เป็นส่วนขยายของโปรฟิบัสดีพี โดยสามารถรวมอุปกรณ์ของโปรฟิบัสพีเอ และ โปรฟิบัสดีพี ด้วยกันได้โดยการใช้อุปกรณ์แยกส่วน (Segment Coupler) ใช้ในการสื่อสารที่มีความเร็วสูงและระบบอัตโนมัติ และต้องการความน่าเชื่อถือ โปรฟิบัสพีเอ เป็นเครือข่ายที่จะถูกติดตั้งอยู่ในกระบวนการผลิตและจะต่อเข้ากับเครื่องมือวัดและควบคุมเป็นส่วนใหญ่ เครือข่ายในส่วนนี้จะมีแหล่งจ่ายไฟต่ออยู่เพื่อจ่ายพลังงานให้กับอุปกรณ์ที่ต่ออยู่บนเครือข่าย และมีอุปกรณ์เชื่อมเซกเมนต์คัปเปลอร์ เพื่อทำหน้าที่ในการเชื่อมต่อการสื่อสารแบบโปรฟิบัสดีพี กับ โปรฟิบัสพีเอ เข้าด้วยกัน เครื่องมือที่อยู่ในส่วนนี้จะเป็นเครื่องมือวัดและควบคุมพื้นฐานที่ใช้ในการวัดและควบคุมกระบวนการผลิต เช่น อุปกรณ์วัดอัตราการไหล วาล์วควบคุม เป็นต้น การสื่อสารในเครือข่ายนี้จะมีความเร็วในการสื่อสารที่ต่ำกว่าในส่วนของโปรฟิบัสดีพี โดยมีการใช้เทคโนโลยีของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การส่งสัญญาณแบบ MBP และใช้โปรโตคอลการสื่อสารแบบดีพีรุ่น 1 และมีรูปแบบการประยุกต์ใช้งานสำหรับอุปกรณ์พีเอ

### 2.2.4 ประเภทของอุปกรณ์ในระบบโปรฟิบัส

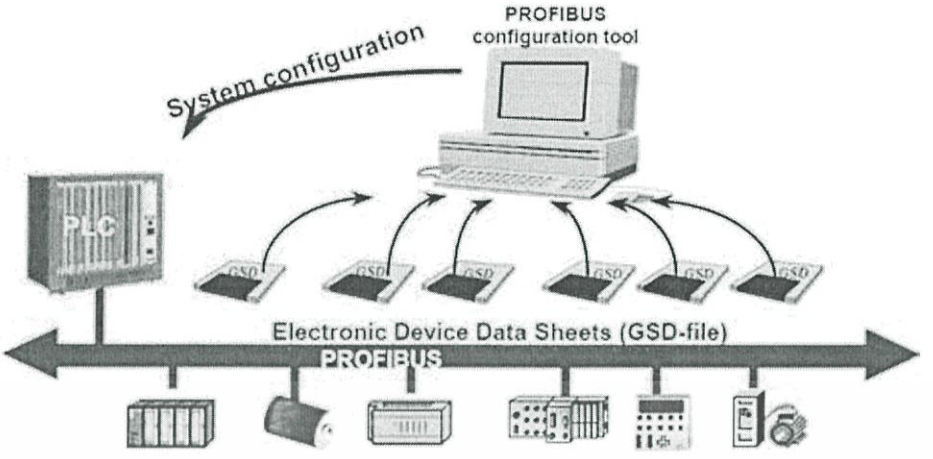
อุปกรณ์ในการสื่อสารตามมาตรฐานของโปรฟิบัสแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. อุปกรณ์หลัก (Master) เป็นผู้กำหนดข้อมูลการสื่อสารบนโปรฟิบัส โดยจะส่งข้อความที่ปราศจากการกระตุ้นจากภายนอก เนื่องจากอุปกรณ์หลักเป็นผู้ถือครองบัสจึงสามารถเรียกได้อีกชื่อหนึ่งว่า สถานีกระตุ้น (Active stations) แบ่งได้ออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดที่ 1 (Class 1) ทำหน้าที่ในการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์รองภายในระบบ เช่น พีแอลซี และชนิดที่ 2 (Class 2) ทำหน้าที่ในการกำหนดค่าเริ่มต้นต่างๆ ให้กับระบบ เช่น การตั้งค่าข้อมูล (Configuration Data) ตัวอย่างเช่น พีซี (PC – Personal Computer) โดยอุปกรณ์หลักทั้ง 2 ชนิดนี้ จะมีอำนาจในการครอบครองบัสตามช่วงเวลาที่กำหนด หลังจากผ่านช่วงเวลาดังกล่าวจะส่งอำนาจการครอบครองให้กับอุปกรณ์หลักตัวถัดไปที่อยู่บนบัส โดยจะสื่อสารกันผ่านกระบวนการโทเคน (Token Passing)
2. อุปกรณ์รอง (Slave) เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า สถานีถูกกระทำ (Passive Station) เนื่องจากไม่มีอำนาจในการถือครองบัส มีความสามารถเพียงรับ – ส่งข้อมูลจากการร้องขอของอุปกรณ์หลัก ได้แก่ อุปกรณ์อินพุต – เอาต์พุตต่างๆ โดยที่อุปกรณ์หลักจะเป็นผู้ส่งข้อมูลเกี่ยวกับข้อกำหนดต่างๆของรูปแบบการสื่อสาร เพื่อเป็นข้อตกลงที่ใช้ระหว่างร่วมกันในการแลกเปลี่ยนข้อมูล โดยอุปกรณ์หลักจะวนมาสอบถามข้อมูลของอุปกรณ์รองทุกตัวที่อยู่ในระบบอยู่ตลอดเวลา

### 2.2.5 ไฟล์ GSD

ส่วนที่สำคัญอีกส่วนของการสร้าง Slave ขึ้นมา คือ GSD File ซึ่งข้อมูลที่อยู่ใน GSD File จะเป็นข้อมูลพื้นฐานของอุปกรณ์ , ลักษณะจำเพาะของอุปกรณ์นั้นๆ โดยที่ Master จะมี GSD File เป็นของตนเอง (Profile ของแต่ละอุปกรณ์) การใช้งาน GSD File ของโปรฟิบัสจะแตกต่างกับกระบวนการผลิตอื่นๆตรงที่ไม่ได้อยู่ภายในตัวอุปกรณ์เอง แต่จะแยกออกมาเป็น disk/drive มีเป็นลักษณะของ text file โดย Master จะเป็นผู้ใช้งาน ดังนั้นเมื่อเราต้องการใช้งาน Slave จึงจำเป็นต้อง Up load ข้อมูล Slave โดยใช้ GSD File ให้กับ Master นอกจากนี้ GSD File ยังมีความสำคัญในการแลกเปลี่ยนข้อมูลแบบวนรอบ (Cyclic Communication) ดังในรูปที่ 2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.9** GSD File

**2.2.6 อุปกรณ์พีเอ**

เป็นอุปกรณ์ที่สามารถประมวลผลข้อมูลบางส่วนได้ หรืออาจทำฟังก์ชันทั้งหมดในระบบควบคุมอัตโนมัติได้ รูปแบบของอุปกรณ์พีเอ จะกำหนดฟังก์ชันพารามิเตอร์ทั้งหมด สำหรับอุปกรณ์วัดสัญญาณกระบวนการชนิดต่างๆ ซึ่งเป็นลักษณะการส่งผ่านสัญญาณจากตัวตรวจจับค่ากระบวนการไปยังหน่วยประมวลผลค่ากระบวนการเบื้องต้น และจะถูกอ่านค่าโดยระบบควบคุมพร้อมทั้งสถานะของค่าที่วัดได้ เส้นทางของสัญญาณ มีหลายขั้นตอน และสถานะของการแปลงค่าสัญญาณ

รูปแบบการประยุกต์ใช้งานของอุปกรณ์พีเอประกอบด้วยส่วนความต้องการทั่วไป ซึ่งจะระบุคุณสมบัติทั่วไปของอุปกรณ์ทุกชนิด และในส่วนข้อมูลอุปกรณ์ จะประกอบไปด้วยคุณสมบัติที่กำหนดสำหรับอุปกรณ์เฉพาะอย่างที่มีลักษณะเดียวกัน รูปแบบการประยุกต์ใช้งานของอุปกรณ์พีเอในรุ่นที่ 3.0 และประกอบด้วยข้อมูลอุปกรณ์สำหรับกลุ่มของอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

- อุปกรณ์วัดความดันและผลต่างความดัน
- อุปกรณ์วัดระดับ อุณหภูมิและอัตราการไหล
- สัญญาณเข้าและออกที่เป็นทั้งแอนาล็อกและดิจิตอล
- วาล์วและอุปกรณ์สั่งงาน
- อุปกรณ์วิเคราะห์
- แบบจำลองบล็อก

การดำเนินงานทางวิศวกรรมในระบบกระบวนการมักใช้บล็อก เพื่อที่จะอธิบายคุณลักษณะและฟังก์ชันของจุดที่ทำการวัดหรือการสั่งงานที่จุดการควบคุมหนึ่ง และเพื่อที่จะแสดงการประยุกต์ใช้งานระบบอัตโนมัติผ่านการประกอบกันของบล็อกแบบต่างๆเหล่านี้ บล็อกที่ถูกนำมาใช้งาน ประกอบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บล็อกกายภาพ (Physical block , PB) PB ประกอบด้วยข้อมูลลักษณะของตัวอุปกรณ์ ได้แก่ ชื่ออุปกรณ์ ผู้ผลิต รุ่น หมายเลขประจำเครื่อง (Serial Number) และอื่นๆ อุปกรณ์ตัวหนึ่งสามารถมีบล็อกกายภาพได้เพียงบล็อกเดียว

บล็อกแปลงสัญญาณ (Transducer block , TB) TB ประกอบด้วยข้อมูลทั้งหมดสำหรับการแปลงสัญญาณที่ได้จากตัวตรวจจับและส่งผ่านไปยังฟังก์ชันบล็อก ถ้าไม่จำเป็นต้องมีการแปลงสัญญาณ TB สามารถละเลยได้ อุปกรณ์แบบหลากหลายฟังก์ชัน (Multifunction)ซึ่งทำการวัดค่าสองค่า หรือมากกว่าจำเป็นต้องมีจำนวนของ TB ที่สอดคล้องกัน

ฟังก์ชันบล็อก (Function block , FB) FB ประกอบด้วยข้อมูลทั้งหมดสำหรับการแปลงค่าที่วัดได้ขั้นสุดท้ายก่อนจะส่งไปยังระบบควบคุม หรือในทางตรงกันข้าม เพื่อดำเนินการปรับค่าก่อนสำหรับการตั้งค่ากระบวนการฟังก์ชันบล็อก

บล็อกสัญญาณอินพุตแบบแอนาล็อก (Analog input block , AI) เป็นตัวส่งค่าที่วัดได้จากตัวตรวจจับไปยังระบบควบคุม บล็อกสัญญาณเอาต์พุตแบบแอนาล็อก เป็นตัวส่งค่าสัญญาณเอาต์พุตที่กำหนดจากระบบควบคุมไปยังตัวอุปกรณ์ บล็อกสัญญาณอินพุตแบบดิจิตอล เป็นตัวส่งค่าสัญญาณดิจิตอลจากตัวอุปกรณ์ไปยังระบบควบคุม และบล็อกสัญญาณเอาต์พุตแบบดิจิตอลเป็นตัวส่งสัญญาณดิจิตอลที่กำหนดจากระบบควบคุมไปยังตัวอุปกรณ์

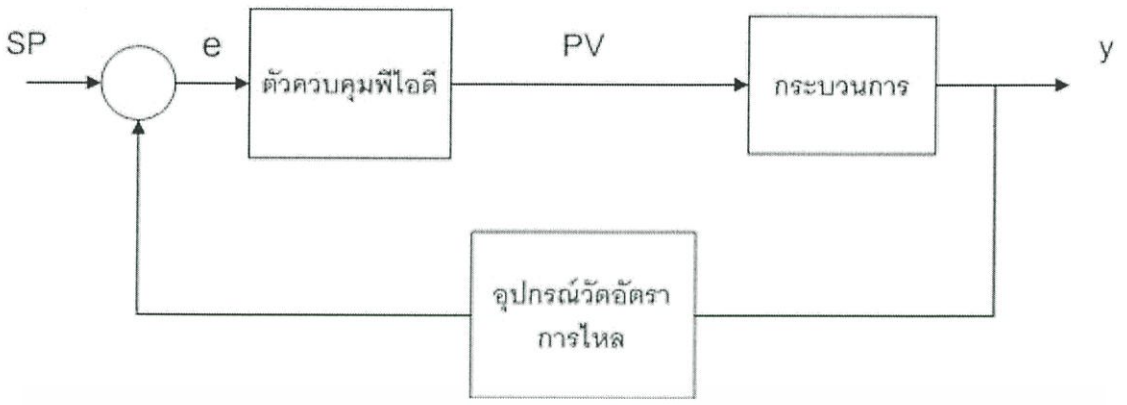
## 2.3 ตัวควบคุมพีไอดี

โดยทั่วไปส่วนใหญ่ตัวควบคุมในระบบควบคุมก็คือตัวควบคุมพีไอดี (PID controller) เนื่องจากมีโครงสร้างที่ไม่สลับซับซ้อน และเข้าใจความหมายของพารามิเตอร์ต่างๆของวิธีการควบคุมได้ไม่ยาก โดยที่ตัวควบคุมพีเป็นสัดส่วนต่อค่าความผิดพลาด ตัวควบคุมไอกำจัดความผิดพลาดในภาวะอยู่คงตัว และตัวควบคุมดีลดการพุ่งเกิน แต่ข้อเสียของวิธีการควบคุมพีไอดีก็คือ สมรรถนะของตัวควบคุมจะขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนั้นวิธีการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่เหมาะสมที่สุดของตัวควบคุม เพื่อให้ระบบควบคุมมีสมรรถนะสูงสุด ซึ่งเรียกว่า การจูนค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดี (PID control tuning) จึงเป็นปัญหาที่สำคัญยิ่ง ซึ่งการควบคุมพีไอดีแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือการควบคุมพีไอดีแบบต่อเนื่อง และการควบคุมพีไอดีแบบดิสครีต

### 2.3.1 การควบคุมแบบต่อเนื่อง

รูปที่ 2.10 เป็นบล็อกไดอะแกรมระบบควบคุมที่มีการป้อนกลับ โดยที่กระบวนการเป็นกระบวนการควบคุมอัตราการไหลของน้ำภายในท่อ ทำการวัดค่าอัตราการไหล y ด้วยอุปกรณ์วัดอัตราการไหล (Flow meter) และกระบวนการดังกล่าวถูกควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอดี ซึ่งในโปรเจคนี้ใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ ส่วน SP คือค่าที่ต้องการ (Set Point) , e คือ ค่าความผิดพลาด (error signal) และ PV คือ สัญญาณควบคุม (Process variable)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 2.10 บล็อกไดอะแกรมระบบควบคุมที่มีการป้อนกลับ

ถ้าสมมุติว่า H=1 เขียนสมการตัวควบคุมพีไอดีแบบต่อเนื่อง

$$u(t) = K\left[e(t) + \frac{1}{T_i}\int_0^t e(\tau)d\tau + T_d\frac{de(t)}{dt}\right] \quad (2.1)$$

โดยที่

K คือ อัตราขยายสัดส่วน (proportional gain) ของตัวควบคุมพี

$T_i$ คือ ค่าทางเวลาของอินทีเกรท (integration time) ของตัวควบคุมไอ

$T_d$ คือ ค่าทางเวลาของอนุพันธ์ (derivative time) ของตัวควบคุมดี

เขียนสมการที่ 2.1 ใหม่

$$u(t) = K_p e(t) + K_i\int_0^t e(\tau)d\tau + K_d\frac{de(t)}{dt} \quad (2.2)$$

โดยที่

$K_p = K$ คือ อัตราขยายสัดส่วน

$K_p = \frac{K}{T_i}$ คือ อัตราขยายอินทีกรัล

$K_d = KT_d$ คืออัตราขยายอนุพันธ์

ทำการแปลงลาปลาซสมการที่ 2.2

$$U(s) = K_pE(s) + \frac{K_iE(s)}{s} + K_dsE(s) = U_p(s) + U_i(s) + U_d(s) \quad (2.3ก)$$

$$U_p(s) = K_pE(s) = KE(s) \quad (2.3ข)$$

$$U_i(s) = \frac{K_iE(s)}{s} = \frac{KE(s)}{T_is} = \frac{K_pE(s)}{T_is} \quad (2.3ค)$$

$$U_d(s) = K_dsE(s) = KT_dsE(s) \approx \frac{KT_ds}{1+\frac{sT_d}{N}}E(s) = \frac{K_ds}{1+\frac{K_ds}{K_pN}}E(s) \quad (2.3ง)$$

โดยที่

$\frac{T_d}{N}$ คือ ค่าคงตัวการกรอง (filtering time-constant)

N คือ จำนวนเต็ม โดยทั่วไปเลือกค่าในช่วง 3 และ 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.2 การควบคุมพีไอดีแบบดิสครีต

สำหรับระบบควบคุมแบบดิจิตอล (digital control) วิธีการของตัวควบคุมพีไอดีจะเขียนสมการด้วยรูปแบบดิสครีตทางเวลา (discrete-time PID controller) โดยใช้วิธีการผลต่างย้อนกลับ (backward difference method) เพื่อประมาณค่าของส่วนอินทีกรัลและอนุพันธ์ดังสมการที่ 2.4

$$u(kh) = u_p(kh) + U_i(kh) + U_d(kh) \quad (2.4ก)$$

$$u_p(kh) = K_p e(kh) \quad (2.4ข)$$

$$u_i(kh) = u_i(kh-h) + K_i h e(kh) = u_i(kh-h) + \frac{K_p h}{T_i} e(kh) \quad (2.4ค)$$

$$u_d(kh) = \frac{K_d}{K_d + K_p N h} u_d(kh-h) + \frac{K_p K_d N}{K_d + K_p N h}[e(kh) - e(kh-h)] \quad (2.4ง)$$

โดยที่

h คือ เวลาการสุ่มตัวอย่าง (Sampling time)

k คือ ลำดับทางเวลา (Time-step)

สำหรับส่วนอนุพันธ์ $u_d(kh)$ กรณีใช้วิธีหาผลต่างไปหน้า (forward difference method)

$$u_d(kh) = K_p T_d \frac{[e(kh+h) - e(kh)]}{h} \quad (2.5)$$

ซึ่งปกติไม่ใช้งาน เนื่องจากสมการ 2.5 ขยายความผิดพลาดสุ่มตัวอย่าง

## 2.4 สรุป

การปรับค่าตัวควบคุมพีไอดีด้วยฟัซซีลอจิกบนตัวควบคุมแบบกระจายส่วนดีซีเอส 7 นั้น เราจำเป็นต้องศึกษาทฤษฎีของระบบที่ใช้ในการควบคุมด้วย โดยในบทที่ 2 นี้ได้กล่าวถึงทฤษฎี การใช้งาน ของระบบควบคุมและตัวควบคุมต่างๆ ได้แก่ ฟัซซีลอจิก เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจภายใต้ความไม่แน่นอนของข้อมูล โดยยอมให้มีความยืดหยุ่นได้ โปรฟิบัส เป็นมาตรฐานและวิธีการสื่อสารที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างระบบอัตโนมัติกับอุปกรณ์ในภาคสนาม รวมถึงตัวควบคุมพีไอดี ซึ่งตัวควบคุมพีเป็นสัดส่วนต่อค่าความผิดพลาด ตัวควบคุมไอกำจัดความผิดพลาดในภาวะอยู่คงตัว และตัวควบคุมดีลดการพุ่งเกิน ซึ่งการศึกษาทฤษฎี หลักการทำงาน และการนำมาประยุกต์ใช้ของตัวควบคุมต่างๆที่จำเป็นต้องใช้ในการทำการทดลองนั้นเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อความเข้าใจมากยิ่งขึ้น และเพื่อสามารถนำตัวควบคุมต่างๆนี้มาใช้ในการทดลองได้อย่างมีประสิทธิภาพ และได้ผลตอบสนองของกระบวนการตามที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3
# ขั้นตอนการดำเนินงาน

## 3.1 คำนำ

ในส่วนของขั้นตอนการดำเนินงานจะกล่าวถึงโครงสร้างของกระบวนการซึ่งจะแสดงถึงแผนผังและส่วนประกอบของกระบวนการในแต่ละส่วนและแสดงรายละเอียดถึงอุปกรณ์วัดอัตราการไหล วาล์วควบคุม ตัวควบคุม รวมไปถึงการเชื่อมต่อตัวควบคุมกับอุปกรณ์วัดต่างๆ การเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์เข้ากับตัวควบคุม และการใช้โปรแกรมต่างๆในระบบอีกด้วย

