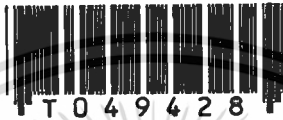


สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบตัวควบคุมนิวโรฟัซซีสำหรับควบคุมกระบวนการ

A DESIGN NEURO-FUZZY CONTROLLER FOR PROCESS CONTROL



ณธรรม เกิดลำอ่างค์

NATHAM KOETSAM-ANG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2546

ISBN 974-324-948-6

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 49428
วัน, เดือน, ปี 20 ก.พ. 2547



เอกสารนี้เป็นเอกสารใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
โดยไม่ได้รับอนุญาต และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากมีการนำไปใช้

A DESIGN NEURO-FUZZY CONTROLLER FOR PROCESS CONTROL



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT THE DEGREE OF
MASTER ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2003

ISBN 974-324-948-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2003

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบตัวควบคุมนิวโรฟัซซีสำหรับควบคุมกระบวนการ
นักศึกษา	นายณรรรม เกิดสำอังก์
รหัสประจำตัว	43061408
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมการวัดคุม
พ.ศ.	2546
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.วิริยะ กองรัตน์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอการออกแบบและสร้างตัวควบคุมแบบนิวโรฟัซซี (Neuro-fuzzy) สำหรับประยุกต์ใช้กับการควบคุมกระบวนการ โดยใช้แบบจำลองของซุจิโน (Sugeno model system) ในการออกแบบสร้างตัวควบคุม ซึ่งการปรับแต่งค่าตัวแปรของฟัซซีในส่วนก่อนเหตุ (Antecedent part) ใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบเกาส์เซียนและในส่วนหลังเหตุ (Consequent part) ใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบซิงเกิลตัน โดยเทคนิคการปรับแต่งค่าตัวแปรของฟัซซีจะใช้เทคนิคการเรียนรู้ที่ได้มาจากโครงข่ายประสาทมาทำการปรับแต่งค่าของตัวแปร ตัวควบคุมที่นำเสนอได้จำลองขึ้นด้วยโปรแกรม Matlab ควบคุมกระบวนการจริงที่ไม่ทราบค่าฟังก์ชันการแปลงของระบบ ในการทดสอบประสิทธิภาพการเรียนรู้ของการปรับแต่งค่าตัวแปรของตัวควบคุมที่นำเสนอได้ใช้การจำลองของ 2 กระบวนการ คือ กระบวนการควบคุมระดับน้ำ และกระบวนการควบคุมอุณหภูมิ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าตัวควบคุมที่นำเสนอนี้มีสมรรถนะที่ดีสามารถควบคุมกระบวนการได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีความคงทนในการควบคุมกระบวนการเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวแปร ค่าเป้าหมายตลอดจนการรบกวนจากภายนอกเมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน รุ่น 3G25A-PIDO1-E และรุ่น E5AK ของบริษัท OMRON

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 แนวคิดที่ใช้และขอบเขตในงานวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนของการศึกษา.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีของฟิชชีลอจิก.....	3
2.1 ฟิชชีเซต.....	3
2.2 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก.....	4
2.3 ตัวดำเนินการฟิชชีเซต.....	7
2.4 ส่วนขยายของฟิชชีเซต.....	8
2.5 ตัวควบคุมฟิชชี.....	8
2.5.1 การฟิชชีพีเคชัน.....	9
2.5.2 ฐานกฎการควบคุมแบบฟิชชี.....	10
2.5.3 การอินเฟอร์เรนซ์แบบฟิชชี.....	11
2.5.4 การดีฟิชชีพีเคชัน.....	12
2.5.4.1 การหาค่าระดับการเป็นสมาชิกสูงสุด.....	12
2.5.4.2 การหาค่ากลางสูงสุด.....	12
2.5.4.3 การหาค่าเฉลี่ยของน้ำหนัก.....	13
2.5.4.4 การหาค่าจุดศูนย์กลางของพื้นที่.....	13
2.6 สรุป.....	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
5.1 การทดลองกับกระบวนการควบคุมระดับน้ำ.....	44
5.1.1 กระบวนการควบคุมระดับน้ำในถังกรณีถังเดียว	44
5.1.2 กระบวนการควบคุมระดับน้ำในถังกรณีสองถัง.....	56
5.2 การทดลองกับกระบวนการควบคุมอุณหภูมิ.....	68
5.3 สรุป.....	75
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	77
6.1 สรุปผลการวิจัย.....	77
6.2 ข้อเสนอแนะ	78
เอกสารอ้างอิง.....	79
ภาคผนวก.....	80
ภาคผนวก ก. กระบวนการที่ใช้ในการทดลอง.....	81
ภาคผนวก ข. MPIBM 3 INTERFACE CARD.....	82
ภาคผนวก ค. วงจรแปลงแรงดันเป็นกระแสไฟฟ้า.....	83
ภาคผนวก ง. ตัวควบคุมแบบพีไอคามาตรฐาน.....	84
ภาคผนวก จ. ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ที่ได้รับการตีพิมพ์.....	87
ประวัติผู้เขียน.....	101

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การตีฟuzzyพีเคชันของระบบควบคุมระดับน้ำในถัง.....	17
4.1 กฎการควบคุมที่ใช้ในกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถัง.....	37
4.2 กฎการควบคุมที่ใช้ในกระบวนการควบคุมอุณหภูมิ.....	38
5.1 การเปรียบเทียบสมรรถนะของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 1 กรณีดังเดี่ยว ด้วยตัวควบคุมนิวโรฟuzzyกับตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐานของบริษัท OMRON 2 รุ่น คือ รุ่น 3G2A5-PID01-E กับ รุ่น E5AK.....	53
5.2 ค่าพารามิเตอร์ส่วนของ Antecedent ของตัวแปรอินพุต e ในกระบวนการควบคุม ระดับของน้ำในถังที่ 1 กรณีดังเดี่ยว.....	54
5.3 ค่าพารามิเตอร์ส่วนของ Antecedent ของตัวแปรอินพุต Δe ในกระบวนการควบคุม ระดับของน้ำในถังที่ 1 กรณีดังเดี่ยว.....	54
5.4 ค่าพารามิเตอร์ส่วนของ Consequent ที่ค่าเป้าหมาย 30 % ในกระบวนการควบคุม ระดับของน้ำในถังที่ 1 กรณีดังเดี่ยว.....	55
5.5 ค่าพารามิเตอร์ส่วนของ Consequent ที่ค่าเป้าหมาย 50 % ในกระบวนการควบคุม ระดับของน้ำในถังที่ 1 กรณีดังเดี่ยว.....	55
5.6 ค่าพารามิเตอร์ส่วนของ Consequent ที่ค่าเป้าหมาย 70 % ในกระบวนการควบคุม ระดับของน้ำในถังที่ 1 กรณีดังเดี่ยว.....	55
5.7 การเปรียบเทียบสมรรถนะของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถัง ด้วยตัวควบคุมนิวโรฟuzzyกับตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐานของบริษัท OMRON 2 รุ่น คือ รุ่น 3G2A5-PID01-E กับ รุ่น E5AK.....	65
5.8 ค่าพารามิเตอร์ส่วนของ Antecedent ของตัวแปรอินพุต e ในกระบวนการควบคุม ระดับของน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถัง.....	66
5.9 ค่าพารามิเตอร์ส่วนของ Antecedent ของตัวแปรอินพุต Δe ในกระบวนการควบคุม ระดับของน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถัง.....	66
5.10 ค่าพารามิเตอร์ส่วนของ Consequent ที่ค่าเป้าหมาย 30 % ในกระบวนการควบคุม ระดับของน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถัง.....	67
5.11 ค่าพารามิเตอร์ส่วนของ Consequent ที่ค่าเป้าหมาย 50 % ในกระบวนการควบคุม ระดับของน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถัง.....	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.12 ค่าพารามิเตอร์ส่วนของ Consequent ที่ค่าเป้าหมาย 70 % ในกระบวนการควบคุม ระดับของน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถัง.....	67
5.13 การเปรียบเทียบสมรรถนะของกระบวนการควบคุมอุณหภูมิด้วยตัวควบคุมนิวโรฟuzzy กับตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน ของบริษัท OMRON รุ่น E5AK.....	73
5.14 ค่าพารามิเตอร์ส่วนของ Antecedent ของตัวแปรอินพุต e ในกระบวนการควบคุมอุณหภูมิ.....	74
5.15 ค่าพารามิเตอร์ส่วนของ Antecedent ของตัวแปรอินพุต Δe ในกระบวนการควบคุมอุณหภูมิ.....	74
5.16 ค่าพารามิเตอร์ส่วนของ Consequent ที่ค่าเป้าหมาย 50 % ในกระบวนการควบคุมอุณหภูมิ.....	75
5.17 ค่าพารามิเตอร์ส่วนของ Consequent ที่ค่าเป้าหมาย 70 % ในกระบวนการควบคุมอุณหภูมิ.....	75



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ฟังก์ชันเซต.....	4
2.2 กราฟฟังก์ชันแสดงความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น.....	5
2.3 กราฟฟังก์ชันแสดงความสัมพันธ์แบบต่างๆ (a) สามเหลี่ยม (x; 20,60,80); (b) สี่เหลี่ยมคางหมู(x; 10,20,60,95); (c) เก้าอี้เขียน(x; 50,20); (d) ระฆัง(x; 20,4,50).....	6
2.4 โครงสร้างพื้นฐานของตัวควบคุมพีชชี.....	9
2.5 การพีชชีพีเคชันแบบเชิงเส้น.....	9
2.6 การอินเฟอเรนซ์แบบพีชชี.....	11
2.7 การดีพีชชีพีเคชัน โดยการหาค่าระดับการเป็นสมาชิกสูงสุด.....	12
2.8 การดีพีชชีพีเคชัน โดยการหาค่ากลางสูงสุด.....	12
2.9 การดีพีชชีพีเคชัน โดยการหาค่าเฉลี่ยของน้ำหนัก.....	13
2.10 การดีพีชชีพีเคชัน โดยการหาค่าจุดศูนย์กลางของพีชชี.....	14
2.11 แผนผังการควบคุมระดับของน้ำในถัง.....	14
2.12 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมระดับน้ำโดยใช้พีชชี.....	15
2.13 เทอมเซตของตัวแปรอินพุต (ก)ERROR และ (ข)dERROR.....	15
2.14 เมตริกซ์ FAM ของระบบควบคุมระดับน้ำในถัง.....	16
2.15 การทำพีชชีพีเคชันของระบบควบคุมระดับน้ำในถัง.....	16
2.16 การอินเฟอเรนซ์ของระบบควบคุมระดับน้ำในถัง.....	17
3.1 โครงสร้างของเซลล์ประสาททางชีววิทยา.....	20
3.2 แบบจำลองนิวโรล 1 หน่วย.....	21
3.3 ฟังก์ชันกระตุ้นชนิดต่างๆ (ก) Threshold (ข) Bipolar Binary (ค) Linear Threshold (ง) Sigmoid (จ) Bipolar Continuous.....	23
3.4 โครงข่ายป้อนไปข้างหน้าแบบชั้นเดียว.....	24
3.5 โครงข่ายที่มีการป้อนกลับแบบชั้นเดียว.....	24
3.6 โครงสร้างนิวโรลเน็ตเวิร์คแบบหลายชั้น.....	25
4.1 ระบบของนิวโรพีชชี.....	30
4.2 ระบบแบบจำลองของ Sugeno	31
4.3 โครงสร้างของตัวควบคุม.....	35
4.4 ฟังก์ชันความสัมพันธ์ของตัวแปรอินพุต e และ Δe	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเอาต์พุตแบบซิงเกิลตันที่ใช้ในกระบวนการควบคุมระดับน้ำ.....	38
4.6 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเอาต์พุตแบบซิงเกิลตันที่ใช้ในกระบวนการควบคุมอุณหภูมิ.....	38
4.7 โครงสร้างของ GUI.....	40
4.8 ผังขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมตัวควบคุม.....	41
4.9 หน้าจอของส่วนการบันทึกผล.....	42
5.1 โครงสร้างการทดลองของกระบวนการควบคุม.....	43
5.2 โครงสร้างการทดลองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 1 กรณีถังเดียว.....	44
5.3 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 1 กรณีถังเดียว ด้วยตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน รุ่น 3G2A5-PID01-E ที่ค่าเป้าหมาย 30 %.....	45
5.4 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 1 กรณีถังเดียว ด้วยตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน รุ่น E5AK ที่ค่าเป้าหมาย 30 %	45
5.5 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 1 กรณีถังเดียว ด้วยตัวควบคุมนิวโรฟuzzyที่ค่าเป้าหมาย 30 %	46
5.6 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกส่วนของ Antecedent และ Consequent หลังจากผ่านกระบวนการ เรียนรู้ที่ค่าเป้าหมาย 30 % ของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 1 กรณีถังเดียว.....	46
5.7 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 1 กรณีถังเดียว ด้วยตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน รุ่น 3G2A5-PID01-E ที่ค่าเป้าหมาย 50 %.....	47
5.8 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 1 กรณีถังเดียว ด้วยตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน รุ่น E5AK ที่ค่าเป้าหมาย 50 %.....	47
5.9 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 1 กรณีถังเดียว ด้วยตัวควบคุมนิวโรฟuzzyที่ค่าเป้าหมาย 50 %.....	47
5.10 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกส่วนของ Antecedent และ Consequent หลังจากผ่านกระบวนการ เรียนรู้ค่าเป้าหมาย 50 % ของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 1 กรณีถังเดียว.....	48
5.11 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 1 กรณีถังเดียว ด้วยตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน รุ่น 3G2A5-PID01-E ที่ค่าเป้าหมาย 70 %.....	48
5.12 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 1 กรณีถังเดียว ด้วยตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน รุ่น E5AK ที่ค่าเป้าหมาย 70 %.....	49
5.13 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 1 กรณีถังเดียว ด้วยตัวควบคุมนิวโรฟuzzyที่ค่าเป้าหมาย 70 %	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาของบริษัทฯ เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ถือว่าผิดกฎหมาย

