

การใช้ตัวควบคุมพีไอแบบปรับเองด้วยฟัซซี่
ในระบบควบคุมแบบกระจายส่วนสำหรับกระบวนการของไหล

IMPLEMENTATION OF SELF-TUNING FUZZY PI CONTROLLER
ON DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM FOR FLOW PROCESS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2558

KMITL-2015-EN-M-080-179

การใช้ตัวควบคุมพีไอแบบปรับเองด้วยฟัซซี่
ในระบบควบคุมแบบกระจายส่วนสำหรับกระบวนการของไหล

IMPLEMENTATION OF SELF-TUNING FUZZY PI CONTROLLER
ON DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM FOR FLOW PROCESS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IMPLEMENTATION OF SELF-TUNING FUZZY PI CONTROLLER
ON DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM FOR PROCESS



KHEMJIRA ASSAWATHANATORN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN CONTROL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KMITL-2015-EN-M-080-179



COPYRIGHT 2015

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ยืมได้เห็นว่าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การใช้ตัวควบคุมพีไอแบบปรับเองด้วยฟัซซีในระบบควบคุมแบบกระจายส่วน
สำหรับกระบวนการของไหล

Thesis Title Implementation of Self-tuning Fuzzy PI Controller on Distributed Control
System for Flow Process

นักศึกษา นายเชมจิรา อัครนาร

รหัสประจำตัว 53610910

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมระบบควบคุม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.คงศักดิ์ อนันตธีรฤรัตน์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ (ร่วม) รศ.สักรียา ชิตวงศ์


หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2015-EN-M-080-179

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.ถาวร เบญจนาสุทธิ์	
รศ.ดร.ชนินทร์ บุญลักษณะนาม	
รศ.ดร.จกกล งามวิวิทย์	
รศ.สักรียา ชิตวงศ์	
ผศ.ดร.คงศักดิ์ อนันตธีรฤรัตน์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันพุธที่ 15 กรกฎาคม พ.ศ. 2558 เวลา 15.00-17.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคารเฉลิมพระเกียรติใหม่ ห้อง HM-301

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงวันที่ 15 กรกฎาคม พ.ศ. 2558 ในการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้ตัวควบคุมฟีไอบางแบบปรับเองด้วยฟิชซีในระบบควบคุมแบบกระจายส่วนสำหรับกระบวนการของไหล
นักศึกษา	นายเชมจิรา อัครธนาธร
รหัสประจำตัว	53610910
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมระบบควบคุม
พ.ศ.	2558
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ. ดร. คงศักดิ์ อนันตศิริรัฐรัตน์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์(ร่วม)	รศ. สักกริยา ชิตวงศ์

บทคัดย่อ

ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์วัดและตัวควบคุม จากสัญญาณที่อยู่ในรูปแบบแอนาลอกเป็นสัญญาณที่อยู่ในรูปแบบดิจิทัล หรือมีการเปลี่ยนแปลงแบบพารามิเตอร์ของกระบวนการ ทำให้สมรรถนะของตัวควบคุมลดลง เนื่องจากพารามิเตอร์ของตัวควบคุมคงที่ เพื่อที่จะแก้ไขปัญหาดังกล่าว จึงได้มีการนำเสนอตัวควบคุมฟีไอบางแบบปรับตัวเอง ซึ่งวิธีการปรับค่าเองที่นิยมใช้คือ วิธีการปรับค่าเองแบบฟิชซี โดยในวิทยานิพนธ์นี้เป็นการนำเสนอการใช้ตัวควบคุมฟีไอบางแบบปรับเองด้วยฟิชซี สำหรับการควบคุมกระบวนการของไหล ทั้งวิธีการฟิชซีและตัวควบคุมจะถูกพัฒนาและใช้งานบนระบบควบคุมแบบกระจายส่วน โดยที่การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์วัดและตัวควบคุม จะใช้โมดูลสัญญาณแอนาลอกอินพุตและเอาต์พุต ในช่วง 4-20 มิลลิแอมป์ และใช้สัญญาณดิจิทัลชนิดโปรฟิบัลฟีเอ ในการเปรียบเทียบผลตอบสนองที่เกิดขึ้น โดยจะมีการใช้ตัวควบคุมแบบฟีไอบางแบบมาใช้ในการควบคุมกระบวนการของไหล มาเปรียบเทียบผลตอบสนองกับการใช้ตัวควบคุมแบบฟีไอบางแบบปรับเองด้วยฟิชซี ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะเห็นได้ว่า เมื่อมีการเปลี่ยนรูปแบบการเชื่อมต่อจากแอนาลอก เป็นดิจิทัล โดยใช้ตัวควบคุมแบบฟีไอบางแบบ ในการการควบคุมกระบวนการของไหล พบว่าตัวแปรของกระบวนการของไหลเกิดการแกว่ง เนื่องจากพารามิเตอร์ของกระบวนการเปลี่ยนไป โดยแนวทางแก้ไขก็คือ การปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมฟีไอบางแบบใหม่ โดยผู้ใช้งาน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ตัวควบคุมแบบฟีไอบางแบบปรับเองด้วยฟิชซี พบว่าสามารถควบคุมตัวแปรของกระบวนการของไหลให้เข้าสู่ค่าที่ต้องการได้ โดยค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมฟีไอบางแบบ ซึ่งก็คือ ค่าอัตราขยายสัดส่วน และค่าเวลาอินทิกรัล จะถูกปรับเองด้วยฟิชซีให้สอดคล้องกับกฎที่ได้ตั้งไว้ให้เหมาะสมกับผลตอบสนองของกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis title	Implementation of Self-tuning Fuzzy PI Controller on Distributed Control System for Flow Process
Student	Mr. Khemjira Assawathanatorn
Student ID.	53610910
Degree	Master of Engineering
Program	Control Engineering
Year	2015
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Kongsak Anuntahirunrat
Thesis Co-Advisor	Assoc. Prof. Sakreya Chitwong

ABSTRACT

In case of changing a communication between field instruments and controller from analog signal into digital signal or of changing parameters of process, performance of controller is degraded because of the fixed parameters of process controller. To solve this problem, a self-tuning PI controller is proposed. One of a popular self-tuning method is self-tuning fuzzy. In this thesis, we present implementing of self-tuning fuzzy PI controller for flow control system. Both fuzzy and PI controller is developed and implemented on distributed control system as controller. The analog signal and digital signal are used for communicating between field instruments and distributed control system. The analog input and output modules is employed for analog signal in range 4-20 mA while PROFIBUS PA is employed for digital signal. The comparison between the responses of flow process using fixed PI controller and fuzzy PI controller are shown. The results show that when changing a communication from analog to digital signal in case that using fixed PI controller, the response of flow process variable oscillates because of process parameters are changed. To solve the problem, we need to retune PI parameters. So when using Fuzzy PI controller, the response of flow process variable can be controlled to reach the flow setpoint and result show that PI are automatic adjusted by fuzzy according the specified fuzzy rule to the process.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ทั้งสองท่าน คือ ท่านอาจารย์ ผศ. ดร. คงศักดิ์ อนันตศิริภูริรัตน์ และ รศ. สักกรียา ชิตวงศ์ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะ ช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า



เชมจิรา อัครนารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
คำย่อและสัญลักษณ์.....	XI

บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	1
1.4 แนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.6 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ฟัชชีลอจิก.....	4
2.2 ฟัชชีเซต.....	4
2.3 แบบการควบคุมแบบฟัชชี.....	5
2.3.1 การทำฟัชชี.....	7
2.3.2 การอนุมานฟัชชีจากฐานกฎ.....	9
2.3.3 การรวมกฎ.....	12
2.3.4 การทำดีฟัชชี.....	12

บทที่ 3 การออกแบบระบบควบคุมกระบวนการ.....	14
3.1 แนวคิดในการออกแบบระบบควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอร่วมกับฟัชชี.....	14
3.1.1 กระบวนการ.....	14
3.1.2 ตัวควบคุมพีไอ.....	15
3.1.3 ระบบฟัชชี.....	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ IV ย่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2 การออกแบบกฎของฟิชชีที่ปรับค่าเอง.....	18
บทที่ 4 การประยุกต์ใช้ในตัวควบคุมพีไอร่วมกับฟิชชีบนระบบควบคุมแบบกระจายส่วน.....	19
4.1 การออกแบบระบบควบคุมแบบกระจายส่วน.....	19
4.1.1 AS (Automation System).....	19
4.1.2 OS (Operator Station).....	20
4.1.3 ES (Engineering Station).....	20
4.2 การตั้งค่าอุปกรณ์โปรฟิบบีเอ.....	23
4.3 ฟังก์ชันที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมของระบบควบคุมแบบกระจายส่วน.....	25
4.4 โปรแกรมของระบบควบคุมแบบกระจายส่วนที่ใช้ในการทดลอง.....	28
4.4.1 การควบคุมอัตราการไหลด้วยตัวควบคุมพีไอผ่านทาง โมดูลแอนาล็อกอินพุตและโมดูลแอนาล็อกเอาต์พุต.....	28
4.4.2 การควบคุมอัตราการไหลด้วยตัวควบคุมพีไอผ่านทาง อุปกรณ์โปรฟิบบีเอ.....	29
4.4.3 การควบคุมอัตราการไหลด้วยตัวควบคุมพีไอร่วมกับฟิชชีผ่านทาง โมดูลแอนาล็อกอินพุตและโมดูลแอนาล็อกเอาต์พุต.....	30
4.4.4 การควบคุมอัตราการไหลด้วยตัวควบคุมพีไอร่วมกับฟิชชีผ่านทาง อุปกรณ์โปรฟิบบีเอ.....	31
4.5 ระบบฟิชชี.....	32
บทที่ 5 ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผล.....	37
5.1 การควบคุมอัตราการไหลด้วยตัวควบคุมพีไอผ่านทางโมดูลแอนาล็อกอินพุต และโมดูลแอนาล็อกเอาต์พุต.....	37
5.2 การควบคุมอัตราการไหลด้วยตัวควบคุมพีไอผ่านทางอุปกรณ์โปรฟิบบีเอ.....	39
5.3 การควบคุมอัตราการไหลด้วยตัวควบคุมพีไอร่วมกับฟิชชีผ่านทาง โมดูลแอนาล็อกอินพุตและโมดูลแอนาล็อกเอาต์พุต.....	43
5.4 การควบคุมอัตราการไหลด้วยตัวควบคุมพีไอร่วมกับฟิชชี ผ่านทางอุปกรณ์โปรฟิบบีเอ.....	46

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 6 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	50
6.1 บทสรุป.....	50
6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา.....	50
เอกสารอ้างอิง.....	51
ภาคผนวก.....	52
ภาคผนวก ก. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	53
ภาคผนวก ข. งานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์.....	57
ประวัติผู้เขียน.....	63



สารบัญตาราง

ตารางที่

หน้า

3.1 ตารางแสดงกฎการอนุมานพีชชี..... 18



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ระดับความเป็นสมาชิกในรูปแบบตรรกะแบบฟัซซี	4
2.2 ระดับความเป็นสมาชิกในรูปแบบตรรกะแบบดั้งเดิม	5
2.3 การซ้อนทับกันของฟัซซีเซต	5
2.4 โครงสร้างของตัวควบคุมแบบฟัซซี	6
2.5 ตัวอย่างการทำฟัซซีของอินพุตค่าความผิดพลาด	8
2.6 ตัวอย่างการทำฟัซซีของอินพุตอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความผิดพลาด	9
2.7 ตัวอย่างระดับความเป็นสมาชิกของเอาต์พุต	11
2.8 การอนุมานฟัซซีแบบ Mamdani	11
2.9 ผลการรวมกฎของ ค่าความผิดพลาด = -1.5°C และ อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาด = 4.0°C/s	12
2.10 การทำดีฟัซซี ของระบบควบคุมฟัซซี	13
3.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมกระบวนการด้วยตัวควบคุมพีไอร่วมกับฟัซซี	14
3.2 ระบบฟัซซีที่มี 2 อินพุต และ 2 เอาต์พุต	15
3.3 ระดับความเป็นสมาชิกของอินพุต Error	16
3.4 ระดับความเป็นสมาชิกของอินพุต Flow	16
3.5 ระดับความเป็นสมาชิกของเอาต์พุต K_p	17
3.6 ระดับความเป็นสมาชิกของเอาต์พุต T_i	17
4.1 การเชื่อมต่อผ่านโมดูลแอนาล็อกอินพุตและโมดูลแอนาล็อกเอาต์พุต	20
4.2 การเชื่อมต่อผ่านโปรปีบีเอสพีไอ	20
4.3 AS - Hardware Configuration	21
4.4 AS - Network Configuration	21
4.5 ภาพรวมของระบบควบคุมแบบกระจายส่วน	22
4.6 ภาพรวมของการเขียนโปรแกรมควบคุมระบบควบคุมแบบกระจายส่วน	23
4.7 การตั้งค่า IF303 ช่องที่ 2 ที่ต่อกับ PT2 ด้วยซอฟต์แวร์ SIMATIC PDM	24
4.8 การตั้งค่า IF303 ช่องที่ 3 ที่ต่อกับ FT1 ด้วยซอฟต์แวร์ SIMATIC PDM	24
4.9 การตั้งค่า FI303 ช่องที่ 1/3 ที่ต่อกับ CV1/CV2 ด้วยซอฟต์แวร์ SIMATIC PDM	25
4.10 PCS7-CFC: ฟังก์ชันตัวควบคุมพีไอ - PIDConL (FIC-102)	26
4.11 PCS7-CFC: ฟังก์ชันระบบฟัซซี - Fuzzy_20 (FIC-101)	27
4.12 PCS7-CFC: ฟังก์ชันอ่านค่าอินพุตผ่านระบบบัส - FbAnIn (PV_F_PA)	27
4.13 PCS7-CFC: ฟังก์ชันส่งค่าเอาต์พุตผ่านระบบบัส - FbAnOu (MV_F_PA)	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.14 PCS7-CFC: ฟังก์ชันอ่านค่าอินพุตผ่านโมดูลแอนาล็อก- Pcs7AnIn (PV_F_AI).....	28
4.15 PCS7-CFC: ฟังก์ชันส่งค่าเอาต์พุตผ่านโมดูลแอนาล็อก- Pcs7AnOu (MV_F_AO).....	28
4.16 PCS7-การเขียนโปรแกรม: ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอ ผ่านโมดูลแอนาล็อกอินพุต/เอาต์พุต.....	29
4.17 PCS7-การเขียนโปรแกรม: ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอ ผ่านอุปกรณ์โปรพิบัสพีเอ.....	29
4.18 PCS7-การเขียนโปรแกรม: ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอร่วมกับพีซีซี ผ่านโมดูลแอนาล็อกอินพุต/เอาต์พุต.....	30
4.19 PCS7-การเขียนโปรแกรม: ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอร่วมกับพีซีซี ผ่านอุปกรณ์โปรพิบัสพีเอ.....	31
4.20 ซอฟต์แวร์ FuzzyControl++: ตั้งค่าระบบเป็น 2 อินพุต และ 2 เอาต์พุต.....	32
4.21 ซอฟต์แวร์ FuzzyControl++: ตั้งค่าระดับความเป็นสมาชิกอินพุต Flow.....	33
4.22 ซอฟต์แวร์ FuzzyControl++: ตั้งค่าระดับความเป็นสมาชิกอินพุต Error.....	33
4.23 ซอฟต์แวร์ FuzzyControl++: ตั้งค่าระดับความเป็นสมาชิกเอาต์พุต K_p	34
4.24 ซอฟต์แวร์ FuzzyControl++: ตั้งค่าระดับความเป็นสมาชิกเอาต์พุต T_i	34
4.25 ซอฟต์แวร์ FuzzyControl++: ตั้งค่าเมทริกซ์กฎของพีซีซี.....	35
4.26 ซอฟต์แวร์ FuzzyControl++: ผลลัพธ์กราฟพื้นผิวของเอาต์พุต K_p	35
4.27 ซอฟต์แวร์ FuzzyControl++: ผลลัพธ์กราฟพื้นผิวของเอาต์พุต T_i	36
5.1 ผลการทดลอง – อัตราการไหล: ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอ ผ่านโมดูลแอนาล็อกอินพุต/เอาต์พุต.....	37
5.2 ผลการทดลอง – ค่าสัญญาณควบคุม: ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอ ผ่านโมดูลแอนาล็อกอินพุต/เอาต์พุต.....	38
5.3 ผลการทดลอง – ค่าแรงดัน: ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอ ผ่านโมดูลแอนาล็อกอินพุต/เอาต์พุต.....	38
5.4 ผลการทดลอง – อัตราการไหล: ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอ ผ่านอุปกรณ์โปรพิบัสพีเอ.....	39
5.5 ผลการทดลอง – ค่าสัญญาณควบคุม: ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอ ผ่านอุปกรณ์โปรพิบัสพีเอ.....	40
5.6 ผลการทดลอง – ค่าแรงดัน: ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอ ผ่านอุปกรณ์โปรพิบัสพีเอ.....	40

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.7 ผลการทดลอง – อัตราการไหล: ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอ ผ่านอุปกรณ์โปรพิบัสพีเอ หลังจากปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ใหม่.....	41
5.8 ผลการทดลอง – ค่าสัญญาณควบคุม: ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอ ผ่านอุปกรณ์โปรพิบัสพีเอ หลังจากปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ใหม่.....	42
5.9 ผลการทดลอง – ค่าแรงดัน: ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอ ผ่านอุปกรณ์โปรพิบัสพีเอ หลังจากปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ใหม่.....	42
5.10 ผลการทดลอง – อัตราการไหล: ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอร่วมกับพีซีซี ผ่านโมดูลแอนาล็อกอินพุต/เอาต์พุต.....	43
5.11 ผลการทดลอง – ค่าสัญญาณควบคุม: ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอร่วมกับพีซีซี ผ่านโมดูลแอนาล็อกอินพุต/เอาต์พุต.....	44
5.12 ผลการทดลอง – ค่าแรงดัน: ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอร่วมกับพีซีซี ผ่านโมดูลแอนาล็อกอินพุต/เอาต์พุต.....	44
5.13 ผลการทดลอง – ค่าพารามิเตอร์ K_p : ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอร่วมกับพีซีซี ผ่านโมดูลแอนาล็อกอินพุต/เอาต์พุต.....	45
5.14 ผลการทดลอง – ค่าพารามิเตอร์ T_i : ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอร่วมกับพีซีซี ผ่านโมดูลแอนาล็อกอินพุต/เอาต์พุต.....	45
5.15 ผลการทดลอง – อัตราการไหล: ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอร่วมกับพีซีซี ผ่านอุปกรณ์โปรพิบัสพีเอ.....	46
5.16 ผลการทดลอง – ค่าสัญญาณควบคุม: ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอร่วมกับพีซีซี ผ่านอุปกรณ์โปรพิบัสพีเอ.....	47
5.17 ผลการทดลอง – ค่าแรงดัน: ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอร่วมกับพีซีซี ผ่านอุปกรณ์โปรพิบัสพีเอ.....	47
5.18 ผลการทดลอง – ค่าพารามิเตอร์ K_p : ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอร่วมกับพีซีซี ผ่านอุปกรณ์โปรพิบัสพีเอ.....	48
5.19 ผลการทดลอง – ค่าพารามิเตอร์ T_i : ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอร่วมกับพีซีซี ผ่านอุปกรณ์โปรพิบัสพีเอ.....	48
ก.1 ระบบถึงควบคุมความดัน.....	54
ก.2 ระบบถึงควบคุมความดันในส่วนแรก.....	54
ก.3 ระบบถึงควบคุมความดันในส่วนที่สอง.....	55
ก.4 ระบบถึงควบคุมความดันในส่วนที่สาม.....	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และส่งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อและสัญลักษณ์

$G_p(s)$	หมายถึง	ฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการ
K	หมายถึง	อัตราขยายของกระบวนการ
τ	หมายถึง	ค่าเวลาคงตัวของกระบวนการ
T_d	หมายถึง	ค่าเวลาไร้สนองของกระบวนการ
$G_c(s)$	หมายถึง	ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมพีไอ
K_p	หมายถึง	ค่าอัตราขยายสัดส่วนของตัวควบคุมพีไอ
T_i	หมายถึง	ค่าเวลาอินทิกรัลของตัวควบคุมพีไอ



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในวงการอุตสาหกรรมการควบคุมแบบพีไอ (PI) นั้นได้มีการใช้อย่างแพร่หลาย ทั้งระบบควบคุมทำงานบนพีแอลซี (PLC) และระบบควบคุมแบบกระจายส่วน (DCS) ซึ่งในการควบคุมแบบพีไอ มีข้อเสียคือเมื่อรูปแบบของระบบเปลี่ยนแปลงไป จะทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง เช่น เมื่อมีการเปลี่ยนประเภทของอุปกรณ์วัด เปลี่ยนชนิดของอุปกรณ์ขับเคลื่อน รวมไปถึงการเป็นรูปแบบการสื่อสารเชื่อมต่อระหว่างพีแอลซีหรือระบบควบคุมแบบกระจายส่วนกับอุปกรณ์วัด ซึ่งแนวทางในการแก้ไขโดยทั่วไป ก็คือการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอใหม่ ซึ่งได้แก่ ค่าอัตราขยายสัดส่วน (Proportional gain) ค่าเวลาอินทิกรัล (Integral time) และ ค่าเวลาอนุพันธ์ (Derivative time) โดยขึ้นอยู่กับแบบจำลองของกระบวนการ [1], [2]

จากการศึกษาเบื้องต้นได้พบว่า สามารถนำระบบควบคุมแบบฟัซซี (Fuzzy control system) มาประยุกต์ใช้กับการควบคุมพีไอแบบปกติ เป็นตัวควบคุมพีไอร่วมกับฟัซซี (Fuzzy PI Controller) [1], [3] ได้ ซึ่งจะมีประโยชน์มาก นั่นคือสามารถช่วยในการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอเองได้ เมื่อมีพารามิเตอร์ของกระบวนการเปลี่ยนแปลงไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

วัตถุประสงค์ของการศึกษา คือการประยุกต์ใช้งานตัวควบคุมพีไอร่วมกับฟัซซี บนระบบควบคุมแบบกระจายส่วน สำหรับควบคุมกระบวนการของไหลในห้องปฏิบัติการกระบวนการเชิงอุตสาหกรรม เพื่อศึกษาผลกระทบต่อระบบควบคุม เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของระบบ ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ระบบควบคุมเกิดการแกว่ง โดยใช้กรณีศึกษา ที่มีการเปลี่ยนแปลงการเชื่อมต่อระหว่าง อุปกรณ์วัด กับตัวควบคุม จากการศึกษาแบบแอนะล็อก เป็นการสื่อสารแบบดิจิทัล (เฉพาะ โปรฟิบบัส พีไอ) และประยุกต์ใช้วิธีการของฟัซซี เพื่อนำมาปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไออย่างอัตโนมัติ ซึ่งถ้าสามารถออกแบบ พัฒนา และประยุกต์ใช้วิธีการดังกล่าวกับระบบที่ใช้จริงในอุตสาหกรรมได้ ก็จะเป็นประโยชน์ต่อไปกับผู้ทำงานในด้านระบบควบคุมในวงการอุตสาหกรรมต่อไป

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

สมมติฐานของการศึกษาเกี่ยวกับตัวควบคุมพีไอร่วมกับฟัซซี ก็คือ ใช้หลักการทำงานของฟัซซีเป็นส่วนปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอ เพื่อให้สมรรถนะของตัวควบคุมพีไอสามารถ

ควบคุมตัวแปรกระบวนการได้ตามค่าเป้าหมายที่ต้องการตลอดเวลา โดยไม่จำเป็นต้องมีการปรับค่าพารามิเตอร์ใหม่เอง จากผู้ใช้งาน [1], [3]

1.4 แนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

แนวคิดในการทำการวิจัย ได้มาจากผลงานวิจัยชื่อ Design of an Intelligent Temperature Control System Based on the Fuzzy Self-tuning PID [4] ซึ่งจากบทความเป็นการวิจัยการควบคุมอุณหภูมิ โดยการเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างตัวควบคุมพีไอกับตัวควบคุมพีไอร่วมกับพีซีซี เพื่อควบคุมแบบจำลองของกระบวนการ ซึ่งทั้งระบบควบคุมและแบบจำลองกระบวนการถูกประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ MATLAB ใช้ “Fuzzy Logic Toolbox” และจากผลการวิจัยในบทความข้างต้นพบว่าผลตอบสนองของกระบวนการที่ใช้ตัวควบคุมพีไอร่วมกับพีซีซี ได้ผลตอบสนองการควบคุมดีกว่าตัวควบคุมพีไอแบบปกติ

จากการศึกษาการวิจัยข้างต้นพบว่า วิธีการดังกล่าวสามารถใช้เป็นแนวทางในการทำวิจัยเชิงประยุกต์ใช้งานจริงเชิงอุตสาหกรรม โดยใช้ห้องปฏิบัติการที่ได้ติดตั้งอุปกรณ์วัด และตัวควบคุม พร้อมซอฟต์แวร์ที่มีใช้งานจริงในวงการอุตสาหกรรมการผลิต ทำการออกแบบระบบควบคุมให้สอดคล้องกับความสามารถของซอฟต์แวร์เชิงอุตสาหกรรม ทั้งในส่วนของพีซีซีและตัวควบคุมพีไอจากนั้นเขียนโปรแกรมเพื่อประมวลผลการควบคุม และเก็บผลลัพธ์ต่างๆ นำไปวิเคราะห์เปรียบเทียบสมรรถนะและใช้งานจริงต่อไป

1.5 ขอบเขตการวิจัย

ใช้ห้องปฏิบัติการกระบวนการเชิงอุตสาหกรรมของหลักสูตรวิศวกรรมการวัดคุม สาขาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งประกอบด้วย กระบวนการควบคุมอัตราการไหล ซึ่งได้ติดตั้งอุปกรณ์วัดต่างๆ เชื่อมต่อเข้ากับระบบควบคุมแบบกระจายส่วนของบริษัท SIEMENS รุ่น PCS 7 V7.1 ผ่านโมดูลอินพุตและเอาต์พุตทั้งสัญญาณแอนะล็อกและดิจิตอล ออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมอัตราการไหล จากนั้นเขียนโปรแกรมด้วยภาษา CFC เพื่อทำการทดลอง และเก็บผลการทดลอง เพื่อนำมาวิเคราะห์และสรุปผลต่อไป

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

ลำดับขั้นตอนในการศึกษางานวิจัยขั้นนี้ มีดังต่อไปนี้

- ติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง เช่น อุปกรณ์วัด อุปกรณ์ขับเคลื่อน ตัวแปลงสัญญาณ และอุปกรณ์อื่นๆ ที่จะเชื่อมต่อกับระบบควบคุมแบบกระจายส่วน ทั้งโมดูลสัญญาณแอนะล็อก และดิจิตอล

- ติดตั้งระบบเครือข่ายของการสื่อสารที่ใช้ในการทดลอง ในที่นี้จะประกอบไปด้วยเครือข่ายโปรฟิบบัสดีพี (PROFIBUS DP) โปรฟิบบัสพีเอ (PROFIBUS PA) และ อีเทอร์เน็ตเชิงอุตสาหกรรม (INDUSTRIAL ETHERNET)
- ทำการทดลองการเชื่อมต่อของระบบทั้งหมด
- ออกแบบและเขียนโปรแกรมระบบควบคุม โดยใช้ซอฟต์แวร์ PCS7 V7.1 [2], [5], [6] และซอฟต์แวร์ FuzzyControl++ [7] ของบริษัท SIEMENS
- ทำการทดลองระบบควบคุมของไหล โดยประมวลผลด้วยโปรแกรมที่ได้ออกแบบและพัฒนา และเก็บผลการทดลอง
- วิเคราะห์ และสรุปผลการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

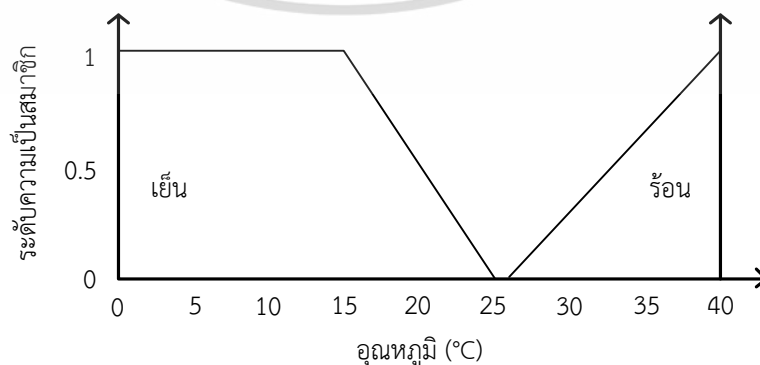
เนื้อหาในบทนี้จะเกี่ยวกับทฤษฎีที่เกี่ยวข้องซึ่งก็คือ ทฤษฎีฟัซซี ซึ่งมีรายละเอียดเกี่ยวกับฟัซซี ดังนี้

2.1 ฟัซซีลอจิก

ฟัซซีลอจิก (Fuzzy logic) ใช้ในการอธิบายความคลุมเครือหรือความไม่ชัดเจน ทฤษฎีฟัซซีเซต (Fuzzy set theory) ใช้ทฤษฎีของเซตในการแทนระดับความคลุมเครือ ดังนั้นปริมาณทุกอย่างในระบบทางวิศวกรรม และระบบอื่นๆ สามารถถูกอธิบายด้วยระดับของความคลุมเครือได้ เช่น อากาศร้อนมากๆ, รถคันนี้วิ่งไม่ค่อยเร็ว, เด็กผู้ชายคนนี้ตัวสูงจริงๆ ซึ่งการใช้ระดับความคลุมเครือดังกล่าว ทำให้เราไม่สามารถระบุความเป็นสมาชิกของกลุ่มนั้นๆ ได้อย่างเด็ดขาด โดยระบบตรรกะแบบดั้งเดิมสามารถที่จะระบุความเป็นสมาชิก (Membership) โดยใช้ตัวเลขที่ชัดเจน (Crisp number) ซึ่งจะต้องทำการแบ่งระบบออกเป็นสองกลุ่มคือใช่ (ร้อน, สูง, เร็ว) กับไม่ใช่ (เย็น, เตี้ย, ช้า) กล่าวคือ ข้อมูลสามารถเป็นสมาชิกของกลุ่มได้เพียงแค่ใช่หรือไม่ใช่ ฟัซซีลอจิกนั้นแตกต่างไปจากลอจิกแบบดั้งเดิมที่มีเพียงใช่-ไม่ใช่หรือศูนย์-หนึ่ง แต่ฟัซซีลอจิกเป็นตรรกะหลายระดับ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการกำหนดค่าระดับความเป็นสมาชิก (Degree of membership) โดยใช้ค่าตัวเลขตั้งแต่ศูนย์ถึงหนึ่ง (ค่าศูนย์แทนความไม่เป็นสมาชิกของกลุ่ม ในขณะที่ค่าหนึ่งแทนความเป็นสมาชิกของกลุ่ม ในขณะที่ค่าระหว่างศูนย์จนถึงหนึ่งแสดงระดับความเป็นสมาชิกของกลุ่มจากน้อยไปมาก) □