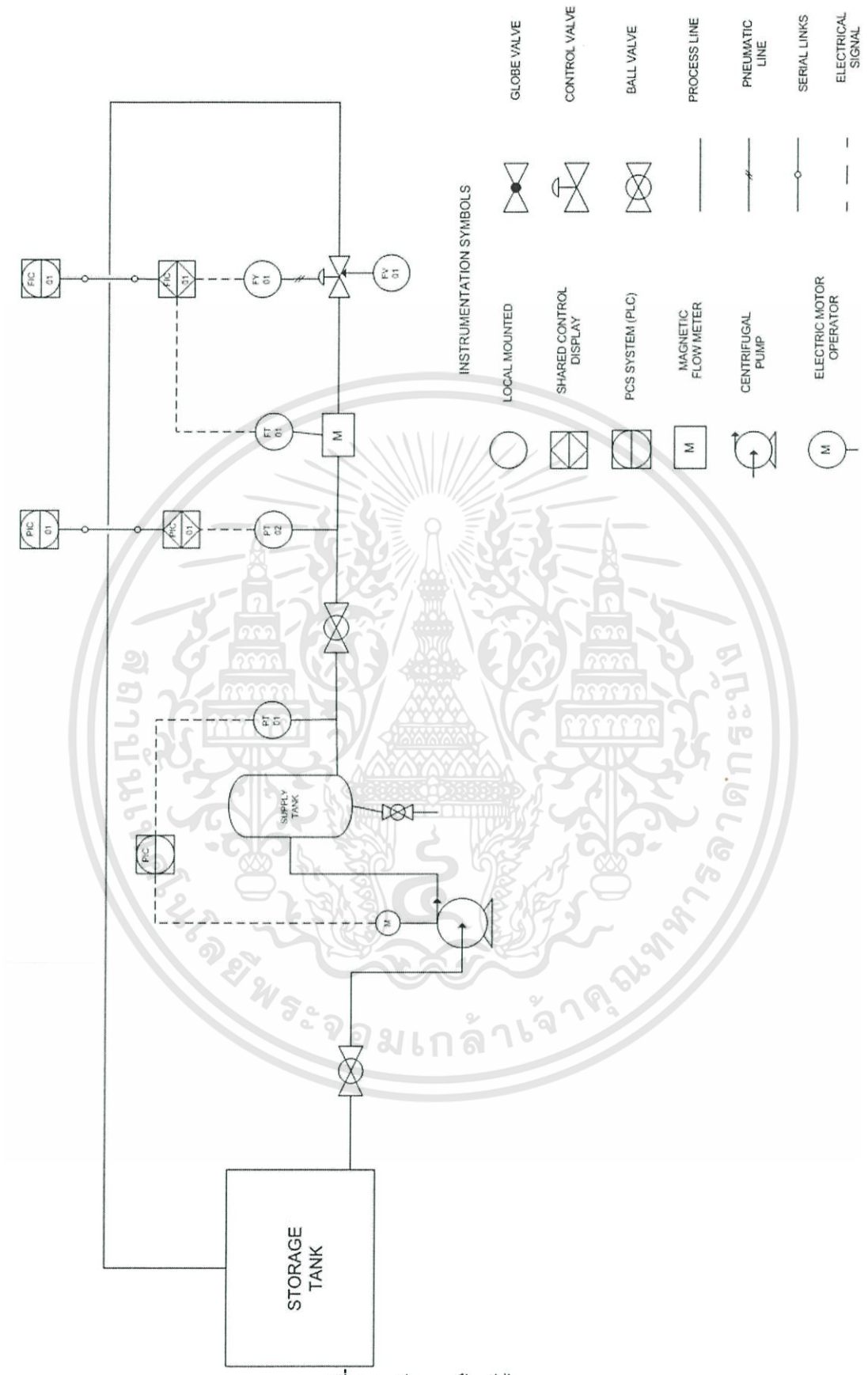
## 3.2 โครงสร้างของกระบวนการ

โครงสร้างของกระบวนการจะแสดงถึงอุปกรณ์ต่างๆที่อยู่ในกระบวนการ ซึ่งก็คือแผนผังแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับกระบวนการและอุปกรณ์ควบคุมต่างๆ (PIPING & INSTRUMENT DIAGRAM) หรือเรียกอีกอย่างแบบสั้นๆว่า P&ID และแผนผังที่แสดงการเชื่อมต่อสายไฟกับอุปกรณ์ภายในระบบเรียกว่าไวริงไดอะแกรม (Wiring Diagram)

### 3.2.1 แผนผังแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับกระบวนการและอุปกรณ์ควบคุม (PIPING & INSTRUMENT DIAGRAM)

เป็นแผนผังที่แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับกระบวนการของระบบควบคุมและอุปกรณ์เครื่องมือวัดหรืออุปกรณ์ต่างๆในระบบ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และทำความเข้าใจในกระบวนการนั้นๆ โดยรูปที่แสดงข้างล่างนี้ เป็น P&ID ที่แสดงกระบวนการที่ใช้วัดและควบคุมอัตราการไหลของน้ำโดยมีตัววัดอัตราการไหลเป็นตัววัดประเภทคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Magnetic) ซึ่งกระบวนการจะควบคุมอัตราการไหลโดยการสั่งที่วาล์วควบคุมที่ทางออกของถัง โดยกระบวนการจะเดินได้โดยเริ่มจากการปั๊มน้ำจะสูบน้ำจากถังเก็บน้ำไปไว้ที่ถังจ่ายระบบก่อนแล้วส่งน้ำให้ไหลเวียนภายในกระบวนการ สุดท้ายน้ำจะไหลกลับคืนไปที่ถังเก็บน้ำใหม่ รายละเอียดจะแสดงในรูปที่ 3.1 ข้างล่างนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 3.1** พีแอนด์ไอดี ไดอะแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**3.2.2 แผนผังการเดินสายไฟ (Wiring Diagram)**

ไวริงไดอะแกรม หรือแผนภาพแสดงการเชื่อมต่อสายกับอุปกรณ์ต่างๆ จะประกอบไปด้วย 5 ตัว หลักๆคือ

1. จังก์ชันบล็อก (Junction box ,JB) หรืออุปกรณ์จุดรวมสายซึ่งจะเป็นส่วนที่มีการรวมสายของอุปกรณ์ต่างๆเช่น อุปกรณ์การควบคุม,อุปกรณ์แปลงสัญญาณ,ตัวควบคุม เราจะสังเกตเห็นว่าJB นั้นมีทั้งหมด 50 ช่อง และมีทั้ง ฝั่งซ้ายและขวา

2. แหล่งจ่ายพลังงาน (Power Supply) เป็นตัวให้กระแสไฟฟ้าแกอุปกรณ์รวมสาย (Junction box)

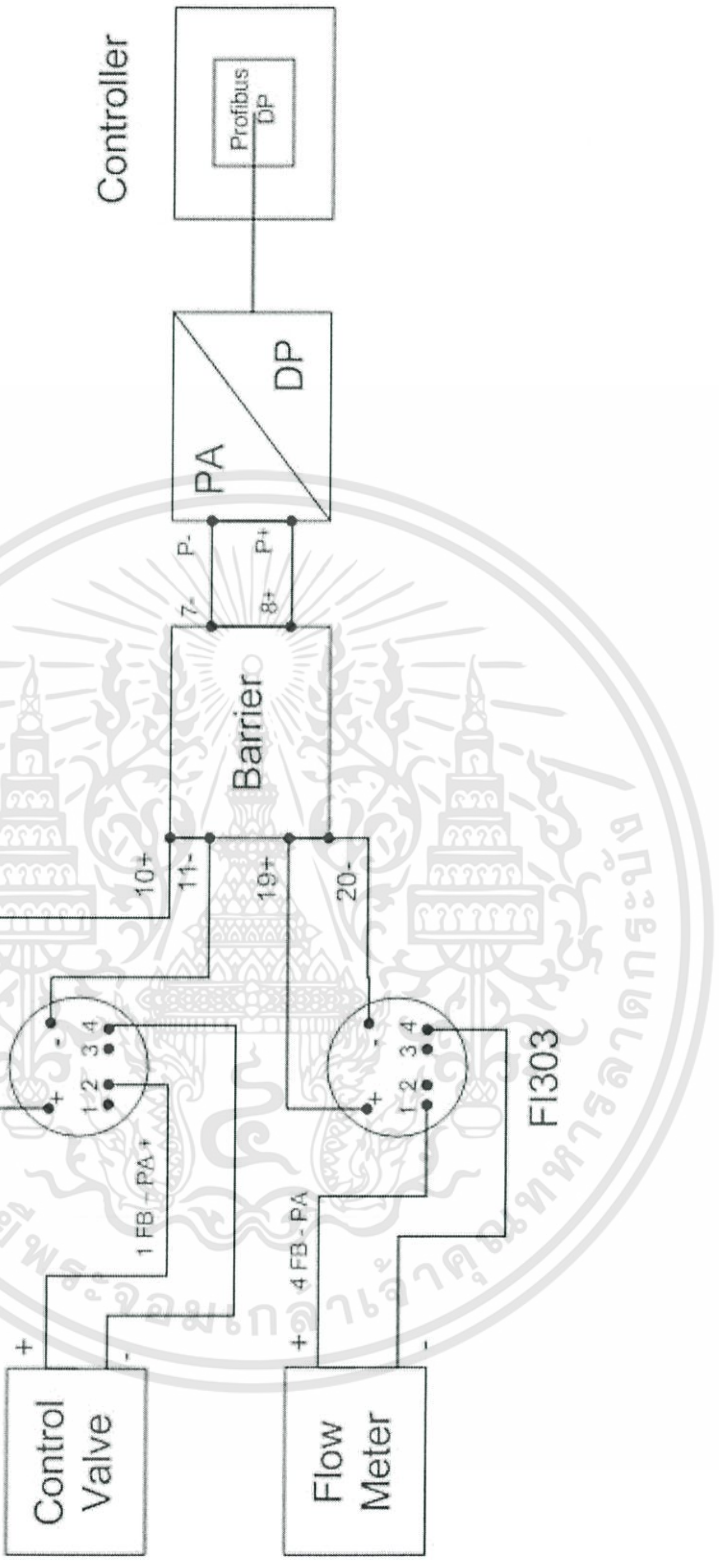
3. อุปกรณ์แปลงสัญญาณ โปรฟีบัส พีเอ (Profibus PA, FI 303) เป็นอุปกรณ์ทำหน้าที่รับสัญญาณดิจิตอลด้วยรูปแบบโปรโตคอลโปรฟิบัสพีเอจากตัวแปลงสัญญาณระหว่างโปรฟิบัสดีพีและพีเอซึ่งเชื่อมต่อกับตัวควบคุมจากนั้นทำการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนาล็อก (4-20mA) เพื่อควบคุมอุปกรณ์ปลายทาง เทคโนโลยีจอง FI 303 ทำให้ง่ายต่อการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ระดับฟิลด์และห้องควบคุม

4. อุปกรณ์แปลงสัญญาณ โปรฟีบัส พีเอ (Profibus PA, IF 303) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณแอนาล็อก (4-20 mA) จากอุปกรณ์วัด จากนั้นทำการแปลงสัญญาณแอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอลด้วยรูปแบบโปรโตคอลโปรฟิบัสพีเอ เพื่อส่งไปยังตัวควบคุมผ่านตัวแปลงสัญญาณระหว่างโปรฟิบัสดีพีและพีเอ

5. ตัวแปลงสัญญาณระหว่างดีพีและพีเอ (Inverter) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้แปลงสัญญาณระหว่างโปรฟิบัสดีพีที่อยู่ในด้านตัวควบคุมและโปรฟิบัสพีเอที่อยู่ในด้านอุปกรณ์วัดระดับฟิลด์

ดังในรูปที่ 3.2 แสดงแผนผังการเดินสายไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 3.2** แผนผังการเดินสายไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.3 องค์ประกอบของกระบวนการ

องค์ประกอบของกระบวนการจะบอกรายละเอียดของอุปกรณ์ต่างๆ ได้แก่ อุปกรณ์วัดและวงจรไฟฟ้าของระบบควบคุมต่างๆที่อยู่ในกระบวนการทั้งหมด เช่น วาล์วควบคุม ตัวตรวจวัด อุปกรณ์แปลงสัญญาณ ตัวแปลงสัญญาณระหว่างโปรฟิบัสดีพีและพีเอ ตัวควบคุม โปรแกรม PCS 7 รุ่น 7.1 เป็นต้น

#### 3.2.3.1 วาล์วควบคุม (Control Valve)

วาล์วควบคุมเป็นอุปกรณ์ทำงานตัวสุดท้ายของระบบ (Final Element) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ควบคุมอัตราการไหลของของไหลในระบบ ซึ่งได้แก่ ไอน้ำ ของเหลว ก๊าซ เป็นต้น วาล์วควบคุมจะเป็นตัวรับคำสั่งโดยตรงจากตัวควบคุมที่ทำการประมวลผลในระบบแล้วส่งค่าหรือสัญญาณควบคุมเพื่อให้วาล์วควบคุมปรับเปิด – ปิดอยู่ในระดับที่ต้องการ การตั้งค่าการใช้งานตัวควบคุมตำแหน่งวาล์วควบคุมรับสัญญาณกระแส 4 – 20 mA โดยกำหนดให้ กระแส 4 mA วาล์วควบคุมเปิด 0% (ปิดสุด) และกระแส 20 mA วาล์วควบคุมเปิด 100% (เปิดสุด) โดยรูปที่ 3.3 เป็นรูปของวาล์วควบคุมที่ใช้ในกระบวนการนี้

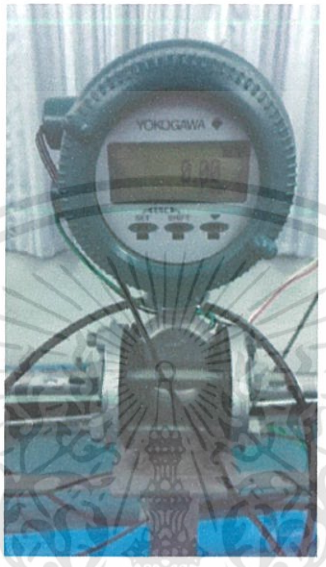
**รูปที่ 3.3** วาล์วควบคุม

#### 3.2.3.2 อุปกรณ์วัดอัตราการไหล (Flow Meter)

ในโครงงานนี้อุปกรณ์วัดอัตราการไหลที่ใช้เป็นอุปกรณ์วัดอัตราการไหลแบบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยอุปกรณ์วัดอัตราการไหลชนิดนี้จะอาศัยการหาค่าความเร็วเฉลี่ยในการไหลของของไหลโดยใช้กฎของฟาราเดย์ “เมื่อของเหลวที่เป็นตัวนำไฟฟ้าไหลผ่านสนามแม่เหล็ก จะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นในทิศตั้งฉากกับทิศทางการไหลและสนามแม่เหล็ก” อุปกรณ์วัดอัตราการไหลแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้จะส่งสัญญาณไปยังวาล์วควบคุมเพื่อควบคุมการเปิด – ปิดของวาล์ว ซึ่งจะทำให้ได้ค่าอัตราการไหลที่ต้องการ โดยในโครงงานนี้ อุปกรณ์วัดอัตราการไหลที่ใช้เป็นยี่ห้อ YOKOGAWA รุ่น AXF01 5G ขนาด ½ นิ้ว โดยรูปข้างล่างนี้เป็นอุปกรณ์วัดอัตราการไหลที่ใช้ในระบบ โดยรูปที่ 3.4 แสดงถึงอุปกรณ์วัดอัตราการไหลที่ใช้ในระบบ




**รูปที่ 3.4** อุปกรณ์วัดอัตราการไหล

**3.2.3.3 ตัวควบคุม**

อุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการโดยจะใช้ตัวควบคุมของซีเมนส์รุ่น S7 400 ซึ่งประกอบไปด้วย Power Supply Module PS 407 10A โมดูลนี้ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าดีซีขนาด 24 โวลต์ กระแส 10 แอมป์ อีกส่วนหนึ่ง คือ The Racks UR2 เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตั้งแต่ละโมดูลเข้าด้วยกันซึ่งประกอบไปด้วย 9 ช่อง ต่อมา คือ CPU 416-2DP เป็นส่วนที่ใช้ประมวลผลและเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ต่างๆ โดยที่พอร์ตเชื่อมต่อประกอบด้วย พอร์ตโปรฟิบัสดีพี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอร์ตเอ็มพีไอ และส่วนสุดท้าย SIMATIC NET CP modules (CP 443-5 EXT) เป็นโมดูลที่ใช้ขยายพอร์ตเชื่อมต่อโปรฟิบัสดีพี ดังรูปที่ 3.5 แสดงให้เห็นถึงส่วนประกอบต่างๆของตัวควบคุม

**รูปที่ 3.5** ตัวควบคุม

**3.2.3.4 ตัวแปลงสัญญาณระหว่างดีพีและพีเอ (DP/PA Coupler)**

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้แปลงสัญญาณระหว่างโปรฟิบัสดีพีที่อยู่ในด้านตัวควบคุมและโปรฟิบัสพีเอที่อยู่ในด้านอุปกรณ์วัดระดับฟิลด์โดยได้ใช้อุปกรณ์แปลงสัญญาณของซีเมนส์ ET200M รุ่น FDC157-0 ดังแสดงในรูปที่ 3.6

**รูปที่ 3.6** ตัวแปลงสัญญาณระหว่างดีพีและพีเอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.3.5 อุปกรณ์แปลงสัญญาณ FI 303 / IF 303

FI 303 เป็นอุปกรณ์ทำหน้าที่รับสัญญาณดิจิตอลด้วยรูปแบบโปรโตคอลโปรฟิบัสพีเอจากตัวแปลงสัญญาณระหว่างโปรฟิบัสดีพีและพีเอซึ่งเชื่อมต่อกับตัวควบคุมจากนั้นทำการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนาล็อก (4-20 mA) เพื่อควบคุมอุปกรณ์ปลายทาง เทคโนโลยีจอง FI 303 ทำให้ง่ายต่อการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ระดับฟิลด์และห้องควบคุม

IF 303 เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณแอนาล็อก (4-20 mA) จากอุปกรณ์วัด จากนั้นทำการแปลงสัญญาณแอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอลด้วยรูปแบบโปรโตคอลโปรฟิบัสพีเอ เพื่อส่งไปยังตัวควบคุมผ่านตัวแปลงสัญญาณระหว่างโปรฟิบัสดีพีและพีเอ โดยรูปที่ 3.7 เป็นรูปแสดงถึงอุปกรณ์แปลงสัญญาณ FI303 / IF303

**รูปที่ 3.7** อุปกรณ์แปลงสัญญาณ FI303 / IF303

### 3.2.3.6 โปรแกรมพีซีเอส 7 รุ่น 7.1

โปรแกรม PCS 7 รุ่น 7.1 คือเครื่องมือในการจัดการกับส่วนประกอบอื่นๆของซอฟต์แวร์มาตรฐาน อย่างเช่น เครื่องมือสำหรับตั้งค่าโครงข่ายและฮาร์ดแวร์ (hardware and network configuration tools) โปรแกรมที่เป็นส่วนประกอบหลักๆของโปรแกรม SIMATIC MANAGER ได้แก่

- Configuring Networks
- Hardware configuration
- S7 – CFC หรือ Continuous Function Chart
- SIMATIC PDM

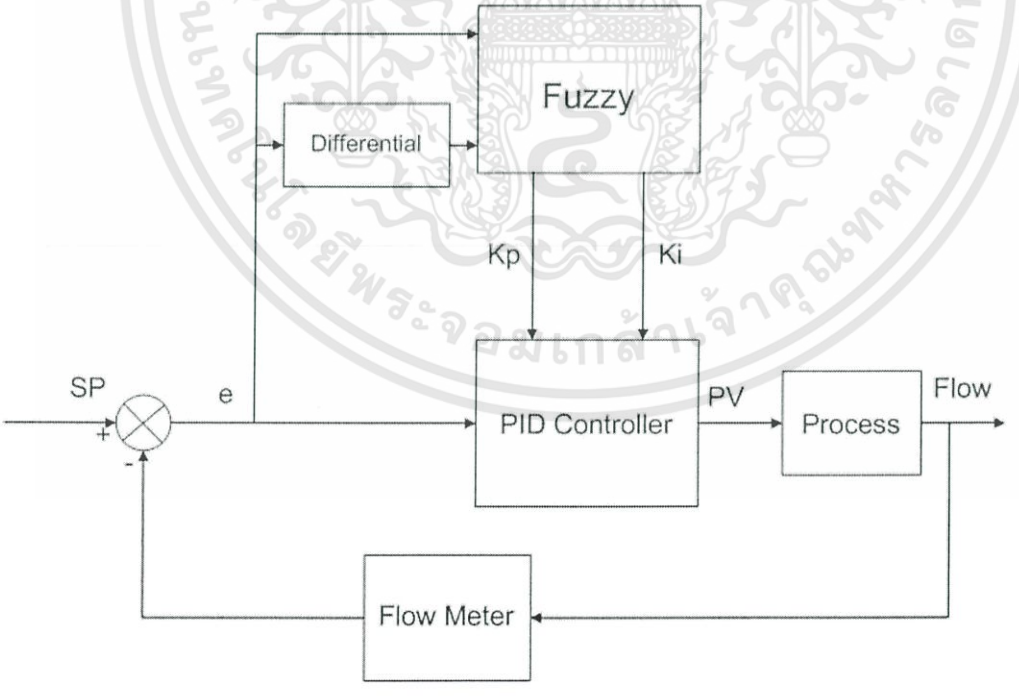
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.3.7 โปรแกรม Fuzzy control++ V.6

เป็นซอฟต์แวร์ที่สามารถออกแบบและทดสอบระบบฟัซซีสำหรับการใช้งานที่เฉพาะเจาะจง การใช้โปรแกรม FuzzyControl++ จะมีขั้นตอนสำคัญๆ เริ่มจากการกำหนดการตั้งค่าภายนอกของฟัซซี รวมไปถึงจำนวนของอินพุต เอาต์พุตและเป้าหมายของระบบ ต่อมากำหนดฟังก์ชันการเป็นสมาชิก จะต้องกำหนดค่าสูงสุด ต่ำสุด และจำนวนของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกสำหรับแต่ละอินพุตและเอาต์พุตของระบบ จากนั้นสร้างกฎพื้นฐานขึ้นมา โดยจะต้องมีการสร้างกฎพื้นฐานของระบบฟัซซีขึ้นมาสำหรับกระบวนการในทางปฏิบัติ โดยการใช้งานโปรแกรมโปรแกรม FuzzyControl++ จะกล่าวรายละเอียดในภาคผนวก

### 3.2.4 โครงสร้างของการปรับค่าตัวควบคุมพีไอดีด้วยฟัซซีลอจิก

โครงสร้างของการปรับค่าตัวควบคุมพีไอดีด้วยฟัซซีลอจิก พีไอดีเป็นพื้นฐานของตัวควบคุมต่างๆ ซึ่งในโครงงานนี้ ใช้ตรรกะของฟัซซีลอจิกและตัวแปรต่างๆ เพื่อใช้ในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดี ดังโครงสร้างของการปรับค่าตัวควบคุมพีไอดีด้วยฟัซซีลอจิกที่แสดงในรูปที่ 3.8 ค่าความผิดพลาดและอัตราความผิดพลาดจะถูกใช้เป็นตัวแปรอินพุตในระบบควบคุม และตัวแปรเอาต์พุตเป็นค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดี แทนด้วย Kp และ Ki โดย e แทนค่าความผิดพลาด และ ec แทนอัตราความผิดพลาด