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.14 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกส่วนของ Antecedent และ Consequent หลังจากผ่านกระบวนการเรียนรู้ที่ค่าเป้าหมาย 70 % ของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 1 กรณีถึงเดียว.....	49
5.15 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 1 กรณีถึงเดียว ด้วยตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน รุ่น 3G2A5-PID01-E ที่ค่าเป้าหมาย 40 % และ Step Change ไปที่ 80 %.....	50
5.16 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 1 กรณีถึงเดียว ด้วยตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน รุ่น E5AK ที่ค่าเป้าหมาย 40 % และ Step Change ไปที่ 80 %.....	50
5.17 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 1 กรณีถึงเดียว ด้วยตัวควบคุมนิวโรฟuzzyที่ค่าเป้าหมาย 40 % และ Step Change ไปที่ 80 %.....	51
5.18 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 1 กรณีถึงเดียว ด้วยตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน รุ่น 3G2A5-PID01-E ที่ค่าเป้าหมาย 70 % Step Change ไปที่ 30 % และ Step Change ไปที่ 50 %.....	51
5.19 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 1 กรณีถึงเดียว ด้วยตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน รุ่น E5AK ที่ค่าเป้าหมาย 70 % Step Change ไปที่ 30 % และ Step Change ไปที่ 50 %.....	52
5.20 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 1 กรณีถึงเดียว ด้วยตัวควบคุมนิวโรฟuzzyที่ค่าเป้าหมาย 70 % Step Change ไปที่ 30 % และ Step Change ไปที่ 50 %.....	52
5.21 โครงสร้างการทดลองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถัง.....	56
5.22 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถัง ด้วยตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน รุ่น 3G2A5-PID01-E ที่ค่าเป้าหมาย 30 %.....	57
5.23 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถัง ด้วยตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน รุ่น E5AK ที่ค่าเป้าหมาย 30 %.....	57
5.24 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถัง ด้วยตัวควบคุมนิวโรฟuzzyที่ค่าเป้าหมาย 30 %.....	58
5.25 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกส่วนของ Antecedent และ Consequent หลังจากผ่านกระบวนการเรียนรู้ที่ค่าเป้าหมาย 30 % ของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถัง.....	58
5.26 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถัง ด้วยตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน รุ่น 3G2A5-PID01-E ที่ค่าเป้าหมาย 50 %.....	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.27 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถัง ด้วยตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน รุ่น E5AK ที่ค่าเป้าหมาย 50 %.....	59
5.28 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถัง ด้วยตัวควบคุม นิวโรฟิชซีที่ค่าเป้าหมาย 50 %	59
5.29 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกส่วนของ Antecedent และ Consequent หลังจากผ่านกระบวนการ เรียนรู้ที่ค่าเป้าหมาย 50 % ของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถัง.....	60
5.30 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถัง ด้วยตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน รุ่น 3G2A5-PID01-E ที่ค่าเป้าหมาย 70 %.....	60
5.31 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถัง ด้วยตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน รุ่น E5AK ที่ค่าเป้าหมาย 70 %.....	61
5.32 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถัง ด้วยตัวควบคุมนิวโรฟิชซีที่ค่าเป้าหมาย 70 %.....	61
5.33 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกส่วนของ Antecedent และ Consequent หลังจากผ่านกระบวนการ เรียนรู้ที่ค่าเป้าหมาย 70 % ของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถัง.....	61
5.34 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถัง ด้วยตัวควบคุม พีไอดีมาตรฐาน รุ่น 3G2A5-PID01-E ที่ค่าเป้าหมาย 100 % และ Step Change ไปที่ 50 %.....	62
5.35 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถัง ด้วยตัวควบคุม พีไอดีมาตรฐาน รุ่น E5AK ที่ค่าเป้าหมาย 100 % และ Step Change ไปที่ 50 %.....	62
5.36 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถัง ด้วยตัวควบคุม นิวโรฟิชซีที่ค่าเป้าหมาย 100 % และ Step Change ไปที่ 50 %.....	63
5.37 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถัง ด้วยตัวควบคุม พีไอดีมาตรฐาน รุ่น 3G2A5-PID01-E ที่ค่าเป้าหมาย 40 % และ Step Change ไปที่ 70 %.....	63
5.38 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถัง ด้วยตัวควบคุม พีไอดีมาตรฐาน รุ่น E5AK ที่ค่าเป้าหมาย 40 % และ Step Change ไปที่ 70 %.....	64
5.39 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถัง ด้วยตัวควบคุม นิวโรฟิชซีที่ค่าเป้าหมาย 40 % และ Step Change ไปที่ 70 %.....	64
5.40 โครงสร้างการทดลองของกระบวนการควบคุมอุณหภูมิ.....	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.41 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมอุณหภูมิด้วยตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐานรุ่น E5AK ที่ค่าเป้าหมาย 50 %.....	69
5.42 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมอุณหภูมิด้วยตัวควบคุมนิวโรฟัซซีที่ค่าเป้าหมาย 50 %.....	69
5.43 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกส่วนของ Antecedent และ Consequent หลังจากผ่านกระบวนการ เรียนรู้ที่ค่าเป้าหมาย 50 % ของกระบวนการควบคุมอุณหภูมิ.....	69
5.44 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมอุณหภูมิ ด้วยตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน รุ่น E5AK ที่ค่าเป้าหมาย 70 %.....	70
5.45 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมอุณหภูมิด้วยตัวควบคุมนิวโรฟัซซีที่ค่าเป้าหมาย 70 %	70
5.46 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกส่วนของ Antecedent และ Consequent หลังจากผ่านกระบวนการ เรียนรู้ที่ค่าเป้าหมาย 70 % ของกระบวนการควบคุมอุณหภูมิ.....	71
5.47 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมอุณหภูมิด้วยตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน รุ่น E5AK ที่ค่าเป้าหมาย 40 % และ Step Change ไปที่ 60 %.....	71
5.48 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมอุณหภูมิด้วยตัวควบคุมนิวโรฟัซซี ที่ค่าเป้าหมาย 40 % และ Step Change ไปที่ 60 %.....	72
5.49 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมอุณหภูมิด้วยตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐานรุ่น E5AK ที่ค่าเป้าหมาย 50 % และ Step Change ไปที่ 70 %.....	72
5.50 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมอุณหภูมิด้วยตัวควบคุมนิวโรฟัซซี ที่ค่าเป้าหมาย 50 % และ Step Change ไปที่ 70 %.....	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันความเจริญก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีทำให้เกิดหลักการและทฤษฎีการควบคุมแบบใหม่ๆ ขึ้นมาอย่างมากมาย โดยมีวัตถุประสงค์ก็เพื่อที่จะลดขั้นตอนและระยะเวลาของการควบคุมกระบวนการ ในภาคอุตสาหกรรมกระบวนการต่างๆ ส่วนมากจะมีความซับซ้อนและไม่เป็นเชิงเส้น มีการรบกวนจากภายนอก และมีการใช้งานในสภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ทำให้การออกแบบของแบบตัวควบคุมโดยใช้วิธีการประมาณค่าโมเดลทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการทำได้ยาก ซึ่งถ้าการประมาณค่าโมเดลทางคณิตศาสตร์ผิดพลาดจะทำให้สมรรถนะในการควบคุมระบบไม่ดี โดยตัวควบคุมแบบพีชซีได้เข้ามามีบทบาทที่สำคัญในเรื่องการควบคุมกระบวนการทางอุตสาหกรรมเนื่องจากมีข้อดีและจุดเด่นหลายประการแต่ปัญหาสำคัญที่พบในการออกแบบก็คือ ในการออกแบบกฎการควบคุมนั้นจะต้องอาศัยความรู้หรือประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญในระบบนั้นๆ มาทำการออกแบบกฎการควบคุม ในกรณีที่ไม่มีความรู้หรือประสบการณ์ในการควบคุมกระบวนการ การออกแบบกฎการควบคุมจะทำได้ยาก นอกจากนี้หลังจากที่ออกแบบตัวควบคุมแบบพีชซีไปแล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงของระบบรวมถึงมีการรบกวนจากภายนอกจะส่งผลกระทบต่อระบบที่ควบคุมมีสมรรถนะที่ไม่ดี เนื่องจากกฎการควบคุมที่ออกแบบมีลักษณะที่ไม่สามารถที่จะปรับตัวเองได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการ ดังนั้นเพื่อที่จะแก้ปัญหานี้ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาหลักการของนิวโรฟัซซี และทำการออกแบบตัวควบคุมแบบนิวโรฟัซซีขึ้นมา โดยที่ตัวควบคุมดังกล่าวมีความสามารถที่จะเรียนรู้ และปรับแต่งพารามิเตอร์ของระบบพีชซีได้ด้วยตนเอง ซึ่งจะส่งผลให้การควบคุมกระบวนการมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์ที่จะนำเสนอตัวควบคุมที่สามารถเรียนรู้ และทำการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมให้กับตัวควบคุมได้โดยอัตโนมัติ สามารถปรับตัวเองในขณะที่ทำการควบคุมเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของกระบวนการหรือสภาพแวดล้อมตลอดจนมีสัญญาณรบกวนจากภายนอกด้วยการเรียนรู้จากสมรรถนะของระบบควบคุม โดยใช้ทฤษฎีและหลักการของนิวโรฟัซซีมาทำการออกแบบตัวควบคุม โดยเลือกใช้รูปแบบวิธีของระบบแบบจำลองของซุจิโน (Sugeno Model System) ในส่วนของกระบวนการที่นำมาใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพและสมรรถนะของตัวควบคุมนั้น ใช้กระบวนการควบคุมระดับน้ำ และกระบวนการควบคุม

เอกสารอู่หมิมมาเป็นกรณีศึกษา โดยทำการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้กับตัวควบคุมพีไอซีมาตรฐานราคา
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 แนวคิดที่ใช้และขอบเขตในงานวิจัย

ในการออกแบบตัวควบคุมนิวโรฟัซซีนั้นผู้วิจัยได้เลือกใช้โปรแกรม Matlab เวอร์ชัน 6.0 ในการออกแบบและสร้างตัวควบคุมเนื่องจากเป็นโปรแกรมที่มีการคำนวณที่รวดเร็วและการเขียนโปรแกรมไม่ยุ่งยากเนื่องจากมีฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ให้เลือกใช้ในการคำนวณมากมาย โดยสร้างรูปแบบเป็น GUI เพื่อนำไปใช้ในการทำงานปฏิสัมพันธ์กันระหว่างผู้วิจัยศึกษากับระบบที่ใช้ควบคุม

ขอบเขตในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบสมรรถนะของตัวควบคุมที่ออกแบบ คือ ตัวควบคุมนิวโรฟัซซีเปรียบเทียบกับตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน ในการควบคุมกระบวนการที่แตกต่างกัน 2 กระบวนการ คือ กระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถัง และกระบวนการควบคุมอุณหภูมิ โดยทำการทดสอบประสิทธิภาพของตัวควบคุมในเทอมของ เวลาในการไต่ระดับ (Rise time), ค่าการพุ่งเกิน (Overshoot), เวลาที่ใช้ในการเข้าสู่สภาวะคงตัว (Settling time) ตลอดจนผลตอบแทนทั้งในแบบปรกติ และในกรณีที่มีการรบกวนจากภายนอก

1.4 ขั้นตอนของการศึกษา

1. ทำการศึกษาทฤษฎีและหลักการของนิวโรฟัซซีเพื่อที่จะนำไปใช้ในการออกแบบตัวควบคุม ตลอดจนทำการศึกษางานของการ์ดอินเตอร์เฟสที่จะใช้งาน
2. พัฒนาโปรแกรมโดยทำการจำลองด้วยโปรแกรม Matlab เวอร์ชัน 6.0 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของตัวควบคุมบนคอมพิวเตอร์ก่อนที่นำไปออกแบบตัวควบคุมเพื่อใช้ควบคุมกระบวนการจริง เพื่อแสดงว่าตัวควบคุมที่ได้ทำการออกแบบนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับกระบวนการจริงได้
3. ทำการศึกษาระบบที่ใช้ในการทดลองซึ่งมี 2 กระบวนการ คือ กระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถัง และกระบวนการควบคุมอุณหภูมิ เพื่อที่จะได้นำข้อมูลมาออกแบบตัวควบคุมได้อย่างเหมาะสม
4. ทำการทดสอบสมรรถนะของตัวควบคุมนิวโรฟัซซีที่สร้างขึ้นเปรียบเทียบกับตัวควบคุมแบบพีไอดีมาตรฐานในการควบคุมกระบวนการจริง

กล่าวโดยสรุปวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการออกแบบตัวควบคุมแบบนิวโรฟัซซีซึ่งมีคุณสมบัติในการเรียนรู้และสามารถปรับตัวเองได้ไปประยุกต์ใช้ควบคุมกระบวนการจริง โดยเริ่มต้นจากการศึกษาทฤษฎีและหลักการของนิวโรฟัซซี ต่อมาทำการออกแบบและสร้างตัวควบคุมนิวโรฟัซซีขึ้นมาแล้วนำตัวควบคุมดังกล่าวไปทดลองใช้ควบคุมกระบวนการจริง 2 กระบวนการ คือ กระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถัง และกระบวนการควบคุมอุณหภูมิ ทำการทดสอบสมรรถนะของตัวควบคุม โดยการสร้างสัญญาณรบกวนเข้าไปในระบบเพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการเรียนรู้ตลอดจนการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมในการใช้งานกับกระบวนการจริง โดยทำการทดสอบเปรียบเทียบกับตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีของฟัซซีลอจิก

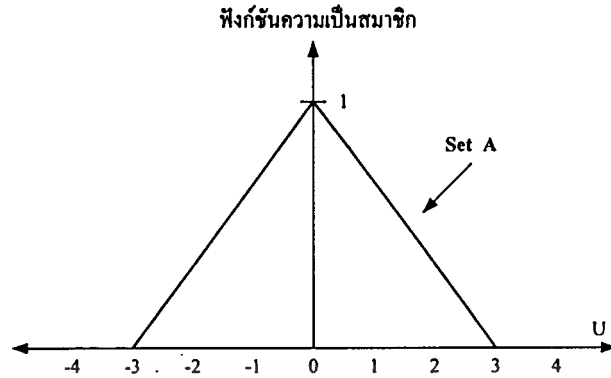
ทฤษฎีฟัซซีลอจิกในระยะแรกนั้น ได้ถูกพัฒนาโดย Zadeh (บิดาแห่งฟัซซีลอจิก) ซึ่งเขามีแนวคิดในเรื่องนี้ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1960 เพื่อที่จะสร้างแบบจำลองการให้เหตุผลของมนุษย์ แต่ก็ไม่ประสบความสำเร็จมากนักจนกระทั่งในปี ค.ศ. 1975 ได้มีการเผยแพร่ผลงานวิจัยเรื่อง An Experiment In Linguistic Synthesis With A Fuzzy Logic Controller ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้ฟัซซีลอจิกในการควบคุมกระบวนการพลวัต (Dynamic Process) โดย Ebrahim Mamdani และ Seto Assilian หลังจากการเผยแพร่ผลงานวิจัยเรื่องนี้ประมาณ 10 ปี งานวิจัยและพัฒนาฟัซซีลอจิกในงานควบคุมจึงได้ดำเนินไปอย่างรวดเร็วและกว้างขวาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งหลังจากที่มีการประกาศใช้ฟัซซีชิป (Fuzzy Chip) ตัวแรกในปี ค.ศ. 1987 ฟัซซีลอจิกได้ถูกประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายในแทบทุกสาขา ทั้งนี้เนื่องจากฟัซซีลอจิกสามารถประยุกต์ใช้ได้กับระบบที่มีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น แปรเปลี่ยนตามเวลา และยากที่จะกำหนดแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ อีกทั้งยังสามารถใช้กับระบบหลายอินพุตหลายเอาต์พุตได้อีกด้วย ซึ่งปัญหาที่เคยเกิดขึ้นกับระบบควบคุมเดิมเหล่านี้ สามารถขจัดไปได้ด้วยการควบคุมแบบฟัซซีลอจิก เนื่องจากการควบคุมแบบฟัซซีลอจิกนั้นเป็นการประมาณความเป็นไปได้ของเหตุการณ์ด้วยประสบการณ์หรือการใช้เหตุผลของมนุษย์โดยไม่ต้องอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบเป็นเครื่องมือ ในการออกแบบตัวควบคุมแบบฟัซซีนั้นจะต้องอาศัยทฤษฎีและความรู้ทางคณิตศาสตร์เกี่ยวกับระบบฟัซซี[1][2]ซึ่งจะอธิบายในลำดับต่อไป

2.1 ฟัซซีเซต

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

$$A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in U\} \quad (2.1)$$

โดยที่ $\mu_A(x_i)$ ก็คือฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเซต A นั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการคำนวณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 ฟัซซีเซต

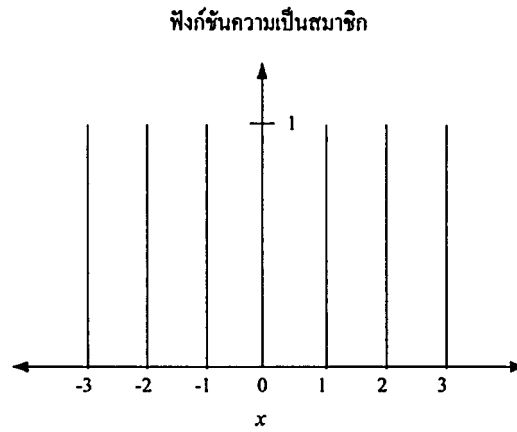
จากรูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นถึงฟัซซีเซต โดยกำหนดให้เอกภพสัมพัทธ์ U มีค่าต่างๆดังนี้ $\{-4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4\}$ โดยที่เซต A มีสมาชิก 6 ตัวคือ $x_i = \{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}$ ซึ่งจะพบว่าสมาชิกของเซต A แต่ละตัวมีระดับการเป็นสมาชิกของสมาชิกค่านั้นๆเป็นคู่ลำดับกันไปทำให้พิจารณาได้ว่าฟัซซีเซตจะไม่สามารถแยกแยะการเป็นสมาชิกแต่ละค่าได้ แต่สมาชิกแต่ละตัวจะมีระดับการเป็นสมาชิกอยู่ในช่วง 0 ถึง 1

