

การออกแบบตัวควบคุมอุณหภูมิแบบฟัซซี-พีไอดี สำหรับเตาอบขนาดเล็ก

DESIGN OF TEMPERATURE FUZZY-PID CONTROLLER FOR SMALL OVEN



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2560

KMITL-2017-EN-M-060-169

การออกแบบตัวควบคุมอุณหภูมิแบบฟัซซี-พีไอดี สำหรับเตาอบขนาดเล็ก

DESIGN OF TEMPERATURE FUZZY-PID CONTROLLER FOR SMALL OVEN



T148258



ชูศักดิ์ เจียมจร

CHOOSAK CHEAMCHON

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 148258

รับเดือน ปี 10 ต.ค. 2560

b.....
l.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2560

KMITL-2017-EN-M-060-169

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN OF TEMPERATURE FUZZY-PID CONTROLLER FOR SMALL OVEN



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2017

KMITL-2017-EN-M-060-169

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2017

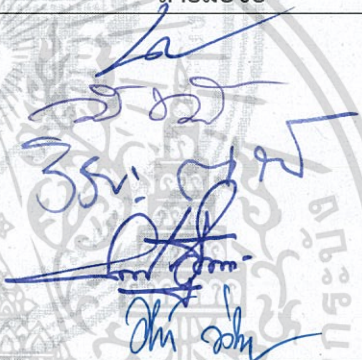
FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การออกแบบตัวควบคุมอุณหภูมิแบบฟัซซี-พีไอดี สำหรับเตาอบขนาดเล็ก
Thesis Title Design of Temperature Fuzzy-PID Controller for Small Oven
นักศึกษา นายชูศักดิ์ เจียมจร (นักศึกษาในโครงการปริญญาตรีก้าวหน้า)
รหัสประจำตัว 56601353
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.อาจินต์ น่วมสำราญ
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2017-EN-M-060-169

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.เสถียร	ธัญศรีรัตน์	
รศ.ดร.วิทย์	ทิพย์สุพรรณพร	
รศ.วิริยะ	กองรัตน์	
รศ.ดร.สุพรรณ	กุลพาณิชย์	
รศ.อาจินต์	น่วมสำราญ	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันพฤหัสบดีที่ 27 กรกฎาคม พ.ศ. 2560 เวลา 09.00-11.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 3

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 27 กรกฎาคม พ.ศ. 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบตัวควบคุมอุณหภูมิแบบพีซี-พีไอดี สำหรับเตาอบขนาดเล็ก
นักศึกษา	นายชูศักดิ์ เจียมจร
รหัสประจำตัว	56601353
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมการวัดคุม
พ.ศ.	2560
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.อาจินต์ น่วมสำราญ

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอการออกแบบตัวควบคุมอุณหภูมิแบบพีซี-พีไอดี เพื่อควบคุมกระบวนการเตาอบขนาดเล็ก สำหรับการออกแบบตัวควบคุมพีไอดีใช้ทฤษฎีของ Ziegler-Nichols ในการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม ส่วนการออกแบบตัวควบคุมแบบพีซี-พีไอดี จะใช้ความสัมพันธ์ระหว่างฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุทและฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเอาต์พุท เพื่อกำหนดหน่วยกฎการควบคุม ที่สอดคล้องกับค่าพารามิเตอร์พีไอดี โดยมีการดีฟิซซิฟิเคชันด้วยวิธีการหาค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก การควบคุมกระบวนการกระทำบนคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม LabVIEW ซึ่งจากผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบพีไอดี เปรียบเทียบกับผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบพีซี-พีไอดี พบว่าผลตอบสนองของตัวควบคุมทั้งสอง เป็นไปตามข้อกำหนด สามารถควบคุมกระบวนการเข้าสู่ค่าเป้าหมายได้ตามต้องการ แต่ตัวควบคุมแบบพีซี-พีไอดี ไม่เกิดค่าพุ่งเกิน และค่าความคลาดเคลื่อน ทั้งยังสามารถเข้าสู่สภาวะคงที่ได้เร็วกว่าตัวควบคุมแบบพีไอดี

Thesis	Design of Temperature Fuzzy-PID Controller for Small Oven
Student	Mr.Choosak Cheamchon
Student ID.	56601353
Degree	Master of Engineering
Program	Instrument Engineering
Year	2017
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Arjin Numsomran

ABSTRACT

This thesis presents the design of temperature Fuzzy-PID controller for small oven. The PID controller is designed by using the theory of Ziegler-Nichols to find the parameters of the controller. While the Fuzzy-PID controller is designed by using the relationship between the membership function of input and output to set the control rules that are consistent with the PID parameters. The defuzzification is calculated by center of area (COA) method. The process is run by LabVIEW program. The comparison between PID controller response and Fuzzy-PID controller response shows that both controller responses can reach to the target. However, the response of Fuzzy-PID controller is better than PID controller.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ ด้วยความกรุณาอนุเคราะห์เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงานทดลอง ตลอดจนการอบรมสั่งสอน แนะนำ รวมทั้งให้คำปรึกษาแนวทางการดำเนินงานจาก รศ.อาจินต์ น่วมสำราญ อาจารย์ที่ปรึกษา และ รศ.ดร.วิทยา ทิพย์สุวรรณพร ประธานหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของท่านเป็นอย่างยิ่ง และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณคุณคณาจารย์ ของข้าพเจ้าทุกท่าน ที่กรุณาประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งให้กับข้าพเจ้า ได้นำมาใช้ในการศึกษา และประกอบอาชีพในปัจจุบัน

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และพี่สาว ของข้าพเจ้าที่ท่านได้ให้ความอนุเคราะห์ในด้านค่าใช้จ่าย และเป็นกำลังใจที่สำคัญ ด้วยความรัก และความหวังดีเสมอมา

ขอกราบขอบพระคุณคุณสายนันท คล้ายทองคำ และคุณมงคล คุณรุ่งนภา ศรีบุญญา ที่ให้ความอนุเคราะห์ที่พักอาศัย และให้กำลังใจด้วยความปรารถนาดีเสมอมา

ขอขอบคุณ คุณชวลิต คำเรือ คุณชวณัฐ ศรีบุญญา คุณณภัทร คล้ายทองคำ คุณชนิกานต์ พิพิธสมบัติ คุณพัทธ์ธีรา นิกข์นิภา คุณอัคร รุ่งประพันธ์ คุณพุดิเศก เจริญรุ่งเรือง คุณภาณุพงศ์ โลจรัส คุณณัฐวดี เทียมธรรมวงศ์ คุณชนม์ชนก ไวทยาชีวะ คุณพิมพ์ชนก คล้ายทองคำ และคุณปรีชญา คล่องแคล่ว ผู้ซึ่งมีส่วนสนับสนุนข้าพเจ้าในการทำวิจัยในครั้งนี้ให้สำเร็จได้อย่างสมบูรณ์

ประโยชน์ และคุณค่า รวมทั้งความดีทั้งปวง อันเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอบอบแต่บุพการี และผู้มีพระคุณทุกท่าน

ชูศักดิ์ เจียมจร

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญภาพ.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	1
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.5 ขั้นตอนของการศึกษา.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย.....	3
2.1 กล่าวนำ.....	3
2.2 ทฤษฎีการควบคุมแบบป้อนกลับด้วยตัวควบคุมพีไอดี.....	4
2.3 กริยาการควบคุมแบบป้อนกลับ.....	6
2.3.1 กริยาการควบคุมแบบ ON-OFF.....	6
2.3.2 กริยาการควบคุมแบบ Proportional (P).....	7
2.3.3 กริยาการควบคุมแบบ Integral (I).....	8
2.3.4 กริยาการควบคุมแบบ Derivative (D).....	8
2.3.5 กริยาการควบคุมแบบ Proportional-Integral (PI).....	9
2.3.6 กริยาการควบคุมแบบ Proportional-Derivative (PD).....	10
2.3.7 กริยาการควบคุมแบบ Proportional – Integral- Derivative (PID).....	11
2.4 การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบ PID จากผลตอบสนองของ กระบวนกร.....	11
2.4.1 วิธี Process Reaction Curve (การทดลองแบบลูเปิด).....	12
2.4.2 วิธี Ultimate Method (การทดลองลูปิด).....	14
2.4.3 วิธี Trial and Error (วิธีการลองผิดลองถูก).....	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 ข้อกำหนด (Specifications) ของผลตอบสนองชั่วคราวของระบบ	16
2.6 ทฤษฎีฟัซซี.....	17
2.6.1 ฟัซซีเซต (Fuzzy Set).....	17
2.6.1.1 ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต	18
2.6.1.2 การเท่ากันของฟัซซีเซต.....	19
2.6.1.3 การเป็นซับเซตของฟัซซีเซต.....	20
2.6.1.4 ซับพอร์ตของฟัซซีเซต (Support: $S(A)$).....	20
2.6.1.5 ฟัซซีซิงเกิลตัน (Fuzzy Singleton).....	21
2.6.1.6 เซต α -Level ของฟัซซีเซต (A_α).....	22
2.6.1.7 ความสูงของฟัซซีเซต (Height of Fuzzy Set).....	22
2.6.1.8 คุณสมบัติของนอมอลไลซ์ฟัซซีเซต (Normalization).....	23
2.6.1.9 คุณสมบัติการคอนเวกซ์ของฟัซซีเซต (Convexity).....	24
2.6.1.10 ฟัซซีนิมเบอร์ (Fuzzy Number).....	24
2.6.1.11 คาร์ดินาลิตี้ของฟัซซีเซต (Cardinality).....	25
2.6.1.12 ปฏิบัติการพื้นฐานของฟัซซีเซต (Fuzzy Set Operation).....	25
2.6.2 ตัวแปรลิงกวิสติก (Linguistic Variable).....	26
2.6.3 ทฤษฎีตรรกศาสตร์แบบเดิม	26
2.6.3.1 ค่าความจริงของประพจน์ในตรรกศาสตร์บูลีน.....	26
2.6.3.2 ปฏิบัติการทางตรรกศาสตร์บูลีน	28
2.6.3.3 การหาข้อสรุปตามหลักการเหตุผล.....	28
2.6.4 ทฤษฎีตรรกะฟัซซี	29
2.6.4.1 ค่าความเป็นจริงของประพจน์ในทฤษฎีตรรกะฟัซซี.....	29
2.6.4.2 การหาข้อสรุปตามหลักการเหตุผลโดยใช้ทฤษฎีตรรกะฟัซซี.....	29
2.6.5 ความสัมพันธ์ฟัซซี (Fuzzy Relation)	30
2.6.6 การคอมโพสิชันแบบฟัซซี (Fuzzy Composition).....	31
2.6.7 ตัวควบคุมฟัซซี	32
2.6.7.1 กฎการควบคุมฟัซซี (Fuzzy Rule Base).....	32
2.6.7.2 การฟัซซิฟิเคชัน (Fuzzification).....	33
2.6.7.3 การอินเฟอเรนซ์แบบฟัซซี (Fuzzy Inference)	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6.7.4 การดีฟัซซิฟิเคชัน (Defuzzification)	34
2.7 ทฤษฎีฟัซซี-พีเอดี	38
2.8 สรุป.....	39
บทที่ 3 องค์ประกอบของการควบคุมสำหรับกระบวนการเตาอบขนาดเล็ก	40
3.1 บทนำ.....	40
3.2 องค์ประกอบของฮาร์ดแวร์.....	40
3.2.1 เตาอบขนาดเล็ก.....	40
3.2.2 RTD ชนิด PT100.....	41
3.2.3 RTD Transmitter : RT 95.....	42
3.2.4 Signal Converter : Model TW-4M-1-N.....	43
3.2.5 Solid-State Relay : SSR RM1E23AA25.....	44
3.2.6 Data Acquisition : DAQ-6008.....	45
3.3 องค์ประกอบของซอฟต์แวร์.....	46
3.3.1 การใช้งานโปรแกรม LabVIEW.....	46
3.3.2 ส่วน Front Panel	47
3.3.3 ส่วน Block Diagram.....	49
3.3.4 ส่วน Icon และ Connector.....	51
3.4 สรุป.....	51
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง.....	52
4.1 กล่าวนำ	52
4.2 กระบวนการที่ใช้ในการทดลอง.....	53
4.3 การออกแบบตัวควบคุม PID.....	54
4.3.1 การหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการ	54
4.3.2 การควบคุมกระบวนการด้วยตัวควบคุม PID.....	54
4.4 การออกแบบตัวควบคุม Fuzzy-PID.....	57
4.4.1 การกำหนดเซตทางอินพุทของ Fuzzy	57
4.4.2 การกำหนดเซตทางเอาต์พุทของ Fuzzy	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ VI ศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4.3 การกำหนดหน่วยกฎการควบคุม (Fuzzy Rule Base).....	59
4.4.4 การกำหนดหน่วยดีฟัซซิฟิเคชัน.....	60
4.4.5 การออกแบบตัวควบคุม Fuzzy-PID	61
4.5 ผลการทดลอง.....	62
4.5.1 การควบคุมกระบวนการในสภาวะไม่มีโหลด.....	62
4.5.1.1 การควบคุมกระบวนการในสภาวะไม่มีโหลดด้วยตัวควบคุม PID.....	62
4.5.1.2 การควบคุมกระบวนการในสภาวะไม่มีโหลด ด้วยตัวควบคุมFuzzy-PID	63
4.5.2 การควบคุมกระบวนการในสภาวะมีโหลด.....	64
4.5.2.1 การควบคุมกระบวนการในสภาวะมีโหลดด้วยตัวควบคุม PID.....	65
4.5.2.2 การควบคุมกระบวนการในสภาวะมีโหลด ด้วยตัวควบคุม Fuzzy-PID	66
4.6 เปรียบเทียบผลการทดลอง.....	67
4.6.1 การเปรียบเทียบผลการทดลองการควบคุมกระบวนการในสภาวะไม่มีโหลด..	67
4.6.2 การเปรียบเทียบผลการทดลองการควบคุมกระบวนการในสภาวะมีโหลด.....	69
4.7 สรุป.....	71
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	72
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	72
5.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย.....	72
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	72
เอกสารอ้างอิง.....	74
ภาคผนวก.....	76
ประวัติผู้เขียน.....	82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ VIF ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบต่างๆตามวิธี Process Reaction Curve.....	14
2.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบต่างๆตามวิธี Ultimate Method.....	15
3.1 ข้อมูลทางเทคนิคของเตาอบขนาดเล็ก	41
3.2 ข้อมูลทางเทคนิคของ RTD ชนิด PT100	42
3.3 ข้อมูลทางเทคนิคของ RT 95.....	43
3.4 ข้อมูลทางเทคนิคของ SSR	44
4.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบต่างๆตามวิธี Process Reaction Curve.....	56
4.2 แสดงการกำหนดหน่วยกฎการควบคุม	59
4.3 แสดงการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบควบคุมที่อุณหภูมิ 60 °C ในสภาวะไม่มีโหลด	67
4.4 แสดงการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบควบคุมที่อุณหภูมิ 80 °C ในสภาวะไม่มีโหลด	68
4.5 แสดงการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบควบคุมที่อุณหภูมิ 90 °C ในสภาวะมีโหลด	69
4.6 แสดงการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบควบคุมที่อุณหภูมิ 100 °C ในสภาวะมีโหลด	70



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงโครงสร้างของระบบควบคุมแบบป้อนกลับโดยทั่วไป.....	5
2.2 แสดงการทำงานของระบบควบคุมแบบ ON-OFF	6
2.3 แสดงคุณสมบัติของการทำงานของระบบควบคุมแบบ Proportional	7
2.4 แสดงผลตอบสนองของการทำงานของระบบควบคุมแบบ Integral.....	8
2.5 แสดงตัวอย่างผลตอบสนองของการทำงานของระบบควบคุมแบบ Derivative	9
2.6 แสดงตัวอย่างผลตอบสนองของการทำงานของระบบควบคุมแบบ PI (Direct action)	10
2.7 แสดงตัวอย่างผลตอบสนองของการทำงานของระบบควบคุมแบบ PD	10
2.8 แสดงตัวอย่างผลตอบสนองของการทำงานของระบบควบคุมแบบ PID (Direct action)	11
2.9 แสดงค่าพ่วงเกินที่ต้องการเมื่อใช้การปรับด้วยวิธี Ziegler-Nichols	12
2.10 แผนภาพกระบวนการหา Step Response.....	13
2.11 แสดงผลตอบสนองรูปตัว S เมื่อปรับโดยใช้วิธี Process Reaction Curve	13
2.12 แสดงผลตอบสนองเวลาเกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่องเมื่อปรับโดยวิธี Ultimate method	14
2.13 แสดงข้อกำหนด (Specifications) ของผลตอบสนองชั่วคราวของระบบ	17
2.14 ฟิชชีเซต.....	18
2.15 การเท่ากันของฟิชชีเซต A กับเซต B.....	19
2.16 การเป็นสับเซตของฟิชชีเซต	20
2.17 ซับพอร์ตของฟิชชีเซต	21
2.18 ฟิชชีเซตที่เกิดกัน	21
2.19 เซต α - Level ของฟิชชีเซต	22
2.20 ความสูงของฟิชชีเซต	23
2.21 คุณสมบัติของนอมอลโลจฟิชชีเซต.....	23
2.22 ฟิชชีเซตไม่มีคุณสมบัติของนอมอลโลจ	24
2.23 ฟิชชีนิมเบอร์	25
2.24 การยุเนี่ยนของฟิชชีเซต.....	26
2.25 การอินเตอร์เซกชัน	26
2.26 ความสัมพันธ์ฟิชชี	30
2.27 การคอมโพสิชันของความสัมพันธ์ฟิชชี.....	31
2.28 โครงสร้างพื้นฐานของตัวควบคุมฟิชชี.....	32
2.29 การฟิชชีฟิเคชันแบบซิงเกิลตัน	33

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.28 โครงสร้างพื้นฐานของตัวควบคุมพีซี.....	32
2.29 การพีซีพีเคชันแบบซิงเกิลตัน.....	33
2.30 การอินเฟอเรนซ์แบบพีซี.....	34
2.31 การดีพีซีพีเคชันโดยใช้วิธีการหาค่าระดับการเป็นสมาชิกสูงสุด.....	35
2.32 แสดงการดีพีซีพีเคชันด้วยวิธีการหาจุดศูนย์กลางของพีซี.....	36
2.33 แสดงการดีพีซีพีเคชันด้วยวิธีการหาค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก.....	37
2.34 การดีพีซีพีเคชันโดยการหาค่ากลางสูงสุด.....	38
2.35 โครงสร้างของตัวควบคุมแบบพีซี-พีไอดี.....	38
2.36 โครงสร้างของตัวควบคุมแบบพีไอดี.....	39
3.1 แสดงกระบวนการเตาอบขนาดเล็ก.....	40
3.2 ลักษณะของ RTD ชนิด PT100.....	42
3.3 ลักษณะของวงจรภายใน RT 95.....	43
3.4 ลักษณะของ Signal Converter.....	44
3.5 ลักษณะของ SSR.....	44
3.6 ลักษณะของ DAQ-6008.....	46
3.7 แสดงหน้าต่างที่ใช้สำหรับการเขียนโปรแกรม.....	47
3.8 แสดงตัวอย่าง Control ของโปรแกรม LabVIEW.....	48
3.9 แสดงตัวอย่าง Indicators ของโปรแกรม LabVIEW.....	48
3.10 แสดงตัวอย่าง Block Diagram ของโปรแกรม LabVIEW.....	49
3.11 แสดงแสดง Functions Palette ของทางฝั่ง Block Diagram.....	50
3.12 แสดงตัวอย่าง Terminal, Node, Function และ wire ใน Block Diagram.....	51
4.1 แสดงกระบวนการที่ใช้ในการทดลอง.....	53
4.2 แสดงลักษณะการออกแบบกระบวนการ.....	53
4.3 แสดงผลตอบสนองจากสัญญาณขั้น (step response) ของกระบวนการ.....	55
4.4 แสดงหน้าต่างพาดู.....	56
4.5 แสดงโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการด้วยตัวควบคุม PID.....	57
4.6 แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุตค่าสัญญาณความผิดพลาด Error (E).....	58
4.7 แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุตค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าสัญญาณ ความผิดพลาด Change of Error (CE).....	58

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.8 แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเอาท์พุท	59
4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุทและเอาท์พุท	60
4.10 แสดงแสดงหน้าต่างพาดูผล	61
4.11 แสดงโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการด้วยตัวควบคุม Fuzzy-PID	62
4.12 แสดงผลตอบสนองของตัวควบคุม PID	63
4.13 แสดงผลตอบสนองของตัวควบคุม Fuzzy-PID เมื่อกำหนดค่าเป้าหมายอุณหภูมิ 60 °C	64
4.14 แสดงผลตอบสนองของตัวควบคุม Fuzzy-PID เมื่อกำหนดค่าเป้าหมายอุณหภูมิ 80 °C	64
4.15 แสดงผลตอบสนองของตัวควบคุม PID เมื่อกำหนดค่าเป้าหมายอุณหภูมิ 90 °C	65
4.16 แสดงผลตอบสนองของตัวควบคุม PID เมื่อกำหนดค่าเป้าหมายอุณหภูมิ 100 °C	65
4.17 แสดงผลตอบสนองของตัวควบคุม Fuzzy-PID เมื่อกำหนดค่าเป้าหมายอุณหภูมิ 90 °C	66
4.18 แสดงผลตอบสนองของตัวควบคุม Fuzzy-PID เมื่อกำหนดค่าเป้าหมายอุณหภูมิ 100 °C ...	66
4.19 แสดงผลตอบสนองของตัวควบคุม PID เปรียบเทียบกับผลตอบสนองของตัวควบคุม Fuzzy-PID เมื่อกำหนดค่าเป้าหมายอุณหภูมิ 60 °C ในสภาวะไม่มีโหลด	67
4.20 แสดงผลตอบสนองของตัวควบคุม PID เปรียบเทียบกับผลตอบสนองของตัวควบคุม Fuzzy-PID เมื่อกำหนดค่าเป้าหมายอุณหภูมิ 80 °C ในสภาวะไม่มีโหลด	68
4.21 แสดงผลตอบสนองของตัวควบคุม PID เปรียบเทียบกับผลตอบสนองของตัวควบคุม Fuzzy-PID เมื่อกำหนดค่าเป้าหมายอุณหภูมิ 90 °C ในสภาวะไม่มีโหลด	69
4.22 แสดงผลตอบสนองของตัวควบคุม PID เปรียบเทียบกับผลตอบสนองของตัวควบคุม Fuzzy-PID เมื่อกำหนดค่าเป้าหมายอุณหภูมิ 100 °C ในสภาวะไม่มีโหลด	70

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ระบบควบคุมอัตโนมัติแบบพีไอดี เป็นที่นิยมใช้งานกันเป็นส่วนมาก ในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมทั่วไป รูปแบบของตัวควบคุมแบบพีไอดี เป็นรูปแบบที่สามารถควบคุมกระบวนการต่างๆ ได้อย่างกว้างขวาง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกรอกแบบ และการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดี ที่ได้มีการพัฒนาขึ้นพร้อมกับการมีตัวควบคุมพีไอดี ดังนั้นการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบพีไอดี จึงเป็นสิ่งสำคัญเพื่อให้ได้การควบคุมที่มีประสิทธิภาพซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี บางวิธีอาจจะพิจารณาจากผลตอบสนองของระบบ และอาศัยประสบการณ์ บางวิธีอาศัยหลักการทางคณิตศาสตร์ โดยส่วนใหญ่จะใช้การพิจารณาจากเงื่อนไขในโดเมนเวลามากกว่าในโดเมนความถี่จนถึงปัจจุบันวิธีที่ยังได้รับความนิยมอยู่วิธีหนึ่ง คือ วิธีของ Ziegler-Nichols [1]

สภาวะในปัจจุบันกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมมีการแข่งขันทางด้านการผลิตสูง นำมาซึ่งประโยชน์ก่อให้เกิด การศึกษาที่จะนำตัวควบคุมที่มีประสิทธิภาพการทำงานที่ดีมาใช้งาน ในปัจจุบันมีวิธีการในการควบคุมกระบวนการที่ได้รับการคิดค้น ออกแบบและพัฒนาขึ้นมาหลายวิธี ซึ่งวิธีที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย คือ การควบคุมโดยเลียนแบบความคิดของมนุษย์ ได้แก่ การควบคุมโดยใช้ทฤษฎีฟัซซีเซต (Fuzzy Set) [2] แต่ใช้เวลาค่อนข้างนานก่อนที่ระบบจะเข้าสู่สภาวะคงที่ ดังนั้นเพื่อเป็นการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น จึงมีการนำตัวควบคุมแบบฟัซซี-พีไอดี มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบตัวควบคุม สำหรับควบคุมกระบวนการเพื่อเป็นการลดค่าพุ่งเกิน (Overshoot) และให้ผลตอบสนองในการควบคุมอย่างมีประสิทธิภาพ

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. ศึกษาและออกแบบตัวควบคุมฟัซซี-พีไอดี
2. ศึกษาและออกแบบกระบวนการเอาชอนขนาดเล็ก
3. ศึกษาและออกแบบชุดแสดงผลสัญญาณโดยใช้โปรแกรม LabVIEW

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

สำหรับการศึกษาที่จะนำตัวควบคุม ที่มีประสิทธิภาพการทำงานที่ดีมาใช้งาน ในปัจจุบันมีวิธีการ ในการควบคุมกระบวนการที่ได้รับการคิดค้น ออกแบบ และพัฒนาขึ้นมาหลายวิธี ซึ่งวิธีที่ได้รับความนิยม อย่างแพร่หลายคือ การควบคุมโดยเลียนแบบความคิดของมนุษย์ ได้แก่ การควบคุมโดยใช้ทฤษฎีฟัซซีเซต (Fuzzy Set) ในการออกแบบตัวควบคุม อาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มี

ความเที่ยงตรงของตัวควบคุมแบบพีซี-พีไอดี จากการกำหนดหน่วยการควบคุมพีซี ซึ่งในการออกแบบตัวควบคุมแบบพีซี-พีไอดี สำหรับควบคุมกระบวนการจะเป็นการลดค่าพุ่งเกิน (Overshoot) ที่อาจจะเกิดขึ้นกับกระบวนการ และให้ผลตอบสนองในการควบคุมได้ดี และมีประสิทธิภาพ

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1. ออกแบบกระบวนการควบคุมอุณหภูมิของกระบวนการเตาอบขนาดเล็ก ตัวควบคุมแบบพีซี-พีไอดี
2. ออกแบบตัวควบคุมอุณหภูมิแบบพีไอดี ด้วยวิธีของ Ziegler-Nichols เพื่อควบคุมกระบวนการ
3. ออกแบบตัวควบคุมอุณหภูมิแบบพีซี-พีไอดี เพื่อควบคุมกระบวนการเตาอบขนาดเล็ก
4. ใช้โปรแกรม LabVIEW เพื่อออกแบบและควบคุมกระบวนการ

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บท โดยมีรายละเอียดของแต่ละบทดังต่อไปนี้

บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมุติฐานของการศึกษา ขอบเขตของการวิจัย และขั้นตอนของการศึกษา

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย กล่าวถึงทฤษฎีทั้งหมดที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ทฤษฎีการควบคุมแบบป้อนกลับด้วยตัวควบคุมพีไอดี กริยาการควบคุมแบบป้อนกลับ การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของ ตัวควบคุมพีไอดีที่ได้จากผลตอบสนองของกระบวนการ ข้อกำหนด (Specifications) ของผลตอบสนองชั่วคราวของระบบ ทฤษฎีพีซี และทฤษฎีพีซี-พีไอดี

บทที่ 3 องค์ประกอบของการควบคุมสำหรับกระบวนการเตาอบขนาดเล็ก จะกล่าวถึงองค์ประกอบฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ของกระบวนการการประยุกต์ใช้งานฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ รวมทั้งโปรแกรมที่ใช้ ในการออกแบบการทดลอง

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง กล่าวถึงขั้นตอนและวิธีการในการออกแบบกระบวนการ เตาอบขนาดเล็ก การออกแบบอัลกอริทึมสำหรับตัวควบคุมพีไอดี และพีซี-พีไอดี ขั้นตอนในการหาสมการคุณลักษณะของกระบวนการ วิธีการทดลองทั้งหมด และการนำเสนอผลการทดลอง

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ กล่าวถึงสรุปผลการวิจัย การเปรียบเทียบผลตอบสนองของตัวควบคุมพีไอดี เปรียบเทียบกับผลตอบสนองของตัวควบคุมพีซี-พีไอดี พร้อมทั้งข้อเสนอแนะ

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

2.1 กล่าวนำ

การควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม มีความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการทางอุตสาหกรรม จึงมีการศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับกระบวนการทางความร้อนมากมาย เช่น การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนเกี่ยวกับการพาความร้อน, การนำความร้อน และ การแผ่รังสีที่เกิดขึ้นในกระบวนการเตาอบ [3] การศึกษาวิเคราะห์โครงสร้างและองค์ประกอบของกระบวนการทำงานของเตาอบ ที่มีหลอด Tungsten-Halogen เป็นตัวให้ความร้อน [4] การระบุเอกลักษณ์ระบบแบบป้อนกลับ (Closed-loop Identification) ในการตอบสนองทางความร้อนของตัว wafer โดยใช้วิธีการ Nonlinear least squares เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการเตาอบแบบหลอด Tungsten-Halogen [5] นอกจากนี้ได้มีการใช้วิธีการระบุเอกลักษณ์ระบบที่มีการควบคุมแบบป้อนกลับ [6] สำหรับงานวิจัยของ Lin, C. A. and Jan, Y.K. [7] ได้นำเสนอการออกแบบระบบควบคุมในกระบวนการเตาอบ Choi, J. Y., Do, H. M. และ Choi, H.S. [8] เสนอการใช้ควบคุมแบบปรับตัวได้มาใช้ในการควบคุมและ Stephen และ A. Norman [9] ได้เสนอเทคนิคการหาค่าเหมาะสมที่สุดในการควบคุมกระบวนการเตาอบ

นอกจากนี้มีการนำทฤษฎีการควบคุมแบบพีไอดี มาใช้ในการควบคุมอุณหภูมิ โดยการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดี ด้วยวิธีการปฏิบัติการกระบวนการตามทฤษฎีของ Ziegler-Nichols [1] ยังคงใช้กันอยู่อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ซึ่งมีข้อเสีย คือ เกิดค่าพุ่งเกินก่อนที่ระบบจะเข้าสู่สภาวะคงที่ จึงมีการนำทฤษฎีพีซีลิจิก มาใช้ออกแบบตัวควบคุมกระบวนการต่างๆ เพื่อเป็นการลดค่าพุ่งเกินของระบบ เช่น ระบบควบคุมเครื่องปรับอากาศสำหรับอาคารที่พักอาศัย [10] ระบบความดัน [11] การจำลองควบคุมอุณหภูมิในกระบวนการ Plasma Nitriding [12] และการควบคุมอุณหภูมิในเตาเผาสำหรับอุตสาหกรรมน้ำมัน [13] แต่ใช้เวลาค่อนข้างนานก่อนที่ระบบจะเข้าสู่สภาวะคงที่ ดังนั้นเพื่อเป็นการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น จึงมีการนำตัวควบคุมแบบพีซีซี-พีไอดี มาประยุกต์ใช้กับระบบต่างๆ เช่น ระบบ HVAC ที่ใช้กับระบบไฟฟ้าของยานพาหนะ [14] ระบบแม่เหล็กภายในมอเตอร์เชิงโรตารี [15] ระบบควบคุมอุณหภูมิสำหรับเครื่องขึ้นรูปชิ้นงาน [16] และการออกแบบจำลองกระบวนการควบคุมอุณหภูมิ ผ่านโปรแกรม Matlab [17] การออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของเครื่องอบยาสูบ [18] การควบคุมอุณหภูมิสำหรับเตาที่ใช้บรรจุก๊าซ [19] การจำลองกระบวนการควบคุมความดันสำหรับเตาที่ใช้บรรจุก๊าซ [20]

แต่สำหรับการวิจัยในครั้งนี้ จะเป็นการนำเสนอการออกแบบตัวควบคุมอุณหภูมิแบบพีซี-พีไอดี สำหรับกระบวนการเตาอบขนาดเล็กโดยใช้โปรแกรม LabVIEW ในการทดลองควบคุมกระบวนการจริง เพื่อพิจารณาผลตอบสนองของตัวควบคุม อันแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพ และสมรรถนะในการควบคุมกระบวนการของตัวควบคุมแบบพีไอดี เปรียบเทียบกับตัวควบคุมแบบพีซี-พีไอดี

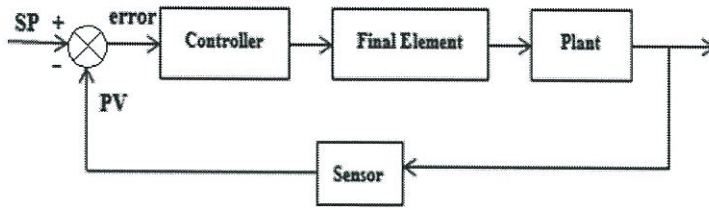
2.2 ทฤษฎีการควบคุมแบบป้อนกลับด้วยตัวควบคุมพีไอดี

ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ หรือระบบควบคุมแบบ Closed-Loop [5] เป็นระบบควบคุมโดยสัญญาณค่าความคลาดเคลื่อน ซึ่งเป็นสัญญาณแตกต่าง ระหว่างอินพุตกับสัญญาณป้อนกลับ จะถูกป้อนให้ตัวควบคุม เพื่อที่จะได้ลดความคลาดเคลื่อนให้น้อยลง และทำให้เอาต์พุตของระบบนั้นมีค่าตามที่ต้องการ โดยสัญญาณป้อนกลับนี้อาจเป็นสัญญาณเอาต์พุตโดยตรง หรือเป็นสัญญาณที่เป็นฟังก์ชันของสัญญาณเอาต์พุต

ระบบควบคุมป้อนกลับโดยทั่วไปประกอบด้วยอุปกรณ์ ดังนี้

1. ตัวควบคุม (Controller) หมายถึง เครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณให้กับกระบวนการที่ต้องการควบคุมให้ได้ผลตอบสนองตามต้องการ โดยสามารถจะกำหนดเป้าหมายให้กับ ตัวควบคุมนี้ได้ ซึ่งการควบคุมมีหลายแบบ เช่น ON-OFF Control, P Control, PI Control และ PID Control เป็นต้น
2. อุปกรณ์วัด (Measuring Instruments) หมายถึง อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการวัด ได้แก่ อุปกรณ์ตรวจรู้ (Sensor), ทรานสดิวเซอร์ หรือ อุปกรณ์แปลงสัญญาณ (Converter) หรือวัดสัญญาณอื่นๆ ที่มีเอาต์พุตตามสัญญาณมาตรฐานเอาต์พุต
3. อุปกรณ์ปรับกระบวนการ (Final Control Element) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ปรับสถานะของกระบวนการด้วยการเปลี่ยนแปลงตามค่าสัญญาณควบคุม (Manipulated Variable) ของกฎการควบคุม อุปกรณ์นี้ได้แก่ วาล์วควบคุม (Control Valve), inverter, Actuator ต่างๆ เป็นต้น
4. กระบวนการ (Plant or Process) หมายถึง กระบวนการทางฟิสิกส์ที่ต้องการควบคุมให้มีสถานะตามต้องการ ขณะที่สถานะการทำงาน หรือสภาพแวดล้อมอาจเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา กระบวนการ ซึ่งได้แก่ อุณหภูมิ, ความดัน, อัตราการไหล, ระดับความเป็นกรด-ด่าง (pH) และกระบวนการในถังทำปฏิกิริยา เป็นต้น
5. สัญญาณมาตรฐาน (Standard Signal) ในการทำงานที่ต้องการเชื่อมอุปกรณ์ในระบบควบคุมอัตโนมัติให้ทำงานได้ตามความต้องการนั้น จำเป็นต้องมีมาตรฐานรองรับ ซึ่งวิวัฒนาการตั้งแต่เริ่มมีระบบควบคุมอัตโนมัติ มีการเปลี่ยนแปลงระบบตัวอุปกรณ์เครื่องมือวัดมาตั้งแต่ยุคลม (Pneumatic), ไฟฟ้า (Electrical) และปัจจุบันเริ่มมีการใช้สัญญาณดิจิตอลมาใช้ในการสื่อสารกันอย่างแพร่หลาย สัญญาณลม (Pneumatic) : SIGNAL 3-15 PSI หรือ 0.2-1 Kg/cm², สัญญาณไฟฟ้า (Electrical): SIGNAL 1-5 Vd.c. หรือ 4-20 mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างของระบบควบคุมแบบป้อนกลับโดยทั่วไป

สำหรับการควบคุมกระบวนการทางอุตสาหกรรมโดยทั่วไปนั้น นิยมใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี (PID) เพราะรูปแบบของตัวควบคุม เป็นตัวควบคุมที่สามารถควบคุมกระบวนการต่างๆ ได้อย่างกว้างขวาง เนื่องจากมีโครงสร้างการทำงานที่ไม่ซับซ้อน สามารถเข้าใจได้ง่าย การใช้งานตัวควบคุมพีไอดีนี้ขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ให้เหมาะสมเพื่อให้ได้ผลตอบสนองของกระบวนการตามต้องการ ตัวควบคุมแบบพีไอดี (PID) ประกอบด้วยตัวควบคุมแบบ Proportional (P) ตัวควบคุมแบบ Integral (I) และ ตัวควบคุมแบบ Derivative (D) ซึ่งมีฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) ดังนี้

$$M(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (2.1)$$

โดยที่ K_p = ค่าอัตราขยายของตัวควบคุมแบบ Proportional (P)
 T_i = ค่าเวลา Integral (Integral Time)
 T_d = ค่าเวลา Derivative (Derivative Time)

จากรูปที่ 2.1 จะเห็นว่าสัญญาณควบคุม หรือตัวแปรปรับกระบวนการ (MV) ที่ได้จากตัวควบคุม PID จะถูกกำหนดด้วยความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัญญาณขาเข้า ด้วยตัวควบคุมกับตัวแปรกระบวนการ (PV) และสัญญาณอ้างอิงหรือค่าเป้าหมาย (SP) โดยที่ความสัมพันธ์ดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับกฎเกณฑ์การควบคุมที่ผู้ควบคุมปรับแต่งไว้ล่วงหน้า สำหรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม จะนำไปตามกริยาควบคุมแบบต่างๆดังต่อไปนี้

การควบคุมแบบ ON-OFF นิยมใช้การควบคุมกระบวนการที่ไม่จำเป็นต้องการความเที่ยงตรงสูงนัก และผลของความคลาดเคลื่อน ไม่ส่งผลต่อการควบคุมกระบวนการ เช่น การควบคุมอุณหภูมิในตู้เย็น การควบคุมระดับน้ำในถังทั่วไปตามบ้าน หรือการควบคุมอุณหภูมิในห้อง เป็นต้น นอกจากนี้การควบคุมแบบ ON-OFF ยังนิยมใช้กับการควบคุมกระบวนการที่มีความจุมากๆ อีกด้วย เนื่องจากค่าความคลาดเคลื่อนจะมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับขนาดความจุ ทำให้ลดต้นทุนได้อย่างมาก

2.3.2 กริยาการควบคุมแบบ Proportional (P)

กริยาการควบคุมแบบ P ค่าเอาต์พุทของตัวควบคุมจะแปรผันตรงกับค่าความคลาดเคลื่อน กล่าวคือ ถ้าค่าความคลาดเคลื่อน มีค่ามากขึ้น ค่าเอาต์พุทของตัวควบคุม ก็จะมีค่ามากขึ้นตาม และถ้าค่าความคลาดเคลื่อน มีค่าน้อยลง ค่าเอาต์พุทของตัวควบคุม ก็จะมีค่าน้อยลงตาม กริยาการควบคุมแบบ P สามารถเขียนสมการ (2.3) ได้ดังนี้

$$mp(t) = Kp e(t) + \bar{m} \quad (2.3)$$

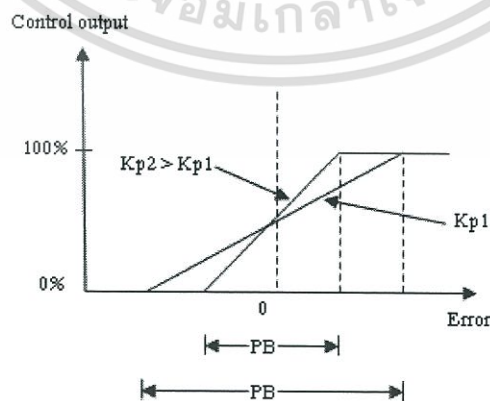
เมื่อ

$mp(t)$	=	ค่าเอาต์พุทของตัวควบคุมแบบ Proportional
Kp	=	อัตราขยายของตัวควบคุมแบบ Proportional
\bar{m}	=	ค่าเอาต์พุทตัวควบคุมที่ค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับศูนย์

ตัวควบคุมแบบ P บางตัวอาจจะใช้ค่า Proportional Band (PB) แทนการใช้ค่า Kp ซึ่ง PB คือ ช่วงของค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างที่เอาต์พุทของตัวควบคุมมีค่า 0-100% ดังสมการ

$$PB = \frac{100\%}{Kp} \quad (2.4)$$

ข้อเสียของกริยาการควบคุมแบบ Proportional คือ ไม่สามารถกำจัดค่าออฟเซตได้



รูปที่ 2.3 แสดงคุณสมบัติของกริยาการควบคุมแบบ Proportional

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

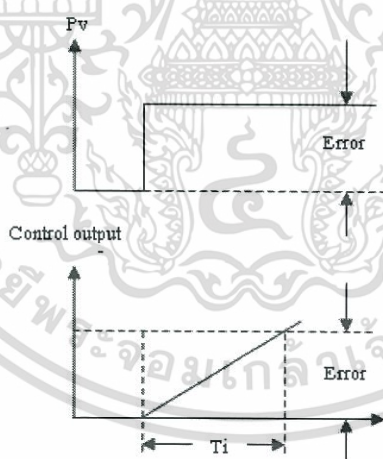
2.3.3 กิริยาการควบคุมแบบ Integral (I)

กิริยาการควบคุมแบบ I หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การควบคุมแบบรีเซ็ต (Reset Control) โดยค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมหาได้จากค่าพื้นที่ทั้งหมดภายใต้กราฟของค่าความคลาดเคลื่อน ต่อเวลา คูณกับค่าคงที่ ที่เรียกว่า อัตราขยายของตัวควบคุมแบบ I (Integral Gain) ดังสมการ (2.5)

$$m_I(t) = K_I \int_0^t e(t) dt + \bar{m}_I(0) \quad (2.5)$$

เมื่อ $m_I(t)$ = ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบ Integral
 K_I = อัตราขยายของตัวควบคุมแบบ Integral
 $\int_0^t e(t) dt$ = พื้นที่ทั้งหมดของค่าความคลาดเคลื่อน
 $\bar{m}_I(0)$ = ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมที่เวลา t เท่ากับศูนย์

ผลของกิริยาการควบคุมแบบ I จะทำให้ไม่เกิดออฟเซตขึ้นในระบบ และลดการเกิดค่าพุ่งเกิน (Overshoot) ของระบบลงได้ แต่ถ้ากิริยาการควบคุม มีค่าสูงมากจนเกินไป จะทำให้ผลตอบสนองของกระบวนการช้าลง ผลตอบสนองของกิริยาการควบคุมแบบ I ดังแสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงผลตอบสนองของกิริยาการควบคุมแบบ Integral

2.3.4 กิริยาการควบคุมแบบ Derivative (D)

กิริยาการควบคุมแบบ D การควบคุมแบบอัตราส่วน (Rate Action) โดยสัญญาณเอาต์พุตของตัวควบคุมจะขึ้นอยู่กับอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความคลาดเคลื่อนต่อเวลา จะเห็นว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีโอกาสเป็นศูนย์ได้ และค่าเอาต์พุตก็สามารถเปลี่ยนแปลงให้มีค่าสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อความคลาดเคลื่อนเปลี่ยนแปลง ซึ่งเรียกการกระทำดังกล่าวว่า อัตราการกระทำ (Rate Action) ดังสมการ (2.6)

$$m_D(t) = K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (2.6)$$

เมื่อ

$m_D(t)$ = ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบ Derivative

K_D = อัตราขยายของตัวควบคุมแบบ Derivative

$\frac{de(t)}{dt}$ = ค่าความคลาดเคลื่อนที่เวลา t



รูปที่ 2.5 แสดงตัวอย่างผลตอบสนองของกิริยาการควบคุมแบบ Derivative

2.3.5 กิริยาการควบคุมแบบ Proportional-Integral (PI)

ตามที่กล่าวมาแล้วว่ากิริยาการควบคุมแบบ P นั้นจะมีออฟเซตเกิดขึ้น การกำจัดค่าออฟเซตสามารถทำได้โดยการเพิ่มกิริยาการควบคุมแบบ I เข้าไป ดังสมการ

$$m_{PI}(t) = \bar{m} + K_p e(t) + K_p K_I \int_0^t e(t) dt \quad (2.7)$$

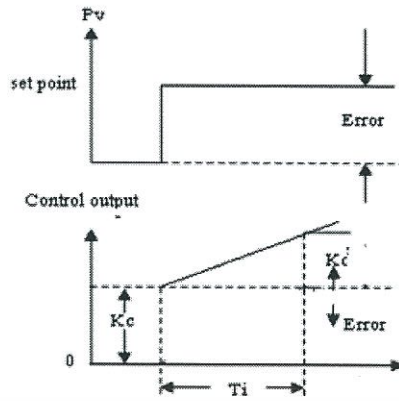
หรือ

$$m_{PI}(t) = \bar{m} + K_c e(t) + \frac{K_c}{T_i} \int_0^t e(t) dt \quad (2.8)$$

เมื่อ

$K_c = K_p$ และ $K_I = \frac{1}{T_i}$

T_i = ค่าเวลา Integral



รูปที่ 2.6 แสดงตัวอย่างผลตอบสนองของกริยาการควบคุมแบบ PI (Direct action)

2.3.6 กริยาการควบคุมแบบ Proportional-Derivative (PD)

ในการประยุกต์ใช้กริยาการควบคุมแบบ P ร่วมกับกริยาการควบคุมแบบ D เพื่อเป็นการทำให้ ผลตอบสนองของระบบรวดเร็วขึ้น แต่ไม่มีผลโดยตรงต่อผลตอบสนองของระบบที่สภาวะคงที่ สมการเอาท์พุทของกริยาการควบคุมแบบ PD แสดงดังสมการ (2.9) และ (2.10)

$$m_{PD}(t) = \bar{m} + K_p e(t) + K_p K_D \frac{de(t)}{dt} \tag{2.9}$$

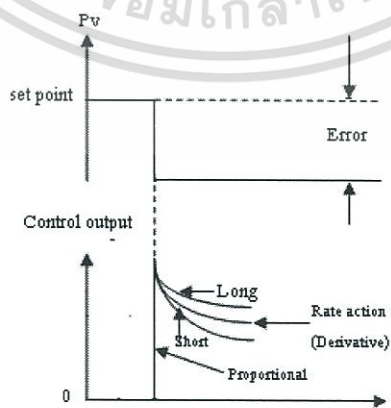
หรือ

$$m_{PD}(t) = \bar{m} + K_c e(t) + K_c T_d \frac{de(t)}{dt} \tag{2.10}$$

เมื่อ

$$K_D = T_d$$

T_d = ค่าเวลา Derivative



รูปที่ 2.7 แสดงตัวอย่างผลตอบสนองของกริยาการควบคุมแบบ PD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

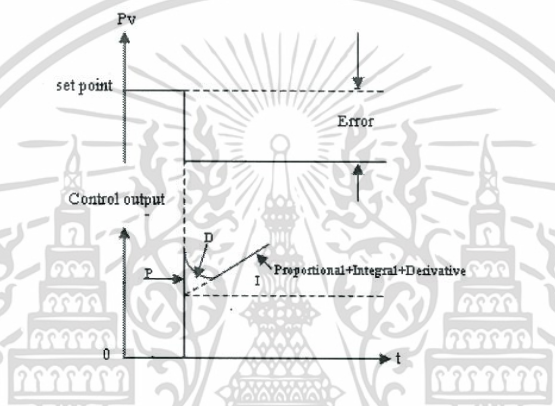
2.3.7 กิริยาการควบคุมแบบ Proportional – Integral- Derivative (PID)

เพื่อให้ผลตอบสนองของระบบควบคุมมีสมรรถนะเป็นไปตามต้องการ จึงใช้กิริยาการควบคุม ทั้ง 3 แบบร่วมกัน ซึ่งจะทำให้ได้กิริยาการควบคุมแบบ PID ที่มีสมการดัง (2.11) และ (2.12)

$$m_{PID}(t) = \bar{m} + K_p e(t) + K_p K_I \int_0^t e(t) dt + K_p K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (2.11)$$

หรือ

$$m_{PID}(t) = \bar{m} + K_c e(t) + \frac{K_c}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_c T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.12)$$



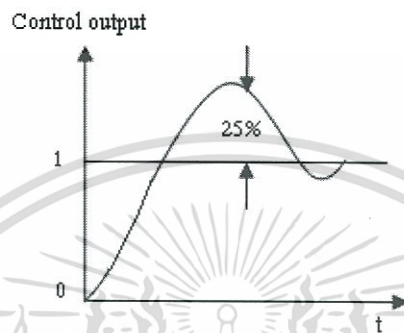
รูปที่ 2.8 แสดงตัวอย่างผลตอบสนองของกิริยาการควบคุมแบบ PID (Direct action)

2.4 การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบ PID จากผลตอบสนองของกระบวนการ

การนำตัวควบคุมแบบ PID ไปใช้ในการควบคุมกระบวนการต่างๆ ต้องทำการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมให้เหมาะสมเพื่อให้ได้ผลตอบสนองที่ดีตามความต้องการ การหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบ PID นั้นสามารถกระทำได้หลายวิธี บางวิธีอาจพิจารณาได้จากผลตอบสนองของกระบวนการ จากการทดสอบกระบวนการหรืออาศัยประสบการณ์จากตัวควบคุม บางวิธีอาจอาศัยทฤษฎีทางคณิตศาสตร์ ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะพิจารณาจากเงื่อนไข ในรูปแบบของโดเมนเวลามากกว่าในโดเมนความถี่ สำหรับวิธีของ Ziegler-Nichols [1] เป็นวิธีหนึ่งที่ยังได้รับความนิยมมากที่สุดทางปฏิบัติ ซึ่งในการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID โดยวิธี Ziegler-Nichols [1] การหาค่า K_p , T_i และ T_d จะขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของผลตอบสนอง ช่วงครู่ของกระบวนการที่ถูกควบคุม ซึ่งมีอยู่ 3 วิธี ดังนี้

1. วิธี Process Reaction Curve Method (Open Loop Method)
2. วิธี Ultimate Method (Close Loop)
3. วิธี Trial and Error (วิธีการลองผิดลองถูก)

ซึ่งแต่ละวิธีมีจุดมุ่งหมายเพื่อที่จะทำให้ผลตอบสนองต่อเวลา ของกระบวนการต่ออินพุตแบบขั้นบันได มีค่าพุ่งเกินสูงสุดไม่เกิน 25% ดังแสดงในรูปที่ 2.13



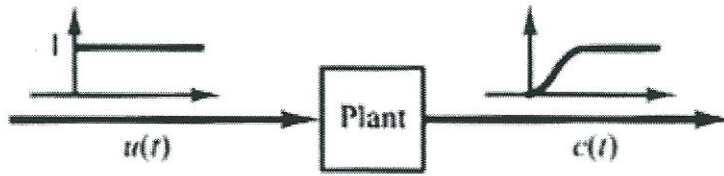
รูปที่ 2.9 แสดงค่าพุ่งเกินที่ต้องการเมื่อใช้การปรับด้วยวิธี Ziegler-Nichols

2.4.1 วิธี Process Reaction Curve (การทดลองแบบลูปเปิด)

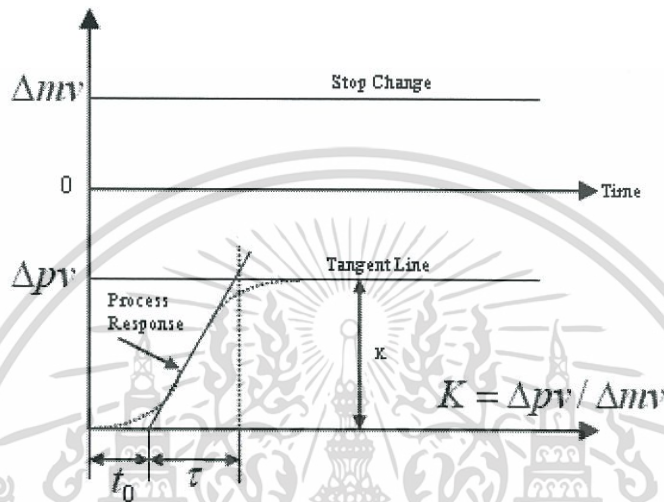
วิธีนี้จะหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการด้วยวิธี Process Reaction Curve [1] จากผลตอบสนองของกระบวนการแบบลูปเปิด ที่ถูกควบคุมด้วยสัญญาณอินพุตแบบขั้นบันได โดยที่กระบวนการในกรณีนี้จะไม่มีการมี Pole ที่จุด Origin หรือไม่มี Dominant complex conjugate poles ดังนั้นผลตอบสนองของเวลาจากกระบวนการจะได้ในลักษณะเป็นรูปตัว S (ถ้าผลตอบสนองของเวลาไม่มีลักษณะเป็นรูปตัว S วิธีนี้จะไม่สามารถใช้ได้) จากผลตอบสนองต่อเวลา สามารถแยกพิจารณาค่าเวลาหน่วงของกระบวนการ (Delay time: t_0) และเวลาคงที่ของกระบวนการ (Time Constant: T) โดยลากเส้นสัมผัสกับจุดที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงสูงสุดเส้นนี้จะตัดกับแกนเวลา และเส้นตรงของเอาต์พุต $C(t)$ ที่ $C(t) = K$

ดังนั้นฟังก์ชันถ่ายโอน จะประมาณได้ด้วยระบบอันดับหนึ่ง แบบมีการหน่วงเวลา (FOPDT) ดังสมการ

$$G(s) = \frac{C(s)}{U(s)} = \frac{Ke^{-t_0s}}{\tau s + 1} \quad (2.13)$$



รูปที่ 2.10 แผนภาพกระบวนการทำ Step Response



รูปที่ 2.11 แสดงผลตอบสนองรูปตัว S เมื่อปรับโดยใช้วิธี Process Reaction Curve

จากกราฟที่แสดงผลตอบสนองในรูปตัว S ที่ 2.11 จะทำให้สามารถหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของกระบวนการได้ โดยเริ่มต้นด้วยการหาค่าคงตัวทางเวลา Delay time และอัตราการตอบสนอง (Process response) โดยอาศัยผลตอบสนองวงเปิด (open-loop response) ขั้นตอนการทดสอบเป็นดังนี้

1. ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแบบขั้น (step change) ด้วยขนาด ΔPV ที่สัญญาณออกของตัวควบคุม (ซึ่งเป็นสัญญาณเข้าของระบบ) ในขณะเดียวกันก็หาค่า Delay time ดังรูปที่ 2.11 ค่า Delay time (หน่วยเป็นวินาที) จะเป็นระยะเวลา นับจากจุดที่เริ่มการเปลี่ยนแปลงแบบขั้นของสัญญาณเข้า ไปยังจุดที่ระบบเริ่มตอบสนองต่อสัญญาณเข้านั้น

2. จากนั้นสัญญาณออกที่วัดได้ จะมีค่าค่อยๆ เพิ่มขึ้น จนกระทั่งเข้าสู่สภาวะอยู่ตัวที่ค่าใหม่ ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลง แบบขั้นที่สัญญาณออกของตัวควบคุมเส้นโค้ง แสดงดังรูปที่ 2.11 อาจประมาณได้ว่าผลตอบสนองมีลักษณะเป็นการล่าหลังอันดับหนึ่ง (first-order lag)

3. ค่าคงตัวทางเวลา τ หาได้จาก ระยะเวลาที่สัญญาณออก เริ่มเปลี่ยนแปลงไปจนถึงค่า 63.2% ของ ΔPV (หรือเป็นส่วน $1 - e^{-1}$ ของ ΔPV) โดย ΔPV คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงสัญญาณออกเทียบกับค่าเดิม

4. ค่า K ซึ่งบ่งบอกถึงอัตราขยายของระบบในภาวะอยู่ตัวหาได้จาก $K = \Delta PV / \Delta MV$

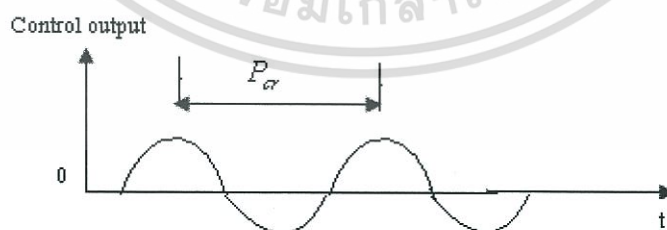
5. ค่าความชันของกราฟสัญญาณออกจะมีค่าเท่ากับ K/τ (Process Reaction Rate = R) และจากรูปที่ 2.11 สามารถคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมแบบพีไอดี ได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบต่างๆตามวิธี Process Reaction Curve

Type of Controller	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{1}{K} \left(\frac{\tau}{t_0} \right)$	—	—
PI	$\frac{0.9}{K} \left(\frac{\tau}{t_0} \right)$	$3.33t_0$	—
PID	$\frac{1.2}{K} \left(\frac{\tau}{t_0} \right)$	$2.0t_0$	$0.5t_0$

2.4.2 วิธี Ultimate Method (การทดลองลูบปิด)

วิธีนี้จะหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID จากผลตอบสนองของกระบวนการแบบลูบปิดที่มีการควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบ P ต่อสัญญาณอินพุตแบบขั้นบันได โดยการปรับค่า K_p ไปเรื่อยๆ จนกระทั่ง ผลตอบสนองของกระบวนการ เกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง (Sustained Oscillations) ถ้าผลตอบสนองเวลาไม่เกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง วิธีการนี้จะใช้ไม่ได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 แสดงผลตอบสนองเวลาเกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่องเมื่อปรับโดยวิธี Ultimate method

จากการหาค่าของ

K_{cr} (Critical Gain) คือ อัตราการขยายที่ทำให้ผลตอบสนองเวลาเกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง

P_{cr} (Oscillation Period) คือ คาบเวลาของการแกว่งอย่างต่อเนื่อง

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบต่างๆตามวิธี Ultimate Method

Type of Controller	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{K_{cr}}{2}$	—	—
PI	$\frac{K_{cr}}{2.2}$	$\frac{t_{cr}}{1.2}$	—
PID	$\frac{K_{cr}}{1.7}$	$\frac{t_{cr}}{2}$	$\frac{t_{cr}}{8}$

การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID โดยวิธีของ Ziegler-Nichols นั้นไม่ใช่เป็นค่าที่เที่ยงตรงที่จะนำไปใช้งานได้ทันที และมีค่าพุ่งเกินสูงสุดไม่เกิน 25 % ตามที่กล่าวไว้แต่ค่าที่ได้ อาจจะเพียงแค่ออกใกล้เคียงเท่านั้น หรือไม่ใกล้เคียงก็ตาม ผู้ควบคุมจะต้องทำการปรับค่าพารามิเตอร์เหล่านี้แบบละเอียด (Fine Tuning) อีกครั้งหนึ่ง

2.4.3 วิธี Trial and Error (วิธีการลองผิดลองถูก)

สำหรับวิธีนี้ เป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับผู้ที่มีประสบการณ์ ในด้านการปรับพารามิเตอร์ PID แล้ว โดยการควบคุม จะต้องเป็นระบบปิด และตำแหน่งการควบคุมจะต้องอยู่ในตำแหน่ง Automatic Control ส่วนวิธีการต่อไปนี้คือ

วิธีการปรับแบบ PI

1. ให้ตัวควบคุมทำงานในรูปแบบ Proportional Control เพียงอย่างเดียว
2. ต่อไปทำการปรับค่า K_c จนกระทั่งค่า PV เข้าใกล้ค่าเป้าหมายซึ่งโดยทั่วไปก็จะต่ำกว่าค่าเป้าหมายเพียงเล็กน้อย
3. ต่อไปค่อยๆปรับค่า T_i เพิ่มขึ้นเพื่อชดเชยค่า Offset ที่เกิดขึ้นแล้วดูผลว่าค่า PV เข้าสู่เป้าหมายตามที่ต้องการหรือยัง ถ้ายังก็ค่อยๆปรับขึ้นอีกจนได้ตามต้องการโดยช่วงนี้ก็พยายามลด K_c เพื่อลดการแกว่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการปรับแบบ PID

1. ทำตามวิธีการแบบ PI ทั้ง 3 ข้อ
2. ถ้าต้องการผลตอบสนองที่รวดเร็วขึ้นมักใช้ค่าอัตราส่วนระหว่างค่า Integral Time กับ Derivative Time เป็น 4/1 เป็นต้นไปพร้อมกับการเพิ่มลดของค่า Kc ไปด้วย เพื่อป้องกันการเกิด Overshoot และการเกิด Hunting
3. เนื่องด้วยวิธีการนี้ เป็นความพึงพอใจเฉพาะบุคคล ยากที่จะกำหนดเป็นกฎเกณฑ์ตายตัว ดังนั้นวิธีการเริ่มต้นในการปรับนั้นจึงมีลักษณะเช่นเดียวกัน

2.5 ข้อกำหนด (Specifications) ของผลตอบสนองชั่วคราวของระบบ

สมรรถนะของระบบควบคุม สามารถแสดงอยู่ในเทอมของปริมาณต่างๆในรูปของโดเมนเวลา โดยจะทำการวิเคราะห์ สมรรถนะ จากผลตอบสนองชั่วคราวของ ระบบต่ออินพุทที่เป็น Unit Step สำหรับข้อกำหนดต่างๆซึ่งประกอบด้วย

1. Maximum Overshoot (M_p) ซึ่งบางในครั้งนั้น จะทำการแสดงในเทอมของ Perfect Maximum Overshoot เป็นค่าแตกต่างระหว่างเอาท์พุทที่มีค่าสูงสุดของระบบกับเอาท์พุทที่มีค่าคงที่ โดยที่

C_{max} คือ ค่าเอาท์พุทที่มีค่าสูงสุด

C_{ss} คือ ค่าเอาท์พุทที่มีค่าคงที่

จะได้ว่า

$$M_p = C_{max} - C_{ss}$$

และ Perfect Maximum Overshoot :

$$\%M_p = \left(\frac{M_p}{C_{ss}} \right) \times 100 \quad (2.14)$$

Maximum Overshoot (M_p) จะแสดงถึงเสถียรภาพสัมพัทธ์ของระบบโดยทั่วไปแล้ว ในระบบที่มี Overshoot มากนั้นจะไม่ใช่ที่ต้องการ นอกจากนี้แล้วค่า Maximum Overshoot ยังเป็นข้อกำหนดของการออกแบบระบบควบคุมด้วย

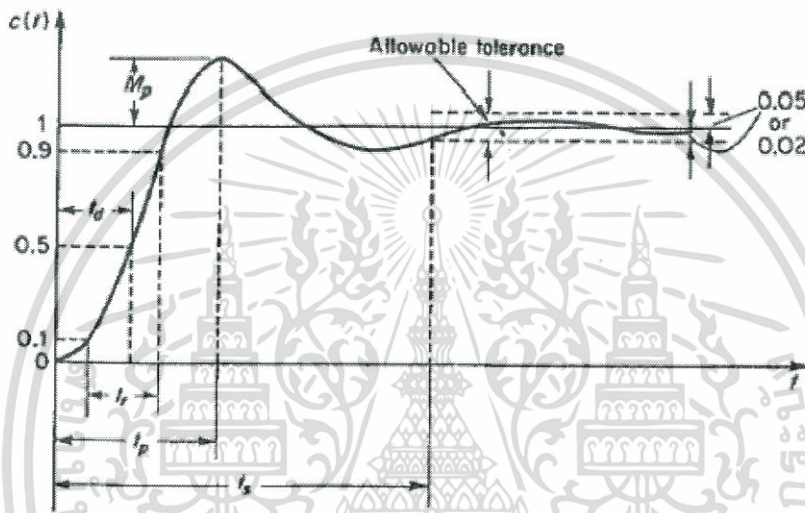
2. Delay Time (t_d) เป็นช่วงเวลาที่ผลตอบสนองชั่วคราวของระบบมีค่าเข้าสู่ 50% ของค่าที่ภาวะคงที่

3. Rise Time (t_r) เป็นช่วงเวลาที่ผลตอบสนองชั่วคราวของระบบที่จะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 10% ถึง 90% ของค่าที่ภาวะคงที่ ในบางครั้งอาจจะถือว่า Rise Time เป็นช่วงเวลาที่ให้ผลตอบสนอง 10% ถึง 90%, 5% ถึง 95%, 0% ถึง 100% ของค่าที่ภาวะคงที่ก็ได้

4. Settling Time (t_s) เป็นช่วงเวลาที่ผลตอบสนองชั่วคราวของระบบที่จะมีค่าเข้าสู่ช่วง $\pm 2\%$ หรือ 5% ของค่าที่ภาวะคงที่และมีค่าอยู่ที่ช่วงนี้ตลอด หรือหมายถึง ค่าเวลาที่ผลตอบสนองต่อเวลา เปลี่ยนสภาพจากผลตอบสนองชั่วคราวไปเป็นผลตอบสนองที่ภาวะคงที่

5. Peak Time (t_p หรือ t_{max}) ช่วงเวลาที่ผลตอบสนองของระบบควบคุม มีการตอบสนองสูงสุด (Maximum Overshoot)

ข้อกำหนดต่างๆ เหล่านี้จะใช้วัดคุณลักษณะ ของผลตอบสนองแบบชั่วคราว โดยอินพุทแบบ Unit Step เท่านั้นแต่จะไม่สามารถนำไปใช้ในทุกระบบได้ เช่น ระบบที่ใช้เป็นแบบ Critical Damped และ Over Damped นั้นจะไม่มีค่าของ t_p และ M_p นอกจากนี้ข้อกำหนดเหล่านี้จะใช้กับระบบที่มีเสถียรภาพเท่านั้น เพราะระบบที่ไม่มีเสถียรภาพนั้นผลตอบสนองของระบบ จะมีขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ จึงไม่สามารถควบคุมได้