**รูปที่ 3.8** โครงสร้างของการปรับค่าตัวควบคุมพีไอดีด้วยฟัซซีลอจิก

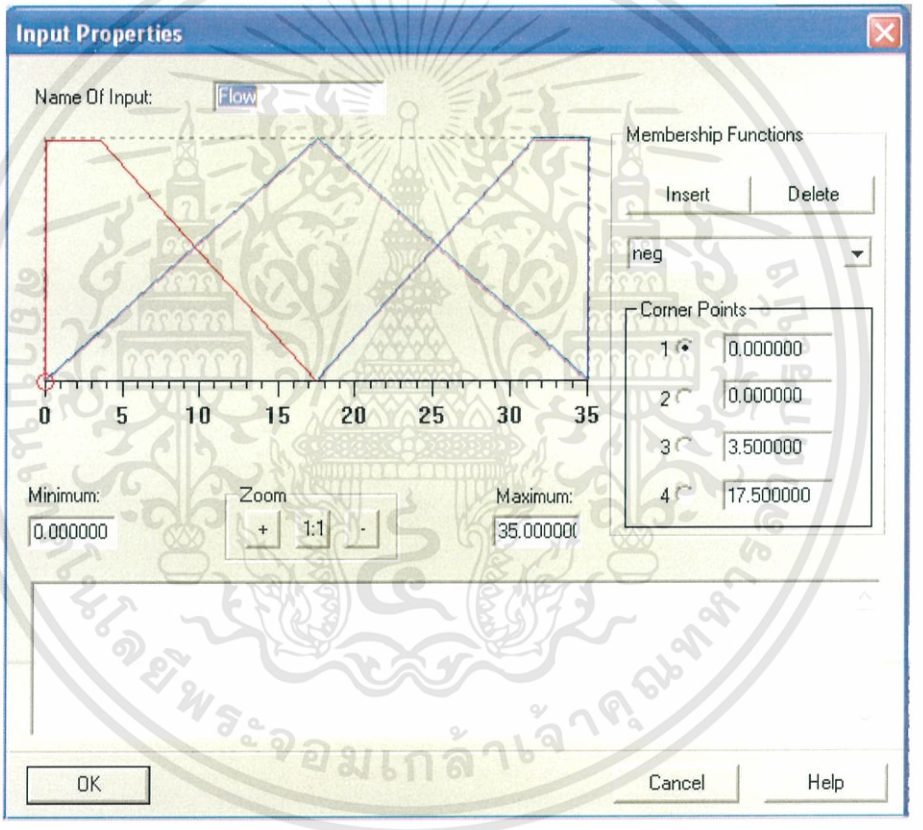
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.3 การออกแบบตัวควบคุมฟัซซี

ในการควบคุมอัตราการไหลของน้ำในท่อของโครงงานนี้ ได้ออกแบบให้ระบบควบคุมมีสัญญาณอินพุต 2 ค่าและมีสัญญาณเอาต์พุต 2 ค่า โดยสัญญาณอินพุตคือ Flow เป็นอัตราการไหลของน้ำในท่อ และ D_Flow เป็นค่าความแตกต่างของอัตราการไหลของน้ำในท่อ

### 3.3.1 สัญญาณอินพุต (Input Signal)

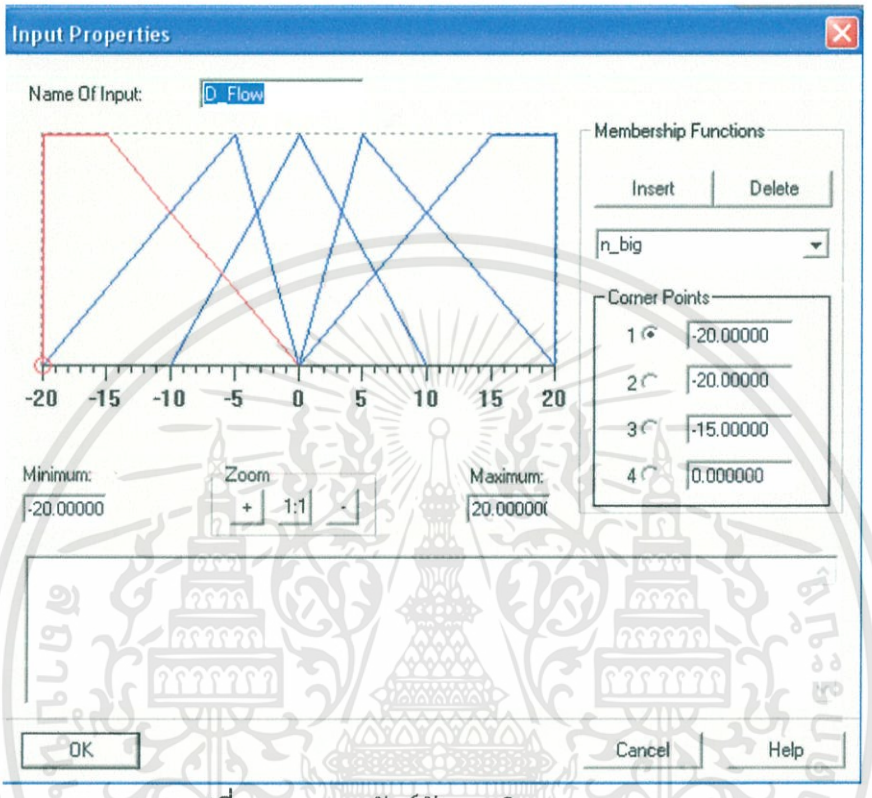
1. อัตราการไหลในระบบหรือก็คืออัตราการไหลของน้ำภายในท่อ คือ Flow ค่าลิงกวิสติง ได้แก่ neg , null และ pos ดังแสดงในรูปที่ 3.9




**รูปที่ 3.9** แสดงฟังก์ชันสมาชิกของอัตราการไหลของน้ำภายในท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ค่าผลของความแตกต่างระหว่างอัตราการไหลของน้ำภายในท่อ กับค่าอัตราการไหลของน้ำที่เราต้องการ คือ D_Flow ค่าลิงกวิสติง ได้แก่ n_big , n_small , null , p_small และ p_big ดังแสดงในรูปที่ 3.10

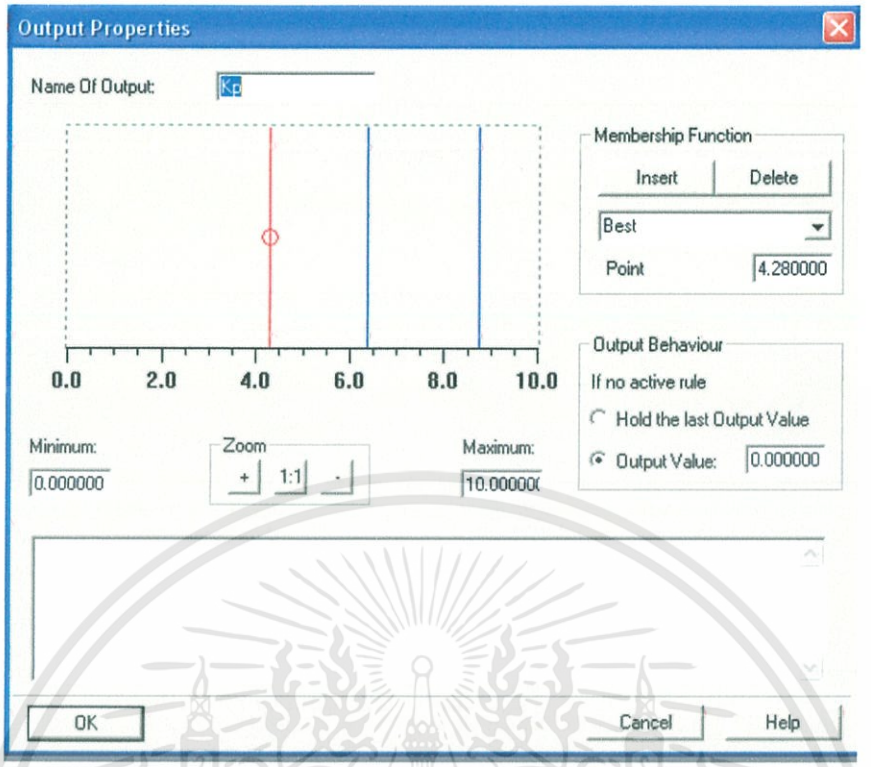



**รูปที่ 3.10** แสดงฟังก์ชันสมาชิกของ D_Flow

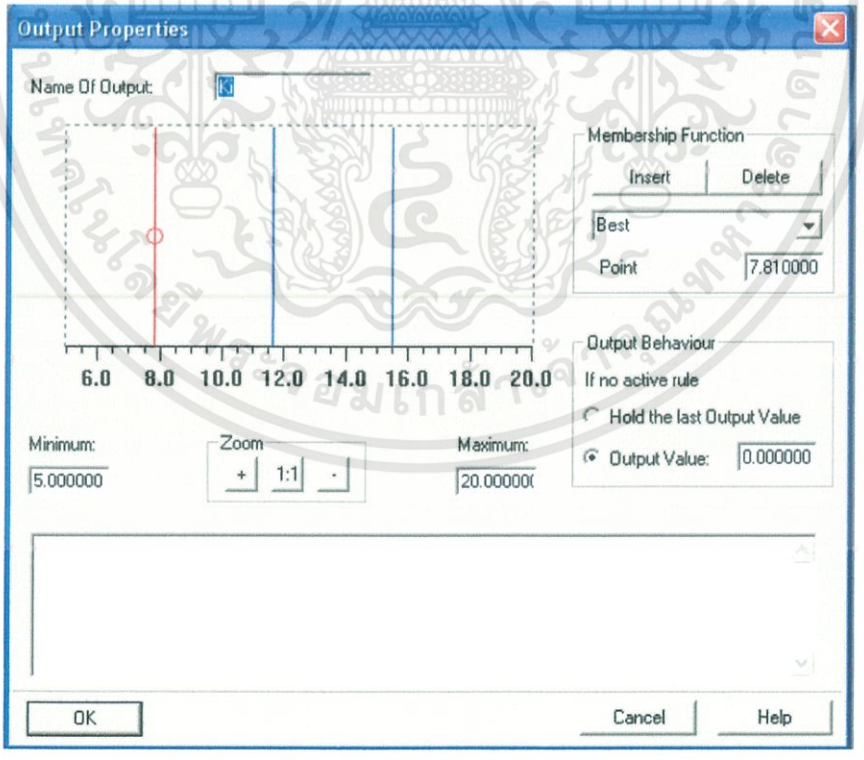
### 3.3.2 สัญญาณเอาต์พุต (Output Signal)

สัญญาณเอาต์พุตนั้นมี 2 สัญญาณด้วยกันคือ Kp และ Ki โดยระบบจะนำ 2 สัญญาณนี้ไปใช้ในการควบคุมก้านวาล์วควบคุมต่อไป โดยได้ออกแบบสัญญาณ Kp ให้มีจำนวนฟังก์ชันสมาชิกจำนวน 3 ฟังก์ชัน และสัญญาณ Ki มีจำนวนฟังก์ชันสมาชิก 3 ฟังก์ชันเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.11 และรูปที่ 3.12 ข้างล่างนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 3.11 แสดงสัญญาณเอาต์พุต Kp




**รูปที่ 3.12** แสดงสัญญาณเอาต์พุต Ki

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบตัวควบคุมฟัซซี เขียนเป็นกฎทั้ง 15 กฎ ได้ดังนี้

If Flow is neg and D_flow is n_big then output is pool

If Flow is neg and D_flow is n_small then output is med

If Flow is neg and D_flow is null then output is med

If Flow is neg and D_flow is p_small then output is best

If Flow is neg and D_flow is p_big then output is best

If Flow is null and D_flow is n_big then output is best

If Flow is null and D_flow is n_small then output is med

If Flow is null and D_flow is null then output is pool

If Flow is null and D_flow is p_small then output is med

If Flow is null and D_flow is p_big then output is best

If Flow is pos and D_flow is n_big then output is best

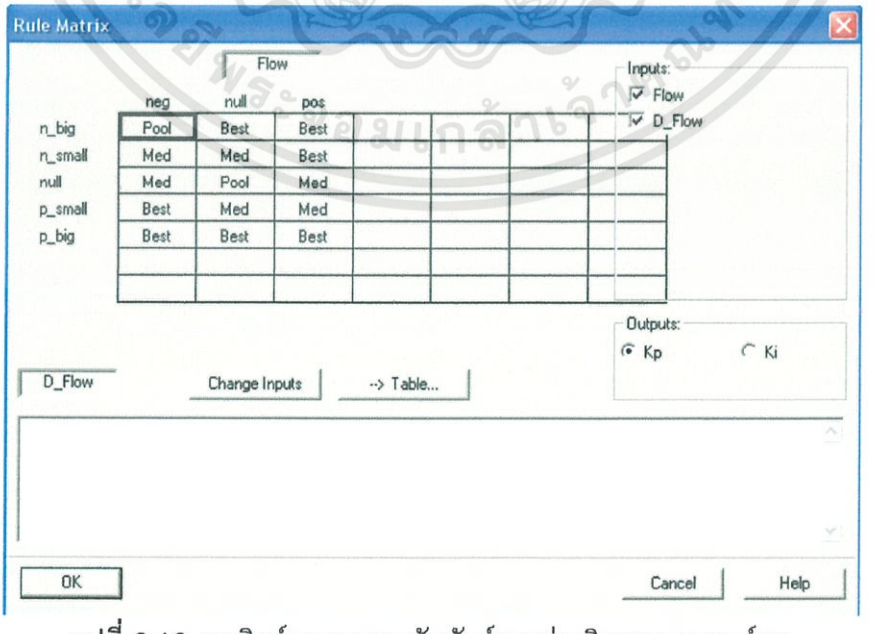
If Flow is pos and D_flow is n_small then output is best

If Flow is pos and D_flow is null then output is med

If Flow is pos and D_flow is p_small then output is med

If Flow is pos and D_flow is p_big then output is best

การกำหนดกฎขึ้นมานั้นดูจากความสัมพันธ์กันระหว่าง 2 สัญญาณอินพุต คือ Flow และ D_Flow จากนั้นทำการเลือกค่าเอาต์พุตที่เหมาะสม อย่างที่ได้แสดงออกมาเป็นกฎทั้ง 15 กฎข้างต้น กฎทั้ง 15 กฎนั้น สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอินพุตและเอาต์พุตในรูปแบบเมตริกซ์ได้ดังรูปที่ 3.13




**รูปที่ 3.13** เมตริกซ์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.4 สรุป

จากที่กล่าวมาในบทที่ 3 นี้คือขั้นตอนการดำเนินงานซึ่งประกอบไปด้วยแผนภาพแสดงกระบวนการและอุปกรณ์วัดในระบบ องค์ประกอบของกระบวนการ รวมไปถึงการออกแบบตัวควบคุมฟัซซี ซึ่งในการทำการทดลองนั้นมีค่าอินพุตด้วยกัน 2 ค่า คือ Flow และ D_Flow และมีค่าเอาต์พุต 2 ค่าเช่นกัน คือ Kp และ Ki จากนั้นจึงเขียนออกเป็นกฎความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตออกมาเป็นกฎ 15 กฎ และเข้าสู่ขั้นตอนการทดลองควบคุมอัตราการไหลของน้ำภายในท่อต่อไปในบทที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 4
# การทดลองและผลการทดลอง

## 4.1 คำนำ

ในส่วนของบทนี้เราจะกล่าวถึงขั้นตอนการทดลอง และผลการทดลองประสิทธิภาพตัวควบคุม Fuzzy Control++ ซึ่งตัวแปรควบคุมประกอบไปด้วย เวลาเข้าสู่เป้าหมายขาขึ้นและขาลง (หน่วยวินาที) , ระยะเวลาที่เรากำหนด (หน่วยวินาที) , อัตราการไหลที่เราต้องการควบคุม (ลิตร/วินาที) เพื่อเป็นการยืนยันให้เห็นถึงสมรรถนะผลตอบสนองการควบคุมอัตราการไหลอยู่ในเกณฑ์ดี นั่นคือ ค่าอัตราการไหลสามารถเข้าสู่ค่าเป้าหมายตามที่กำหนดไว้ และมีช่วงการใช้งานกว้างเพียงพอ พร้อมความสามารถในการคงค่าอัตราการไหลของระบบด้วย

## 4.2 วิธีการทดลอง

การทดลองการทำงานของระบบสามารถแยกออกได้ 3 ส่วนหลัก ดังนี้

1. การตั้งค่าตัวควบคุมและตัวเชื่อมต่อ ซึ่งก็คือการตั้งค่าคอนฟิกของระบบอัตโนมัติด้วยโปรแกรม PCS7 (การทำงานแบบระบบควบคุมกระจายหน้าที่)

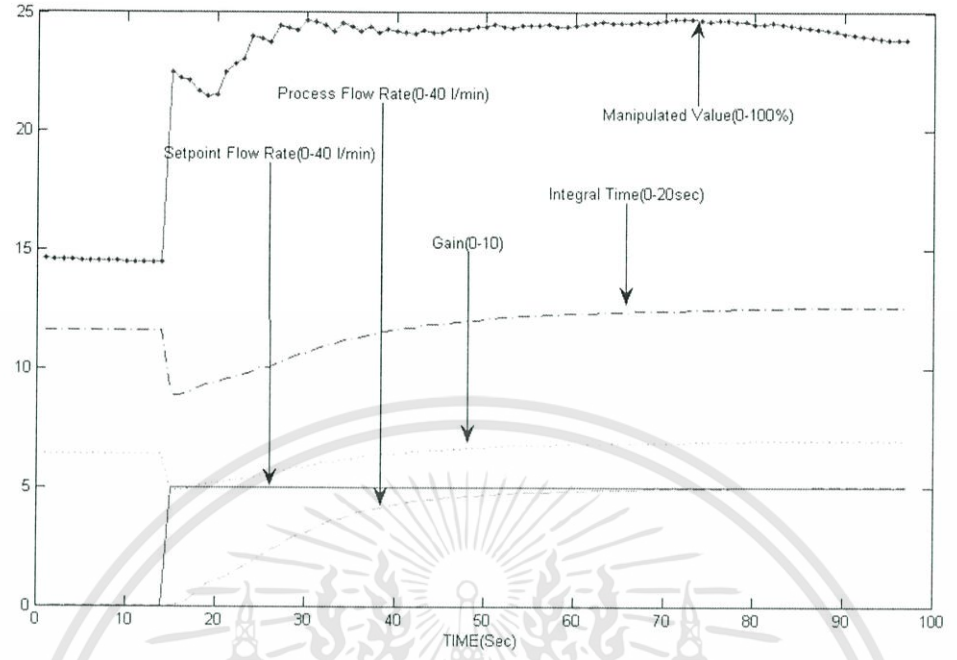
2. การเขียนค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมฟัซซี่ที่ผ่านการออกแบบไว้แล้วโดยโปรแกรม FuzzyControl++ จากบทที่ 3 ลงสู่ตัวควบคุมแบบกระจายส่วนPCS7 ศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมในภาคผนวก

3. การเขียนโปรแกรม CFC โดยเลือกใช้บล็อกฟังก์ชั่นฟัซซี่ S7 20K และบล็อกอื่นๆ ประกอบกันเป็นระบบควบคุม อย่างเช่น PA_AI, PA_AO เป็นต้น

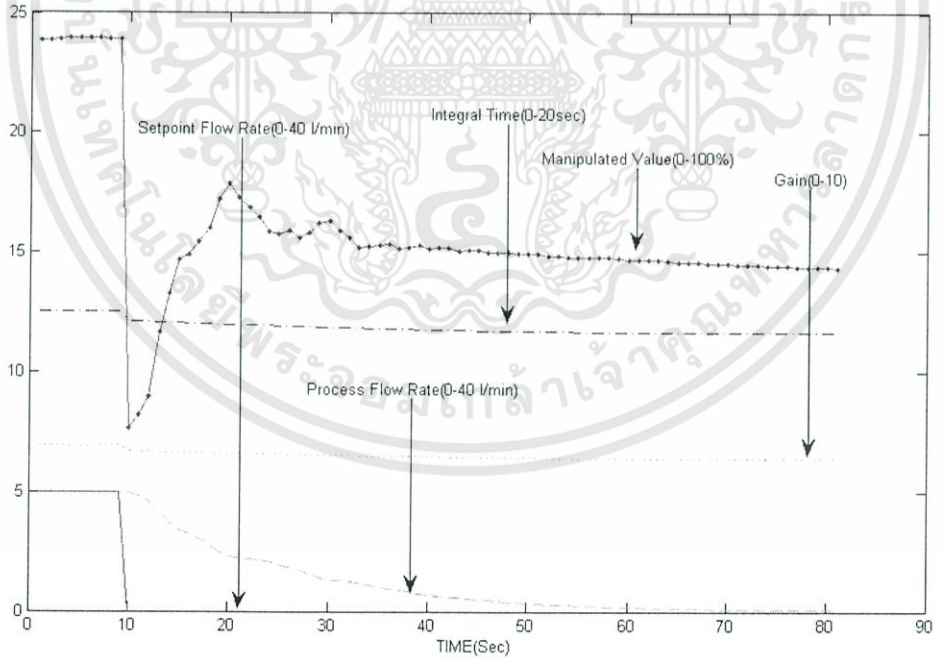
## 4.3 ผลการทดลอง

เพื่อให้การทดสอบสมรรถนะของระบบควบคุมอัตราการไหลครอบคลุมช่วงการใช้งานกว้างเพียงพอ จึงได้เลือกค่าเป้าหมายที่แตกต่างกัน 14 กรณี โดยทำการทดลองวัดอัตราการไหลของน้ำทั้งขาขึ้นและขาลง ซึ่งมีค่าเป้าหมายเริ่มต้นเดียวกัน ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