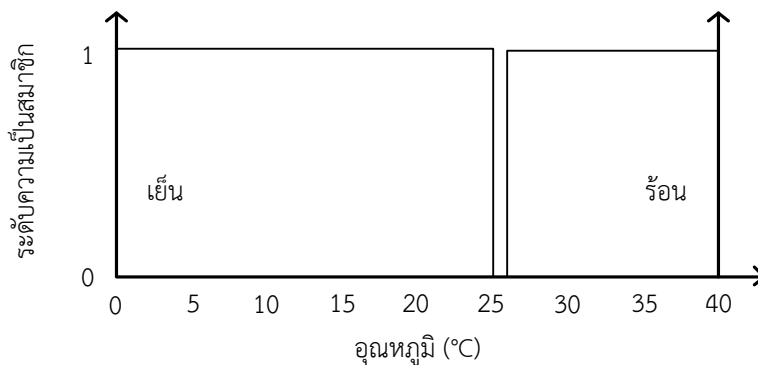
2.2 ฟัซซีเซต

ฟัซซีเซต (Fuzzy set) เป็นเซตที่มีการยอมให้มีค่าความเป็นสมาชิกของเซตระหว่าง 0 และ 1 ซึ่งแตกต่างกับเซตแบบดั้งเดิมที่มีค่าความเป็นสมาชิกของเซตแค่สองกรณีคือ 0 หรือ 1 เท่านั้น ซึ่งตัวอย่างที่แสดงถึงค่าความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซตจะเป็นดังรูปที่ 2.1 และเซตแบบดั้งเดิม จะเป็นดังรูปที่ 2.2



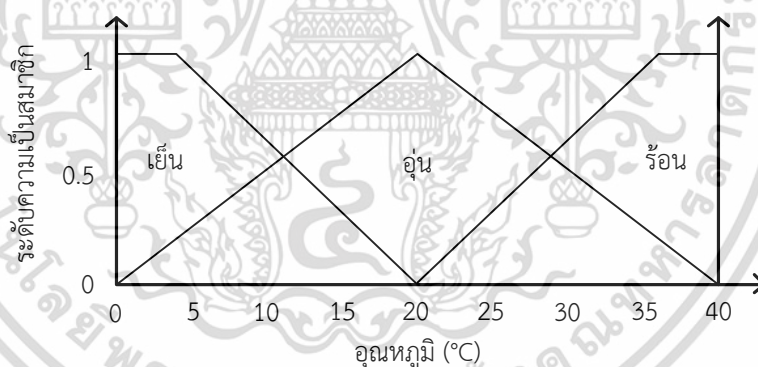
รูปที่ 2.1 ระดับความเป็นสมาชิกในรูปแบบตรรกะแบบฟัซซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ระดับความเป็นสมาชิกในรูปแบบตรรกะแบบดั้งเดิม

จากรูปที่ 2.1 จะเห็นว่าฟัซซีเซตเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูด้านซ้ายที่แสดงค่าความเป็นสมาชิกของเซตของอากาศ 'เย็น' ที่อุณหภูมิ 15-25 °C มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 และเป็นรูปสามเหลี่ยมด้านขวาที่แสดงค่าความเป็นสมาชิกของเซตของอากาศ 'ร้อน' ที่อุณหภูมิ 26-40 °C มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ตรงกันข้ามกับรูปที่ 2.2 ซึ่งเป็นเซตแบบดั้งเดิมค่าความเป็นสมาชิกของเซตที่อุณหภูมิ 0-25°C, 26-40°C มีค่าเพียง 0 หรือ 1 เท่านั้น แต่ถ้าฟัซซีเซตมีการนิยามมากกว่าหนึ่งเซตเพื่อให้ครอบคลุมค่าที่เป็นไปได้ทั้งหมดดังนั้นค่าความเป็นสมาชิกก็จะมีได้หลายค่าดังรูปที่ 2.3

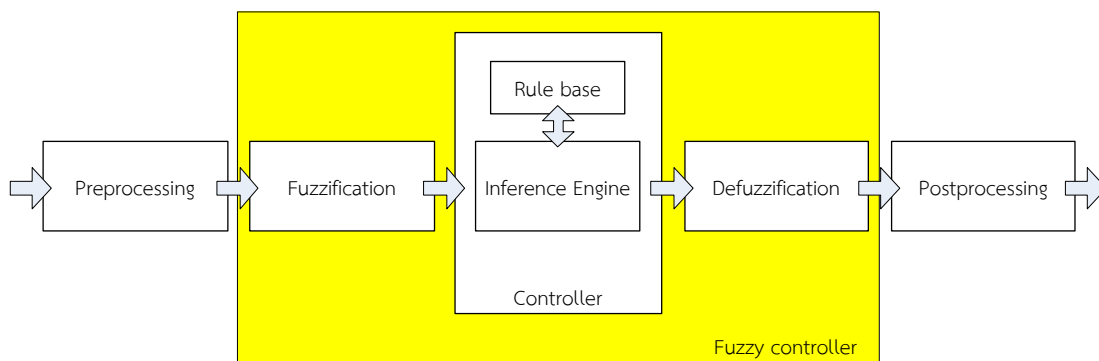


รูปที่ 2.3 การซ้อนทับกันของฟัซซีเซต

2.3 ระบบควบคุมแบบฟัซซี

การออกแบบตัวควบคุมฟัซซีมีข้อดีตรงที่ไม่จำเป็นต้องมีการคำนวณเหมือนกับเช่น วิธีราก-โพล (Root-locus) วิธีผลตอบสนองความถี่ (Frequency response) หรือวิธีวางตำแหน่งโพล (Pole placement) กฎที่ใช้ในตัวควบคุมแบบฟัซซีสามารถไม่เป็นเชิงเส้นได้ รายละเอียดต่อไปนี้จะได้กล่าวถึงองค์ประกอบต่างๆ ของตัวควบคุมแบบฟัซซีตามแนวทางสำหรับออกแบบในเชิงวิศวกรรม ดังรูปที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของตัวควบคุมแบบฟัซซี

จากรูปได้แสดงโครงสร้างของตัวควบคุมแบบฟัซซี ซึ่งมีองค์ประกอบในการประมวลผลก่อนและหลัง เป็นการปรับสภาพอินพุตและเอาต์พุตที่จะใช้กับตัวควบคุมแบบฟัซซีให้มีความเหมาะสม โดยรายละเอียดของแต่ละองค์ประกอบสรุปได้ดังต่อไปนี้

- **การประมวลผลก่อน (Preprocessing)** เป็นขั้นตอนที่ใช้ในการเตรียม ให้มีความเหมาะสมที่จะใช้กับตัวควบคุมของฟัซซี (ไม่รวมขั้นตอนการทำให้เป็นฟัซซี) โดยปกติแล้วอินพุตของระบบจะเป็นค่าเชิงตัวเลขที่วัดหรือออกมาจากอุปกรณ์ต่างๆ และไม่ได้มีค่าในรูปภาษา จึงจำเป็นต้องมีการประมวลผลก่อน เพื่อปรับค่าอินพุตเหล่านี้ให้มีความเหมาะสม ตัวอย่างของการประมวลผลก่อนเช่น

- แปลงค่าจากสัญญาณแอนาลอกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล
- ปิดค่าตัวเลขให้อยู่ในรูปที่ระบบรองรับ (จำนวนเต็ม, เลขทศนิยม)
- ปรับค่าให้เป็นบรรทัดฐาน (Normalization) ในย่านเฉพาะที่ต้องการ
- กรองหรือกำจัดสัญญาณรบกวน
- คำนวณหาค่าอนุพันธ์ หรือปริพันธ์ (ใช้เป็นอินพุตเพิ่มเติม)

รายละเอียดของขั้นตอนการประมวลผลก่อนข้างต้น มีผลต่อประสิทธิภาพหรือการทำงานของตัวควบคุมแบบฟัซซีโดยตรง ค่าสัญญาณดิจิทัลที่ละเอียดย่อมทำให้ตัวควบคุมทำงานได้อย่างราบเรียบกว่าค่าที่หยาบ การปรับค่าให้เป็นบรรทัดฐานอาจส่งผลกระทบต่อข้อกำหนดตัวแปรในระบบฟัซซี ('small' 'medium' และ 'large' ฯลฯ) ได้ อินพุตแต่ละช่วงจะถูกปรับค่าให้เป็นบรรทัดฐานที่แตกต่างกัน ทำให้เกิดความไม่ต่อเนื่องของอินพุต ส่วนค่าอื่นๆ ที่ได้จากการประมวลผลก่อน ไม่ว่าจะเป็นค่าอนุพันธ์ (Derivation) หรือปริพันธ์ (Integration) ทำให้จำนวนอินพุตของตัวควบคุมเพิ่มมากขึ้น แน่แน่นอนว่าจำนวนกฎที่ต้องออกแบบสำหรับตัวควบคุมจะเพิ่มมากขึ้นด้วย

- **การทำฟัซซี (Fuzzification)** คือค่าอินพุตที่ได้จากการประมวลผลก่อนจะถูกแปลงให้เป็นค่าความเป็นสมาชิกจากฟังก์ชันสมาชิก (Membership function) ต่างๆ ที่มีอยู่ในระบบ แล้วทำการรวมผลลัพธ์ของอินพุตนั้น ตามเงื่อนไข (ตัวแปรภาษา) ที่ถูกออกแบบไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **ฐานกฎ (Rule base)** คือกฎในระบบฟัซซี่ถือเป็นหัวใจในการดำเนินการควบคุม กฎดังกล่าวสามารถมาจากเงื่อนไขที่หลากหลาย รวมไปถึงสามารถให้ผลลัพธ์ที่มากกว่า 1 ผลลัพธ์ได้ ตัวควบคุมที่มีอินพุตและเอาต์พุตมากกว่าหนึ่งจะเรียกว่า MIMO (Multi-Input Multi-Output) ในขณะที่ตัวควบคุมที่มีเพียงหนึ่งอินพุตและเอาต์พุตจะเรียกว่า SISO (Single-Input Single-Output) โดยปกติแล้ว ระบบที่เป็น SISO จะทำการควบคุมสัญญาณค่าความผิดพลาดเพียงอย่างเดียว ในบางกรณี อาจจะมีการใช้ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงหรือค่าสะสมของค่าความผิดพลาดร่วมด้วย แต่จะยังคงเรียกว่าเป็นอินพุตเดี่ยว เนื่องจากทั้งอัตราการเปลี่ยนแปลงหรือค่าสะสมดังกล่าวนี้มาจากอินพุตค่าความผิดพลาดเพียงค่าเดียว แนวคิดของการใช้ฐานกฎในฟัซซี่ลอจิกทำให้ระบบที่ได้มีความใกล้เคียงกับการทำงานจริงของมนุษย์ หรือกล่าวได้ว่าเป็นผู้เชี่ยวชาญนั่นเอง

- **กลไกการอนุมาน (Inference engine)** คือการนำค่าอินพุต กฎต่างๆ ที่กำหนดไว้มาอนุมาน (Inference) เป็นผลลัพธ์ในการตัดสินใจของระบบ เมื่อระบบตัดสินใจได้แล้ว การดำเนินการที่สอดคล้องกับการตัดสินใจนั้นก็ดำเนินการต่อไป ยกตัวอย่าง เช่น ระบบตรวจจับได้ว่าอุณหภูมิจากตัวตรวจจับที่ 1 กำลัง ‘ร้อนขึ้น’ อย่าง ‘รวดเร็ว’ ระบบจะทำการพิจารณาค่าอินพุตพร้อมกับตรวจสอบกับกฎการทำงาน ที่สอดคล้องกับเงื่อนไขดังกล่าว แล้วทำการอนุมานหรือตัดสินใจว่าจะทำการเปิดเครื่องทำความเย็น ‘แรงที่สุด’ เป็นต้น ผลลัพธ์การตัดสินใจที่ได้ยังคงอยู่ในเทอมของค่าเชิงภาษา ที่ซึ่งจะถูกแปลงเป็นค่าที่ใช้งานจริงด้วยขั้นตอนต่อไป

- **การทำดีฟัซซี่ (Defuzzification)** คือผลลัพธ์เชิงภาษาที่ได้จากกลไกการอนุมานจะอยู่ในรูปแบบเช่น เปิดเครื่องทำความเย็น ‘แรงที่สุด’ หรือลดเครื่องทำความร้อน ‘ลงพอประมาณ’ ฯลฯ ผลลัพธ์ดังกล่าวจะถูกแปลงให้เป็นค่าที่สอดคล้องกับการทำงานจริงของระบบ เช่น เปิดเครื่องทำความเย็นเพิ่มขึ้น 25% เป็นต้น

- **การประมวลผลตาม (Postprocessing)** คือเอาต์พุตที่ได้จากระบบอาจจะต้องถูกปรับให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน ไม่ว่าจะเป็นการทำให้เป็นบรรทัดฐาน ในย่านที่ใช้งานจริง เช่น แปลงค่า 0 - 100% เป็นแรงดันขนาด -5 ถึง +5 โวลต์ □ สำหรับควบคุมให้เครื่องทำความเย็นเปิดปิดตามปริมาณที่ต้องการ

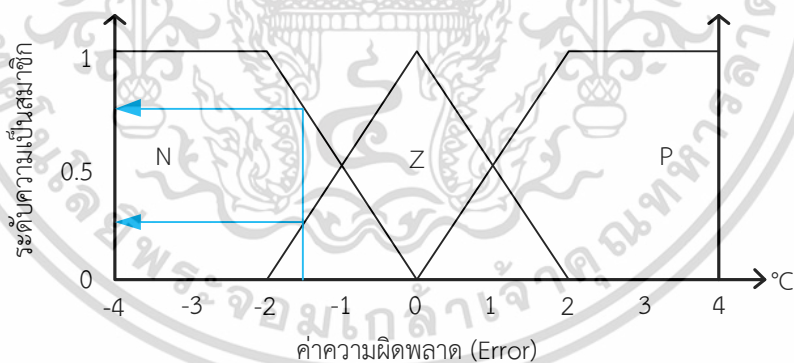
ซึ่งรายละเอียดเกี่ยวกับองค์ประกอบของตัวควบคุมฟัซซี่จะอธิบายรายละเอียด และตัวอย่างได้ดังต่อไปนี้

2.3.1 การทำฟัซซี่

การทำฟัซซี่ คือการคำนวณหาค่าระดับความเป็นสมาชิกของเซตค่าตัวแปรเชิงภาษาของตัวแปรในระบบ ในขั้นตอนแรกของการอนุมานฟัซซี่จะต้องทำการหาค่าระดับความเป็นสมาชิกของเซตดังกล่าวของตัวแปรอินพุต ที่ซึ่งค่าของตัวแปรอินพุตที่เข้ามาสู่ในระบบ จะอยู่ในรูปของค่าเชิงตัวเลข หลังจากนั้นแล้วค่าระดับความเป็นสมาชิกของอินพุตค่านั้นๆ จะสามารถหาได้จากฟังก์ชัน

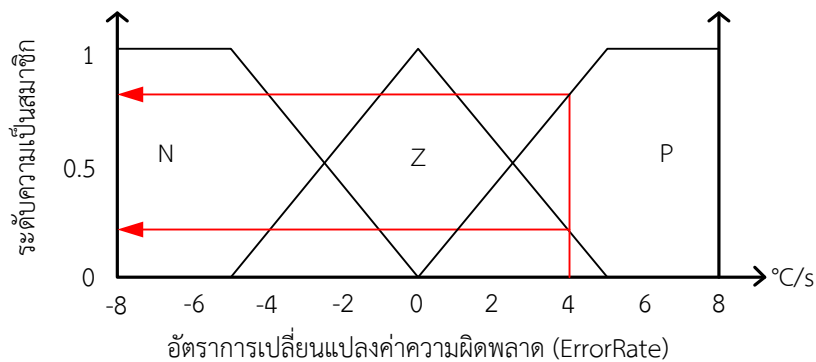
สมาชิก การทำพีซีซีของตัวแปรอินพุตจะขึ้นอยู่กับกฎของพีซีซีด้วยเช่นกัน เนื่องจากสำหรับอินพุตค่าหนึ่งๆ จะมีผลต่อกฎของพีซีซีบางข้อเท่านั้น

ยกตัวอย่างการคำนวณหาค่าระดับความเป็นสมาชิกของอินพุตจากรูปที่ 2.5 จากค่าความผิดพลาดที่ -1.5°C ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ทั้งเซต N (เซต ‘ลบ’) และเซต Z (เซต ‘ศูนย์’) นั่นคือสำหรับฟังก์ชันสมาชิกของค่าความผิดพลาดที่กำหนด ค่า -1.5°C มีทั้งความเป็นลบและความเป็นศูนย์ โดยที่มีระดับความเป็นสมาชิกของเซต N (หรือความเป็นลบ) เท่ากับ 0.75 และมีระดับความเป็นสมาชิกของเซต Z (หรือความเป็นศูนย์) เท่ากับ 0.25 ตัวอย่างนี้แสดงความเป็นพีซีซีของค่าความผิดพลาด -1.5°C นี้อย่างชัดเจน นั่นคือค่าความผิดพลาดเป็นสมาชิกของทั้งความเป็นลบและความเป็นศูนย์แต่มีระดับความเป็นลบมากกว่าความเป็นศูนย์ (จากค่าระดับความเป็นสมาชิก 0.75 และ 0.25) เช่นเดียวกับกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาด ดังรูปที่ 2.6 ที่ 4.0°C/s ซึ่งจากฟังก์ชันสมาชิกที่กำหนด ค่านี้มีทั้งความเป็นศูนย์และความเป็นบวก คือเป็นค่าที่อยู่ทั้งในเซต Z (‘ศูนย์’) และเซต P (‘บวก’) ด้วยค่าระดับความเป็นสมาชิกเท่ากับ 0.2 และ 0.8 ตามลำดับ (ค่าระดับความเป็นสมาชิกบ่งบอกว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาด 4.0°C/s มีความเป็นบวกมากกว่าความเป็นศูนย์) สังเกตว่าตัวแปรค่าความผิดพลาดมีระดับความเป็นสมาชิกของ ‘บวก’ เท่ากับ 0.0 ซึ่งหมายความว่าไม่ได้มีความเป็นบวกเลยเนื่องจากมีค่าเป็นลบ ในทำนองเดียวกัน ตัวแปรอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาดมีระดับความเป็นสมาชิกของ ‘ลบ’ เท่ากับ 0.0 ซึ่งหมายความว่าไม่ได้มีความเป็นลบเลยเนื่องจากมีค่าเป็นบวก



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างการทำพีซีซีของอินพุตค่าความผิดพลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างการทำฟัซซีของอินพุตอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความผิดพลาด

สรุปค่าระดับความเป็นสมาชิกของทั้งสองอินพุตในรูปฟังก์ชันสมาชิกได้ดังนี้

$$\mu(\text{Error}=N)(-1.5) = 0.75 \quad (2.1)$$

$$\mu(\text{Error}=Z)(-1.5) = 0.25 \quad (2.2)$$

$$\mu(\text{Error}=P)(-1.5) = 0.0 \quad (2.3)$$

$$\mu(\text{ErrorRate}=N)(4.0) = 0.0 \quad (2.4)$$

$$\mu(\text{ErrorRate}=Z)(4.0) = 0.2 \quad (2.5)$$

$$\mu(\text{ErrorRate}=P)(4.0) = 0.8 \quad (2.6)$$

2.3.2 การอนุมานฟัซซีจากฐานกฎ

หลังจากคำนวณหาค่าระดับความเป็นสมาชิกของอินพุตทั้งหมดได้แล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการประเมินค่าของตัวแปรที่ได้ในกฎของฟัซซี การประเมินค่ากฎดังกล่าวจะเป็นส่วน “ถ้า” (IF) จุดประสงค์เพื่อทำการประเมินว่าค่าเงื่อนไขจากอินพุตนั้นจะทำให้กฎใดต้องกระทำ ในส่วน “แล้ว” ต่อไป ซึ่งอาจจะมีกฎในเงื่อนไขดังกล่าวมากกว่าหนึ่งกฎพร้อมๆ กัน เนื่องมาจากระบบมีอินพุตมากกว่าหนึ่ง (นั่นคือค่าความผิดพลาดและอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาด ในตัวอย่าง) เงื่อนไขของแต่ละอินพุตจะถูกประเมินค่าด้วยตัวกระทำของฟัซซีเซตเช่น “และ” (AND) หรือ “หรือ” (OR) เพื่อให้ได้ผลลัพธ์สุดท้ายเป็นค่าตัวเลขที่สามารถนำไปประเมินค่าส่วน “แล้ว” (THEN) ที่ซึ่งภายหลังจะถูกนำไปประเมินเพื่อหาค่าระดับความเป็นสมาชิกของตัวแปรเอาต์พุตในขั้นตอนต่อไป ในที่นี้จะพิจารณาตัวกระทำ “และ” จากทฤษฎีเซตจะได้ว่า

$$\mu_{(A \cup B)}(x) = \min[\mu_{(A)}(x), \mu_{(B)}(x)] \quad (2.7)$$

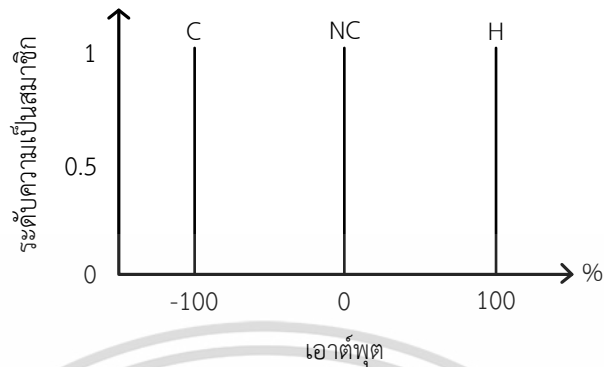
ในบางกรณีการใช้ฟังก์ชันของตัวกระทำของเซตที่แตกต่างกัน อาจจะให้ผลเชิงตัวเลขที่แตกต่างกันได้ หลังจากประเมินค่าของแต่ละเงื่อนไขและรวมเงื่อนไขในกรณีที่มีมากกว่า 1 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เงื่อนไขในส่วนของ “ถ้า” แล้ว ผลที่ได้จะถูกนำไปประเมินผลว่ากฎข้อใดที่ต้องถูกพิจารณาในส่วน “แล้ว” ต่อไป พิจารณาจากตัวอย่างระบบควบคุมพีชซึ่งมีกฎของพีชทั้งหมด 9 ข้อ เงื่อนไขของอินพุตตัวที่หนึ่งได้แก่ ค่าความผิดพลาด = $-1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งให้ค่าระดับความเป็นสมาชิกของ N และ Z ที่ไม่เท่ากับศูนย์ เงื่อนไขดังกล่าวมีค่ามากกว่าศูนย์ และอยู่ในส่วน “ถ้า” ของกฎข้อ 1 2 4 5 7 และ 8 ในขณะที่เงื่อนไขของอินพุตตัวที่สองได้แก่ อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาด = $4.0\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ ซึ่งให้ค่าระดับความเป็นสมาชิกของ Z และ P ที่ไม่เท่ากับศูนย์ และอยู่ในส่วน “ถ้า” ของกฎข้อที่ 4, 5, 6, 7, 8 และ 9 เมื่อทำการ “และ” (ใช้ฟังก์ชันจากสมการที่ 2.7) เงื่อนไขทั้งสองแล้วจะได้ว่าเงื่อนไขทั้งสองที่มีค่าไม่เป็นศูนย์ก็คือ เงื่อนไขในข้อ 4 5 7 และ 8 โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

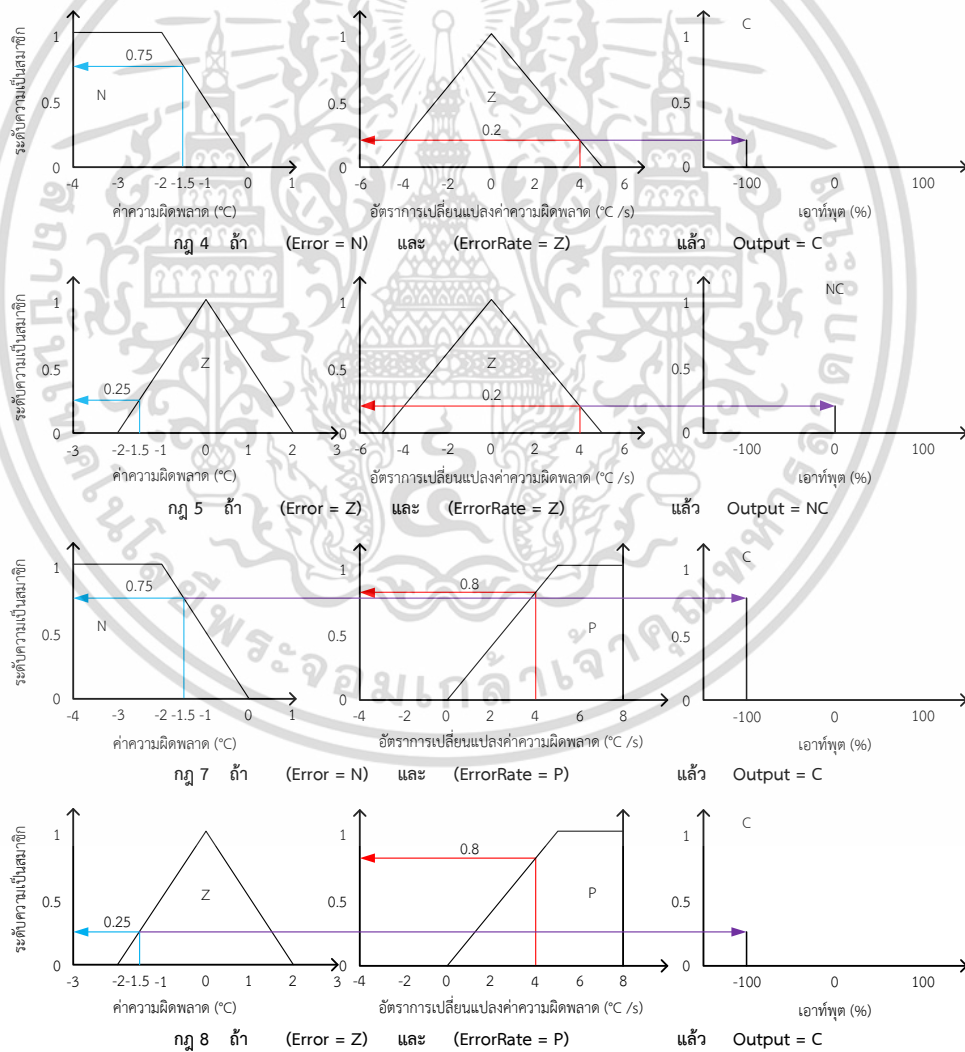
กฎ 1:	ถ้า	(Error = N)	และ	(ErrorRate = N)	แล้ว	Output = C
	ถ้า	$\mu(\text{Error}=\text{N}) = 0.75$	และ	$\mu(\text{ErrorRate}=\text{N}) = 0.0$	แล้ว	Output = C
กฎ 2:	ถ้า	(Error = Z)	และ	(ErrorRate = N)	แล้ว	Output = H
	ถ้า	$\mu(\text{Error}=\text{Z}) = 0.25$	และ	$\mu(\text{ErrorRate}=\text{N}) = 0.0$	แล้ว	Output = H
กฎ 3:	ถ้า	(Error = P)	และ	(ErrorRate = N)	แล้ว	Output = H
	ถ้า	$\mu(\text{Error}=\text{P}) = 0.0$	และ	$\mu(\text{ErrorRate}=\text{N}) = 0.0$	แล้ว	Output = H
กฎ 4:	ถ้า	(Error = N)	และ	(ErrorRate = Z)	แล้ว	Output = C
	ถ้า	$\mu(\text{Error}=\text{N}) = 0.75$	และ	$\mu(\text{ErrorRate}=\text{Z}) = 0.2$	แล้ว	Output = C
กฎ 5:	ถ้า	(Error = Z)	และ	(ErrorRate = Z)	แล้ว	Output = NC
	ถ้า	$\mu(\text{Error}=\text{Z}) = 0.25$	และ	$\mu(\text{ErrorRate}=\text{Z}) = 0.2$	แล้ว	Output = NC
กฎ 6:	ถ้า	(Error = P)	และ	(ErrorRate = Z)	แล้ว	Output = H
	ถ้า	$\mu(\text{Error}=\text{P}) = 0.0$	และ	$\mu(\text{ErrorRate}=\text{Z}) = 0.2$	แล้ว	Output = H
กฎ 7:	ถ้า	(Error = N)	และ	(ErrorRate = P)	แล้ว	Output = C
	ถ้า	$\mu(\text{Error}=\text{N}) = 0.75$	และ	$\mu(\text{ErrorRate}=\text{P}) = 0.8$	แล้ว	Output = C
กฎ 8:	ถ้า	(Error = Z)	และ	(ErrorRate = P)	แล้ว	Output = C
	ถ้า	$\mu(\text{Error}=\text{Z}) = 0.25$	และ	$\mu(\text{ErrorRate}=\text{P}) = 0.8$	แล้ว	Output = C
กฎ 9:	ถ้า	(Error = P)	และ	(ErrorRate = P)	แล้ว	Output = H
	ถ้า	$\mu(\text{Error}=\text{P}) = 0.0$	และ	$\mu(\text{ErrorRate}=\text{P}) = 0.8$	แล้ว	Output = H