ตัวแปรฟัซซี (Fuzzy Variable) หรือบางครั้งอาจจะเรียกว่า Linguistic ซึ่งก็คือฟัซซีเซตใดๆ ของระบบที่เราสนใจดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นตัวอย่างเช่น ถ้าเราพิจารณา “อุณหภูมิ” เป็นตัวแปรฟัซซี และถ้าค่าของตัวแปรเซตนี้คือ {ต่ำ, ปานกลาง, สูง} ซึ่งจะเรียกเซตของค่าตัวแปรนี้ว่าเทอมเซต (Term Set) หรือ เซตย่อย และนอกจากนี้ตัวแปรฟัซซีแต่ละตัวอาจจะมีส่วนขยายของ (Hedges หรือ Qualifiers) เพื่อปรับค่าตัวแปรให้มีความยืดหยุ่นมากยิ่งขึ้น เช่น จากค่าของตัวแปรอุณหภูมิ “ต่ำ \rightarrow ต่ำมาก”, “สูง \rightarrow ค่อนข้างสูง” เป็นต้น คำว่า “มาก” หรือ “ค่อนข้าง” ในที่นี้เป็นส่วนขยายของตัวแปรฟัซซี ซึ่งในทางปฏิบัติสามารถแทนด้วยฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ได้ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดในลำดับต่อไป

2.2 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกจะถูกกำหนดขึ้นตามคำจำกัดความของเทอมเซตที่มีความยืดหยุ่นและตรงตามความเป็นจริง โดยการกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกนั้นจะต้องสัมพันธ์กับระบบที่ทำการควบคุม ซึ่งรูปแบบฟังก์ชันความเป็นสมาชิกมีอยู่หลายแบบด้วยกัน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบซิงเกิลตัน (Singleton membership function) จะมีฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเพียงตัวเดียว และมีค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเท่ากับ 1



รูปที่ 2.2 กราฟฟังก์ชันแสดงความเป็นสมาชิกแบบซิงเกิลตัน

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

$$\text{triangle}(x; a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{cases} \quad (2.2)$$

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

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

$$\text{trapezoid}(x; a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & d \leq x \end{cases} \quad (2.3)$$

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

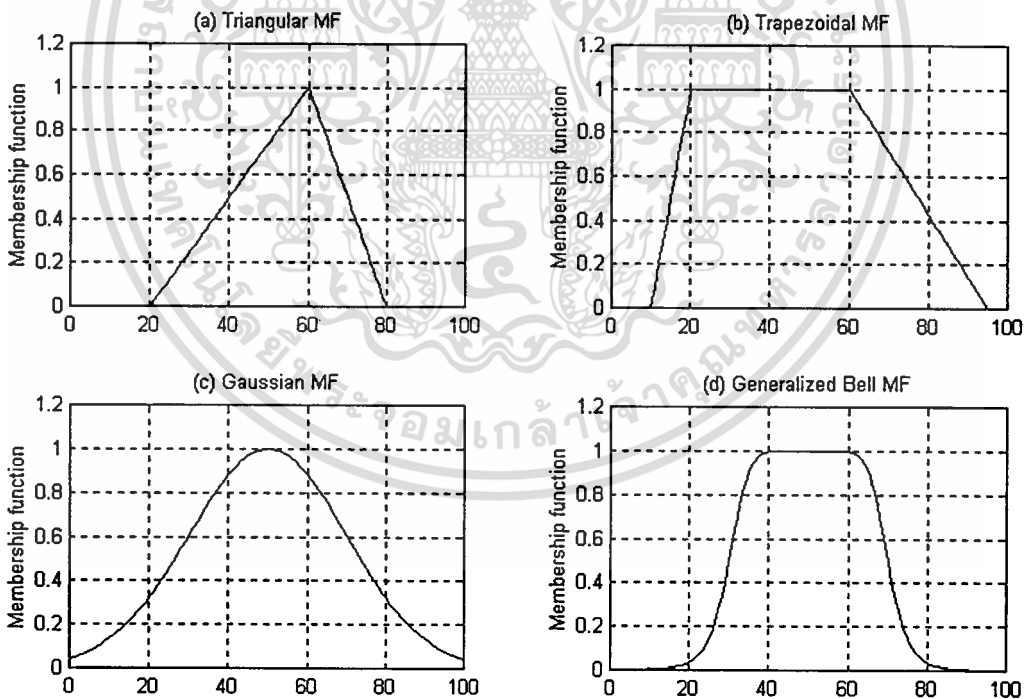
ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบเกาส์เซียน (Gaussian membership function) ถูกกำหนดโดย 2 พารามิเตอร์ $\{c, \sigma\}$ แสดงดังนี้

$$\text{gaussian}(x; c, \sigma) = \exp^{-0.5\left(\frac{x-c}{\sigma}\right)^2} \quad (2.4)$$

โดยที่ c เป็นค่ากลางและ σ เป็นความกว้างของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบเกาส์เซียน ตามลำดับ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบระฆัง (Bell membership function) ถูกกำหนดโดย 3 พารามิเตอร์ $\{a, b, c\}$ แสดงดังนี้

$$\text{bell}(x; a, b, c) = \frac{1}{1 + \left|\frac{x-c}{a}\right|^{2b}} \quad (2.5)$$

โดยที่ b ต้องเป็นค่าบวก



รูปที่ 2.3 กราฟฟังก์ชันแสดงความเป็นสมาชิกในแบบต่างๆ (a) สามเหลี่ยม ($x; 20, 60, 80$); (b) สี่เหลี่ยมคางหมู ($x; 10, 20, 60, 95$); (c) เกาส์เซียน ($x; 50, 20$); (d) ระฆัง ($x; 20, 4, 50$)

2.3 ตัวดำเนินการพีชชีเซต

ตัวดำเนินการของพีชชีเซตส่วนใหญ่จะมีตัวดำเนินการคล้ายกับเซตธรรมดา เช่น อินเตอร์เซกชัน, ยูเนียน, คอมพลิเมนต์ เป็นต้น ซึ่งตัวดำเนินการเหล่านี้จะใช้ในการอนุมานพีชชีเซตเพื่อประโยชน์ในการตัดสินใจโดยการประมาณค่าของตัวแปร ในที่นี้เราจะเสนอตัวดำเนินการของพีชชีเซตบางส่วนเฉพาะที่ใช้ในแบบจำลองการตัดสินใจของระบบควบคุมโดยใช้พีชชีเซตเท่านั้น โดยกำหนดให้ U เป็นเซตเอกภพสัมพัทธ์ A, B เป็นเทอมเซตใดๆที่อยู่ใน U และตัวดำเนินการพื้นฐานต่างๆ สามารถกำหนดได้ดังนี้

1. เซตย่อย

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

$$\mu_A(x_i) \leq \mu_B(x_i) ; \forall x_i \in U \quad (2.6)$$

2. ยูเนียน

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

$$\mu_{A \cup B}(x_i) = \text{Max}(\mu_A(x_i), \mu_B(x_i)) ; \forall x_i \in U \quad (2.7)$$

3. อินเตอร์เซกชัน

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

$$\mu_{A \cap B}(x_i) = \text{Min}(\mu_A(x_i), \mu_B(x_i)) ; \forall x_i \in U \quad (2.8)$$

4. คอมพลิเมนต์

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

$$\mu_A(x_i) = \mu_{B'}(x_i) = 1 - \mu_B(x_i) ; \forall x_i \in U \quad (2.9)$$

5. A ยกกำลังด้วยค่า α (A^α) กำหนดได้โดย

$$\mu_{A^\alpha}(x_i) = (\mu_A(x_i))^\alpha ; \forall x_i \in U \quad (2.10)$$

6. Concentration ของเซต A กำหนดได้โดย

$$\text{CON}(A) \Rightarrow \mu_{\text{CON}(A)}(x_i) = (\mu_A(x_i))^2 ; \forall x_i \in U \quad (2.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่ผ่านการตรวจสอบและแก้ไขเรียบร้อยแล้ว หากท่านมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อผู้จัดทำเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. Dilation ของเซต A กำหนดได้โดย

$$DIL(A) \Rightarrow \mu_{DIL}(x_i) = (\mu_A(x_i))^{0.5} ; \forall x_i \in U \quad (2.12)$$

2.4 ส่วนขยายของฟัซซีเซต

ส่วนขยาย (Hedge) ของฟัซซีเซตจะมีคุณสมบัติคล้ายกับค่าคุณศัพท์ในประโยคที่เราใช้พูดคุย ติดต่อกันซึ่งจะขยายให้มีความหมายของประโยคให้มีความหมายที่ชัดเจนยิ่งขึ้นหรือทำให้ความหมายเปลี่ยนไป สำหรับ Hedge ของฟัซซีเซตนั้นจะขยายเทอมเซตของตัวแปรฟัซซีเซต เพื่อให้มีการประมาณค่าของตัวแปรมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น เมื่อขยายเทอมเซตใดด้วย Hedge จะส่งผลให้รูปร่างของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเทอมเซตนั้นๆเปลี่ยนไป และในบางกรณีอาจจะทำให้ได้เทอมเซตใหม่ขึ้นมา โดยที่แต่ละตัวจะเป็นตัวดำเนินการของฟัซซีเซต เช่น คำว่า “มาก” Zadeh ได้ให้ความหมายของคำนี้ไว้โดยการยกกำลังค่าความเป็นสมาชิกทุกตัวในเทอมเซตด้วยสอง ซึ่งก็คือตัวดำเนินการ Concentration ของฟัซซีเซต ส่วน Hedge ของคำว่า “ค่อนข้าง” Zadeh ได้ให้ความหมายของคำนี้ไว้โดยการลดครึ่งของค่าความเป็นสมาชิกทุกตัวในเทอมเซตหรือก็คือตัวดำเนินการ Dilation ของฟัซซีเซตนั่นเอง

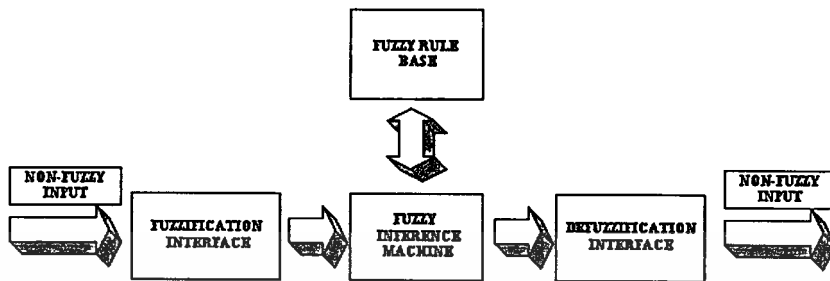
สาเหตุที่ Zadeh แทนความหมาย Hedge ของคำว่า “มาก” และ “ค่อนข้าง” ด้วยตัวดำเนินการยกกำลัง คือ ยกกำลังด้วย 2 และ 0.5 ตามลำดับ ก็เพื่อทำการแปลงค่าความเป็นสมาชิกให้เหมาะสมกับเทอมเซตนั้นๆ ยิ่งขึ้น อย่างเช่น Hedge คำว่า “มาก” เมื่อนำไปขยายเทอมเซตใด แสดงว่าค่อนข้างที่จะแน่ใจว่าข้อมูลของเทอมเซตนั้นต้องการความถูกต้องสูง และเพื่อให้แน่ใจว่าค่าระดับความเป็นสมาชิกของเทอมเซตนี้มีความถูกต้องสูงจริงๆ จึงทำการลดค่าระดับความเป็นสมาชิกลงมาโดยตัวดำเนินการ Concentration ส่วน Hedge คำว่า “ค่อนข้าง” แสดงถึงความไม่แน่ใจในผลตอบสนองของเทอมเซตนั้นๆ จึงทำการเพิ่มค่าระดับความเป็นสมาชิกให้มากขึ้นโดยการยกกำลังด้วย 0.5 ความจริงความหมายของ Hedge เป็นการแปลความหมายตามอำเภอใจ ดังนั้นคำว่า “มาก” อาจจะไม่จำเป็นต้องยกกำลังสองก็ได้ เช่น อาจจะใช้ยกกำลังด้วย 1.3 หรือ 1.8 เป็นต้น สำหรับเทอมเซตตัวอื่นๆ ที่มักพบบ่อยคือตัวดำเนินการคอมพลิเมนต์ หรือ Hedge คำว่า “ไม่” , ส่วน Hedge ที่ใช้ในการเปรียบเทียบ เช่น “มากกว่า” หรือ “สูงกว่า” , “น้อยกว่า” หรือ “ต่ำกว่า” เป็นต้น

2.5 ตัวควบคุมฟัซซี

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

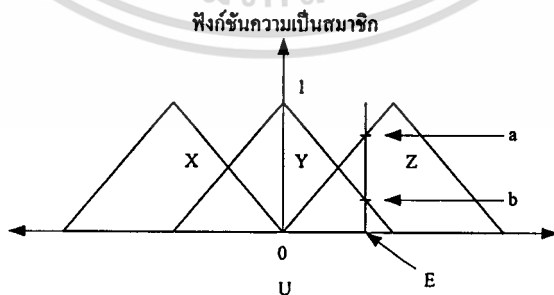
และหน่วยดีฟัซซิฟิเคชัน (Defuzzification unit) ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ซึ่งการทำงานของแต่ละหน่วยสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.4 โครงสร้างพื้นฐานของตัวควบคุมฟัซซี

2.5.1 การฟัซซิฟิเคชัน (Fuzzification)

การฟัซซิฟิเคชัน คือ กระบวนการแปลงค่าของตัวแปรอินพุตไปเป็นค่าระดับความเป็นสมาชิกของแต่ละเทอมเซต โดยใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ได้เสนอไปแล้ว การเลือกใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก เราต้องเลือกให้เหมาะสมกับคุณสมบัติของตัวแปร เช่น ถ้าตัวแปรมีคุณสมบัติเป็นเชิงเส้นจะต้องเลือกฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่เป็นเชิงเส้นด้วยซึ่งอาจจะเป็นสมการรูปสามเหลี่ยม และรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ส่วนตัวแปรที่มีคุณสมบัติไม่เป็นเชิงเส้นก็ต้องใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ไม่เป็นเชิงเส้นด้วยเช่น ฟังก์ชัน S, π , Beta, และ Guassian ซึ่งการฟัซซิฟิเคชันสามารถกระทำได้หลายวิธี ตัวอย่างเช่น การฟัซซิฟิเคชันโดยใช้ฟัซซีซิงเกิลตัน, การฟัซซิฟิเคชันโดยใช้ฟัซซีนัมเบอร์ หรือการฟัซซิฟิเคชันโดยใช้ไฮบริดนัมเบอร์ ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้จะกล่าวเฉพาะในส่วนของการฟัซซิฟิเคชันโดยใช้ฟัซซีซิงเกิลตัน ซึ่งสามารถแสดงการกระทำได้ดังนี้



รูปที่ 2.5 การฟัซซิฟิเคชันแบบซิงเกิลตัน

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

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

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

จากรูปที่ 2.5 สามารถแสดงให้เห็นได้ว่าการหาฟัซซีฟิเคชันด้วยการฟัซซีซิงเกิลตันนั้น จะใช้หลักการอินเตอร์เซกชันระหว่างกลุ่มเซตทางอินพุตที่ถูกกำหนดขึ้นกับเซตแบบซิงเกิลตัน ซึ่งจากรูปจะเห็นได้ว่าการกำหนดให้กลุ่มเซตทางอินพุตประกอบด้วยเซต X , Y และ Z ซึ่งเป็นฟัซซีเซตแบบฟัซซีเซตนับเบอร์ และเซตที่จะถูกนำมาอินเตอร์เซกชันคือเซต E ที่เป็นเซตแบบซิงเกิลตัน ซึ่งจะเกิดขึ้นในตำแหน่งที่มีอินพุตเข้ามา ซึ่งเมื่อทำการอินเตอร์เซกชันหรือการซ้อนทับกันจะทำให้เกิดจุดซ้อนทับกัน 2 จุด คือ จุด a ซึ่งเป็นจุดที่เซต E ซ้อนทับกับเซต Z และจุด b ซึ่งเป็นจุดที่เซต E ซ้อนทับกับเซต Y ซึ่งทั้งจุด a และ จุด b จะเป็นค่าระดับการเป็นสมาชิกที่จะนำมาใช้เป็นตัวแทนทางอินพุต

2.5.2 ฐานกฎการควบคุมฟัซซี (Fuzzy rule base)

ฐานกฎการควบคุมฟัซซีเป็นหน่วยที่รวบรวมกฎการควบคุมแบบฟัซซีซึ่งอยู่ในรูปแบบ IF...THEN กำหนดให้กฎการควบคุมอยู่ในรูปแบบนี้

IF x_1 is X_1^k and ... and x_m is X_m^k THEN y is Y^k
 หรือ IF x is X^k THEN y is Y^k ; $k = 1, 2, 3, \dots, m$