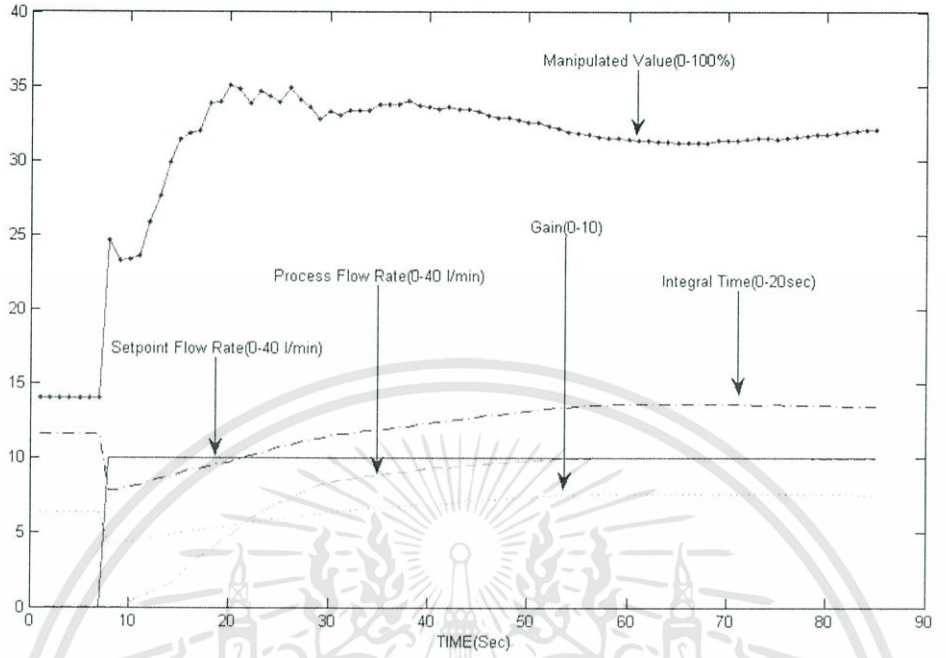



**รูปที่ 4.1** ผลตอบสนองระบบควบคุมอัตราการไหลของน้ำขาขึ้น
เมื่อค่าเป้าหมายเปลี่ยนแปลงจาก 0 ไปยัง 5 ลิตรต่อนาที

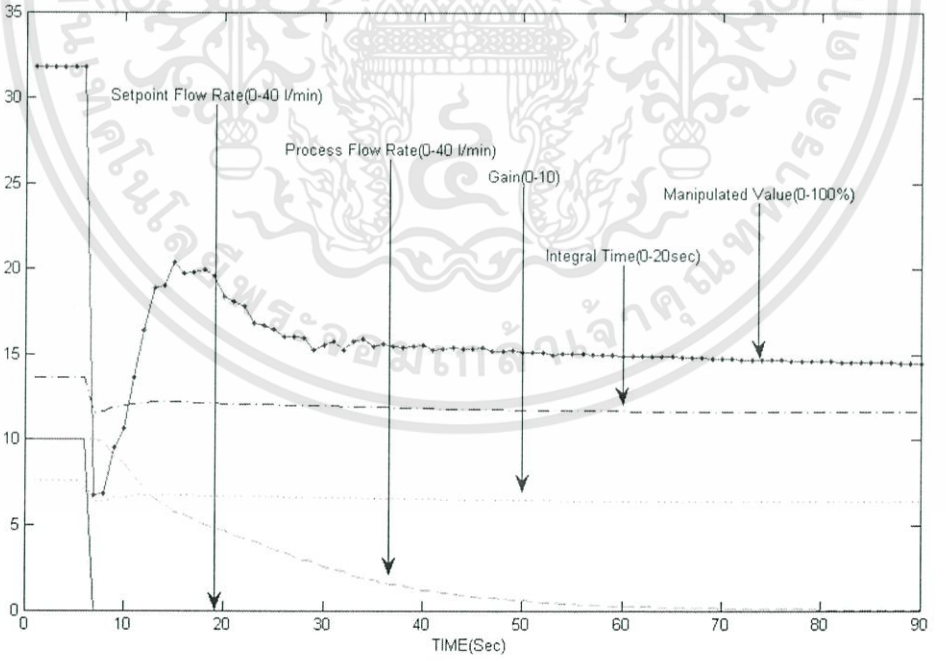



**รูปที่ 4.2** ผลตอบสนองระบบควบคุมอัตราการไหลของน้ำขาลง
เมื่อค่าเป้าหมายเปลี่ยนแปลงจาก 5 ไปยัง 0 ลิตรต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

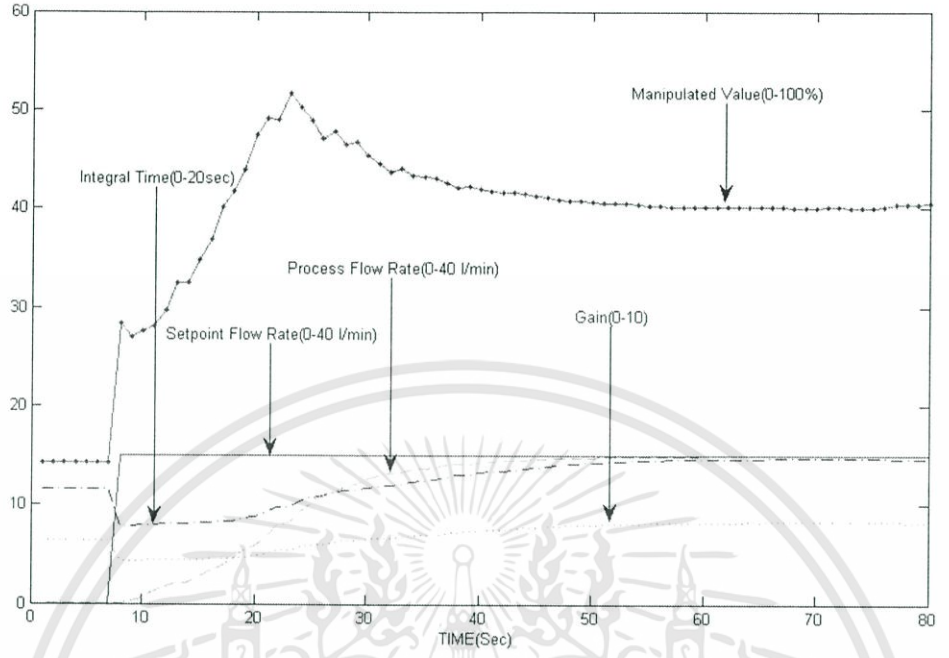



**รูปที่ 4.3** ผลตอบสนองระบบควบคุมอัตราการไหลของน้ำขาขึ้น
เมื่อค่าเป้าหมายเปลี่ยนแปลงจาก 0 ไปยัง 10 ลิตรต่อนาที

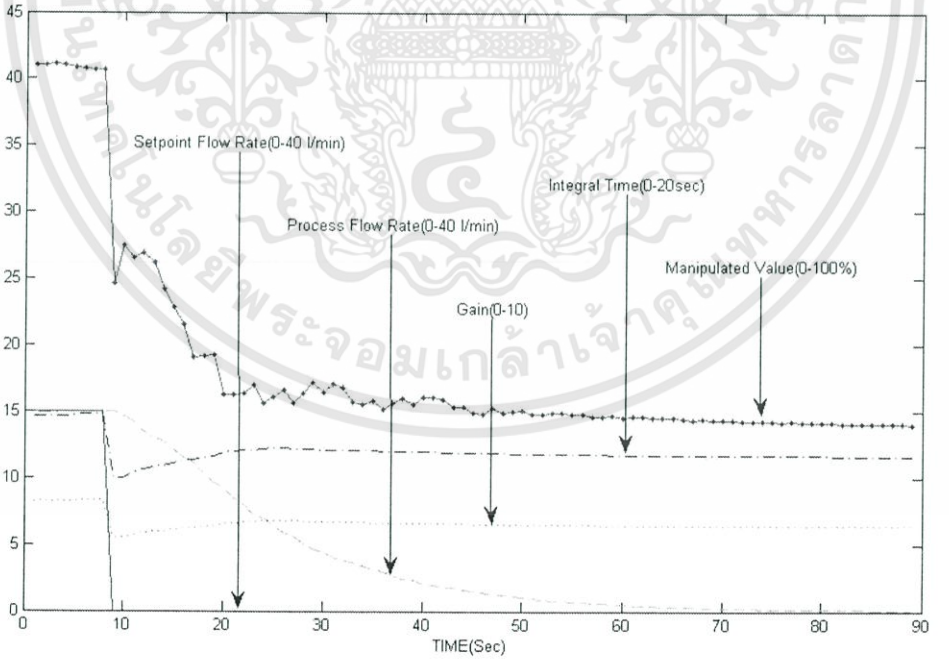



**รูปที่ 4.4** ผลตอบสนองระบบควบคุมอัตราการไหลของน้ำขาลง
เมื่อค่าเป้าหมายเปลี่ยนแปลงจาก 10 ไปยัง 0 ลิตรต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

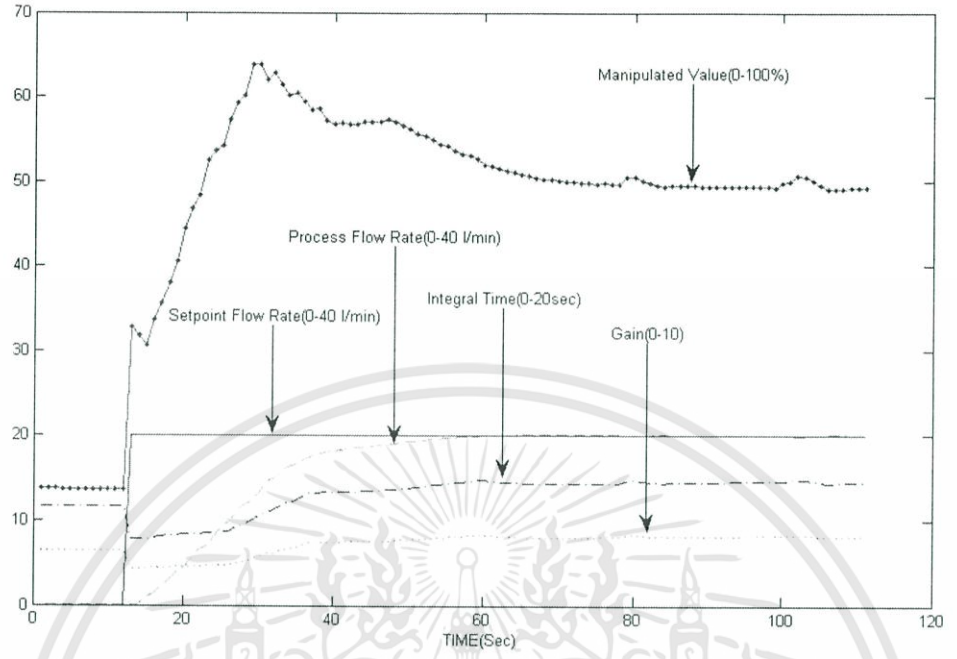



**รูปที่ 4.5** ผลตอบสนองระบบควบคุมอัตราการไหลของน้ำขาขึ้น
เมื่อค่าเป้าหมายเปลี่ยนแปลงจาก 0 ไปยัง 15 ลิตรต่อนาที

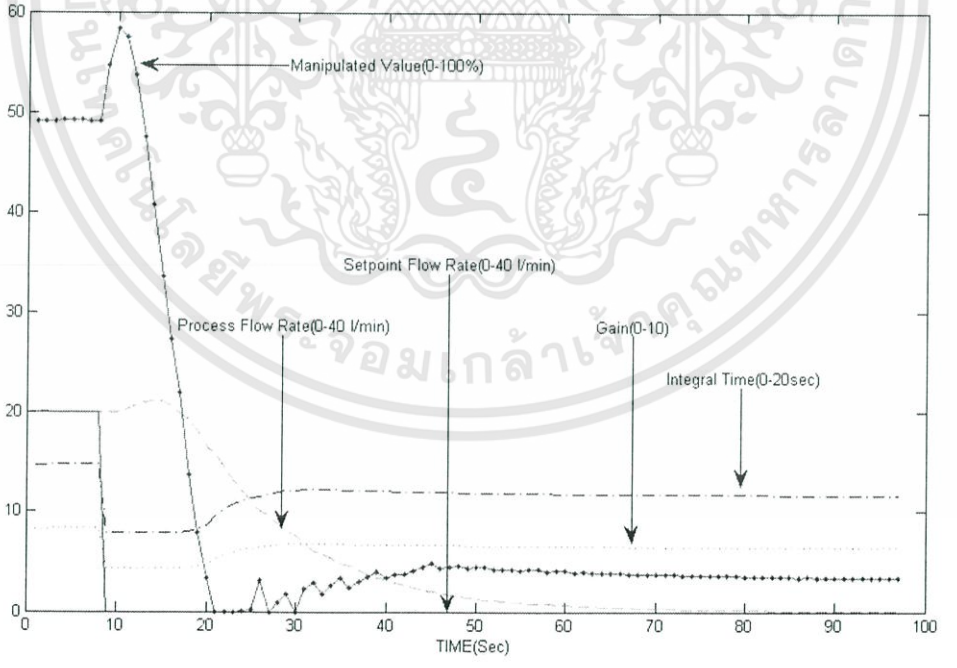



**รูปที่ 4.6** ผลตอบสนองระบบควบคุมอัตราการไหลของน้ำขาลง
เมื่อค่าเป้าหมายเปลี่ยนแปลงจาก 15 ไปยัง 0 ลิตรต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

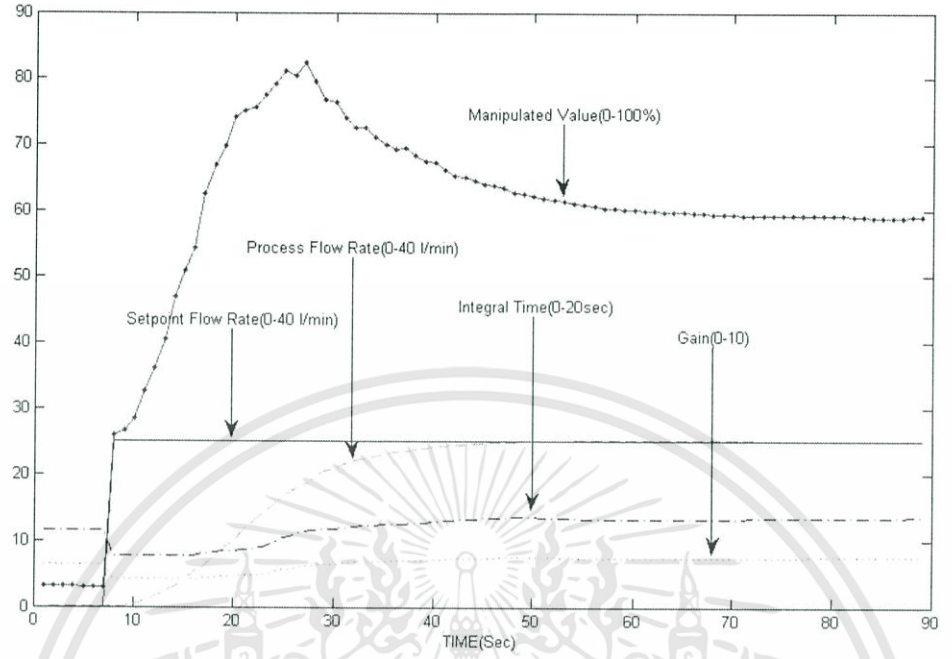



**รูปที่ 4.7** ผลตอบสนองระบบควบคุมอัตราการไหลของน้ำขาขึ้น
เมื่อค่าเป้าหมายเปลี่ยนแปลงจาก 0 ไปยัง 20 ลิตรต่อนาที

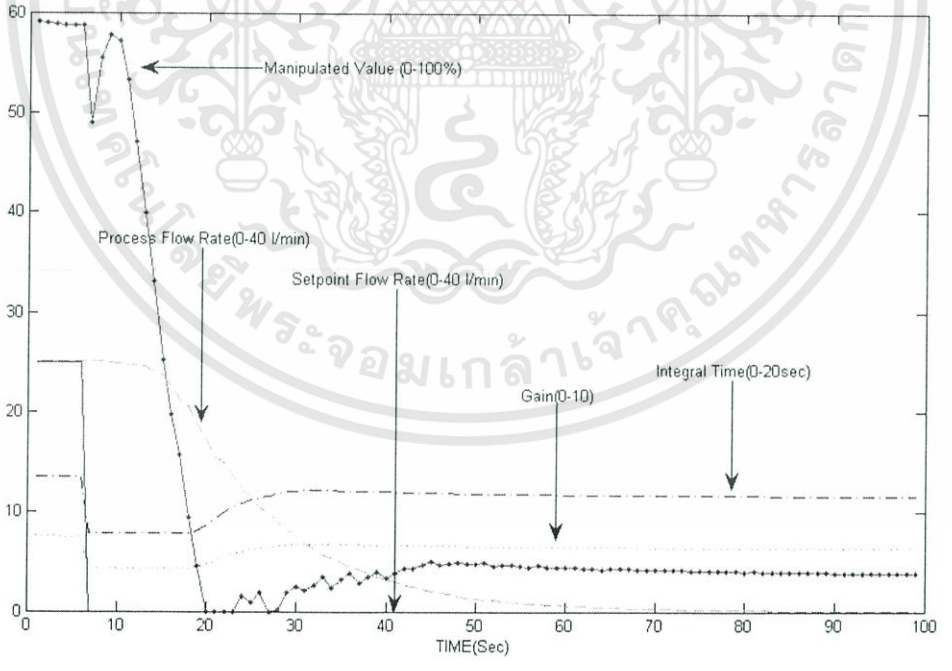



**รูปที่ 4.8** ผลตอบสนองระบบควบคุมอัตราการไหลของน้ำขาลง
เมื่อค่าเป้าหมายเปลี่ยนแปลงจาก 20 ไปยัง 0 ลิตรต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

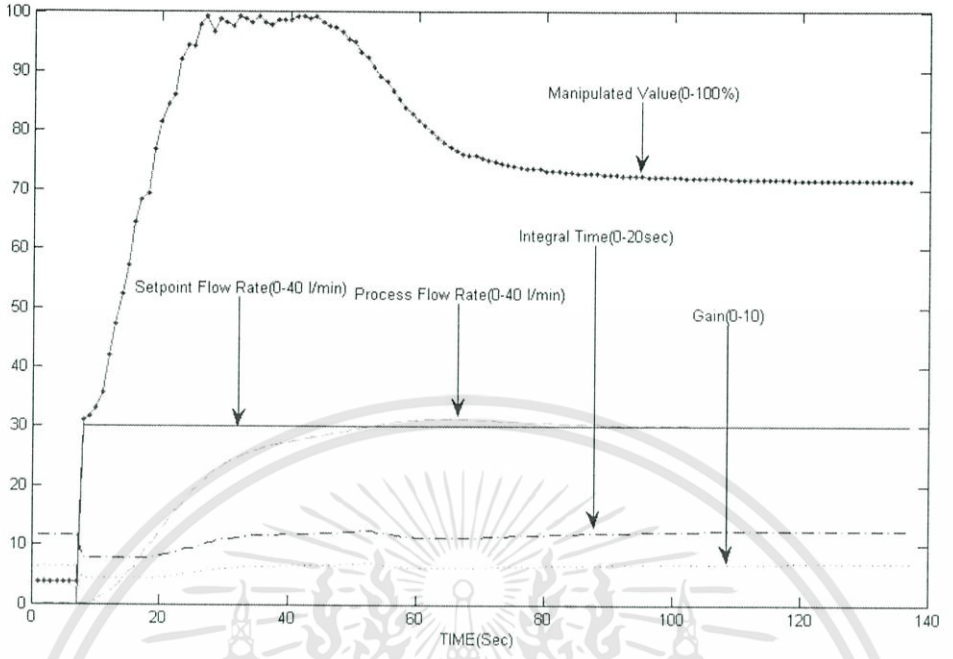



**รูปที่ 4.9** ผลตอบสนองระบบควบคุมอัตราการไหลของน้ำขาขึ้น
เมื่อค่าเป้าหมายเปลี่ยนแปลงจาก 0 ไปยัง 25 ลิตรต่อนาที

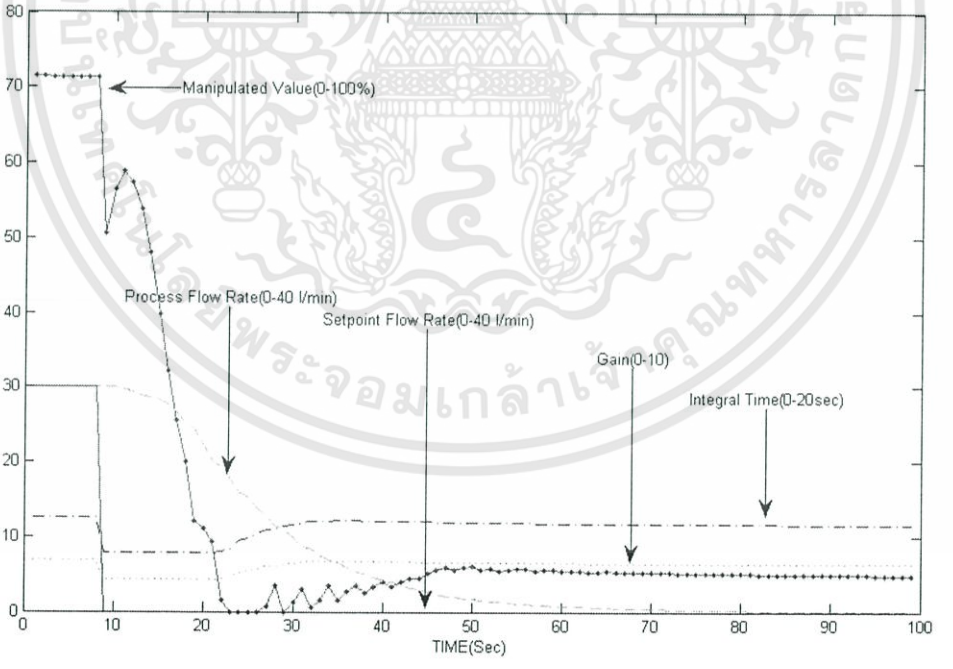



**รูปที่ 4.10** ผลตอบสนองระบบควบคุมอัตราการไหลของน้ำขาลง
เมื่อค่าเป้าหมายเปลี่ยนแปลงจาก 25 ไปยัง 0 ลิตรต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

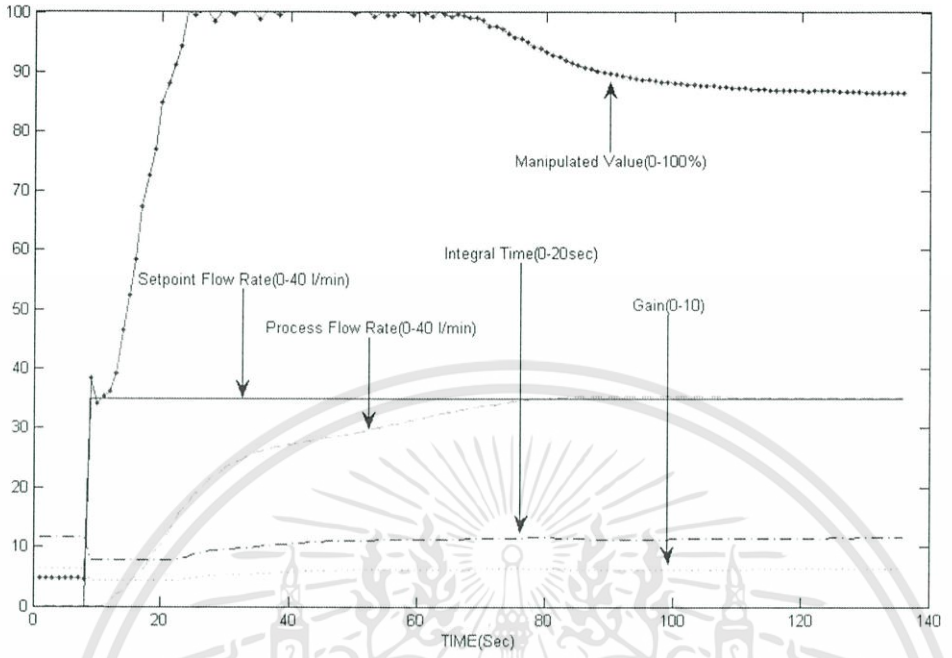



**รูปที่ 4.11** ผลตอบสนองระบบควบคุมอัตราการไหลของน้ำขาขึ้น
เมื่อค่าเป้าหมายเปลี่ยนแปลงจาก 0 ไปยัง 30 ลิตรต่อนาที

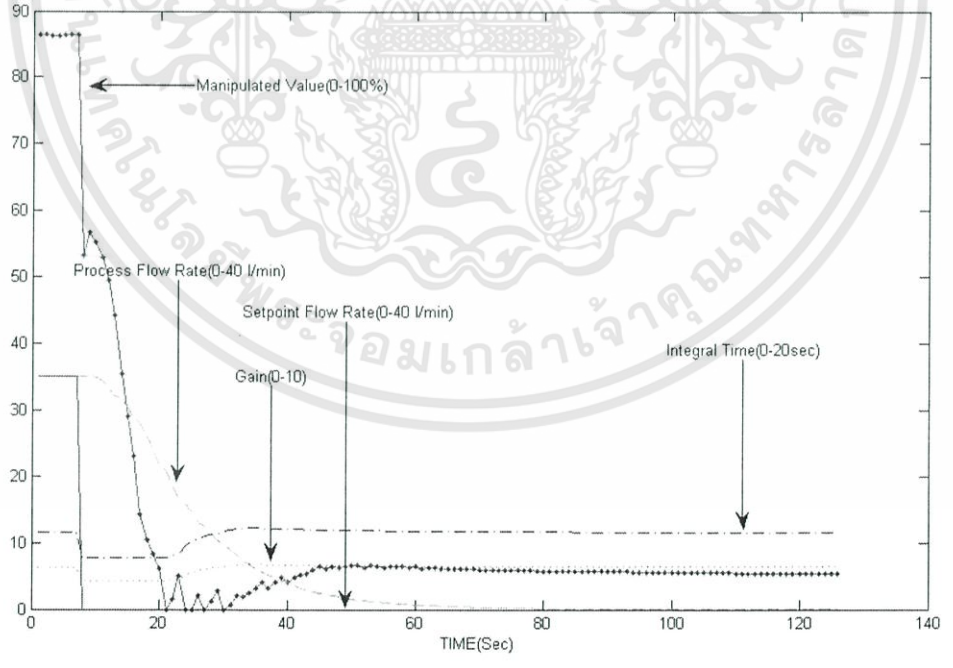



**รูปที่ 4.12** ผลตอบสนองระบบควบคุมอัตราการไหลของน้ำขาลง
เมื่อค่าเป้าหมายเปลี่ยนแปลงจาก 30 ไปยัง 0 ลิตรต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 4.13** ผลตอบสนองระบบควบคุมอัตราการไหลของน้ำขาขึ้น
เมื่อค่าเป้าหมายเปลี่ยนแปลงจาก 0 ไปยัง 35 ลิตรต่อนาที