รูปที่ 2.13 แสดงข้อกำหนด (Specifications) ของผลตอบสนองชั่วคราวของระบบ

2.6 ทฤษฎีฟัซซี

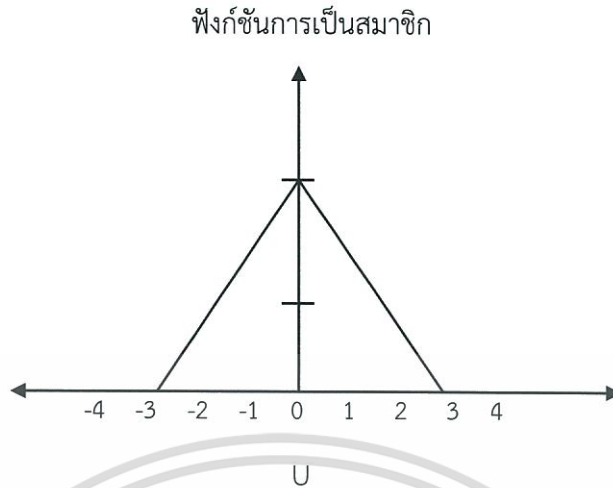
ทฤษฎีฟัซซีลอจิกได้ถูกนำเสนอครั้งแรกโดย L.A.Zadeh [21] ตั้งแต่นั้นมาทฤษฎีฟัซซีลอจิก ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบตัวควบคุมเพื่อใช้ในการควบคุมระบบควบคุมต่างๆ สำหรับการนำระบบฟัซซีมาใช้งาน จะต้องอาศัยความรู้ทางคณิตศาสตร์เกี่ยวกับฟัซซี เพื่อเป็นพื้นฐาน ในการทำความเข้าใจโครงสร้างของระบบฟัซซี ซึ่งหัวข้อนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีทางคณิตศาสตร์ ที่จำเป็นเกี่ยวกับฟัซซี

2.6.1 ฟัซซีเซต (Fuzzy Set)

ฟัซซีเซต คือ เซตของคู่อันดับ x และฟังก์ชันการเป็นสมาชิก $\mu_A(x)$ โดยที่ x เป็นสมาชิกใดๆ ของเอกภพสัมพัทธ์ U และ A เป็นฟัซซีเซต เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ได้ดังนี้

$$A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in U\} \tag{2.15}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 ฟัชซีเซต

จากรูปที่ 2.14 แสดงให้เห็นถึงฟัชซีเซต โดยจะมีการกำหนดเอกภพสัมพัทธ์ U ซึ่งจะมีสมาชิก คือ $u = \{-4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4\}$ ซึ่งจะพบว่าสมาชิก u แต่ละค่าจะมีค่าระดับการเป็นสมาชิก ของสมาชิกค่านั้นๆ เป็นคู่ลำดับกันไป ซึ่งทำให้พิจารณาได้ว่าฟัชซีเซต จะมาสามารถแยกแยะการเป็นสมาชิกแต่จะมีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 จึงทำมาสามารถกำหนดขอบเขตของเซตได้อย่างแน่นอน

2.6.1.1 ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของฟัชซีเซต (Membership Function of Fuzzy Set: $\mu_A(u)$)

ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของฟัชซีเซต A ถูกนิยามให้มีค่าอยู่ภายในช่วง $[0,1]$ เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $\mu_A(u)$

โดยที่ค่า $\mu_A(u)$ เป็นค่าที่ระบุความเป็นสมาชิกของ u ในฟัชซีเซต A

ถ้า $\mu_A(u)$ มีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่า u ไม่มีความเป็นสมาชิกของฟัชซีเซต A

ถ้า $\mu_A(u)$ มีค่าน้อย แสดงว่า u มีความเป็นสมาชิกของฟัชซีเซต A น้อย

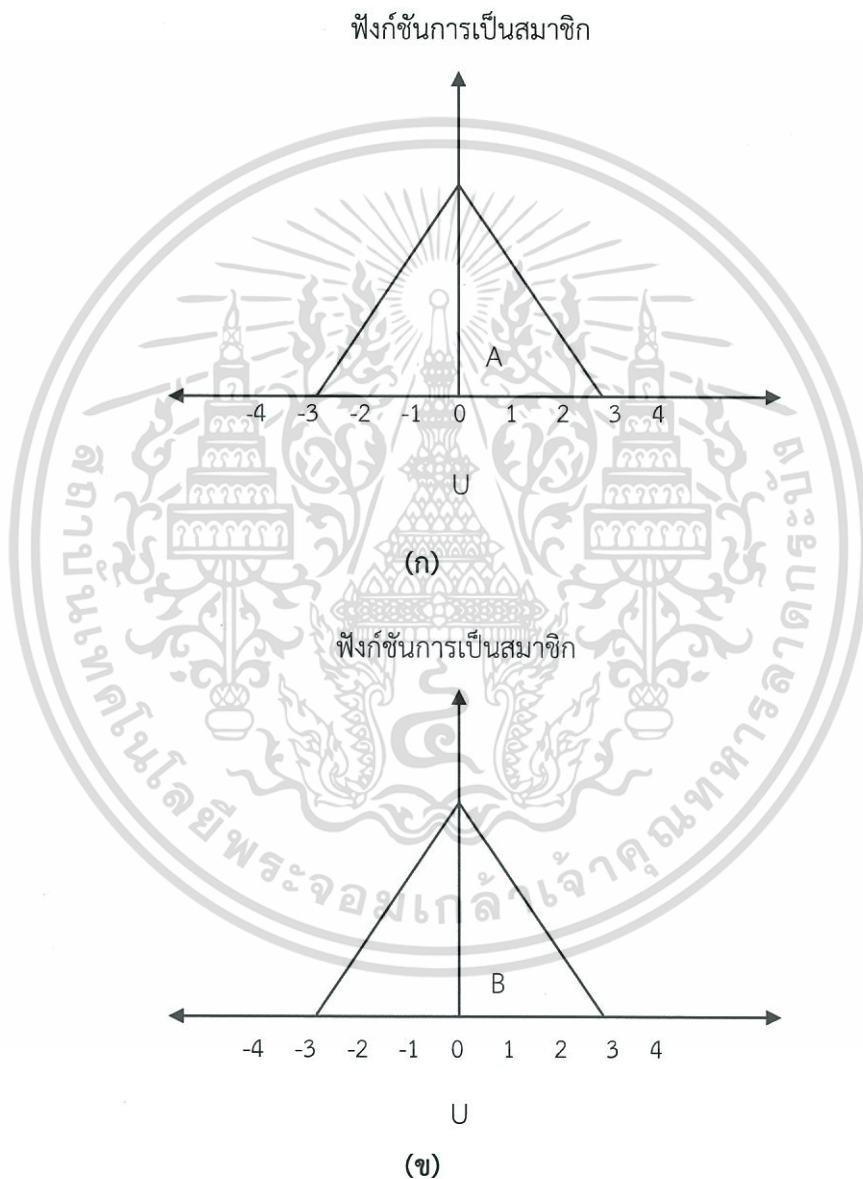
ถ้า $\mu_A(u)$ มีค่ามาก แสดงว่า u มีความเป็นสมาชิกของฟัชซีเซต A มาก

ถ้า $\mu_A(u)$ มีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่า u มีความเป็นสมาชิกของฟัชซีเซต A สมบูรณ์
แสดงได้ว่า $\mu_A(u): U \rightarrow \{0,1\}$

2.6.1.2 การเท่ากันของฟัซซีเซต

ฟัซซีเซต A จะเท่ากับฟัซซีเซต B ก็ต่อเมื่อ สมาชิก u ทุกตัวในเอกภพสัมพัทธ์ U มีค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต A เท่ากับค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต B เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์

$$(A = B) \leftrightarrow (\mu_A(u) = \mu_B(u) : \forall u \in U) \tag{2.16}$$



รูปที่ 2.15 การเท่ากันของฟัซซีเซต A กับเซต B

(ก) ฟัซซีเซต A

(ข) ฟัซซีเซต B

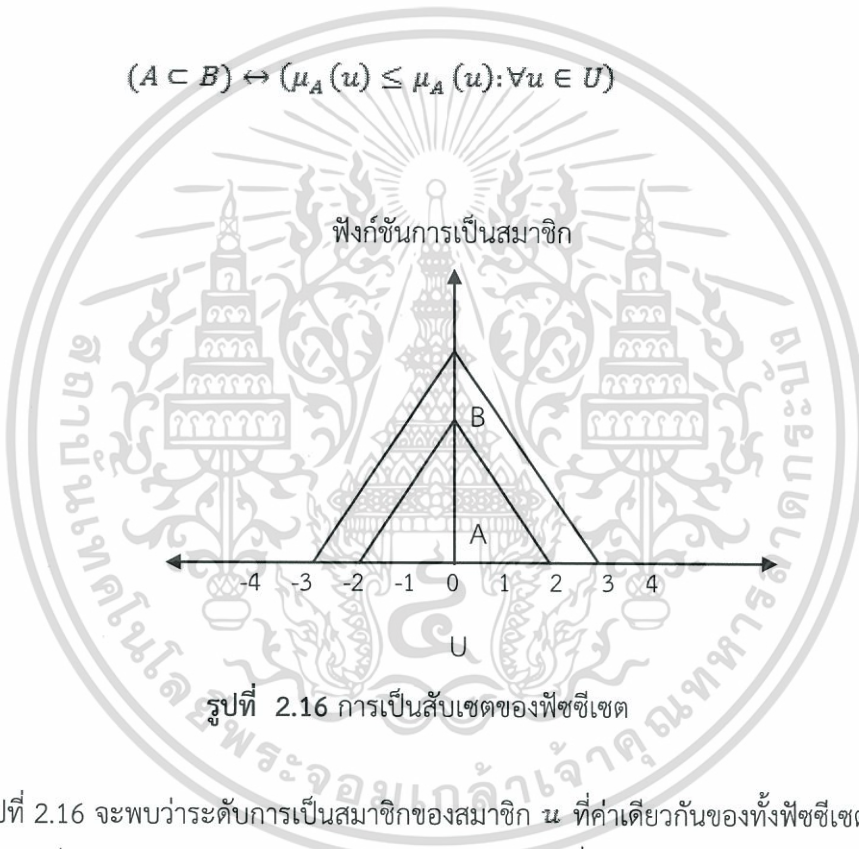
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.15 (ก) และรูปที่ 2.15 (ข) กำหนด U เป็นเอกภพสัมพัทธ์ n เป็นสมาชิกในเอกภพสัมพัทธ์ทั้งหมดมีค่าเท่ากับ $\{-4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4\}$ ฟัชซีเซต A และ B อยู่ในเอกภพสัมพัทธ์เดียวกัน และสมาชิกแต่ละตัวที่มีค่าเดียวกันกับฟัชซีเซต A และฟัชซีเซต B จะมีระดับการเป็นสมาชิกเท่ากันทุกๆ ค่าของสมาชิกแต่ละตัว ซึ่งแสดงว่าฟัชซีเซต A เท่ากับฟัชซีเซต B

2.6.1.3 การเป็นซับเซตของฟัชซีเซต

ฟัชซีเซต A จะเป็นซับเซตของฟัชซีเซต B ก็ต่อเมื่อ สมาชิก n ทุกตัวในเอกภพสัมพัทธ์ U มีค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของฟัชซีเซต A น้อยกว่าหรือเท่ากับการเป็นสมาชิกของฟัชซีเซต B เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $A \subset B$

$$(A \subset B) \leftrightarrow (\mu_A(n) \leq \mu_B(n) : \forall n \in U) \quad (2.17)$$



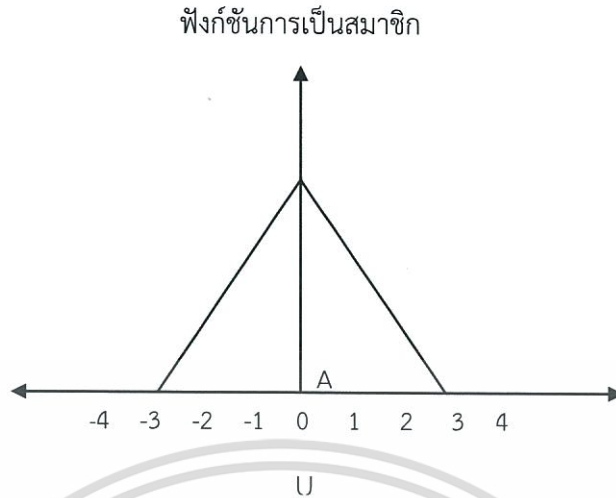
รูปที่ 2.16 จะพบว่าระดับการเป็นสมาชิกของสมาชิก n ที่ค่าเดียวกันของทั้งฟัชซีเซต A และ B ค่าระดับการเป็นสมาชิกของ A จะมีค่าน้อยกว่า B แสดงถึงการที่ A เป็นซับเซตของ B

2.6.1.4 ซับพอร์ตของฟัชซีเซต (Support: $S(A)$)

ซับพอร์ตของฟัชซีเซต คือ เซตของสมาชิก n ในเอกภพสัมพัทธ์ U ที่มีค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกเป็นสมาชิกของฟัชซีเซตมากกว่า 0 เขียนแทนสัญลักษณ์ ดังนี้

$$S(A) = \{n \in U | \mu_A(n) > 0\} \quad (2.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

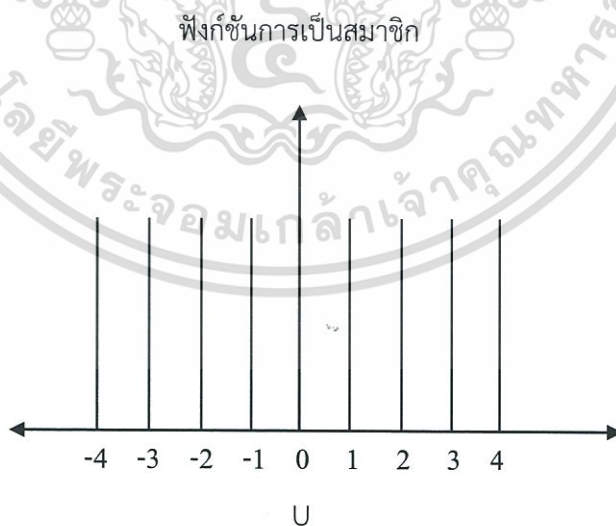


รูปที่ 2.17 ซับพอร์ตของฟuzzyเซต

จากรูปที่ 2.17 ฟuzzyเซต A มีคุณสมบัติเป็นซับพอร์ตของฟuzzyเซต เมื่อค่าสมาชิก x มีค่ามากกว่า -3 แต่น้อยกว่า 3 จะมีระดับความเป็นสมาชิกมากกว่า 0 แต่ถ้าตำแหน่งที่สมาชิก x มีระดับการเป็นสมาชิกเท่ากับ 0 จะไม่เป็นซับพอร์ตเซต

2.6.1.5 ฟuzzyซิงเกิลตัน (Fuzzy Singleton)

ฟuzzyซิงเกิลตัน คือ ฟuzzyเซตที่มีซับพอร์ตของเซตมีสมาชิกเพียงตัวเดียว และมีค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกเท่ากับ 1



รูปที่ 2.18 ฟuzzyซิงเกิลตัน

จากรูปที่ 2.18 จะพบว่าสมาชิกของแต่ละเซตจะมีค่าเดียว มีระดับการเป็นสมาชิกเท่ากับ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1.6 เซต α – Level ของฟuzzyเซต (A_α)

คือ เซตของสมาชิก u ในเอกภพสัมพัทธ์ U ที่มีค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของฟuzzyเซต A มากกว่าหรือเท่ากับ α เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ ดังนี้

$$A_\alpha = \{u \in U | \mu_A(u) > \alpha\} \quad (2.19)$$



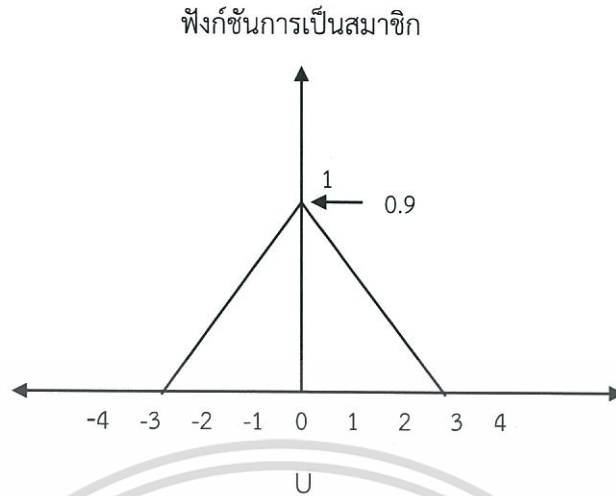
รูปที่ 2.19 เซต α – Level ของฟuzzyเซต

รูปที่ 2.19 เซต α -Level ของฟuzzyเซต A จะมีสมาชิกอยู่ในช่วงมากกว่า -2.3 แต่น้อยกว่า 2.3 ซึ่งเป็นช่วงที่มีระดับการเป็นสมาชิกมากกว่าระดับ α

2.6.1.7 ความสูงของฟuzzyเซต (Height of Fuzzy Set)

ความสูงของฟuzzyเซต A คือ ค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกสูงสุดของฟuzzyเซต A หรือเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $hgt(A)$

$$hgt(A) = \text{MAX } \mu_A(u) \text{ เมื่อ } u \in U \quad (2.20)$$

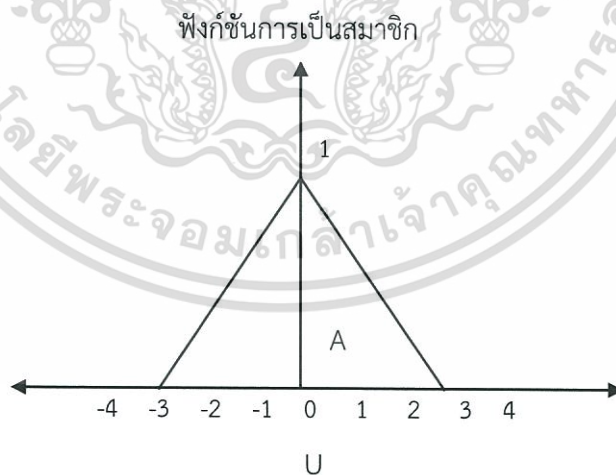


รูปที่ 2.20 ความสูงของฟuzzyเซต

จากรูปที่ 2.20 จะพบว่าฟังก์ชัน การเป็นสมาชิกของฟuzzyเซต A มีค่าเท่ากับ 0.9 ซึ่งแสดงว่า ความสูงของฟuzzyเซต A มีค่าเท่ากับ 0.9

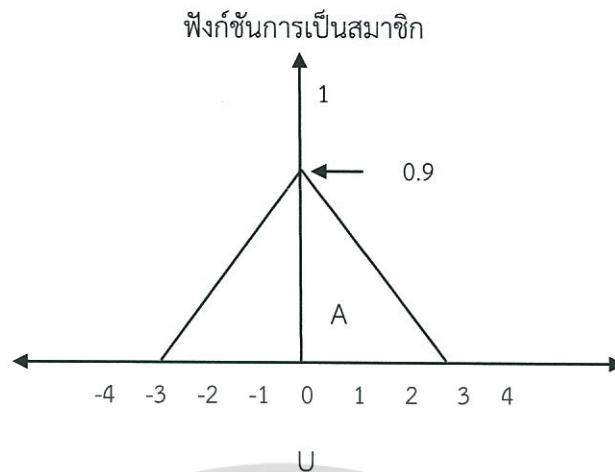
2.6.1.8 คุณสมบัติของนอมอลไลซ์ฟuzzyเซต (Normalization)

ฟuzzyเซต A จะมีคุณสมบัติการนอมอลไลซ์ก็ต่อเมื่อ ฟuzzyเซต A มีความสมบูรณ์ เท่ากับ 1



รูปที่ 2.21 คุณสมบัติของนอมอลไลซ์ฟuzzyเซต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 ฟัชซีเซตไม่มีคุณสมบัติของนอมอลไลซ์

จากรูปที่ 2.21 แสดงถึงคุณสมบัตินอมอลไลซ์ฟัชซีเซต เนื่องมาจากสมาชิกที่มีระดับของการเป็นสมาชิกเท่ากับ 1 ส่วนรูป 2.22 จะไม่มีคุณสมบัติการนอมอลไลซ์ เนื่องจากสมาชิกไม่มีระดับการเป็นสมาชิกเท่ากับ 1

2.6.1.9 คุณสมบัติการคอนเวกซ์ของฟัชซีเซต (Convexity)

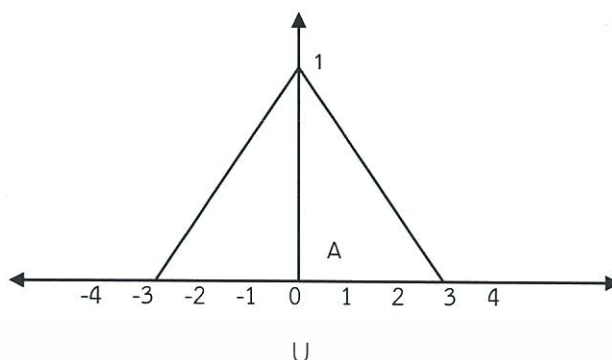
ฟัชซีเซต A จะมีคุณสมบัติการคอนเวกซ์ก็ต่อเมื่อฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของ A สอดคล้องตามเงื่อนไขดังต่อไปนี้

$$A \text{ เป็น convexity} \leftrightarrow \mu_A(\lambda u_1 + (1 - \lambda)u_2) \geq \min\{\mu_A(u_1), \mu_A(u_2)\} \text{ เมื่อ } u_1, u_2 \in U, \lambda \in [0,1]$$

2.6.1.10 ฟัชซีนัมเบอร์ (Fuzzy Number)

คือ ฟัชซีเซตที่มีคุณสมบัติการนอมอลไลซ์และการคอนเวกซ์ จากรูปที่ 2.23 จะพบว่าฟัชซี-นัมเบอร์จะเกิดขึ้นได้จะต้องมีคุณสมบัติการนอมอลไลซ์ ก็คือ ค่าสูงสุดของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกจะต้องมีค่าเท่ากับ 1 และจะต้องมีคุณสมบัติการคอนเวกซ์ คือ จะต้องมีความสูงที่สุดของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกค่าเดียว ซึ่งเมื่อนำทั้งสองคุณสมบัติมารวมกัน จะได้คุณสมบัติของฟัชซีนัมเบอร์ คือ จะต้องมีความสูงที่สุดของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกเท่ากับ 1 และจะต้องมีค่าเดียวในเซตนั้นๆ

ฟังก์ชันการเป็นสมาชิก



รูปที่ 2.23 ฟัชชันิมเบอร์

2.6.1.11 คาร์ดินาลิตี้ของฟัชซีเซต (Cardinality)

สเกลาร์คาร์ดินาลิตี้ (Sealar Cardinality) ของฟัชซีเซต A บนเอกภพสัมพัทธ์ U คือผลบวกของค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของ n ทุกตัวในฟัชซีเซต A เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ดังนี้

$$|A| = \sum \mu_A(n) \quad \text{เมื่อ } n \in U \quad (2.21)$$

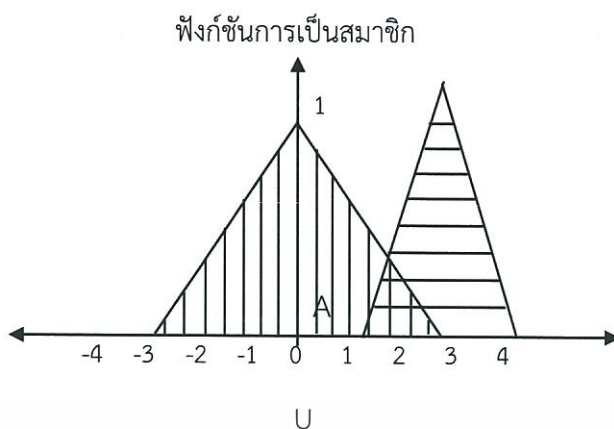
คาร์ดินาลิตี้สัมพันธ์ (Relation Cardinality) ของฟัชซีเซต A บนเอกภพสัมพัทธ์ U คืออัตราส่วนระหว่างค่าสเกลาร์คาร์ดินาลิตี้ของฟัชซีเซต A เท่ากับ ค่าสเกลาร์คาร์ดินาลิตี้ ของเอกภพสัมพัทธ์ U เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $\|A\| = |A| / |U|$

2.6.1.12 ปฏิบัติการพื้นฐานของฟัชซีเซต (Fuzzy Set Operation)

กำหนดฟัชซีเซต A, B ในเอกภพสัมพัทธ์ U แสดงการกระทำ ดังนี้

1. ยูเนียน (Union)

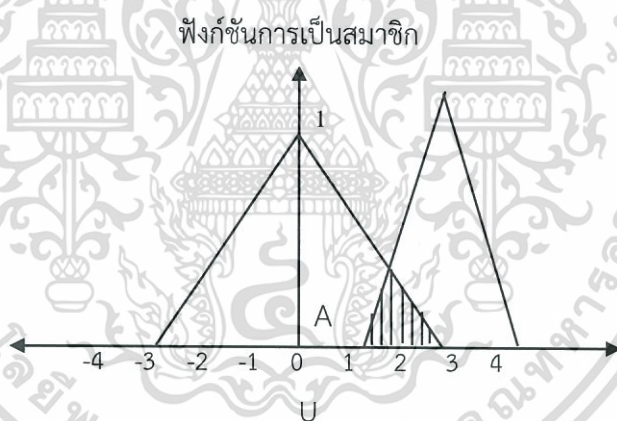
$$\mu_{A \cup B}(n) = \mu_A(n) \vee \mu_B(n) \quad (2.22)$$



รูปที่ 2.24 การยูเนียนของฟัซซีเซต

2. อินเตอร์เซกชัน (Intersection)

$$\mu_A \cap \mu_B(x) = \mu_A(x) \wedge \mu_B(x) \quad (2.23)$$



รูปที่ 2.25 การอินเตอร์เซกชัน

2.6.2 ตัวแปรลึงกวิสติก (Linguistic Variable)

ตัวแปรลึงกวิสติก คือ ตัวแปรทางภาษา โดยสาเหตุที่มีการเรียกว่าตัวแปรทางภาษานั้น เนื่องจาก การใช้ตัวแปรนี้มาทดแทนความรู้สึกของมนุษย์ ซึ่งเป็นสิ่งที่บอกขอบเขตที่แน่นอนไม่ได้ โดยสามารถนิยามตัวแปร ลึงกวิสติก “Truth” ดังสมการต่อไปนี้

$$T(\text{Truth}) = \{\text{not true, very true, not very true, not false, very false, not very false,}\}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- นิยาม เทอมปฐม (primary term) ของตัวแปรลึงกวิสติก “Truth” คือ “True” และ “False”

- นิยาม ส่วนขยาย (modifier or hedge) ของตัวแปรลึงกวิสติก คือ not, very, not very, ...

- นิยาม T คือ ตัวแปรลึงกวิสติก

จากนิยามทั้งหมดข้างต้นที่กล่าวมาสามารถที่จะยกตัวอย่าง ตัวแปรลึงกวิสติก หรือความรู้สึกของมนุษย์ที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวันเป็นสมการได้ดังนี้

ถ้ามองที่ผิวของคนๆหนึ่ง สมมติว่าชื่อสมชาย จะพบว่าแต่ละความรู้สึกของคนอื่นๆที่มองดูผิวของสมชายแล้วบอกถึงสีที่ไม่ตรงกัน แต่สามารถจะแบ่งได้กว้างๆ ว่าเป็นสีขาว และสีดำ ฉะนั้นจึงสามารถที่จะกำหนดให้

- เทอมปฐม (primary term) ของตัวแปรลึงกวิสติก “ผิว” คือ “ขาว” และ “ดำ”

และเมื่อมองความรู้สึกของคนเหล่านั้น สามารถที่จะแยกความรู้สึกย่อยออกไปได้ว่า ขาวมากๆ, ขาวมาก, ขาว, ดำ, ดำมาก, ดำมากๆ ซึ่งจากข้อความตรงนี้เองที่สามารถกำหนดส่วนขยายของตัวแปรลึงกวิสติกได้ คือ

- ส่วนขยาย (modifier or hedge) ของตัวแปรลึงกวิสติก คือ มากๆ, มาก, ไม่รู้สึกมากหรือน้อย ซึ่งสามารถที่จะนำมาเขียนเป็นตัวแปรลึงกวิสติกได้ดังนี้ $T(\text{ผิว}) = \{ \text{ขาวมากๆ, ขาวมาก, ขาว, ดำ, ดำมาก, ดำมากๆ} \}$ จากนิยามและตัวอย่างทั้งหมดจะสามารถนำไปใช้กำหนดฟัซซีเซตได้ โดยจะกำหนดได้ เป็นเซตของ ขาวมากๆ, ขาวมาก, ขาว, ดำ, ดำมาก, ดำมากๆ ซึ่งรูปร่างของเซตจะต้องใช้ความชำนาญหรือข้อมูลด้านสถิติมาใช้เป็นตัวกำหนดว่าช่วงของแต่ละเซต ว่าควรมีค่าระดับการเป็นสมาชิกเท่าใด ซึ่งจะทำให้เกิดรูปร่างของสถิตินั้นขึ้นมา

2.6.3 ทฤษฎีตรรกศาสตร์แบบเดิม

ทฤษฎีตรรกศาสตร์ ซึ่งเป็นหลักการพื้นฐาน ของการพิจารณาหาข้อมูลโดยใช้เหตุผลประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ค่าความจริง (Truth value) การปฏิบัติการ (Operation) และวิธีการหาข้อสรุปตามหลักเหตุผล (Reasoning Procedure) ในตรรกศาสตร์บูลีนได้นิยามส่วนประกอบแต่ละส่วนประกอบดังนี้

2.6.3.1 ค่าความจริงของประพจน์ในตรรกศาสตร์บูลีน

นิยามของประพจน์ คือ ข้อความที่บ่งบอกได้ว่าสิ่งที่สนใจนั้นเป็นความจริงหรือเท็จ โดยที่ประพจน์ในตรรกศาสตร์บูลีน จะมีค่าความจริงเท่ากับ 0 เมื่อประพจน์เป็นเท็จ และจะมีค่าความจริงเท่ากับ 1 เมื่อประพจน์เป็นจริง

2.6.3.2 ปฏิบัติการทางตรรกศาสตร์บูลีน

ปฏิบัติการทางตรรกศาสตร์บูลีน คือ การกระทำทางลอจิกของประพจน์ซึ่งผลของการกระทำแสดงออกมาในรูปของค่าความจริงของประพจน์โดยตัวกระทำพื้นฐานมีดังนี้

ตัวกระทำ	“และ”	ใช้สัญลักษณ์	\wedge
ตัวกระทำ	“หรือ”	ใช้สัญลักษณ์	\vee
ตัวกระทำ	“ถ้า...แล้ว”	ใช้สัญลักษณ์	\rightarrow
ตัวกระทำ	“...ก็ต่อเมื่อ...”	ใช้สัญลักษณ์	\leftrightarrow
ตัวกระทำ	“ตรงข้าม”	ใช้สัญลักษณ์	\neg

2.6.3.3 การหาข้อสรุปตามหลักการเหตุผล

การหาข้อสรุปตามหลักการเหตุผล โดยใช้หลักทฤษฎีตรรกศาสตร์แบบเดิม จะใช้สัจนิรันดร์ (Tautology) สำหรับเป็นพื้นฐานในการหาข้อสรุป โดยนิยามของสัจนิรันดร์ คือ ประพจน์ที่มีค่าความจริงเป็นจริงเสมอ ตัวอย่างสัจนิรันดร์ ที่ใช้เป็นพื้นฐานในการหาข้อสรุปตามหลักการและเหตุผล (forward data-driven) แสดงดังนี้

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

ซึ่งเงื่อนไขของ Modus ponens สามารถอธิบายได้ดังนี้

Modus ponens เป็นพื้นฐานของการหาข้อสรุป โดยการแจกแจงจากเหตุ สู่ผลของตรรกศาสตร์แบบเดิม โดยการแจกแจงจากเหตุสู่ผล กำหนดให้

A แทน หลักฐาน(Premise) ที่ทำได้

B แทน ข้อสรุป(Conclusion) ที่ได้

สามารถเขียนการแจกแจงจากเหตุสู่ผลได้ คือ

IF A THEN B หรือ $A \rightarrow B$ หรือ A หลักฐาน(Premise)

$A \rightarrow B$ การแจกแจงจากเหตุสู่ผล (Implication)

B ข้อสรุป(Conclusion)

หมายความว่า ถ้ามีเหตุการณ์หนึ่งเกิดขึ้นเป็นเหตุการณ์ A ที่เหมือนกันกับเหตุการณ์ B ที่อยู่ใน $(A \rightarrow B)$ แล้ว ผลของการเกิดเหตุการณ์นี้จะได้ผลเท่ากับ B แต่ถ้าเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นไม่เหมือนกับเหตุการณ์ A ที่อยู่ใน $(A \rightarrow B)$ แล้วผลลัพธ์ที่จะได้ไม่เท่ากับ B ซึ่งเป็นตัวอย่างที่แสดงให้เห็นถึงการหาข้อสรุปจากสาเหตุที่เกิดไปสู่ผลที่จะได้

2.6.4 ทฤษฎีตรรกะฟัซซี

ตรรกะฟัซซี เป็นทฤษฎีทางตรรกศาสตร์ ที่ขยายมาจากทฤษฎีตรรกศาสตร์หลายค่า (Multivalued Logic) โดยนิยามความเป็นจริงของประพจน์เป็นตัวแปรลิงกวิสติก ได้มีการนิยาม ส่วนของการปฏิบัติการทางตรรกศาสตร์สำหรับตรรกะฟัซซีไว้ต่างกัน ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะ อ้างอิงนิยามดั้งเดิมของ Zadach [2]