จากค่าความผิดพลาด = $-1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ และ อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาด = $4.0\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ มีผลให้ส่วน “แล้ว” ซึ่งก็คือตัวแปรเอาต์พุตของกฎข้อ 4, 5, 7 และ 8 ถูกประเมินค่าในขั้นตอนต่อไป ค่าระดับความเป็นสมาชิกจากเงื่อนไขอินพุตในส่วน “ถ้า” จะเป็นตัวบอกว่าตัวแปรเอาต์พุตจะมีรูปร่างของระดับความเป็นสมาชิกอย่างไร โดยฟังก์ชันสมาชิกของเอาต์พุตจะถูกตัดยอด (clipped) ตามผลค่าระดับความเป็นสมาชิกของส่วนเงื่อนไขอินพุต “ถ้า” นั่นเอง โดยในตัวอย่างของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับความเป็นสมาชิกของเอาต์พุตจะแสดงในรูปที่ 2.7 และดังรูปที่ 2.8 ซึ่งก็คือการอนุมานฟัซซีแบบ Mamdani (Mamdani-style Inference)



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างระดับความเป็นสมาชิกของเอาต์พุต

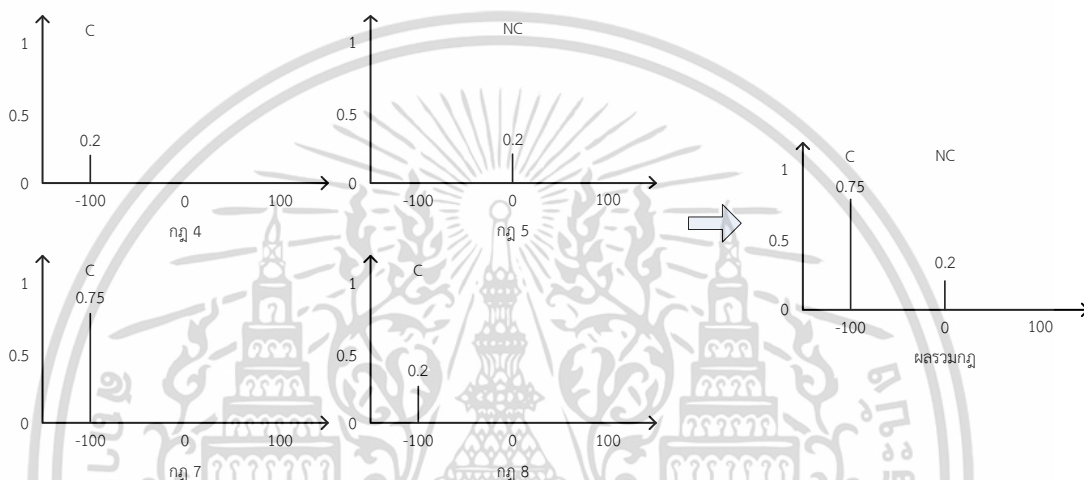


รูปที่ 2.8 การอนุมานฟัซซีแบบ Mamdani

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 การรวมกฎ

หลังจากกฎต่างๆ ถูกประเมินค่าแล้ว กฎที่มีผลไม่เท่ากับศูนย์ จะถูกรวมเข้าด้วยกัน โดยการรวมผลลัพธ์ของฟังก์ชันสมาชิกที่ผ่านการประเมินค่า ทั้งหมดเข้าด้วยกันเป็นเซตเดี่ยวสำหรับแต่ละตัวแปรเอาต์พุต การรวมกฎจะใช้ตัวกระทำยูเนียน ดังรูปที่ 2.9 แสดงการรวมกฎดังกล่าวจากระบบที่ค่าความผิดพลาดเท่ากับ -1.5°C และอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความผิดพลาดเท่ากับ 4.0°C/s ในขั้นตอนต่อไปจะนำผลการรวมกฎนี้ไปแปลงเป็นค่าตัวเลขเดี่ยวเพื่อนำเอาไปใช้ในการประมวลผลต่อไป



รูปที่ 2.9 ผลการรวมกฎของ ค่าความผิดพลาด = -1.5°C

และอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาด = 4.0°C/s

2.3.4 การทำดีฟัซซี่

จากขั้นตอนแรกมาจนถึงขั้นตอนนี้ ค่าต่างๆ ในระบบเป็นค่าฟัซซี่ ไม่ว่าจะเป็นอินพุตกฎต่างๆ หรือเอาต์พุต แต่สำหรับทุกระบบ ค่าของเอาต์พุตจะต้องถูกแปลงให้อยู่ในรูปที่สามารถใช้งานได้จริงเช่นค่าสัญญาณแรงดัน ค่าสัญญาณควบคุม ฯลฯ ซึ่งค่าเหล่านี้ไม่สามารถเป็นค่าฟัซซี่ได้ เพราะค่าฟัซซี่จะเป็นที่เข้าใจภายในระบบฟัซซี่เท่านั้น ดังนั้นค่าสุดท้ายจากเอาต์พุตของระบบจะต้องเป็นค่าชัดเจน (Crisp value) การทำดีฟัซซี่ คือขั้นตอนในการแปลงค่าจากผลการรวมกฎให้อยู่ในรูปของค่าชัดเจน

การทำดีฟัซซี่ นั้นมีหลายแบบ วิธีหนึ่งที่เป็นที่นิยมใช้งานกันอย่างแพร่หลายคือวิธีหาจุดศูนย์กลางถ่วง (Centroid หรือ Center Of Gravity, COG) ค่า COG ของฟัซซี่เซต A ในช่วง $[a, b]$ สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$COG = \frac{\int_a^b \mu_A(x)xdx}{\int_a^b \mu_A(x)dx} \quad (2.8)$$

ในทางปฏิบัติการคำนวณ COG สามารถหาได้จากข้อมูลการชักตัวอย่างดังนี้

$$COG = \frac{\sum_{x=a}^b \mu_A(x)x}{\sum_{x=a}^b \mu_A(x)} \quad (2.9)$$

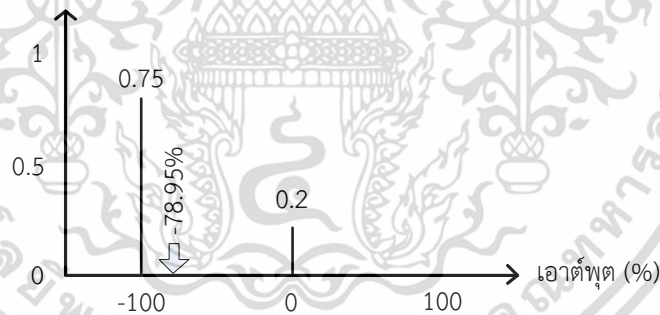
ดังนี้

พิจารณาเอาต์พุตของระบบควบคุมฟัซซี่ในรูปที่ 2.10 ค่า COG สามารถคำนวณได้

$$COG = \frac{[-100 \times 0.75] + [0 \times 0.2]}{0.75 + 0.2}$$

$$COG = -78.95$$

จะเห็นค่าเอาต์พุตที่ได้จากการทำดีฟัซซี่จะเท่ากับ -78.95%



รูปที่ 2.10 การทำดีฟัซซี่ ของระบบควบคุมฟัซซี่

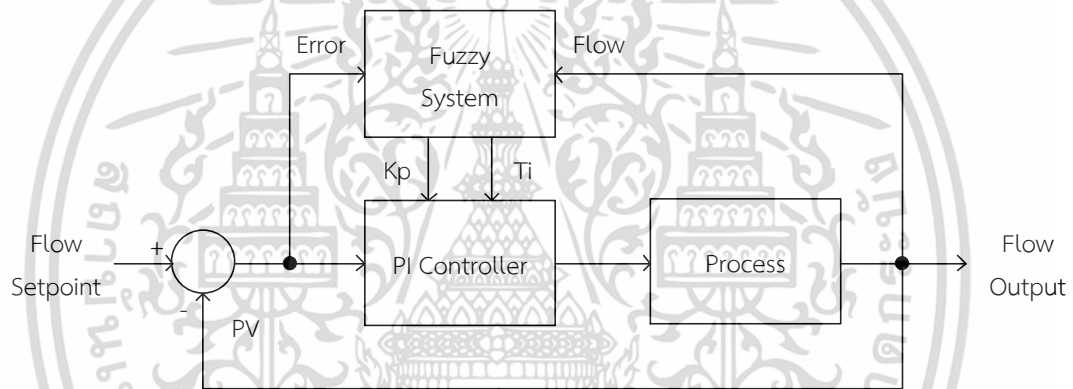
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบระบบควบคุมของกระบวนการ

3.1 การออกแบบโครงสร้างของระบบควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอร่วมกับฟัซซี่

ในงานวิจัยนี้ได้นำทฤษฎีของตัวควบคุมพีไอร่วมกับฟัซซี่ [1], [3], [7] มาใช้ในการออกแบบรูปแบบการควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอร่วมกับฟัซซี่ในการควบคุมของไหล โดยการออกแบบบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมกระบวนการด้วยตัวควบคุมพีไอร่วมกับฟัซซี่ จะเป็นไปดังรูปที่ 3.1 ซึ่งจะประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ระบบฟัซซี่ (Fuzzy System) ตัวควบคุมพีไอ (PI Controller) และกระบวนการ (Process)



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมกระบวนการด้วยตัวควบคุมพีไอร่วมกับฟัซซี่

3.1.1 กระบวนการ

แบบจำลองของกระบวนการของระบบควบคุมของไหลนี้เป็นระบบอันดับที่หนึ่งบวมเวลาไร้สนอง (FOPDT) ดังสมการที่ (3.1) ซึ่งฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการ $G_p(s)$ ประกอบด้วย อัตราขยายของกระบวนการ (Process gain K) ค่าเวลาคงตัว (Time constant τ) และ ค่าเวลาไร้สนอง (Dead time T_d)

$$G_p(s) = \frac{K \cdot e^{-T_d s}}{\tau s + 1} \quad (3.1)$$

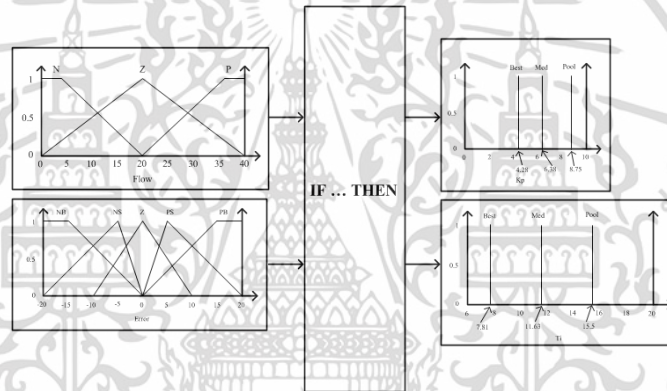
3.1.2 ตัวควบคุมพีไอ

ตัวควบคุมพีไอ เป็นตัวควบคุมทั่วไปที่มีใช้แพร่หลายในวงการอุตสาหกรรม โดยฟังก์ชันถ่ายโอน $G_c(s)$ ดังสมการที่ (3.2) ซึ่งจะมีพารามิเตอร์ที่ปรับได้ 2 ค่า ได้แก่ ค่าอัตราขยายแบบสัดส่วน (K_p) และค่าเวลาอินทิกรัล (T_i)

$$G_c(s) = K_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_i s}\right) \quad (3.2)$$

3.1.3 ระบบฟuzzy

การออกแบบระบบฟuzzyสำหรับงานวิจัยนี้จะเป็ระบบที่มี 2 อินพุต และ 2 เอาต์พุต ดังรูปที่ 3.2 ซึ่งใช้ค่าจากกระบวนการเป็นอินพุต และค่าเอาต์พุตส่งไปยังตัวควบคุมพีไอ



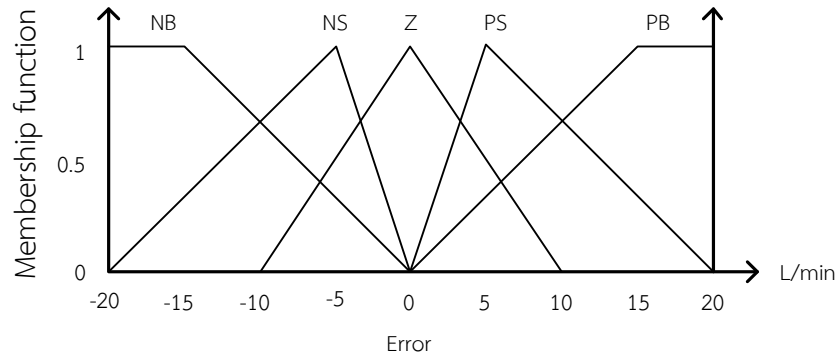
รูปที่ 3.2 ระบบฟuzzyที่มี 2 อินพุต และ 2 เอาต์พุต

โดยที่อินพุตของระบบฟuzzyมีคุณลักษณะดังนี้

- อินพุตลำดับที่ 1 – Error คือค่าความผิดพลาดที่เกิดจากผลต่างระหว่างค่าของอัตราการไหลที่ต้องการกับค่าอัตราการไหลที่วัดได้ ซึ่งมีการแบ่งฟuzzyเซตออกเป็น 5 เซต ดังนี้

1. NB – Negative Big
2. NS – Negative Small
3. Z – Zero
4. PS – Positive Small
5. PB – Positive Big

โดยมีระดับความเป็นสมาชิก ดังรูปที่ 3.3

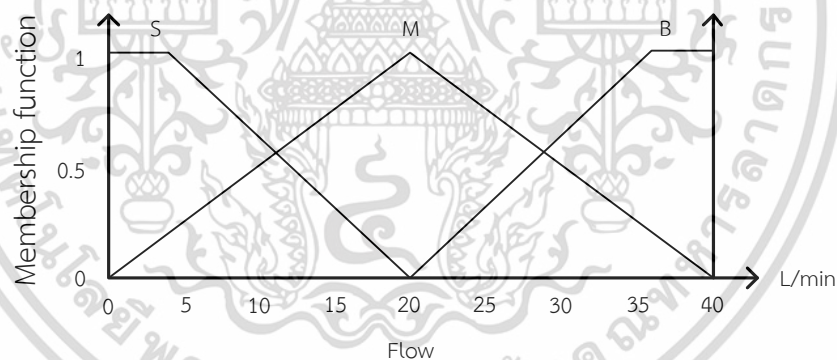


รูปที่ 3.3 ระดับความเป็นสมาชิกของอินพุต Error

- อินพุตลำดับที่ 2 – Flow คือค่าอัตราการไหลที่วัดได้ ซึ่งอ่านได้จากอุปกรณ์วัดอัตราการไหล ซึ่งมีการแบ่งฟัซซีเซตออกเป็น 3 เซต ดังนี้

1. S – Small
2. M – Medium
3. B – Big

โดยมีระดับความเป็นสมาชิก ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ระดับความเป็นสมาชิกของอินพุต Flow

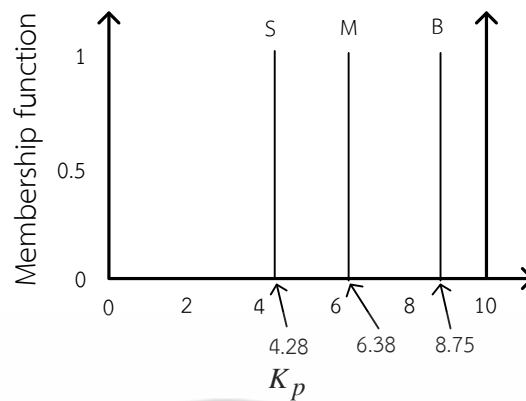
เอาต์พุตของระบบฟัซซีมีคุณลักษณะดังนี้

- เอาต์พุตลำดับที่ 1 – K_p คือ ค่าพารามิเตอร์อัตราขยายสัดส่วน K_p ที่จะส่งให้ตัวควบคุมพีไอ ซึ่งมีการแบ่งฟัซซีเซตออกเป็น 3 เซต ดังนี้

1. S - Small
2. M - Medium
3. B - Big

โดยมีระดับความเป็นสมาชิก ดังรูปที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

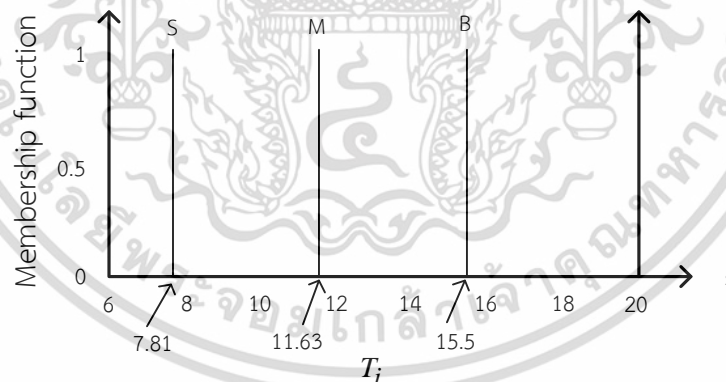


รูปที่ 3.5 ระดับความเป็นสมาชิกของเอาต์พุต K_p

- เอาต์พุตลำดับที่ 2 - T_i คือค่าพารามิเตอร์เวลาอินทิกรัล T_i ที่จะส่งให้ตัวควบคุมพีไอ โดยมีหน่วยเป็นวินาที ซึ่งมีการแบ่งฟัซซี่ซัฟเซตออกเป็น 3 เซต ดังนี้

1. S - Small
2. M - Medium
3. B - Big

โดยมีระดับความเป็นสมาชิก ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ระดับความเป็นสมาชิกของเอาต์พุต T_i

โดยจำนวนอินพุตและเอาต์พุตของระบบฟัซซี่ รวมถึงระดับความเป็นสมาชิกของอินพุตและเอาต์พุตของระบบควบคุมฟัซซี่นั้นได้กำหนดขึ้นจากการทดลองเบื้องต้น รวมถึงประสบการณ์ของผู้วิจัย และที่ปรึกษาทางวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบกฎของฟuzzyที่ปรับตั้งค่าเอง

กฎของฟuzzyที่ปรับตั้งค่าเองในการวิจัยนี้ ได้ถูกพัฒนาขึ้นจากการทดลองเบื้องต้น รวมถึงประสบการณ์ของผู้วิจัย และที่ปรึกษาทางวิจัย ซึ่งกฎอนุมาน สำหรับระบบฟuzzy จะถูกกำหนดค่าดังนี้

- กฎ 1 : ถ้า Error เป็น NB และ Flow เป็น S จะได้ K_p และ T_i เป็น S
 - กฎ 2 : ถ้า Error เป็น NB และ Flow เป็น M จะได้ K_p และ T_i เป็น S
 - กฎ 3 : ถ้า Error เป็น NB และ Flow เป็น B จะได้ K_p และ T_i เป็น M
 - กฎ 4 : ถ้า Error เป็น NS และ Flow เป็น S จะได้ K_p และ T_i เป็น S
 - กฎ 5 : ถ้า Error เป็น NS และ Flow เป็น M จะได้ K_p และ T_i เป็น M
 - กฎ 6 : ถ้า Error เป็น NS และ Flow เป็น B จะได้ K_p และ T_i เป็น B
 - กฎ 7 : ถ้า Error เป็น Z และ Flow เป็น S จะได้ K_p และ T_i เป็น M
 - กฎ 8 : ถ้า Error เป็น Z และ Flow เป็น M จะได้ K_p และ T_i เป็น B
 - กฎ 9 : ถ้า Error เป็น Z และ Flow เป็น B จะได้ K_p และ T_i เป็น M
 - กฎ 10 : ถ้า Error เป็น PS และ Flow เป็น S จะได้ K_p และ T_i เป็น S
 - กฎ 11 : ถ้า Error เป็น PS และ Flow เป็น M จะได้ K_p และ T_i เป็น B
 - กฎ 12 : ถ้า Error เป็น PS และ Flow เป็น B จะได้ K_p และ T_i เป็น S
 - กฎ 13 : ถ้า Error เป็น PB และ Flow เป็น S จะได้ K_p และ T_i เป็น S
 - กฎ 14 : ถ้า Error เป็น PB และ Flow เป็น M จะได้ K_p และ T_i เป็น S
 - กฎ 15 : ถ้า Error เป็น PB และ Flow เป็น B จะได้ K_p และ T_i เป็น S
- จากกฎการอนุมานฟuzzyข้างต้น จะได้กฎการปรับค่าฟuzzy ของ K_p และ T_i ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงกฎการอนุมานฟuzzyในรูปแบบตาราง

		Flow		
		S	M	B
K_p	T_i	S	M	B
Error	NB	S	S	M
	NS	S	M	B
	Z	M	B	M
	PS	S	B	S
	PB	S	S	S

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การประยุกต์ใช้ตัวควบคุมพีไอร่วมกับพีซีบนระบบการควบคุมแบบกระจายส่วน

4.1 การออกแบบระบบควบคุมแบบกระจายส่วน

ในการงานวิจัยนี้ได้ออกแบบระบบควบคุมโดยใช้ระบบควบคุมแบบกระจายส่วนของบริษัท SIEMENS ซึ่งอยู่ในกลุ่มของผลิตภัณฑ์ที่มีชื่อว่า PCS7 [2], [5], [6] เรียกว่า ดีซีเอส ซึ่งประกอบไปด้วย 3 ส่วนคือ

4.1.1 AS (Automation System)

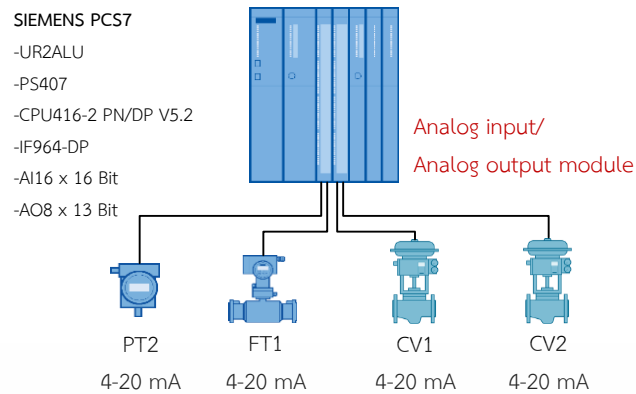
AS คือ ส่วนประมวลผลหลักของระบบควบคุมแบบกระจายส่วน PCS7 ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

- Universal Rack : SIEMENS UR2ALU
- Power supply : SIEMENS PS407
- CPU : SIEMENS CPU416-3 PN/DP V5.2 โดยใช้พอร์ต PN เชื่อมต่อกับเครือข่ายอีเทอร์เน็ตเชิงอุตสาหกรรม
- CPU-Extension module : SIEMENS IF964-DP โดยใช้พอร์ต DP เชื่อมต่อกับเครือข่ายโปรฟิบบัสดีพี
- โมดูลแอนาล็อกอินพุต : AI16x13Bit
- โมดูลแอนาล็อกเอาต์พุต : AO8x13Bit
- PROFIBUS PA/DP Coupler : FDC 157-0
- อุปกรณ์แปลงสัญญาณกระแสเป็นโปรฟิบบัสพีไอ : SMAR IF303 [9]
- อุปกรณ์แปลงสัญญาณโปรฟิบบัสพีไอเป็นกระแส : SMAR FI303 [9]

โดยการเชื่อมต่อระหว่างระบบควบคุมแบบกระจายส่วนกับอุปกรณ์วัดและวาล์วควบคุม มี 2 ลักษณะคือ

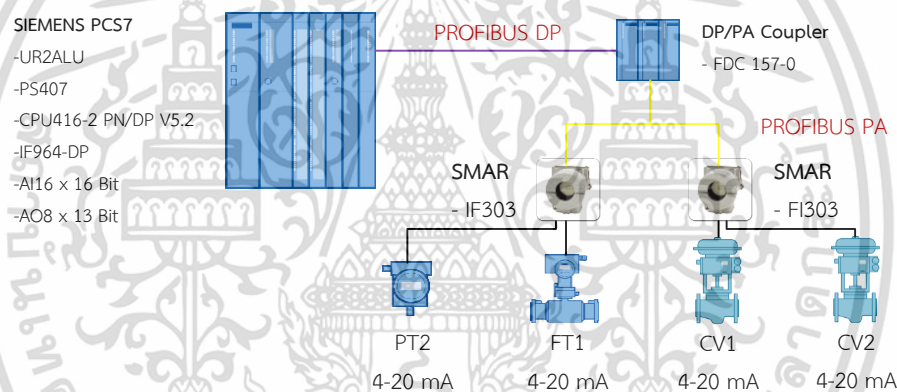
- การเชื่อมต่อผ่านโมดูลแอนาล็อกอินพุตและโมดูลแอนาล็อกเอาต์พุต ดังรูปที่

4.1



รูปที่ 4.1 การเชื่อมต่อผ่านโมดูลแอนาล็อกอินพุตและโมดูลแอนาล็อกเอาต์พุต

- การเชื่อมต่อผ่านโปรฟิบบัสพีเอ โดยใช้อุปกรณ์แปลงสัญญาณกระแสเป็นโปรฟิบบัสพีเอ และอุปกรณ์แปลงสัญญาณโปรฟิบบัสพีเอเป็นกระแส ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 การเชื่อมต่อผ่านโปรฟิบบัสพีเอ

4.1.2 OS (Operator Station)

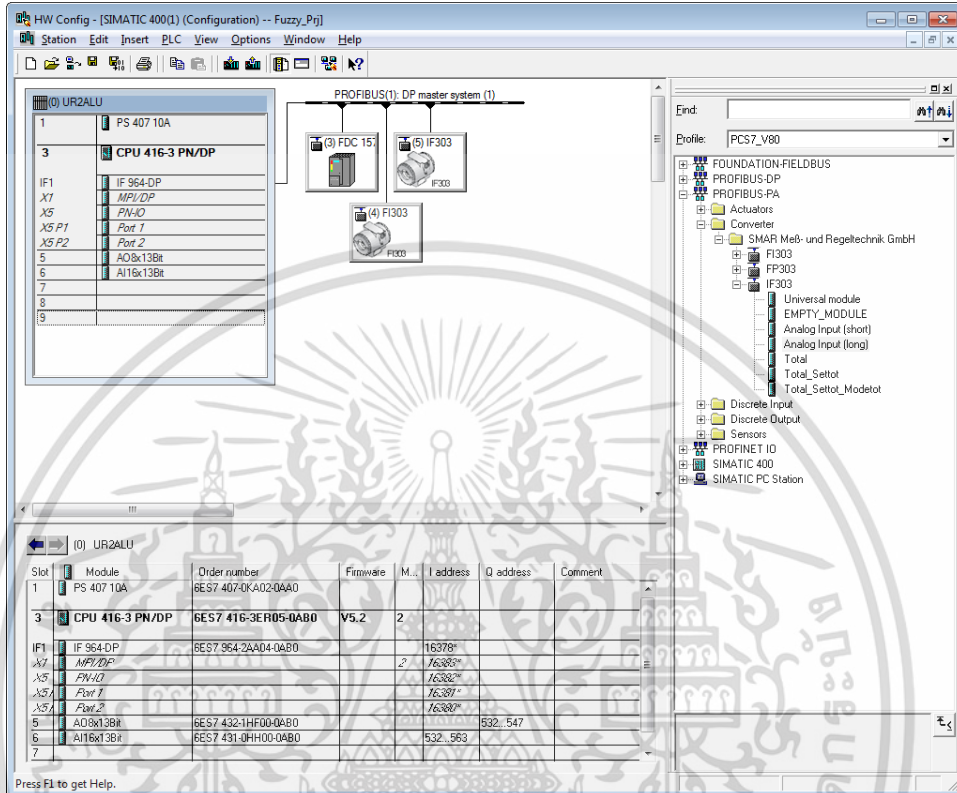
OS คือ ส่วนที่ใช้สั่งการและแสดงผลการทำงานของระบบควบคุมแบบกระจายส่วน PCS7 โดยในส่วนนี้จะเป็นคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งซอฟต์แวร์ PCS7 OS Software Single Station [2]

4.1.3 ES (Engineering Station)

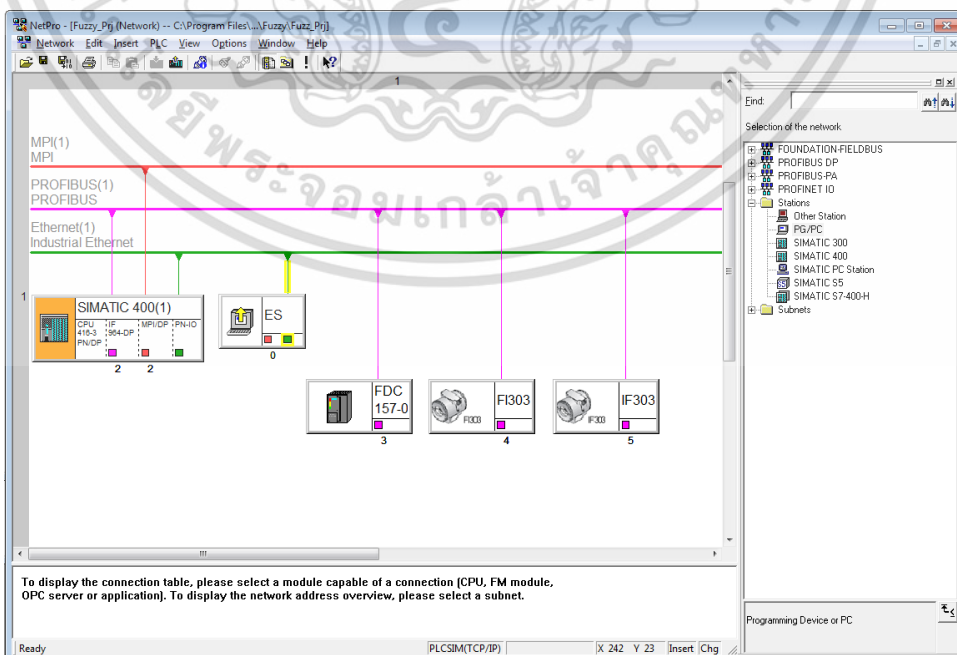
ES คือ ส่วนที่ใช้โปรแกรมการทำงานของส่วน AS และ OS ของระบบควบคุมแบบกระจายส่วน PCS7 โดยในส่วนนี้จะเป็นคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งซอฟต์แวร์ PCS7 Engineering AS/OS [2], [5], [6] ที่ใช้ในการโปรแกรมการทำงานของ AS ด้วยภาษา CFC (Continuous Function Chart) [5] และซอฟต์แวร์ FuzzyControl++ [7] ที่ใช้ในการโปรแกรมฟังก์ชันที่เกี่ยวข้องกับระบบฟัซซี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งในส่วน ES นี้จะมีการทำ Hardware Configuration เพื่อกำหนดให้ AS ทราบถึงอุปกรณ์ที่ติดตั้งให้เป็นไปตามที่ออกแบบ ดังรูปที่ 4.3 และมีการทำ Network Configuration เพื่อกำหนดให้ AS ทราบถึงเครือข่ายที่ติดตั้งให้เป็นไปตามที่ออกแบบ ดังรูปที่ 4.4