**รูปที่ 4.14** ผลตอบสนองระบบควบคุมอัตราการไหลของน้ำขาลง
เมื่อค่าเป้าหมายเปลี่ยนแปลงจาก 35 ไปยัง 0 ลิตรต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.4 สรุป

จากผลการทดลอง การปรับค่าตัวควบคุมพีไอดีด้วยฟัซซี่ลอจิกบนระบบควบคุมแบบกระจายส่วน PCS 7 จะเห็นว่าตัวควบคุมฟัซซี่ มีสมรรถนะตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมายที่ดี และมีช่วงการใช้งานกว้างอย่างเพียงพอ ถึงแม้ว่าเมื่อค่าเป้าหมายที่กำหนดมีค่ามากขึ้น การตอบสนองของกระบวนการจะใช้เวลามากขึ้นไปด้วย แต่เมื่อพิจารณาถึงค่าพุ่งเกินและค่าความผิดพลาดแล้ว จากการทดลองพบว่าไม่มีค่าความผิดพลาดเกิดขึ้น แสดงให้เห็นว่าสมรรถนะของตัวควบคุมยังอยู่ในเกณฑ์ดี ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก และกฎฟัซซีที่ได้ออกแบบมานั้นสามารถใช้ควบคุมกระบวนการได้อย่างมีเสถียรภาพ จึงทำให้ค่าอัตราการไหลของน้ำเข้าสู่ค่าเป้าหมายที่กำหนดได้ในระยะเวลารวดเร็วดีพอสำหรับการใช้งานในการควบคุมอัตราการไหลของกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5
# สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

## 5.1 สรุปผลการทดลอง

ปริญญานิพนธ์นี้ได้ทำการค้นคว้าศึกษาการใช้งานของระบบควบคุมแบบกระจายส่วน หรือ Distribution Control System (DCS) ในกระบวนการควบคุมอัตราการไหลของน้ำ รวมถึงการตั้งค่าอุปกรณ์วัดต่างๆ อุปกรณ์เชื่อมต่อ ตัวควบคุม การพัฒนาวิธีการควบคุมและการเขียนโปรแกรม CFC และการนำ Fuzzy logic มาประยุกต์ใช้ในการควบคุมอัตราการไหลของน้ำ โดยใช้โปรแกรม FuzzyControl++ ของบริษัทซีเมนซ์ แห่งประเทศเยอรมัน เป็นเครื่องมือในการพัฒนาตัวควบคุมฟัซซี ซึ่งขั้นตอนแรกนั้นจะต้องทำการศึกษาทฤษฎีเบื้องต้นของฟัซซี ตลอดจนวิธีการเชื่อมต่อเข้ากับตัวควบคุม S7-400 จากนั้นจึงออกแบบตัวควบคุมฟัซซี ด้วยโปรแกรม FuzzyControl++ เพื่อเขียนพารามิเตอร์ต่างๆที่ผ่านการออกแบบแล้วสำหรับการประมวลผลด้วยตัวควบคุม ต่อมาเลือกใช้บล็อกฟัซซี เขียนโปรแกรม CFC รวมถึงทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์วัดอัตราการไหลและวาล์วควบคุม ด้วยฟังก์ชั่นบล็อก PA_AI และ PA_AO ตามลำดับ

ในส่วนของการทำการทดลองควบคุมอัตราการไหลเพื่อให้ได้อัตราการไหลเป็นไปตามค่าเป้าหมายที่กำหนดไว้นั้น การออกแบบกฎฟัซซีที่เราใช้เป็นฟัซซีแบบผสม เนื่องจากโปรแกรมที่ใช้นี้ถูกสร้างมาเพื่อใช้กับฟัซซีแบบผสมเท่านั้น ทำให้ผลการทดลองในการควบคุมอัตราการไหลของน้ำได้ตามค่าเป้าหมายที่กำหนดไว้อย่างมีประสิทธิภาพ

## 5.2 วิเคราะห์ปัญหาและข้อเสนอแนะ

ในการบันทึกผลการทดลองของช่วงเวลาขาขึ้นและเวลาขาลง เป็นการจับเวลาด้วยผู้ทดลอง ซึ่งอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นได้ การใช้งานโปรแกรม FuzzyControl++ จะต้องมีความสัมพันธ์กันเป็นวิศวกรรมเชิงระบบ ตลอดจนการออกแบบการควบคุมฟัซซี่ เพื่อให้สามารถใช้งานได้จริงตามวัตถุประสงค์ ผู้ออกแบบจำเป็นต้องสร้างฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกและกฎฟัซซี่ที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ผลการตอบสนองที่ดีและมีประสิทธิภาพนั้น ผู้ออกแบบจำเป็นต้องมีความชำนาญ และทำการทดลองซ้ำๆหลายครั้งเพื่อให้ได้ผลตอบสนองที่ดีที่สุด เพราะถ้าฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกและกฎฟัซซี่ไม่เหมาะสม ผลตอบสนองที่ได้จะไม่ดีเท่าที่ควร อาจเกิดการแกว่ง และช่วงการควบคุมแคบ รวมถึงการใช้งานอุปกรณ์วัดและเครื่องมือต่างๆเชิงอุตสาหกรรมนั้น อาจมีความยุ่งยากและซับซ้อนค่อนข้างมาก ยกตัวอย่างเช่น การตั้งค่าอุปกรณ์วัดและตัวควบคุม เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บรรณานุกรม


สราวุธ สุจิตจร. 2546. **การควบคุมอัตโนมัติ.** กรุงเทพฯ : เพียร์สัน เอ็ดดูเคชั่น อินโดไชน่า.

ณัฐกิตติ์ นาควัฒนโรจน์,ธิตินนท์ ทิอุด และบุษบง ศรีบุตรตา. 2554. "ตัวควบคุมฟัซซีบนระบบควบคุมแบบโครงข่ายสำหรับระบบหนึ่งอินพุตหนึ่งเอาต์พุต." ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สมาคมผู้ใช้เทคโนโลยีโปรฟิบัสแห่งประเทศไทย. 2552. **Introduction to Profibus.** [Online]. Available : www.9engineer.com/index.php?m=article&a=print&article_id=832

Riverplusblog. 2555. **การสื่อสารแบบโปรฟิบัส.** [Online] Available : http://riverplusblog.com/2011/07/11/plc-protocal-การสื่อสารแบบ-profibus/



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ก
# การใช้งานโปรแกรมการควบคุม Fuzzy Control++

## ก.1 การสร้างระบบ Fuzzy control

ในขั้นตอนแรกนั้นหากเราจะต้องการสร้างโปรเจคระบบฟัซซี่ขึ้นใหม่ก็ทำได้โดยทำการกดเลือกที่คำว่า File → New ข้อควรระวังการใช้โปรแกรมนี้คือการเลือกส่วนของ Target system ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญอย่างมากหากเราไม่ได้ทำการตั้งค่าส่วนนี้แล้วอาจทำให้โปรเจคของเรานั้น ไม่สามารถดำเนินการขั้นตอนอื่นๆได้ การบันทึกงานในโปรแกรมนี้จะเป็น ตระกูลประเภท .fpl , .fcl ในกรณีที่เรามีการเขียนโปรแกรมนี้ไว้แล้วเราสามารถเลือก Open เพื่อเปิดไฟล์งานเดิมได้

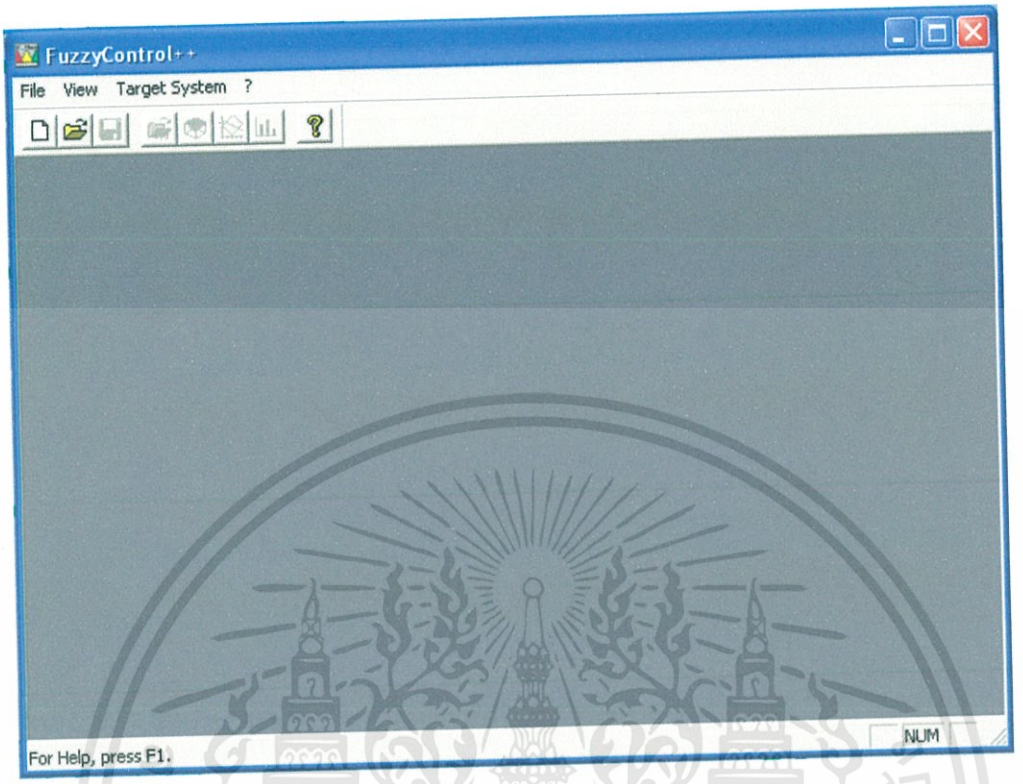
### ก.1.1 การตั้งค่าในระบบ Fuzzy Control

การตั้งค่าระบบฟัซซี รวมถึงการกำหนดเป้าหมายของระบบ และจำนวนของอินพุต เอาต์พุต ของระบบฟัซซี ยังเป็นมาตรฐานของโปรแกรมที่จัดทำขึ้นโดยการระบุค่าต่ำสุด สูงสุด สำหรับอินพุตและเอาต์พุต นอกจากนี้เป้าหมายของระบบยังสามารถระบุ หรือเปลี่ยนแปลงค่าได้ในภายหลัง การเพิ่ม หรือการเปลี่ยนแปลงของเป้าหมายของระบบสามารถศึกษาได้ในส่วนของ target system

#### ก.1.1.1 การกำหนดจำนวนของอินพุตและเอาต์พุต

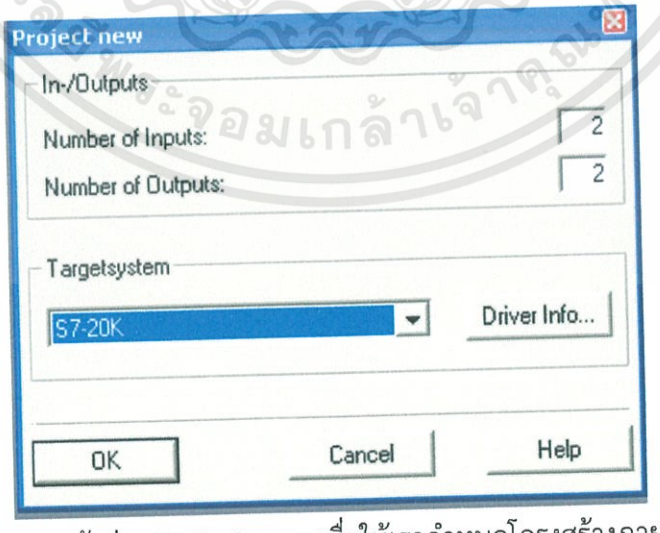
หลังจากที่เราทำการเปิดโปรแกรม Fuzzy control++ แล้ว จะมีการแสดงหน้าต่างพื้นฐาน ซึ่งจะมีแถบเมนูให้เลือกใช้ต่าง ดังรูปที่ ก.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ ก.1** แสดงหน้าต่างพื้นฐานของโปรแกรม Fuzzy Control++

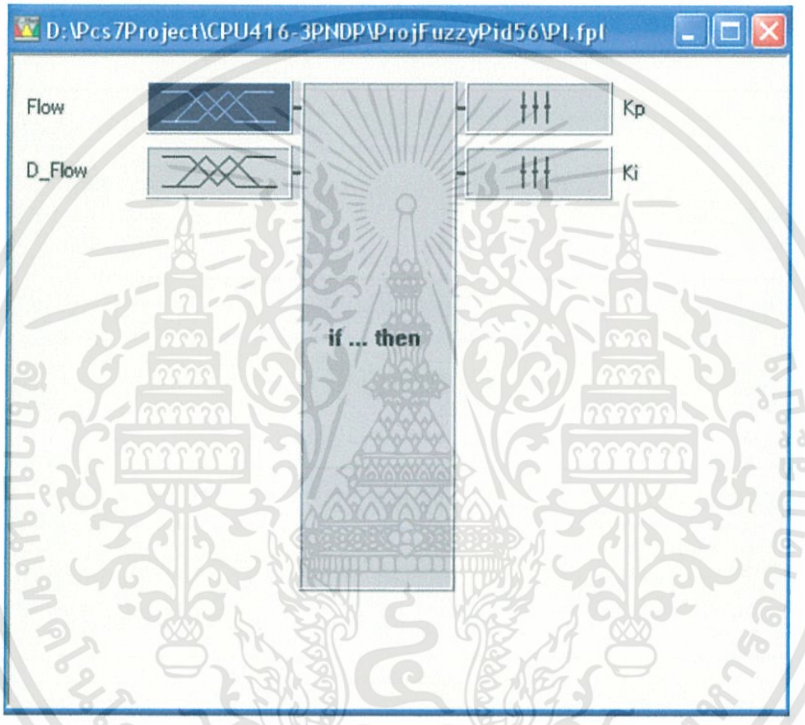
เปิดคำสั่ง New ในเมนู File จะแสดงหน้าต่างดัง รูปที่ ก.2 ข้างล่าง ขั้นตอนแรก กล่องโต้ตอบที่มีชื่อ Define Project จะปรากฏขึ้น ซึ่งเราสามารถกำหนดโครงสร้างภายนอกของระบบได้




**รูปที่ ก.2** แสดงหน้าต่าง Project new เพื่อให้เรากำหนดโครงสร้างภายนอกระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงจำนวนเริ่มต้นของอินพุตและเอาต์พุต ซึ่งทำการเลือก 2 อินพุตและ 2 เอาต์พุตสำหรับกระบวนการควบคุมอัตราการไหลของน้ำ และเลือก SIMATIC S7-20K ตามที่กำหนด ถ้าจำนวนของอินพุตและเอาต์พุตยังไม่ได้รับการตั้งค่าหรือกำหนด สามารถ เพิ่มหรือลบ อินพุตและเอาต์พุตได้ในภายหลัง ที่เมนู Edit หลังจากกำหนดเสร็จเรียบร้อยแล้ว โปรแกรมจะแสดงหน้าต่างบล็อกไดอะแกรมของระบบฟัซซี หน้าต่างพื้นฐานสำหรับการแก้ไขโปรเจค ซึ่งจะแสดงสัญลักษณ์ ตัวแทนของกฎพื้นฐาน (if.....then block) ดังรูป ที่ ก.3




**รูปที่ ก.3** แสดงหน้าต่างพื้นฐาน ซึ่งเราสามารถทำการแก้ไขระบบได้จากหน้าต่างนี้

**ก.1.1.2 การแก้ไขจำนวนอินพุตและเอาต์พุต**

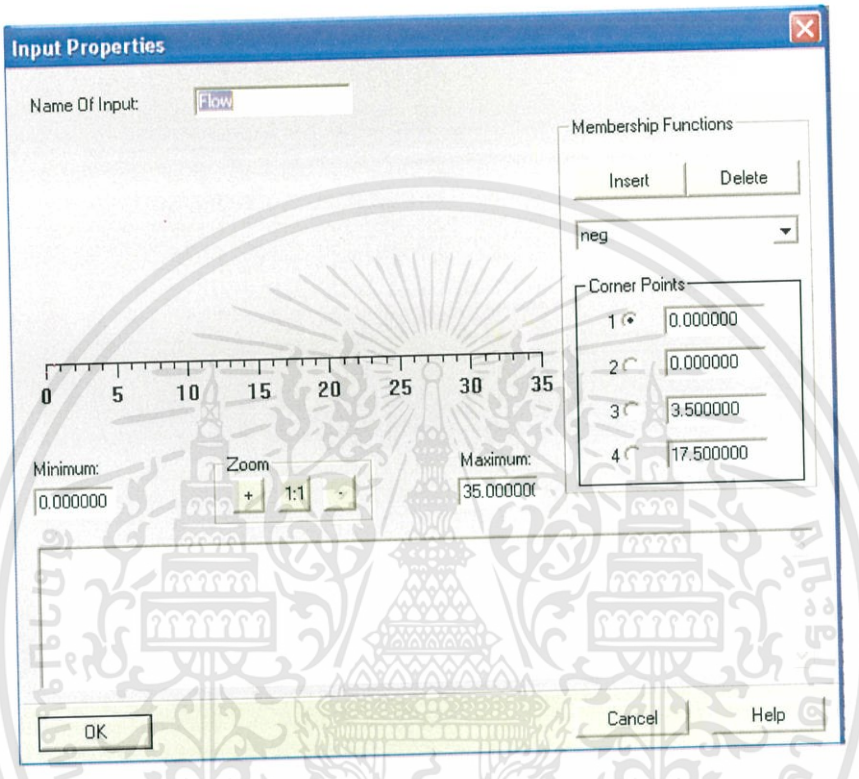
เมื่อทำการแก้ไขโปรเจคจะทำให้เราสามารถกำหนดชื่อของอินพุตและเอาต์พุตได้

- แก้ไขอินพุต 01

จากหน้าต่างพื้นฐาน รูปที่ ก.3 เมื่อทำการดับเบิ้ลคลิกที่ Input01 หรือคลิกขวาแล้วทำการเลือกเลือก จะปรากฏหน้าต่าง Input Properties ดังรูปที่ ก.4 สำหรับการแสดงค่าอินพุต จะปรากฏช่องให้กำหนดชื่อของอินพุตเพื่อเปลี่ยนจาก Input01 ไปเป็นชื่ออินพุตของกระบวนการ ทำการใส่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่ออินพุต ซึ่งคือ Flow กำหนดช่วงค่าของอินพุต 0-40 ลิตรต่อนาที ด้วยการใส่ 0 ที่ด้าน Minimum และใส่ 40 ที่ด้าน Maximum เมื่อทำการแก้ไขอินพุตเสร็จแล้ว คลิก OK ที่หน้าต่าง Input Properties




**รูปที่ ก.4** แสดงหน้าต่าง Input Properties สามารถทำการกำหนดและแก้ไขอินพุตได้

- แก้ไขอินพุต 02

ถ้าเราทำการดับเบิ้ลคลิก หรือคลิกขวาที่ช่องอินพุต จะปรากฏกล่องข้อความโต้ตอบสำหรับอินพุตนี้ขึ้นมา Input Properties เปลี่ยนชื่อจาก Input02 เป็น D_Flow กำหนดค่าจาก (0-20) สำหรับ Minimum และกำหนดค่า 20 ที่ Maximum

- แก้ไขเอาต์พุต 01 (Ki)

ถ้าเราทำการดับเบิ้ลคลิก หรือคลิกขวาที่ช่องเอาต์พุต จะปรากฏกล่องข้อความโต้ตอบสำหรับเอาต์พุตนี้ขึ้นมา คือ Output Properties ทำการเปลี่ยนชื่อของเอาต์พุต จาก Output01 เป็น Ki (เป็นการปรับแต่งตัวแปร Ki) กำหนดค่า 5-20 สำหรับค่า Minimum และ Maximum เมื่อทำการแก้ไขเสร็จแล้วทำการคลิก OK จะปรากฏหน้าต่างพื้นฐานของระบบการควบคุมฟัซซีอีกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แก้ไขเอาต์พุต 01 (Kp)

ถ้าเราทำการดับเบิ้ลคลิก หรือคลิกขวาที่ช่องเอาต์พุต จะปรากฏกล่องข้อความโต้ตอบสำหรับเอาต์พุตนี้ขึ้นมา คือ Output Properties ทำการเปลี่ยนชื่อของเอาต์พุต จาก Output01 เป็น Kp (เป็นการปรับแต่งตัวแปร Kp) กำหนดค่า 0-10 สำหรับค่า Minimum และ Maximum เมื่อทำการแก้ไขเสร็จแล้วทำการคลิก OK จะปรากฏหน้าต่างพื้นฐานของระบบการควบคุมฟัซซีอีกครั้ง