2.6.4.1 ค่าความเป็นจริงของประพจน์ในทฤษฎีตรรกะฟัซซี

กำหนดให้ $v(A)$ เป็นฟัซซีเซตในเอกภพสัมพัทธ์ V

โดย v_i จะแทนค่าความจริงในประพจน์ A

ซึ่ง V จะแทนเอกภพสัมพัทธ์ $V = [0,1]$

ในที่นี้หมายความว่าประพจน์ A จะมีค่าความจริง อยู่ในช่วงของเอกภพสัมพัทธ์คือ 0 ถึง 1 ซึ่งต่างจากประพจน์ของเซตเดิมที่มีค่า 2 ค่า คือ 0 และ 1

จะได้ว่า

$$v(A) = \{(v_i, \mu_i) | i = 1, 2, \dots, n; v_i \in [0,1]\}$$

$$v(\text{not}A) = 1 - v(A) = \{(1 - v_i, \mu_i) | i = 1, 2, \dots, n; v_i \in [0,1]\}$$

2.6.4.2 การหาข้อสรุปตามหลักการเหตุผลโดยใช้ทฤษฎีตรรกะฟัซซี

การหาข้อสรุปตามหลักการเหตุผล โดยใช้ทฤษฎีตรรกะฟัซซี จะเป็นการขยายนิยามของสัจนิรันดร์ ที่ใช้ในตรรกศาสตร์แบบเดิม เพื่อใช้หาข้อสรุปตามหลักการและเหตุผลของประพจน์ที่เป็นฟัซซีเซตโดยการนำการขยายนิยามของ Modus Ponens สำหรับฟัซซีลอจิกเรียกว่า “Generalized Modus Ponens” โดย GMP คือ การหาข้อสรุปจากเหตุไปหาผล (Forward data-driven) ซึ่งการหาข้อสรุปของฟัซซี โดยนำหลักการของตรรกศาสตร์แบบเดิมมาใช้ นั้น จะมีหลักการคล้ายกัน คือ กำหนดให้

$A1$ แทนหลักฐานแบบฟัซซี (Fuzzy Premise)

$A2 \rightarrow B$ แทน การแจกแจงเหตุสู่ผล แบบ ฟัซซี (Fuzzy Implication)

$A1 \circ (A2 \rightarrow B)$ แทนข้อสรุปแบบฟัซซี (Fuzzy Conclusion)

ซึ่งจากข้อกำหนดข้างต้น มีความหมายว่าเหตุการณ์ $A1$ ที่เกิดขึ้นซึ่งเป็นหลักฐานแบบฟัซซี ไม่จำเป็นต้องเหมือนกับเหตุการณ์ $A2$ ใน $(A2 \rightarrow B)$ ทุกประการ ฉะนั้นข้อสรุปแบบฟัซซี

จึงต้องทำการคอม-โพสิชัน (composition (o)) ระหว่าง A_1 และ $(A_2 \rightarrow B)$ จึงจะได้ข้อสรุปแบบฟัซซีออกมา

2.6.5 ความสัมพันธ์ฟัซซี (Fuzzy Relation)

1. ผลคูณคาร์ทีเซียน (Cartesian Product)

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

โดยที่ $u_1, \dots, u_n \in U_1, \dots, U_n$ ผลคูณคาร์ทีเซียนของ A_1, \dots, A_n คือ ฟัซซีเซตในเอกภพสัมพัทธ์ $U_1 \times \dots \times U_n$ มีฟังก์ชันการเป็นสมาชิกดังนี้

$$\mu_{A_1 \times \dots \times A_n}(u_1, \dots, u_n) = \text{MIN} \{ \mu_{A_1}(u_1), \dots, \mu_{A_n}(u_n) \}$$

ตัวอย่าง ถ้า $A_1 = \{ (1,0.2), (2,0.5), (3,1.0), (4,0.6) \}$

$A_2 = \{ (4,0.1), (5,0.4), (6,1.9), (7,0.3) \}$

ผลคูณคาร์ทีเซียน ของ $A_1 \times A_2$ หาได้จาก

$$\text{โดย } \mu_{A_1 \times \dots \times A_n}(u_1, \dots, u_n) = \text{MIN} \{ \mu_{A_1}(u_1), \dots, \mu_{A_n}(u_n) \}$$

โดย u_1, u_2 แทนสมาชิกของเซต A_1 และ A_2 ตามลำดับ

ซึ่งจากรูปที่ 2.26 แสดงการหาความสัมพันธ์ของ $A_1 \times A_2$ ซึ่งในการหาค่าความสัมพันธ์ดังในรูปจะใช้วิธีคำนวณโดยใช้ผลคูณคาร์ทีเซียน ซึ่งจะจับคู่ของระดับความเป็นสมาชิกทุกคู่ โดยในแต่ละคู่จะเลือกใช้เฉพาะค่าที่มีค่าน้อยเป็นคำตอบ

$$A_1 \times A_2 = A_3$$

$A_2 \backslash A_1$	4	5	6	7
1	0.1	0.2	0.2	0.2
2	0.1	0.4	0.5	0.3
3	0.1	0.4	0.9	0.3
4	0.1	0.4	0.6	0.3

รูปที่ 2.26 ความสัมพันธ์ฟัซซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ความสัมพันธ์ฟัซซี

กำหนดให้ R เป็นความสัมพันธ์ฟัซซีเซต A ไปยังฟัซซีเซต B
 โดยที่ A เป็นฟัซซีเซตในเอกภพสัมพัทธ์ U
 และ B เป็นฟัซซีเซตในเอกภพสัมพัทธ์ V

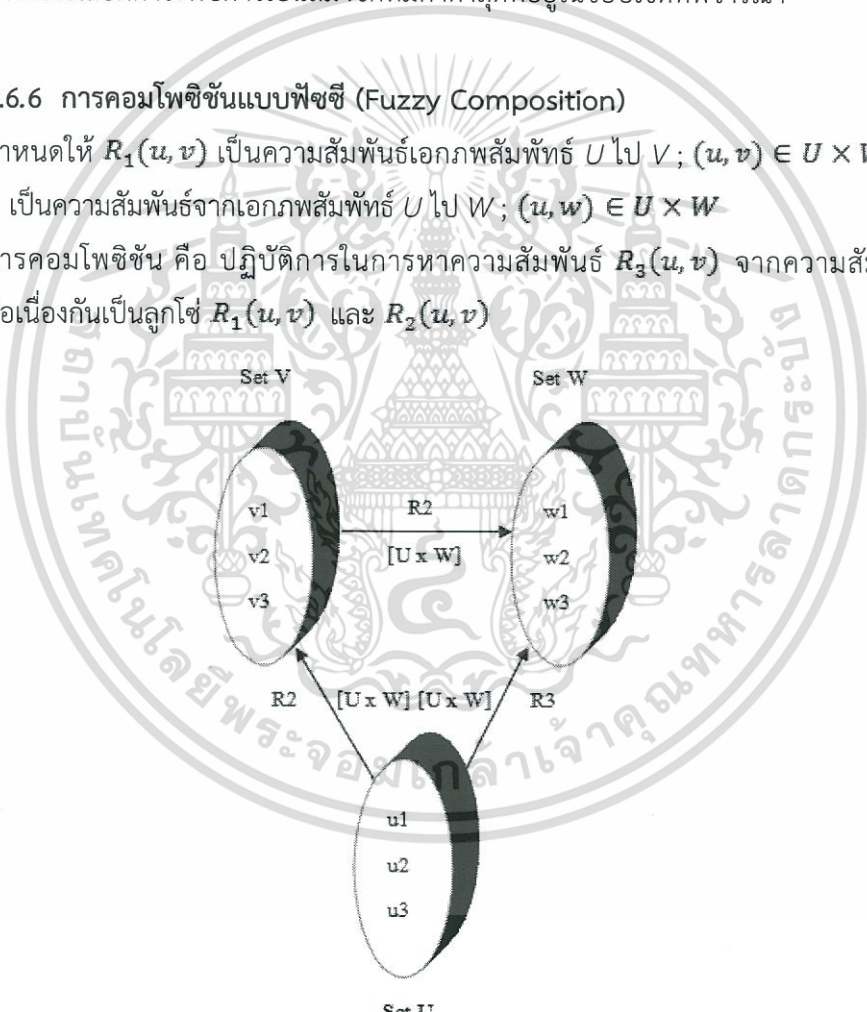
$$\text{จะได้ว่า } R(u \times v) = A \times B = \{((u, v), \mu_R(u, v)) | (u, v) \in U \times V\}$$

$$\mu_R(u \times v) = \mu_A \times B(u \times v) = \text{MIN}\{\mu_A(u), \mu_B(v)\} \text{ MIN - intersection}$$

โดยที่ MIN-intersection คือปฏิบัติการอินเตอร์เซกชันของฟัซซี โดยจะมีหลักการปฏิบัติการคือ จะกระทำการเลือกค่าระดับการเป็นสมาชิกที่มีค่าต่ำสุดที่อยู่ในขอบเขตที่พิจารณา

2.6.6 การคอมโพสิชันแบบฟัซซี (Fuzzy Composition)

กำหนดให้ $R_1(u, v)$ เป็นความสัมพันธ์เอกภพสัมพัทธ์ U ไป V ; $(u, v) \in U \times V$ และ $R_2(u, v)$ เป็นความสัมพันธ์จากเอกภพสัมพัทธ์ U ไป W ; $(u, w) \in U \times W$
 การคอมโพสิชัน คือ ปฏิบัติการในการหาความสัมพันธ์ $R_3(u, v)$ จากความสัมพันธ์ที่ถ่ายทอดต่อเนื่องกันเป็นลูกโซ่ $R_1(u, v)$ และ $R_2(u, v)$



รูปที่ 2.27 การคอมโพสิชันของความสัมพันธ์ฟัซซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ $R_1(u, v)$ เป็นความสัมพันธ์จากเอกภพสัมพัทธ์ U ไป V โดยที่ $(u, v) \in U \times V$ และ $R_2(u, v)$ เป็นความสัมพันธ์จากเอกภพสัมพัทธ์ U ไป W โดยที่ $(u, w) \in U \times W$ สำหรับการคอมโพสิชันแต่ละแบบถูกนิยามดังนี้

MAX-MIN Composition

$$R_3 = R_1 \circ R_2 = \{((u, w), \text{MAX}\{\text{MIN}[\mu_{R_1}(u, v), \mu_{R_2}(v, w)]\}) | u \in U, v \in V, w \in W, v \in V\}$$

MAX-Product Composition

$$R_3 = R_1 * R_2 = \{((u, w), \text{MAX}\{\mu_{R_1}(u, v), \mu_{R_2}(v, w)\}) | u \in U, v \in V, w \in W\}$$

MAX-Average Composition

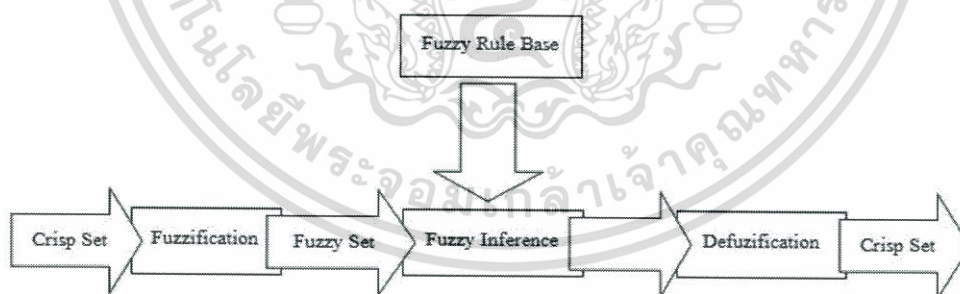
$$R_3 = R_1 \text{av} R_2 = \{((u, w), \text{MAX}\{\mu_{R_1}(u, v) + \mu_{R_2}(v, w) / 2\}) | u \in U, v \in V, w \in W\}$$

MIN-MAX Composition

$$R_3 = R_1 \cdot R_2 = \{((u, w), \text{MIN}\{\text{MAX}[\mu_{R_1}(u, v), \mu_{R_2}(v, w)]\}) | u \in U, v \in V, w \in W\}$$

2.6.7 ตัวควบคุมฟuzzy

โครงสร้างตัวควบคุมฟuzzy ประกอบด้วย 4 ส่วน คือ ส่วนกฎการควบคุม (Fuzzy Rule Base) ส่วนฟuzzyฟิเคชัน (Fuzzification unit) ส่วนอินเฟอเรนซ์ (Inference unit) และส่วนดีฟuzzyฟิเคชัน (Defuzification unit) ดังแสดงในรูปที่ 2.28 โดยแต่ละส่วนจะมีหลักการทำงานดังนี้



รูปที่ 2.28 โครงสร้างพื้นฐานของตัวควบคุมฟuzzy

2.6.7.1 กฎการควบคุมฟuzzy (Fuzzy Rule Base)

กฎการควบคุมฟuzzy เป็นหน่วยที่รวบรวมกฎการควบคุมแบบฟuzzy เซตอยู่ในรูปแบบ *IF... THEN* กำหนดให้กฎการควบคุมอยู่ในรูปแบบดังต่อไปนี้

$$\text{IF } x_t \text{ is } x_t^k \text{ and } \dots \text{ and } x_m \text{ is } x_m^k \text{ THEN } y \text{ is } Y^k$$

หรือ

$$\text{IF } x_t \text{ is } x_t^k \text{ THEN } y \text{ is } Y^k; k = 1, 2, 3, \dots, m$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ x คือ ตัวแปรสถานะของกระบวนการ ซึ่งใช้เป็นอินพุทของตัวควบคุมฟัซซี

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

x^k คือ ฟัซซีเซตของตัวแปรอินพุท ในส่วนเหตุของกฎการควบคุม

$$x^k = x_1^k \times \dots \times x_m^k$$

m คือ จำนวนตัวแปรอินพุทของตัวควบคุม

y คือ จำนวนตัวแปรเอาต์พุทของตัวควบคุมฟัซซี

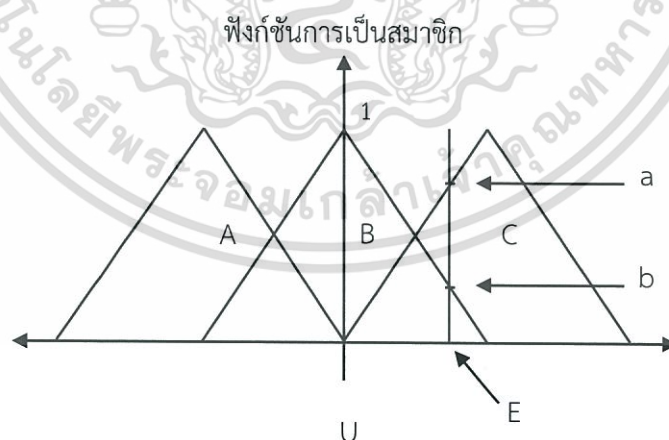
Y^k คือ ฟัซซีเซตของตัวแปรเอาต์พุทในส่วนผลของกฎการควบคุมที่ k

M คือ จำนวนกฎการควบคุมทั้งหมดในฐานกฎการควบคุม

ซึ่งจากคำจำกัดความในรูปสมการข้างต้น สามารถอธิบายได้ว่ากฎการควบคุมจะถูกกำหนดตามเงื่อนไข ถ้า...แล้ว

2.6.7.2 การฟัซซีฟิเคชัน (Fuzzification)

การฟัซซีฟิเคชัน คือ กระบวนการหาค่าฟัซซีเซตบนเอกภพสัมพัทธ์ U ของอินพุท เพื่อเป็นตัวแทนของอินพุท ซึ่งมีค่าเป็นตัวเลขสำหรับเป็นอินพุทของระบบฟัซซี หรืออีกนัยหนึ่ง คือ การแปลงค่าตัวแปรของกระบวนการให้เป็นตัวแปรฟัซซี โดยค่าของฟัซซี จะเป็นตัวเลขที่ได้จากฟัซซีเซตบนเอกภพสัมพัทธ์ U การหาฟัซซีฟิเคชันจะสามารถกระทำได้หลายวิธี เช่น การฟัซซีฟิเคชันโดยใช้ฟัซซีซิงเกิลตัน การฟัซซีฟิเคชันโดยวิธีฟัซซีนัมเบอร์ และการฟัซซีฟิเคชันโดยใช้ไฮบริดนัมเบอร์ เป็นต้น



รูปที่ 2.29 การฟัซซีฟิเคชันแบบซิงเกิลตัน

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

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

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

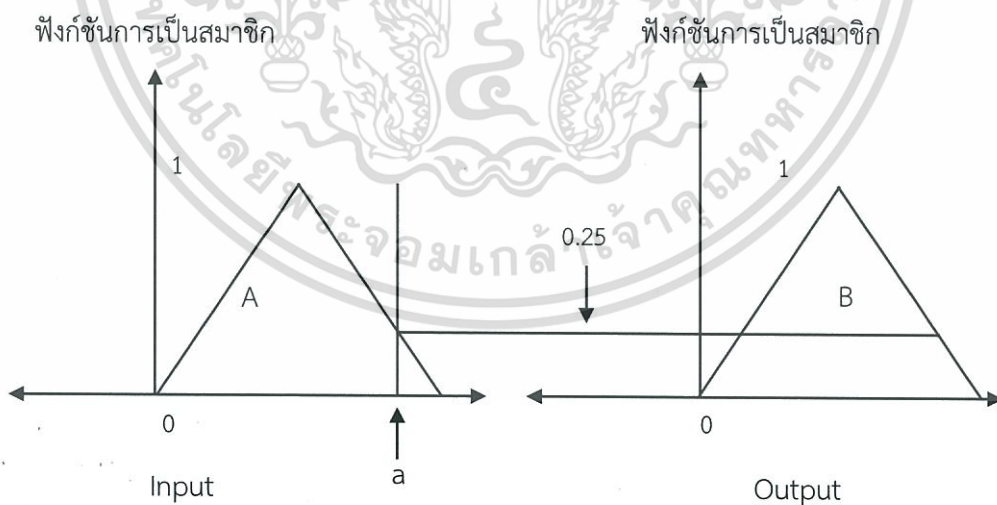
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.29 สามารถแสดงให้เห็นว่า การหาฟัซซีฟิเคชัน ด้วยวิธีการฟัซซีซิงเกิลตัน นั้นจะใช้หลักการอินเตอร์เซกชัน ระหว่างกลุ่มเซตทางอินพุท ที่ถูกกำหนดขึ้นกับเซตแบบซิงเกิลตัน ซึ่งจากรูปจะเห็น ได้ว่าการกำหนดให้กลุ่มเซตทางอินพุทประกอบด้วยเซต A B และ C ซึ่งเป็น ฟัซซีเซตแบบฟัซซีเซตนมเบอร์ เซตที่จะถูกนำมาอินเตอร์เซกชันคือ เซต E ที่เป็นเซตแบบซิงเกิลตัน ซึ่งจะเกิดขึ้นในตำแหน่งที่มีอินพุท เข้ามา ซึ่งเมื่อทำการอินเตอร์เซกชัน หรือการซ้อนทับกันจะทำให้ เกิดจุดซ้อนทับกัน 2 จุด คือจุด a ซึ่งเป็นจุดที่เซต E ซ้อนทับกับเซต C และจุด b ซึ่งเป็นจุดที่เซต E ซ้อนทับกับเซต B ทั้งจุด a และ b จะเป็นค่าระดับการเป็นสมาชิกที่จะนำมาใช้เป็นตัวแทนทางอินพุท

2.6.7.3 การอินเฟอเรนซ์แบบฟัซซี (Fuzzy Inference)

การอินเฟอเรนซ์ คือ กระบวนการในการหาข้อสรุป (Conclusion) จากหลักฐาน (Premise) ซึ่งในกระบวนการอินเฟอเรนซ์ หลักฐานที่จะนำมาใช้จะได้มาจากส่วนของกฎการควบคุม ที่ถูกกำหนดขึ้นมาจากความชำนาญ

จากรูปที่ 2.30 ถ้าส่วนกำหนดการควบคุม กำหนดไว้ว่าถ้ามีอินพุทเข้ามาที่เซต A ค่าเอาต์พุทที่ได้จะต้องเป็นเซต B ซึ่งจากหลักฐานนี้เองทำให้หน่วยอินเฟอเรนซ์สามารถที่จะหา ข้อสรุปออกมาได้โดยให้อินพุท a อยู่ในช่วงสมาชิกของเซต A จึงสามารถที่จะระบุได้เลยว่า ข้อมูลที่ได้ จะต้องเป็นสมาชิกของเซต B ซึ่งในรูปจะเห็นได้ว่า สมาชิกแต่ละตัวมีระดับการเป็นสมาชิกไม่เท่ากัน จึงทำให้ข้อสรุปจะต้องขึ้นอยู่กับระดับการเป็นสมาชิกของเซตด้วย



รูปที่ 2.30 การอินเฟอเรนซ์แบบฟัซซี

2.6.7.4 การดีฟัซซีฟิเคชัน (Defuzzification)

การดีฟัซซีฟิเคชัน คือ กระบวนการหาค่าเอาต์พุทเพียงค่าเดียว (ซิงเกิลตัน) ที่เหมาะสมที่สุด เพื่อเป็นตัวแทนของฟัซซีเอาต์พุท โดยที่ค่าที่ได้จะกระจายอยู่บนเอกภพสัมพัทธ์ของ

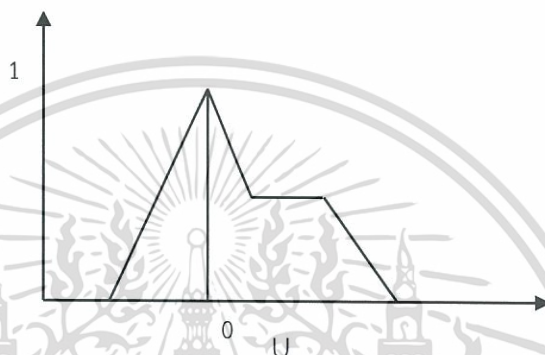
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอาต์พุตนั้น หรือการแปลงค่าตัวแปรทางฟัซซีให้เป็นตัวแปรของกระบวนการ ที่จะนำไปควบคุมกระบวนการ โดยการดีฟัซซีฟิเคชันจะสามารถกระทำได้หลายวิธีดังต่อไปนี้

การหาค่าระดับการเป็นสมาชิกสูงสุด (Max- membership principle)

ซึ่งรู้จักในชื่อของ Heit method ซึ่งวิธีนี้จะใช้วิธีหาค่าโดยเลือกค่าเอาต์พุตที่มีค่าระดับการเป็นสมาชิกสูงสุดเพียงค่าเดียว

ฟังก์ชันการเป็นสมาชิก



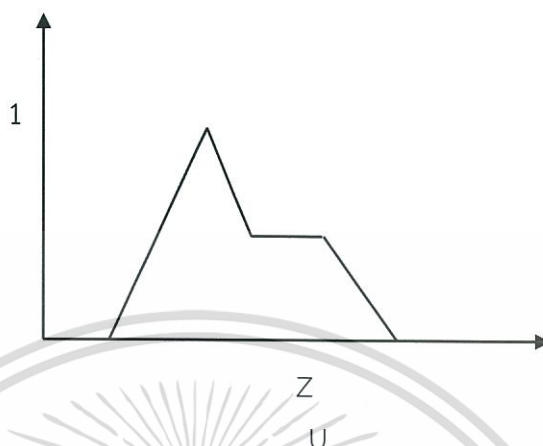
รูปที่ 2.31 การดีฟัซซีฟิเคชันโดยใช้วิธีการหาค่าระดับการเป็นสมาชิกสูงสุด

รูปที่ 2.31 จะแสดงถึงเซตเอาต์พุตที่ได้มาจากหน่วยอินเฟอเรนซ์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าเอาต์พุตมีระดับการเป็นสมาชิกสูงสุด คือค่า u ซึ่งก็คือ ค่าที่เป็นตัวแทนของเอาต์พุตนั่นเอง

การหาจุดศูนย์กลางของฟัซซี (centroid method)

รูปที่ 2.32 จะแสดงให้เห็นว่า ค่าเอาต์พุตของการดีฟัซซีฟิเคชันด้วยวิธีการหาจุดศูนย์กลางของฟัซซีจะเป็นการหาจุดศูนย์กลางของพื้นที่ซึ่งได้มาจากการอินเฟอเรนซ์ โดยคำตอบของการดีฟัซซีฟิเคชัน ที่ได้ คือ Z ซึ่งถ้ากำหนดให้ C เป็นเอาต์พุต Z ได้จาก สมการต่อไปนี้

ฟังก์ชันการเป็นสมาชิก



รูปที่ 2.32 แสดงการดีฟัซซิฟิเคชันด้วยวิธีการหาจุดศูนย์กลางของฟัซซี

$$Z = \frac{\int \mu_C(u) \cdot u \, du}{\int \mu_C(u) \, du} \quad (2.24)$$

กำหนดให้ C คือ เซตเอาต์พุต
 μ คือ สมาชิกของเอกภพสัมพัทธ์ทางเอาต์พุต
 Z คือ ค่าที่ได้จากการดีฟัซซิฟิเคชัน

การหาค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก (Weighted average method)

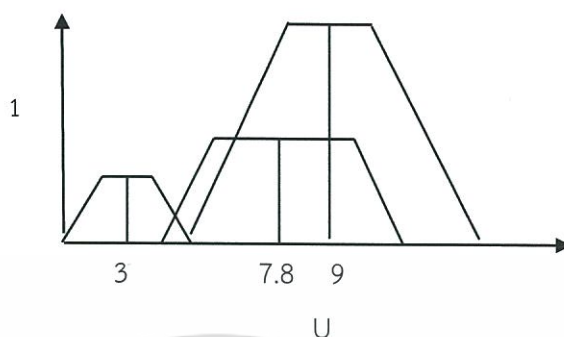
จะเป็นวิธีการหาค่าเอาต์พุตที่เหมาะสม ซึ่งหาได้จากสมการ

$$v_0 = \frac{\sum \mu_B(v) \cdot v}{\sum \mu_B(v)} \quad (2.25)$$

กำหนดให้ B คือ เซตเอาต์พุต
 v คือ สมาชิกของเอกภพสัมพัทธ์ทางเอาต์พุต
 v_0 คือ ค่าที่ได้จากการดีฟัซซิฟิเคชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชันการเป็นสมาชิก



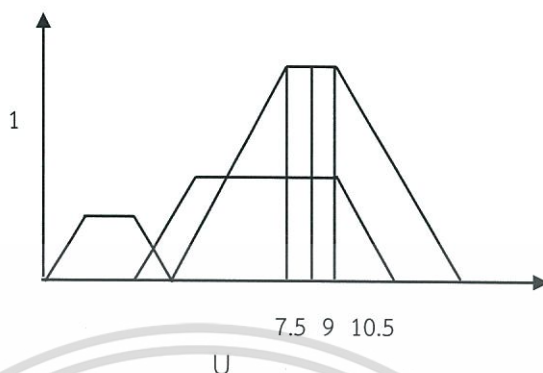
รูปที่ 2.33 แสดงการดีฟัซซิฟิเคชันด้วยวิธีการหาค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก

ในการใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก มาทำการการดีฟัซซิฟิเคชันโดยจากรูปที่ 2.33 จะพบว่าก่อนที่จะทำการหาค่าเฉลี่ยของค่าถ่วงน้ำหนัก จะต้องทำการแยกกลุ่มเซตเอาท์พุทที่จะนำมา ดีฟัซซิฟิเคชัน ว่าประกอบด้วยเซตใดบ้าง ขั้นตอนต่อไปคือ การหาค่ากลางของสมาชิกแต่ละเซต ซึ่งจากรูป คือ ตำแหน่งที่ลากจากเส้นลงมาในแต่ละเซต แล้วนำค่ากลางในแต่ละเซตที่ได้ คูณกับค่าระดับการเป็นสมาชิกของค่ากลาง หรือค่าสมาชิกที่เกิดค่ากลางนั้นๆ แล้วจึงนำค่าที่ได้ของแต่ละเซต มาบวกเข้าด้วยกัน แล้วจึงนำผลบวกที่ได้ มาหารด้วยผลรวมของระดับการเป็นสมาชิกที่ตำแหน่งค่ากลางของทุกเซต ซึ่งค่าที่ได้จึงเป็นคำตอบของการดีฟัซซิฟิเคชันด้วยวิธีนี้ ซึ่งจากในรูปค่ากลางของแต่ละเซต คือ 3, 7.8 และ 9

การหาค่ากลางสูงสุด (Mean-max membership)

การหาค่ากลางสูงสุด เป็นการหาค่ากลางสูงสุด ของระดับการเป็นสมาชิกที่ตำแหน่งสูงสุด การหาดีฟัซซิฟิเคชันด้วยวิธีนี้ จะเป็นการแก้ปัญหาที่เกิดจากการที่เซตที่จะนำมาทำการดีฟัซซิฟิมีค่าระดับการเป็นสมาชิกสูงสุดอยู่หลายค่า ซึ่งการหาดีฟัซซิฟิเคชัน ด้วยวิธีการของการหาค่าสูงสุด ไม่สามารถกระทำได้ ซึ่งจากรูปที่ 2.34 จะพบว่าเซตที่มีค่าระดับการเป็นสมาชิกสูงสุด อยู่หลายค่าจึงต้องใช้วิธีการหาค่ากลางอยู่หลายค่า โดยใช้วิธีการหาค่ากลางสูงสุดมาทำการดีฟัซซิ ซึ่งในการหาค่ากลางจะหาค่าเฉพาะช่วงที่มีค่าเฉพาะช่วงที่มีค่าสูงสุด

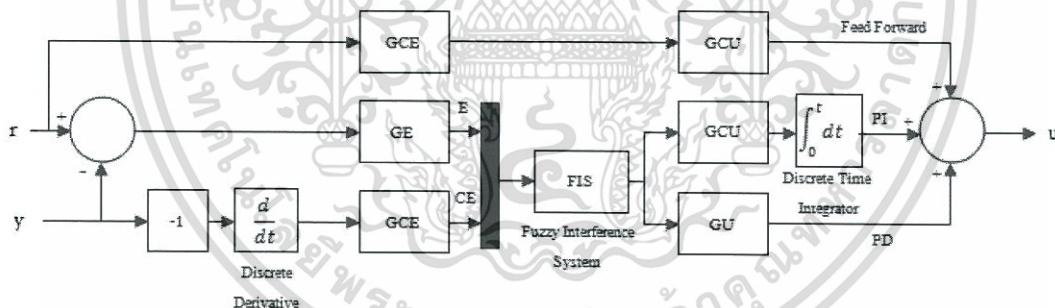
ฟังก์ชันการเป็นสมาชิก



รูปที่ 2.34 การตีฟuzzyฟิเคชันโดยการหาค่ากลางสูงสุด

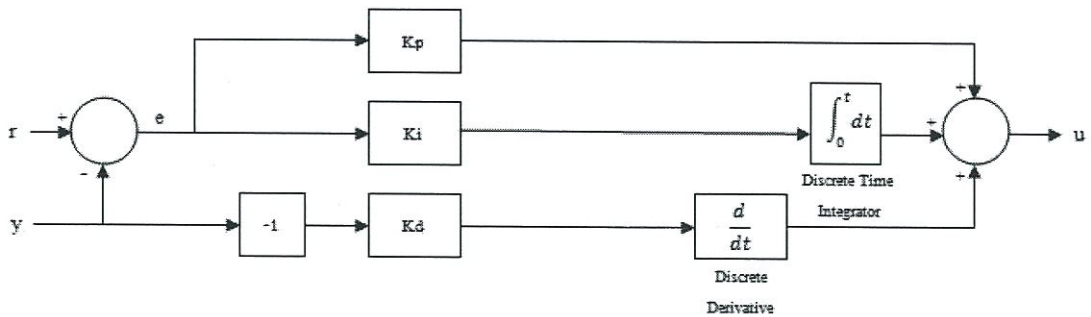
2.7 ทฤษฎีฟuzzy-พีไอดี

ตัวควบคุมแบบฟuzzy-พีไอดี ประกอบด้วยตัวควบคุมแบบพีไอดี โดยมีการนำตัวควบคุมแบบฟuzzyแทรกอยู่ภายใน ซึ่งเป็นการนำข้อดีของตัวควบคุมแบบฟuzzy และตัวควบคุมแบบพีไอดีมารวมกันโครงสร้างของตัวควบคุมแบบฟuzzy-พีไอดี แสดงได้ดังนี้



รูปที่ 2.35 โครงสร้างของตัวควบคุมแบบฟuzzy-พีไอดี

การออกแบบตัวควบคุมแบบฟuzzy-พีไอดี เริ่มจากการออกแบบตัวควบคุมพีไอดี ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้น เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ K_p , K_i และ K_d ที่เหมาะสมกับกระบวนการที่ต้องการควบคุม โครงสร้างของตัวควบคุมแบบพีไอดี แสดงได้ดังนี้



รูปที่ 2.36 โครงสร้างของตัวควบคุมแบบพีไอดี

จากนั้นจึงนำค่าพารามิเตอร์ K_p , K_i และ K_d มาทำการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ G_E , G_U , G_{CE} และ G_{CU} ที่สอดคล้องกับค่าพารามิเตอร์พีไอดีในการควบคุมกระบวนการ เพื่อเป็นค่าอัตราขยายของตัวควบคุมแบบพีซี-พีไอดี ได้จากสมการความสัมพันธ์ ดังนี้

$$K_p = G_{CU} * G_{CE} + G_U * G_E$$

$$K_i = G_{CU} * G_E$$

$$K_d = G_U * G_{CE}$$

สำหรับการควบคุมกระบวนการโดยใช้ตัวควบคุมแบบพีซี-พีไอดี จะใช้ความสัมพันธ์ระหว่างฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุท และฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเอาต์พุท เพื่อนำมาออกแบบกฎที่ใช้ในการควบคุมของพีซีจากการสังเกตการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการ โดยจะมีสัญญาณอินพุท 2 ค่า ประกอบด้วย ค่า Error (E) และ Change of Error (CE) เมื่อได้ออกแบบกฎการควบคุมแล้ว จากนั้นทำการทดลองและปรับเปลี่ยนกฎการควบคุมให้เหมาะสมกับกระบวนการ