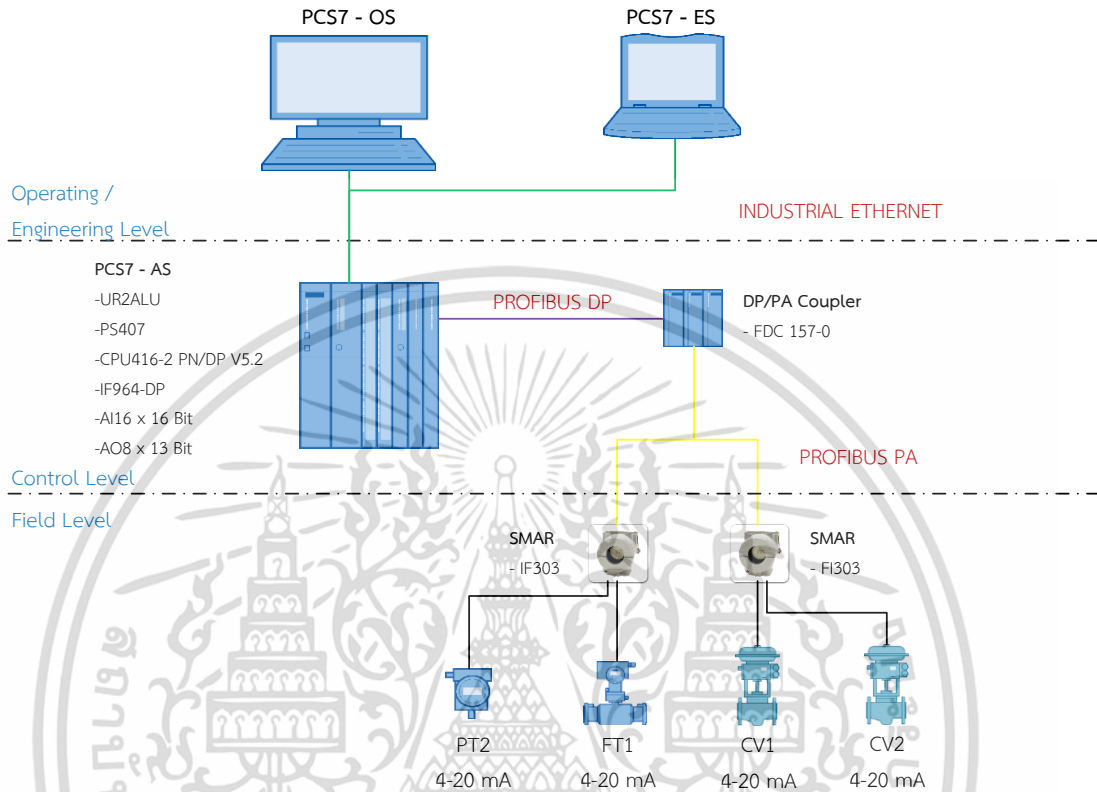
รูปที่ 4.3 AS – Hardware Configuration



รูปที่ 4.4 AS – Network Configuration

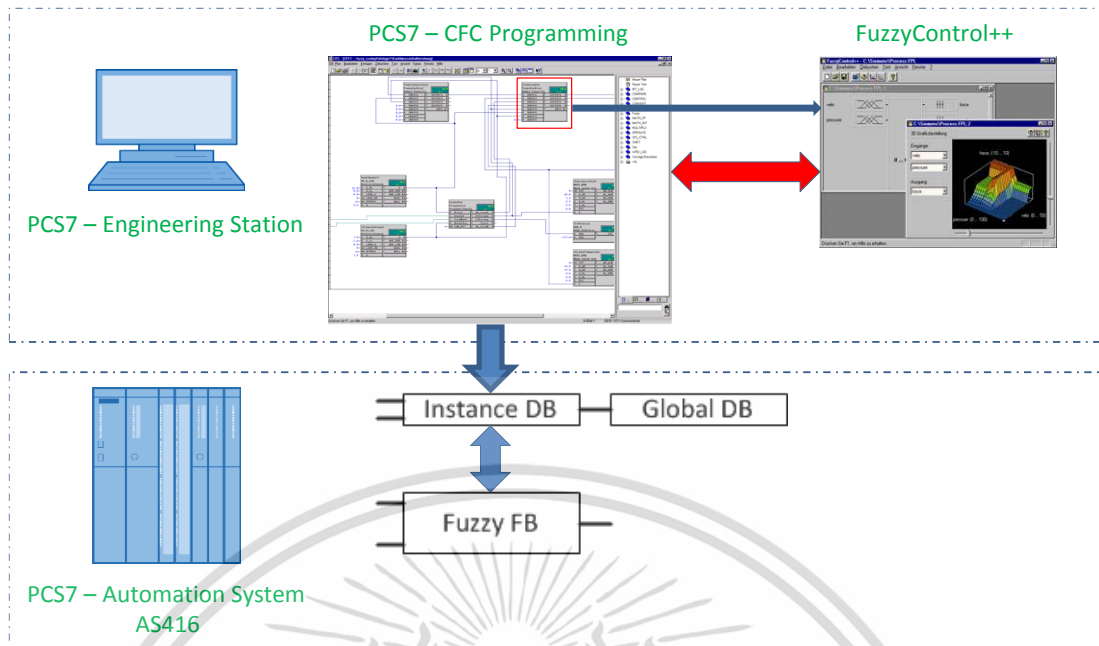
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยภาพรวมเครือข่ายและอุปกรณ์ของระบบควบคุมแบบกระจายส่วน PCS7 ในงานวิจัยระบบนี้จะจะเป็นไปดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ภาพรวมของระบบควบคุมแบบกระจายส่วน

ลักษณะการโปรแกรมฟังก์ชันใน ES จะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่โปรแกรมวิธีการควบคุมของกระบวนการจะอยู่ในส่วนของซอฟต์แวร์ PCS7 - CFC Programming และส่วนที่ใช้ในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของระบบฟัชซีที่ออกแบบจะอยู่ในส่วนของซอฟต์แวร์ FuzzyControl++ ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ภาพรวมของการเขียนโปรแกรมระบบควบคุมแบบกระจายส่วน

4.2 การตั้งค่าอุปกรณ์โปรฟิบบัสพีเอ

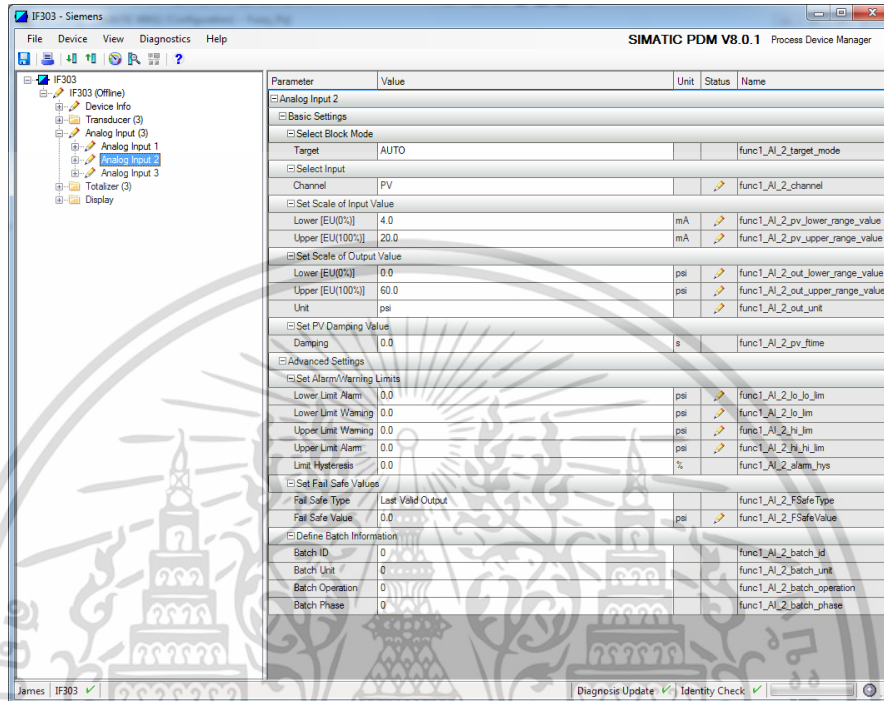
เนื่องจากการใช้อุปกรณ์โปรฟิบบัสพีเอ ได้แก่ อุปกรณ์แปลงสัญญาณกระแสเป็นโปรฟิบบัสพีเอ และอุปกรณ์แปลงสัญญาณโปรฟิบบัสพีเอเป็นกระแส ซึ่งก็คือ อุปกรณ์ยี่ห้อ SMAR รุ่น IF303 และ FI303 [9] ตามลำดับ ซึ่งอุปกรณ์ชนิดนี้จำเป็นจะต้องมีการตั้งค่าพารามิเตอร์ของอุปกรณ์แปลงสัญญาณก่อน โดยหน้าที่ของอุปกรณ์แปลงสัญญาณกระแสเป็นโปรฟิบบัสพีเอ (IF303) ทำหน้าที่แปลงสัญญาณจากสัญญาณแอนาล็อก 4-20 mA เป็นสัญญาณรูปแบบโปรฟิบบัสพีเอ ซึ่งใช้กับอุปกรณ์ชนิดอุปกรณ์วัดชนิดอินพุต ส่วนหน้าที่ของอุปกรณ์แปลงสัญญาณโปรฟิบบัสพีเอเป็นกระแส (FI303) ทำหน้าที่แปลงสัญญาณรูปแบบโปรฟิบบัสพีเอเป็นสัญญาณแอนาล็อก 4-20 mA ซึ่งใช้กับอุปกรณ์ชนิดเอาต์พุต เช่น วาล์วควบคุม

ซึ่งการตั้งค่าพารามิเตอร์นั้นมีความสำคัญต่ออุปกรณ์ชนิดระบบบัสในอุตสาหกรรม เนื่องจากอุปกรณ์ชนิดระบบบัสในอุตสาหกรรมนั้น จะมีการสเกลค่าของอุปกรณ์วัดเป็นหน่วยที่ต้องการ โดยที่ทางตัวควบคุมระบบควบคุมแบบกระจายส่วนไม่จำเป็นต้องสเกลค่าอีก การตั้งค่าพารามิเตอร์จะใช้ซอฟต์แวร์ SIMATIC PDM [10] ของ SIEMENS ในการตั้งค่าอุปกรณ์ IF303 และ FI303 ซึ่งมีการตั้งค่าดังนี้

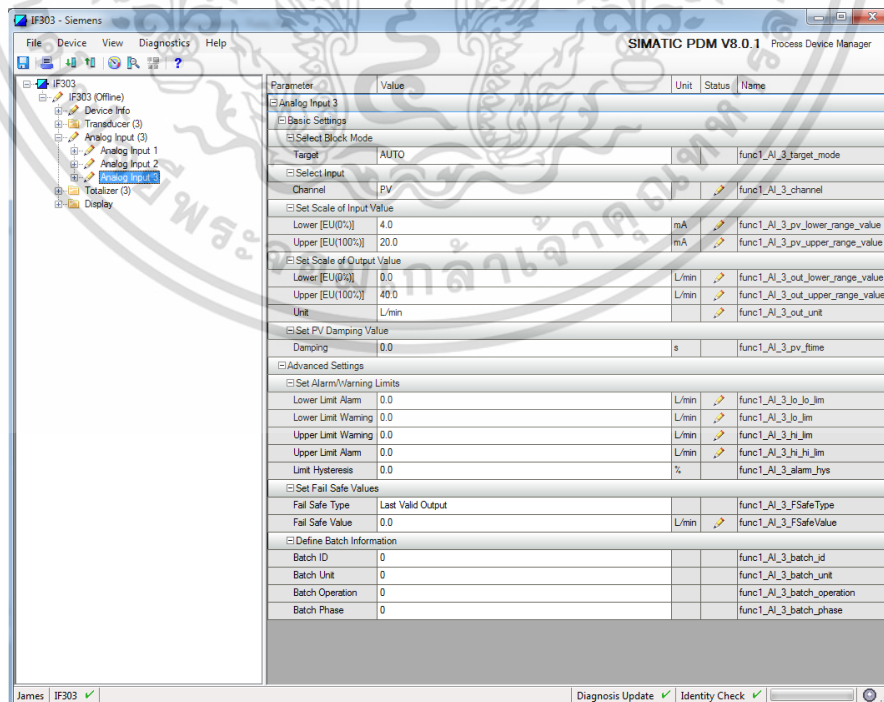
- การตั้งค่า IF303 ใน ช่องที่ 2 ของอุปกรณ์ที่ต่อเข้ากับอุปกรณ์วัด PT2 โดยตั้งค่า 4-20 mA คือ 0-60 psi ดังรูปที่ 4.7 และในช่องที่ 3 ของอุปกรณ์ที่ต่อเข้ากับอุปกรณ์วัด FT1 โดยตั้งค่า 4-20 mA คือ 0-40 L/min ดังรูปที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การตั้งค่า FI303 ใน ช่องที่ 1 ของอุปกรณ์ที่ต่อเข้ากับอุปกรณ์วัด CV1 โดยตั้งค่า 4-20 mA คือ 0-100% และในช่องที่ 3 ของอุปกรณ์ที่ต่อเข้ากับอุปกรณ์วัด CV2 โดยตั้งค่า 4-20 mA คือ 0-100% ดังรูปที่ 4.9

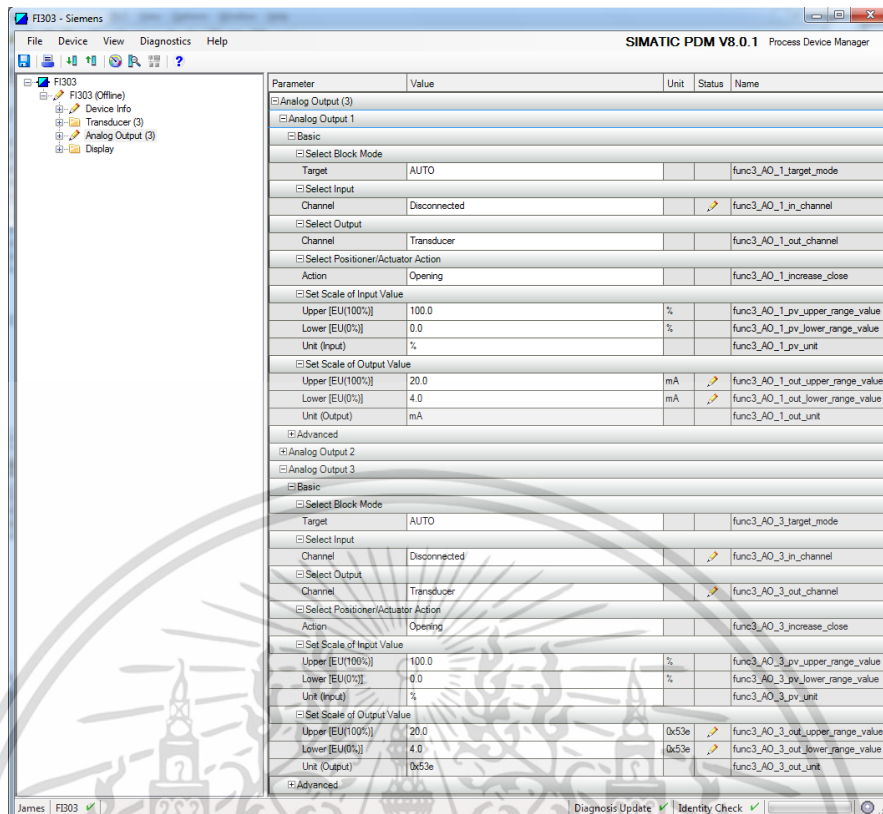


รูปที่ 4.7 การตั้งค่า IF303 ช่องที่ 2 ที่ต่อกับ PT2 ด้วยซอฟต์แวร์ SIMATIC PDM



รูปที่ 4.8 การตั้งค่า IF303 ช่องที่ 3 ที่ต่อกับ FT1 ด้วยซอฟต์แวร์ SIMATIC PDM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 การตั้งค่า FI303 ช่องที่ 1, 3 ที่ต่อกับ CV1, CV2 ด้วยซอฟต์แวร์ SIMATIC PDM

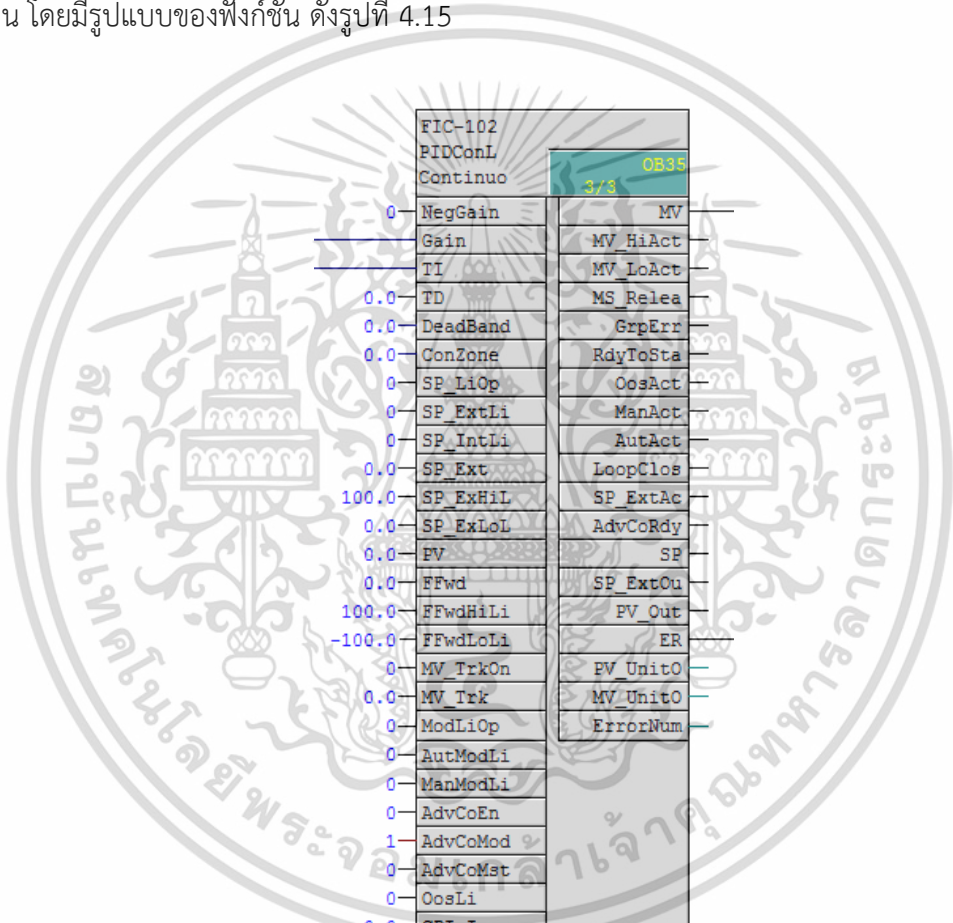
4.3 ฟังก์ชันที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมของระบบควบคุมแบบกระจายส่วน

ในการทำวิจัยนี้ได้ใช้ระบบควบคุมแบบกระจายส่วน ซึ่งได้เลือกใช้ PCS7 V7.1 ของ SIEMENS [2], [5], [6] สำหรับการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานของระบบ และใช้ซอฟต์แวร์ FuzzyControl++ [7] ของ SIEMENS ในการสร้างระบบฟัซซี่ที่ได้จากการออกแบบข้างต้น โดยค่าที่ได้จะอยู่ในรูปแบบดาต้าบล็อก (Data Block) ซึ่งจะถูกเรียกใช้โดย Fuzzy CFC Library ในการเขียนโปรแกรมบนระบบควบคุมแบบกระจายส่วน PCS7 นั้นจะเขียนในรูปแบบ Continuous Function Chart (CFC) โดยใช้ฟังก์ชันมาตรฐานของระบบควบคุมแบบกระจายส่วน PCS7 ซึ่งมีรายละเอียดของฟังก์ชันดังนี้

- ฟังก์ชันตัวควบคุมพีไอ: PIDConL (FIC102) ซึ่งก็คือฟังก์ชันของระบบควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอ โดยมีรูปแบบของฟังก์ชัน ดังรูปที่ 4.10 ในการทดลองนี้จะตั้งค่า TD ให้เป็นศูนย์ เพื่อใช้ฟังก์ชันนี้เป็นตัวควบคุมพีไอ
- ฟังก์ชันระบบฟัซซี่: Fuzzy_20 (FIC101) ซึ่งก็คือฟังก์ชันของระบบฟัซซี่ โดยมีรูปแบบของฟังก์ชัน ดังรูปที่ 4.11
- ฟังก์ชันอ่านค่าอินพุตผ่านระบบบัส: FbAnIn (PV_F_PA) ซึ่งก็คือฟังก์ชันที่ใช้ในการอ่านค่าแอนาลอกอินพุต ผ่านทางระบบบัสในอุตสาหกรรม ซึ่งในที่นี้จะอ่านค่าผ่านทางโปรพิบัสพีเอ โดยมีรูปแบบของฟังก์ชัน ดังรูปที่ 4.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

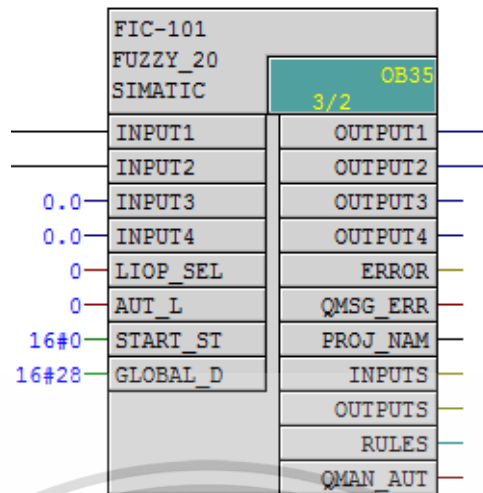
- ฟังก์ชันส่งค่าเอาต์พุตผ่านระบบบัส: FbAnOu (MV_F_PA) ซึ่งก็คือฟังก์ชันที่ใช้ในการส่งค่าแอนาล็อกเอาต์พุต ผ่านทางระบบบัสในอุตสาหกรรม ซึ่งในที่นี้จะส่งค่าผ่านทางโปรฟิบบัสพีเอ โดยมีรูปแบบของฟังก์ชัน ดังรูปที่ 4.13
- ฟังก์ชันอ่านค่าอินพุตผ่านโมดูลแอนาล็อก: Pcs7AnIn (PV_F_AI) ซึ่งก็คือฟังก์ชันที่ใช้ในการอ่านค่าแอนาล็อกอินพุต ผ่านทางโมดูลแอนาล็อกอินพุตของระบบควบคุมแบบกระจายส่วน โดยมีรูปแบบของฟังก์ชัน ดังรูปที่ 4.14
- ฟังก์ชันส่งค่าเอาต์พุตผ่านโมดูลแอนาล็อก: Pcs7AnOu (MV_F_AO) ซึ่งก็คือฟังก์ชันที่ใช้ในการส่งค่าแอนาล็อกเอาต์พุต ผ่านทางโมดูลแอนาล็อกเอาต์พุตของระบบควบคุมแบบกระจายส่วน โดยมีรูปแบบของฟังก์ชัน ดังรูปที่ 4.15



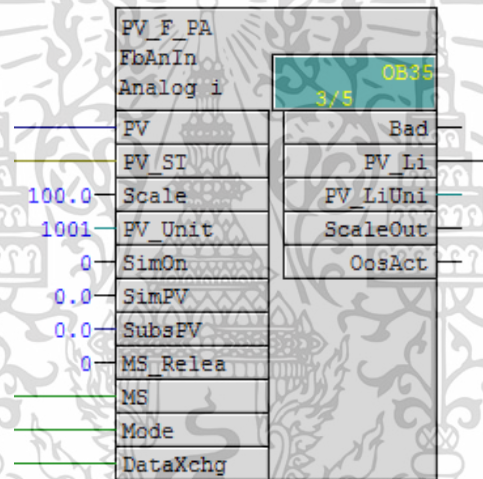
FIC-102	PIDConL	OB35
Continuo	3/3	
0	NegGain	MV
	Gain	MV_HiAct
	TI	MV_LoAct
0.0	TD	MS Relea
0.0	DeadBand	GrpErr
0.0	ConZone	RdyToSta
0	SP_LiOp	OosAct
0	SP_ExtLi	ManAct
0	SP_IntLi	AutAct
0.0	SP_Ext	LoopClos
100.0	SP_ExHiL	SP_ExtAc
0.0	SP_ExLoL	AdvCoRdy
0.0	PV	SP
0.0	FFwd	SP_ExtOu
100.0	FFwdHiLi	PV_Out
-100.0	FFwdLoLi	ER
0	MV_TrkOn	PV_UnitO
0.0	MV_Trk	MV_UnitO
0	ModLiOp	ErrorNum
0	AutModLi	
0	ManModLi	
0	AdvCoEn	
1	AdvCoMod	
0	AdvCoMet	
0	OosLi	
0.0	CPI_In	
0.0	RefStdDe	
100.0	MV_HiLim	
0.0	MV_LoLim	
0	MV_ForOn	
0.0	MV_Force	
0.0	Rbk	
100.0	PV_OpSca	
100.0	MV_OpSca	
1001	PV_Unit	
1342	MV_Unit	
0	TimeFact	
0	CSF	
16#0	EventTsI	

รูปที่ 4.10 PCS7 - CFC : ฟังก์ชันตัวควบคุมพีเอ- PIDConL (FIC-102)

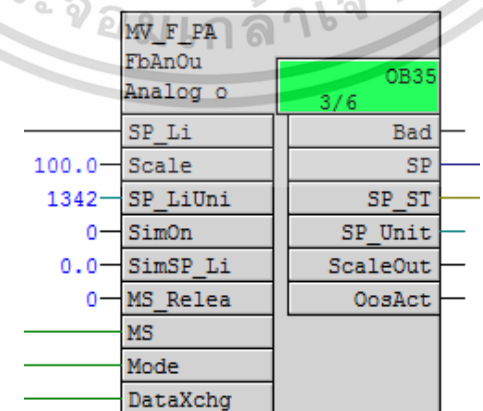
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสาร หากมีการนำออกไปใช้ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 PCS7 - CFC : ฟังก์ชันระบบฟัซซี่ – FUZZY_20 (FIC-101)



รูปที่ 4.12 PCS7 - CFC : ฟังก์ชันอ่านค่าอินพุตผ่านระบบบัส – FbAnIn (PV_F_PA)



รูปที่ 4.13 PCS7 - CFC : ฟังก์ชันส่งค่าเอาต์พุตผ่านระบบบัส – FbAnOu (MV_F_PA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PV_F_AI	
Pcs7AnIn	OB35
Analog i	3/1
PV_In	Bad
40.0 Scale	PV_Out
1001 PV_InUni	PV_OutUn
0 SimOn	ScaleOut
0.0 SimPV_In	OosAct
0.0 SubsPV_I	
0 MS_Relea	
MS	
Mode	
DataXchg	

รูปที่ 4.14 PCS7 - CFC : ฟังก์ชันอ่านค่าอินพุตผ่านโมดูลแอนาลอก – Pcs7AnIn (PV_F_AI)

MV_F_AO	
Pcs7AnOu	OB35
Analog o	3/4
0.0 PV_In	Bad
100.0 Scale	PV_Out
1342 PV_InUni	PV ChnST
0 SimOn	PV_OutUn
0.0 SimPV_In	ScaleOut
0.0 StartVal	OosAct
0 MS_Relea	
MS	
Mode	
DataXchg	

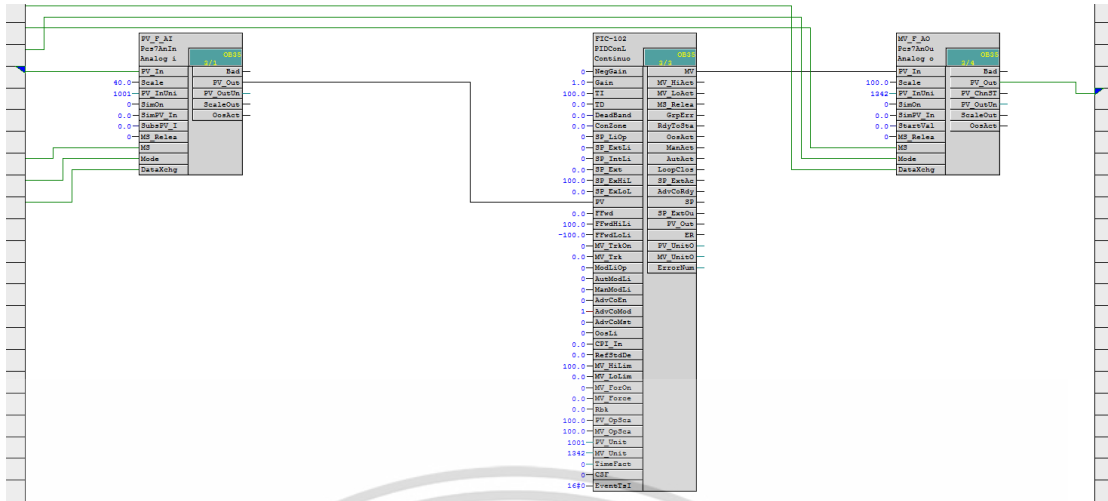
รูปที่ 4.15 PCS7 - CFC : ฟังก์ชันส่งค่าเอาต์พุตผ่านโมดูลแอนาลอก – Pcs7AnOu (MV_F_AO)