### ก.1.2 ฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิก

เมื่อทำการกำหนดชื่อของอินพุตและเอาต์พุตเรียบร้อยแล้ว ลำดับต่อไป คือ การกำหนดค่าฟังก์ชันสมาชิก เพื่อให้รูปร่างของฟังก์ชันสมาชิกมีความเหมาะสมกับค่าของกระบวนการ เป็นรูปร่างสามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยมคางหมู มุมจากมุมที่ 1 ไปจนถึงมุมที่ 4 เป็นการกำหนดฟังก์ชันเพื่อให้ครอบคลุมต่อการควบคุม

ตัวอย่าง

- ฟังก์ชันสมาชิก สำหรับอินพุต Flow

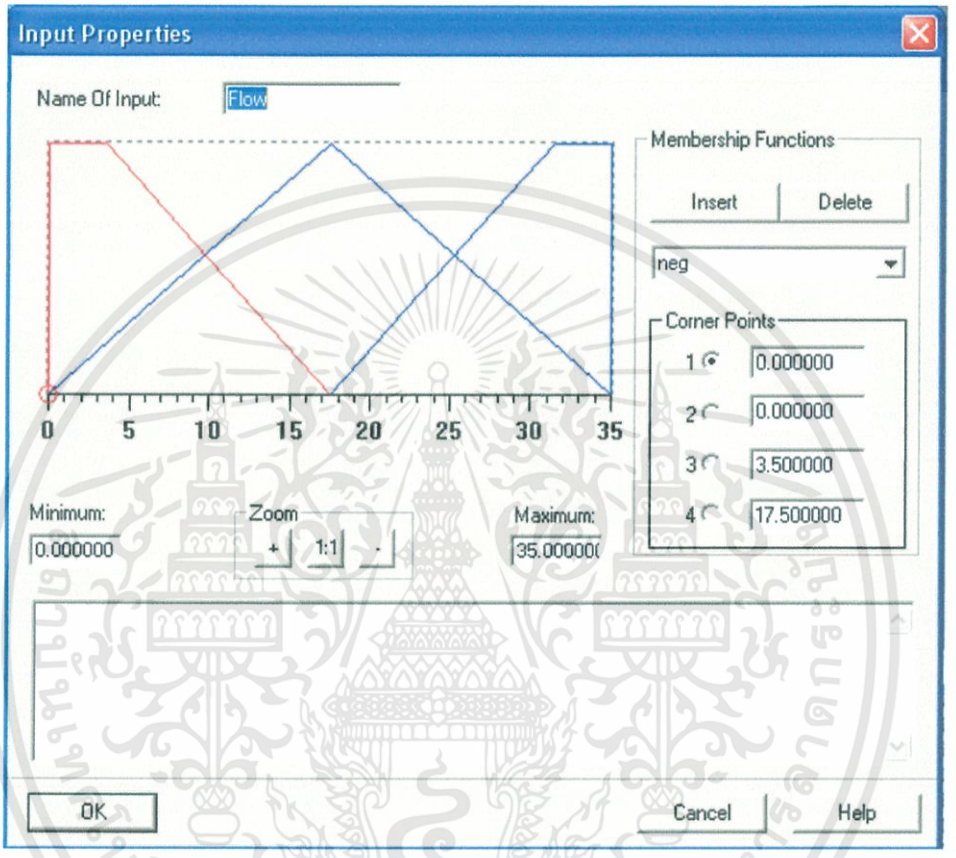
ฟังก์ชันสมาชิก ถูกกำหนดให้แก้ไขค่าของฟังก์ชันได้ใน Input Properties ซึ่งเปิดเข้าไปแก้ไขได้โดยดับเบิลคลิกที่อินพุต Flow ในบล็อกไดอะแกรม สามารถกำหนดจำนวนของฟังก์ชันของอินพุตที่ต้องการด้วยการคลิก Insert จะปรากฏหน้าต่าง ดังรูปที่ ก.5

**รูปที่ ก.5** สามารถทำการกำหนดจำนวนฟังก์ชันของอินพุตได้จากหน้าต่างนี้

หน้าต่างโต้ตอบ Insert membership Functions จะถูกเปิดขึ้น ดังรูปที่ ก.5 ทำการเลือกที่ 3 ฟังก์ชันสมาชิก คลิก OK จำนวนที่ต้องการจะปรากฏที่หน้าต่างไดอะแกรม จำนวนของสมาชิกฟังก์ชันสามารถเพิ่มและลดได้โดยการแก้ไข เมื่อกำหนดเข้าไปครั้งแรกฟังก์ชันจะมีรูปร่างเป็นสามเหลี่ยมและจะมีการทับซ้อนกันในระดับที่เท่าเทียมมาจากโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากทำการเพิ่มฟังก์ชันสมาชิก จะสามารถทำการกำหนดชื่อของแต่ละฟังก์ชันได้โดยต้องมีจำนวนไม่มากกว่า 7 ตัวอักษร และต้องไม่ใช่ตัวอักษรพิเศษหรือตัวเลข เมื่อต้องการกำหนดชื่อให้คลิกที่เส้นฟังก์ชัน ทำการเปลี่ยนชื่อฟังก์ชัน ให้เป็น neg ดังรูปที่ ก.6




**รูปที่ ก.6** หน้าต่าง Input สามารถกำหนดและแก้ไขจำนวน และรูปร่างฟังก์ชัน

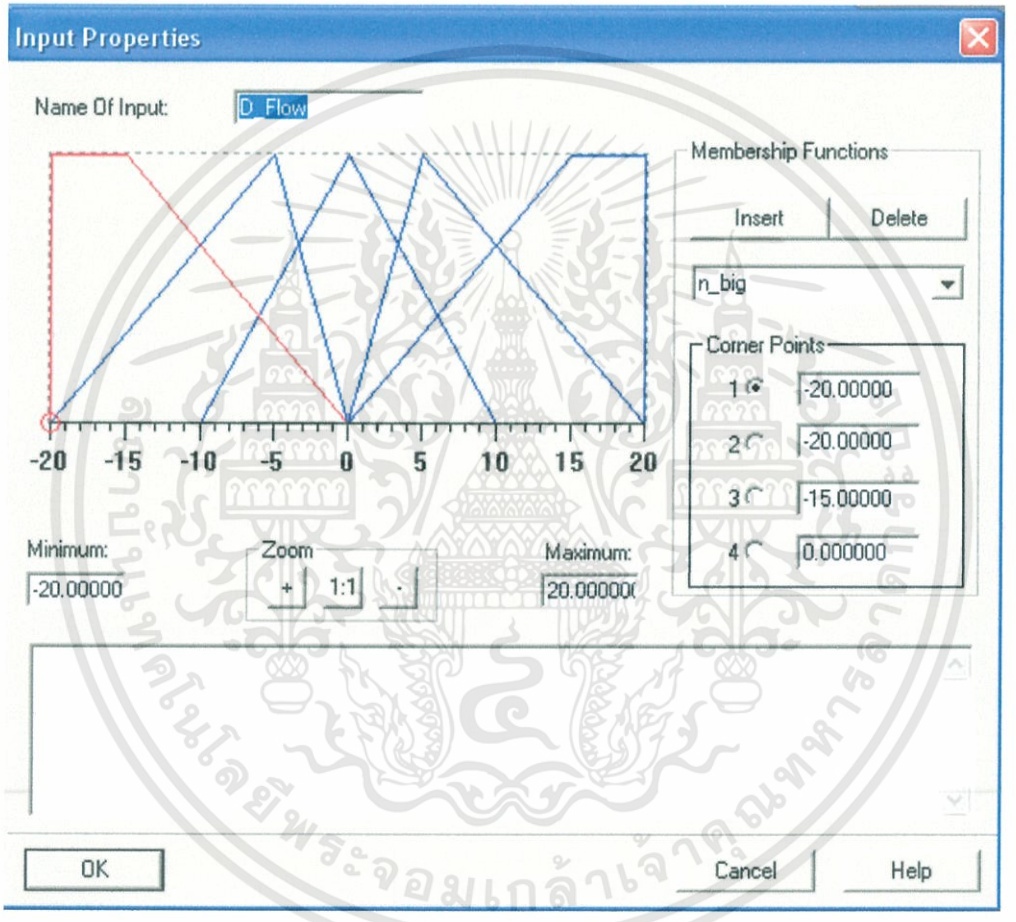
ต่อไปทำการกำหนดรูปร่างของฟังก์ชันสมาชิกโดยการเปลี่ยนตำแหน่งของจุดในฟังก์ชัน ในตอนแรกเลือกฟังก์ชันที่ต้องการเปลี่ยนรูปร่างโดยการคลิกที่ฟังก์ชัน จะปรากฏขึ้นมาเป็นเส้นสีแดง เลือกค่าจุดที่ต้องการเปลี่ยนโดยทำการกำหนดที่ Corner points ที่จุด 1, 2, 3, และ 4 นอกจากนั้นยังสามารถเปลี่ยนค่าได้โดยการคลิกลากที่ฟังก์ชัน ขณะที่กำลังเลือกค่าที่จุดใดจะมีปรากฏวงกลมขึ้น จากรูปที่ ก.6 จะเป็นการกำหนดฟังก์ชันแบบผสม โดยทำการกำหนดทั้งแบบสามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยมคางหมูผสมกัน ทั้งนี้แต่ละฟังก์ชันสมาชิกและแต่ละระบบจะมีความเหมาะสมของรูปร่างฟังก์ชันสมาชิกไม่เหมือนกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของกระบวนการและความเหมาะในทุกๆด้านของระบบ ทั้งนี้การกำหนดรูปร่างของฟังก์ชันสมาชิกขึ้นอยู่กับความชำนาญของผู้ใช้ เมื่อกำหนดเสร็จเรียบร้อยแล้วกด OK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีข้อบังคับว่าค่าของแต่ละฟังก์ชันต้องเรียงจากค่าน้อยไปค่ามาก P1≥P2≥P3≥P4

- ฟังก์ชั่นสมาชิก สำหรับอินพุต D_Flow

เปิดกล่องข้อความ Input Properties โดยการดับเบิลคลิกที่อินพุต D_Flow คลิก Insert กำหนดจานวนฟังก์ชั่นสมาชิกที่ 5 ฟังก์ชั่น จากนั้นคลิก OK จากนั้นทำการเปลี่ยนชื่อของแต่ละฟังก์ชัน เพื่อความเหมาะสมและความเข้าใจของผู้กำหนด คลิกลากเพื่อปรับรูปร่างของแต่ละฟังก์ชั่น ดังรูปที่ ก.7



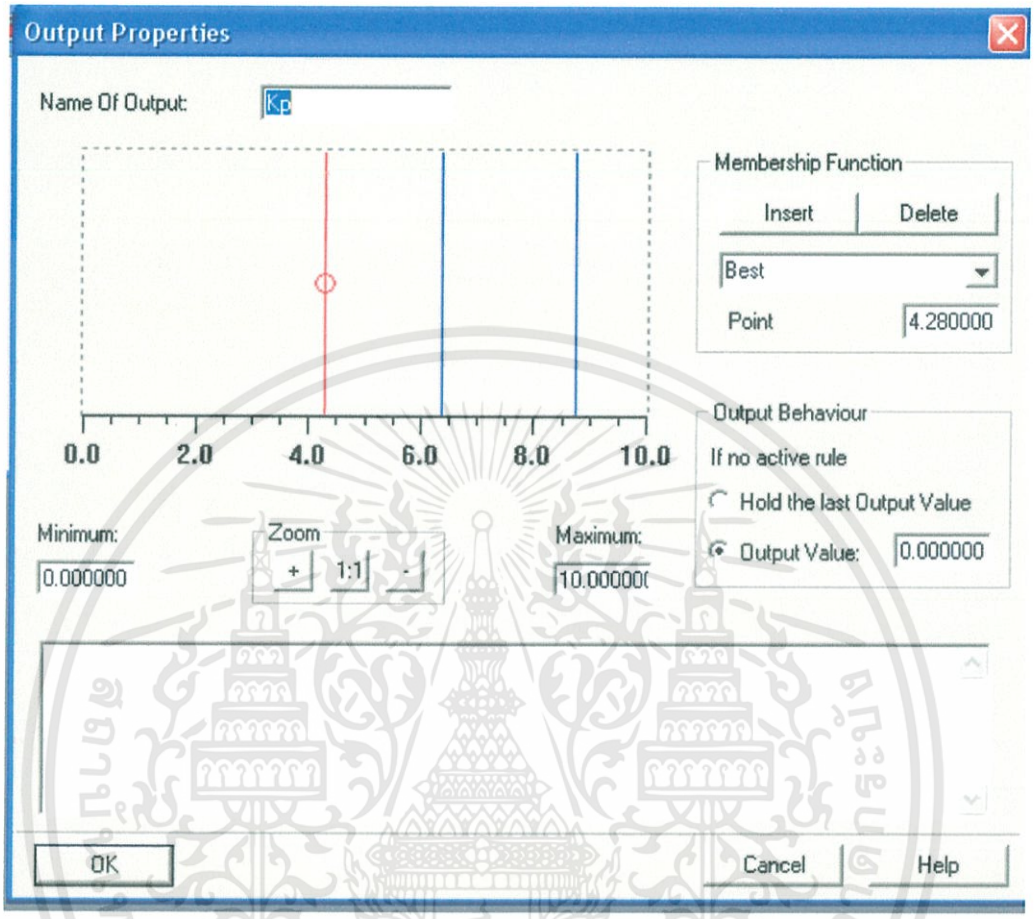

**รูปที่ ก.7** แสดงหน้าต่าง Input สามารถกำหนดและแก้ไขค่าอินพุตได้

- ฟังก์ชันสมาชิก สาหรับเอาต์พุต Kp

เปิดหน้าต่างข้อความโดยการดับเบิลคลิกที่เอาต์พุต Kp กำหนดจำนวนฟังก์ชันสมาชิก จำนวน 3 ฟังก์ชัน ด้วยการคลิก Insert Membership Functions ที่ Insert

จากนั้นทำการกำหนดชื่อและค่าของแต่ละฟังก์ชัน ดังรูปที่ ก.8 สามารถทำการแก้ไขค่าของฟังก์ชันได้โดยการเปลี่ยนตัวเลขในช่อง Point หรือการคลิกลากเส้นของฟังก์ชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



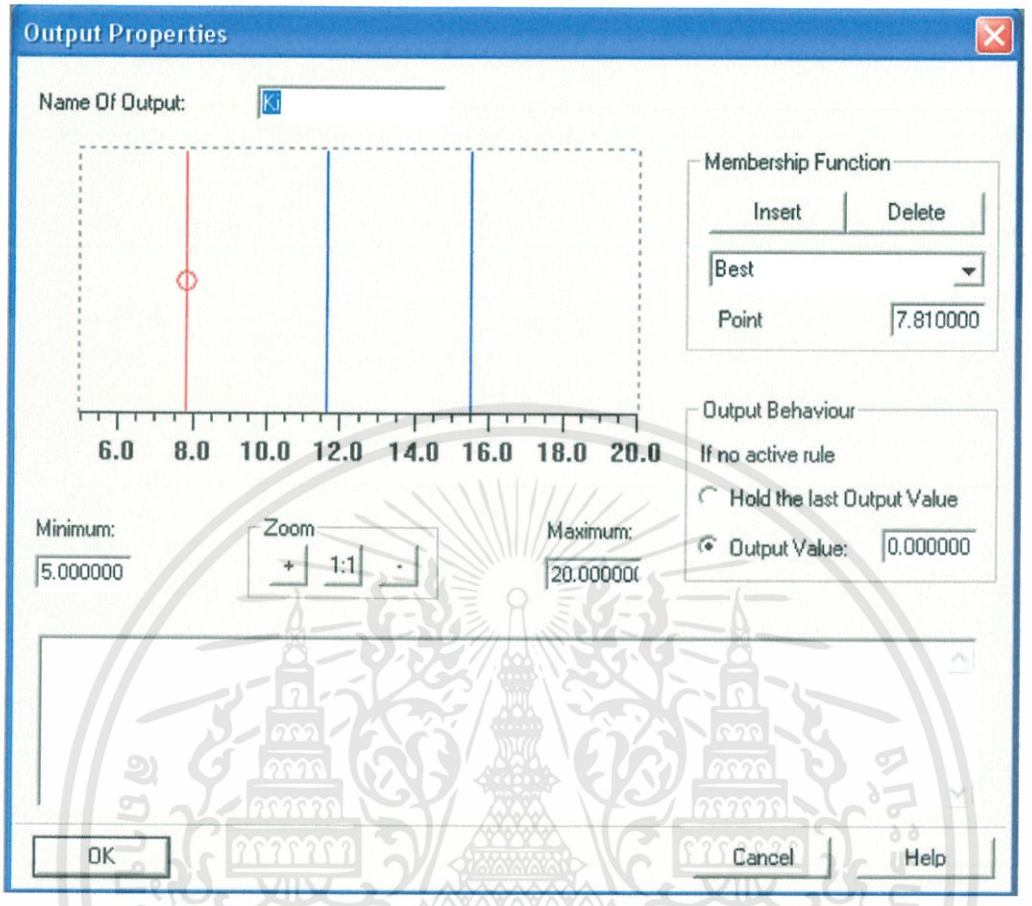

**รูปที่ ก.8** แสดงหน้าต่าง Output สามารถกำหนดและแก้ไขค่าเอาต์พุตได้

สุดท้ายทำการเลือกค่า Output Value ตั้งค่าที่ 0.0 เป็นการกำหนดเพื่อไม่ให้มีการเปลี่ยนแปลงกฎ เมื่อทำการกำหนดตามขั้นตอนทั้งหมดเรียบร้อยแล้วให้คลิกที่ OK จะปรากฏหน้าต่างของระบบฟัซซีอีกครั้ง

- ฟังก์ชั่นสมาชิก สำหรับเอาต์พุต Ki

เปิดหน้าต่างข้อความโดยการดับเบิลคลิกที่เอาต์พุต Ki กำหนดจำนวนฟังก์ชันสมาชิกจำนวน 3 ฟังก์ชัน ด้วยการคลิก Insert Membership Functions ที่ Insert จากนั้นทำการกำหนดชื่อและค่าของแต่ละฟังก์ชั่น ดังรูปที่ ก.9 สามารถทำการแก้ไขค่าของฟังก์ชันได้โดยการเปลี่ยนตัวเลขในช่อง Point หรือการคลิกลากเส้นของฟังก์ชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ ก.9** แสดงหน้าต่าง Output สามารถกำหนดและแก้ไขค่าเอาต์พุตได้

สุดท้ายทำการเลือกค่า Output Value ตั้งค่าที่ 0.0 เป็นการกำหนดเพื่อไม่ให้มีการเปลี่ยนแปลงกฎ เมื่อทำการกำหนดตามขั้นตอนทั้งหมดเรียบร้อยแล้วให้คลิกที่ OK จะปรากฏหน้าต่างของระบบฟัซซีอีกครั้ง

### ก.1.3 กฎของเมตริกซ์

ทำการเปิดหน้าต่างกล่องข้อความ Rule Table โดยการดับเบิ้ลคลิกที่ if....then เป็นกล่องข้อความสาหรับกำหนดและแก้ไขกฎที่ใช้สำหรับการควบคุมระบบฟัซซี ในกล่อง Rule Matrix เพื่อความชัดเจนในการทำงานจึงแสดงความสัมพันธ์ของกฎระหว่าง ค่าอินพุต เอาต์พุตและกฎ ในรูปแบบของเมตริกซ์ แต่เมตริกซ์นั้นสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ที่ 2 อินพุตและ 1 เอาต์พุตเท่านั้น แต่จะมีตารางกฎ Rules Table สำหรับระบบที่มีขนาดเล็ก หรือใหญ่กว่าที่กล่าวมาตามจำนวนอินพุตและเอาต์พุต ในตารางกฎจะปรากฏ 1 แถวแนวตั้งสำหรับ 1 กฎ ถ้ามีจำนวนใกล้ที่จะเกินขีดจากัด สามารถทำการลดจำนวนกฎได้โดยการกำหนดหลายเอาต์พุตสำหรับ 1 กฎ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตัวอย่าง**

ระบบตัวอย่าง จะมีกฎการควบคุมทั้ง 15 กฎ ดังนี้

L1 : If Flow is neg and D_flow is n_big then output is pool

L2 : If Flow is neg and D_flow is n_small then output is med

L3 : If Flow is neg and D_flow is null then output is med

L4 : If Flow is neg and D_flow is p_small then output is best

L5 : If Flow is neg and D_flow is p_big then output is best

L6 : If Flow is null and D_flow is n_big then output is best

L7 : If Flow is null and D_flow is n_small then output is med

L8 : If Flow is null and D_flow is null then output is pool

L9 : If Flow is null and D_flow is p_small then output is med

L10 : If Flow is null and D_flow is p_big then output is best

L11 : If Flow is pos and D_flow is n_big then output is best

L12 : If Flow is pos and D_flow is n_small then output is best

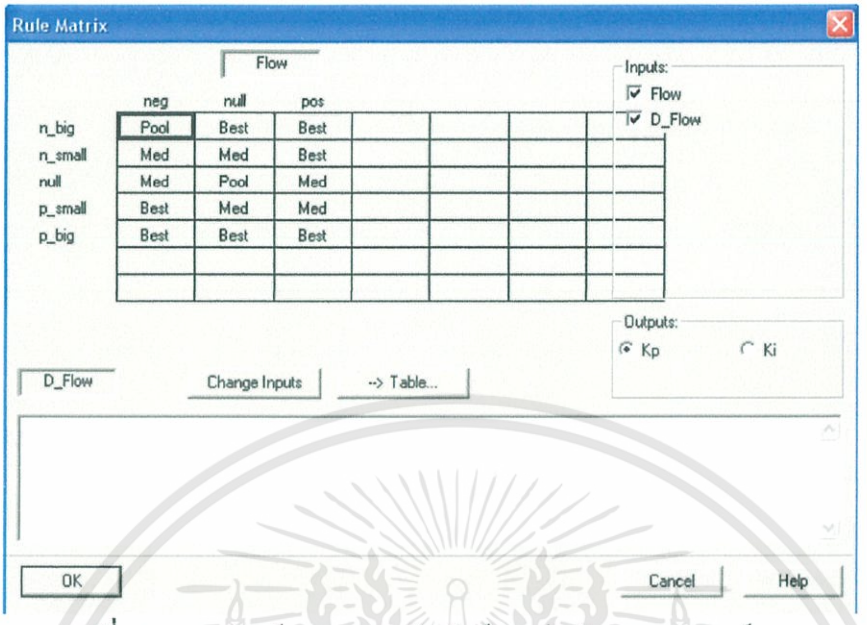
L13 : If Flow is pos and D_flow is null then output is med