โดยที่ x คือ ตัวแปรสถานะของกระบวนการ ซึ่งใช้เป็นอินพุตของตัวควบคุมฟัซซี
 $x = [x_1, \dots, x_m]$
 X^k คือ ฟัซซีเซตของตัวแปรอินพุตในส่วนเหตุของกฎการควบคุมที่ k
 $X^k = X_1^k \times \dots \times X_m^k$
 m คือ จำนวนตัวแปรอินพุตของตัวควบคุม
 y คือ ตัวแปรเอาต์พุตของตัวควบคุมฟัซซี
 Y^k คือ ฟัซซีเซตของตัวแปรเอาต์พุตในส่วนผลของกฎการควบคุมที่ k
 M คือ จำนวนกฎการควบคุมทั้งหมดในฐานกฎการควบคุม

ซึ่งจากคำจำกัดความในรูปของสมการข้างต้น สามารถอธิบายได้ว่ากฎการควบคุมจะถูกกำหนดตามเงื่อนไข ถ้า...แล้ว เช่น

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

โดยที่ X และ Y เป็นตัวแปรฟัซซี ส่วน *hot* และ *zero* เป็นเทอมเซตที่สอดคล้องกับตัวแปร X , Y และประพจน์ของฟัซซีเซตคือ X is *hot* ประพจน์ที่ตามหลัง Y is *zero* จะเป็นส่วนของเงื่อนไขที่เรียกว่า Antecedent ซึ่งก็คือส่วนของอินพุตของแบบจำลองฟัซซีลอจิกนั่นเอง และประพจน์ที่ตามหลัง THEN จะเรียกว่า Consequent หรือส่วนของเอาต์พุตของแบบจำลองฟัซซีลอจิก Antecedent อาจจะประกอบด้วยจำนวนประพจน์หลายประพจน์ ซึ่งจำนวนของประพจน์จะขึ้นอยู่กับจำนวนตัวแปรอินพุตและจำนวนของเทอมเซตของตัวแปรแต่ละตัว เช่น ถ้าอินพุตมีสองตัวแปรในส่วนของการ

Antecedent จะมีสองประพจน์เชื่อมต่อกันในกฎหนึ่งกฎ และในการเชื่อมต่อกันของประพจน์จะต้องมีตัวเชื่อมซึ่งในแบบจำลองฟัซซีจะมีตัวเชื่อมอยู่สองตัวด้วยกันคือ ยูเนียน และอินเตอร์เซกชัน เช่น ในกรณีที่เชื่อมด้วยยูเนียน

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

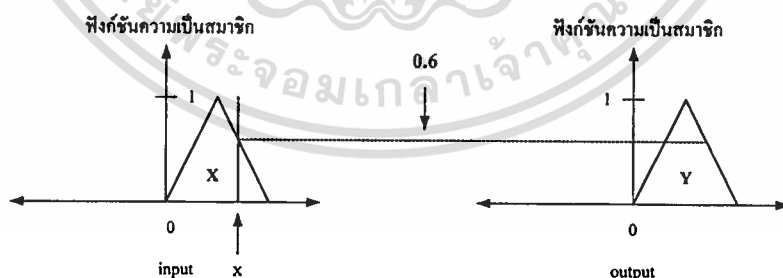
และในกรณีที่เชื่อมด้วยอินเตอร์เซกชัน

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

สำหรับจำนวนกฎในแบบจำลองฟัซซีลอจิกของระบบหนึ่งๆจะขึ้นอยู่กับจำนวนของตัวแปรอินพุต และจำนวนเทอมเซตของแต่ละตัวแปร เช่นถ้าอินพุตมีสองตัวแปร และตัวแปรแต่ละตัวมี 5 เทอมเซต จำนวนกฎทั้งหมดจะเท่ากับ 25 กฎ

2.5.3 การอินเฟอร์เรนซ์แบบฟัซซี (Fuzzy Inference)

การอินเฟอร์เรนซ์ คือ กระบวนการในการหาข้อสรุป (Conclusion) จากหลักฐาน (Premise) ซึ่งในกระบวนการอินเฟอร์เรนซ์หลักฐานที่นำมาใช้จะได้มาจากส่วนของกฎการควบคุมที่ถูกกำหนดขึ้นมาจากความชำนาญ โดยในกระบวนการนี้จะทำการหาค่าเอาต์พุตของระบบฟัซซีจากค่าตัวแปรอินพุตแบบฟัซซี X เพื่อหาค่าระดับความเป็นสมาชิกของแต่ละกฎจากความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอินพุตแบบฟัซซี X กับฟัซซีเซตในส่วนเหตุของแต่ละกฎ X^f แล้วจึงคำนวณหาค่าเอาต์พุตแบบฟัซซีจากระดับการเป็นสมาชิกกับฟัซซีเซตในส่วนผลของแต่ละกฎ Y^f



รูปที่ 2.6 การอินเฟอร์เรนซ์แบบฟัซซี

จากรูปที่ 2.6 ถ้าส่วนกำหนดกฎการควบคุมกำหนดไว้ว่าถ้ามีข้อมูลอินพุตเข้ามาที่เซต X ค่าเอาต์พุตที่ได้จะต้องเป็นเซต Y ซึ่งจากหลักฐานนี้เองทำให้หน่วยอินเฟอร์เรนซ์สามารถที่จะหาข้อสรุปออกมาได้โดยให้อินพุต x อยู่ในช่วงสมาชิกของเซต X จึงจะสามารถระบุได้เลยว่าข้อสรุปที่ได้จะต้องเป็นสมาชิกของเซต Y ซึ่งในรูปจะเห็นได้ว่าการที่สมาชิกแต่ละตัวมีระดับการเป็นสมาชิกไม่

เอกสาคู่กันจึงทำให้ข้อสรุปจะต้องขึ้นอยู่กับระดับการเป็นสมาชิกของเซตด้วย หนีไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

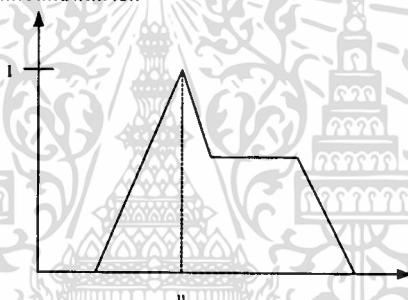
2.5.4 การดีฟัซซิฟิเคชัน (Defuzzification)

การดีฟัซซิฟิเคชัน คือ กระบวนการหาค่าเอาต์พุตเพียงค่าเดียวที่เหมาะสมที่สุดเพื่อเป็นตัวแทนของฟัซซิเอาต์พุต โดยค่าที่ได้จะกระจายอยู่บนเอกภพสัมพัทธ์ของเอาต์พุต หรือจะกล่าวอีกลักษณะหนึ่ง คือการแปลงค่าตัวแปรทางฟัซซิให้เป็นค่าจำนวนจริงเพื่อที่จะนำไปควบคุมกระบวนการต่อไป โดยการดีฟัซซิฟิเคชันจะสามารถกระทำได้หลายวิธีดังต่อไปนี้

2.5.4.1 การหาค่าระดับการเป็นสมาชิกสูงสุด (Max – membership procedure)

การดีฟัซซิฟิเคชันด้วยวิธีการหาค่าระดับการเป็นสมาชิกสูงสุดเป็นการหาค่าเอาต์พุตที่มีค่าระดับการเป็นสมาชิกสูงสุดเพียงค่าเดียว ซึ่งอธิบายได้ดังรูปที่ 2.7 โดยแสดงถึงเซตเอาต์พุตที่ได้จากหน่วยอินเฟอร์นซ์จะเห็นได้ว่าค่าเอาต์พุตที่มีระดับการเป็นสมาชิกสูงสุด คือค่า u ซึ่งก็คือค่าที่เป็นตัวแทนของเอาต์พุตนั่นเอง

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

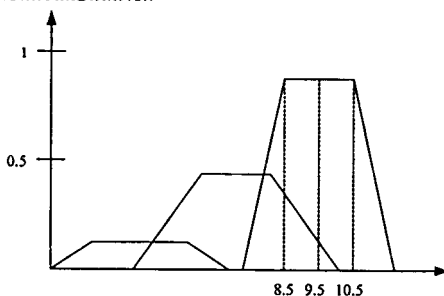


รูปที่ 2.7 การดีฟัซซิฟิเคชัน โดยการหาค่าระดับการเป็นสมาชิกสูงสุด

2.5.4.2 การหาค่ากลางสูงสุด (Mean of Max procedure)

การดีฟัซซิฟิเคชันด้วยวิธีการหาค่ากลางสูงสุดเป็นการหาค่ากลางของค่าสูงสุดของระดับการเป็นสมาชิกที่ตำแหน่งสูงสุด ซึ่งการดีฟัซซิฟิเคชันด้วยวิธีนี้จะเป็นการแก้ปัญหาที่เกิดจากการที่เซตที่จะนำมาทำการดีฟัซซิฟิเคชันมีค่าระดับการเป็นสมาชิกสูงสุดอยู่หลายค่าซึ่งการดีฟัซซิฟิเคชันด้วยวิธีการของการหาค่าสูงสุดไม่สามารถกระทำได้

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก



รูปที่ 2.8 การดีฟัซซิฟิเคชันโดยการหาค่ากลางสูงสุด

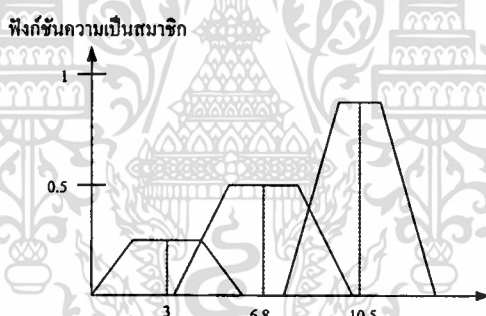
จากรูปที่ 2.8 จะพบได้ว่าเซตมีการระดับการเป็นสมาชิกสูงสุดอยู่หลายค่าจึงต้องใช้วิธีการหาค่าสูงสุดมาทำการดีฟัซซี่ ซึ่งในการหาค่ากลางจะหาค่าเฉพาะช่วงที่มีค่าสูงสุดตามเส้นประที่ลากลงมาดังในรูปซึ่งจะทำให้ได้ค่าการดีฟัซซี่ฟิเคชันออกมา

2.5.4.3 การหาค่าเฉลี่ยของน้ำหนัก (Weighted average method)

การดีฟัซซี่ฟิเคชันด้วยวิธีการหาค่าเฉลี่ยของน้ำหนักเป็นวิธีการหาค่าเอาต์พุตที่เหมาะสมโดยการหาค่าเอาต์พุตเฉลี่ย ซึ่งหาได้จากสมการ(2.13)

$$v_o = \frac{\sum \mu_B(v) \cdot v}{\sum \mu_B(v)} \quad (2.13)$$

กำหนดให้ B คือ เซตเอาต์พุต
 v คือ สมาชิกของเอกภพสัมพัทธ์เอาต์พุต
 v_o คือ ค่าจากการดีฟัซซี่ฟิเคชัน



รูปที่ 2.9 การดีฟัซซี่ฟิเคชันโดยการหาค่าเฉลี่ยของน้ำหนัก

กระบวนการดีฟัซซี่ฟิเคชันด้วยวิธีการหาค่าเฉลี่ยของน้ำหนัก ในขั้นตอนแรกจะต้องทำการแยกกลุ่มเซตเอาต์พุตที่จะนำมาทำการดีฟัซซี่เฟชันว่าประกอบด้วยเซตใดบ้าง จากรูปที่ 2.9 เซตเอาต์พุตประกอบด้วย 3 เซตขั้นตอนต่อไปทำการหาค่ากลางของสมาชิกของแต่ละเซต ซึ่งจากรูปคือ ตำแหน่งที่ลากเส้นประลงมาในแต่ละเซต แล้วนำค่ากลางที่ได้คูณกับค่าระดับการเป็นสมาชิกของค่ากลางเซตนั้นๆ แล้วจึงนำค่าที่ได้ของแต่ละเซตมาบวกเข้าด้วยกันแล้วจึงนำผลบวกที่ได้มาหารด้วยผลรวมของระดับการเป็นสมาชิกที่ตำแหน่งค่ากลางของทุกเซต ซึ่งจากรูปค่ากลางของแต่ละเซต คือ 3,6.8,10.5

2.5.4.4 การหาค่าจุดศูนย์กลางของพื้นที่ (Centroid method)

การดีฟัซซี่ฟิเคชันด้วยวิธีการหาค่าจุดศูนย์กลางของพื้นที่เป็นวิธีการหาจุดศูนย์กลางของพื้นที่ได้กราฟของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก เพื่อใช้เป็นตัวแทนของฟัซซี่เอาต์พุต ซึ่งทำได้โดยการแบ่งค่าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นที่ใต้กราฟของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกออกเป็น 2 ส่วนเท่าๆกัน โดยในรูปที่ 2.10 ค่าตอบของการดีฟัซซิฟิเคชันที่ได้ คือ Z โดยที่จะสามารถหาค่า Z ได้จากสมการ (2.14)

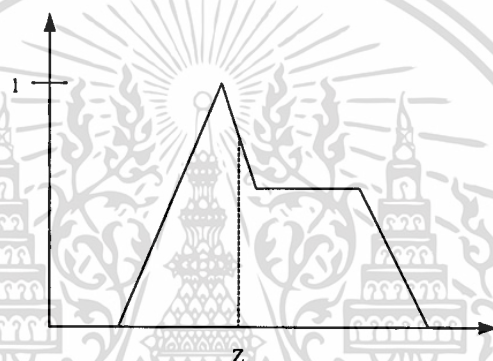
$$Z = \frac{\int \mu_c(u) \cdot u \, du}{\int \mu_c(u) \, du} \quad (2.14)$$

กำหนดให้ C คือ เซตเอาต์พุต

μ คือ สมาชิกของเอกภพสัมพัทธ์ทางเอาต์พุต

Z คือ ค่าที่ได้จากการดีฟัซซิฟิเคชัน

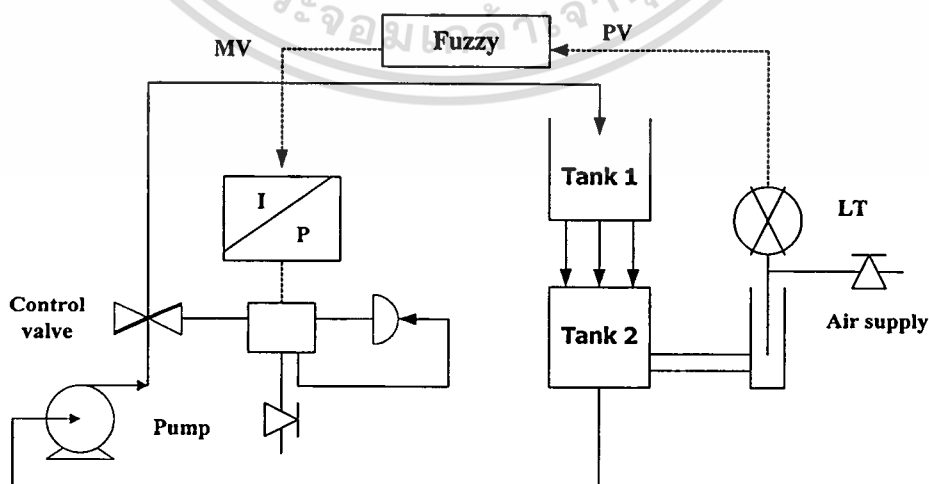
ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก



รูปที่ 2.10 การดีฟัซซิฟิเคชันโดยการหาค่าจุดศูนย์กลางของฟัซซี

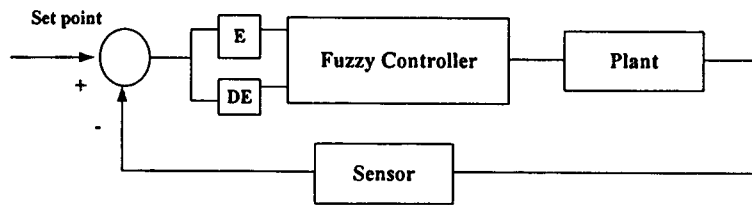
ตัวอย่างแบบจำลองฟัซซีลอจิกที่ใช้ควบคุมระดับของน้ำในถัง ซึ่งมีแผนผังการควบคุมแสดงดัง