4.4 โปรแกรมของระบบควบคุมแบบกระจายส่วนที่ใช้ในการทดลอง

ในการทำการทดลองในงานวิจัยนี้ ได้ออกแบบโปรแกรมจากฟังก์ชันในหัวข้อที่ 4.3 ดังต่อไปนี้

4.4.1 การควบคุมอัตราการไหลด้วยตัวควบคุมพีไอผ่านทางโมดูลแอนาลอกอินพุต และโมดูลแอนาลอกเอาต์พุต

การเขียนโปรแกรมการควบคุมอัตราการไหลด้วยตัวควบคุมพีไอผ่านทางโมดูลแอนาลอกอินพุตและโมดูลแอนาลอกเอาต์พุต โดยเขียนโปรแกรมที่เรียกใช้ฟังก์ชัน Pcs7AnIn (PV_F_AI) Pcs7AnOu (MV_F_AO) และ PIDConL (FIC-102) ดังรูปที่ 4.16

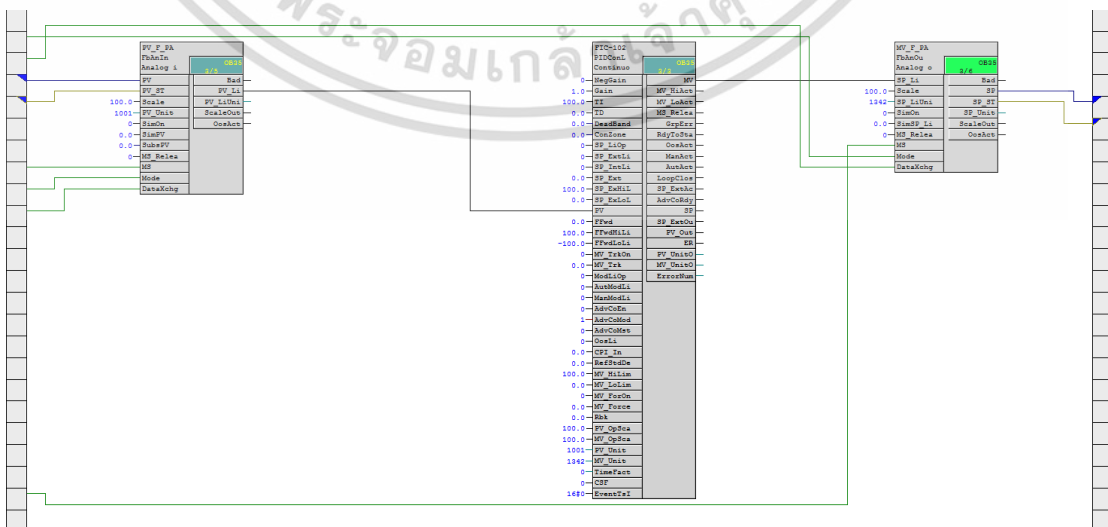


รูปที่ 4.16 PCS7 – การเขียนโปรแกรม : ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอผ่าน โมดูลแอนาล็อกอินพุต/เอาต์พุต

โดยที่ฟังก์ชัน Pcs7AnIn จะทำหน้าที่อ่านค่าอัตราการไหลจากอุปกรณ์วัดอัตราการไหล (FT1) ผ่านทางโมดูลแอนาล็อกอินพุต แล้วแปลงค่าเป็นหน่วยที่ต้องการควบคุม จากนั้นส่งข้อมูลไปให้ฟังก์ชัน PIDConL ซึ่งก็คือฟังก์ชันตัวควบคุมพีไอ เพื่อเป็นสัญญาณป้อนกลับ ค่าเอาต์พุตจากตัวควบคุมพีไอจะส่งไปยังฟังก์ชัน Pcs7AnOu เพื่อส่งค่าไปยังโมดูลแอนาล็อกเอาต์พุต สำหรับแปลงเป็นสัญญาณแอนาล็อกส่งไปควบคุมวาล์วควบคุม (CV2)

4.4.2 การควบคุมอัตราการไหลด้วยตัวควบคุมพีไอผ่านทางอุปกรณ์โปรพิบัสพีเอ

การเขียนโปรแกรมการควบคุมอัตราการไหลด้วยตัวควบคุมพีไอผ่านทางอุปกรณ์โปรพิบัสพีเอ โดยเขียนโปรแกรมที่เรียกใช้ฟังก์ชัน FbAnIn (PV_F_PA) FbAnOu (MV_F_PA) และ PIDConL (FIC-102) ดังรูปที่ 4.17



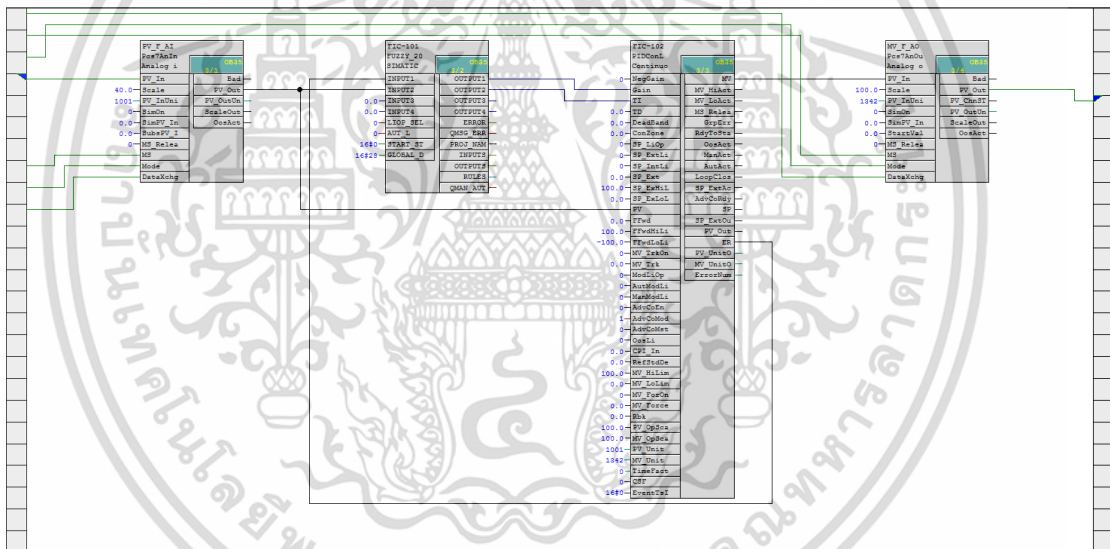
รูปที่ 4.17 PCS7 – การเขียนโปรแกรม : ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอผ่านอุปกรณ์โปรพิบัสพีเอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต หากต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อฝ่ายวิชาการของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

โดยที่ฟังก์ชัน FbAnIn ทำหน้าที่การอ่านค่าอัตราการไหลจากอุปกรณ์วัดอัตราการไหล (FT1) ผ่านทางอุปกรณ์แปลงสัญญาณโปรพิบัสพีเอ (IF303) แล้วส่งต่อข้อมูลที่ได้ไปให้ ฟังก์ชัน PIDConL ซึ่งก็คือฟังก์ชันตัวควบคุมพีเอ เพื่อเป็นสัญญาณป้อนกลับ ค่าเอาต์พุตจากตัวควบคุมพีเอ ก็ จะส่งไปยังฟังก์ชัน FbAnOu เพื่อส่งค่าไปยังอุปกรณ์แปลงสัญญาณโปรพิบัสพีเอ (FI303) สำหรับ แปลงเป็นสัญญาณแอนาลอกส่งไปควบคุมวาล์วควบคุม (CV2)

4.4.3 การควบคุมอัตราการไหลด้วยตัวควบคุมพีเอร่วมกับพีชซีผ่านทางโมดูลแอนาลอก อินพุตและโมดูลแอนาลอกเอาต์พุต

ในการเขียนโปรแกรมการควบคุมอัตราการไหลด้วยตัวควบคุมพีเอร่วมกับพีชซี ผ่านทางโมดูลแอนาลอกอินพุต และโมดูลแอนาลอกเอาต์พุต โดยเขียนโปรแกรมที่เรียกใช้ฟังก์ชัน Pcs7AnIn (PV_F_AI) Pcs7AnOu (MV_F_AO) Fuzzy_20 (FIC-101) และ PIDConL (FIC-102) ดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 PCS7 – การเขียนโปรแกรม : ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีเอร่วมกับพีชซีผ่าน โมดูลแอนาลอกอินพุต/เอาต์พุต

โดยที่ฟังก์ชัน Pcs7AnIn จะเป็นการอ่านค่าอัตราการไหลจากอุปกรณ์วัดอัตราการไหล (FT1) ผ่านทางโมดูลแอนาลอกอินพุต แล้วแปลงค่าเป็นหน่วยที่ต้องการควบคุม ส่งต่อข้อมูลไปให้ ฟังก์ชัน PIDConL ซึ่งก็คือฟังก์ชันตัวควบคุมพีเอ เพื่อเป็นสัญญาณป้อนกลับ และส่งข้อมูลไปยัง ฟังก์ชัน Fuzzy_20 ซึ่งก็คือฟังก์ชันระบบพีชซี เพื่อเป็นอินพุตของระบบพีชซี และฟังก์ชันตัวควบคุม พีเอจะส่งข้อมูลค่า Error ไปเป็นอินพุตของระบบพีชซีตามที่ได้ออกแบบไว้ จากนั้นฟังก์ชันของระบบ พีชซีจะส่งเอาต์พุต ซึ่งก็คือค่า K_p และค่า T_i ไปยังฟังก์ชันตัวควบคุมพีเอเพื่อใช้ในการควบคุม

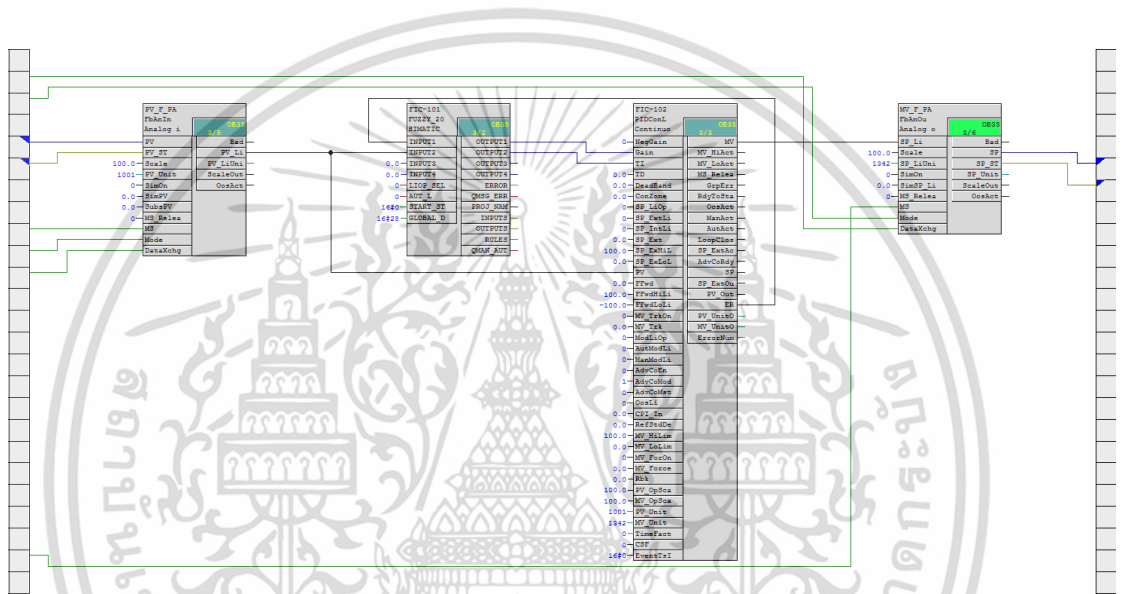
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอาต์พุตจากตัวควบคุมพีไอจะส่งไปยังฟังก์ชัน Pcs7AnOu เพื่อส่งค่าไปยังโมดูลแอนาลอกเอาต์พุต เพื่อแปลงเป็นสัญญาณแอนาลอกไปควบคุมวาล์วควบคุม (CV2)

4.4.4 การควบคุมอัตราการไหลด้วยตัวควบคุมพีไอร่วมกับพีซซีผ่านทางอุปกรณ์โปรฟิบบัส

พีไอ

การเขียนโปรแกรมการควบคุมอัตราการไหลด้วยตัวควบคุมพีไอผ่านทางอุปกรณ์โปรฟิบบัสพีไอ โดยเขียนโปรแกรมที่เรียกใช้ฟังก์ชัน FbAnIn (PV_F_PA) FbAnOu (MV_F_PA) Fuzzy_20 (FIC-101) และ PIDConL (FIC-102) ดังรูปที่ 4.19

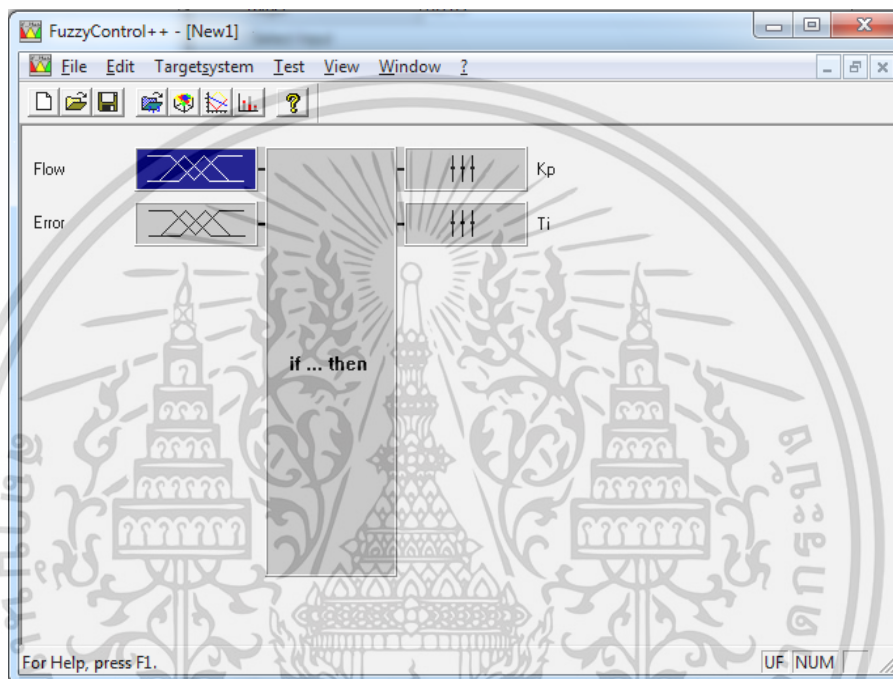


รูปที่ 4.19 PCS7 - การเขียนโปรแกรม : ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอร่วมกับพีซซีผ่านทางอุปกรณ์โปรฟิบบัสพีไอ

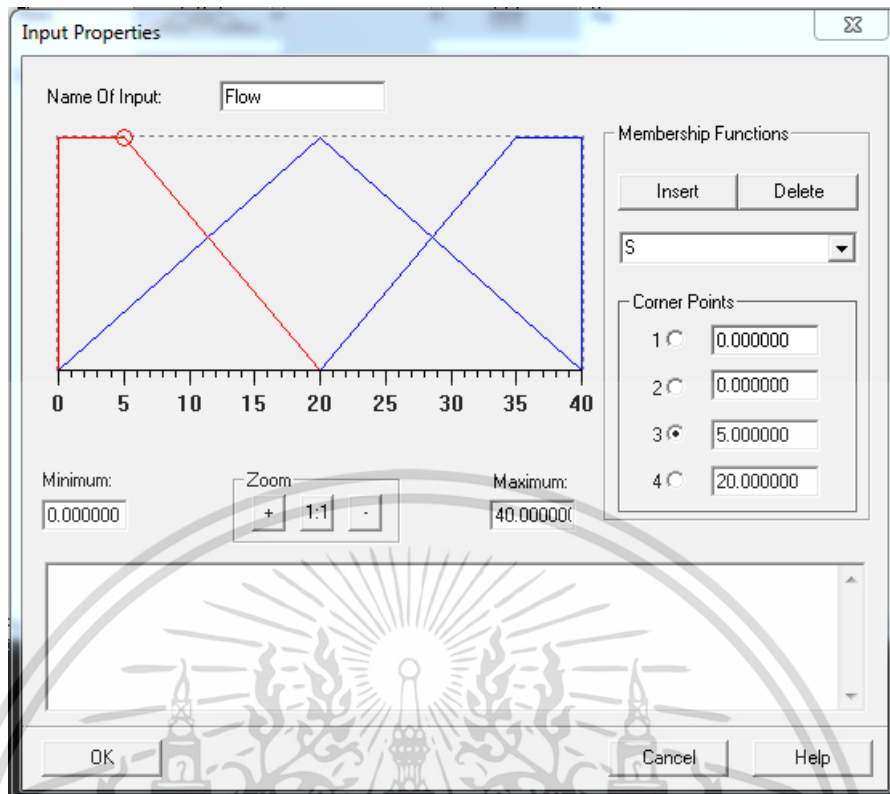
โดยที่ฟังก์ชัน FbAnIn ทำหน้าที่อ่านค่าอัตราการไหลจากอุปกรณ์วัดอัตราการไหล (FT1) ผ่านทางอุปกรณ์แปลงสัญญาณโปรฟิบบัสพีไอ (IF303) แล้วส่งต่อข้อมูลไปให้ฟังก์ชัน PIDConL ซึ่งก็คือฟังก์ชันตัวควบคุมพีไอ เพื่อเป็นสัญญาณป้อนกลับ และส่งข้อมูลไปยังฟังก์ชัน Fuzzy_20 ซึ่งก็คือฟังก์ชันระบบพีซซี เพื่อเป็นอินพุตของระบบพีซซี และฟังก์ชันตัวควบคุมพีไอจะส่งข้อมูลค่า Error ไปเป็นอินพุตของระบบพีซซีตามที่ได้ออกแบบไว้ จากนั้นฟังก์ชันของระบบพีซซีจะส่งเอาต์พุต ซึ่งก็คือค่า K_p และค่า T_i ไปยังฟังก์ชันตัวควบคุมพีไอเพื่อใช้ในการควบคุม เอาต์พุตจากตัวควบคุมพีไอ ก็จะส่งไปยังฟังก์ชัน FbAnOu เพื่อส่งค่าไปยังอุปกรณ์แปลงสัญญาณโปรฟิบบัสพีไอ (FI303) เพื่อแปลงเป็นสัญญาณแอนาลอกไปควบคุมวาล์วควบคุม (CV2)

4.5 ระบบฟัซซี่

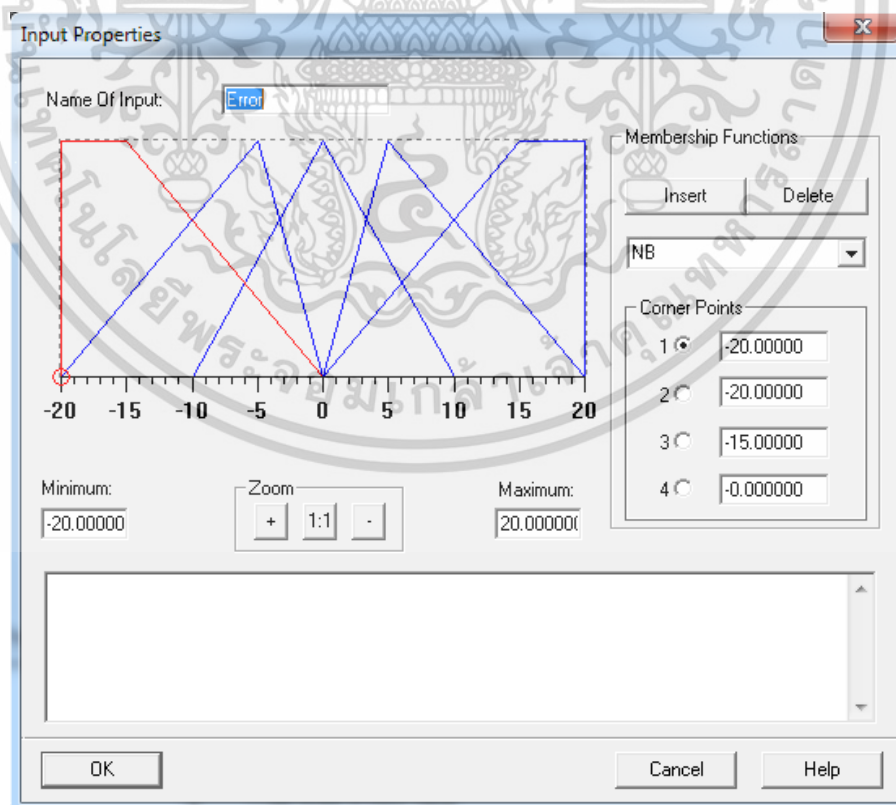
จากโครงสร้างของระบบปรับตั้งค่าเองของตัวควบคุมพีไอร่วมกับฟัซซี่ และกฎของฟัซซี่ที่ปรับค่าเองตามที่ได้ออกแบบในหัวข้อที่ 3.1 และหัวข้อที่ 3.2 นำข้อมูลที่ได้ไปโปรแกรมในซอฟต์แวร์ FuzzyControl++ [7] ได้ดังรูปที่ 4.20 ถึงรูปที่ 4.25 เพื่อใช้ในการสร้าง Datablock (DB) ที่จะนำค่าที่ต้องการไปใช้ในโปรแกรมของระบบควบคุมแบบกระจายส่วนในหัวข้อ 4.4.3 และ 4.4.4 ในส่วนของฟังก์ชัน Fuzzy_20 (FIC-101)



รูปที่ 4.20 ซอฟต์แวร์ FuzzyControl++ : ตั้งค่าระบบเป็น 2 อินพุต และ 2 เอาต์พุต

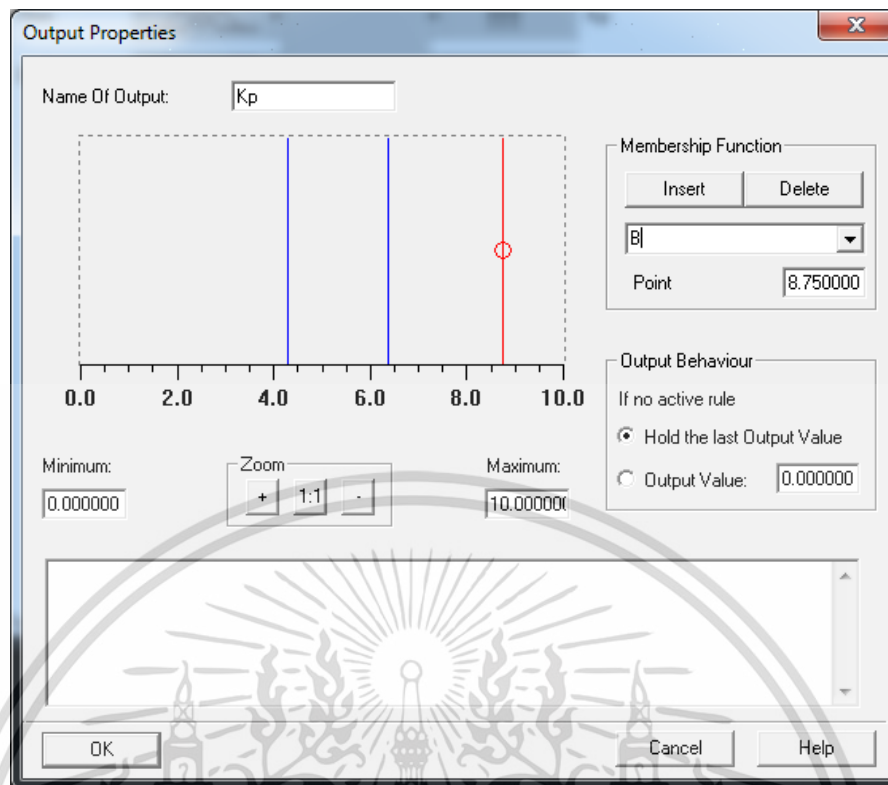


รูปที่ 4.21 ซอฟต์แวร์ FuzzyControl++ : ตั้งค่าระดับความเป็นสมาชิกอินพุต Flow

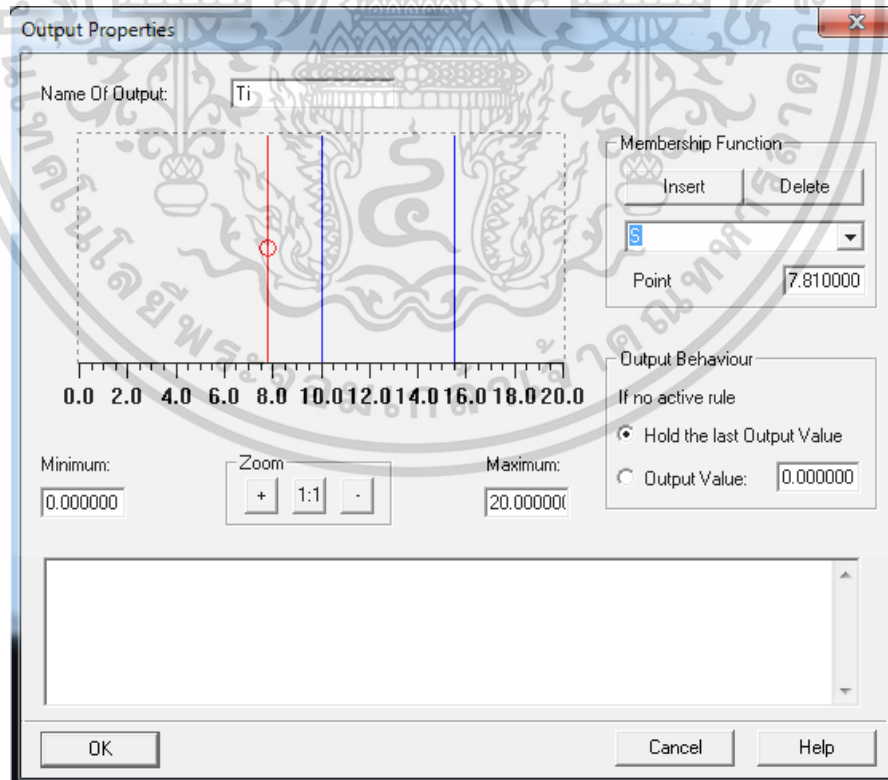


รูปที่ 4.22 ซอฟต์แวร์ FuzzyControl++ : ตั้งค่าระดับความเป็นสมาชิกอินพุต Error

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 ซอฟต์แวร์ FuzzyControl++ : ตั้งค่าระดับความเป็นสมาชิกเอาต์พุต K_p



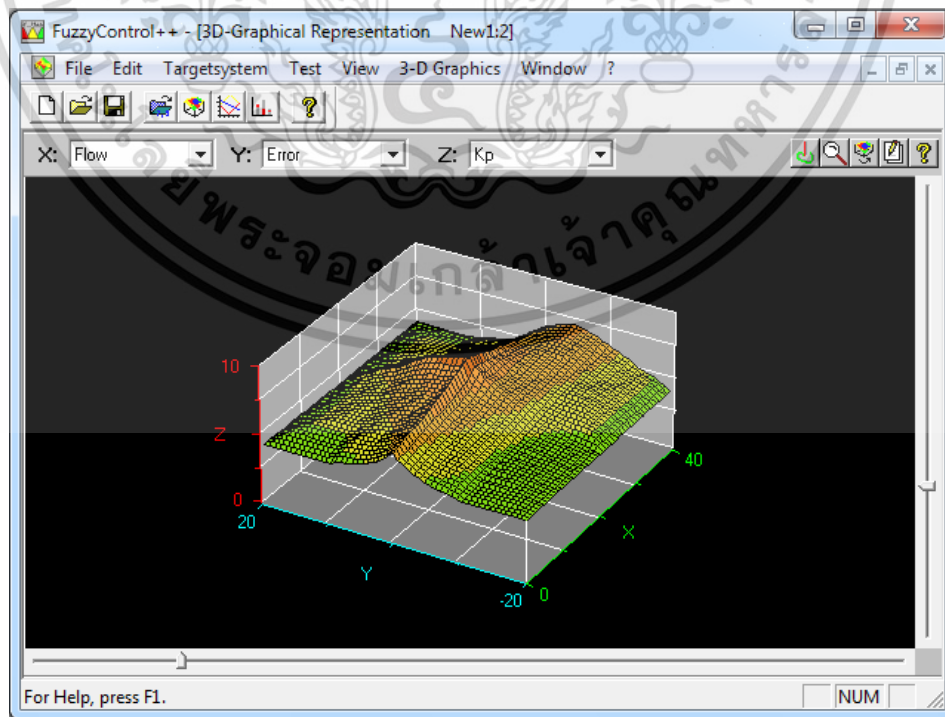
รูปที่ 4.24 ซอฟต์แวร์ FuzzyControl++ : ตั้งค่าระดับความเป็นสมาชิกเอาต์พุต T_i

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



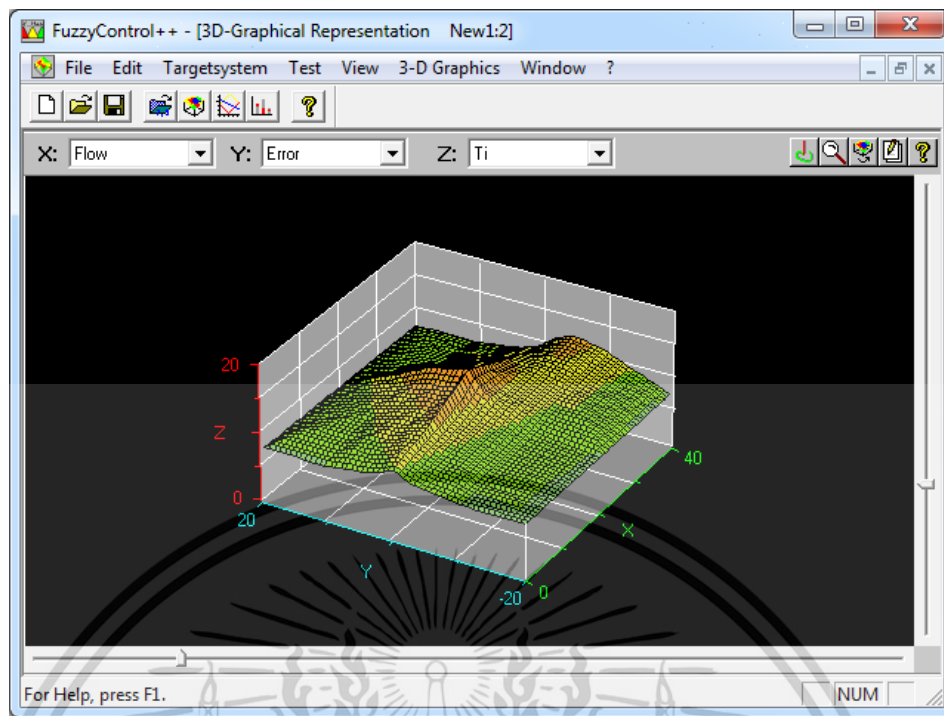
รูปที่ 4.25 ซอฟต์แวร์ FuzzyControl++ : ตั้งค่าเมทริกซ์กฎของฟัซซี่