L14 : If Flow is pos and D_flow is p_small then output is med

L15 : If Flow is pos and D_flow is p_big then output is best

การใช้ Rules Matrix จะมีการกำหนดกฎง่ายกว่า ดูจากความสัมพันธ์กันระหว่าง 2 อินพุต คือ Flow และ D_Flow จากนั้นทำการเลือกค่าเอาต์พุตที่เหมาะสม ดังได้แสดงเป็นกฎทั้ง 15 กฎข้างต้น การกำหนดค่าเอาต์พุตของอินพุตยังเป็นการทำให้เกิดการรวมกัน โดยเกิดจากการกำหนดค่า ลิงกวิสติก (จากเอาต์พุต) ท้ายที่สุดแล้วจะปรากฏเมตริกซ์ ดังรูป ก.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ ก.10** เมตริกซ์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุต

เมื่อทำการกำหนดค่าสิ้นสุด ให้ทำการยืนยันโดยคลิก OK หลังทาการกำหนดกฎเสร็จสิ้นแล้ว ถือว่าเป็นการกำหนดค่าต่างๆของระบบให้เสร็จสิ้นโดยสมบูรณ์ ลำดับต่อไปจะสามารถประมวลผลโดยใช้เป้าหมายของระบบ เพื่อให้เกิดการควบคุมฟัซซีที่มีประสิทธิภาพต่อไป

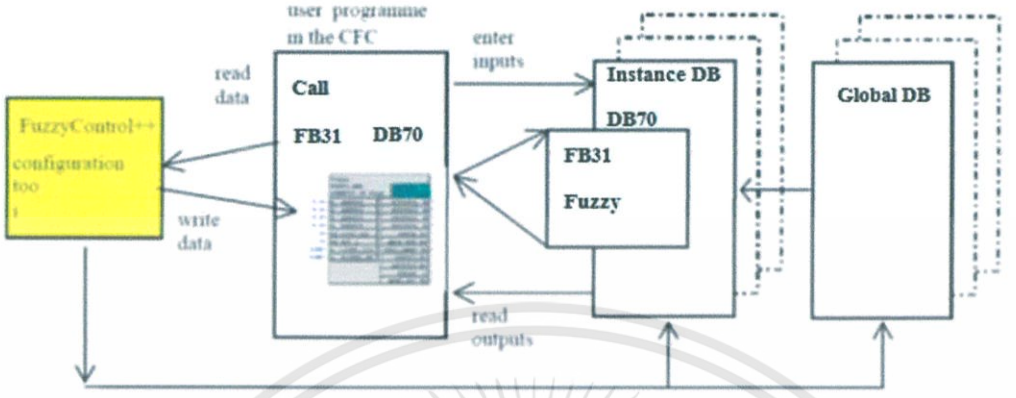
## ก.2 โครงสร้างขององค์ประกอบ

บล็อกฟังก์ชันฟัซซี จะมีขั้นตอนการเชื่อมต่อส่งผ่านข้อมูลระหว่างโปรแกรม เพื่อให้ประยุกต์ใช้ฟัซซีได้อย่างมีประสิทธิภาพ

- การ Fuzzification ของอินพุต
- ขั้นตอนการทำงานของกฎ
- Defuzzification และค่าเอาต์พุตจากผลลัพธ์ที่ได้ในเอาต์พุต

ตัวอย่างข้อมูลบล็อก (DB) ของตัวควบคุมจะสามารถโปรแกรมและสั่งการข้อมูลบล็อกที่อยู่ในโปรแกรม FuzzyControl++ รูปแบบการเชื่อมต่อระหว่างบล็อกฟังก์ชัน และการเชื่อมต่อกับโปรแกรม PCS 7 เมื่อเรียกใช้ฟังก์ชันบล็อก เพื่อติดต่อกับอินพุต (INPUT1, ... , INPUT8) จะต้องให้กับค่าที่ต้องการคืออินพุตจะต้องเชื่อมต่อกับบล็อกในโปรแกรม CFC ซึ่งจะส่งกลับค่าปัจจุบัน ค่าเอาต์พุตก็จะออกมาที่โปรแกรม CFC จะถูกประมวลผลจากบล็อกฟังก์ชันที่โปรแกรม FuzzyControl++ สามารถเชื่อมต่อและส่งต่อค่าเอาต์พุต ดังแสดงในรูปที่ ก.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ ก.11** แสดงโครงสร้างการเชื่อมต่อของบล็อกฟัซซี

สมาชิกและฟังก์ชันและกฎของฟัซซี โดยการป้อนโดยตรงใช้เครื่องมือการกำหนดค่าลงในฐานข้อมูล ซึ่งระบุไว้เมื่อทำการเชื่อมต่อระบบเป้าหมาย จำนวนดาต้าบล็อกต้องถูกป้อนเข้าที่อินพุต DB_No จากบล็อกฟังก์ชั่น CFC ต้องมีเลข DB เดียวกัน ในช่วงรันไทม์ข้อมูลปัจจุบันที่จำเป็นต้องมีการแลกเปลี่ยนระหว่าง DB กับข้อมูลของฟังก์ชั่นบล็อกบนโปรแกรม CFC

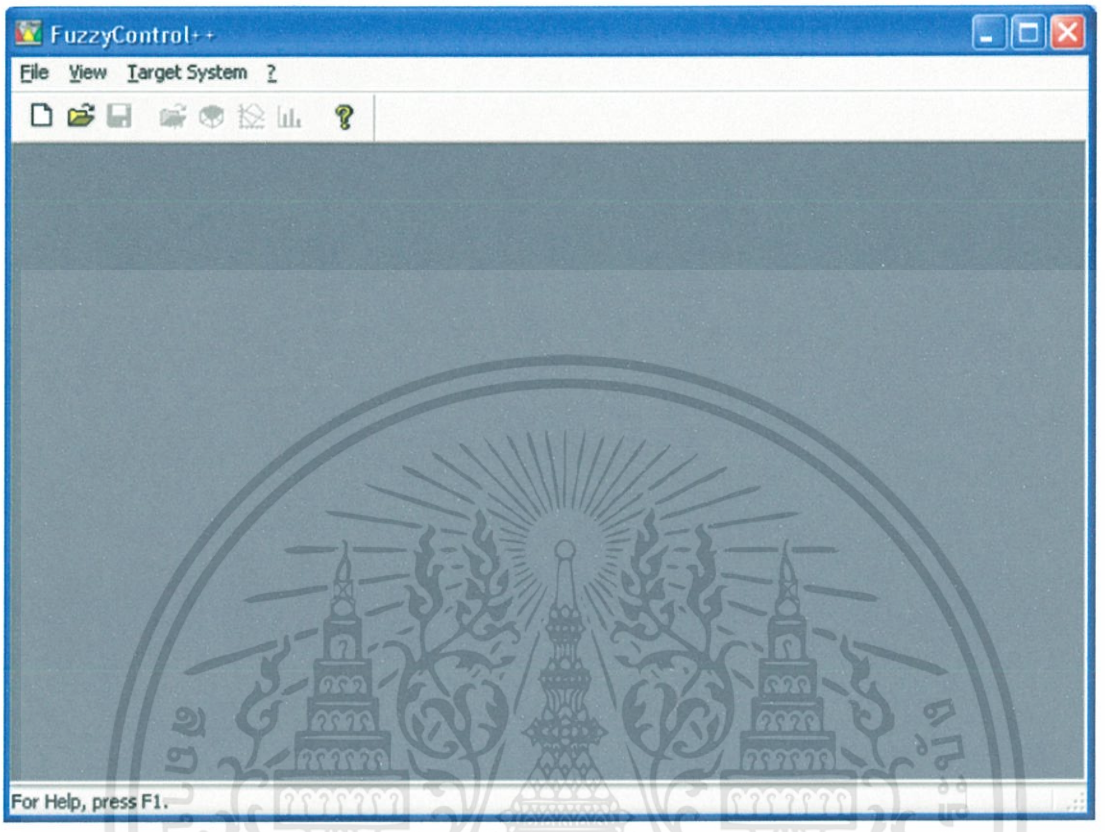
การใช้งานฟัซซีจำนวนมากสามารถถ่ายโอนไปได้แต่ต้องดำเนินการบล็อกทีละครั้งเท่านั้น

## ก.3 การเชื่อมต่อและเขียนค่าพารามิเตอร์ฟัซซีลงสู่ตัวควบคุม

หลังจากได้ทำการออกแบบฟังก์ชันฟัซซีได้ตามความต้องการ ขั้นตอนต่อไปก็คือ การส่งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของฟังก์ชันฟัซซีลงสู่หน่วยความจำของตัวควบคุม ซึ่งมีขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. รันโปรแกรม Fuzzy control++ ดังรูปที่ ก.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

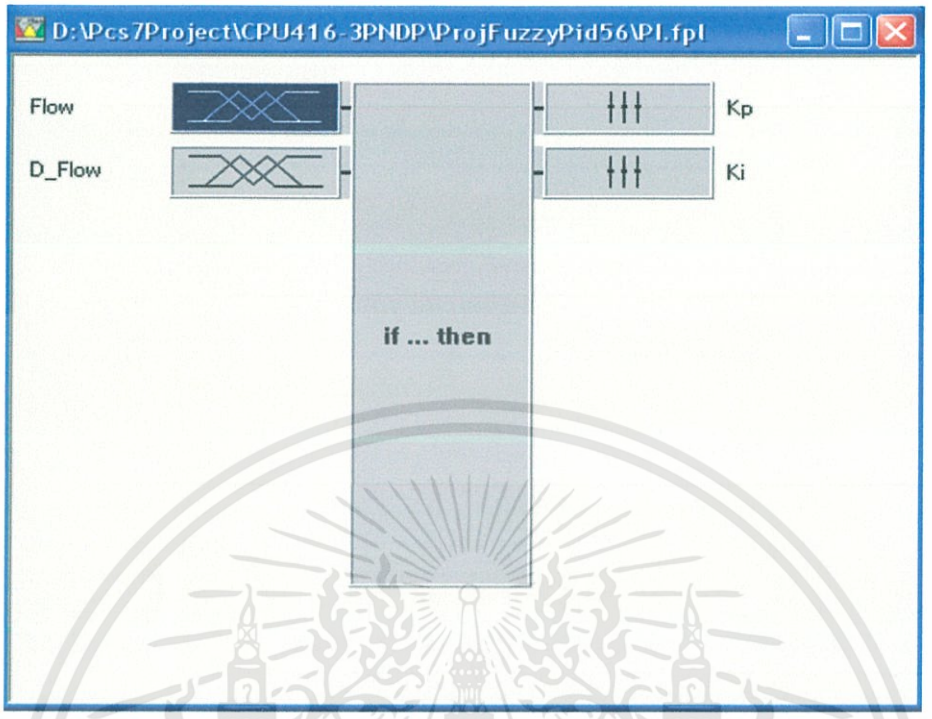



**รูปที่ ก.12** โปรแกรม FuzzyControl++

2. เปิดไฟล์นามสกุล fpl ที่ได้บันทึกไว้จากการออกแบบ ในเมนู เลือก File >Open เลือกไฟล์ที่บันทึกไว้ ในที่นี้คือ ไฟล์ PI.fpl

3. จะปรากฏหน้าต่างขึ้นมา ซึ่งมีรายละเอียดต่างๆ ประกอบด้วย ส่วนอินพุตคือ อัตราการไหล (Flow) ค่าความผิดพลาด (error) ของอัตราการไหล (D_Flow) ส่วนเอาต์พุตจะเป็นพารามิเตอร์ Kp (Proportional) และ Ki (Integral) และกฎต่างๆ ดังรูปที่ ก.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



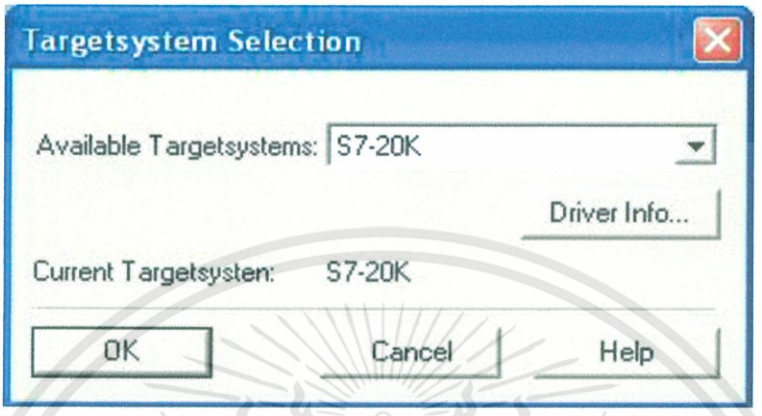

**รูปที่ ก.13** รายละเอียดของตัวฟัซซี

4. ที่แถบ Menu เลือก Target system จากนั้นเลือก Selection ตามรูปที่ ก.14

**รูปที่ ก.14** เมนู Target system เลือก Selection

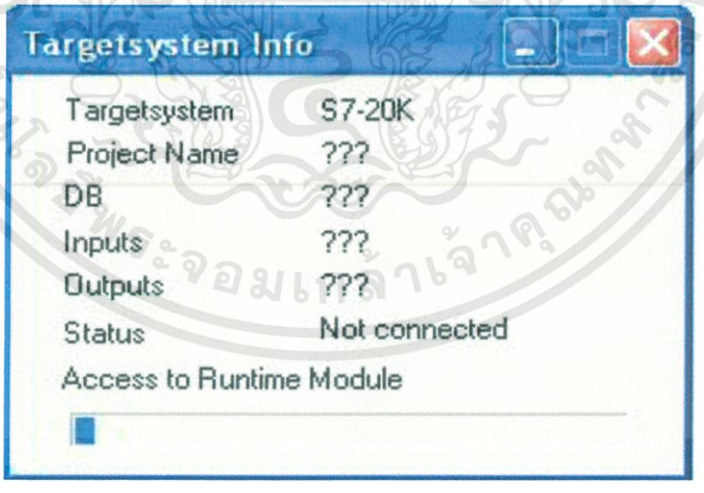
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. Avaliable Targetsystems (เป็นการเลือกชนิดของบล็อกฟังชั่น) ในที่นี้เราจะเลือก S7-20K จากนั้นกด OK ดังรูปที่ ก.15




**รูปที่ ก.15** ชนิดของบล็อกฟังชั่น

6. จะปรากฏหน้าต่าง Target system Info ขึ้นมา ดังรูปที่ ก.16 ซึ่งก็คือ ข้อมูลของพารามิเตอร์ฟังก์ชันฟังชั่น ประกอบด้วย ชนิดของบล็อกฟังชั่น (Target system) ชื่อโปรเจค (Project Name) หมายเลขบล็อกข้อมูล (Data Block : DB) จำนวนอินพุต (Inputs) จำนวนเอาต์พุต (Outputs) และสถานะการเชื่อมต่อ (Status)



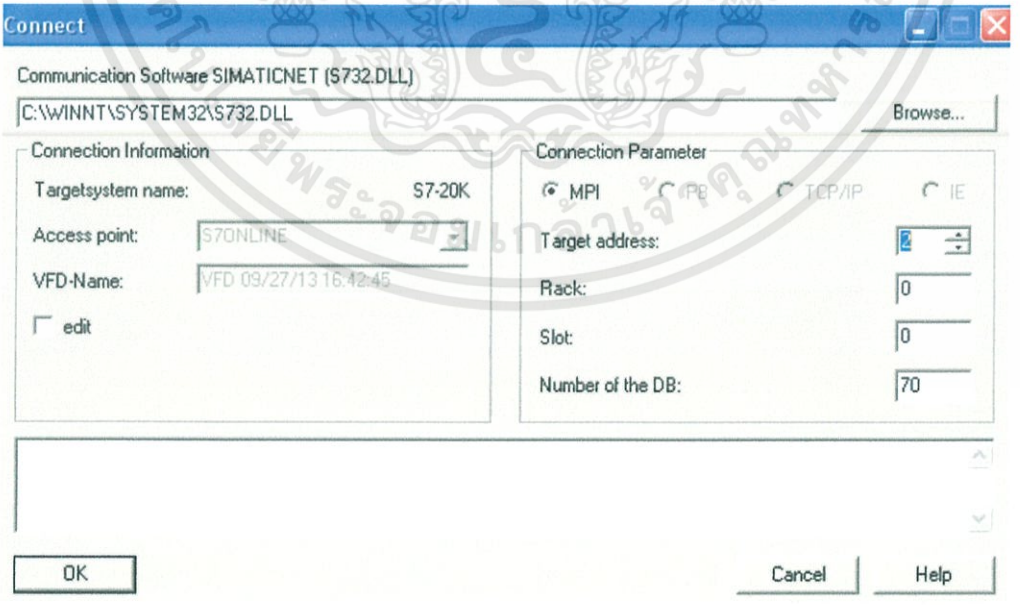

**รูปที่ ก.16** ข้อมูลของพารามิเตอร์ฟังก์ชันฟังชั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ไปที่แถบเมนู เลือก Target system อีกครั้ง เลือก Connect ดังรูปที่ ก.17 เพื่อทำการเชื่อมต่อโปรแกรม FuzzyControl++ เข้ากับโปรแกรมควบคุม PCS7

**รูปที่ ก.17** เมนู Target system เลือก Connect

8. ตั้งค่าพารามิเตอร์การเชื่อมต่อ ดังนี้ เลือกการเชื่อมต่อผ่าน MPI ค่าตั้ง Target address : 2 (แอดเดรสเป้าหมาย) เลือก Rack: 0 อยู่ที่ Slot: 0 และ หมายเลขบล็อกข้อมูล (Number of the DB) ดูจากบล็อกฟังชั่นในโปรแกรม CFC ในที่นี้คือ 70 แต่ละครั้งที่ทำโปรแกรมจะแตกต่างกันออกไป ดังแสดงในรูปที่ ก.18



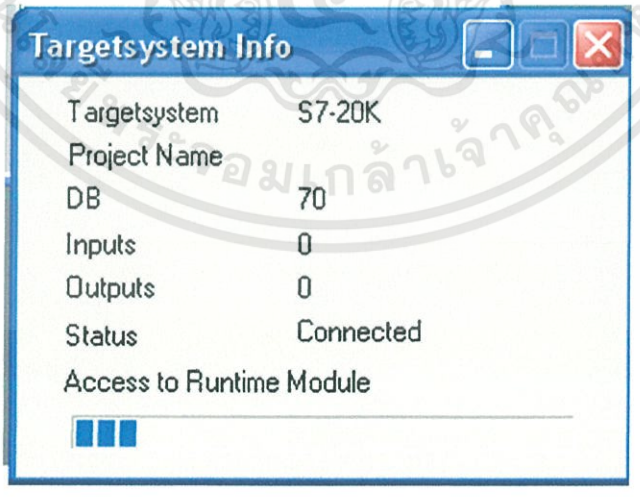

**รูปที่ ก.18** การตั้งค่าพารามิเตอร์การเชื่อมต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. ไปที่แถบเมนู เลือก Target system อีกครั้ง แต่เลือก Write ดังแสดงในรูปที่ ก.19 เพื่อเขียนข้อมูลของฟังก์ชันฟัซซีตามที่ได้ออกแบบไว้ลงสู่หน่วยความจำของตัวควบคุม

**รูปที่ ก.19** เมนู Target system เลือก Write

10. เมื่อค่าที่กำหนดตัวแปรต่างๆ ในการออกแบบฟัซซีจะเข้าไปสู่กระบวนการควบคุม หน้าต่าง Target system Info ที่เปิดไว้ จะเปลี่ยนดังที่แสดงในรูปที่ ก.20




**รูปที่ ก.20** ข้อมูลของพารามิเตอร์ฟังก์ชันฟัซซีขณะกำลังเขียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ข

# Continuous Function Chart (CFC)

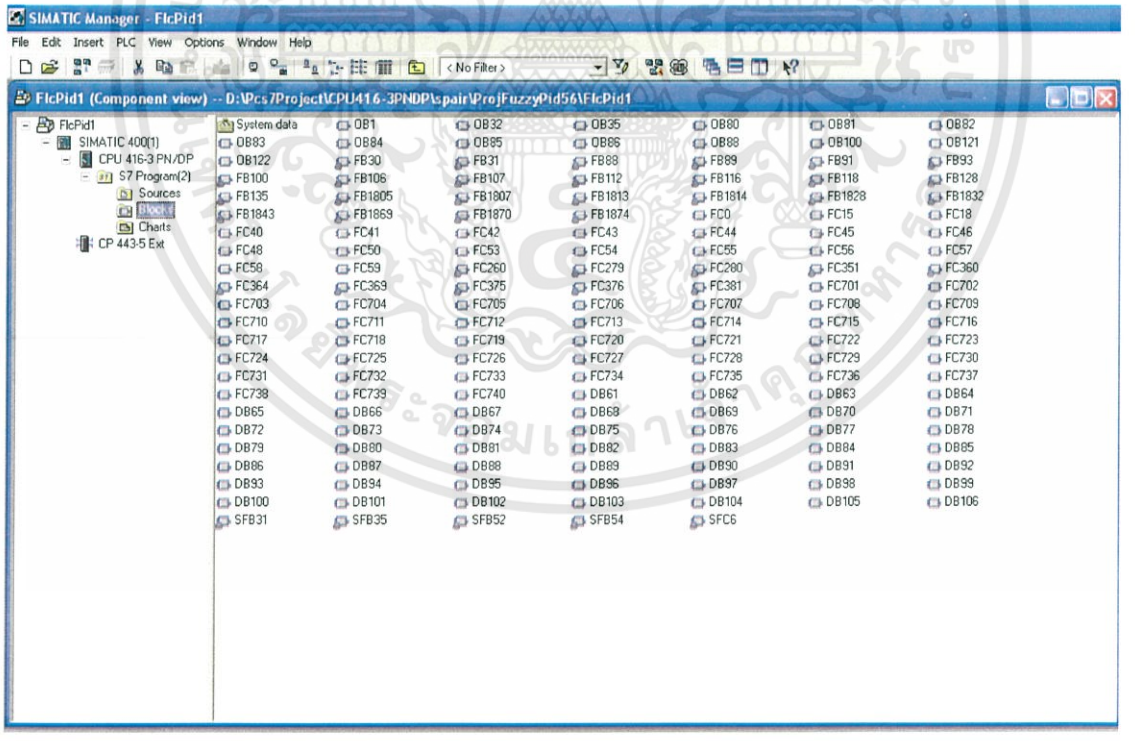
## ข.1 Block concept

### ข.1.1 ชนิดของบล็อก

บล็อกเป็นส่วนของโปรแกรมที่ลากเชื่อมต่อไปใน CFC chart เมื่อบล็อกถูกสร้างขึ้น ซึ่งเราสามารถกำหนดจำนวนของบล็อกได้