ตัวควบคุมกระบวนการแบบพีซี-พีไอดี สามารถควบคุมกระบวนการ ได้ดีกว่าตัวควบคุมแบบพีไอดี หรือตัวควบคุมแบบพีซี เพราะตัวควบคุมแบบพีซี-พีไอดี สามารถลดการเกิดค่าพุ่งเกิน (Overshoot) และทำให้การควบคุมกระบวนการเข้าสู่สภาวะคงที่ได้ดี และรวดเร็วกว่าตัวควบคุมแบบพีไอดี หรือตัวควบคุมแบบพีซี ทำให้การควบคุมเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

2.5 สรุป

จากการที่ได้ศึกษาทฤษฎีทั้งสามแบบ คือ ทฤษฎีการควบคุมแบบพีไอดี ทฤษฎีการควบคุมแบบพีซี และทฤษฎีการควบคุมแบบพีซี-พีไอดี เพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนของการออกแบบตัวควบคุมกระบวนการเดาต่อไป ในการออกแบบตัวควบคุมดังกล่าว และรายละเอียดของพารามิเตอร์ต่างๆ จะขอก้าวในบทที่ 4 ซึ่งเป็นบทที่จะนำเอาทฤษฎีทั้งสาม มาทำการออกแบบตัวควบคุมกระบวนการเพื่อควบคุมอุณหภูมิในกระบวนการ สำหรับในบทถัดไปจะเป็นการอธิบายถึงวิธีการดำเนินงาน และข้อมูลพื้นฐาน ในการเลือกใช้ รายละเอียดของอุปกรณ์ต่างๆ ทั้งทางด้านฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้

บทที่ 3

องค์ประกอบของการควบคุมสำหรับ กระบวนการเตาอบขนาดเล็ก

3.1 บทนำ

ในบทที่ 3 นั้นจะกล่าวถึง องค์ประกอบของกระบวนการเตาอบขนาดเล็ก ซึ่งเป็นกระบวนการที่ถูกนำมาใช้ในการทดสอบตัวควบคุมแบบพีซี-พีไอดี โดยใช้โปรแกรม LabVIEW ดังนั้นเพื่อให้การออกแบบ ตัวควบคุมเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพจึงจำเป็นต้องศึกษาองค์ประกอบต่างๆ และพฤติกรรมของกระบวนการ ซึ่งประกอบไปด้วยองค์ประกอบด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ในส่วนของฮาร์ดแวร์จะกล่าวถึงส่วนประกอบต่างๆของกระบวนการเตาอบขนาดเล็ก ด้วยการอธิบายอุปกรณ์แต่ละตัวโดยละเอียด และในส่วนของซอฟต์แวร์จะอธิบายถึงซอฟต์แวร์ทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยรวมทั้งอธิบายวิธีการใช้งานโปรแกรมนั้นๆด้วย รายละเอียดต่างๆ จะอธิบายในแต่ละหัวข้อดังต่อไปนี้

3.2 องค์ประกอบของฮาร์ดแวร์

3.2.1 เตาอบขนาดเล็ก

เตาอบขนาดเล็ก เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งภายในเตาอบนั้นมีลักษณะโครงสร้างของเตาอบ แสดงได้ดังรูปที่ 3.1 เตาอบขนาดเล็ก มีลักษณะเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยม มีฝาเปิด-ปิดเตาอยู่ด้านหน้า ในส่วนทางด้านขวามือมีปุ่มสวิตช์ตั้งเวลา และปุ่มเลือกหลอดความร้อนภายในประกอบไปด้วย ชั้นวางสำหรับใส่โหลต มีถาดใส่โหลต (น้ำ) พร้อมทั้งมีหลอดโซลิตสเตทซึ่งจะทำหน้าที่ให้ความร้อน จำนวนสองหลอด ให้กำลังงานสูงสุดหลอดละ 400 W



รูปที่ 3.1 แสดงกระบวนการเตาอบขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลทางเทคนิคของเตาอบขนาดเล็ก

รายละเอียด	คุณสมบัติ
เตาอบไฟฟ้า Sharp	KZ-50s
แรงเคลื่อนไฟฟ้า	220 V
ความถี่คลื่นไฟฟ้า	50 Hz
กำลังไฟฟ้าสูงสุด	800 W
ฮีทเตอร์บน	400 W
ฮีทเตอร์ล่าง	400 W
ขนาดภายนอก (กว้าง x ยาว x สูง)	244 x 390 x 213 mm
น้ำหนัก	3.3 Kg

3.2.2 RTD ชนิด PT100

RTD (Resistance Temperature Detector) คือ อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ โดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของลวดโลหะไปตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป ลวดโลหะที่นำมาใช้ผลิต RTD มีหลายชนิดเช่น ทองแดง ทังสแตน นิเกิล แพรททินัม เนื่องจาก RTD แบบแพรททินัม 100 โอห์ม เป็นที่นิยมสูงสุด เพราะมีความเป็นเชิงเส้นที่ดีจึงถูกกำหนดให้เป็นแบบมาตรฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการทั่วไป สำหรับ RTD แบบแพรททินัม 100 โอห์ม จะเปลี่ยนค่าความต้านทานโดยเฉลี่ย 0.385 โอห์ม ต่อ 1 องศาเซลเซียสการใช้งานปกติจะมีแหล่งจ่ายกระแสคงที่ 1 mA ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป 1 องศาเซลเซียส แรงดันจะเปลี่ยนไป 0.385 mV ซึ่งมากกว่า Thermocouple ถึง 10 เท่า ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับวัดค่าอุณหภูมิที่ต้องการความละเอียดสูงและอุณหภูมิต่ำจนถึงติดลบ

ค่าความต้านทานของลวดโลหะจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิดังสมการ

$$\frac{dR_t}{R_t} / dT = \alpha R_0$$

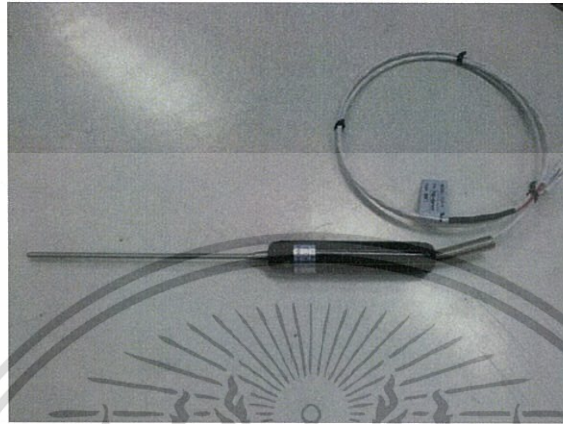
$$R_t = R_0 (1 + \alpha T)$$

เมื่อ R_t = ค่าความต้านทานของลวดโลหะที่อุณหภูมิ t °C
 R_0 = ค่าความต้านทานของลวดโลหะที่อุณหภูมิ 0 °C
 α = สัมประสิทธิ์ของการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้า ต่ออุณหภูมิ 1 °C

เนื่องจากตัว RTD เป็นเพียงค่าความต้านทาน จึงต้องมีวงจรจ่ายกระแสเพื่อให้เกิดเป็นแรงดันที่เปลี่ยนไป แล้วจึงนำแรงดันนี้ไปใช้งาน แต่กระแสนี้ก็เป็นกรสร้างความร้อนขึ้นในตัว RTD ด้วย ทำให้ค่าความต้านทานสูงขึ้น จึงจำเป็นที่จะต้องจำกัดไม่ให้กระแสเลี้ยง RTD นี้มีค่าสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกินไป ในส่วนของช่วงการใช้งานสูงสุดของ RTD ชนิด PT100 นั้น จะอยู่ที่ -250 ถึง 600 องศาเซลเซียส ซึ่งช่วงการใช้งานและความไวในการวัดของ RTD แต่ละตัวจะแตกต่างกันตามแต่ละบริษัท จะกำหนด



รูปที่ 3.2 ลักษณะของ RTD ชนิด PT100

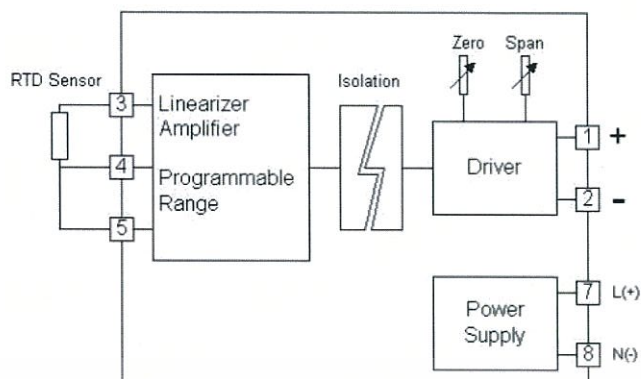
ตารางที่ 3.2 ข้อมูลทางเทคนิคของ RTD ชนิด PT100

รายละเอียด	คุณสมบัติ
RTD PCR-1	แบบมือถือ, ปลายกลมมน
ชนิดของไส้ (Element)	PT 100
ขนาดของปลอกป้องกัน	เส้นผ่านศูนย์กลาง 3 mm / ยาว 150 mm
ความยาวของสาย	1 m
ช่วงของอุณหภูมิที่ใช้งาน	0 ถึง 150 °C
การใช้งาน	วัดอุณหภูมิของเหลว, อากาศ

3.2.3 RTD Transmitter : RT 95

RT 95 เป็นอุปกรณ์ทำหน้าที่แปลงอุณหภูมิจาก 0 ถึง 150 องศาเซลเซียส ให้อยู่ในรูปของความต่าง-ศักย์ 0 ถึง 5 โวลต์ เพื่อส่งต่อไปยัง DAQ (USB-6008) ของกระบวนการ สำหรับลักษณะของวงจรภายใน RT 95 แสดงในรูปที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 ลักษณะของวงจรภายใน RT 95

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลทางเทคนิคของ RT 95

รายละเอียด	คุณสมบัติ
Input	0 ถึง 150 °C
Output	0 ถึง 5 V
Linearity	$< \pm 0.2\%$ of span
Isolation	500 VAC
Power supply	220 VAC
Ambient temperature	0 ถึง 50 °C
Connection	Plug-in 11 pins socket
Mounting	Wall or DIN rail
Dimension	W50 x H70 x D130 mm

3.2.4 Signal Converter : Model TW-4M-1-N

Signal Converter เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงความต่างศักย์จาก 0 ถึง 2.5 โวลต์ เป็นกระแสไฟฟ้า 4 ถึง 20 มิลลิแอมป์ เพื่อส่งต่อไปที่ Solid-State Relay ของกระบวนการ และลักษณะของ Signal Converter แสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ลักษณะของ Signal Converter

3.2.5 Solid-State Relay : SSR RM1E23AA25

SSR เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ แปลงสัญญาณกระแสไฟฟ้าจาก 4 ถึง 20 มิลลิแอมป์ เพื่อเป็นค่าความต่างศักย์ 0 ถึง 220 โวลท์ เพื่อส่งต่อไปควบคุมฮีตเตอร์ของเตาอบขนาดเล็ก และลักษณะของ SSR แสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ลักษณะของ SSR

ตารางที่ 3.4 ข้อมูลทางเทคนิคของ SSR

รายละเอียด	คุณสมบัติ
SSR RM1E23AA25	1-Phase, Analog Switching
Input Control	4 ถึง 20 mA
Output	0 ถึง 220 VAC
Rated Operational Current	25 AACrms
Operating Temperature Range	0 ถึง 70 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.6 Data Acquisition : DAQ-6008

DAQ-6008 ก็คือ card interface เป็นแบบ plug-in เสียบเข้าไปใน computer bus ภายใน computer case ซึ่งทำให้ได้ความเร็วในการส่งถ่ายข้อมูลสูงขึ้น โดยการ์ดนี้ทำหน้าที่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์กับสัญญาณวัดที่ส่งมาจาก Signal conditioning module แต่ละการ์ดที่ติดตั้งในคอมพิวเตอร์จะมีแอดเดรสของตัวเองโดยระบุที่อยู่ในตำแหน่ง input/output memory map

โดยที่คุณสมบัติของ card interface จะถูกระบุไว้อยู่บนบอร์ด DAQ สำหรับตัวอย่างข้อกำหนดเบื้องต้นของบอร์ด DAQ ที่พบก็คือบอร์ด DAQ 16-bits resolution ADC, 100 kS/s sampling rate

- **จำนวนช่องสัญญาณอินพุท**

Analog Input ของบอร์ด DAQ มักจะได้รับการระบุไว้ทั้ง 2 กรณี ดังนี้

- Single-ended โดยอินพุทของบอร์ด DAQ ที่เป็น Single-ended นั้นจะอ้างอิงกับกราวด์จุดเดียวกันทั้งหมดและอินพุทแบบนี้จะใช้ในกรณีสัญญาณอินพุทมีระดับสูงมากกว่า 1 โวลต์ และใช้สายวัดสั้นๆ ไม่เกิน 15 ฟุต

- Differential input แต่ละอินพุทจะมีกราวด์ของตัวเอง ซึ่งถือเป็นข้อดีเพราะเป็นการลดสัญญาณรบกวน common-mode ได้

- **อัตราการสุ่มวัด**

เป็นพารามิเตอร์ที่จะกำหนดว่าบอร์ด DAQ จะสามารถวัดสัญญาณอินพุทได้ละเอียดมากเท่าใด โดยปกติการ์ด DAQ แบบ Plug-in จะมีอัตราการสุ่ม 30,000 ถึง 250,000 ครั้ง ต่อวินาที เนื่องจากการสุ่มวัดด้วยความถี่สูงๆ จะทำให้สามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณอินพุทได้ในทันทีทันใด (ทฤษฎีของ Nyquist จะต้องทำการสุ่มอ่านค่าความถี่เสียง ด้วยความถี่อย่างน้อย 1.5 เท่าของความถี่สัญญาณอินพุท) ในทางกลับกันหากใช้อัตราการสุ่มวัดที่ไม่เหมาะสมแล้ว การตีความสัญญาณอินพุทก็จะผิดเพี้ยนไป โดยปกติแล้ว DAQ จะต้องทำการวัดสัญญาณอินพุทที่มีหลายช่องสัญญาณพร้อมๆ กัน บอร์ด DAQ จึงต้องมีวงจรมัลติเพล็กซ์ เพื่อเลือกสัญญาณเข้ามาวิเคราะห์ทีละช่องสัญญาณ

- **ระดับการแยกแยะสัญญาณ**

เกิดจากการแปลงสัญญาณวัดจากสัญญาณ Analog เป็น Digital ของบอร์ด DAQ ซึ่งจะใช้จำนวนบิตในการแทนค่าของสัญญาณ Analog ในแต่ละช่วงเวลา เช่น การแทนด้วยรหัสเพียง 3 บิต นั้น ให้ค่าความแยกแยะเพียง 8 ระดับ หากต้องการเพิ่มค่าความแยกแยะ เพื่อป้องกันข้อมูลของสัญญาณที่วัดได้ขาดหายไป ก็จะต้องเพิ่มการแทนบิตสูงขึ้น เช่น การแทนบิตด้วยรหัส 8 บิต จะสามารถแทนระดับสัญญาณอินพุตได้สูงถึง 255 ระดับ ซึ่งจะเป็นการเพิ่มความแม่นยำให้กับการวัดอย่างมาก

- **Communication-based**

อุปกรณ์ Data Acquisition จะติดต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านทาง Communication port

- Serial Communication ระยะทางไม่ไกลจะนิยมใช้ RS-232 โดยสามารถมีอัตราเร็วในการส่งถ่ายข้อมูล 115K baud (bits per second) ซึ่ง 7 หรือ 8 bits (on/off signal) จะเป็นสัญญาณที่แสดงถึงอักษรตามมาตรฐาน ASCII code ถ้าต้องการระยะไกลมากกว่า RS-232 ก็สามารถใช้ RS-422 และ RS-485 เพราะว่ามี

ความสามารถในการสื่อสารข้อมูล ที่สูงกว่า



รูปที่ 3.6 ลักษณะของ DAQ-6008

3.3 องค์ประกอบของซอฟต์แวร์

3.3.1 การใช้งานโปรแกรม LabVIEW

LabVIEW ย่อมาจาก Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ที่สร้างเพื่อนำมาใช้ในด้านการจัดการวัด และเครื่องมือวัดสำหรับงานทางวิศวกรรม ซึ่งเป็นโปรแกรมประเภท GUI (Graphic User Interface) นั้น คือผู้ใช้พัฒนาโปรแกรมไม่จำเป็นต้องเขียน code หรือคำสั่งใดๆ ทั้งสิ้น และภาษาที่ใช้ในโปรแกรมจะเรียกว่าเป็น ภาษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปภาพ หรือเรียกอีกอย่างว่าภาษา G (Graphical Language) ซึ่งจะแทนการเขียนโปรแกรมเป็นบรรทัดภาษาพื้นฐาน เช่น C, BASIC หรือFORTRAN ด้วยรูปภาพหรือสัญลักษณ์ทั้งหมด โดยจะช่วยอำนวยความสะดวกและสามารถลดเวลาในการ

เขียนโปรแกรมลงไปได้มาก โดยเฉพาะในงานเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกเช่น Port หรือ Card ต่างๆ รวมถึงการจัดวางตำแหน่งในหน่วยความจำเพื่อที่จะสามารถรวบรวมข้อมูลมาใช้ในการคำนวณและเก็บข้อมูลให้ได้ประโยชน์สูงสุด

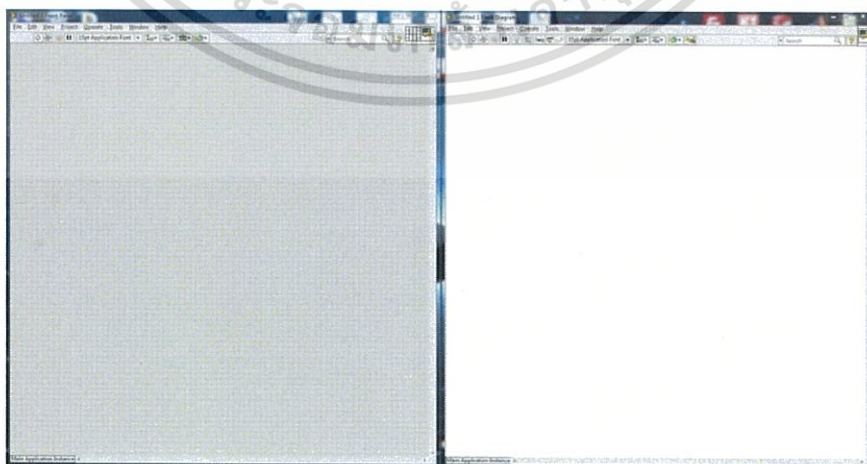
สำหรับโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นโดย LabVIEW จะเรียกว่า Virtual Instrument (VI) เพราะลักษณะที่ปรากฏทางจอภาพเมื่อเริ่มใช้งานจะเหมือนกับเครื่องมือหรืออุปกรณ์ทางวิศวกรรม ในขณะที่เดียวกันหลังจากของอุปกรณ์เสมือนจริงเหล่านั้นจะเป็นการทำงานของฟังก์ชันต่างๆ ซึ่งในหนึ่ง Virtual Instrument (VI) จะประกอบด้วยส่วนประกอบ 3 ส่วนคือ

1. Front Panel
2. Block Diagram
3. Icon และ Connector

ทั้ง 3 ส่วนนี้จะประกอบกันขึ้นมาเป็นอุปกรณ์เสมือนจริง ตามลักษณะและหน้าที่ของส่วนประกอบทั้ง 3 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.3.2 ส่วน Front Panel

Front Panel หรือหน้าปัทม์ จะเป็นส่วนที่ใช้สื่อความกันระหว่างผู้ใช้กับโปรแกรม (หรือที่นิยมเรียก user interface) โดยทั่วไปจะมีลักษณะเหมือนกับหน้าปัทม์ของของเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้งานด้านการวัดต่างๆ ไป เช่น มีสวิตช์ปิดเปิด, ปุ่มบิด, ปุ่มกด จอแสดงผล ดังนั้น Front Panel นี้จึงเปรียบเสมือนเป็น GUI ของโปรแกรมหรือ VI นั่นเอง ลักษณะของ Front Panel แสดงได้ดังรูปที่ 3.7



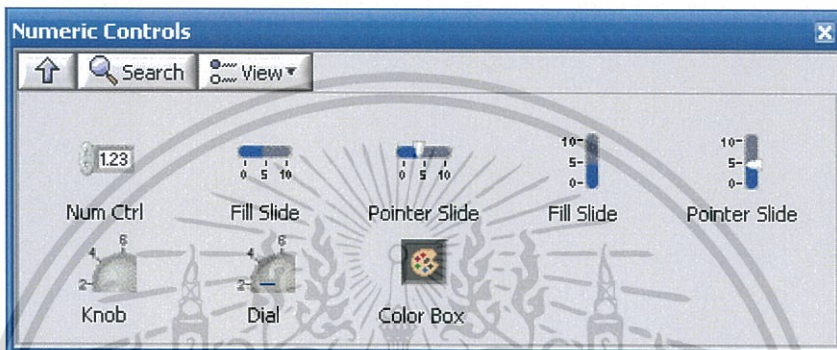
รูปที่ 3.7 แสดงหน้าต่างที่ใช้สำหรับการเขียนโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับหน้าปัทม์ (Front Panel) ของ LabVIEW จะมีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 แบบ คือ ตัวควบคุม (Controls) และ ตัวแสดงผล (Indicator) ซึ่งส่วนประกอบทั้ง 2 มีรายละเอียดต่อไปนี้

- Control

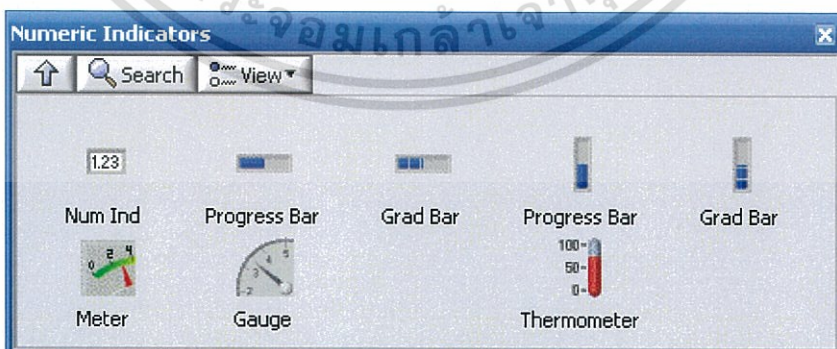
มีหน้าที่เป็นตัวควบคุม คือการใส่ค่า (Input) จากผู้ใช้ ลักษณะของการ Controls เช่น ปุ่มปรับค่า, สะพานปิด - เปิดไฟ, แท่งเลื่อนเพื่อปรับค่า, การให้ค่าด้วยตัวเลข Digital หรืออื่นๆ ดังนั้น Controls คือการกำหนดค่าหรือแหล่ง (source) ข้อมูล แสดงตัวอย่าง Controls ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แสดงตัวอย่าง Control ของโปรแกรม LabVIEW

- Indicators

มีหน้าที่เป็นตัวแสดงผลเพียงอย่างเดียวโดยจะรับค่าที่ได้จากแหล่งข้อมูลมา แสดงผลซึ่งอาจปรากฏในรูปของกราฟ, เข็มชี้, ระดับของเหลว หรืออื่นๆ Indicators นี้เปรียบเสมือน output เพื่อให้ผู้ใช้ได้ทราบค่าสิ่งที่เรากำลังวิเคราะห์อยู่ และผู้ใช้งานจะไม่สามารถปรับค่าต่างๆ บน Indicators ได้ โดยตรงแต่จะต้องมีแหล่งข้อมูลที่ส่งให้กับ Indicators เหล่านี้ แสดงตัวอย่าง Indicators ดังรูปที่ 3.9

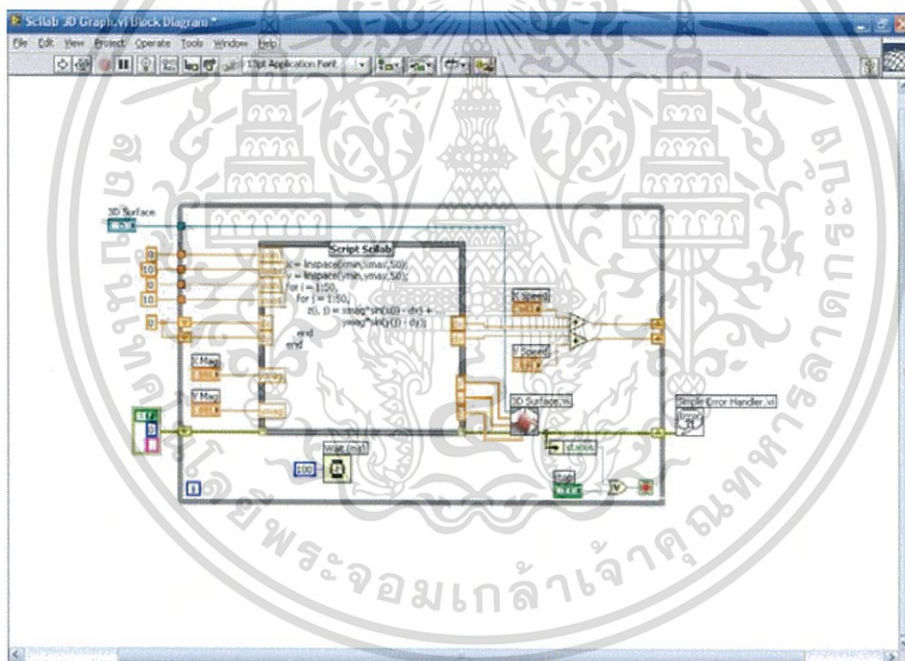


รูปที่ 3.9 แสดงตัวอย่าง Indicators ของโปรแกรม LabVIEW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 ส่วน Block Diagram

เป็นเสมือนกับ Source Code ของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นด้วย LabVIEW ซึ่งปรากฏอยู่ในรูปของภาษา G โดย Block Diagram นี้จะถือว่าเป็น Executable Program คือสามารถที่จะทำงานได้ทันที และข้อดี อีกประการหนึ่งก็คือ LabVIEW จะมีการตรวจสอบข้อผิดพลาดของโปรแกรมตลอดเวลา ทำให้โปรแกรม จะทำงานได้ก็ต่อเมื่อไม่มีข้อผิดพลาดในโปรแกรมเท่านั้น โดยผู้เขียนโปรแกรมสามารถที่จะดูรายละเอียดของข้อผิดพลาดแสดงให้เห็นได้ตลอดเวลา ทำให้การเขียนโปรแกรมง่ายขึ้นส่วนประกอบภายใน Block Diagram จะประกอบด้วย ฟังก์ชัน ค่าคงที่ โปรแกรมควบคุมการทำงานหรือโครงสร้าง จากนั้นในแต่ละส่วนเหล่านี้ ซึ่งจะปรากฏอยู่ในรูปของ Block เราจะได้รับบริการต่อสาย (wire) สำหรับ Block ที่เหมาะสมเข้าด้วยกัน เพื่อกำหนดลักษณะการไหลของข้อมูลระหว่าง block เหล่านั้น ทำให้ข้อมูลได้รับการประมวลผลตามที่ต้องการ แสดง Block Diagram ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แสดง Block Diagram ของโปรแกรม LabVIEW

สำหรับ Block Diagram จะมีส่วนที่ทำหน้าที่หลัก คือการควบคุมการส่งผ่านหรือเราอาจเรียกว่า การไหลของข้อมูล (Data Flow) และกำหนดถึงวิธีการประมวลผลข้อมูลมี 4 ส่วนดังนี้

- Terminal

ทุกครั้งที่เราสร้าง Control หรือ Indicator บน Front Panel ใน Window ของ Block Diagram จะปรากฏ Terminal ขึ้น Terminal ก็คล้ายกับสถานีของข้อมูลคือจะเป็นทั้งสถานีต้นทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

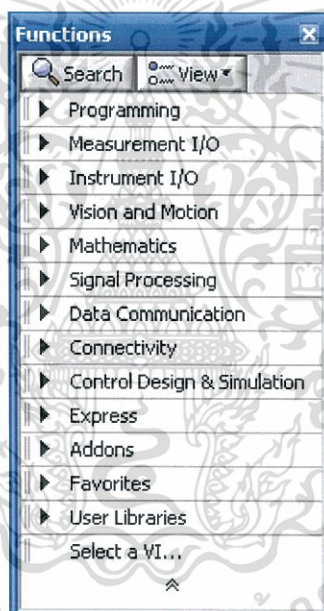
ของข้อมูล ถ้า Terminal นั้นเป็น Terminal ของ Controls และขณะเดียวกันจะเป็นทั้งสถานีปลายทางของข้อมูล ถ้า Terminal นั้นเป็น Terminal ของ Indicator แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 3.12

- Node

เป็นจุดต่อบนบล็อกไดอะแกรม แสดงเป็นแบบอินพุต และ/หรือ เอาท์พุต จะทำงานเมื่อสั่ง RUN VI แสดงตัวอย่าง Node ดังรูปที่ 3.12

- Functions

คือตัวดำเนินการต่างๆ ที่สำเร็จรูปเช่น sine, cos, tan, log เป็นต้น ซึ่งสามารถเรียกแสดง Functions Palette นี้ได้โดยการคลิกขวาพื้นที่ว่าง ๆ ในฝั่ง Block Diagram จะแสดง Functions Palette ดังรูปที่ 3.11 และรูปที่ 3.12

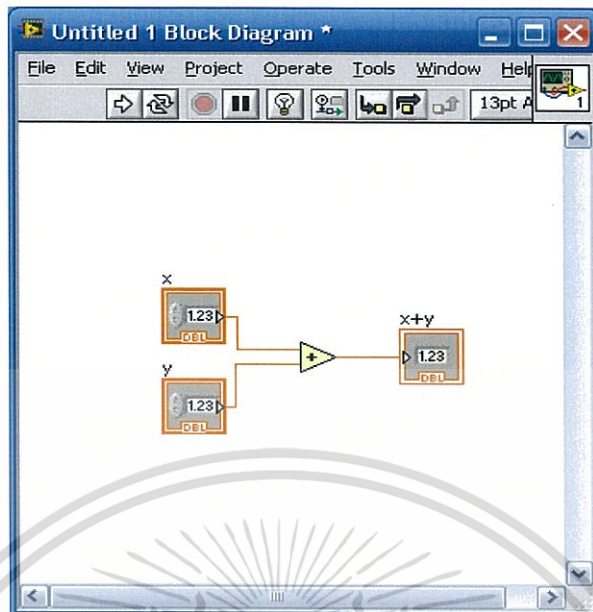


รูปที่ 3.11 แสดง Functions Palette ของทางฝั่ง Block Diagram

- Wires

คือการเชื่อมต่อการรับ - ส่งข้อมูลระหว่าง terminal หรือ node ต่างๆ ที่มีใน Block Diagram นี้ เข้าด้วยกัน โดย wires นี้จะเป็นการกำหนดเส้นทางของข้อมูลว่าเมื่อออกจาก terminal หนึ่งแล้วจะกำหนดการไหลข้อมูลไปที่ node ไตบ้าง มีลำดับเป็นอย่างไร และสุดท้ายจะแสดงผลที่ terminal ไต ซึ่งการเชื่อมต่อสายนี้จะทำให้เราเข้าใจถึงหลักการของ Data Flow Programming ได้ดีขึ้น ซึ่งลักษณะต่างๆ ของเส้นจะมีรูปแบบและสีที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 แสดงตัวอย่าง Terminal, Node, Function และ wire ใน Block Diagram

3.3.4 ส่วน Icon และ Connector

เปรียบเสมือนโปรแกรมย่อย Subroutine ในโปรแกรมปกติทั่วไป icon จะหมายถึง block diagram ตัวหนึ่งที่มีการส่งข้อมูลเข้าและออกผ่านทาง Connector ซึ่งใน LabVIEW จะเรียก Subroutine นี้ว่า subVI ข้อดีของการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา G นี้ก็คือเราสามารถสร้าง VI ที่ละส่วนขึ้นมาให้ทำงานด้วยตัวเองได้อย่างอิสระ จากนั้นเราก็สามารถเขียนโปรแกรมอื่นเพื่อเรียกใช้งาน VI ที่เราเคยสร้างขึ้นก่อนหน้านี้ทีละตัว ซึ่งทำให้ VI ที่เราเขียนขึ้นก่อนกลายเป็น subVI ไป การเขียนในลักษณะนี้เราเรียกว่า module

3.4 สรุป

องค์ประกอบต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการควบคุมอุณหภูมิสำหรับเตาอบขนาดเล็ก ที่ได้กล่าวไปนั้นไม่ว่าจะเป็นอุปกรณ์ เครื่องมือ รวมทั้งโปรแกรม LabVIEW ที่นำมาใช้ในกระบวนการนี้ ล้วนแล้วแต่ มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งจะขาดสิ่งหนึ่งสิ่งใดไปไม่ได้เพราะอาจจะทำให้กระบวนการควบคุมเตาอบขนาดเล็กนี้ไม่สมบูรณ์แบบ ตามที่ต้องการควบคุม สิ่งเหล่านี้จะเป็นประโยชน์เพื่อช่วยในการออกแบบกระบวนการควบคุมเตาอบขนาดเล็ก และใช้ในการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม ที่สามารถควบคุมกระบวนการได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