รูปที่ 2.11



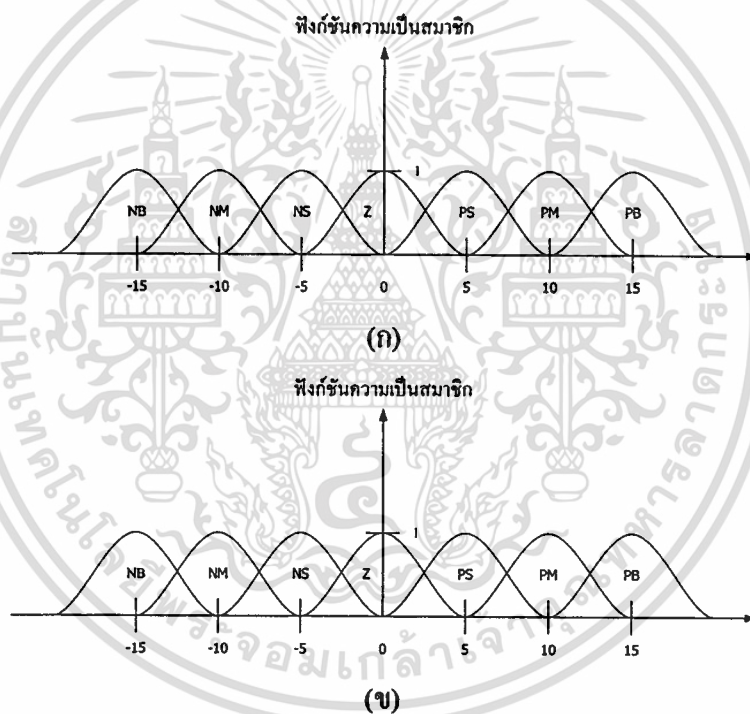
รูปที่ 2.11 แผนผังการควบคุมระดับของน้ำในถัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมระดับน้ำโดยใช้ฟัซซี่

จากบล็อกไดอะแกรมของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถัง อินพุตของแบบจำลอง ฟัซซี่ลอจิกมีตัวแปรสองตัวคือ E : ERROR และ DE : dERROR ส่วนเอาต์พุตมีตัวแปรหนึ่งตัว คือ การเปิดปิดวาล์วควบคุม กำหนดให้ตัวแปรของอินพุตแต่ละตัวจะมีเทอมเซตอย่างละ 7 เทอม คือ {NB, NM, NS, Z, PS, PM, PB} ในรูปที่ 2.13 แสดงเทอมเซตของตัวแปรของทั้งสองอินพุต



รูปที่ 2.13 เทอมเซตของตัวแปรอินพุต (ก) ERROR และ (ข) dERROR

ในส่วนของเทอมเซตเอาต์พุตได้ทำการออกแบบเป็นแบบฟัซซี่ซิงเกิลตัน และเมื่อนำแต่ละเทอมเซตของแต่ละตัวแปรมาเขียนเพื่อกำหนดกฎการควบคุมก็จะได้กฎการควบคุมทั้งหมด 49 กฎ โดยสามารถนำมาเขียนเป็นเมตริกซ์ที่แสดงถึงความสัมพันธ์ร่วมกันของตัวแปรได้ดังรูปที่ 2.14 ซึ่งเมตริกซ์จะถูกเรียกว่า Fuzzy Associative Memory (FAM) โดย FAM จะมีมิติเท่ากับจำนวนตัวแปรของอินพุต ซึ่งในตัวอย่างนี้มีสองตัวแปรดังนั้น FAM จะมีเมตริกซ์เป็นสองมิติ ขนาด $M \times N$ เมื่อ M แทนจำนวนเทอมเซตของตัวแปร ERROR และ N เป็นจำนวนเทอมเซตของตัวแปร dERROR และสมาชิกของเมตริกซ์นี้คือค่าของตัวแปรเอาต์พุตซึ่งเป็นแบบซิงเกิลตัน

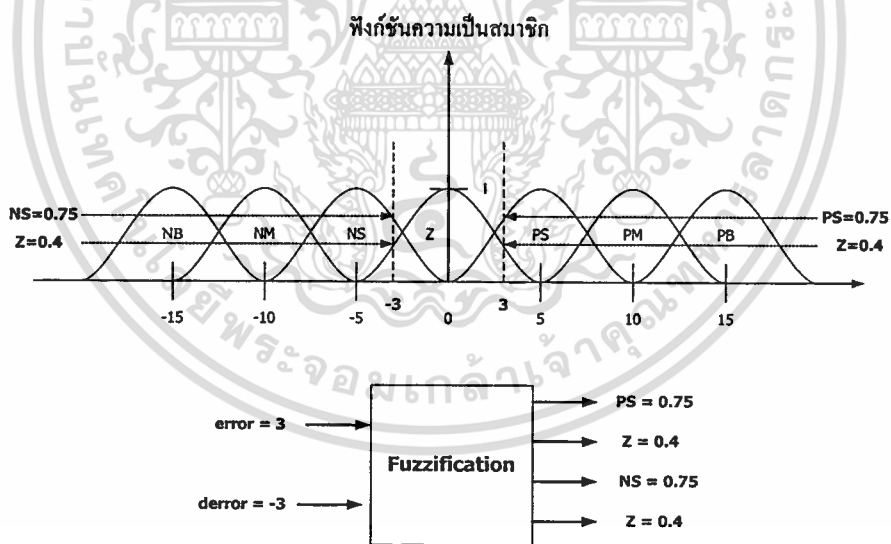
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

รูปที่ 2.14 เมตริกซ์ FAM ของระบบควบคุมระดับน้ำในถัง

สมมติค่า ERROR ที่วัดได้ที่เวลา t เท่ากับ 3 จากกฎฟัซซีเทอมเซตของ PS และ Z จะถูกนำมาพิจารณา ซึ่งค่าที่ได้ มีค่าเท่ากับ 0.75 และ 0.4 ในกรณีเดียวกัน ค่า dERROR ที่วัดได้ที่เวลา t เดียวกัน มีค่าเท่ากับ -3 เทอมเซตที่ได้คือ NS และ Z ซึ่งค่าที่ได้ มีค่าเท่ากับ 0.75 และ 0.4 ตามลำดับ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวนี้เรียกว่ากระบวนการฟัซซีฟิเคชัน โดยแสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 การทำฟัซซีฟิเคชันของระบบควบคุมระดับน้ำในถัง

การทำงานของหน่วยอินเฟอร์เรนซ์มีหน้าที่ในการตัดสินใจที่จะทำการเลือกค่าเอาต์พุต โดยจะเลือกตามกฎการควบคุมที่กำหนดไว้ในตารางกฎการควบคุม โดยจะนำค่าที่ได้จากหน่วยฟัซซีฟิเคชันมาทำการเปรียบเทียบจากตัวอย่างค่าที่ได้ เซตของชุด ERROR คือค่า PS = 0.75, Z = 0.4 และในส่วนของเซตชุด dERROR คือค่า NS = 0.75, Z = 0.4 โดยค่าที่ได้จะถูกนำไปเลือกกฎการควบคุมดังรูปที่ 2.16

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

รูปที่ 2.16 การอินเฟอเรนซ์ของระบบควบคุมระดับน้ำในถัง

เซต Z, NS จะเลือกกฎ  เซต Z, Z จะเลือกกฎ 

เซต PS, NS จะเลือกกฎ  เซต PS, Z จะเลือกกฎ 

ตารางที่ 2.1 การดีฟัซซิฟิเคชันของระบบควบคุมระดับน้ำในถัง

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

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

การกำหนดหน่วยดีฟัซซิฟิเคชันในส่วนของการหาค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบฟัซซีหรือการแปลงตัวแปรแบบฟัซซีมาเป็นตัวแปรของกระบวนการในหน่วยดีฟัซซิฟิเคชันนี้จะใช้วิธีการของการหาค่าเฉลี่ยของน้ำหนัก โดยจะนำค่าเซตของเอาต์พุตที่ได้จากหน่วยอินเฟอเรนซ์มาคำนวณ เช่น เซต Z, NS ได้ค่าเอาต์พุตเท่ากับ -27 และมีระดับการเป็นสมาชิก 2 ค่าคือ 0.4 และ 0.75 แต่การดีฟัซซิฟิเคชันด้วยวิธีนี้จะใช้หลักการของการกระทำแบบ Min Operator ก็คือการเลือกค่า

ระดับการเป็นสมาชิกที่ต่ำกว่า ดังนั้น ค่าระดับการเป็นสมาชิกของเงื่อนไขอินพุตนี้ คือ ค่า 0.4 ในทำนองเดียวกันค่าเงื่อนไขอินพุตที่เหลืออีก 3 เงื่อนไขก็จะใช้หลักการเดียวกัน ตารางที่ 2.1 แสดงค่าเอาต์พุตที่ต้องใช้ในการคำนวณของกระบวนการดีฟัซซิฟิเคชัน

2.6 สรุป

การควบคุมด้วยฟัซซีลอจิกเป็นวิธีควบคุมสมัยใหม่อีกวิธีหนึ่ง ที่อาศัยรูปแบบการแก้ปัญหาหรือการให้เหตุผลของมนุษย์เป็นแนวทางในการวิเคราะห์ และทำการควบคุมระบบโดยอาศัยการดำเนินการเชิงตรรกะแบบฟัซซีเป็นเครื่องมือ ซึ่งลักษณะตัวควบคุมแบบฟัซซีนี้มีลักษณะเป็นตัวประมาณค่าตัวแปรที่ต้องการควบคุม โดยไม่จำเป็นต้องใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ ทำให้สามารถใช้กับระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้น หรือระบบที่ยากแก่การหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ดี อีกทั้งยังสามารถใช้ได้กับระบบที่มีหลายอินพุตหลายเอาต์พุตได้อีกด้วย ซึ่งแนวทางของทฤษฎีระบบควบคุมแบบฟัซซีนี้ สามารถแก้ปัญหาที่เคยเกิดขึ้นกับระบบควบคุมแบบเดิมได้ และเนื่องจากฟัซซีลอจิกไม่ต้องใช้คณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนในการคำนวณ ทำให้สามารถพัฒนาระบบให้ทำงานแบบทันทีได้โดยไม่ยากนัก ทั้งนี้แนวโน้มการเติบโตของการควบคุมแบบฟัซซียังคงมีต่อไป ดังในปัจจุบันกำลังมีการวิจัยค้นคว้าเกี่ยวกับระบบ Fuzzy Rule-Based Expert System, ระบบ Neuro-Fuzzy ที่มีลักษณะการผสมผสานกันของฟัซซีลอจิกกับโครงข่ายประสาท (Neural Network) หรือแม้กระทั่งระบบ Adaptive Fuzzy System ที่สามารถปรับการควบคุมตามพฤติกรรมของระบบได้ดียิ่งขึ้นอีกด้วย

บทที่ 3

ทฤษฎีของนิเวศวิทยา

ในทศวรรษนี้คอมพิวเตอร์ได้เข้ามามีบทบาทที่สำคัญอย่างมากต่อการประมวลผลข้อมูล และระบบสารสนเทศ แม้ว่าคอมพิวเตอร์สามารถที่จะทำงานตามขั้นตอนของคำสั่งได้อย่างรวดเร็ว และเที่ยงตรงอย่างไรก็ตามมนุษย์ก็ยังไม่สามารถทำให้คอมพิวเตอร์ทำงานบางอย่างได้อย่างมีประสิทธิภาพเทียบเท่าสมองของสิ่งมีชีวิต เช่น การเข้าใจ คำพูด การรู้จำใบหน้าของมนุษย์ เป็นต้น นักวิทยาศาสตร์ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญนี้จึงได้ทำการการพัฒนาคอมพิวเตอร์ไปสู่ระบบประมวลผลชนิดใหม่ ซึ่งสามารถประมวลผลข้อมูลจำนวนมหาศาลได้ในฉับพลัน ตลอดจนมีความสามารถในการเรียนรู้และคิดได้ ซึ่งอาจเรียกได้ว่าเป็น “สมองกล” อย่างแท้จริงจึงเป็นเป้าหมายสำคัญ เป้าหมายหนึ่งของวงการวิทยาศาสตร์ในปัจจุบัน แนวทางหนึ่งซึ่งนักวิทยาศาสตร์กำลังให้ความสนใจอยู่เป็นอย่างมาก คือ การพยายามศึกษาและเลียนแบบการประมวลผลของสมองสิ่งมีชีวิต โดยมุ่งเน้นว่าระบบประมวลผลที่ได้จะมี “ปัญญา” (Intelligence) ในลักษณะเดียวกับสิ่งมีชีวิต ระบบประมวลผลดังกล่าว คือ “โครงข่ายประสาทเทียม” หรือแบบจำลองนิเวศวิทยา[3][4]

3.1 นิเวศวิทยา

ในการออกแบบและสร้างระบบคอมพิวเตอร์ให้มีโครงสร้างการทำงานเลียนแบบการทำงานของเซลล์ในสมองของมนุษย์ หรือที่เรียกว่า “นิเวศวิทยา” นั้น มีขั้นตอนในการทำงานในแง่ของสรีระวิทยาประสาท ที่จะต่อเชื่อมโยงกันเป็นโครงข่ายของหน่วยประสาท หรือ นิเวศวิทยา โดยใช้วิธีการประมวลผลแบบขนาน และการกระจายการทำงาน (Parallel Distributed Processing) เพื่อแปลงข้อมูลจากรูปแบบหนึ่งไปเป็นอีกรูปแบบหนึ่งตามที่ต้องการ นอกจากนั้นคุณสมบัติของนิเวศวิทยายังแตกต่างจากหลักการทำงานในเชิงคณิตศาสตร์โดยทั่วไปในเรื่องของ Massively parallel processing ซึ่งคุณสมบัติประการแรก คือ Fault Tolerance หมายถึง ระบบประมวลผลจะไม่หยุดทำงานกลางคัน ถึงแม้หน่วยประมวลผลบางหน่วยได้รับความเสียหายจนทำงานไม่ได้ก็ตาม คุณสมบัติอีกประการหนึ่งที่สำคัญคือ Generalization หมายถึง นิเวศวิทยายังคงให้ผลลัพธ์ที่ต้องการได้ถึงแม้จะมีสัญญาณรบกวนหรือข้อมูลขาดความสมบูรณ์หรือเป็นข้อมูลที่ไม่เคยเห็นมาก่อนแต่คล้ายข้อมูลที่เข้ามาก่อนแล้วก็สามารถที่จะทำงานได้ คุณสมบัติประการสุดท้าย คือ Adaptability หมายถึง นิเวศวิทยาสามารถเรียนรู้สภาพแวดล้อมใหม่ที่แตกต่างจากสภาพแวดล้อมเดิมได้อย่างรวดเร็ว การทำงานของนิเวศวิทยาจะอยู่ในรูปของการฝึกสอน (Training) ทั้งที่เพื่อปรับพื้นฐานความรู้ด้วยตัวเลขค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight) ทำให้ค่าอินพุต และ เอาต์พุต ของระบบสอดคล้องกันจากนั้นจึงสามารถนำฐานความรู้ (Knowledge base) ที่ได้ไปใช้งานต่อไป

เอกสาร
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 เซลล์ประสาททางชีววิทยา

โครงสร้างของสมองมนุษย์ประกอบไปด้วยเซลล์ประสาทเล็กๆที่เรียกว่านิวรอลประมาณแสนล้านเซลล์เชื่อมต่อกันเป็นโครงข่ายที่ซับซ้อน โดยแต่ละนิวรอลจะทำหน้าที่รับสัญญาณไฟฟ้าเคมี (Electrochemical) นำมาทำการประมวลผลและส่งผลลัพธ์ออกไปให้เซลล์อื่นโดยอาศัยหลักการทางไฟฟ้ารูปร่างของเซลล์ประสาทหรือนิวรอลแสดงดังรูปที่ 3.1



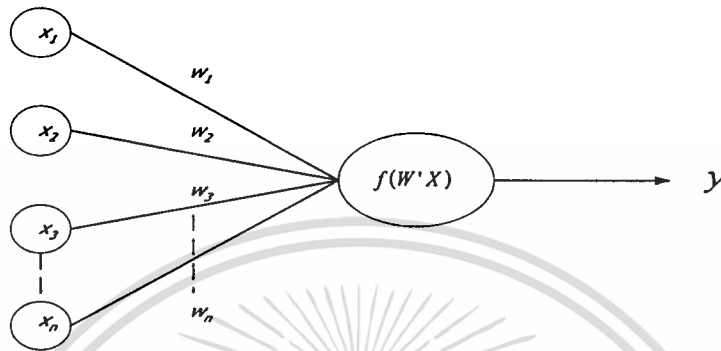
รูปที่ 3.1 โครงสร้างของเซลล์ประสาททางชีววิทยา