สำหรับ SIMATIC S7 CPUs นั้น ชนิดของบล็อกที่ถูกสร้างขึ้น แก้ไข และถูกรวบรวม ใน Ladder Logic editor (LAD), Statement List (STL) editor หรือ Structured Control Language (SCL) editor ส่วนในโครงงาน PCS7 นี้ ฟังก์ชั่นบล็อกจะถูกสร้างใน SCL

บล็อกในโครงงานนี้จะอยู่ในโฟลเดอร์ดังแสดงในรูปที่ ข.1 ในโฟลเดอร์จะประกอบด้วยบล็อกต่างๆ เช่น system function blocks (SFB), data blocks (DB) และ organization blocks (OB)




**รูปที่ ข.1** แสดงโฟลเดอร์และชนิดของบล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยชนิดของบล็อกจะเป็นตัวกำหนดคุณลักษณะเฉพาะของการใช้งานของบล็อกแต่ละชนิด ในการตั้งชื่อของบล็อกโดยปกติแล้วเราจะใช้สัญลักษณ์ในการตั้ง ดังแสดงในรูปที่ ข.2

S7 Program(2) (Symbols) -- FlcPid1\SIMATIC 400(1)\CPU 416-3 PN/DP

| | Status | Symbol | Address | Data type | Comment |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | Add04 | FC 351 | FC 351 | Adder with 4 values |
| 2 | | ALARM_8P | SFB 35 | SFB 35 | Generate Block-Related Messages with Values for 8 Signals |
| 3 | | CH_AI_5 | IW 520 | WORD | PV_P_AI |
| 4 | | CH_AI_7 | IW 524 | WORD | PV_F_AI |
| 5 | | CH_AO_1 | QW 512 | WORD | MV_P_AO |
| 6 | | CH_AO_2 | QW 514 | WORD | MV_F_AO |
| 7 | | CH_AO_8 | QW 526 | WORD | SP_INV_P |
| 8 | | ChkREAL | FC 260 | FC 260 | Check infinite values |
| 9 | | CONEC | FB 88 | FB 88 | Connection Function Block |
| 10 | | ConPerMon | FB 1805 | FB 1805 | Control performance monitoring |
| 11 | | CPU_RT | FB 128 | FB 128 | CPU Performance Block |
| 12 | | DeadTime | FB 1807 | FB 1807 | Time delay |
| 13 | | FbAnIn | FB 1813 | FB 1813 | Analog input driver for field devices |
| 14 | | FbAnOu | FB 1814 | FB 1814 | Analog output driver for field devices |
| 15 | | Fuzzy_Control20K | FB 31 | FB 31 | |
| 16 | | Fuzzy_Control4K | FB 30 | FB 30 | |
| 17 | | Lag | FB 1828 | FB 1828 | Lag function |
| 18 | | MeanTime | FB 1832 | FB 1832 | Average determination |
| 19 | | MOD_1 | FB 91 | FB 91 | Non-diagnostic Module Check (<=16 Channel) |
| 20 | | MOD_D1 | FB 93 | FB 93 | Diagnostic Module Check (<=16 Channel) |
| 21 | | MOD_PAX0 | FB 112 | FB 112 | Message Diagnostic of PA Slave(DP V0) at DP Mastersystem |
| 22 | | ModPreCon | FB 1843 | FB 1843 | Model predictive controller |
| 23 | | Mul04 | FC 360 | FC 360 | Multiplier with 4 values |
| 24 | | MV_F_DAT_PA | QD 533 | REAL | MV_F_PA |
| 25 | | MV_F_STA_PA | QB 537 | BYTE | |

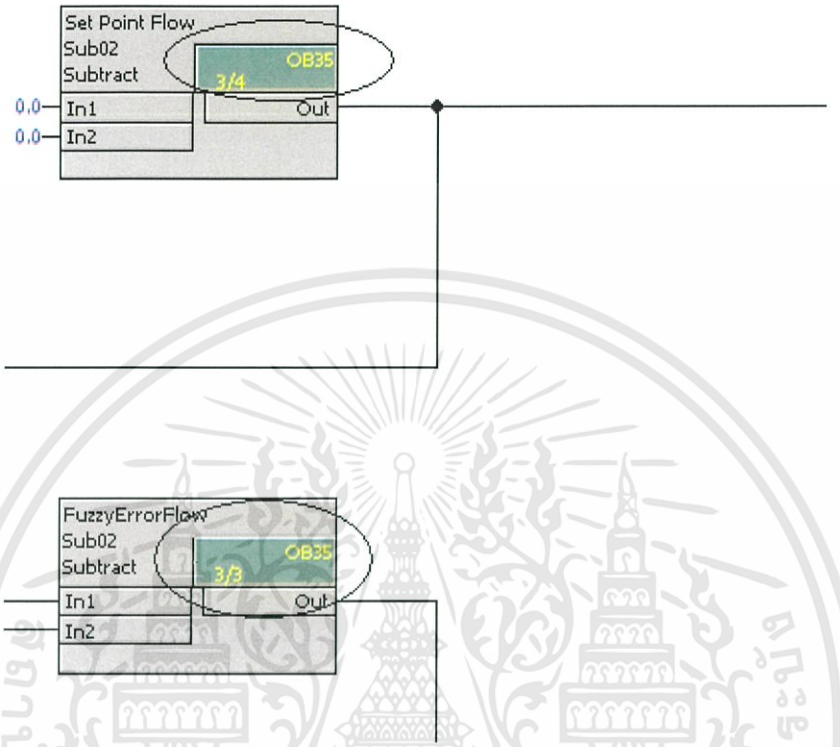
**รูปที่ ข.2** แสดงถึงสัญลักษณ์ของ โปรแกรม S7

### ข.1.2 คุณสมบัติรันไทม์ของบล็อก

คุณสมบัติรันไทม์ของบล็อกจะเป็นตัวกำหนดลำดับการทำงานของโครงสร้างทั้งหมดของซีพียู คุณสมบัติเหล่านี้ถูกกำหนดไว้สำหรับการตอบสนองของซีพียู

ผลการดำเนินการของบล็อกใน CFC สถานะของบล็อกจะแสดงลำดับการทำงาน เนื่องจากการแสดงผลของบล็อก จะแสดงให้เราเห็นว่ามีการดำเนินการอยู่หรือไม่ หรือไม่มีการทำงานเกิดขึ้นดังรูปที่ ข.3 เป็นรูปที่แสดงผลการดำเนินการของบล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ ข.3** แสดงผลการดำเนินการของบล็อก

## ข.2 CFC Chart

### ข.2.1 Chart I/Os (Chart in Chart)

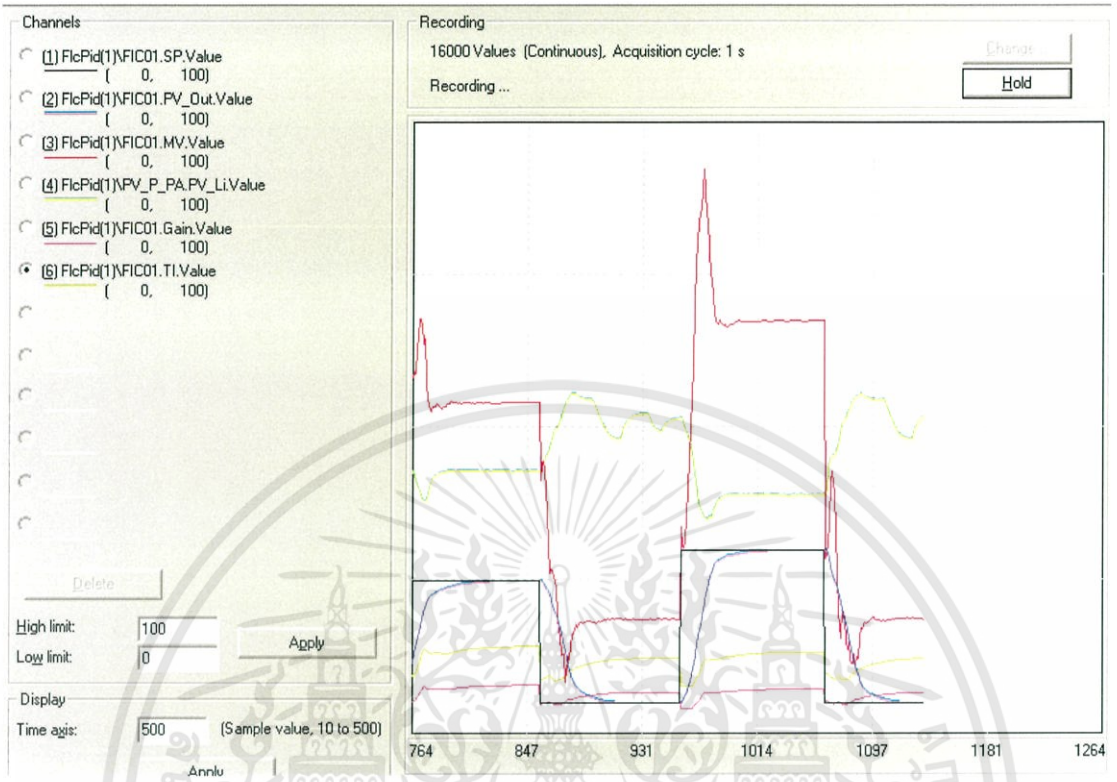
CFC มีอินพุตและเอาต์พุต (I/Os) เราต้องกำหนดบล็อก I/Os เป็นอินพุตและเอาต์พุตแผนภูมิ I/Os มีลักษณะคือ สามารถเพิ่มในแผนภูมิอื่นได้ และเชื่อมต่อกับแผนภูมิหรือบล็อกอื่นๆได้

### ข.2.2 การแสดงแนวโน้ม

การแสดงผลแนวโน้มนั้นสามารถมีมากถึง 8 เส้นโค้ง แต่ถึงอย่างไรก็ตามจะมีหนึ่งเส้นแสดงผลที่สามารถใช้งานได้ในช่วงเวลาหนึ่ง ผลที่แต่ละเส้นแสดงจะมีชื่อต่างๆกันไป ผลที่แสดงนั้นสามารถประกอบด้วยค่าจากแผนภูมิต่างๆที่เกี่ยวข้องกันได้

เมื่อเปิดผลการแสดงแนวโน้มและแสดงแนวโน้มที่ต้องการเลือก สามารถเริ่มบันทึกได้เมื่อเปิดใช้งานโหมดการทดสอบ ดังรูปที่ ข.4 เป็นรูปที่แสดงผลแนวโน้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ ข.4** แสดงผลแนวโน้ม

## ข.3 ฟังก์ชันของ PCS 7

บล็อก CTRL_PID (FB61) เป็นตัวควบคุมพีไอดีแบบต่อเนื่อง ใช้ในการกำหนดค่าเซ็ตพอยท์หรือค่าที่ตั้งไว้ของการควบคุม ตัวควบคุมทั้งหมด และตัวควบคุมสัดส่วน โดยมีคุณสมบัติดังนี้

- โหมดการทำงาน: ด้วยตนเอง หรือแบบอัตโนมัติ
- จำกัดการตรวจสอบของสัญญาณตัวแปรกระบวนการ และการควบคุมความผิดพลาดของสัญญาณและข้อจำกัด
- การควบคุมกระบวนการแบบไปข้างหน้า
- การติดตามค่าที่ตั้งไว้
- การกำหนดช่วงของค่าที่ตั้งไว้และตัวแปรกระบวนการ
- การกำหนดช่วงของตัวแปรจัดการ

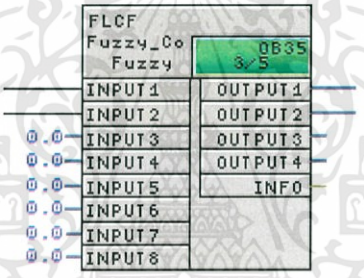
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เดดแบนในสัญญาณที่ผิดพลาดและค่าความสัมพันธ์
- ตัวควบคุมสัดส่วน ตัวควบคุมอินทิกรัล และตัวควบคุมอนุพันธ์ เราสามารถเลือกใช้งานในแต่ละส่วนได้
- ตัวควบคุมสัดส่วน และตัวควบคุมอนุพันธ์ จะกระทำแบบป้อนกลับ

## ข.4 องค์ประกอบภายใน CFC ที่สำคัญ

### ข.4.1 บล็อกฟัซซี

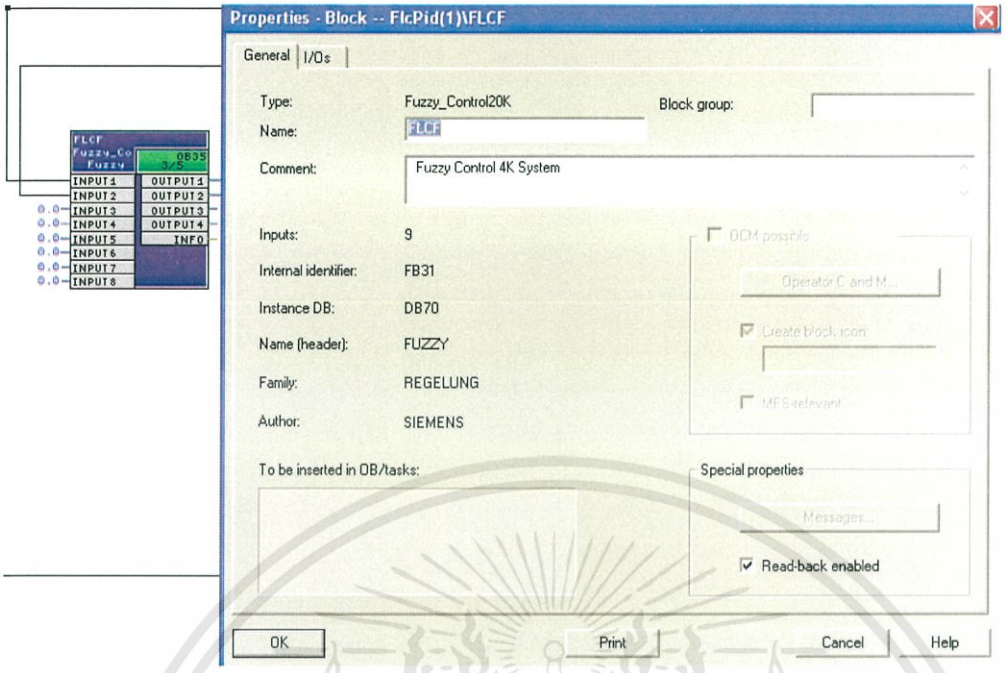
โดยรูปที่ ข.5 แสดงถึงบล็อกฟัซซีในโปรแกรม CFC




**รูปที่ ข.5** บล็อกฟัซซี

ชื่อบล็อก ซึ่งจะเป็นตัวบ่งบอกว่าบล็อกนั้นคืออะไรและหากเราทำการดับเบิลคลิกส่วนหัวบล็อกนั้น จะแสดงหน้าต่างซึ่งจะบอกถึง คุณลักษณะที่มาและยังสามารถตั้งชื่อและเขียนคำอธิบายได้ ดังรูปที่ ข.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

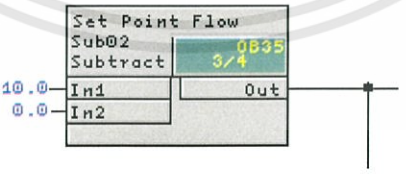



**รูปที่ ข.6** คุณลักษณะของบล็อกฟัซซี

บล็อกฟัซซี ซึ่งภายในบล็อกนั้นจะประกอบไปด้วยอินพุต 6 ตัวและเอาต์พุต 4 ตัว แน่นอนว่าการจะใช้อินพุตหรือเอาต์พุตกี่ตัวนั้นก็ขึ้นอยู่กับผู้ใช้งานว่าปัจจัยการควบคุมนั้นเป็นอย่างไร ซึ่งภายในโปรเจคนี้จะเลือกใช้เพียง 2 อินพุตและเอาต์พุต สามารถศึกษาการใช้งานเพิ่มเติมได้ในภาคผนวก ก.

### ข.4.2 บล็อกเซ็ตพอยท์หักล้างอัตราการไหล (3/4)

โดยรูปที่ ข.7 แสดงถึงบล็อกเซ็ตพอยท์หักล้างอัตราการไหล (3/4) ในโปรแกรม CFC



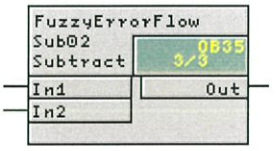

**รูปที่ ข.7** บล็อกเซ็ตพอยท์หักล้างอัตราการไหล

บล็อกนี้ทำหน้าที่รับค่าที่เราต้องการกำหนดให้ระบบนั้นมีการปรับค่าให้ถึงค่าเป้าหมาย หรือค่าเซ็ตพอยท์ อินพุต 1 และอินพุต 2 นั้นเป็นช่องสำหรับการกำหนดค่า และในส่วนของเอาต์พุตจะนำค่าอินพุตทั้งสองนั้นมาหักลบกันในที่นี้จะใช้เฉพาะอินพุตใดอินพุตหนึ่งเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ข.4.3 บล็อกเซ็ตพอยท์หักล้างอัตราการไหล (3/3)

โดยรูปที่ ข.8 แสดงถึงบล็อกเซ็ตพอยท์หักล้างอัตราการไหล (3/3) ในโปรแกรม CFC



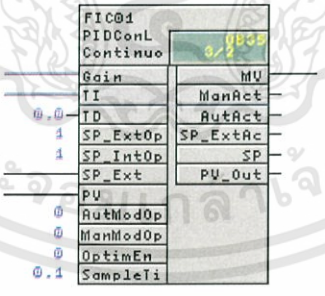

**รูปที่ ข.8** บล็อกเซ็ตพอยท์หักล้างอัตราการไหล (3/3)

บล็อกนี้ทำหน้าที่รับค่าที่เราต้องการกำหนดให้กับระบบและค่าที่มาจากส่วนของกระบวนการสามารถสังเกตได้จากรูปที่ ข.10 ลูกศรสีเขียวนี้คือค่าที่เราต้องการกำหนดให้กับระบบ ลูกศรสีดำนี้คือค่าที่เราได้จากกระบวนการ

ในส่วนของเอาต์พุตของบล็อกนี้คือค่าที่ได้จากการหักลบกันระหว่างค่าที่เรากำหนดและค่าที่เราได้จากกระบวนการ ซึ่งค่าที่ได้จะเป็นอินพุตของบล็อกฟัซซี (ลูกศรสีแดง) เช่นในรูปที่ ข.10 สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จากภาคผนวก ก.

### ข.4.4 บล็อกพีไอดี

โดยรูปที่ ข.9 แสดงถึงบล็อกพีไอดีในโปรแกรม CFC

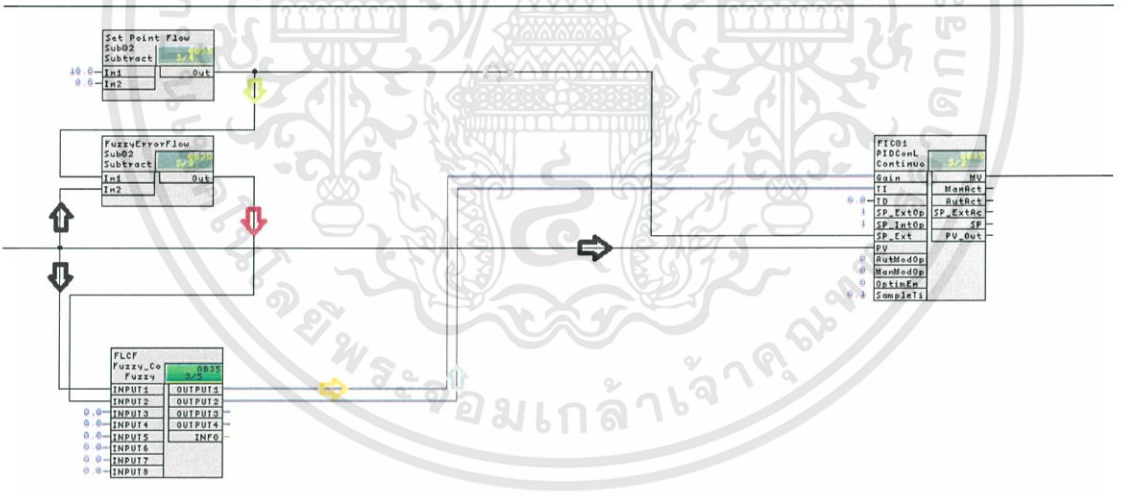



**รูปที่ ข.9** บล็อกพีไอดี

- Gain หรือ อัตราการขยาย (Kp) ซึ่งจะรับค่ามาจากส่วนของเอาต์พุต 1 ของบล็อกฟัซซี (ลูกศรสีส้ม) เช่นในรูปที่ ข.10 สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้ในส่วนของภาคผนวก ก.
- TI หรือ อินทิกอล (Integral Time) ซึ่งจะรับค่ามาจากส่วนของเอาต์พุต 2 ของบล็อกฟัซซี (ลูกศรสีฟ้า) เช่นในรูปที่ ข.10 สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้ในส่วนของภาคผนวก ก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- SP_Ect0p และ SP_Int0p เป็นส่วนของการตั้งค่าว่าเราจะใช้ค่าจากภายในบล็อกหรือภายนอกมาใช้งานซึ่งภายในโปรเจคนี้จะใช้ค่าจากภายนอกซึ่งดูจากรูปที่ ข.10 จะเห็นชัดเจนว่าคือค่าที่ได้จากการกำหนดเอง (ลูกศรสีม่วง) เพราะฉะนั้น เราจะทำการดับเบิ้ลคลิก SP_Ect0p และให้ค่าเท่ากับ 1 และ SP_Int0p ให้ค่าเท่ากับ 0
- MV หรือ ค่าตัวแปรจัดการ (Manipulated Value) เป็นเอาต์พุตที่จะนำไปใช้ในการควบคุม
- ManAct และ AutAct หรือ การทำงานแบบทำด้วยตัวเอง และ อัตโนมัติ ซึ่งภายในโปรเจคนี้เราจะเลือกใช้แบบอัตโนมัติเพราะเราจะให้บล็อกฟัซซีนั้นเป็นผู้ปรับแต่งค่าอัตราการขยายและอินทิกอลเอง (ศึกษาเพิ่มเติมได้ในภาคผนวก ก.) โดยที่เราทำการปรับค่า ManAct เท่ากับ 0 และให้ AutAct เท่ากับ 1 ซึ่งถ้าหากเราต้องการจะลองปรับแต่งค่าอัตราการขยายและอินทิกอลด้วยตัวเองเราก็สามารถทำได้โดย ปรับค่า ManAct และ AutAct สลับกัน และดับเบิ้ลคลิกอัตราการขยายและอินทิกอลแต่ละตัวและทำการป้อนค่าที่เราสนใจ




**รูปที่ ข.10** ภาพแสดงการเชื่อมต่อของบล็อกภายในโปรแกรม CFC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้