บทที่ 4

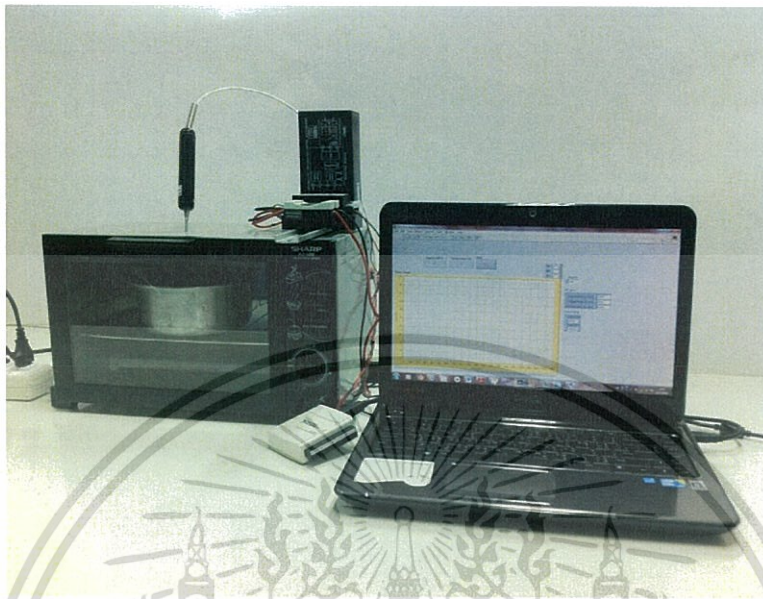
การทดลองและผลการทดลอง

4.1 กล่าวนำ

ในบทที่ 4 นั้นจะกล่าวถึง การนำเสนอผลของข้อมูลจากการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องทั้งหมดรวมทั้ง องค์ประกอบด้านฮาร์ดแวร์ และองค์ประกอบด้านซอฟต์แวร์ดังที่กล่าวมาแล้ว นำมาออกแบบกระบวนการควบคุมอุณหภูมิสำหรับเตาอบขนาดเล็ก ด้วยการควบคุมโดยใช้ตัวควบคุมแบบ PID ซึ่งใช้วิธี Process Reaction Curve ตามทฤษฎีของ Ziegler-Nichols ในการหาค่า K_p , T_i และ T_d ที่เหมาะสมสำหรับควบคุมกระบวนการได้อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับการควบคุมกระบวนการโดยใช้ตัวควบคุมแบบ Fuzzy-PID จะใช้ความสัมพันธ์ระหว่างฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุตและฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเอาต์พุต เพื่อนำมาออกแบบกฎที่ใช้ในการควบคุมที่สอดคล้องกับค่าพารามิเตอร์ PID โดยใช้โปรแกรม LabVIEW ในการควบคุมกระบวนการ

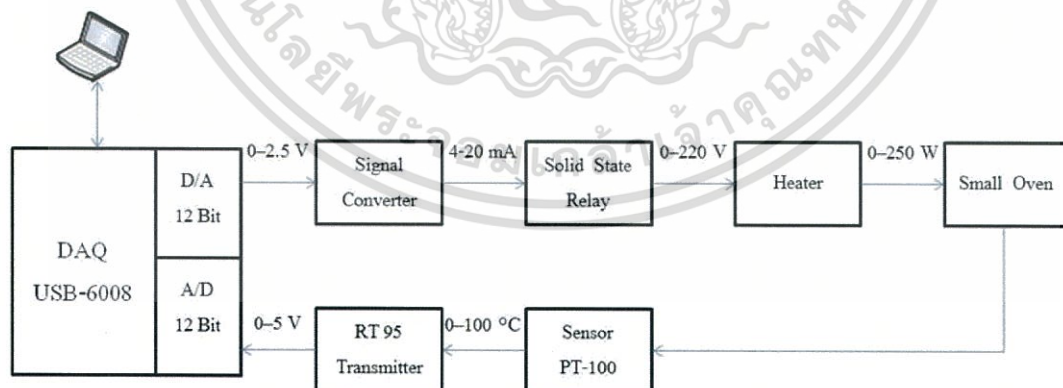
สำหรับการทดลอง จะกำหนดค่าเป้าหมาย (SP) ไปที่ค่า 60% เพื่อพิจารณาผลตอบสนองของตัวควบคุม จากนั้นทำการเปลี่ยนค่าเป้าหมาย (SP) ของการควบคุมจาก 60% ไปเป็น 80% นำผลการทดลองของตัวควบคุมกระบวนการ ด้วยตัวควบคุมแบบ PID เปรียบเทียบกับการควบคุมกระบวนการ โดยใช้ ตัวควบคุม Fuzzy-PID เพื่อพิจารณาผลตอบสนองของตัวควบคุม ความสามารถและสมรรถนะของระบบควบคุม ตามข้อกำหนดของระบบ เช่น Maximum Overshoot, Delay Time, Rise Time และ Settling Time อันแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของตัวควบคุมทั้งสองแบบในการควบคุมกระบวนการ

4.2 กระบวนการที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.1 แสดงกระบวนการที่ใช้ในการทดลอง

จากรูปที่ 4.1 แสดงกระบวนการที่ใช้ในการทดลอง ระบบควบคุมอุณหภูมิของกระบวนการสำหรับเตาอบขนาดเล็ก จากองค์ประกอบด้านฮาร์ดแวร์ที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 สามารถนำมาออกแบบกระบวนการที่ใช้ในการทดลองได้ตามโครงสร้างไดอะแกรมของกระบวนการดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะการออกแบบกระบวนการ

การออกแบบการทำงานของกระบวนการ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นส่วนควบคุมและส่วนกระบวนการเตาอบ สามารถอธิบายการทำงานของกระบวนการ โดยเริ่มจากการกำหนดค่าเป้าหมาย(SP) ซึ่งกำหนดในโปรแกรม LabVIEW ได้โดยตรงให้คอนโทรลเลอร์ทำงานตามต้องการ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

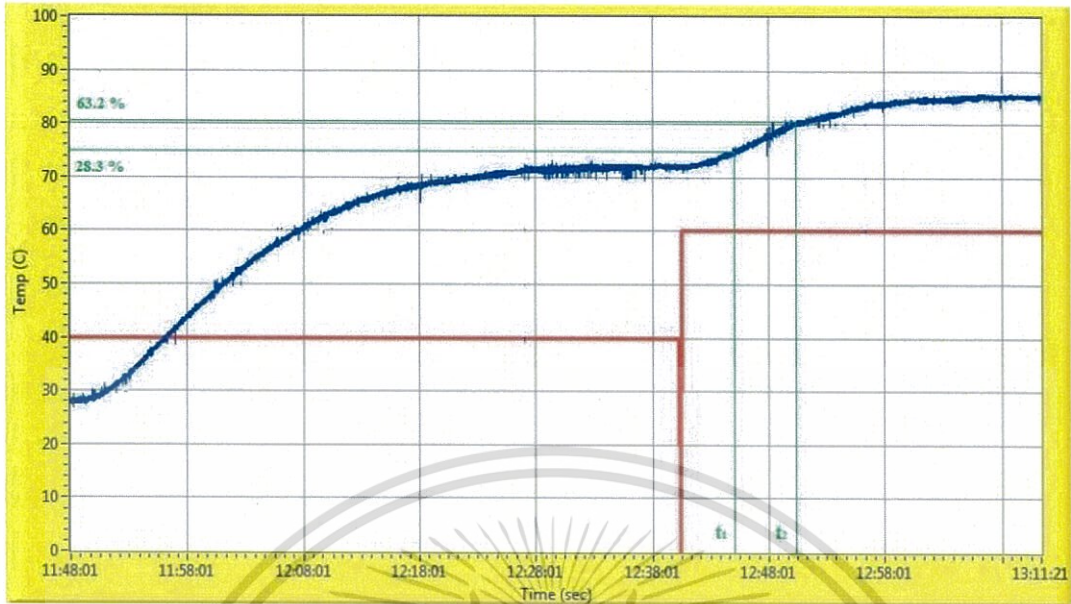
จากนั้นสัญญาณ 0-2.5V จะเข้าไปที่ Signal Converter เพื่อทำหน้าที่แปลงสัญญาณ 0-2.5V เป็นสัญญาณมาตรฐาน 4-20 mA ส่งผ่านไปยัง Final Control Element (Heater) เพื่อจ่ายพลังงานความร้อนให้กับกระบวนการเตาอบ โดยการทำงานของตัวทำความร้อนถูกควบคุมโดย Solid State Relay (SSR) ซึ่งจะสร้างสัญญาณพัลส์ควบคุมตามสัญญาณที่ได้รับ (4-20 mA) ส่งผลให้อุณหภูมิของกระบวนการเตาอบจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น RTD (PT-100) จะทำการตรวจจับค่าความร้อนจากเตาอบในรูปของแรงดันไฟฟ้า เนื่องจากแรงดันที่ได้ไม่เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน จึงต้องนำอุปกรณ์ RTD Transmitter ซึ่งเป็นตัวแปลงสัญญาณที่รับจาก RTD (PT-100) เพื่อแปลงให้เป็นสัญญาณมาตรฐาน 0-5V จากนั้นจึงนำสัญญาณที่ได้ส่งไปยังตัวควบคุม สัญญาณจะถูกส่งเข้าไปยังด้าน A/D ของ DAQ เพื่อแปลงสัญญาณที่ได้รับจากสัญญาณอนาล็อก ให้อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัล และนำไปประมวลผลต่อไป

4.3 การออกแบบตัวควบคุม PID

4.3.1 การหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการ

ในการออกแบบ ตัวควบคุมกระบวนการแบบ PID จะใช้การหาแบบจำลองโดยวิธีทางคณิตศาสตร์ ของกระบวนการด้วยวิธี Process Reaction Curve จากผลตอบสนองของกระบวนการแบบลูปเปิด ที่ถูกควบคุมด้วยสัญญาณอินพุตแบบขั้นบันได ทำได้โดยการปรับค่าสัญญาณควบคุม (MV) ไว้ที่ 40% รอจนกระทั่งกระบวนการเข้าสู่สภาวะคงที่ที่ค่าหนึ่งๆ จากนั้นจึงเปลี่ยนค่าสัญญาณควบคุม (MV) เป็น 60% โดยที่กระบวนการในกรณีนี้จะไม่มีการมี Pole ที่จุด Origin ดังนั้นผลตอบสนองของเวลาจะได้ในลักษณะเป็นรูปตัว S

จากผลตอบสนองต่อเวลาของกระบวนการ แสดงได้ดังรูปที่ 4.3 สามารถแยกพิจารณาเป็นค่าเวลาหน่วงของกระบวนการ (Delay time) และเวลาคงที่ของกระบวนการ (Time Constant: τ) โดยลากเส้นสัมผัสกับจุดที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงสูงสุด เส้นนี้จะตัดกับแกนเวลาและเส้นตรงของเอาท์พุท เพื่อทำการคำนวณหาฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการ และค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID โดยใช้วิธี Process Reaction Curve ตามทฤษฎีของ Ziegler-Nichols



รูปที่ 4.3 แสดงผลตอบสนองจากสัญญาณขั้น (step response) ของกระบวนการ

จากผลตอบสนองของกระบวนการ สามารถจำลองฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการด้วยการหาค่า K , τ และ T_0 โดยคำนวณจากการประมาณค่าดังนี้

เวลา t_1 คือ เวลาที่เอาต์พุตมีค่า 0.238 เท่าของค่าเอาต์พุตที่หยุดนิ่ง

เวลา t_2 คือ เวลาที่เอาต์พุตมีค่า 0.632 เท่าของค่าเอาต์พุตที่หยุดนิ่ง

$$\text{โดยที่ } K = \frac{\Delta PV \%}{\Delta MV \%}, \tau = \frac{3}{2}(t_2 - t_1) \text{ และ } T_0 = t_2 - \tau$$

ดังนั้นจะได้

$$K = 26, \tau = 457.5 \text{ sec และ } T_0 = 124.5 \text{ sec}$$

ฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการ

$$G(s) = \frac{26e^{-124.5s}}{457.5s + 1}$$

จากตัวแปรสามารถคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID โดยใช้วิธี Process Reaction Curve (การทดลองแบบลูบเปิด) ตามทฤษฎีของ Ziegler-Nichols ได้ดังตาราง 4.1

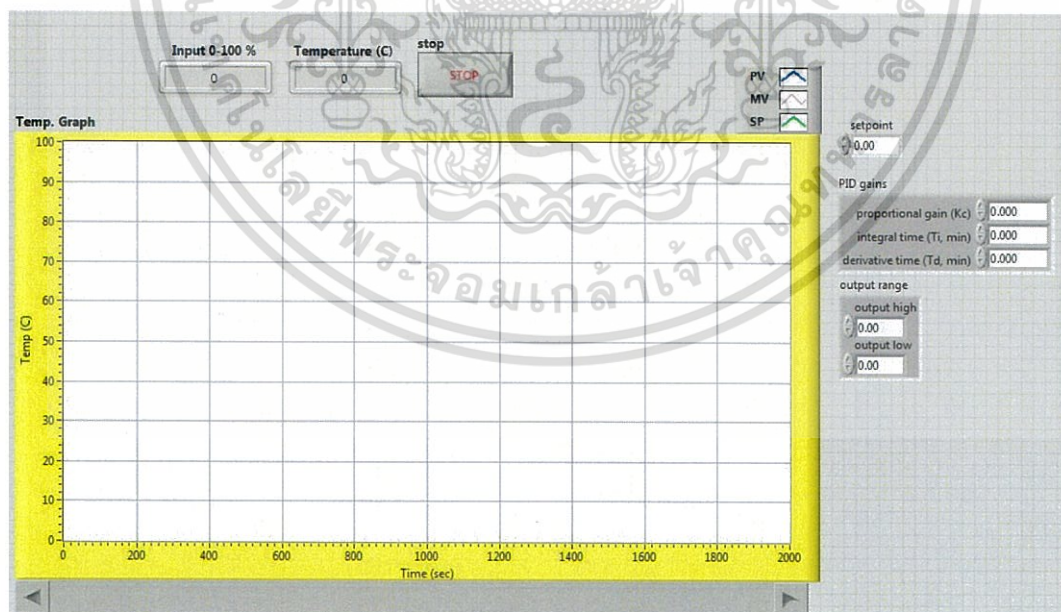
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบต่างๆตามวิธี Process Reaction Curve

Controller	K_p	T_i	T_d
P	5.653	-	-
PI	0.127	6.909	-
PID	0.175	4.000	0.010

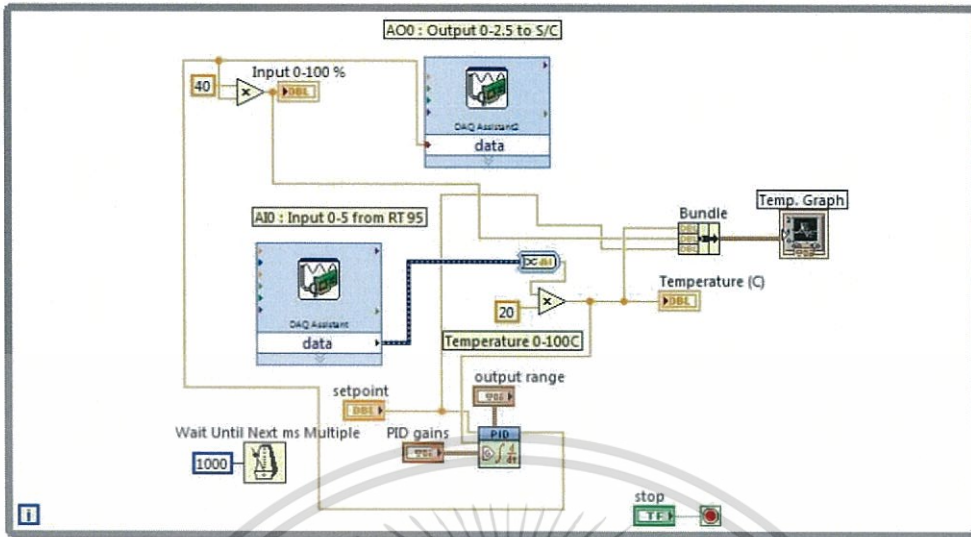
4.3.2 การควบคุมกระบวนการด้วยตัวควบคุม PID

การควบคุมอุณหภูมิสำหรับกระบวนการเตาอบ กระทำบนคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม LabVIEW ร่วมกับตัวควบคุมแบบ PID ใน PID Control Toolset ออกแบบโปรแกรมควบคุม ให้อยู่ในส่วนบล็อกไดอะแกรมจะมีสัญญาณควบคุมขนาด 0-5V ถูกส่งให้กับวงจรแปลงแรงดันเป็นกระแส เพื่อส่งต่อให้อุปกรณ์ควบคุมมุมเฟส ในการรับส่งสัญญาณระหว่างคอมพิวเตอร์กับกระบวนการเตาอบ นั้น ใช้ DAQ USB-6008 สำหรับค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการ จะใช้ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมตามวิธีการ Process Reaction Curve ดังที่กล่าวมาแล้ว ผลตอบสนองของตัวควบคุม PID หลังจากทำการรันโปรแกรมจะแสดงในรูปแบบของกราฟอุณหภูมิกับเวลา อยู่ในส่วนของพาเนล



รูปที่ 4.4 แสดงแสดงหน้าต่างพาเนล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



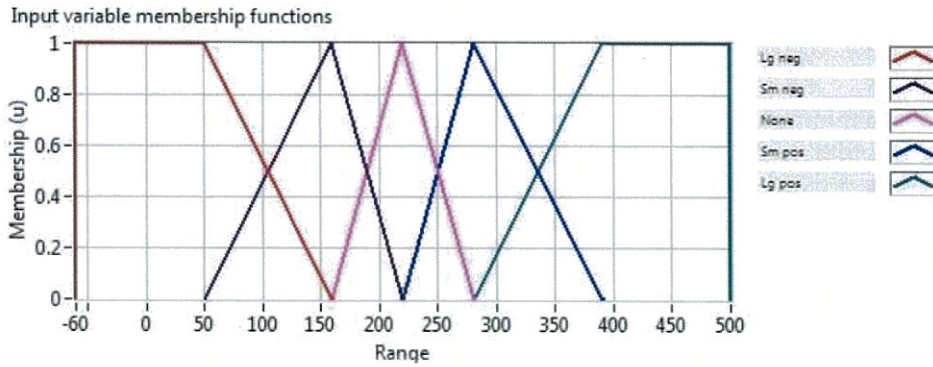
รูปที่ 4.5 แสดงโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการด้วยตัวควบคุม PID

จากรูปที่ 4.5 แสดงโปรแกรม LabVIEW ที่ใช้สำหรับการควบคุมกระบวนการด้วยตัวควบคุมแบบ PID ในทดลองจะกำหนดค่าเป้าหมาย (SP) ที่ 60% เพื่อพิจารณาผลตอบสนองของตัวควบคุม จากนั้น จึงทำการเปลี่ยนค่าเป้าหมาย (SP) จาก 60% ไปเป็น 80% และทำการบันทึกผลการทดลอง

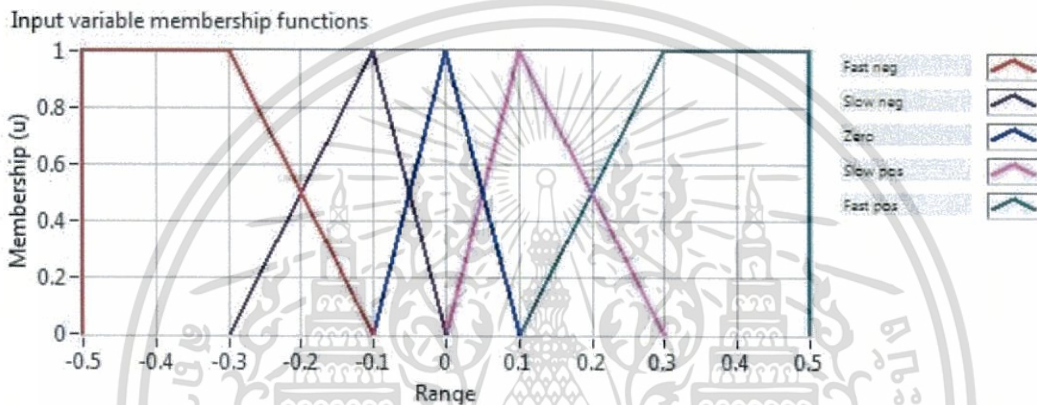
4.4 การออกแบบตัวควบคุม Fuzzy-PID

4.4.1 การกำหนดเซตทางอินพุตของ Fuzzy

การออกแบบระบบควบคุม จะเลือกใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบฟังก์ชันรูปสามเหลี่ยมอินพุต ของตัวควบคุมมี 2 ตัว ประกอบด้วยค่าสัญญาณความผิดพลาด Error (E) และค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าสัญญาณความผิดพลาด Change of Error (CE) แสดงได้ดังรูปที่ 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ



รูปที่ 4.6 แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุตค่าสัญญาณความผิดพลาด Error (E)

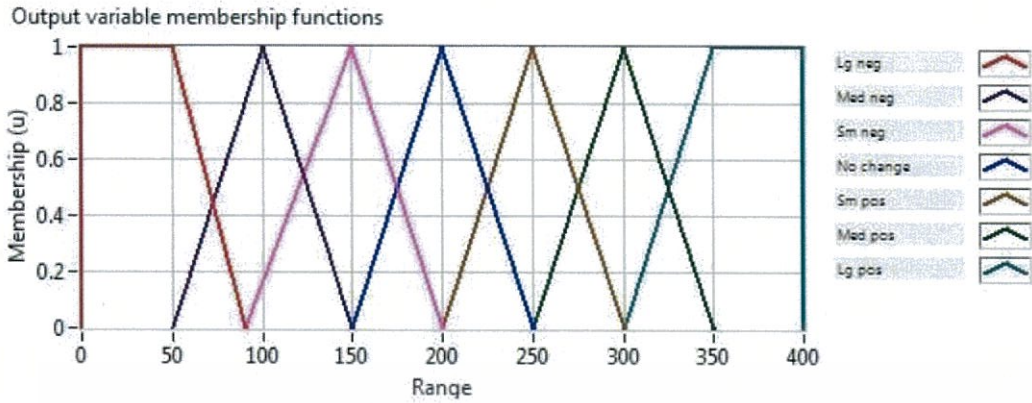


รูปที่ 4.7 แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุตค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าสัญญาณความผิดพลาด Change of Error (CE)

จากรูปที่ 4.6 และ 4.7 แสดงการกำหนดเซตทางอินพุต ซึ่งจะต้องออกแบบให้เหมาะสมกับกระบวนการที่ต้องการควบคุม ด้วยการพิจารณาจากค่าสัญญาณความผิดพลาด Error (E) คือ ความแตกต่างระหว่าง SP และ PV ส่วนค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าสัญญาณความผิดพลาด Change of Error (CE) คือ ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่ากระบวนการ โดยกำหนดให้ฟังก์ชันของความเป็นสมาชิกอินพุตทั้งสองมีสมาชิก 5 ตัว คือ NB NS ZE PS และ PB

4.4.2 การกำหนดเซตทางเอาต์พุตของ Fuzzy

เอาต์พุตของตัวควบคุมกระบวนการ คือ ค่าสัญญาณที่ส่งไปควบคุมอุณหภูมิ สำหรับกระบวนการ เตาอบ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเอาต์พุต กำหนดให้มีสมาชิก 7 ตัว และมีรูปแบบความเป็นสมาชิกแบบฟังก์ชันรูปสามเหลี่ยม แสดงได้ดังรูปที่ 4.8



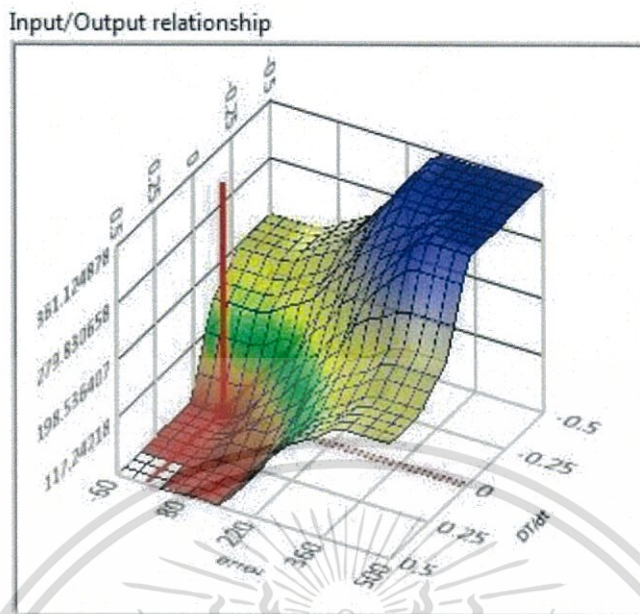
รูปที่ 4.8 แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเอาต์พุต

4.4.3 การกำหนดหน่วยกฎการควบคุม (Fuzzy Rule Base)

จากความสัมพันธ์ ระหว่างฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุต สามารถนำมาสร้างกฎการควบคุมกระบวนการ ประกอบด้วย 25 กฎ แสดงได้ดังตาราง 4.2 ซึ่งจากกฎการควบคุม สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุต และฟังก์ชันความเป็นสมาชิกทางด้านของเอาต์พุตได้ดังรูปที่ 4.9

ตาราง 4.2 แสดงการกำหนดหน่วยกฎการควบคุม

E	NB	NS	ZE	PS	PB
DE					
NB	ZE	PS	PM	PB	PB
NS	NS	ZE	PS	PM	PB
ZE	NB	NS	ZE	PS	PB
PS	NB	NM	NS	ZE	PS
PB	NB	NB	NM	NS	ZE



รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุตและเอาต์พุต

4.4.4 การกำหนดหน่วยดีฟัซซิฟิเคชัน

การดีฟัซซิฟิเคชัน คือ กระบวนการหาค่าเอาต์พุตเพียงค่าเดียว ที่เหมาะสมที่สุดเพื่อเป็นตัวแทนของฟัซซีเอาต์พุต โดยที่ค่าที่ได้จะกระจายอยู่บนเอกภพสัมพัทธ์ของเอาต์พุตนั้น หรือการแปลงค่าตัวแปรทางฟัซซีให้เป็นตัวแปรของกระบวนการที่จะนำไปควบคุมกระบวนการ โดยการดีฟัซซิฟิเคชันนี้จะใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก (Weighted average method) หรือ วิธีค่าพื้นที่กลาง (Center of Area (CoA)) ซึ่งเป็นวิธีการหาค่าเอาต์พุตที่เหมาะสม ซึ่งหาได้จากสมการ

$$v_0 = \frac{\sum \mu_B(v)v}{\sum \mu_B(v)}$$

โดยที่

B คือ เซตเอาต์พุต

v คือ สมาชิกของเอกภพสัมพัทธ์ทางเอาต์พุต

v_0 คือ ค่าที่ได้จากการดีฟัซซิฟิเคชัน

การใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก หรือ วิธีค่าพื้นที่กลาง มาทำการดีฟัซซิฟิเคชัน ก่อนจะทำการหาค่าเฉลี่ยของค่าถ่วงน้ำหนัก ต้องทำการแยกกลุ่มเซตเอาต์พุตที่จะนำมาดีฟัซซิฟิเคชันว่าประกอบด้วยเซตใดบ้าง ขั้นตอนต่อไป คือ การหาค่ากลางของสมาชิกแต่ละเซต คือ ตำแหน่งที่ลากจากเส้นลงมาในแต่ละเซต แล้วจึงนำค่ากลางในแต่ละเซตคูณกับค่าระดับการเป็นสมาชิกของค่ากลาง หรือค่าสมาชิกที่เกิดค่ากลางนั้นๆ แล้วนำค่าที่ได้ของแต่ละเซตมาบวกเข้าด้วยกัน ต่อมนำผลบวกที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาหารด้วยผลรวมของระดับการเป็นสมาชิกที่ตำแหน่งค่ากลางของทุกเซต ซึ่งค่าที่ได้นั้นจะเป็นคำตอบของการดีฟัซซิฟิเคชันด้วยวิธีนี้

4.4.5 การออกแบบตัวควบคุม Fuzzy-PID

จากการกำหนดเซตทางอินพุต เซตทางเอาต์พุตของ Fuzzy กำหนดหน่วยกฎในการควบคุม และหน่วยดีฟัซซิฟิเคชันแล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการสร้างตัวควบคุม Fuzzy-PID สำหรับควบคุม อุณหภูมิเตาอบ กระทำบนคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรมLabVIEW ออกแบบโปรแกรมควบคุม อยู่ใน ส่วนบล็อกไดอะแกรมโดยมีสัญญาณควบคุมขนาด 0-5 V ถูกส่งให้กับวงจรแปลงแรงดันเป็นกระแส เพื่อส่งต่อไปให้อุปกรณ์ควบคุมมุมเฟส ในการรับส่งสัญญาณระหว่างคอมพิวเตอร์ กับกระบวนการเตาอบ ใช้ DAQ USB-6008 ออกแบบโดยใช้ทฤษฎีดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 คือ คำนวณหาค่า ตัวแปร GE, GCE, GCU และ GU ที่สอดคล้องกับค่าพารามิเตอร์ PID ที่ได้จากการคำนวณตามวิธี Process Reaction Curve ดังที่กล่าวมาแล้ว จากสมการ

$$K_p = GCU * GCE + GU * GE$$

$$K_i = GCU * GE$$

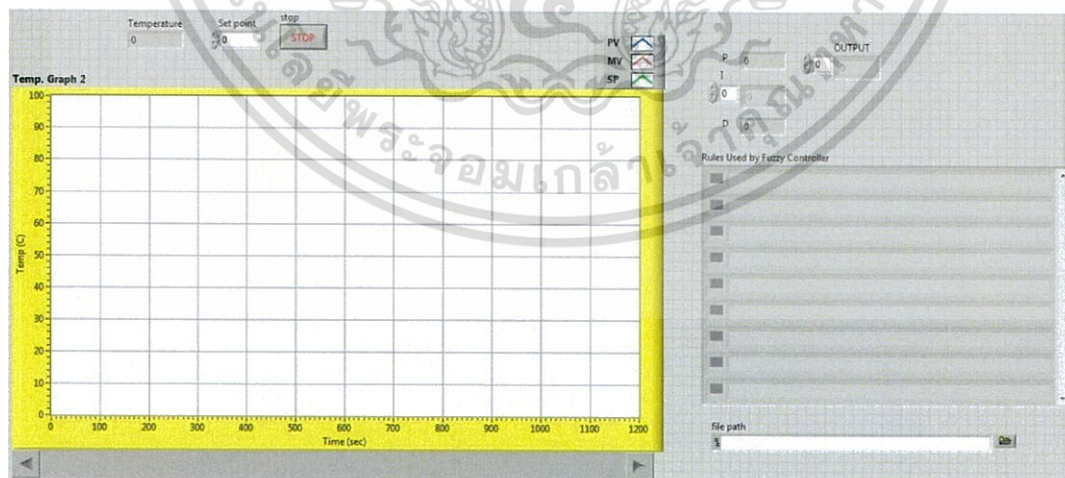
$$K_d = GU * GCE$$

เมื่อกำหนดค่า GE=25 เป็นค่าคงที่ของช่วงเซตทางอินพุตของกระบวนการ จะได้ค่าดังนี้

$$GCE = GE * (K_p - \sqrt{K_p^2 - 4 * K_i * K_d}) / 2 / K_i = 1.42$$

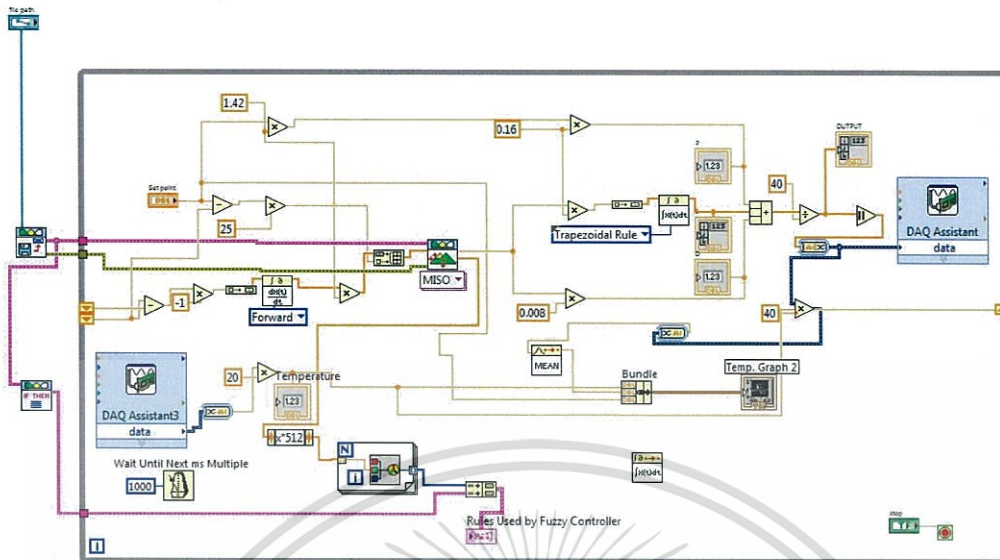
$$GCU = K_i / GE = 0.16$$

$$GU = K_d / GCE = 0.008$$



รูปที่ 4.10 แสดงแสดงหน้าต่างพาดู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 แสดงโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการด้วยตัวควบคุม Fuzzy-PID