จากรูปที่ 3.1 เซลล์ประสาทหรือนิวรอลแต่ละเซลล์ประกอบไปด้วย ตัวเซลล์ (Cell Body) เดนไดรต์(Dendrite) และแอกซอน (Axon) เดนไดรต์จะทำหน้าที่รับสัญญาณไฟฟ้าเคมีจากเซลล์อื่นเข้าสู่ตัวเซลล์ผ่านทางจุดเชื่อมโยงระหว่างเซลล์ที่เรียกว่า ชีนแนพส์ (Synapse) ส่วนแอกซอนจะทำหน้าที่นำสัญญาณออกจากตัวเซลล์ส่งต่อไปยังเซลล์ประสาทตัวอื่น ในการส่งผ่านสัญญาณระหว่างเซลล์ชีนแนพส์จะปล่อยสารเคมีเพื่อไปกระตุ้น หรือยับยั้งตัวเซลล์ทำให้เกิดการเพิ่มความเข้มหรือลดความเข้มของสัญญาณ และเมื่อใดที่ผลรวมของสัญญาณไฟฟ้าเคมีทั้งหมดเกินกว่าค่าเทรชโฮลด์ (Threshold) ซึ่งมีค่าประมาณ 40 มิลลิโวลต์ นิวรอลจะทำการส่งสัญญาณผ่านแอกซอนไปให้นิวรอลตัวอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 แบบจำลองนิวรอน 1 หน่วย

แบบจำลองการทำงานของนิวรอนเน็ตเวิร์กบนคอมพิวเตอร์ประกอบด้วยหน่วยประมวลผลเชื่อมโยงกันหลายๆตัวในลักษณะขนาน คล้ายกับการเชื่อมต่อของนิวรอนในสมองมนุษย์ทำหน้าที่ในการแปลงข้อมูลจากรูปแบบหนึ่งไปเป็นอีกรูปแบบหนึ่งต่อไปเป็นทอดๆ



รูปที่ 3.2 แบบจำลองนิวรอน 1 หน่วย

จากรูปที่ 3.2 แสดงโครงข่ายการเชื่อมต่อของแบบจำลองนิวรอน 1 หน่วยหลักการทำงานจะถอดแบบมาจากการทำงานของเซลล์สมองของมนุษย์ กล่าวคือแต่ละเซลล์ประสาทหรือแต่ละโหนดนิวรอนจะรับชุดสัญญาณข้อมูลอินพุตโดยที่ x_i เป็นสัญญาณอินพุต เข้ามายังตัวเซลล์ผ่านทางซินแนปส์ และเคนไดรต์ โดยที่ซินแนปส์จะปล่อยสารเคมีเพื่อไปกระตุ้นหรือยับยั้งทำให้เกิดการเพิ่มความเข้มหรือลดความเข้มของสัญญาณ ซึ่งปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีดังกล่าวถูกแทนด้วยค่าของตัวเลขทศนิยมที่เรียกว่า ค่าถ่วงน้ำหนัก w_i ที่จะเป็นค่าที่จะใช้สอนโครงข่าย ค่าผลรวมของผลคูณระหว่างค่าถ่วงน้ำหนัก และค่าอินพุตจะถูกตัดสินใจด้วยฟังก์ชันกระตุ้น (Activation Function) ส่งออกมาเป็นค่าเอาต์พุตให้นิวรอนโหนดอื่นต่อไป ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$y = f(W'X) \quad (3.1)$$

โดยที่ W เป็นเวกเตอร์ของค่าถ่วงน้ำหนักซึ่งสามารถกำหนดได้ดังนี้

$$W = [w_1, w_2, w_3, \dots, w_n]^t$$

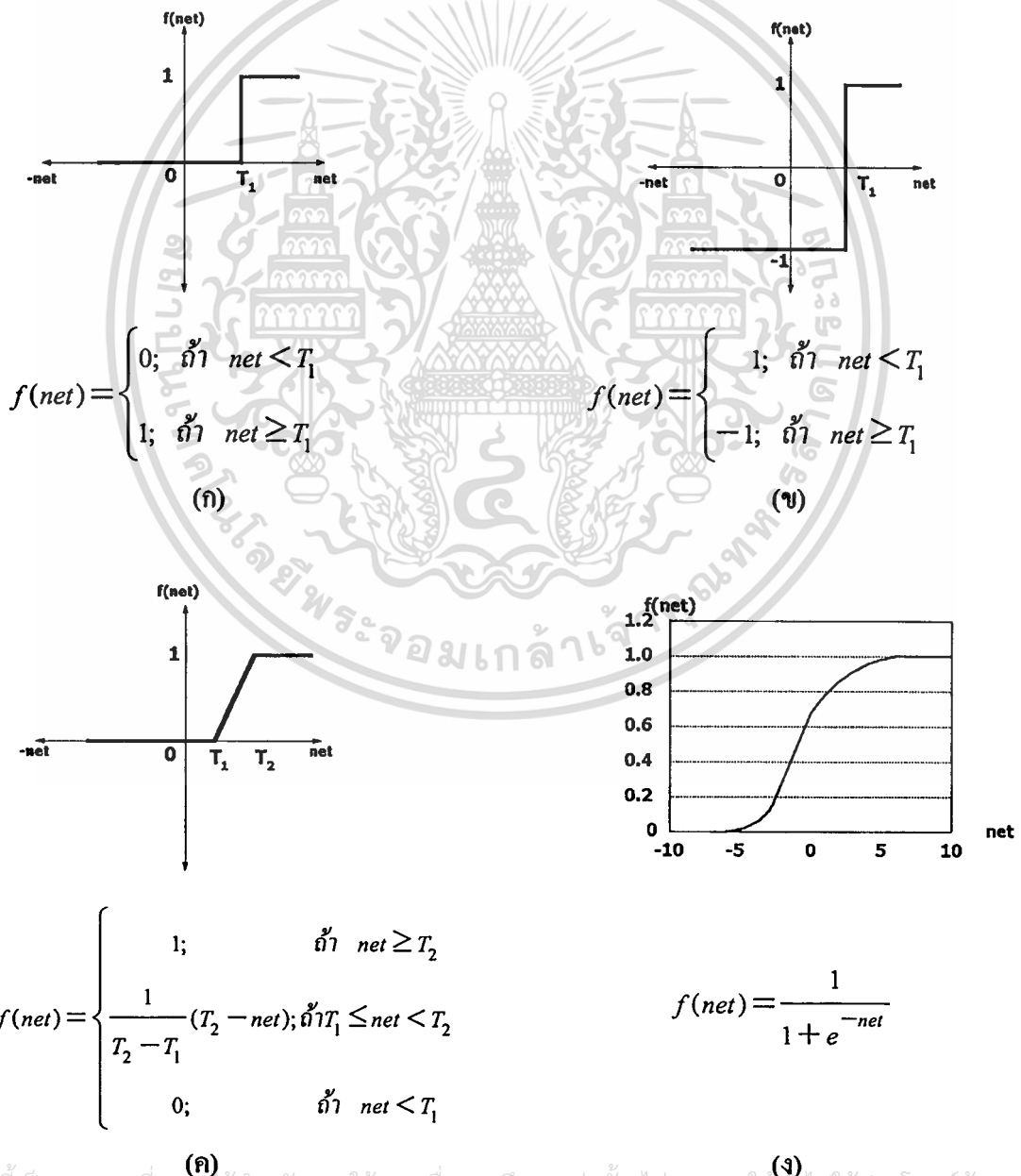
และ X เป็นเวกเตอร์อินพุต $X = [x_1, x_2, x_3, \dots, x_n]^t$ เมื่อ t เป็นตัวดำเนินการทรานสโพสค์ของเมทริกซ์ ฟังก์ชันกำหนดสัญญาณเอาต์พุตในสมการที่ (3.1) ถูกเรียกว่าฟังก์ชันกระตุ้นหรือแอกติเวชันฟังก์ชันซึ่งจะได้อธิบายในหัวข้อถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

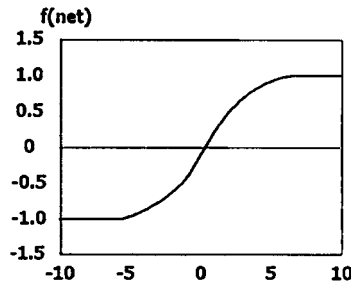
3.4 ฟังก์ชันกระตุ้น

ฟังก์ชันกระตุ้นที่ใช้ในการตัดสินใจของโครงข่ายมีอยู่หลายชนิด ดังแสดงในรูปที่ 3.3 มีทั้งชนิดที่เป็นฟังก์ชันแบบต่อเนื่อง และฟังก์ชันแบบไม่ต่อเนื่องค่าที่ได้จากฟังก์ชันเหล่านี้มีอยู่ 2 ลักษณะ คือ แบบไบโพลาร์ (Bipolar) ซึ่งโดเมนของ $f(net)$ จะอยู่ในช่วงปิด $[-1, 1]$ และยูนิโพลาร์ (Unipolar) ซึ่งโดเมนของ $f(net)$ จะอยู่ในช่วงปิด $[0, 1]$ ซึ่งในการเลือกใช้ฟังก์ชันกระตุ้นนั้น ไม่มีหลักเกณฑ์กำหนดแน่นอนว่าควรใช้ฟังก์ชันชนิดใดสำหรับโครงข่ายรูปแบบใด การเลือกใช้จึงขึ้นอยู่กับลักษณะของแต่ละปัญหาที่จะต้องพิจารณาให้มีความเหมาะสมกับปัญหานั้นๆ

กำหนดให้ $net = W'X = \sum_{i=1}^n w_i x_i$ ส่วนสัญลักษณ์ T_1 และ T_2 ที่ปรากฏในรูปเป็นค่าเทรชโฮลด์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$$f(\text{net}) = \frac{2}{1 + e^{-\text{net}}} - 1$$

(จ)

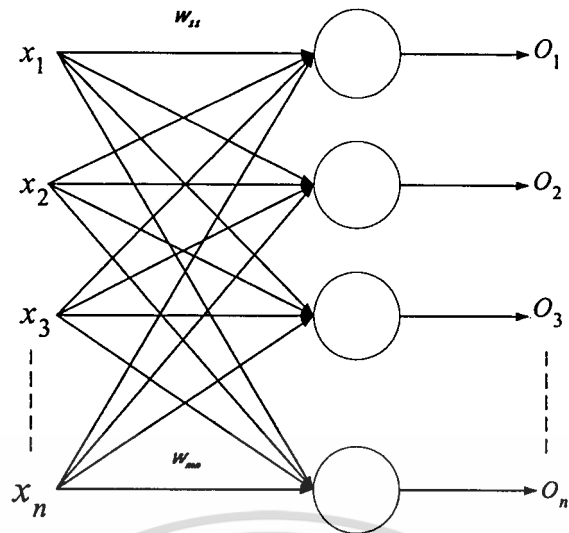
รูปที่ 3.3 ฟังก์ชันกระตุ้นชนิดต่างๆ (ก) Threshold (ข) Bipolar Binary (ค) Linear Threshold
(ง) Sigmoid (จ) Bipolar Continuous

3.5 แบบจำลองของนิวรอลเน็ตเวิร์ค

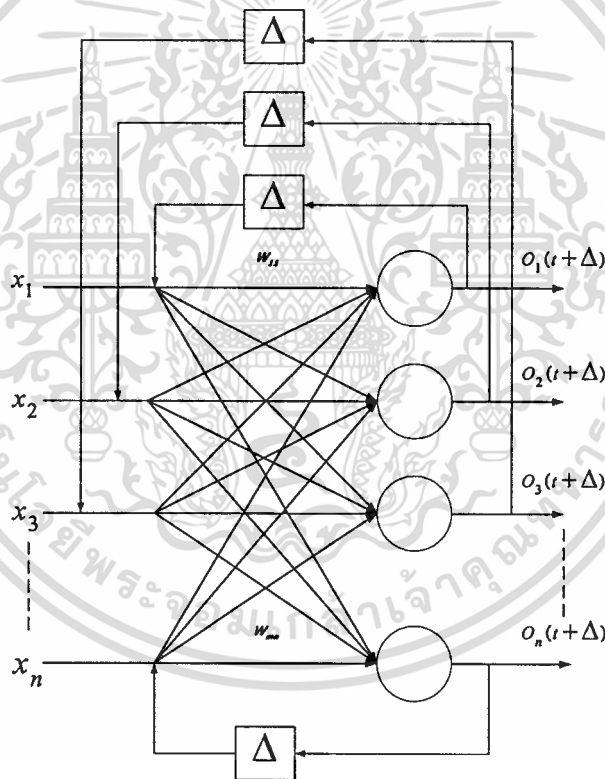
จากที่กล่าวมาเป็นการประมวลผลของนิวรอลเพียงโหนดเดียว ซึ่งเปรียบเสมือนการทำงานของเซลล์ประสาทเพียงเซลล์เดียว แต่ในการทำงานของเซลล์สมองจริงๆ นั้น จะต้องทำงานประสานกันหลายเซลล์ โดยจะต้องเชื่อมต่อนิวรอลหลายๆ ตัวเข้าด้วยกันให้เกิดเป็นลักษณะของโครงข่ายเป็นชั้นๆ ที่เรียกว่า Layer (ชั้น) โดยที่โหนดแต่ละตัวที่อยู่ในชั้นเดียวกันจะไม่มี การเชื่อมต่อถึงกัน ประเภทของโครงสร้างการเชื่อมต่อของโครงข่ายแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ โครงข่ายแบบป้อนไปข้างหน้า และ โครงข่ายแบบที่มีการป้อนกลับ

1. โครงข่ายแบบป้อนไปข้างหน้า (Feedforward Networks) โครงข่ายชนิดนี้จะประกอบไปด้วย ชั้นต่างๆ ของโครงข่าย โดยในชั้นแรกจะเป็นอินพุตและชั้นสุดท้ายเป็นชั้นของเอาต์พุต ส่วนระหว่างชั้นอินพุตกับเอาต์พุตอาจจะมีหรือ ไม่มีชั้นที่แทรกอยู่ภายในอีกก็ได้ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับอัลกอริทึมที่ใช้ในการสอนโครงข่าย เช่น ถ้าเป็นโครงข่าย Perceptron แบบหลายชั้น (Multilayer Perceptron) ก็จะมีชั้นที่อยู่ระหว่างอินพุตกับเอาต์พุตอีก ซึ่งอาจจะมียากกว่าหนึ่งชั้นก็ได้ โดยการเชื่อมต่อกันระหว่างชั้นของโครงข่ายแบบ Feedforward จะมีค่าน้ำหนักเป็นตัวเชื่อม และสัญญาณอินพุตที่เข้ามาจะถูกส่งต่อไปตามทิศทางของลูกศรจนถึงชั้นเอาต์พุต โดยไม่มีการป้อนกลับดังรูปที่ 3.4

2. โครงข่ายแบบที่มีการป้อนกลับ (Feedback Networks) ในส่วนแรกของโครงข่ายนี้จะเป็นโครงข่าย Feedforward เหมือนกับแบบแรกและส่วนที่เพิ่มเข้ามา คือ ส่วนของการป้อนกลับ ซึ่งการป้อนกลับนี้จะมีการหน่วงเวลาไปจากเวลาเดิมเท่ากับ Δ ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.4 โครงข่ายป้อนไปข้างหน้าแบบชั้นเดียว



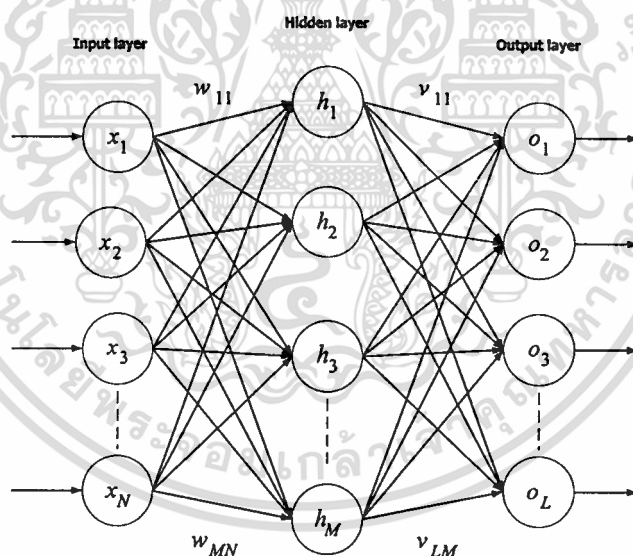
รูปที่ 3.5 โครงข่ายที่มีการป้อนกลับแบบชั้นเดียว