ผลที่ได้จากการอนุมานฟัซซี่ของซอฟต์แวร์ FuzzyControl++ จากพารามิเตอร์ที่กำหนดลงในซอฟต์แวร์ข้างต้นจะได้ผลของกราฟพื้นผิวของเอาต์พุตของ K_p ดังรูปที่ 4.26 และผลของกราฟพื้นผิวของเอาต์พุตของ T_i ดังรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.26 ซอฟต์แวร์ FuzzyControl++ : ผลลัพธ์กราฟพื้นผิวของเอาต์พุต K_p

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้เพื่อการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.27 ซอฟต์แวร์ FuzzyControl++ : ผลลัพธ์กราฟพื้นผิวของเอาต์พุต T_i

ซึ่งจากผลจากการกำหนดค่าที่ได้จากระดับความเป็นสมาชิกของอินพุต และเอาต์พุต รวมถึงกฎของฟัซซี่ลงในซอฟต์แวร์ FuzzyControl++ และมีการอนุมานฟัซซี่ ผลลัพธ์ที่ได้ก็จะถูกเก็บอยู่ในรูปแบบ Datablock (DB) ซึ่งจะนำไปใช้ในฟังก์ชันของระบบฟัซซี่ Fuzzy_20 (FIC-101) ในโปรแกรมของระบบควบคุมแบบกระจายส่วนต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

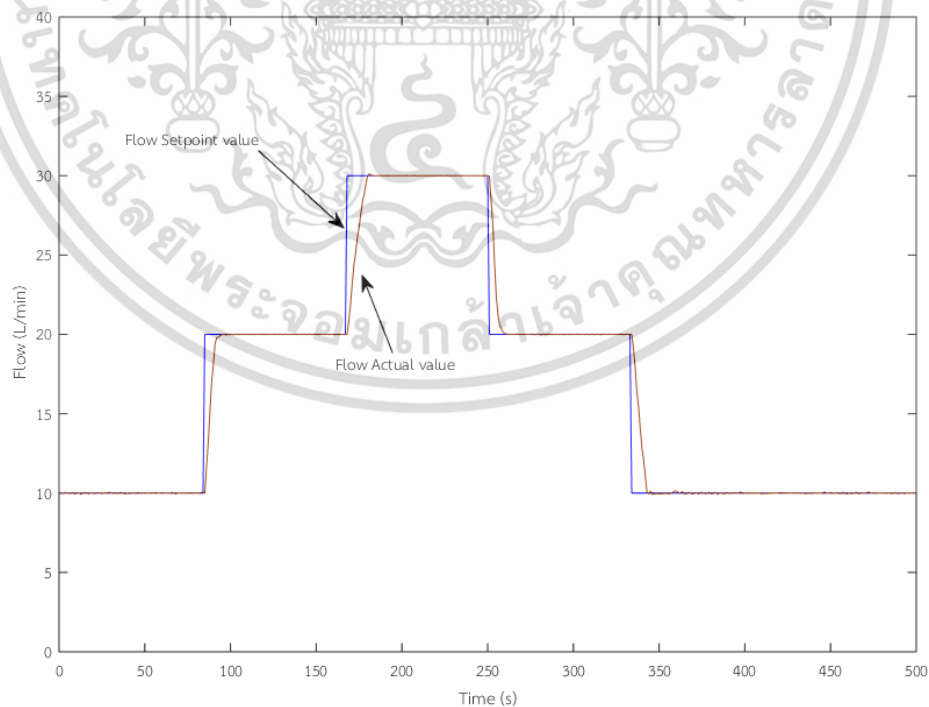
จากบทที่ 3 ได้กล่าวถึงวิธีการออกแบบระบบที่ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอที่ปรับค่าเอง โดยพีซี และบทที่ 4 วิธีการประยุกต์ใช้บนระบบควบคุมแบบกระจายส่วน บทนี้กล่าวถึงผลการทดลองเพื่อรับรองสมรรถนะของระบบควบคุม ซึ่งมีรายละเอียดผลการทดลองดังต่อไปนี้

5.1 การควบคุมอัตราการไหลด้วยตัวควบคุมพีไอผ่านทางโมดูลแอนาล็อกอินพุต และโมดูลแอนาล็อกเอาต์พุต

กรณีแรก ใช้ตัวควบคุมพีไอแบบพารามิเตอร์คงที่ เพื่อควบคุมอัตราการไหล โดยเชื่อมต่อกับอุปกรณ์วัดผ่านทางโมดูลแอนาล็อกอินพุตและโมดูลแอนาล็อกเอาต์พุต และใช้ซอฟต์แวร์ PCS7 PID-tuner เพื่อคำนวณหาพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีไอ โดยอาศัยการประเมินพารามิเตอร์ของกระบวนการ ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังนี้คือ

- พารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอ : $K_p = 33.513$, $T_i = 1.991$ s
- พารามิเตอร์ของกระบวนการ : $K = 0.439$, $\tau = 2.083$ s $T_d = 0.286$ s

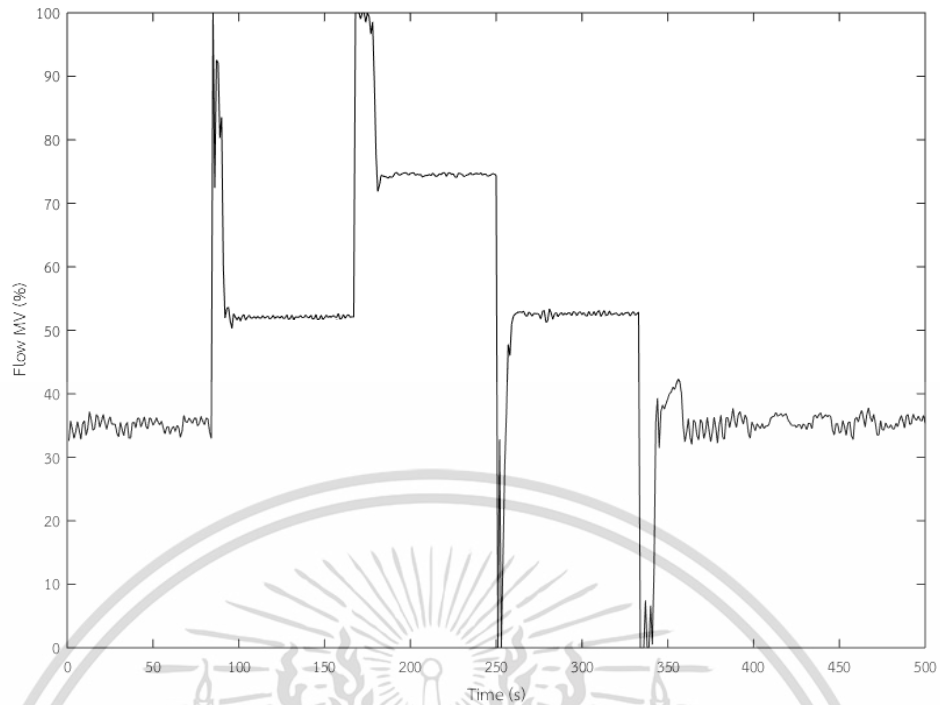
นำพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดังกล่าวใช้ควบคุมอัตราการไหล จะได้ผลตอบสนองของอัตราการไหล, ค่าสัญญาณควบคุม และค่าแรงดัน ดังรูปที่ 5.1, 5.2 และ 5.3 ตามลำดับ



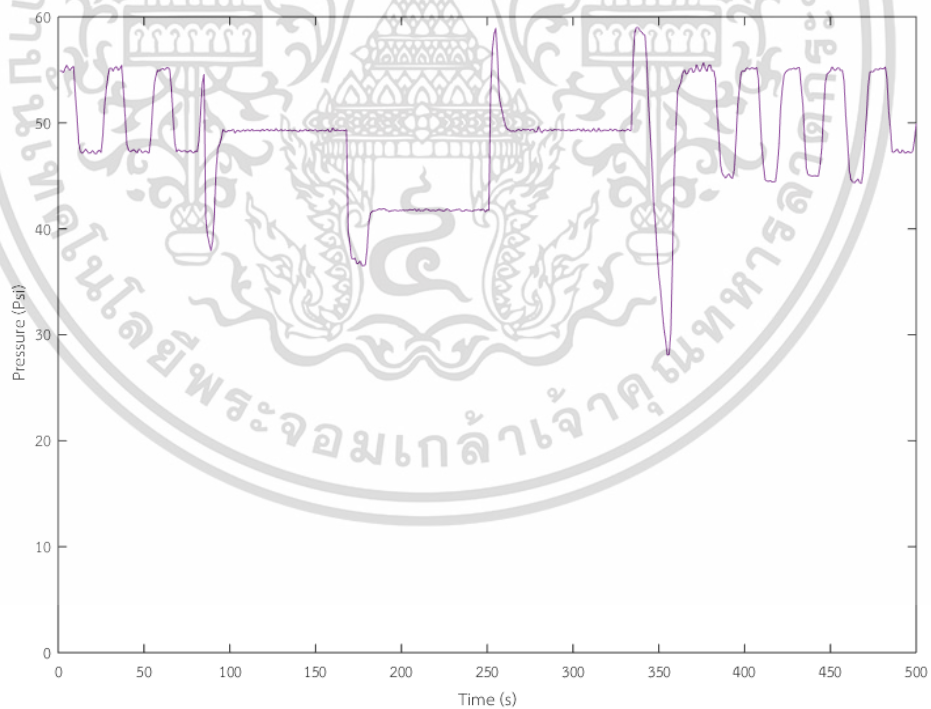
รูปที่ 5.1 ผลการทดลอง - อัตราการไหล : ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอ

ผ่านโมดูลแอนาล็อกอินพุต/เอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 ผลการทดลอง – ค่าสัญญาณควบคุม : ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอ
ผ่านโมดูลแอนาล็อกอินพุต/เอาต์พุต



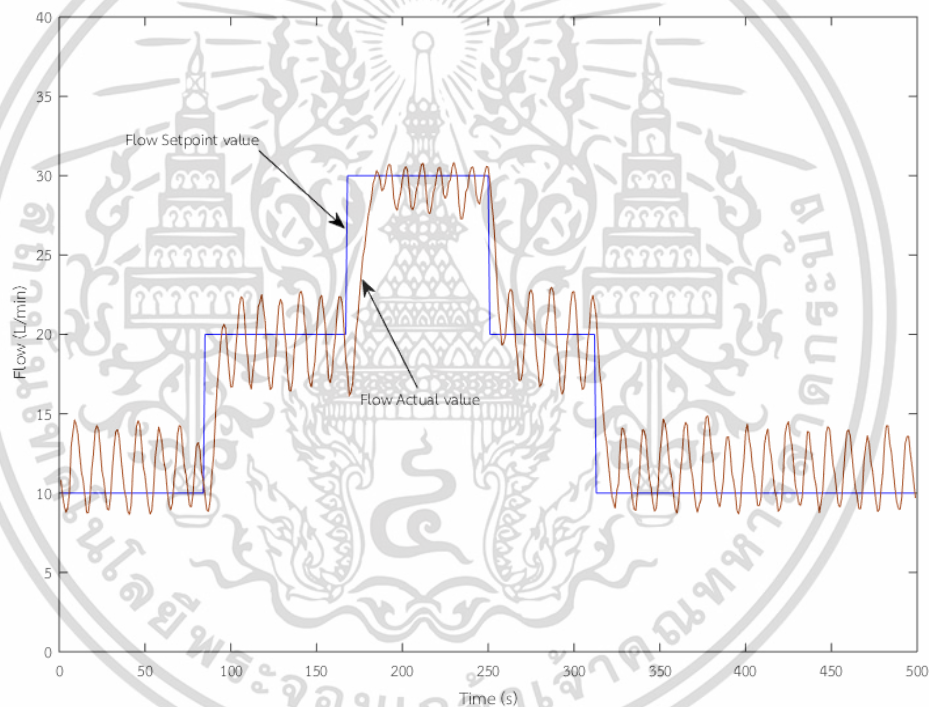
รูปที่ 5.3 ผลการทดลอง – ค่าแรงดัน : ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอ
ผ่านโมดูลแอนาล็อกอินพุต/เอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าเมื่อได้มีการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอที่เหมาะสม จะได้ผลตอบสนองตามค่าเป้าหมายที่ต้องการ นั่นคือ ด้านขึ้น เปลี่ยนค่าเป้าหมายเริ่มต้นจาก 10 L/min ไปยัง 20 L/min และ 30 L/min ส่วนด้านลง เปลี่ยนค่าเป้าหมายเริ่มต้นจาก 30 L/min ไปยัง 20 L/min และ 10 L/min

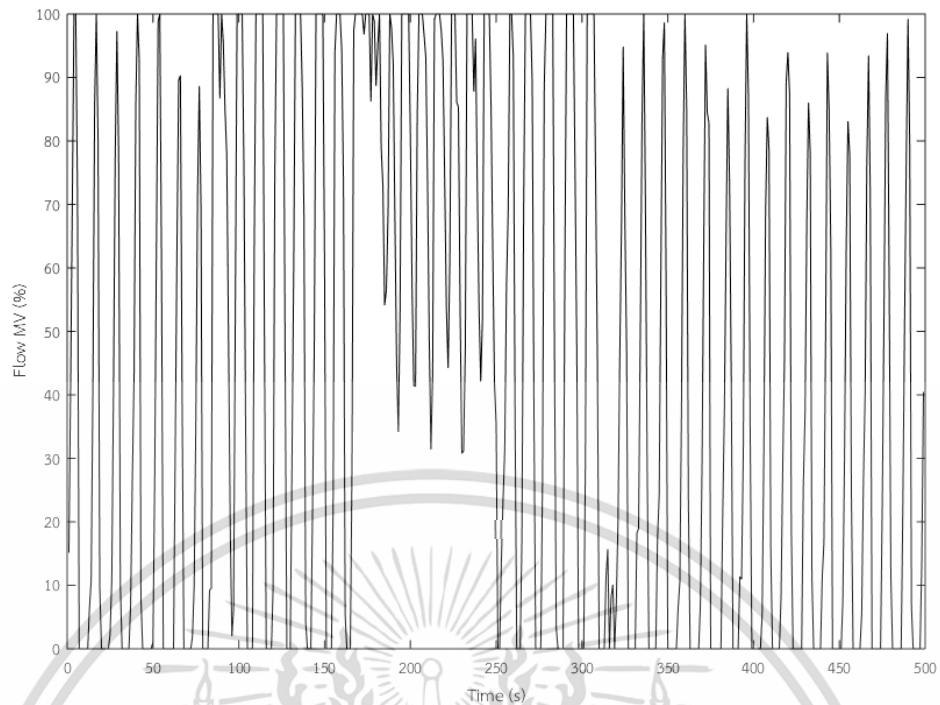
5.2 การควบคุมอัตราการไหลด้วยตัวควบคุมพีไอผ่านทางอุปกรณ์โปรพิบัสพีเอ

กรณีต่อมา ทำการเปลี่ยนการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์วัดจากการเชื่อมต่อผ่านทางโมดูลแอนาล็อกอินพุตและโมดูลแอนาล็อกเอาต์พุตเป็นเชื่อมต่อผ่านทางอุปกรณ์โปรพิบัสพีเอ โดยที่ยังคงใช้ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอเดิม $K_p = 33.513$, $T_i = 1.991$ s จะได้ผลตอบสนองของอัตราการไหล, ค่าสัญญาณควบคุม และค่าแรงดัน ดังรูปที่ 5.4, 5.5 และ 5.6 ตามลำดับ

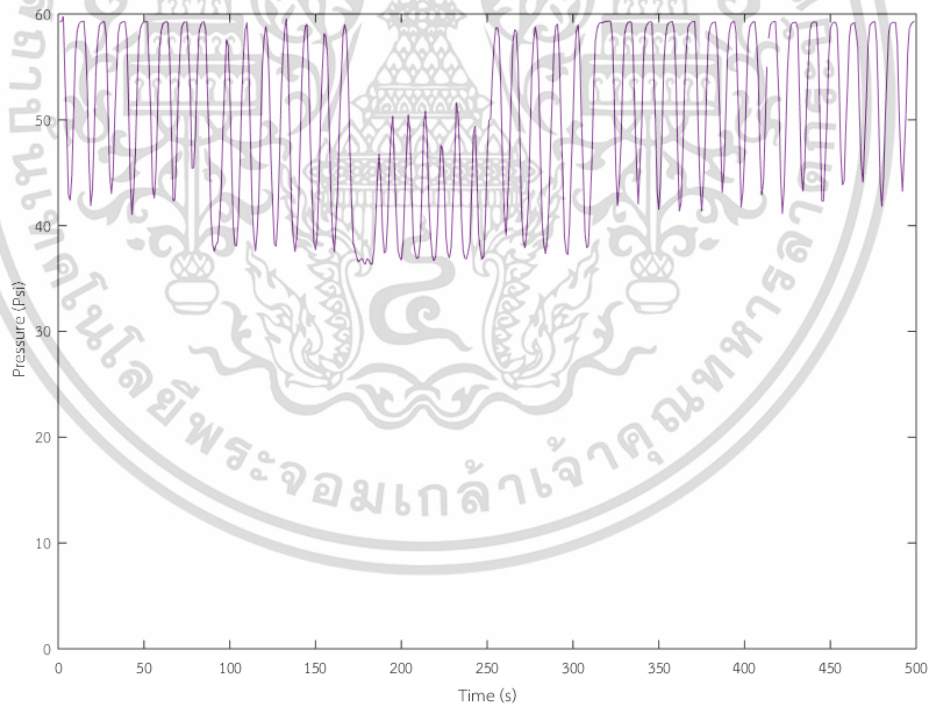


รูปที่ 5.4 ผลการทดลอง - อัตราการไหล : ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอผ่านทางอุปกรณ์โปรพิบัสพีเอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 ผลการทดลอง - ค่าสัญญาณควบคุม : ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอผ่านอุปกรณ์โปรพิบัสพีเอ



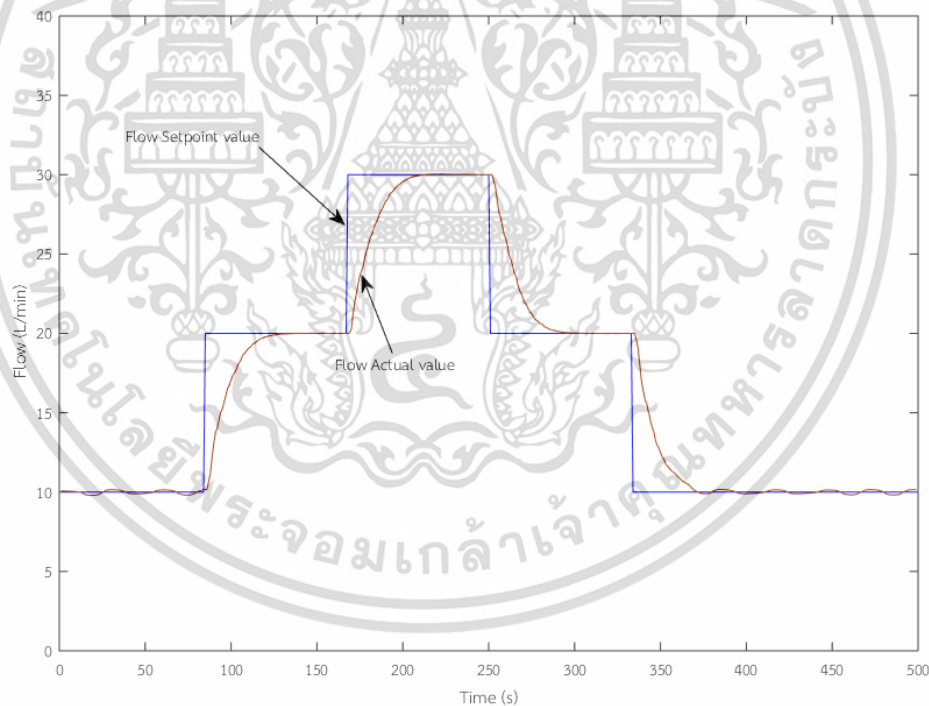
รูปที่ 5.6 ผลการทดลอง - ค่าแรงดัน : ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอผ่านอุปกรณ์โปรพิบัสพีเอ

จากผลตอบสนองข้างต้นจะเห็นได้ว่าเมื่อเปลี่ยนรูปแบบการเชื่อมต่อ แต่ยังคงใช้พารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอเดิม ผลตอบสนองของระบบเกิดการแกว่ง และไม่สามารถควบคุมได้ตามค่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

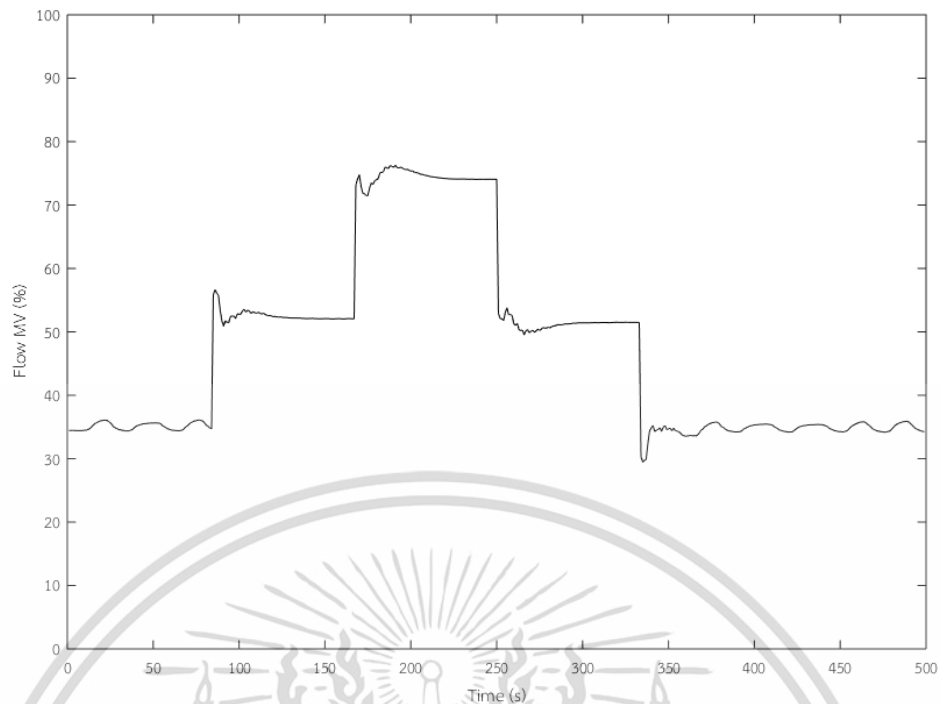
เป้าหมายที่ต้องการ ดังนั้นแนวทางการแก้ไขดังกล่าว ในกรณีที่ใช้ตัวควบคุมพีไอควบคุม ก็คือจะต้องปรับตั้งค่าใหม่ด้วยซอฟต์แวร์ PCS7 PID-Tuner เพื่อคำนวณหาพารามิเตอร์ตัวควบคุมพีไอ โดยอาศัยการประเมินพารามิเตอร์ของกระบวนการ ซึ่งได้ผลลัพธ์ใหม่ ดังนี้คือ

- พารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอ: $K_p = 4.261$, $T_i = 8.578$ s
- พารามิเตอร์ของกระบวนการ: $K = 0.434$, $\tau = 5.395$ s $T_d = 1.315$ s

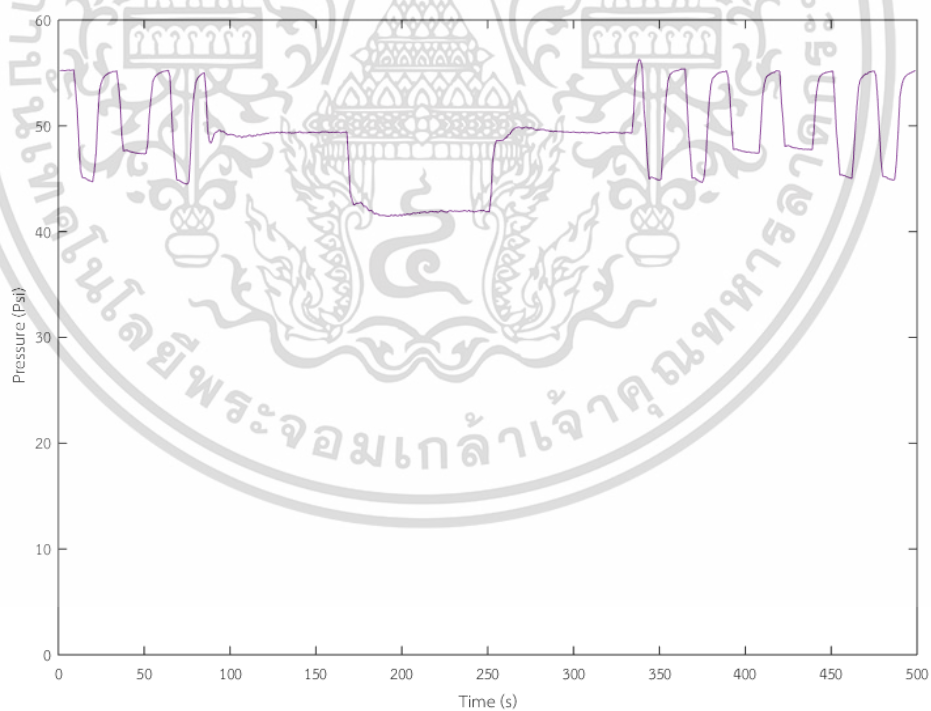
จากผลลัพธ์จะเห็นได้ว่า พารามิเตอร์ของกระบวนการได้เปลี่ยนไป เนื่องจากรูปแบบการเชื่อมต่อที่เปลี่ยนไป ซึ่งก็คือ ค่า K จากค่าเดิมคือ 0.439 เปลี่ยนเป็น 0.434 ค่า τ จากค่าเดิมคือ 2.083 เปลี่ยนเป็น 5.395 และค่า T_d จากค่าเดิมคือ 0.286 เปลี่ยนเป็น 1.315 ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้สมรรถนะของตัวควบคุมพีไอลดลง นั่นก็คือ พารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอค่าเดิมไม่สามารถควบคุมอัตราการไหลได้ จำเป็นต้องใช้พารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอค่าใหม่ ซึ่งสอดคล้องกับพารามิเตอร์ของกระบวนการที่เปลี่ยนแปลง เมื่อนำพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอที่ได้จากการปรับตั้งค่าใหม่ ใช้ควบคุมอัตราการไหล จะได้ผลตอบสนองของอัตราการไหล, ค่าสัญญาณควบคุม และค่าแรงดัน ดังรูปที่ 5.7, 5.8 และ 5.9 ตามลำดับ



รูปที่ 5.7 ผลการทดลอง - อัตราการไหล : ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอ
ผ่านอุปกรณ์โปรพิบัสพีไอ หลังจากปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ใหม่



รูปที่ 5.8 ผลการทดลอง – ค่าสัญญาณควบคุม : ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอ
ผ่านอุปกรณ์โปรพิบัสพีเอ หลังจากปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ใหม่



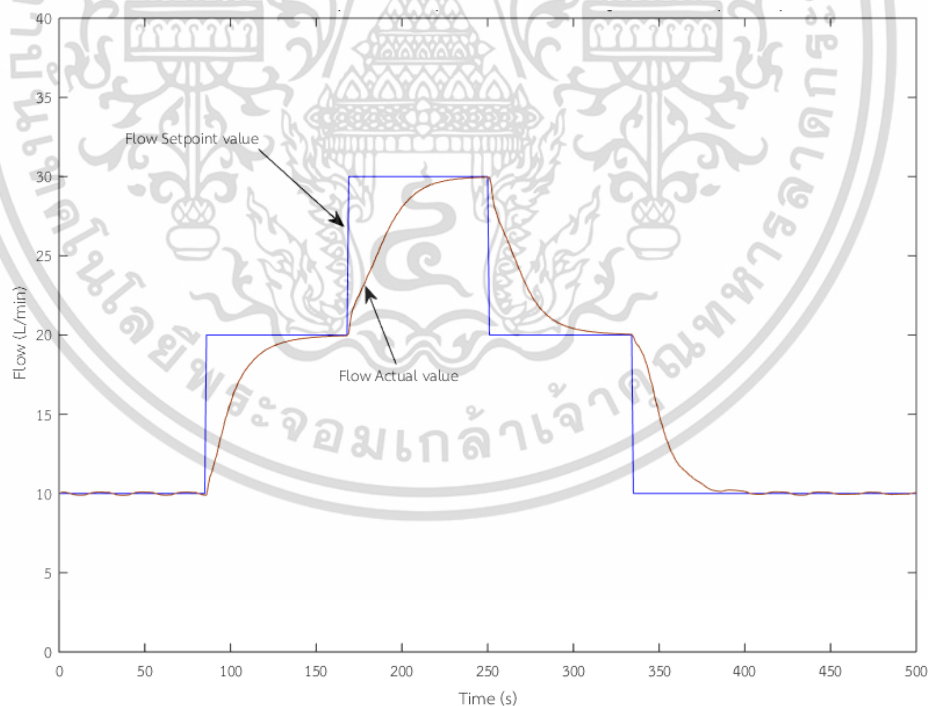
รูปที่ 5.9 ผลการทดลอง – ค่าแรงดัน : ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอ
ผ่านอุปกรณ์โปรพิบัสพีเอ หลังจากปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นว่าเมื่อได้มีการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอใหม่แล้ว ผลตอบสนองที่ต้องการก็สามารถกลับมาควบคุมได้ดี ซึ่งแสดงให้เห็นได้ว่าเมื่อมีการเปลี่ยนรูปแบบการเชื่อมต่อ จะทำให้ระบบไม่สามารถควบคุมได้ หากยังคงใช้ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอเดิม ดังนั้นแนวทางการแก้ไขเบื้องต้นคือการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอใหม่ แต่ในการวิจัยนี้จะประยุกต์ใช้ตัวควบคุมพีไอร่วมกับฟัซซี่ สำหรับการควบคุมอัตราการไหล ดังนั้นขั้นตอนต่อไป ใช้ตัวควบคุมพีไอร่วมกับฟัซซี่ สำหรับการควบคุมอัตราการไหล ซึ่งนำพารามิเตอร์ของระบบฟัซซี่ที่ได้จากซอฟต์แวร์ FuzzyControl++ ตามที่ได้ออกแบบไว้แล้ว