จากรูปที่ 4.11 แสดงโปรแกรม LabVIEW ที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการทั้งในสภาวะมีโหลด และในสภาวะไม่มีโหลด ด้วยตัวควบคุมแบบ Fuzzy-PID และทำการบันทึกผลการทดลองในรูปแบบของกราฟอุณหภูมิกับเวลา เพื่อนำไปพิจารณาเปรียบเทียบกับผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบ PID

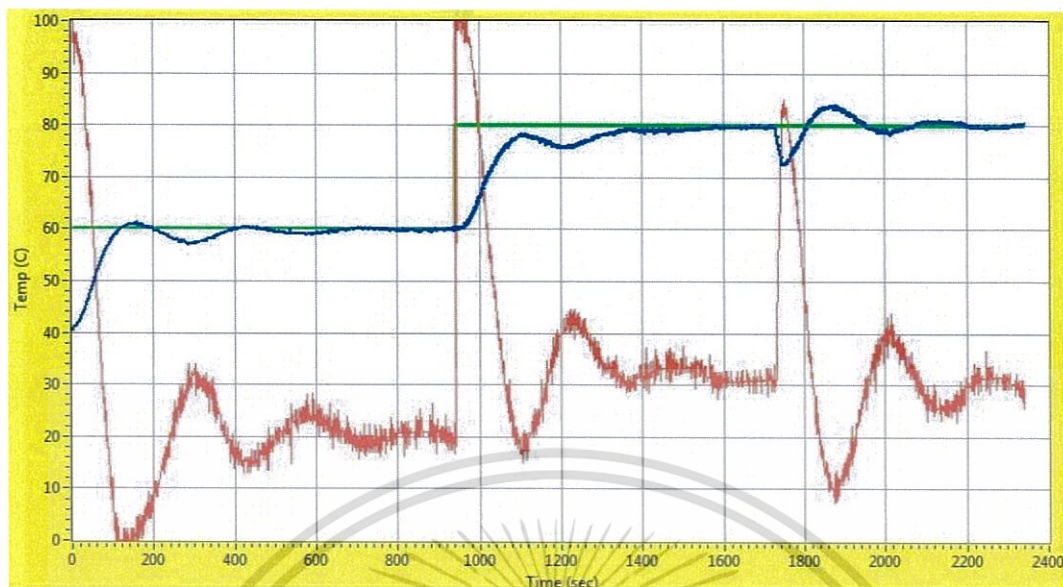
4.5 ผลการทดลอง

การทดลองควบคุมกระบวนการจริง โดยใช้ตัวควบคุมแบบ PID และตัวควบคุมแบบ Fuzzy-PID มาทำการควบคุมอุณหภูมิในกระบวนการเตาอบขนาดเล็ก ซึ่งมีการทดลองควบคุมกระบวนการทั้งในสภาวะ มีโหลด และไม่มีโหลดแสดงได้ดังนี้

4.5.1 การควบคุมกระบวนการในสภาวะไม่มีโหลด

4.5.1.1 การควบคุมกระบวนการในสภาวะไม่มีโหลดด้วยตัวควบคุม PID

การนำพารามิเตอร์สำหรับตัวควบคุมแบบ PID มาใช้ควบคุมอุณหภูมิในกระบวนการเตาอบขนาดเล็ก โดยกำหนดค่าเป้าหมายที่อุณหภูมิ 60 °C และ 80 °C ผลตอบสนองแสดงได้ดังรูปที่ 4.12

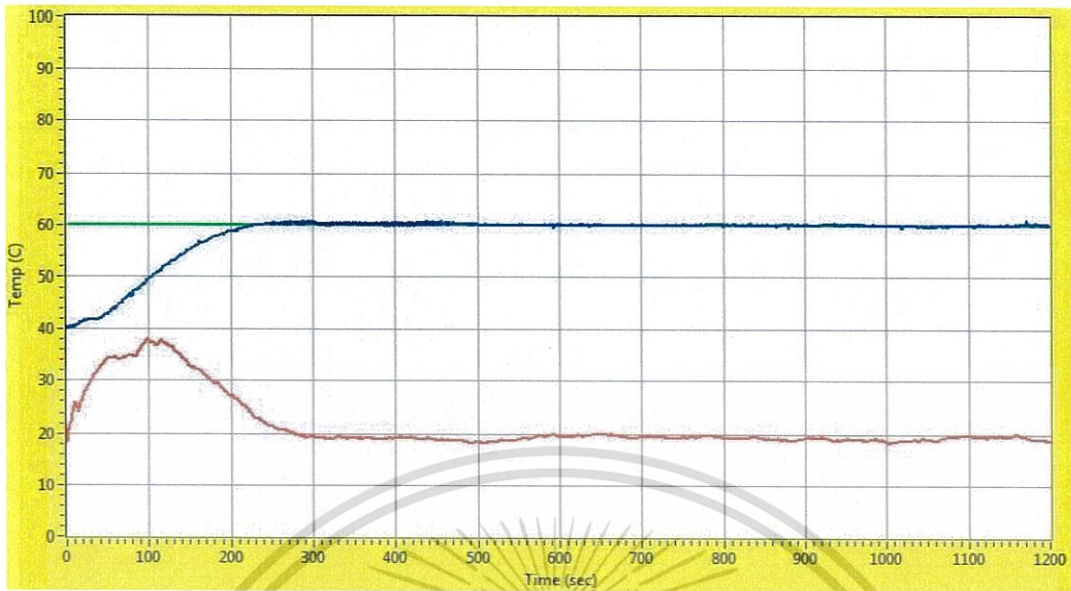


รูปที่ 4.12 แสดงผลตอบสนองของตัวควบคุม PID

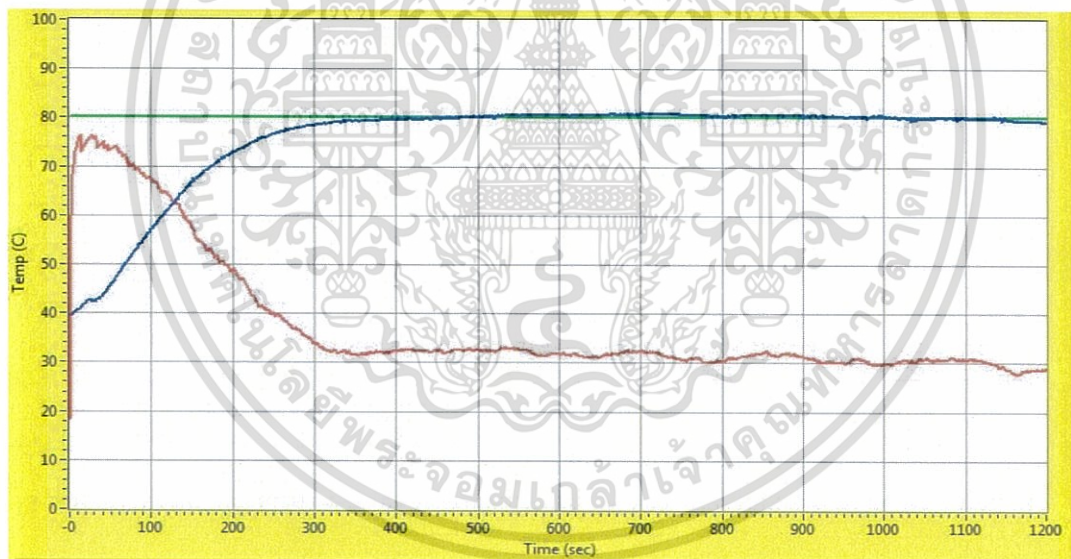
การทดลองควบคุมอุณหภูมิที่ 60 °C และ 80 °C ผลตอบสนองของตัวควบคุมที่มีค่าใกล้เคียงกับค่าเป้าหมาย (SP) มาก และที่สภาวะคงที่ของระบบ (Settling Time = 600 sec) ผลตอบสนองของกระบวนการ สามารถเข้าสู่ค่าเป้าหมาย (SP) โดยไม่เกิดการแกว่ง และไม่เกิดค่าความคลาดเคลื่อน แสดงให้เห็นว่าตัวควบคุมสามารถควบคุมกระบวนการได้ตามที่ต้องการ

4.5.1.2 การควบคุมกระบวนการในสถานะไม่มีโหลดด้วยตัวควบคุม Fuzzy-PID

การทดลองควบคุมอุณหภูมิในกระบวนการเตาอบขนาดเล็ก ด้วยตัวควบคุมแบบ Fuzzy-PID โดยกำหนดค่าเป้าหมายที่อุณหภูมิ 60 °C และ 80 °C ผลตอบสนองแสดงได้ดังรูปที่ 4.13 และ รูปที่ 4.14



รูปที่ 4.13 แสดงผลตอบสนองของตัวควบคุม Fuzzy-PID เมื่อกำหนดค่าเป้าหมายอุณหภูมิ 60 °C



รูปที่ 4.14 แสดงผลตอบสนองของตัวควบคุม Fuzzy-PID เมื่อกำหนดค่าเป้าหมายอุณหภูมิ 80 °C

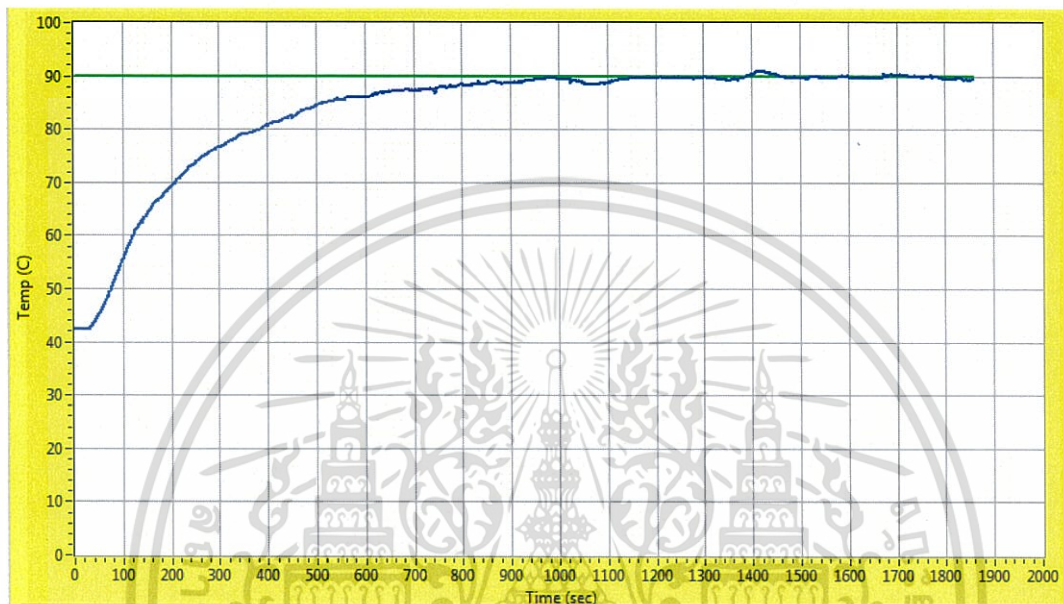
4.5.2 การควบคุมกระบวนการในสภาวะมีโหลด

การทดลองควบคุมกระบวนการจริงในภาวะมีโหลด โดยนำภาชนะใส่น้ำปริมาตร 0.5 ลิตร ใส่ไว้ในเตาอบ จากนั้นทดลองควบคุมกระบวนการด้วยตัวควบคุมแบบ PID และตัวควบคุมแบบ Fuzzy-PID กำหนดค่าเป้าหมายที่อุณหภูมิ 90 °C และ 100 °C และที่อุณหภูมิ 100 °C มีการนำไข่ไก่ใส่ลงไปในน้ำ เพื่อทดสอบการตอบสนองของอุณหภูมิต่อความสุกของไข่ในระดับต่างๆ

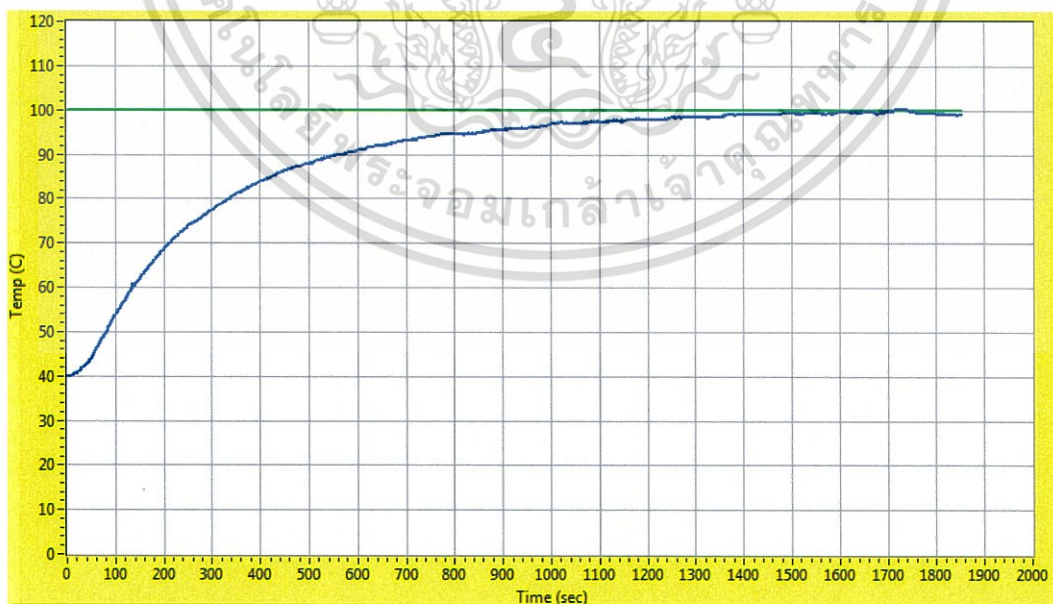
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2.1 การควบคุมกระบวนการในสภาวะมีโหลดด้วยตัวควบคุม PID

การทดลองนำพารามิเตอร์สำหรับตัวควบคุมแบบ PID มาใช้ควบคุมอุณหภูมิในกระบวนการเตาอบขนาดเล็ก โดยกำหนดค่าเป้าหมายที่อุณหภูมิ 90 °C และ 100 °C ผลตอบสนองแสดงได้ดังรูปที่ 4.15 และ รูปที่ 4.16 ตามลำดับ



รูปที่ 4.15 แสดงผลตอบสนองของตัวควบคุม PID เมื่อกำหนดค่าเป้าหมายอุณหภูมิ 90 °C

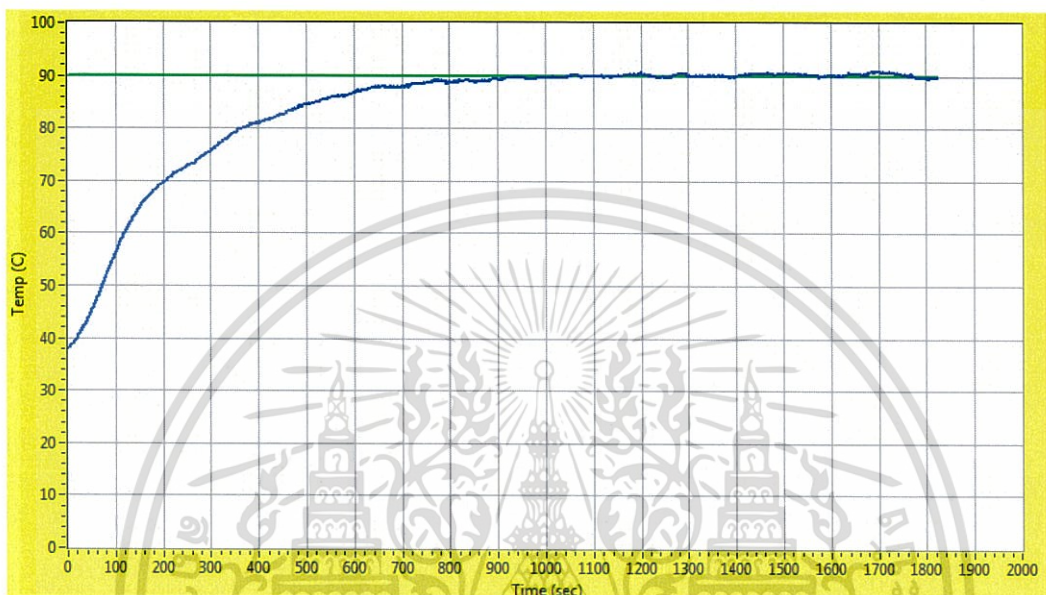


รูปที่ 4.16 แสดงผลตอบสนองของตัวควบคุม PID เมื่อกำหนดค่าเป้าหมายอุณหภูมิ 100 °C

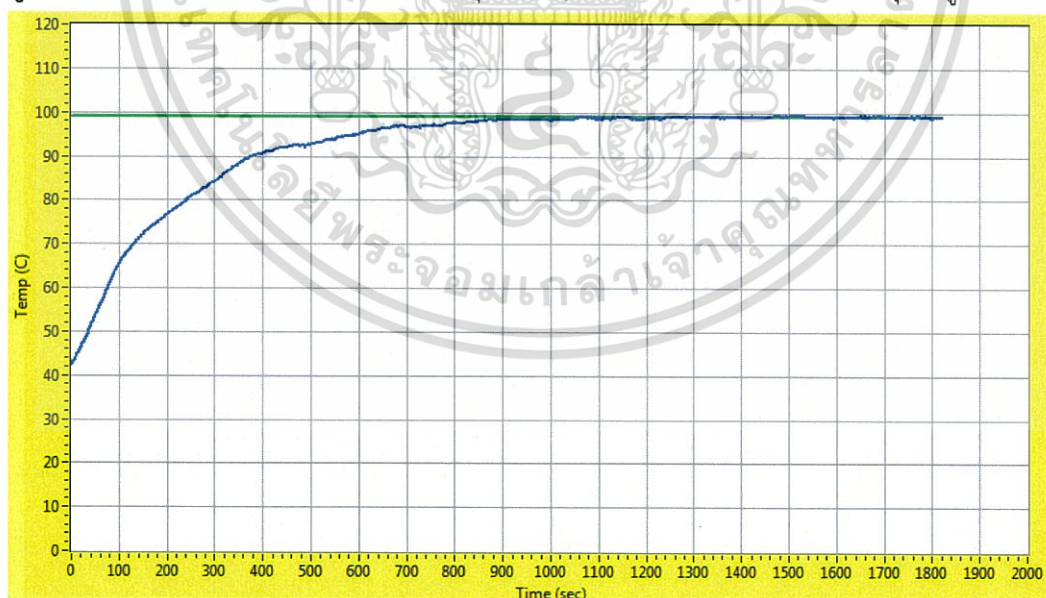
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2.2 การควบคุมกระบวนการในสถานะมีโพลด์ด้วยตัวควบคุม Fuzzy-PID

การทดลองควบคุมอุณหภูมิในกระบวนการเตาอบขนาดเล็ก ด้วยตัวควบคุมแบบ Fuzzy-PID โดยกำหนดค่าเป้าหมายที่อุณหภูมิ 90 °C และ 100 °C ผลตอบสนองแสดงได้ดังรูปที่ 4.17 และ รูปที่ 4.18



รูปที่ 4.17 แสดงผลตอบสนองของตัวควบคุม Fuzzy-PID เมื่อกำหนดค่าเป้าหมายอุณหภูมิ 90 °C

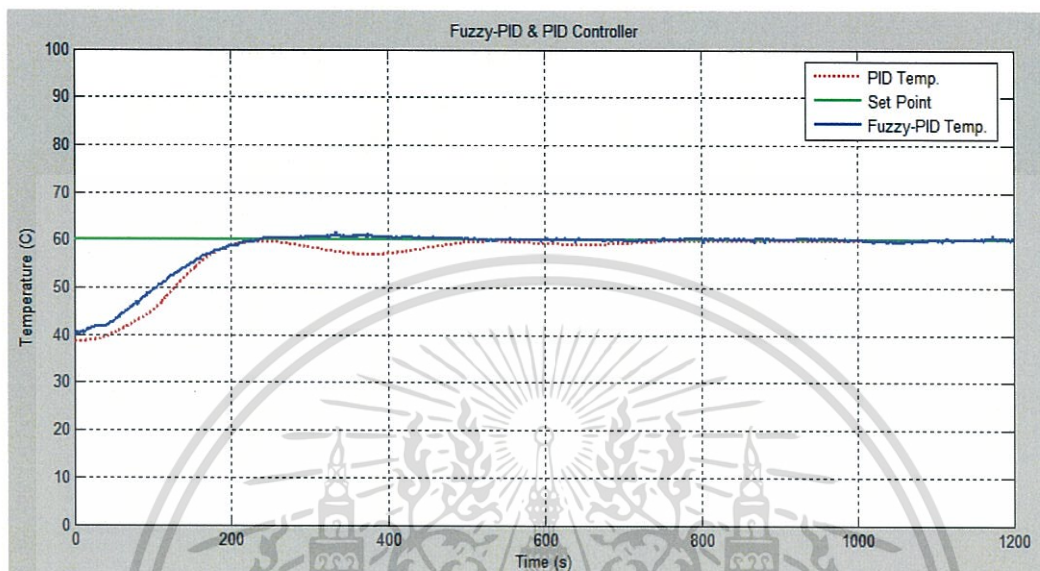


รูปที่ 4.18 แสดงผลตอบสนองของตัวควบคุม Fuzzy-PID เมื่อกำหนดค่าเป้าหมายอุณหภูมิ 100 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 เปรียบเทียบผลการทดลอง

4.6.1 การเปรียบเทียบผลการทดลองการควบคุมกระบวนการในสถานะไม่มีโหลด

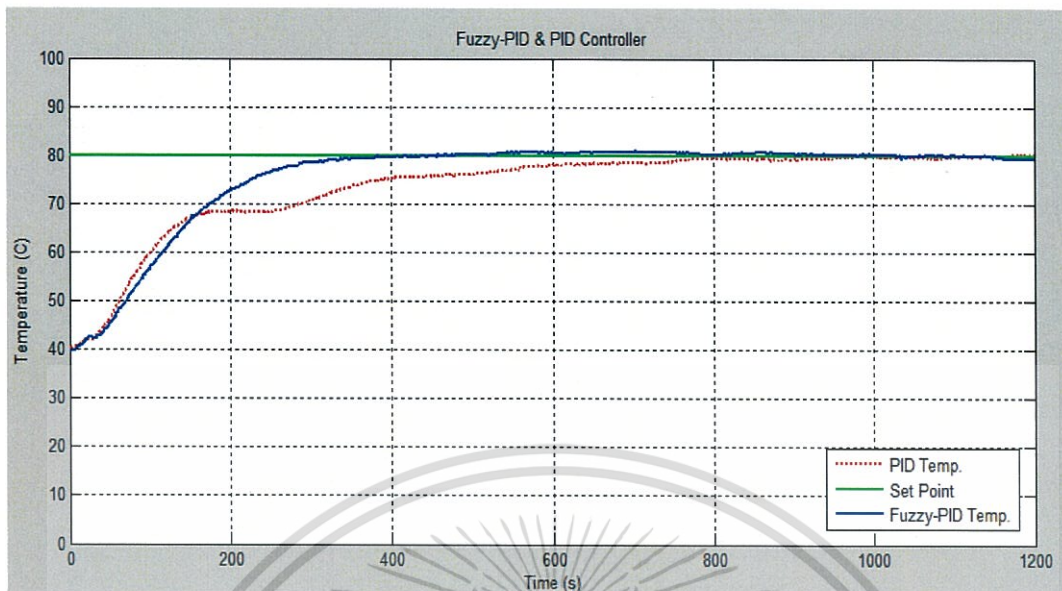


รูปที่ 4.19 แสดงผลตอบสนองของตัวควบคุม PID เปรียบเทียบกับผลตอบสนองของตัวควบคุม Fuzzy-PID เมื่อกำหนดค่าเป้าหมายอุณหภูมิ 60 °C ในสถานะไม่มีโหลด

จากกราฟในรูปที่ 4.19 แสดงผลตอบสนองของตัวควบคุม PID เปรียบเทียบกับผลตอบสนองของตัวควบคุม Fuzzy-PID เมื่อกำหนดค่าเป้าหมายอุณหภูมิ 60 °C พบว่าผลตอบสนองของตัวควบคุม Fuzzy-PID ให้ผลตอบสนองในช่วงเวลาไต่ขึ้น (Rise Time) ช้ากว่าตัวควบคุม PID แต่ไม่มีค่าพุ่งเกิน (Overshoot) และค่าเวลาเข้าที่ (Settling Time) เร็วกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบ PID ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบควบคุมแสดงได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบควบคุมที่อุณหภูมิ 60 °C ในสถานะไม่มีโหลด

ชนิดของตัวควบคุม	Maximum Overshoot (%)	Settling Time (sec)
PID	5	600
Fuzzy-PID	0	240



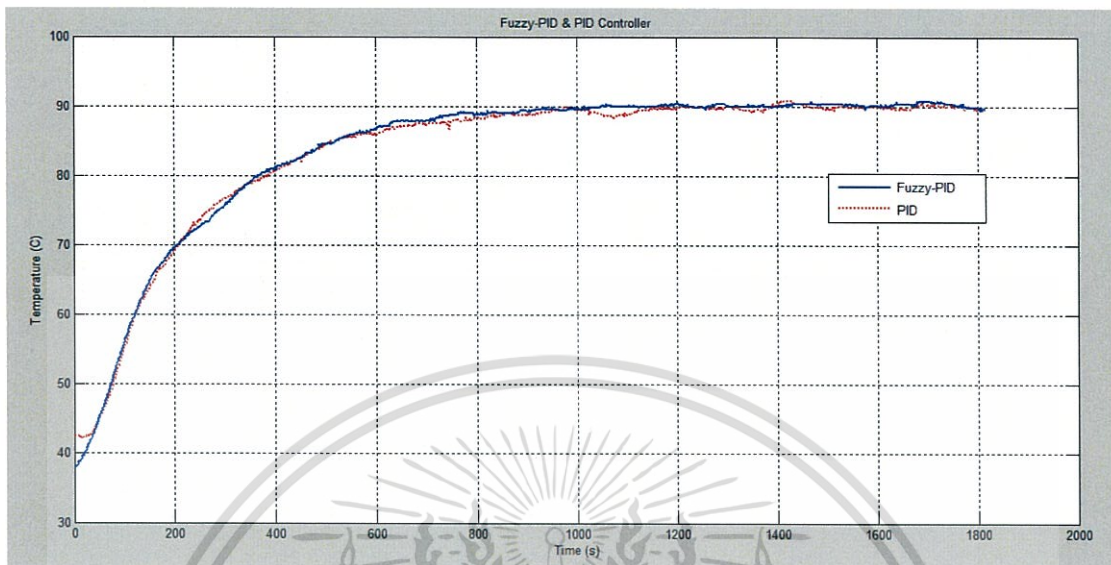
รูปที่ 4.20 แสดงผลตอบสนองของตัวควบคุม PID เปรียบเทียบกับผลตอบสนองของตัวควบคุม Fuzzy-PID เมื่อกำหนดค่าเป้าหมายอุณหภูมิ 80 °C ในสภาวะไม่มีโหลด

จากกราฟในรูปที่ 4.20 แสดงผลตอบสนองของตัวควบคุม PID เปรียบเทียบกับผลตอบสนองของตัวควบคุม Fuzzy-PID เมื่อกำหนดค่าเป้าหมายอุณหภูมิ 80 °C พบว่าผลตอบสนองของตัวควบคุม Fuzzy-PID มีลักษณะเช่นเดียวกับเมื่อกำหนดค่าเป้าหมายอุณหภูมิ 60 °C คือให้ผลตอบสนองในช่วงเวลาไต่ขึ้น (Rise Time) ช้ากว่าตัวควบคุม PID แต่ไม่มีค่าพุ่งเกิน (Overshoot) และค่าเวลาเข้าที่ (Settling Time) เร็วกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับผลตอบสนองของตัวควบคุมกระบวนการแบบPID ซึ่งผลของการเปรียบเทียบ สมรรถนะของระบบควบคุมแสดงได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบควบคุมที่อุณหภูมิ 80 °C ในสภาวะไม่มีโหลด

ชนิดของตัวควบคุม	Maximum Overshoot (%)	Settling Time (sec)
PID	5	600
Fuzzy-PID	0	380

4.6.2 การเปรียบเทียบผลการทดลองการควบคุมกระบวนการในสภาวะมีโหลด

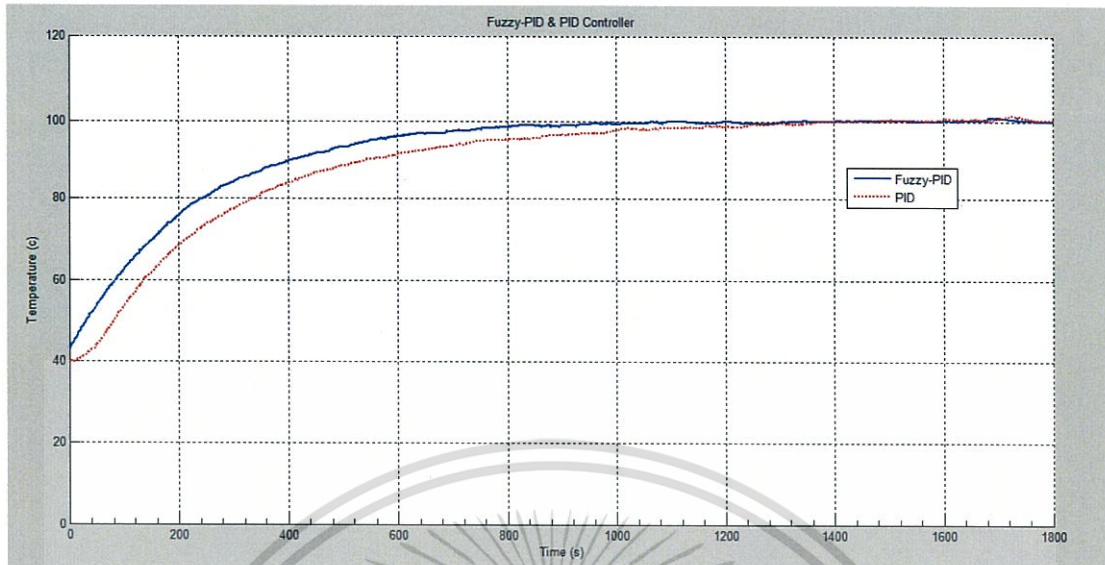


รูปที่ 4.21 แสดงผลตอบสนองของตัวควบคุม PID เปรียบเทียบกับผลตอบสนองของตัวควบคุม Fuzzy-PID เมื่อกำหนดค่าเป้าหมายอุณหภูมิ 90 °C ในสภาวะมีโหลด

จากกราฟในรูปที่ 4.21 แสดงผลตอบสนองของตัวควบคุม PID เปรียบเทียบกับผลตอบสนองของตัวควบคุม Fuzzy-PID เมื่อกำหนดค่าเป้าหมายอุณหภูมิ 90 °C พบว่าผลตอบสนองของตัวควบคุม Fuzzy-PID ให้ผลตอบสนองในช่วงเวลาไต่ขึ้น (Rise Time) ช้ากว่าตัวควบคุม PID แต่ไม่มีค่าพุ่งเกิน (Overshoot) และ ค่าเวลาเข้าที่ (Settling Time) เร็วกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบ PID ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบควบคุมแสดงได้ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบควบคุมที่อุณหภูมิ 90 °C ในสภาวะมีโหลด

ชนิดของตัวควบคุม	Maximum Overshoot (%)	Settling Time (sec)
PID	1	1500
Fuzzy-PID	0	900



รูปที่ 4.22 แสดงผลตอบสนองของตัวควบคุม PID เปรียบเทียบกับผลตอบสนองของตัวควบคุม Fuzzy-PID เมื่อกำหนดค่าเป้าหมายอุณหภูมิ 100 °C ในสภาวะมีโหลด




จากกราฟในรูปที่ 4.22 แสดงผลตอบสนองของตัวควบคุม PID เปรียบเทียบกับผลตอบสนองของตัวควบคุม Fuzzy-PID เมื่อกำหนดค่าเป้าหมายอุณหภูมิ 100 °C พบว่าผลตอบสนองของตัวควบคุม Fuzzy-PID ให้ผลตอบสนองค่าเวลาเข้าที่ (Settling Time) เร็วกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบ PID ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบควบคุมแสดงได้ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบควบคุมที่อุณหภูมิ 100 °C ในสภาวะมีโหลด

ชนิดของตัวควบคุม	Maximum Overshoot (%)	Settling Time (sec)
PID	0	1300
Fuzzy-PID	0	890

นอกจากนี้ในสภาวะมีโหลดที่ระดับอุณหภูมิ 100 °C มีการนำไขไก่ใส่ลงไปเป็นโหลดเพื่อทดสอบการตอบสนองของอุณหภูมิต่อความสูงของไขในระดับต่างๆ แสดงได้ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบควบคุมต่อความสุขของไข่ไก่ที่อุณหภูมิ
100 °C

ระดับความสุขของไข่ไก่	ระยะเวลาที่ใช้ในการควบคุม (นาที)	
	ตัวควบคุม PID	ตัวควบคุม Fuzzy-PID
	8.00	6.10
	12.10	10.20
	15.20	12.15