3.5.1 นิวรอลเน็ตเวิร์คแบบหลายชั้น

จากที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ผ่านมาในเรื่องของแบบจำลองของนิวรอลเน็ตเวิร์คแบบชั้นเดียว (Perceptron) ปี ค.ศ 1969 นักวิจัยได้พิสูจน์ให้เห็นว่านิวรอลเน็ตเวิร์คแบบชั้นเดียวมีข้อจำกัดบางประการที่ไม่สามารถนำมาใช้แก้ปัญหาในบางกรณีได้ จึงได้นำเสนอรูปแบบของนิวรอลเน็ตเวิร์คแบบหลายชั้นขึ้นมา ดังรูปที่ 3.6 ซึ่งเน็ตเวิร์คนี้มีการเชื่อมโยงกัน 3 ชั้น ซึ่งประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นเป็นประโยชน์สมควรนำค่า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปด้วยชั้นของอินพุต (Input Layer) ซึ่งมีเซลล์ประสาทอยู่ N โหนด ถัดมาเป็นชั้นของฮิดเดนหรือชั้นภายใน (Hidden Layer) ซึ่งประกอบไปด้วยโหนดต่างๆ จำนวน M โหนด และสุดท้ายคือชั้นของเอาต์พุต (Output Layer) ซึ่งมีโหนดต่างๆ จำนวน L โหนด โครงข่ายนิวรอลเน็ตเวิร์คแบบหลายชั้นในรูปที่ 3.6 แต่ละโหนดในชั้นเดียวกันจะไม่มี การเชื่อมต่อกัน การเชื่อมโยงกันจะมีเฉพาะระหว่างชั้นเท่านั้นและการเชื่อมโยงนี้จะต่อถึงกันทุกโหนด นิวรอลเน็ตเวิร์คแบบหลายชั้นไม่จำเป็นต้องมีสามชั้นเหมือนในรูปที่ 3.6 อาจจะมีจำนวนชั้นมากกว่านี้ก็ได้ซึ่งอาจมีสี่ชั้นโดยการเพิ่มชั้นฮิดเดนเข้าไปอีกหนึ่งชั้น หรือถ้าต้องการจำนวนชั้นมากกว่านี้ก็สามารทำได้โดยการเพิ่มชั้นของฮิดเดน ซึ่งชั้นฮิดเดนนี้จะเป็นตัวเพิ่มความสามารถให้กับโครงข่าย วงกลมในรูปแสดงถึงโหนดหรือนิวรอลและลูกศรจะแสดงทิศทางของการเคลื่อนที่ของสัญญาณระหว่างโหนดในแต่ละชั้น ซึ่งจะถูกแทนด้วยค่าตัวเลขน้ำหนักระหว่างโหนดและโครงสร้างแบบหลายชั้นนี้เองจะถูกนำไปใช้กับอัลกอริทึมของแบ็คปริอบปะเกชัน ซึ่งลักษณะของเน็ตเวิร์คแบบนี้จะมีขนาดใหญ่และมีความซับซ้อนมากกว่าเน็ตเวิร์คแบบชั้นเดียวมาก โดยอาจมองว่าเน็ตเวิร์คแบบหลายชั้นเกิดจากการรวมกันของเน็ตเวิร์คแบบชั้นเดียวก็ได้



รูปที่ 3.6 โครงสร้างนิวรอลเน็ตเวิร์คแบบหลายชั้น

โดยที่ $X = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$ คือ เซตของอินพุต

$H = \{h_1, h_2, \dots, h_M\}$ คือ เซตของฮิดเดน

$O = \{o_1, o_2, \dots, o_L\}$ คือ เซตของเอาต์พุต

W คือ เมตริกซ์ของค่าถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมต่อระหว่างชั้นอินพุตกับชั้นฮิดเดน

V คือ เมตริกซ์ของค่าถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมต่อระหว่างชั้นฮิดเดนกับชั้นเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 การฝึกสอนนิเวรอลเน็ตเวิร์ค

การฝึกสอนของโครงข่ายประสาทหรือนิเวรอลเน็ตเวิร์คจะมีประสิทธิภาพเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับค่าถ่วงน้ำหนักของโครงข่าย ซึ่งการฝึกสอน (Training) โครงข่ายก็คือการหาค่าถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมให้กับโครงข่ายนั้นๆ ซึ่งวิธีการสอนมีอยู่ด้วยกันสองแบบด้วยกันคือ

1. การสอนแบบชี้แนะหรือดูแล (Supervised Learning) การสอนโดยวิธีนี้จะกำหนดเขตของการสอนให้กับโครงข่ายซึ่งเขตนี้ประกอบด้วยอินพุตและเอาต์พุตที่ต้องการ (Target Output) เมื่อป้อนอินพุตให้กับโครงข่ายๆ ก็จะทำให้การประมวลผลจนได้คำตอบและค่าถ่วงน้ำหนักออกมาชุดหนึ่งสำหรับคำตอบที่ได้จากโครงข่ายจะถูกนำมาคำนวณค่าความผิดพลาดโดยวัดเป็นระยะทางว่ามีความห่างจากคำตอบที่ต้องการของอินพุตในชุดเดียวกันมากน้อยเพียงใด ถ้ายังมีความผิดพลาดสูงอยู่ก็จะมีการปรับค่าถ่วงน้ำหนักและทำการสอนต่อไปจนกว่าค่าความผิดพลาดระหว่างคำตอบของโครงข่ายกับเอาต์พุตที่ต้องการมีค่าน้อยพอที่จะยอมรับได้จึงจะหยุดการสอน และค่าถ่วงน้ำหนักที่ได้ก็จะเหมือนฟังก์ชันที่ใช้ในการแปลงข้อมูล

2. การสอนแบบไม่มีผู้ชี้แนะหรือไม่มีการดูแล (Unsupervised Learning) การสอนโดยวิธีนี้จะป้อนอินพุตเข้าสู่โครงข่าย และภายในโครงข่ายจะมีเอาต์พุตโหนดอยู่หลายโหนดด้วยกัน โดยแต่ละโหนดจะแทนกลุ่มของข้อมูลที่มีคุณสมบัติเหมือนกัน เมื่อป้อนอินพุตเข้าสู่โครงข่ายๆ จะทำการคำนวณค่าความสัมพันธ์ที่มีอยู่ภายในเขตของอินพุตโดยอาศัยค่าถ่วงน้ำหนักเป็นตัวแยกความแตกต่างของอินพุตไปเก็บไว้ในโหนดเอาต์พุตของโครงข่าย การสอนโดยวิธีนี้จะไม่สามารถระบุได้ว่าเอาต์พุตโหนดใดเป็นของข้อมูลกลุ่มไหน ผู้ใช้จะต้องกำหนดเอง ซึ่งต่างจากการสอนแบบชี้แนะที่โครงข่ายสามารถระบุกลุ่มของเอาต์พุตได้อย่างแน่นอน

การสอนโครงข่ายเซลล์ประสาทแบบจำลอง เป็นการหาฟังก์ชันการแปลงและฟังก์ชันการแปลงที่ได้จะมีคุณสมบัติไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งฟังก์ชันการแปลงของแบบจำลองโครงข่ายประสาทก็คือค่าถ่วงน้ำหนักของโครงข่าย ดังนั้นฟังก์ชันการแปลงจะมีศักยภาพมากน้อยเพียงใดนั้นจะขึ้นอยู่กับค่าถ่วงน้ำหนักของโครงข่ายนั้นๆ ว่าจะมีเสถียรภาพมากน้อยเพียงใดและค่าถ่วงน้ำหนักที่คำนวณได้จากการสอนโครงข่าย ซึ่งการสอนมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี เช่น กฎการสอนของ Hebb, กฎการสอนแบบ Perceptron ของ Rosenblatt, กฎการสอนแบบ Delta, กฎการสอนของ Windrow-Hoff, กฎการสอนแบบ Winner-Take-All และกฎการสอนแบบ Outstar ของ Grossberg [4] เป็นต้น

3.5.3 การแพร่กระจายกลับ

การแพร่กระจายกลับหรือแบ็คพรอปะเกชัน (Back-propagation) เป็นอัลกอริทึมสำหรับการฝึกสอนโครงข่ายที่ออกแบบมาใช้กับนิเวรอลเน็ตเวิร์คแบบหลายชั้น [5] ซึ่งเป็นเน็ตเวิร์คแบบหนึ่งที่ได้รับค่านิยมในการใช้งานมากในจำนวนนิเวรอลเน็ตเวิร์คที่มีใช้กันอยู่ในปัจจุบัน จากรูปที่ 3.6 เมื่อทำการสอนโครงข่ายนี้ซึ่งมีการสอนแบบชี้แนะ ดังนั้นในการสอนจะต้องป้อนเขตของข้อมูลที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้สอนซึ่งประกอบไปด้วยเซตของอินพุตและเซตของเอาต์พุตที่ต้องการ ซึ่งจะสอดคล้องกับเซตของอินพุต โดยที่ขั้นตอนการสอนแบบค่าความผิดพลาดแพร่กระจายกลับหรือ Error Back-propagation จะประกอบด้วยสามขั้นตอน คือ ในส่วนของการป้อนไปข้างหน้าอินพุตแพทเทิร์นจะถูกคำนวณผ่านเน็ตเวิร์กและสร้างเอาต์พุตที่แน่นอน ขั้นตอนที่สองค่าความแตกต่างระหว่างค่าเอาต์พุตที่ต้องการกับค่าเอาต์พุตที่ได้จากการคำนวณจะสร้างค่าผิดพลาดสำหรับแพทเทิร์นขึ้น และในขั้นตอนสุดท้ายค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจะถูกแพร่ย้อนกลับผ่านเน็ตเวิร์กเดิมเพื่อปรับค่าตัวเลขน้ำหนักของระบบ จากรูปที่ 3.6 กำหนดให้ P เป็นจำนวนเซตทั้งหมดที่ใช้ในการสอนโครงข่าย ดังนั้นเซตของอินพุตและเอาต์พุตที่ต้องการทั้งหมดจะมีอยู่ P เซต ถ้าให้ D เป็นเซตของเอาต์พุตที่ต้องการจะได้ว่า $D_p = \{d_1, d_2, d_3, \dots, d_L\}$ เมื่อ $p = 1, 2, 3, \dots, P$

W เป็นเมตริกซ์ของค่าถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมโยงระหว่างชั้นอินพุตกับชั้นฮิดเดนซึ่ง W มีขนาด M แถว และ N คอลัมน์

$$W = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & w_{13} & \dots & w_{1N} \\ w_{21} & w_{22} & w_{23} & \dots & w_{2N} \\ w_{31} & w_{32} & w_{33} & \dots & w_{3N} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ w_{M1} & w_{M2} & w_{M3} & \dots & w_{MN} \end{bmatrix}$$

V เป็นเมตริกซ์ของค่าถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมโยงระหว่างชั้นฮิดเดนกับชั้นเอาต์พุตซึ่ง V มีขนาด L แถว และ M คอลัมน์

$$V = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & v_{13} & \dots & v_{1M} \\ v_{21} & v_{22} & v_{23} & \dots & v_{2M} \\ v_{31} & v_{32} & v_{33} & \dots & v_{3M} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ v_{L1} & v_{L2} & v_{L3} & \dots & v_{LM} \end{bmatrix}$$

และ $f(net)$ เป็น Activation Function ใดๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.3

เมื่อทำการป้อนเซตของข้อมูลอินพุตที่ใช้สอนเข้าสู่โครงข่ายจะสามารถคำนวณโหนดของฮิดเดนที่ m ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ $net_m = \sum_{n=1}^N w_{mn} x_n$ ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ (3.2) การคำนวณค่า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$h_m = f(\text{net}_m)$$

และสามารถคำนวณเอาต์พุตโหนด l ได้ดังนี้

$$\text{net}_l = \sum_{m=1}^M v_{lm} x_m \quad (3.3)$$

$$o_l = f(\text{net}_l)$$

เมื่อกำหนดชั้นเอาต์พุตครบทุกโหนดแล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการปรับค่าถ่วงน้ำหนักของโครงข่ายโดยใช้ผลรวมของค่าความผิดพลาดเฉลี่ยกำลังสอง (Mean square error) ระหว่างค่าของผลลัพธ์ที่ได้จากโครงข่ายกับค่าเอาต์พุตที่ต้องการของแพทเทิร์นที่ p ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$E_p = \frac{1}{2} \sum_{l=1}^L (o_{pl} - d_{pl})^2 \quad (3.4)$$

ในการปรับค่าถ่วงน้ำหนักจะใช้วิธีของ Gradient-based Descent Methods [6] โดยที่การเชื่อมต่อระหว่างชั้นเอาต์พุตกับชั้นฮิดเดนสำหรับแพทเทิร์นที่ p (H_p) สามารถคำนวณหาได้ดังนี้

$$\Delta V = -\eta \frac{\partial E_p}{\partial V} \quad (3.5)$$

$$V(t+1) = V(t) - \eta \delta_p^V H_p \quad (3.6)$$

โดยที่ $\delta_p^V = (D_p - O_p) O_p (1 - O_p)$ ซึ่งเป็นความผิดพลาดภายในชั้นของเอาต์พุต

η เป็นค่าอัตราการเรียนรู้

t ลำดับของรอบในการเรียนรู้

ในลักษณะเดียวกันการปรับค่าถ่วงน้ำหนักที่การเชื่อมต่อระหว่างชั้นฮิดเดนกับชั้นอินพุตสำหรับแพทเทิร์นที่ p (X_p) สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\Delta W = -\eta \frac{\partial E_p}{\partial W} \quad (3.7)$$

$$W(t+1) = W(t) - \eta \delta_p^W X_p \quad (3.8)$$

โดยที่ $\delta_p^W = H_p (1 - H_p) (\delta_p^V)$ ซึ่งเป็นความผิดพลาดภายในชั้นฮิดเดน

ค่าถ่วงน้ำหนักที่คำนวณได้จากสมการที่ (3.6) และ (3.8) จะถูกนำไปแทนค่าถ่วงน้ำหนักเดิมในโครงข่ายซึ่งการทำงานจะทำซ้ำในลักษณะเดิมจนกระทั่งค่าผิดพลาดโดยรวมของระบบน้อยกว่า

เอกสารค่าผิดพลาดของระบบที่ยอมรับได้ การเรียนรู้ของระบบจึงถือว่าสมบูรณ์ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 สรุป

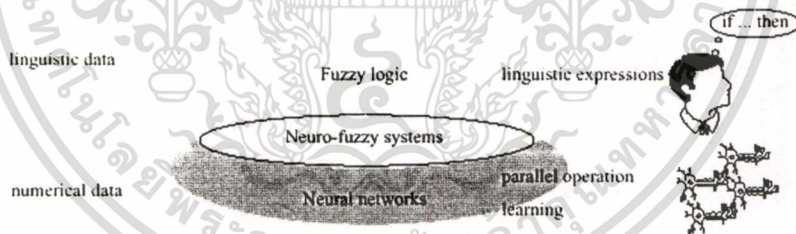
นิรอลเน็ตเวิร์คหรือโครงข่ายประสาทเป็นวิธีการทำงานที่จำลองมาจากการทำงานของสมองมนุษย์ เพื่อเพิ่มศักยภาพให้กับคอมพิวเตอร์ให้มีความสามารถมากขึ้น เหมาะสำหรับงานที่มีการคำนวณที่ซับซ้อนหรือต้องทำซ้ำๆหลายๆครั้งในรูปแบบเดิม ถึงแม้ว่าคอมพิวเตอร์จะได้รับการพัฒนาให้มีความสามารถสูงขึ้นมาเพียงใดก็ยังมีข้อจำกัดสำหรับงานบางประเภทที่ไม่สามารถทำได้เทียบเท่ากับมนุษย์ เช่นการทำให้คอมพิวเตอร์สามารถรู้จักภาพและเข้าใจภาษาพูดของมนุษย์ ซึ่งในงานเช่นนี้ต้องอาศัยความรู้และการสั่งสมประสบการณ์ ซึ่งถ้าใช้เทคนิคทางคณิตศาสตร์ธรรมดาแก้ปัญหาี้ก็จะทำให้ระบบมีความซับซ้อนมาก แต่ถ้าใช้นิรอลเน็ตเวิร์คก็จะช่วยลดความซับซ้อนของระบบลงได้มากเพียงแต่เราต้องเลือกการใช้งานให้มีความเหมาะสมกับระบบนั้นๆ อย่างไรก็ตามนิรอลเน็ตเวิร์คได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้งานจริงในหลายๆด้าน อย่างเช่น การนำไปประยุกต์ใช้งานกับเครื่องจักร ช่วยให้เครื่องจักรสามารถตัดสินใจและควบคุมตัวเองได้ในระดับหนึ่งภายใต้ขอบเขตที่มีการกำหนดไว้ล่วงหน้า