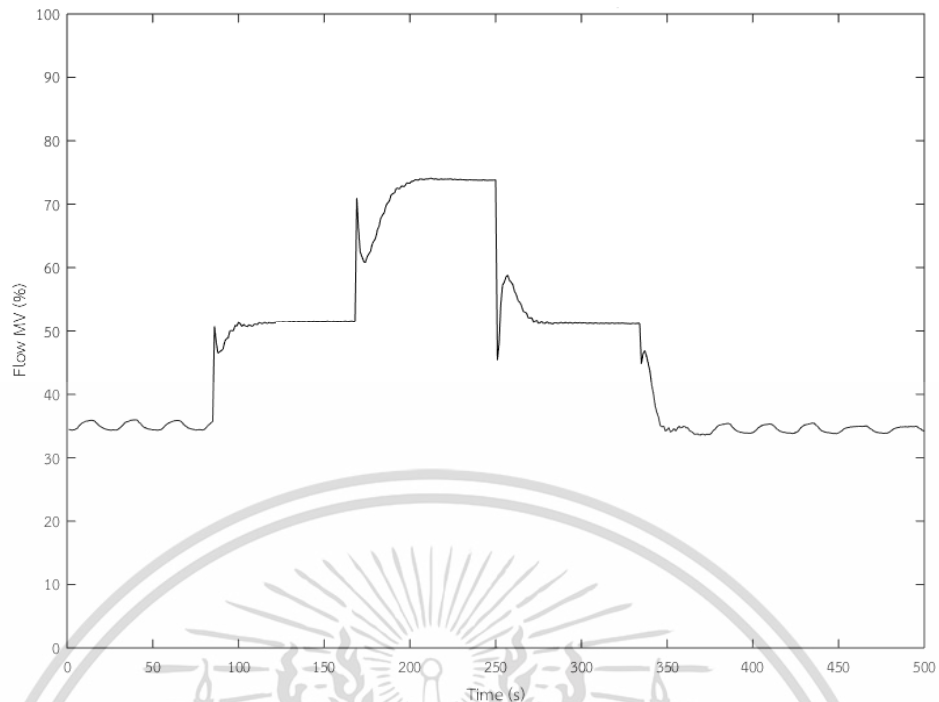
5.3 การควบคุมอัตราการไหลด้วยตัวควบคุมพีไอร่วมกับฟัซซี่ผ่านทางโมดูลแอนาลอกอินพุตและโมดูลแอนาลอกเอาต์พุต

กรณีนี้ใช้ตัวควบคุมพีไอร่วมกับฟัซซี่สำหรับการควบคุมอัตราการไหล โดยเชื่อมต่อกับอุปกรณ์วัดผ่านทางโมดูลแอนาลอกอินพุตและโมดูลแอนาลอกเอาต์พุต จะได้ผลตอบสนองของอัตราการไหล, ค่าสัญญาณควบคุม, ค่าแรงดัน, ค่าพารามิเตอร์ K_p และค่าพารามิเตอร์ T_i ดังรูปที่ 5.10, 5.11, 5.12, 5.13 และ 5.14 ตามลำดับ

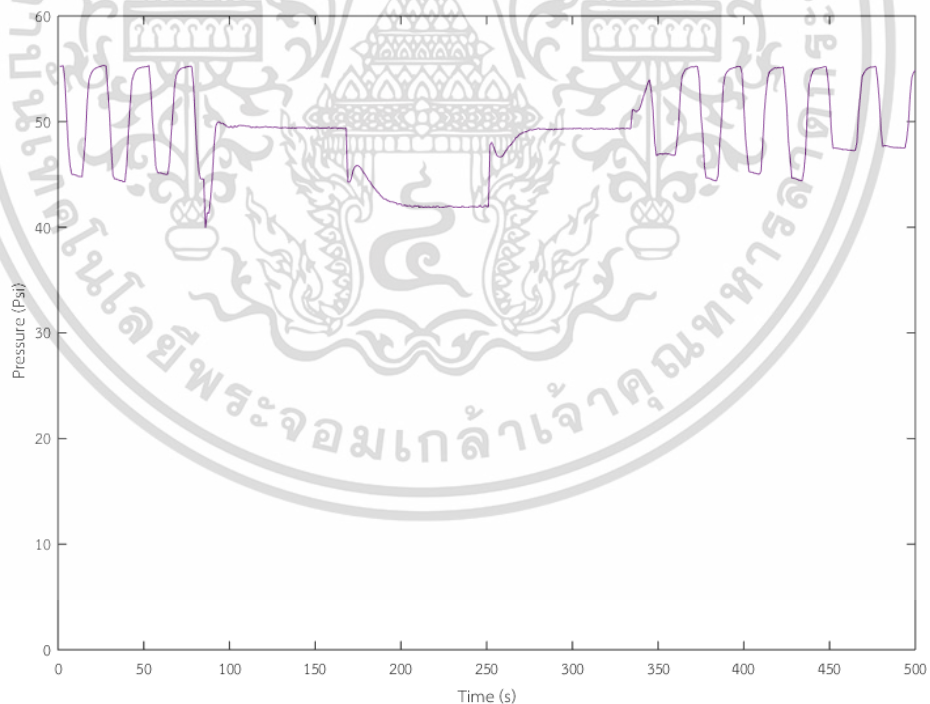


รูปที่ 5.10 ผลการทดลอง - อัตราการไหล : ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอร่วมกับฟัซซี่ ผ่านโมดูลแอนาลอกอินพุต/เอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

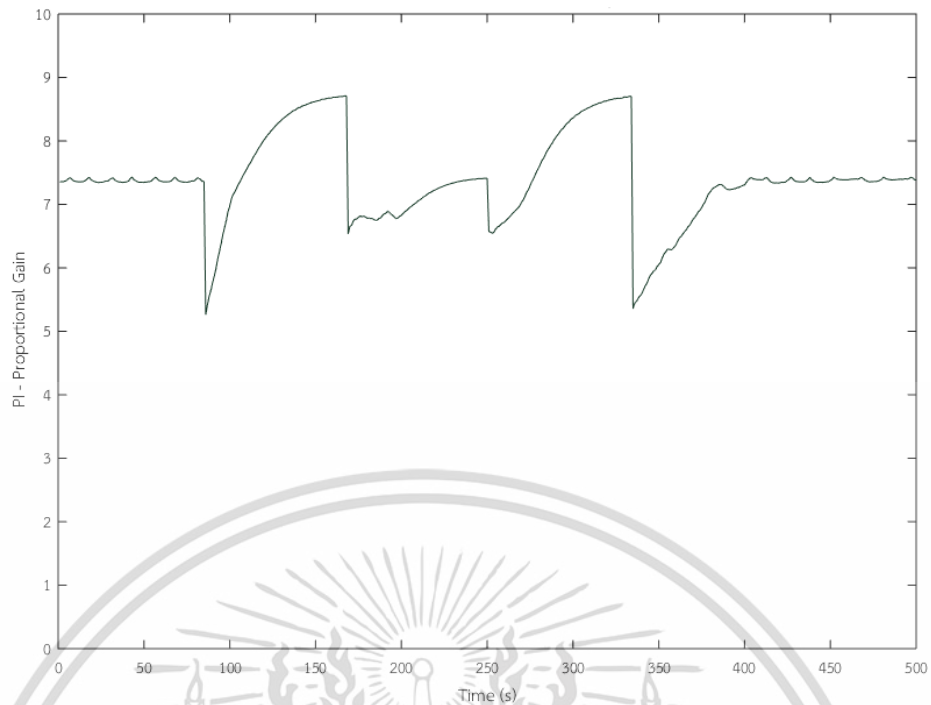


รูปที่ 5.11 ผลการทดลอง – ค่าสัญญาณควบคุม : ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอร่วมกับพีซีซี ผ่านโมดูลแอนาล็อกอินพุต/เอาต์พุต

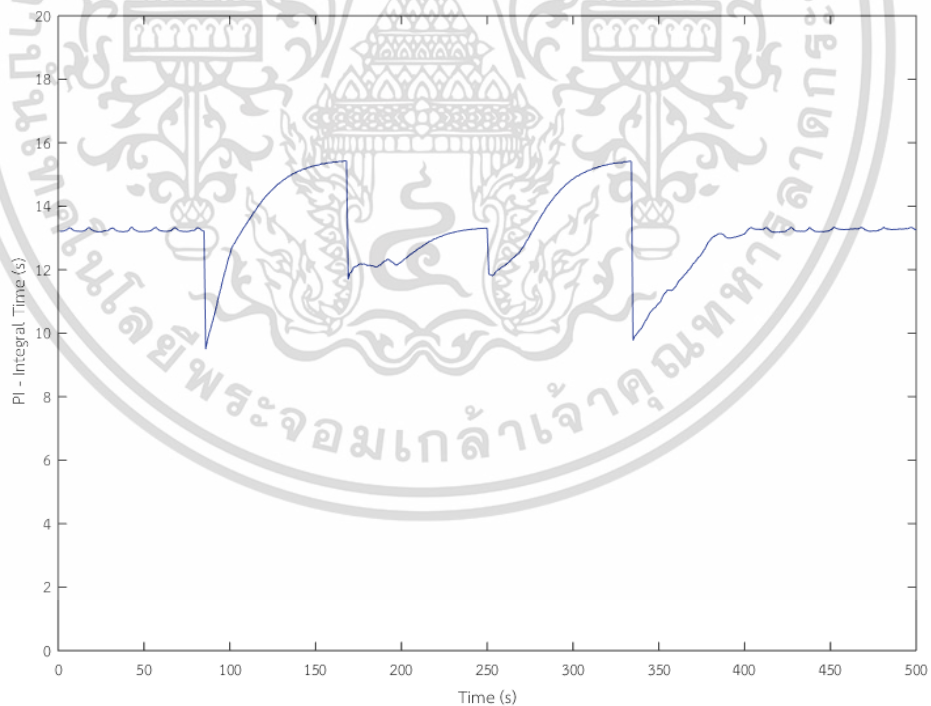


รูปที่ 5.12 ผลการทดลอง – ค่าแรงดัน : ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอร่วมกับพีซีซี ผ่านโมดูลแอนาล็อกอินพุต/เอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.13 ผลการทดลอง – ค่าพารามิเตอร์ K_p : ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอร่วมกับพีซีซี ผ่านโมดูลแอนาล็อกอินพุต/เอาต์พุต



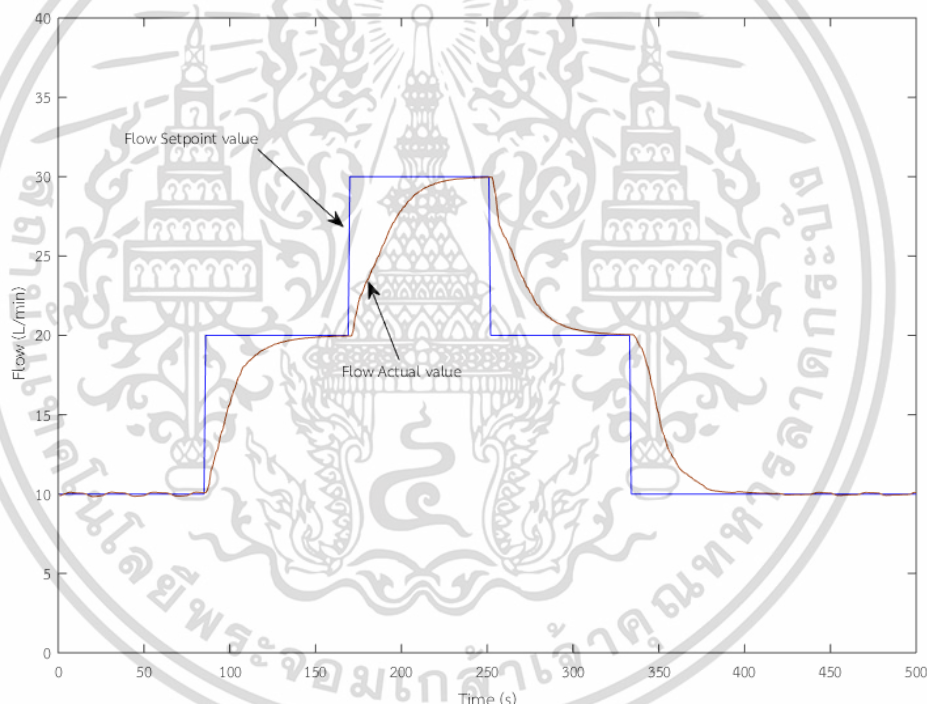
รูปที่ 5.14 ผลการทดลอง – ค่าพารามิเตอร์ T_i : ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอร่วมกับพีซีซี ผ่านโมดูลแอนาล็อกอินพุต/เอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

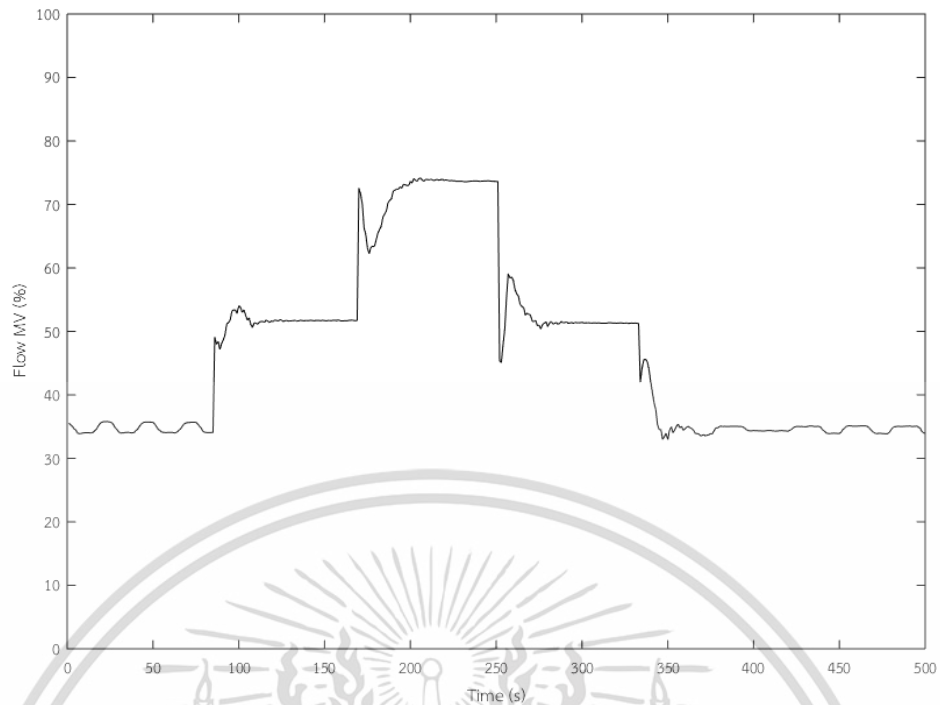
จะเห็นว่าค่าอัตราขยายสัดส่วน และเวลาอินทิกรัลของตัวควบคุมพีไอเปลี่ยนไปตามค่าผิดพลาด และค่าจริงของอัตราการไหล ซึ่งเป็นค่าผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลด้วยระบบพีซี เพื่อให้ผลตอบสนองเป็นไปตามค่าเป้าหมายที่ต้องการ

5.4 การควบคุมอัตราการไหลด้วยตัวควบคุมพีไอร่วมกับพีซีผ่านทางอุปกรณ์โปรพิบัสพีไอ

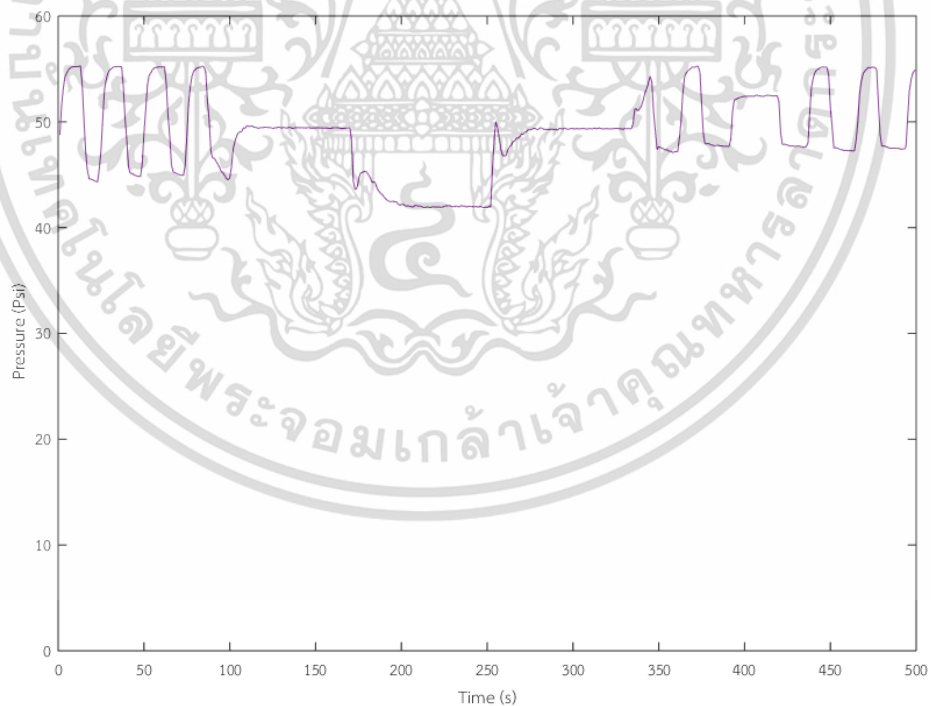
กรณีต่อมา ทำการเปลี่ยนการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์วัดจากการเชื่อมต่อผ่านทาง โมดูลแอนาลอกอินพุตและโมดูลแอนาลอกเป็นการเชื่อมต่อผ่านทางอุปกรณ์โปรพิบัสพีไอ โดยยังคงใช้ฟังก์ชันตัวควบคุมพีไอร่วมกับพีซีเช่นเดิมที่ใช้ในหัวข้อ 5.3 จะได้ผลตอบสนองของอัตราการไหล, ค่าสัญญาณควบคุม, ค่าแรงดัน, ค่าพารามิเตอร์ K_p และค่าพารามิเตอร์ T_i ; ดังรูปที่ 5.15, 5.16, 5.17, 5.18 และ 5.19 ตามลำดับ



รูปที่ 5.15 ผลการทดลอง - อัตราการไหล : ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอร่วมกับพีซีผ่านทางอุปกรณ์โปรพิบัสพีไอ

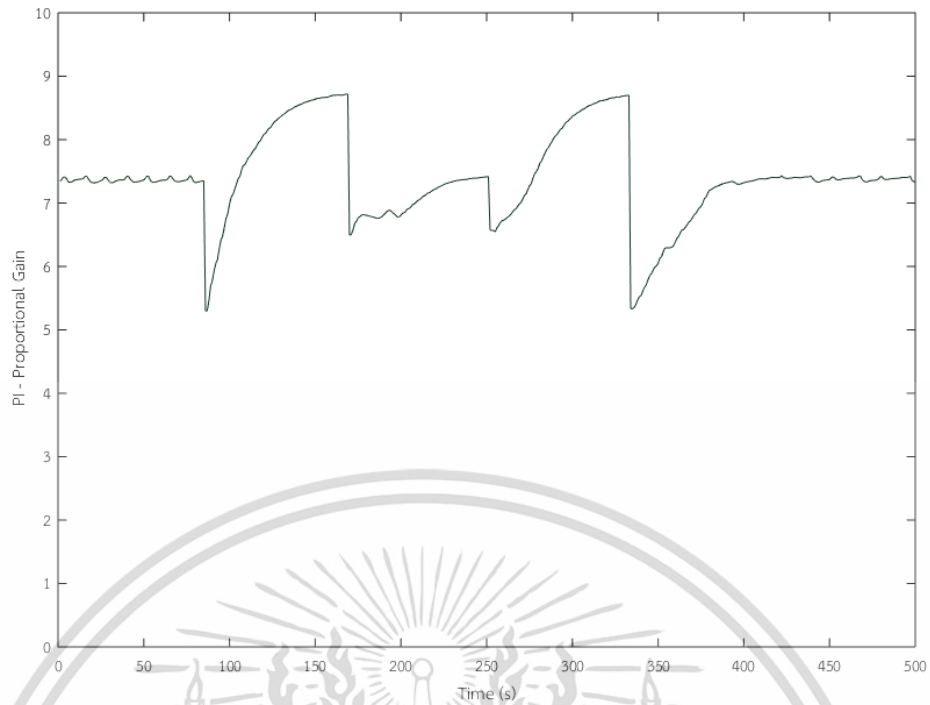


รูปที่ 5.16 ผลการทดลอง – ค่าสัญญาณควบคุม : ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอร่วมกับพีซีซี ผ่านอุปกรณ์โปรพิบัสพีเอ

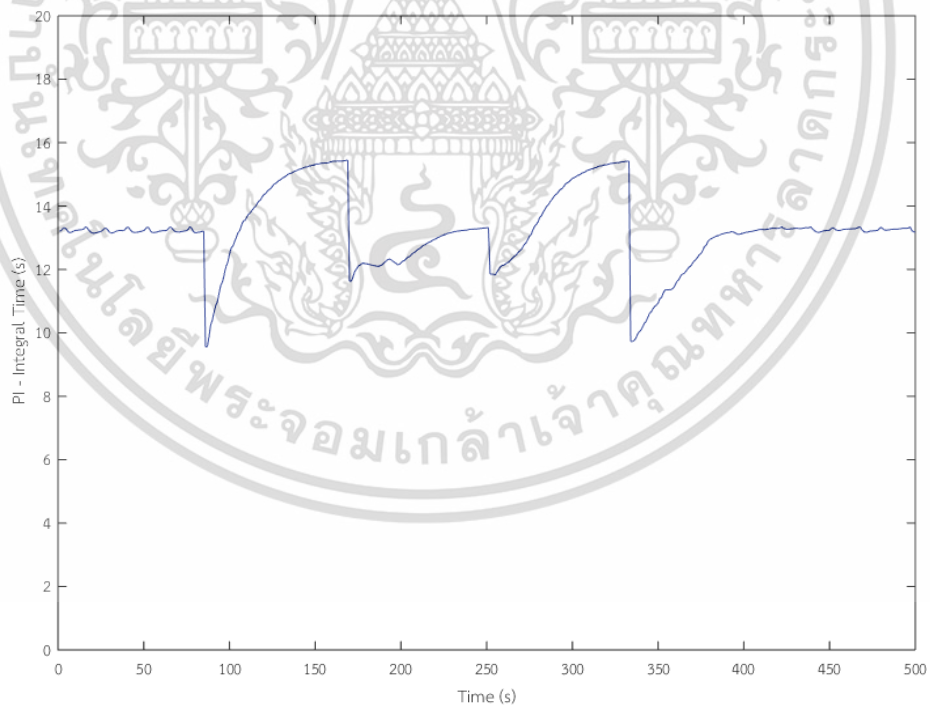


รูปที่ 5.17 ผลการทดลอง – ค่าแรงดัน : ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอร่วมกับพีซีซี ผ่านอุปกรณ์โปรพิบัสพีเอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.18 ผลการทดลอง – ค่าพารามิเตอร์ K_p : ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอร่วมกับพีซีซี ผ่านอุปกรณ์โปรฟิบบัสพีเอ



รูปที่ 5.19 ผลการทดลอง – ค่าพารามิเตอร์ T_i : ควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอร่วมกับพีซีซี ผ่านอุปกรณ์โปรฟิบบัสพีเอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นว่าค่าอัตราขยายสัดส่วน และเวลาอินทิกรัลของตัวควบคุมพีไอเปลี่ยนไปตามค่าผิดพลาด และค่าจริงของอัตราการใช้ ซึ่งเป็นค่าผลลัพธ์จากการประมวลผลด้วยระบบฟuzzy ผลตอบสนองตามค่าเป้าหมายที่ต้องการสามารถควบคุมได้ดี โดยที่ยังคงใช้ตัวควบคุมพีไอร่วมกับฟuzzy ตัวเดิม และผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ใหม่ เมื่อสมรรถนะของตัวควบคุมลดลง เนื่องจากพารามิเตอร์ของกระบวนการเปลี่ยนแปลงไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 บทสรุป

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้นำเสนอการใช้ตัวควบคุมพีไอแบบปรับเองด้วยฟuzzy ในการควบคุมกระบวนการของไหล ในระบบควบคุมแบบกระจายส่วน โดยโดยศึกษาผลกระทบต่อระบบควบคุม เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของกระบวนการ ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ระบบควบคุมเกิดการแกว่ง โดยใช้กรณีศึกษา ที่มีการเปลี่ยนแปลงการเชื่อมต่อระหว่าง อุปกรณ์วัด กับตัวควบคุม จากการสื่อสารแบบแอนาล็อก เป็นการสื่อสารแบบดิจิทัล (เฉพาะ โปรฟิบัล พีเอ)

จากการวิจัยและทดลองพบว่า เมื่อแบบจำลองของกระบวนการในระบบมีการเปลี่ยนแปลงดังในกรณีศึกษา คือ ค่าเวลาคงตัว และค่าเวลาไร้สนอง มีค่าเพิ่มขึ้น จะทำให้มีผลต่อระบบควบคุม ทำให้ไม่สามารถควบคุมผลตอบสนองให้เป็นไปตามที่ต้องการได้ โดยปกติเมื่อเกิดปัญหาลักษณะนี้ แนวทางการแก้ไขเบื้องต้น ก็คือ ทำการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอใหม่ แต่ในทางปฏิบัติ ถ้าหากมีการใช้งานตัวควบคุมเป็นจำนวนมาก จะก่อให้เกิดปัญหาในการปรับตั้งค่าใหม่ พร้อมทั้งต้องหยุดการทำงานของกระบวนการผลิต เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอตัวควบคุมพีไอร่วมกับฟuzzy เพื่อประยุกต์ใช้แทนที่ตัวควบคุมพีไอแบบปกติ พบว่าแม้แบบจำลองของกระบวนการของระบบจะเปลี่ยนไป ตัวควบคุมพีไอร่วมกับฟuzzy ก็ยังคงสามารถควบคุมกระบวนการให้เป็นไปตามที่ต้องการได้เสมอ ดังนั้นตัวควบคุมพีไอร่วมกับฟuzzy จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในวงการอุตสาหกรรมจริง เพื่อแก้ไขปัญหที่เกิดจากการที่แบบจำลองของกระบวนการเปลี่ยนไปได้

ในการทดลองนี้ทางผู้วิจัยได้ใช้ระบบควบคุมแบบกระจายส่วน ที่มีใช้ในวงการอุตสาหกรรมจริง สำหรับทดลองการควบคุมระบบในห้องปฏิบัติการ จึงสามารถรับรองได้ว่า สามารถนำวิธีการออกแบบระบบควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอร่วมกับฟuzzy ไปใช้ในระบอุตสาหกรรมจริงได้

6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

ปัญหาที่ได้พบจากการทดลองคือ ในการการออกแบบระบบฟuzzy คือ ต้องอาศัยผู้ที่มีความรู้เฉพาะทางกับกระบวนการนั้นๆ ในการออกแบบ เช่น ช่วงของค่า K_p และ T_i ที่เหมาะสมต่อกระบวนการ โดยแนวทางการพัฒนา ผู้วิจัยสามารถปรับเปลี่ยน การกำหนดจำนวนอินพุต และเอาต์พุตของระบบฟuzzy หรือ ปรับเปลี่ยนกฎของฟuzzy ให้เป็นไปตามความเหมาะสมของแต่ละกระบวนการ รวมถึงการนำไปประยุกต์ใช้ในตัวควบคุมแบบพีไอร่วมกับฟuzzy

เอกสารอ้างอิง

- [1] Z.-Y. Zhao, M. Tomizuka, and S. Isaka, “Fuzzy gain scheduling of PID controllers” *IEEE Trans. On System, Man and Cybernetics*, vol. 23, Sept. 1993, pp. 1392-1398
- [2] Siemens AG, **SIMATIC PCS7 on Tour – Basic**, Siemens AG, Karlsruhe, Germany, March 2007.
- [3] A. Visioli, “Tuning of PID controllers with fuzzy log” *IEEE Proc.-Control Theory Application*, vol. 148, No.1, Jan. 2001, pp. 1-8
- [4] Wei Jiang and Xuchu Jiang, “Design of an Intelligent Temperature Control System Based on the Fuzzy Self-tuning PID” *2012 Procedia Engineering*, Vol. 43, pp. 307-311.
- [5] Siemens AG, **SIMATIC CFC for S7 Continuous Function Chart**, Siemens AG, Karlsruhe, Germany, 2003.
- [6] Siemens AG, **SIMATIC PCS7 PID Control with Gain Scheduling and PID Tuning**, Siemens AG, Germany, 2009.
- [7] Siemens AG, **FuzzyControl++ User’s Manual**, Siemens AG, Karlsruhe, Germany, 2003
- [8] ผศ.ดร.อาทิตย์ ศรีแก้ว, **ปัญญาเชิงคำนวณ COMPUTATIONAL INTELLIGENCE**, พิมพ์ครั้งที่ 1 (ฉบับปรับปรุง ปี 2552), กรุงเทพฯ, บริษัท จีรลสนิท่องเที่ยวการพิมพ์ จำกัด, พ.ศ.2553
- [9] SMAR, **IF303 and FI303 Operation & Maintenance Instruction Manual**, SMAR, 2007.
- [10] Siemens AG, **SIMATIC Process Control System PCS7 Help for SIMATIC PDM (V8.0)**, Siemens AG, Germany, 03/2012.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

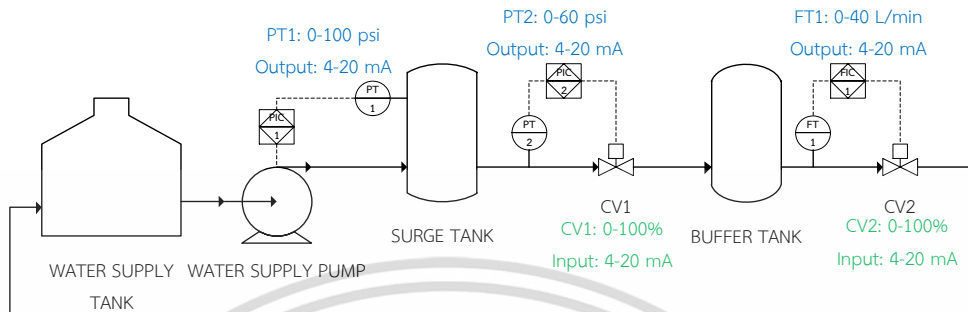


ภาคผนวก ก.