4.7 สรุป

สำหรับในบทที่ 4 เป็นการดำเนินการออกแบบกระบวนการ และทดลองควบคุมกระบวนการ โดยใช้ตัวควบคุมแบบ PID และแบบ Fuzzy-PID พบว่าตัวควบคุมทั้งสองแบบ สามารถควบคุมกระบวนการเข้าสู่ ค่าเป้าหมายโดยไม่เกิดการแกว่ง และไม่เกิดค่าความคลาดเคลื่อน แสดงให้เห็นว่าตัวควบคุมทั้งสองสามารถควบคุมกระบวนการได้ตามที่ต้องการ แต่ตัวควบคุมแบบ Fuzzy-PID มีความไวในการเข้าสู่ภาวะคงที่ได้ดี และเร็ว ทั้งยังไม่เกิดค่าพุ่งเกิน(Overshoot) จึงสรุปได้ว่าตัวควบคุมแบบ Fuzzy-PID มีสมรรถนะ และประสิทธิภาพเหมาะสมกับการควบคุมกระบวนการได้ดีกว่าตัวควบคุมแบบ PID

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอ วิธีการออกแบบตัวควบคุมอุณหภูมิแบบพีซี-พีไอดี เพื่อใช้สำหรับควบคุม กระบวนการเตาอบขนาดเล็ก โดยการออกแบบตัวควบคุมกระบวนการแบ่งเป็น 2 ช่วง คือ การออกแบบ ตัวควบคุมแบบพีไอดีด้วยวิธีการทดลองแบบลูบเปิดตามทฤษฎีของ Ziegler-Nichols ในการหาค่าพารามิเตอร์ของพีไอดีที่เหมาะสมกับกระบวนการ ส่วนการออกแบบตัวควบคุมแบบพีซี-พีไอดี จะใช้ความสัมพันธ์ ระหว่างฟังก์ชันความเป็นสมาชิกทางด้านอินพุท และฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเอาต์พุท ที่สอดคล้องกับค่าพารามิเตอร์พีไอดี ในการกำหนดหน่วยกฎการควบคุม โดยมีการกำหนด หน่วยดีฟัซซิฟิเคชันด้วยวิธีการหาค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก หรือวิธีค่าพื้นที่กลาง (CoA) ซึ่งเป็นวิธีการหาค่าเอาต์พุทที่เหมาะสม เพื่อเป็นตัวแทนของพีซีเอาต์พุทในการควบคุมกระบวนการ

ในการทดลองควบคุมกระบวนการ ด้วยตัวควบคุมแบบพีไอดี และตัวควบคุมแบบพีซี-พีไอดี พบว่าได้ผลเป็นที่น่าพอใจ ตัวควบคุมทั้งสอง สามารถควบคุมกระบวนการให้เป็นไปตามค่าเป้าหมายได้อย่างถูกต้อง ตามข้อกำหนดของกระบวนการ แม้ค่าเป้าหมายจะเปลี่ยนไปตัวควบคุมก็ยังสามารถควบคุมอุณหภูมิไปสู่ค่าเป้าหมายได้อย่างถูกต้อง โดยไม่เกิดค่าความคลาดเคลื่อน แต่ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบพีซี-พีไอดี มีความไวในการเข้าสู่สภาวะคงที่ได้ดีและเร็ว ทั้งยังพบว่าไม่เกิดค่าพุ่งเกิน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตัวควบคุมแบบ พีซี-พีไอดี มีสมรรถนะ และประสิทธิภาพที่ดี เหมาะสมกับการควบคุมกระบวนการได้ดีกว่าตัวควบคุมแบบพีไอดี สำหรับกระบวนการที่ทำการทดลอง

5.2 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

สำหรับกระบวนการที่ทำการทดลอง ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับกระบวนการที่ต้องการควบคุมอุณหภูมิคงที่ เป็นเวลานานได้ตามความต้องการ เช่น การอบฆ่าเชื้อของอุปกรณ์ทางการแพทย์ การอบสมุนไพร การอบฆ่าเชื้อทาลายแบคทีเรียในอุตสาหกรรมอาหาร การควบคุมอุณหภูมิสำหรับตู้ฟักไข่ เป็นต้น

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. การปรับค่าแรงดันไฟฟ้าในการเชื่อมต่อ ระหว่างกระบวนการเตาอบกับ DAQ USB-6008 ควรตรวจสอบให้มีค่าแรงดันไฟฟ้าที่เท่ากัน หากเกิดความผิดพลาดจะทำให้ระบบเกิดความเสียหายได้
2. การปรับค่า span และ zero ของ RTD Transmitter ควรกระทำ ณ ที่อุณหภูมิคงที่ ก่อนที่จะใช้ทำการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ตัวควบคุมแบบฟuzzy จะใช้หลักของความเป็นเหตุผลในเชิงตรรกะ ไม่จำเป็นต้องใช้สมการทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนในการออกแบบตัวควบคุม แต่ผู้ออกแบบจะต้องมีประสบการณ์ในการใช้งานระบบนั้น จึงจะสามารถออกแบบตัวควบคุมที่นำไปควบคุมกระบวนการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4. การกำหนดขอบเขตของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกทั้งทางด้านอินพุต และทางด้านเอาต์พุต ควรจะมีการกำหนดขอบเขต และจำนวนที่เหมาะสม ครอบคลุมช่วงที่ต้องการทำการควบคุม เพื่อให้การควบคุมกระบวนการเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

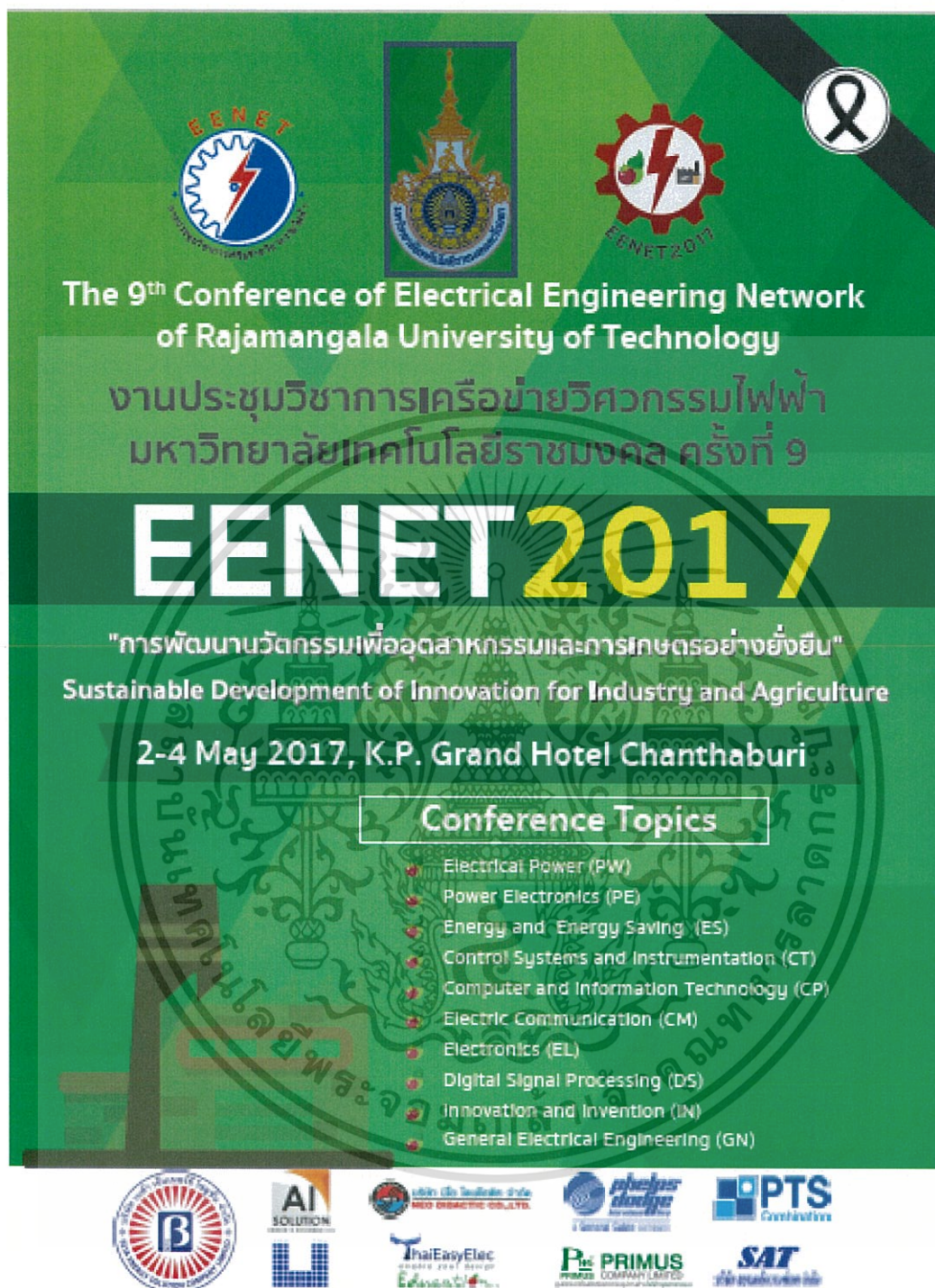
เอกสารอ้างอิง

- [1] J.G.Ziegler and N.B.Nichols,“Optimum Settings for Automatic Controller”, **ASME Trans**,Vol. 64,1942,pp. 759-768.
- [2] L.A. Zadeh, “Fuzzy sets. Information Control”, Vol. 8, June, pp.338-353.
- [3] Lord, H. A., “Thermal and stress analysis of semiconductor wafers in a rapid thermal processing oven”,**IEEE**, Vol. 1, No. 3, pp. 105-114.
- [4] Wonhui Cho.,“Temperature control and modeling of the rapid thermal processing chamber”.**PhD Dissertation, University of Texas at Austin**,pp. 1-264.
- [5] Wonhui Cho.,Thomas F. Edgar and Jietae Lee., “Closed loop identification of wafer temperature dynamics in a rapid thermal process”.**Korean J. Chem. Eng.**, Vol. 23, No.2, pp. 171-175.
- [6] Yeo, Y.K., Kwon, T. I. and Lee, K. W.,“ An energy effective PID tuning method for the control of polybutadiene latex reactor based on closed-loop identification”, **Korean J.Chem. Eng.**, Vol. 21, No. 5, pp. 935-941.
- [7] Lin, C. A. and Jan, Y. K., “Control system design for a rapid thermal processing system”. **IEEE Transactions on Control System Technology**, Vol. 9, pp. 122-129.
- [8] Choi, J.Y., Do, H. M. and Choi, H. S., “Adaptive control approach of rapid thermal processing”. **IEEE**, Vol.16, pp. 621-632.
- [9] Stephen, A. Norman, “Optimization of wafer temperature uniformity in rapid thermal processing”. **IEEE Transactions on Electronics Devices**, pp.1-46.
- [10] Abdel-Hamid Attia, Sohair F. Rezek and Ahmed M. Saleh,“ Fuzzy logic control of air-conditioning system in residential buildings”, **Alexandria Engineering Journal** (2015) 54,pp.395-403.
- [11] Sushant NARANG, Sudha RAMASAMY ,“Design of SeH-Tuning Fuzzy Logic Controller”,**Sensors & Transducers**, Vol. 190, Issue 7, July 2015, pp. 63-71.
- [12] Stelian-Emilian Oltean, Mircea DuH1ua,“Design and simulation of fuzzy logic based temperature control for a plasma nitriding process”,**Procedia Technology** 19, 20 15, pp 569- 575

- [13] Dou Zhenhai and Sun Lianyun, "Design of Temperature Controller for Heating Furnace in Oil Field", *Physics Procedia* **24**,2012,pp 2083-2088.
- [14] B.S.K.K.Ibrahim and N .Aziah.M.A "Fuzzy-based Temperature and Humidity Control for HVAC of Electric Vehicle", *International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors 2012*,pp 904- 910.
- [15] Ying Wu, Hang Jiang and Min Zou, "The Research on Fuzzy PID Control of the Permanent Magnet Linear Synchronous Motor", *Physics Procedia* **24**,2012,pp1311 – 1318.
- [16] Cbunhua Dua, Sbaoke Cbenb and Xiaoming Lianga, "Application of. Fuzzy Theory in Temperature Control System of Thermoforming Machine", *Procedi Engineering* **15**,2011,pp639- 643.
- [17] Wei Jiang and Xuchu Jiangb, "Design of an Intelligent Temperature Control System Based on the Fuzzy Self-tuning PID", *Procedia Engineering* **43** ,2012,pp307- 311.
- [18] QIU, Wangbiao; QIU, Zhiyuan. "Design for temp-humidity control system of tobacco parching house based on Fuzzy-PID control. In: Mechatronics and Automation", *Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on. IEEE*,2006. p. 2229-2234.
- [19] XIE, Zhiying, et al. "Application of fuzzy PID on the control of coke oven gas collector pressure". In: Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet), 2013 3rd *International Conference on. IEEE*, 2013. p. 155-157.
- [20] HUANG, Jiangping; CHEN, Kaihua; YU, Qianjin., "Fuzzy PID control study and simulation of gas collector pressure of coke ovens". In: Electronic and Mechanical Engineering and Information Technology (EMEIT), 2011 *International Conference on. IEEE*, 2011. p. 169-172.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



The 9th Conference of Electrical Engineering Network
of Rajamangala University of Technology

งานประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 9


EENET 2017

"การพัฒนานวัตกรรมเพื่ออุตสาหกรรมและการเกษตรอย่างยั่งยืน"
Sustainable Development of Innovation for Industry and Agriculture

2-4 May 2017, K.P. Grand Hotel Chanthaburi

Conference Topics

- Electrical Power (PW)
- Power Electronics (PE)
- Energy and Energy Saving (ES)
- Control Systems and Instrumentation (CT)
- Computer and Information Technology (CP)
- Electric Communication (CM)
- Electronics (EL)
- Digital Signal Processing (DS)
- Innovation and Invention (IN)
- General Electrical Engineering (GN)



Logos of sponsors and partners including: B, AI SOLUTION, U, ThaiEasyElec, P: PRIMUS COMPANY LIMITED, SAT, and others.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

Proceedings of the 9th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2017 (EENET 2017)

การออกแบบตัวควบคุมอุณหภูมิแบบฟัซซี่-พีไอดี สำหรับเตาอบขนาดเล็ก
Design of Temperature Fuzzy-PID Controller for Small Oven

ชูศักดิ์ เข็มมอร์¹ อาจินต์ นวมสารัญ¹ และ วิทยา ทิพย์สุวรรณพร¹

^{1,2,3}สาขาวิศวกรรมการควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เขตที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 ถนนฉลองกรุง แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร โทรศัพท 0-2329-8321
E-mail: echenamchon@gmail.com¹, knarjin@kmitl.ac.th¹



บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอ การออกแบบตัวควบคุมอุณหภูมิแบบ
ฟัซซี่-พีไอดี เพื่อควบคุมกระบวนการเตาอบขนาดเล็ก สำหรับการ
ออกแบบตัวควบคุมพีไอดี ใช้ทฤษฎีของ Ziegler-Nichols ในการหา
ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม ส่วนการออกแบบตัวควบคุมแบบฟัซซี่-
พีไอดี จะใช้ความสัมพันธ์ระหว่างฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุต
และฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเอาต์พุต เพื่อกำหนดหน่วยการ
ควบคุม ที่สอดคล้องกันกับพารามิเตอร์พีไอดี โดยมีกรณีศึกษาที่
ด้วยวิธีการหาค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก การควบคุมกระบวนการระบบ
คอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม LabVIEW ซึ่งจากผลตอบสนองของตัว
ควบคุมแบบพีไอดี เปรียบเทียบกับผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบ
ฟัซซี่-พีไอดี พบว่าผลตอบสนองของตัวควบคุมทั้งสองเป็นไปตาม
ข้อกำหนดตามความต้องการของผู้ใช้ได้เป็นอย่างดีตามต้องการ
แต่ตัวควบคุมแบบฟัซซี่-พีไอดี ไม่มีคลื่นพุ่งเกิน และค่าความคลาดเคลื่อน
ก็ยังสามารถเข้าสู่สภาวะคงที่ได้เร็วกว่าตัวควบคุมแบบพีไอดี

คำสำคัญ: ตัวควบคุมแบบพีไอดี, ตัวควบคุมแบบฟัซซี่-พีไอดี, อุณหภูมิ
และประสิทธิภาพในการทำงาน

Abstract

This paper presents the design of temperature Fuzzy-PID
controller for small oven. The PID controller is designed by using the
theory of Ziegler-Nichols to find the parameters of the controller. While
the Fuzzy-PID controller is designed by using the relationship between
the membership function of input and output to set the control rules that
are consistent with the PID parameters. The defuzzification is
calculated by center of area (COA) method. The process is run by
LabVIEW program. The comparison between PID controller response
and Fuzzy-PID controller response shows that both controller responses

can reach to the target. However, the response of Fuzzy-PID controller
is better than PID controller.

Keywords: PID Controller, Fuzzy-PID Controller, Temperature and
performance,

1. บทนำ

ระบบควบคุมแบบพีไอดี เป็นที่นิยมใช้ในกระบวนการผลิต
ทางอุตสาหกรรมทั่วไป เนื่องจากสามารถควบคุมกระบวนการได้
อย่างกว้างขวาง ในการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดีโดยใช้
วิธีการปฏิบัติจากระบบการควบคุมทฤษฎีของ Ziegler-Nichols [1] ยังคงใช้
กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ซึ่งมีข้อเสีย คือเกิดค่าพุ่งเกินก่อนที่
ระบบจะเข้าสู่สภาวะคงที่ จึงมีการนำทฤษฎีฟัซซี่ของอิมาอิ้ออกแบบตัว
ควบคุมกระบวนการต่างๆเพื่อลดค่าพุ่งเกินของระบบ เช่น ระบบควบคุม
เครื่องปรับอากาศสำหรับอาคารที่พักอาศัย [2] ระบบควบคุม [3] การ
จำลองควบคุมอุณหภูมิในกระบวนการ Plasma Nitriding [4] และการ
ควบคุมอุณหภูมิในเตาเผาสำหรับอุตสาหกรรมน้ำมัน [5] แต่ใช้เวลา
ก่อนจะทำงานก่อนที่ระบบจะเข้าสู่สภาวะคงที่ เพื่อเป็นการแก้ปัญหา
ที่เกิดขึ้นจึงมีการนำตัวควบคุมแบบฟัซซี่-พีไอดี มาประยุกต์ใช้กับระบบ
ต่างๆเช่น ระบบ HVAC ที่ใช้กับระบบที่พึ่งอุณหภูมิภายนอก [6] ระบบ
ยัมอิเล็กทรอนิกส์ไมโครคอนโทรลเลอร์ [7] ระบบควบคุมอุณหภูมิสำหรับ
เครื่องขึ้นรูปรีนังงาน [8] และการออกแบบจำลองกระบวนการควบคุม
อุณหภูมิผ่านโปรแกรม Matlab [9] ซึ่งเป็นที่ยอมรับของวงการ
เท่านั้นยังมีได้มาควบคุมกระบวนการจริง

ในบทความนี้นำเสนอการออกแบบตัวควบคุมอุณหภูมิแบบ
ฟัซซี่-พีไอดี สำหรับเตาอบขนาดเล็ก โดยใช้โปรแกรม LabVIEW ในการ
ทดลองควบคุมกระบวนการจริง เพื่อพิจารณาผลตอบสนองของ
ตัวควบคุม อันแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการควบคุมกระบวนการ
ของตัวควบคุมแบบพีไอดี เปรียบเทียบกับตัวควบคุมแบบฟัซซี่-พีไอดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

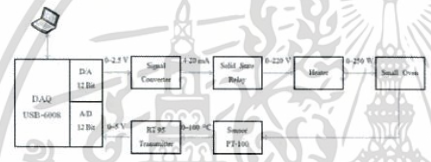
บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 9

Proceedings of the 9th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2017 (EENET 2017)

2. กระบวนการที่ใช้ในการทดลอง

กระบวนการประกอบด้วยส่วนที่เป็นส่วนควบคุม ดังแสดงในรูปที่ 1 และส่วนกระบวนการแสดงในรูปที่ 2 การกำหนดค่าเป้าหมาย กำหนดในโปรแกรม LabVIEW ให้คอนโทรลเลอร์ทำงานสัญญาณ 0 - 2.5 V จะเข้าไปที่ Signal Converter เพื่อแปลงสัญญาณ 0 - 2.5 V เป็น 4 - 20 mA ส่งไปยัง Heater เพื่อจ่ายพลังงานความร้อนให้กับกระบวนการตอบ ตัวทำความร้อนถูกควบคุมโดย Solid State Relay ส่งผลให้อุณหภูมิของกระบวนการเกิดการเปลี่ยนแปลง RTD (PT-100) จะตรวจจับค่าความร้อนในรูปของแรงดันไฟฟ้า เนื่องจากแรงดันที่ไม่เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน จึงต้องนำอุปกรณ์ RTD Transmitter ซึ่งเป็นตัวแปลงสัญญาณที่รับจาก ตัว RTD (PT-100) เพื่อแปลงเป็นสัญญาณมาตรฐาน 0 - 5 V จากนั้นจึงนำสัญญาณที่ได้ส่งไปยังตัวควบคุม สัญญาณจะถูกส่งเข้าไปยังคาร์ท A/D ของ DAQ เพื่อแปลงสัญญาณที่ได้รับจากสัญญาณอนาล็อก ให้อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัล และนำไปประมวลผลต่อไป



รูปที่ 1 ระบบควบคุมกระบวนการตอบ



รูปที่ 2 กระบวนการที่ใช้ในการทดลอง

3. การออกแบบตัวควบคุมพีซี-ฟีดแบ็ค

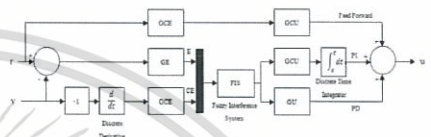
เป็นการนำข้อดีของตัวควบคุมแบบพีซี และตัวควบคุมแบบฟีดแบ็ค มารวมเข้าด้วยกันโดยวิธีการนำค่าพารามิเตอร์ K_p , K_i และ K_d มาทำการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ GE, GU, GCE และ GCU เพื่อเป็นค่าอัตราขยายของตัวควบคุมแบบพีซี-ฟีดแบ็ค จากสมการความสัมพันธ์ดังนี้

$$K_p = GCU * GCE + GU * GE \quad (1)$$

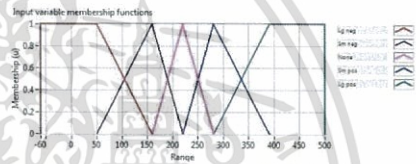
$$K_i = GCU * GE \quad (2)$$

$$K_d = GU * GCE \quad (3)$$

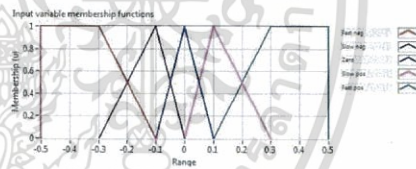
ในการออกแบบระบบควบคุมกระบวนการตอบ จะใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก แบบฟังก์ชันรูปสามเหลี่ยม อินพุตของตัวควบคุมมี 2 ตัว ประกอบด้วยค่าสัญญาณความผิดพลาด (Error) E และค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าสัญญาณความผิดพลาด (Change of Error) CE สำหรับเอาท์พุตของตัวควบคุมกระบวนการ คือ ค่าสัญญาณที่ส่งไปควบคุมอุณหภูมิแสดงในรูปที่ 3



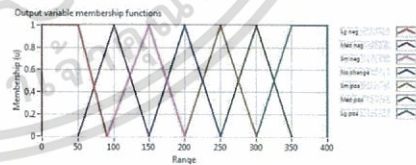
รูปที่ 3 บทถือโคเซแกรมตัวควบคุมพีซี-ฟีดแบ็ค



รูปที่ 4 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกอินพุตค่าความผิดพลาด(Error) E



รูปที่ 5 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุตค่า Change of Error (CE)



รูปที่ 6 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเอาท์พุต

2-4 พฤษภาคม พ.ศ. 2560 โรงแรม เคที แกรนด์ จันทบุรี อำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี

CT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 9

Proceedings of the 9th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2017 (EENET 2017)

CT

รูปที่ 4.5 และ 6 แสดงการออกแบบตัวควบคุมพีซีซี ด้วย PID Control Toolset บนโปรแกรม LabVIEW การออกแบบตัวควบคุมพีซีซี ต้องกำหนดเซตทางอินพุต ออกแบบให้เหมาะสมกับกระบวนการที่สั่งการควบคุม ด้วยการพิจารณาจากค่าสัญญาณความผิดพลาด (Error) E คือ ความแตกต่างระหว่างค่าเป้าหมาย และ ตัวแปรกระบวนการ สำหรับค่าอัตราในการเปลี่ยนแปลงของค่าสัญญาณความผิดพลาด (Change of Error) CE คือค่าอัตราเปลี่ยนแปลงของค่ากระบวนการ โดยกำหนดให้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุตทั้งสอง มีสมาชิก 5 ตัว คือ NB NS ZE PS และ PB ในส่วนฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเอาต์พุต ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณควบคุม กำหนดให้มีสมาชิก 7 ตัว แสดงได้ดังรูปที่ 6

สำหรับกฎการควบคุมของตัวควบคุมพีซีซีที่ใช้ในการควบคุม นั้นจะมีทั้งหมด 25 กฎด้วยกัน โดยแสดงได้ดังตารางที่ 1

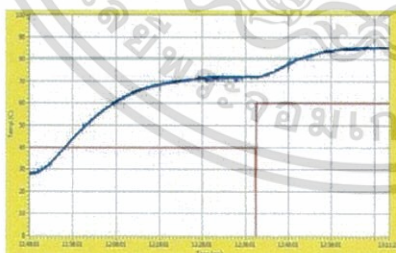
ตารางที่ 1 การกำหนดหน่วยกฎการควบคุม

	E	NB	NS	ZE	PS	PB
DE						
NB		ZE	PS	PM	PB	PB
NS		NS	ZE	PS	PM	PB
ZE		NB	NS	ZE	PS	PB
PS		NB	NM	NS	ZE	PS
PB		NB	NB	NM	NS	ZE

4. ผลการทดลอง

4.1 การหาฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการ

ผลตอบสนองของกระบวนการแบบป้อนกลับ ที่ถูกควบคุมด้วยสัญญาณอินพุตแบบขั้นบันได นั้น ได้โดยการปรับค่าสัญญาณควบคุมไว้ที่ 20% รอจนกระทั่งกระบวนการเข้าสู่สภาวะคงที่ที่ค่าหนึ่งจากนั้นจึงเปลี่ยนค่าสัญญาณควบคุมเป็น 60%

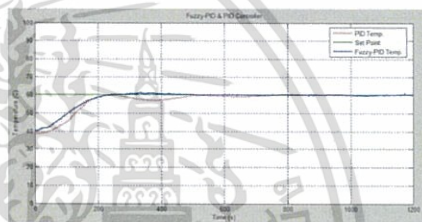


รูปที่ 7 ผลตอบสนองของระบบควบคุมแบบวงเปิด จากผลตอบสนองของกระบวนการ สามารถจำลองฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการได้ดังนี้

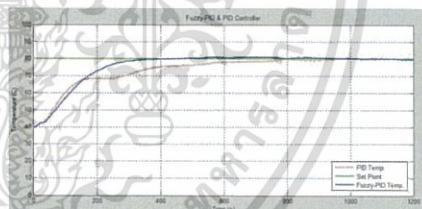
$$G(s) = \frac{26e^{-124.5s}}{457.5s+1} \quad (4)$$

คำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID โดยใช้วิธีการปฏิบัติของกระบวนการ ตามทฤษฎีของ Ziegler-Nichols จะได้ $K_p = 0.175$, $K_i = 4.000$ และ $K_d = 0.01$

4.2 การทดลองควบคุมกระบวนการด้วยตัวควบคุมแบบฟuzzyเปรียบเทียบกับตัวควบคุมแบบพีซีซี-ฟuzzy



รูปที่ 8 ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบฟuzzy เปรียบเทียบกับตัวควบคุมแบบพีซีซี-ฟuzzy เมื่อกำหนดค่าเป้าหมายที่อุณหภูมิ 60 °C



รูปที่ 9 ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบฟuzzy เปรียบเทียบกับตัวควบคุมแบบพีซีซี-ฟuzzy เมื่อกำหนดค่าเป้าหมายที่อุณหภูมิ 80 °C

รูปที่ 8 และ 9 แสดงผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบฟuzzy เปรียบเทียบกับตัวควบคุมแบบพีซีซี-ฟuzzy เมื่อกำหนดค่าเป้าหมายที่อุณหภูมิ 60 °C และ 80 °C พบว่าตัวควบคุมแบบพีซีซี-ฟuzzy มีค่าพ่วงเกินน้อยกว่า และสามารถทำให้ระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ได้เร็วกว่า เมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 9

Proceedings of the 9th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2017 (EENET 2017)

เปรียบเทียบกับตัวควบคุมแบบพีไอดี ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบควบคุมแบบพีไอดีและระบบควบคุมแบบฟัซซี-พีไอดีสำหรับกระบวนการเตาอบแสดงได้ดังตารางที่ 2 และ 3

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบสมรรถนะของระบบควบคุมเมื่อกำหนดค่าเป้าหมายที่อุณหภูมิ 60 °C

ชนิดของตัวควบคุม	Settling Time (sec)
PID	600
Fuzzy-PID	240

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบสมรรถนะของระบบควบคุมเมื่อกำหนดค่าเป้าหมายที่อุณหภูมิ 80 °C

ชนิดของตัวควบคุม	Settling Time (sec)
PID	600
Fuzzy-PID	380

5. สรุป

จากการนำเสนอการควบคุมอุณหภูมิแบบฟัซซี-พีไอดีสำหรับกระบวนการอบขนมเค้ก โดยโปรแกรม LabVIEW ในการออกแบบตัวควบคุม เมื่อทดลองควบคุมกระบวนการด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซี-พีไอดี เปรียบเทียบกับตัวควบคุมแบบพีไอดีพบว่าสามารถควบคุมกระบวนการให้เป็นไปตามค่าเป้าหมายได้อย่างถูกต้องตลอดขั้นตอนของตัวควบคุมแบบฟัซซี-พีไอดี มีความไวในการเข้าสู่สภาวะคงที่ได้ดีและเร็ว ทั้งยังพบว่าไม่เกิดค่าพุ่งเกิน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตัวควบคุมแบบฟัซซี-พีไอดี มีสมรรถนะ และประสิทธิภาพที่ดี เหมาะสมกับการควบคุมกระบวนการได้ดีกว่าตัวควบคุมแบบพีไอดี

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาอนุเคราะห์อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง และคำปรึกษาจากดร.ศ.อานันต์ น่วมสำราญ และ รศ.ดร.วิทยา ทิพย์สุวรรณพร ผู้วิจัยขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] J.G. Ziegler and N.B. Nichols, "Optimum Settings for Automatic Controller", *ASME Trans.*, Vol. 64, 1942, pp. 759-768.

[2] Abdel-Hamid Attia, Sohair F. Rezeka and Ahmed M. Saleh, "Fuzzy logic control of air-conditioning system in residential buildings" *Alexandria Engineering Journal* (2015) 54, pp.395-403.

[3] Sushant NARANG, Sudha RAMASAMY and Prabhu RAMAN-ATHAN, "Design of SeH-Tuning Fuzzy Logic Controller", *Sensors & Transducers*, Vol. 190, Issue 7, July 2015, pp. 63-71.

[4] Stelian-Emilian Oltean, Mirecea DuHua, "Design and simulation of fuzzy logic based temperature control for a plasma nitriding process", *Procedia Technology* 19, 20 15, pp 569- 575.

[5] Dou Zhenhai and Sun Lianyun, "Design of Temperature Controller for Heating Furnace in Oil Field", *Physics Procedia* 24, 2012, pp 2083-2088.

[6] B.S.K.K.Ibrahim and N. Aziah.M.A "Fuzzy-based Temperature and Humidity Control for HVAC of Electric Vehicle", *International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors* 2012, pp 904- 910.

[7] Ying Wu, Hang Jiang and Min Zou, "The Research on Fuzzy PID Control of the Permanent Magnet Linear Synchronous Motor", *Physics Procedia* 24, 20 12, pp1311 - 1318.

[8] Cbunhua Dua, Sbaoke Cbenb and Xiaoming Lianga, "Application of Fuzzy Theory in Temperature Control System of Thermoforming Machine", *Procedia Engineering* 15, 2011, pp639- 643.

[9] Wei Jiang and Xuchu Jiangb, "Design of an Intelligent Temperature Control System Based on the Fuzzy Self-tuning PID", *Procedia Engineering* 43 ,20 12, pp307- 311.



อานันต์ น่วมสำราญ ผู้สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการวัดคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



อานันต์ น่วมสำราญ รองศาสตราจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



วิทยา ทิพย์สุวรรณพร รองศาสตราจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายชูศักดิ์ เจียมจร
วัน เดือน ปีเกิด	18 ธันวาคม 2533 ที่จังหวัดนครนายก
ที่อยู่	139 หมู่ 11 ต.ดงละคร อ.เมือง จ.นครนายก 26000
ประวัติการศึกษา	2556 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการวัดคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปัจจุบัน	วิศวกรเครื่องมือควบคุม ส่วนวิศวกรรมเครื่องมือวัดและควบคุม ฝ่ายวิศวกรรมส่วนกลาง บริษัทพีทีที เมนเทนแนนซ์ แอนด์ เอนจิเนียริง จำกัด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้