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

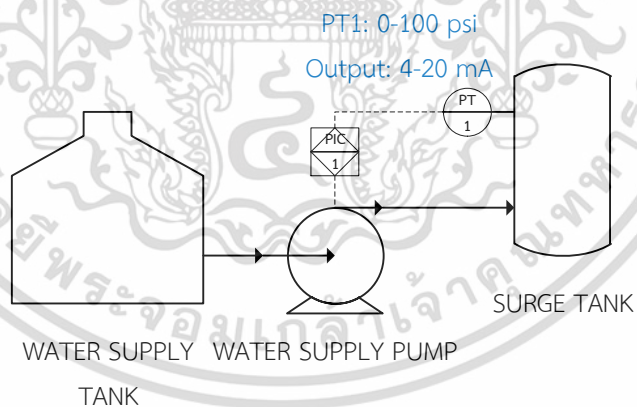
ในงานวิทยานิพนธ์นี้จะใช้อุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งได้มีการติดตั้งระบบถังควบคุมความดัน ดังรูปที่ ก.1



รูปที่ ก.1 ระบบถังควบคุมความดัน

ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็นสามส่วนคือ

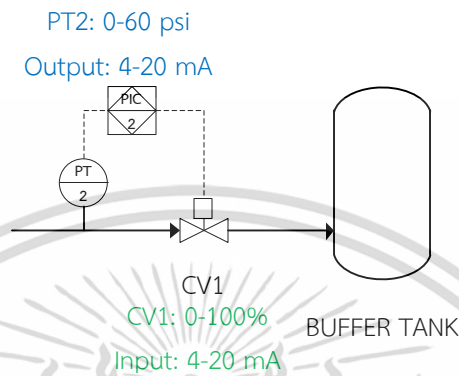
- ส่วนแรก คือส่วนที่จ่ายน้ำเข้าระบบ ซึ่งประกอบด้วย ถังเก็บน้ำ ปั๊มน้ำ ซึ่งควบคุมความเร็วของมอเตอร์ด้วยอินเวอร์เตอร์ (Inverter) และ ถังกันกระชาก (Surge tank) ติดตั้งอุปกรณ์วัดความดัน (PT1, range : 0-100 psi, output : 4-20 mA) ซึ่งเป็นส่วนป้อนกลับที่ส่งไปยังอินเวอร์เตอร์สำหรับควบคุมปั๊มน้ำ เพื่อรักษาระดับความดันในถังกันกระชาก ดังรูปที่ ก.2



รูปที่ ก.2 ระบบถังควบคุมความดันในส่วนแรก

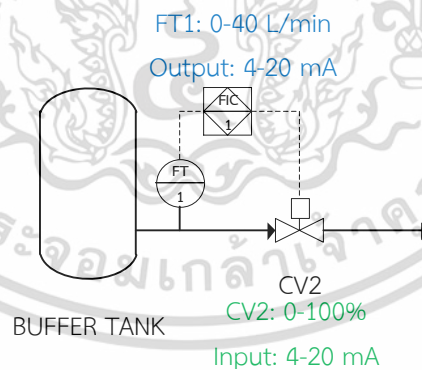
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ส่วนที่สอง คือระบบควบคุมความดัน ซึ่งประกอบด้วย ถังความดัน (Pressure tank) วาล์วควบคุม (CV1, range : 0-100 %, input : 4-20 mA) และ อุปกรณ์วัดความดัน (PT2, range : 0-60 psi, output 4-20 mA) ซึ่งเป็นส่วนป้อนกลับไปยังระบบควบคุม และเอาต์พุตของระบบควบคุมส่งไปยังวาล์วควบคุม CV1 เพื่อรักษาค่าระดับความดันในถังความดัน ดังรูปที่ ก.3



รูปที่ ก.3 ระบบถังควบคุมความดันในส่วนที่สอง

- ส่วนที่สาม คือระบบควบคุมอัตราการไหล ซึ่งประกอบด้วย วาล์วควบคุม (CV2, range : 0-100 %, input : 4-20 mA) และอุปกรณ์วัดอัตราการไหล (FT1, range : 0-40 L/min, output 4-20 mA) ซึ่งเป็นส่วนป้อนกลับไปยังระบบควบคุม และเอาต์พุตของระบบควบคุมส่งไปยังวาล์วควบคุม CV2 เพื่อรักษาค่าอัตราการไหล ดังรูปที่ ก.4



รูปที่ ก.4 ระบบถังควบคุมความดันในส่วนที่สาม

โดย อุปกรณ์ในกระบวนการแต่ละตัวมีลักษณะเฉพาะดังนี้

- PT1 : เป็นอุปกรณ์วัดประเภท อุปกรณ์วัดความดัน ที่จ่ายสัญญาณเอาต์พุต 4-20 mA ในช่วงความดัน 0 - 100 PSI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- บั้มจ่ายน้ำ : เป็นบั้มที่ควบคุมค่าความเร็วของบั้มด้วยอินเวอร์เตอร์ โดยใช้สัญญาณป้อนกลับจากอุปกรณ์วัดความดัน PT1 ซึ่งใช้ตัวควบคุมพีไอภายในอินเวอร์เตอร์เป็นตัวควบคุมค่าความดันที่ต้องการ
- PT2 : เป็นอุปกรณ์วัดประเภท อุปกรณ์วัดความดัน ที่จ่ายสัญญาณเอาต์พุต 4-20 mA ในช่วงความดัน 0 - 60 PSI
- CV1 และ CV2: เป็นอุปกรณ์ประเภท วาล์วควบคุม ที่รับสัญญาณอินพุต 4-20 mA เพื่อเปิดวาล์วในช่วง 0 - 100 %
- FT1 : เป็นอุปกรณ์วัดประเภท อุปกรณ์วัดอัตราการไหล ที่จ่ายสัญญาณเอาต์พุต 4-20 mA ในช่วงอัตราการไหล 0 - 40 L/min

ซึ่งในการทดลองนี้จะสนใจเฉพาะในส่วนที่สามเท่านั้น ดังนั้นวาล์วควบคุม CV1 ในส่วนที่สองนั้นจะถูกเปิด 100% คงที่ เพื่อจะทำให้้ออัตราการไหลที่ไหลออกจากถังกันกระชากถูกควบคุมด้วยวาล์วควบคุม CV2 เท่านั้น





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Implementation of Self-Tuning Fuzzy PI Controller on DCS for Flow Control System

K. Assawathanatom, K. Anuntahirunrat and S. Chitwong

Abstract—In case of changing a communication between field instruments and controller from analog signal into digital signal or of changing a model of plant, performance of controller is degraded because of the fixed controller parameters such as PID controller. To solve this problem, a self-tuning PID controller is proposed. One of a popular self-tuning method is self-tuning fuzzy. Many researchers have been presented the self-tuning fuzzy PID controller. In this paper, we present implementing of self-tuning fuzzy PI controller for flow control system. Both fuzzy and PI controller is implemented on distributed control system (DCS) as controller at which communication between field instruments and distributed control system is via both the analog input and output modules as analog signal in range of 4-20mA and digital signal as Profibus PA. The PI controller parameters, proportional gain and integral time, from auto-tuning method is used to control plant, flow control system, by using analog signal at which result shows that flow process variable reaches to flow set point. The same PI controller parameters is applied for PROFIBUS PA at which results shows that flow process variable oscillates because of effect of delay-time taken place from communication between field instruments and distributed control system.

Index Terms—Process Control System 7 (PCS7), FuzzyControl++ self-tuning fuzzy, PI controller, flow control system.

I. INTRODUCTION

SINCE PID controller is widely used in industrial process by using programmable controller or distributed control system. Disadvantage of PID controller is that when model of system is changed, its performance is then degraded. To solve this problem, one method is applying adaptive control by online tuning controller parameters such as proportional gain, integral time and derivative time of PID controller dependent on a process model. Fuzzy control system is proposed by many reports for tuning controller parameters [1],[3]. Most reports is focused to verification that Fuzzy system as function of self-tuning is validity by simulation. For this paper, self-tuning PI controller is implemented on distributed control, Process Control System PCS 7 V7.1 [3],[4],[5], together with FuzzyControl++ software [6] for developing Fuzzy system. The networked control system

is setted up with PROFIBUS PA to show effect of delay-

time comparing with analog input/output module. Flow control system is used to experiment consisting of flow transmitter, control valve, current to PROFIBUS PA converter, PROFIBUS PA to current converter, DP/PA coupler, and distributed control system installed PCS 7 V7.1 with FuzzyControl++ by using Windows XP.

This paper is organized as following. The Section II briefs plant descriptions. Section III presents the self-tuning fuzzy PI controller. Section IV describes method of implementation in des system. Results and discussions are given in section V. Conclusion is summarized in section VI.

II. PLANT DESCRIPTIONS

A. Brief description of the Process

The pressure tank system has been setted up in our laboratory, comprising of three parts. First part is water supply system consisting of storage water tank, water pump with inverter to control speed of induction motor, and surge tank with pressure transmitter (PT1, range : 0-100 psi, output : 4-20 mA) as feedback pressure signal to inverter for controlling pressure value in surge tank. Second part is pressure control system consisting of pressure tank, control valve (CV1, range : 0-100 %, input : 4-20 mA), and pressure transmitter (PT2, range : 0-60 psi, output : 4-20 mA). Third part is flow control system consisting of control valve (CV2, range : 0-100 %, input : 4-20 mA) and flow transmitter (FT1, range : 0-40 l/min, output : 4-20 mA). For this paper, flow control system is employed to experiment only.

B. Control System Configuration

To implement a control system, control system architecture from Siemens is comprised of automation station (AS), engineering station (ES), and operator station (OS). SMAR field instruments [7] are used as field instruments together with PROFIBUS DP/PA coupler. Hardware configuration is configured by STEP 7 with PCS7 V7.1 in HW Conf. AS consists of universal rack UR2ALU, power supply PS407, CPU 416-3 PN/DP V5.2 with IF964-DP as PROFIBUS DP master system and with Ethernet as PROFINET IO system, and analog input and output module. ES is used for hardware configuration, control programming development, and field instruments configuration. PROFIBUS DP master system and Ethernet as PROFINET IO system of the CPU 416-3 PN/DP in AS are used to connect with PROFIBUS DP/PA coupler FDC 157-0 for linking with field instruments SMAR IF303 (current 4-20 mA to PROFIBUS PA signal) and SMAR FI303 (PROFIBUS PA signal to current 4-20 mA) and ES,

Manuscript received December 29, 2014; revised February 8, 2015.
K. Assawathanatom, K. Anuntahirunrat, and S. Chitwong are with the department of Instrumentation and Control Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of technology Ladkrabang, Ladkrabang, Bangkok 10520 THAILAND. (e-mail : khemjira_a@yahoo.com.au {kakongsa, kcsakrey}@kmitl.ac.th).

ISBN: 978-988-19253-2-9
ISSN: 2078-0958 (Print); ISSN: 2078-0966 (Online)

IMECS 2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

respectively. Also MPI/DP of the CPU 416-3 PN/DP in AS is configured as MPI for connection to ES via the CP5611 PROFIBUS DP card for downloading a fuzzy parameters only.

Analog input module is used to connect with pressure and flow transmitter in 4-20 mA current together with IF303. Analog output module is used to connect with both control valves in 4-20 mA current by alternation between FI303 and analog output module.

C. Field Instruments Configuration

The first step to use a PROFIBUS PA field instrument is configuring its parameter to corresponding with a controlled process. SMAR IF303 and FI303 [x] are used to convert 4-20 mA current from a original instrument (flow transmitter) to PROFIBUS PA signal and PROFIBUS PA signal to 4-20 mA current for a original control value, respectively. Both the IF303 and FI303 is configured by PDM program from Siemens. Second and third channel of IF303 is connected to PT2 and FT1, respectively. Analog input block as function block of IF303 is configured for 4-20mA to 0-60 psi and to 0-40 l/min, respectively, the 0-60 psi and 0-40 l/min are in PROFIBUS PA signal. Second and third channel of FI303 is connected to CV1 and CV2, respectively. Analog output block as function block of FI303 is configured for 0-100 % PROFIBUS PA signal to 4-20mA.

III. SELF-TUNING FUZZY PI CONTROLLER DESIGN

A. Structure of self-tuning fuzzy PI controller

The general control system structure is consisting of three parts: (1) Fuzzy system, (2) PI controller, and (3) process shown in Fig. 1.

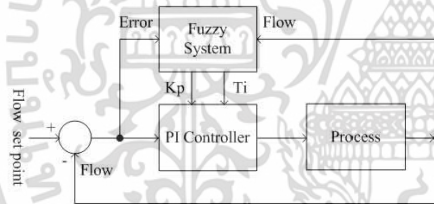


Fig. 1 Block diagram of self-tuning Fuzzy PI controller.

The mentioned Fuzzy system is different from traditional. Error is differential between flow set point and flow and flow from process employed which is not change of error. Fuzzy subset of input as Error is Negative Big-NB, Negative Small - NS, Zero - Z, Positive Small - PS, Positive Big - PB {NB,NS,Z,PS,PB} and Flow Negative - N, Zero - Z, Positive - P {N,Z,P} and output as Kp and Ti is {Best, Med, Pool}. Membership functions of input as Error, flow and output as Kp, Ti are shown in Fig. 2 to 5. PI controller is traditional PI controller widely used in industrial process. Model of process for flow system is first order plus dead time FOPDT consisting a process gain K, time constant τ , time lag Td.

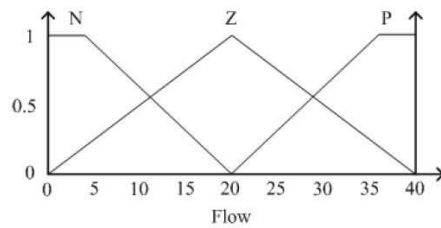


Fig. 2 Membership function of flow.

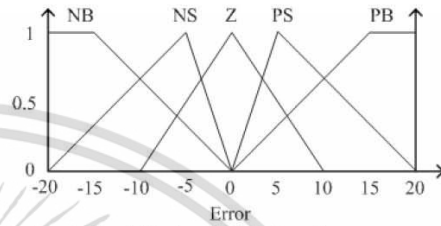


Fig. 3 Membership function of error.

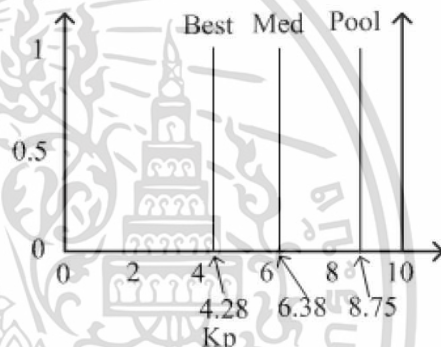


Fig. 4 Membership function of Kp.

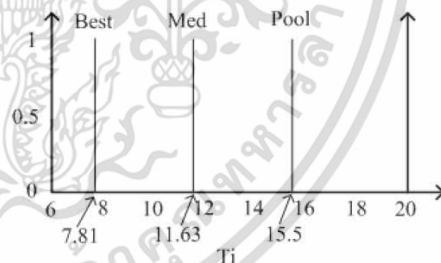


Fig. 5 Membership function of Ti.

B. Self-tuning Fuzzy rule

Fuzzy rule is developed by experience of human. The inference rule form for self-tuning Fuzzy is
 Rule 1 : If Error is NB, Flow is N, then Kp, Ti is Best
 Rule 2 : If Error is NB, Flow is Z, then Kp, Ti is Best
 Rule 3 : If Error is NB, Flow is P, then Kp, Ti is Med

Rule 4 : If Error is NS, Flow is N, then Kp, Ti is Best
 Rule 5 : If Error is NS, Flow is Z, then Kp, Ti is Med
 Rule 6 : If Error is NS, Flow is P, then Kp, Ti is Pool
 Rule 7 : If Error is Z , Flow is N, then Kp, Ti is Med
 Rule 8 : If Error is Z , Flow is Z, then Kp, Ti is Pool
 Rule 9 : If Error is Z , Flow is P, then Kp, Ti is Med
 Rule 10 : If Error is PS, Flow is N, then Kp, Ti is Best
 Rule 11 : If Error is PS, Flow is Z, then Kp, Ti is Pool
 Rule 12 : If Error is PS, Flow is P, then Kp, Ti is Best
 Rule 13 : If Error is PB, Flow is N, then Kp, Ti is Best
 Rule 14 : If Error is PB, Flow is Z, then Kp, Ti is Best
 Rule 15 : If Error is PB, Flow is P, then Kp, Ti is Best
 Fuzzy tuning rule for Kp, Ti is shown in Table 1.

Table 1
Fuzzy Tuning Rule for Kp, Ti

Kp	Flow			
	Ti	N	Z	P
Error	NB	Best	Best	Med
	NS	Best	Med	Pool
	Z	Med	Pool	Med
	PS	Best	Pool	Best
	PB	Best	Best	Best

By using fuzzy inference system and the mentioned input and output membership function, The output surface of Kp and Ti shown in Fig. 6 and 7 respectively indicates that a quantizing intervals of Kp is of 0 – 10 and Ti of 5 – 20 s.

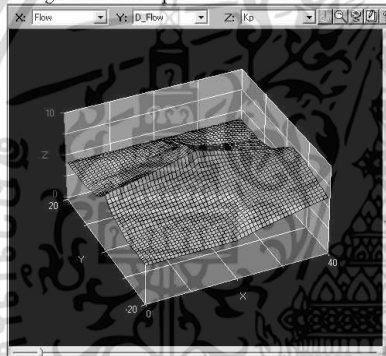


Fig. 6 Output surface of Kp.

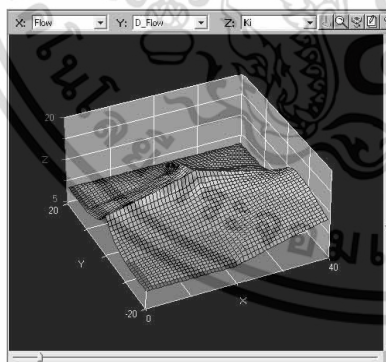


Fig. 7 Output surface of Ti.

IV. IMPLEMENTATION IN DCS SYSTEM

In this paper, distributed control system from Siemens as PCS 7 V7.1 is employed to implementation for experimental results. For developing the self-tuning fuzzy consisting of membership function, Fuzzy rule design followed as Topic III, the FuzzyControl++ V6 software from Siemens is employed to generate the designed fuzzy data corresponding with a data block DB generated from Fuzzy CFC library. All of control programming development is in the continuous function chart CFC by using standard libraries consisting of input/output functions for communication as analog signal – analog input/output module and digital signal – PROFIBUS PA and DP, PID control function, and Fuzzy control function. Standard PID control function, namely PID_ConL (FIC102), Fuzzy control block, namely Fuzzy_Co (FIC101), input and output function for PROFIBUS PA, namely FbAnIn (PV_F_PA) and FbAnOu (MV_F_PA), and for analog input/output module, namely Pcs7AnIn (PV_F_AI) and Pcs7AnOu (MV_F_AO) in PCS7 libraries for CFC is applied. Fig. 8 shows the CFC block for flow control program by using analog input/output module as analog signal. Fig. 9 shows the CFC block for flow control program by using PROFIBUS PA as industrial networked control system.

V. RESULTS AND DISCUSSION

Experimental tests were carried out to evaluate the self-tuning Fuzzy PI controller for flow control system by using communication between controller and field instruments via both analog input/output module and PROFIBUS PA utilizing continuous function chart CFC.

First, the delay-time effect to PI controller performance for flow control system when using analog input/output module and PROFIBUS PA is shown. PCS7 PID-tuner is used to optimizing the PI controller parameters at which controller parameter: $K_p=33.513$ and $T_i=1.991$, process parameter: $K=0.439$, $\tau=2.083s$, $T_d=0.286s$ where K is process gain, τ is time constant, T_d is time lag. Fig. 10 shows the response of PI controller for flow control system when changing a flow set point. Using the same PI controller parameter, PROFIBUS PA is used to communication between controller and field instruments. Fig. 11 shows the response seeing that flow response is oscillation at which flow control system can not control when protocol for communication is changed or updated. To solve this problem, the PI controller must be re-tuned, at which controller parameter: $K_p=4.261$ and $T_i=8.578s$, process parameter: $K=0.434$, $\tau=5.395s$, $T_d=1.315s$. Fig. 12 shows the response of PI controller seeing that flow response reaches to flow set point.

Second, the self-tuning Fuzzy PI controller is implemented to control the flow control system both using analog input/output module and PROFIBUS PA alternatively by which PI controller parameter is adjusted by Fuzzy method. This control system is independent of effect of delay-time. Fig. 13 and 14 show response of the self-tuning PI controller using analog input/output module and PROFIBUS PA respectively.

VI. CONCLUSION

From experimental results, when time constant and time lag of system is increase, controller performance is then degraded because of more delay-time. To solve this problem permanently for effect of delay-time, adaptive control must be applied. The self-tuning PI controller is implemented on

PCS7 V7.1 with FuzzyControl++ from Siemens for flow control.

ACKNOWLEDGMENT

The authors thank Mr. Narupon Panakulchiwit for their support of this project.

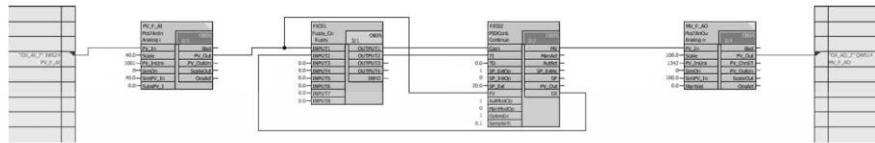


Fig. 8 CFC block for flow control using analog input/output module.



Fig. 9 CFC block for flow control using PROFIBUS PA.

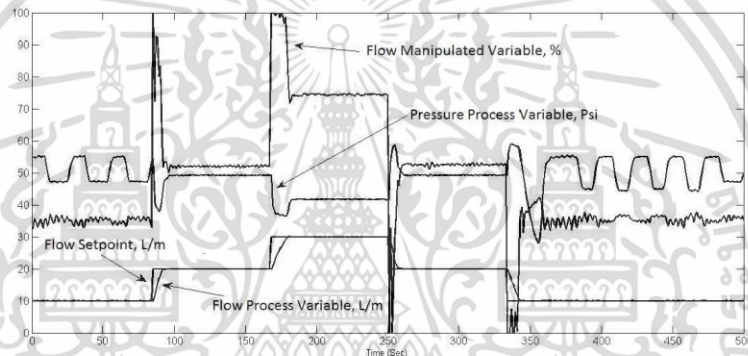


Fig. 10 Response of PI controller with $K_p=33.513$ and $T_i=1.991s$ using analog input/output module.

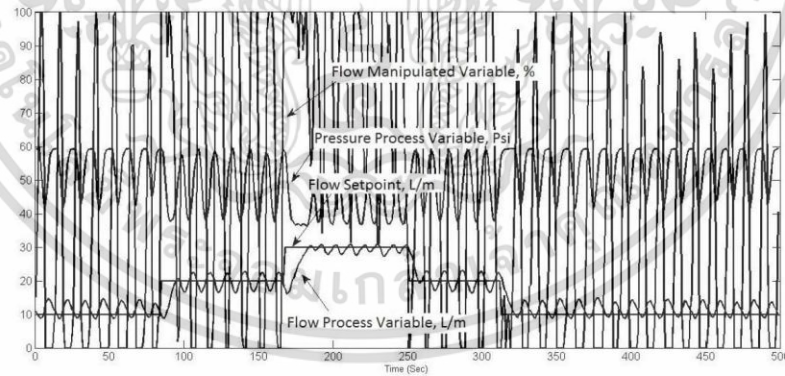


Fig. 11 Response of PI controller with $K_p=33.513$ and $T_i=1.991s$ using PROFIBUS PA.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

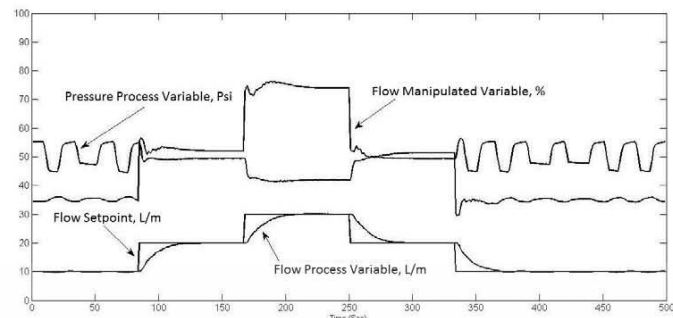


Fig. 12 Response of PI controller with $K_p=4.261$ and $T_i=8.578s$ using PROFIBUS PA (re-tuned).

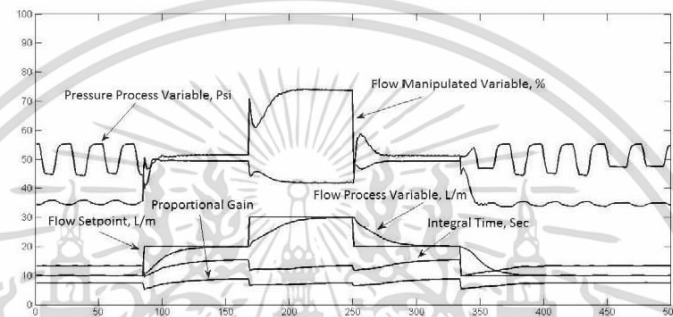


Fig. 13 Response of self-tuning Fuzzy PI controller using analog input/output module.

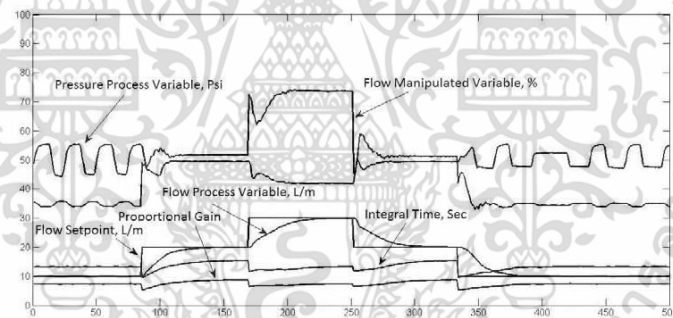


Fig. 14 Response of self-tuning Fuzzy PI controller using PROFIBUS PA.

REFERENCES

- [1] Z.-Y. Zhao, M. Tomizuka, and S. Isaka, "Fuzzy gain scheduling of PID controllers," *IEEE Trans. On System, Man and Cybernetics*, vol. 23, Sept. 1993, pp. 1392-1398.
- [2] A. Visioli, "Tuning of PID controllers with fuzzy log," *IEE Proc.-Control Theory Application*, vol. 148, No.1, Jan. 2001, pp. 1-8.
- [3] Siemens AG A&D AS CS 2 PA Systems Support Process Automation and A&D AS MP 7 Marketing & Promotion SIMATIC PCS7, *SIMATIC PCS7 on Tour - Basic*, Siemens AG, Karlsruhe, Germany, March 2007.
- [4] Siemens AG, *SIMATIC CFC for S7 Continuous Function Chart*, Siemens AG, Karlsruhe, Germany, 2003.
- [5] Siemens AG, *SIMATIC PCS7 PID Control with Gain Scheduling and PID Tuning*, Siemens AG, Germany, 2009.
- [6] Siemens AG, *FuzzyControl++ User's Manual*, Siemens AG, Karlsruhe, Germany, 2003.
- [7] SMAR, *IF303 and FI303 Operation & Maintenance Instruction Manual*, 2007.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายเชมจิรา อัครนาธร
วัน เดือน ปีเกิด	8 พฤศจิกายน 2529 ที่กรุงเทพมหานคร
ที่อยู่	984/171 ถ.สุขุมวิท 71 แขวงคลองตันเหนือ เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110 โทร.0-2713-0030
ประวัติการศึกษา	2551 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม (เกียรตินิยมอันดับ2) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1. การเขียนโปรแกรมควบคุม PLC 2. การเขียนโปรแกรมควบคุม PCS7 (SIEMENS's DCS) 3. การเขียนโปรแกรม HMI และ SCADA 4. ระบบเชื่อมต่อผ่าน Fieldbus (PROFIBUS-DP, PROFIBUS-PA, FOUNDATION FIELD BUS, PROFINET)
ประสบการณ์การทำงาน	
พ.ศ.2551 - 2556	Automation Division Team leader, บ.ริคเคอร์มานน์ (ไทยแลนด์) จำกัด
พ.ศ.2556 - ปัจจุบัน	Project Manager, หน่วยงานส่วนจำกัด เจเอ็มอี โซลูชั่น (ธุรกิจเกี่ยวกับ ระบบ Automation: PLC, SCADA, HMI, Drive system, Motion system, Communication)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้