บทที่ 4

การออกแบบตัวควบคุมนิวโรฟัซซี

ในบทที่ผ่านมาได้กล่าวถึงทฤษฎีเกี่ยวกับฟัซซีลอจิกและนิวรอลเน็ตเวิร์ค ซึ่งเป็นพื้นฐานความรู้ที่จะนำมาใช้ในการออกแบบตัวควบคุมแบบนิวโรฟัซซี กล่าวคือ ตัวควบคุมแบบนิวโรฟัซซีมีหลักการทำงานร่วมกันระหว่างฟัซซีลอจิกและนิวรอลเน็ตเวิร์ค โดยการรวมเอาข้อดีของทั้งสองระบบมาใช้งานร่วมกัน ข้อดีของนิวรอลเน็ตเวิร์คก็คือสามารถที่จะเรียนรู้และทำการหาคำตอบที่เหมาะสมให้กับระบบได้ (Optimizing solution) ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้แก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนมากๆจนยากที่จะหาสมการทางคณิตศาสตร์มาแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคู่ของข้อมูลอินพุตและเอาต์พุตได้ หรือทำได้แต่ต้องใช้เวลาในการประมวลผลนาน ในขณะที่ข้อดีของฟัซซีลอจิกก็คือมีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการจัดการกับปัญหาที่มีความคลุมเคลือของข้อมูลได้ดี คือ จะคิดรูปแบบวิธีการในการแก้ปัญหา โดยแทนด้วยกฎในรูปแบบ IF – THEN ซึ่งเป็นรูปแบบที่เข้าใจง่าย เมื่อนำเอาข้อดีทั้งสองของนิวรอลเน็ตเวิร์คและของระบบฟัซซีมาประยุกต์ใช้งานสามารถนำไปพัฒนาระบบควบคุมที่สามารถเรียนรู้และปรับตัวเองได้ ซึ่งเราเรียกว่า ระบบนิวโรฟัซซี แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ระบบของนิวโรฟัซซี

4.1 ตัวควบคุมนิวโรฟัซซี

โดยทั่วไปแล้วตัวควบคุมแบบนิวโรฟัซซีแบ่งออกเป็น 2 แบบหลักๆ คือ

1. Neural fuzzy inference systems
2. Fuzzy neural networks

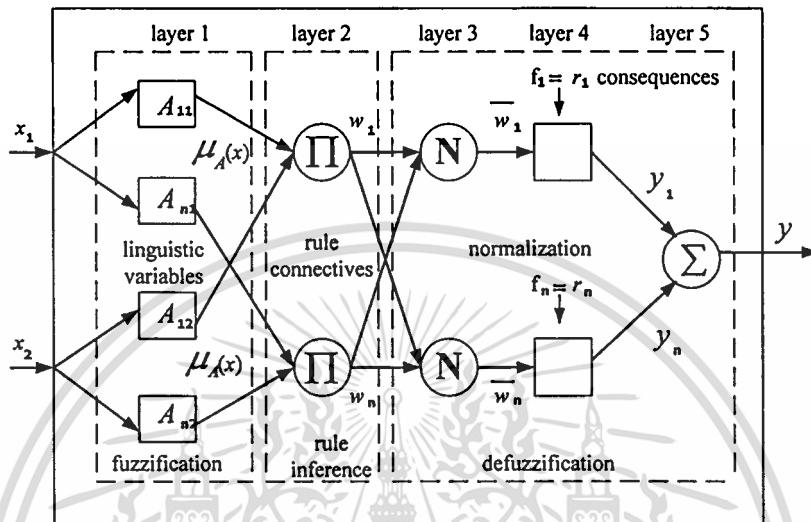
ตัวควบคุมที่ผู้วิจัยได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ เลือกใช้วิธีแบบ Neural fuzzy inference systems [7][8] และใช้แบบจำลองของซุจิโนมาทำการออกแบบตัวควบคุมขั้นตอนของวิธีนี้ก็คือใช้การเรียนรู้

ความสัมพันธ์ของอินพุตและเอาต์พุตโดยใช้เทคนิคของ Gradient-based descent methods ซึ่งเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการเรียนรู้วิธีการหนึ่งที่ใช้ในระบบนิเวศน์เน็ตเวิร์คมาทำการเรียนรู้ระบบฟัซซี เพื่อทำการปรับแต่งหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของระบบฟัซซี โดยการทำงานแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ป้อนไปข้างหน้าเพื่อคำนวณเอาต์พุตของตัวระบบฟัซซี และส่วนของการปรับแต่งพารามิเตอร์ โดยโครงสร้างของตัวควบคุมแบบซุจิโนแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ระบบแบบจำลองของ Sugeno

โดยที่ x	คือ ตัวแปรอินพุต (m คือจำนวนอินพุต; $j = 1, \dots, m : m = 2$)
A	คือ เทอมเซตฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของส่วนเหตุ
$\mu_A(x)$	คือ ค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ได้จากเซต A
i	คือ กฎการควบคุม ($i = 1, \dots, n$)
w_i	คือ ค่าที่ได้จากความสัมพันธ์ของอินพุต
\bar{w}_i	คือ ค่าที่ได้จากการนอมอลไลซ์ของกฎแต่ละกฎ
r_i	คือ เทอมเซตฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของส่วนผล
y_i	คือ ตัวแปรเอาต์พุต

4.1.1 ส่วนของการป้อนไปข้างหน้า

ในส่วนนี้จะเป็นการคำนวณเพื่อที่จะหาค่าเอาต์พุตของระบบฟัซซีเพื่อที่จะนำไปใช้ควบคุมกระบวนการ โดยแบ่งการทำงานออกเป็น 5 ชั้น ดังนี้

ชั้นที่ 1 : เป็นการคำนวณเพื่อหาค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุตเวกเตอร์

$$O_i^1 = \mu_{A_{ij}}(x_j) \quad (4.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 2 : เป็นการหาความสัมพันธ์ของอินพุตเวกเตอร์โดยเลือกใช้วิธีของ Product ซึ่งเป็นการนำค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกที่ได้จากขั้นที่ 1 มาคูณกัน

$$O_i^2 = w_i = \prod_{j=1}^m \mu_{A_{ij}}(x_j) \quad (4.2)$$

ขั้นที่ 3 : เป็นการนอมอลไลด์เพื่อหาค่าของอินพุตเวกเตอร์ที่ได้จากขั้นที่ 2

$$O_i^3 = \bar{w}_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (4.3)$$

ขั้นที่ 4 : เป็นการนำค่าที่ผ่านกระบวนการนอมอลไลด์ที่ได้จากขั้นที่ 3 มาคูณกับค่าจำนวนจริงซึ่งเป็นค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกในส่วนผล

$$O_i^4 = y_i = \bar{w}_i r_i \quad (4.4)$$

ขั้นที่ 5 : เป็นการคำนวณค่าเอาต์พุตของระบบฟัซซีเพื่อที่นำไปควบคุมกระบวนการ

$$O_i^5 = y = \sum_{i=1}^n y_i \quad (4.5)$$

4.1.2 ส่วนการปรับแต่งพารามิเตอร์

ในส่วนของการป้อนกลับ[9]เพื่อทำการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของระบบฟัซซีโดยใช้วิธีของ Gradient-based descent methods ในงานวิจัยนี้รูปแบบของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในส่วนเหตุที่เลือกใช้คือรูปแบบของเกาส์เซียนฟังก์ชันแสดงในสมการ (4.6) ค่าพารามิเตอร์ที่สามารถทำการปรับแต่งได้ คือ ค่ากลางและค่าความกว้าง (c_{ij}, w_{ij}) โดยใช้สมการ (4.8) และ (4.9) ในส่วนของรูปแบบฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของส่วนผลนั้นใช้รูปแบบฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบซิงเกิลตันค่าพารามิเตอร์ที่ปรับแต่งคือค่า r_i แสดงในสมการ (4.10) ซึ่งการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ นั้นค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจะถูกนำมาใช้เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมดังแสดงในสมการ (4.7)

$$\mu_{A_{ij}}(x_j) = e^{-0.5 \left(\frac{x_j - c_{ij}}{w_{ij}} \right)^2} \quad (4.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โดยที่ c_{ij} คือ ค่ากลาง (Center)
 w_{ij} คือ ค่าความกว้าง (Width)
 x_j คือ ตัวแปรอินพุต
 $\mu_{ij}(x_j)$ คือ ค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของรูปแบบเกาส์เซียน

$$E = \frac{1}{2}(y_d - y')^2 \quad (4.7)$$

- โดยที่ y_d คือ ค่าเอาต์พุตที่ได้จากกระบวนการ
 y' คือ ค่าเอาต์พุตที่ต้องการ

อัลกอริทึมของวิธี Gradient-based descent methods ที่ใช้ในการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ c_{ij} แสดงตามสมการที่ (4.8) โดยที่ n คือ ลำดับของรอบในการทำซ้ำ (Iteration)

$$c_{ij}(n+1) = c_{ij}(n) - \eta_a \cdot \frac{\partial E}{\partial c_{ij}} \quad (4.8)$$

ใช้วิธีการเดียวกันในการปรับค่า w_{ij} และ r_i จะได้ตามสมการที่ (4.9) และ (4.10)

$$w_{ij}(n+1) = w_{ij}(n) - \eta_b \cdot \frac{\partial E}{\partial w_{ij}} \quad (4.9)$$

$$r_i(n+1) = r_i(n) - \eta_c \cdot \frac{\partial E}{\partial r_i} \quad (4.10)$$

ในการหาค่าอนุพันธ์ของ $\frac{\partial E}{\partial c_{ij}}$, $\frac{\partial E}{\partial w_{ij}}$, $\frac{\partial E}{\partial r_i}$ นั้นใช้กฎลูกโซ่ (Chain rule) จะหาได้ตามสมการที่

(4.11), (4.12) และ (4.13)

$$\frac{\partial E}{\partial c_{ij}} = \frac{\partial E}{\partial y} \cdot \frac{\partial y}{\partial y_i} \cdot \frac{\partial y_i}{\partial w_i} \cdot \frac{\partial w_i}{\partial \mu_{ij}} \cdot \frac{\partial \mu_{ij}}{\partial c_{ij}} \quad (4.11)$$

$$\frac{\partial E}{\partial w_{ij}} = \frac{\partial E}{\partial y} \cdot \frac{\partial y}{\partial y_i} \cdot \frac{\partial y_i}{\partial w_i} \cdot \frac{\partial w_i}{\partial \mu_{ij}} \cdot \frac{\partial \mu_{ij}}{\partial w_{ij}} \quad (4.12)$$

$$\frac{\partial E}{\partial r_i} = \frac{\partial E}{\partial y} \cdot \frac{\partial y}{\partial y_i} \cdot \frac{\partial y_i}{\partial r_i} \quad (4.13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (4.11), (4.12) และ (4.13) เราสามารถหาอนุพันธ์ย่อย (Partial Derivative) ของแต่ละตัวแปรได้ดังต่อไปนี้

$$E = \frac{1}{2}(y_d - y^t)^2 \quad \Rightarrow \quad \frac{\partial E}{\partial y} = (y_d - y^t)$$

$$y = \sum_{i=1}^n y_i \quad \Rightarrow \quad \frac{\partial y}{\partial y_i} = 1$$

$$y_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \cdot r_i \quad \Rightarrow \quad \frac{\partial y_i}{\partial w_i} = \frac{(r_i - y)}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$y_i = \bar{w}_i r_i \quad \Rightarrow \quad \frac{\partial y_i}{\partial r_i} = \bar{w}_i$$

$$w_i = \prod_{j=1}^m \mu_{A_{ij}}(x_j) \quad \Rightarrow \quad \frac{\partial w_i}{\partial \mu_{ij}(x_j)} = \frac{w_i}{\mu_{ij}(x_j)}$$

$$\mu_{A_j}(x_j) = e^{-0.5 \left(\frac{x_j - c_{ij}}{w_{ij}} \right)^2} \quad \Rightarrow \quad \frac{\partial \mu_{ij}}{\partial c_{ij}} = e^{-0.5 \left(\frac{x_j - c_{ij}}{w_{ij}} \right)^2} \cdot \frac{(x_j - c_{ij})}{w_{ij}^2}$$

$$\mu_{A_j}(x_j) = e^{-0.5 \left(\frac{x_j - c_{ij}}{w_{ij}} \right)^2} \quad \Rightarrow \quad \frac{\partial \mu_{ij}}{\partial w_{ij}} = e^{-0.5 \left(\frac{x_j - c_{ij}}{w_{ij}} \right)^2} \cdot \frac{(x_j - c_{ij})^2}{w_{ij}^3}$$

นำค่าอนุพันธ์ของแต่ละตัวแปรที่หาได้ไปแทนในสมการ (4.8), (4.9) และ (4.10) จะสามารถหาค่าในการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ c_{ij} , w_{ij} และ r_i ได้ดังสมการ (4.14), (4.15) และ (4.16) ตามลำดับ

$$c_{ij}(n+1) = c_{ij}(n) - \eta_a \cdot (y_d - y^t) \cdot \frac{(r_i - y)}{\sum_{i=1}^n w_i} \cdot \frac{w_i}{\mu_{ij}(x_j)} \cdot e^{-0.5 \left(\frac{x_j - c_{ij}}{w_{ij}} \right)^2} \cdot \frac{(x_j - c_{ij})}{w_{ij}^2} \quad (4.14)$$

$$w_{ij}(n+1) = w_{ij}(n) - \eta_b \cdot (y_d - y^t) \cdot \frac{(r_i - y)}{\sum_{i=1}^n w_i} \cdot \frac{w_i}{\mu_{ij}(x_j)} \cdot e^{-0.5 \left(\frac{x_j - c_{ij}}{w_{ij}} \right)^2} \cdot \frac{(x_j - c_{ij})^2}{w_{ij}^3} \quad (4.15)$$

$$r_i(n+1) = r_i(n) - \eta_c \cdot (y_d - y^t) \cdot 1 \cdot \bar{w}_i \quad (4.16)$$

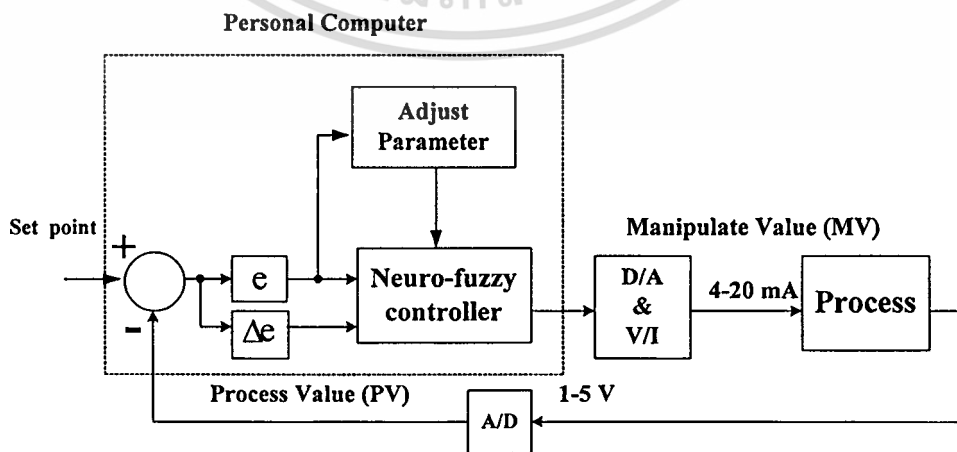
เอกสารนี้จัดทำขึ้นเพื่อการเรียนการสอนที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี โดยที่ค่า η_a , η_b และ η_c คือ ค่าอัตราการเรียนรู้ ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 อัตราการเรียนรู้ (Learning rate (η))

การกำหนดอัตราการเรียนรู้สามารถที่จะกำหนดเป็นแบบค่าคงที่หรือแบบมีการปรับค่าก็ได้ โดยที่ค่าอัตราในการเรียนรู้ของแต่ละระบบจะมีค่าที่ไม่เหมือนกัน การกำหนดค่าอัตราในการเรียนรู้ที่มีค่ามากจะส่งผลให้ระบบเกิดการแกว่ง (Oscillate) ถ้ากำหนดอัตราในการเรียนรู้น้อยเกินไประบบก็จะเรียนรู้ช้าไป ดังนั้นจึงต้องเลือกค่าอัตราการเรียนรู้ให้มีความเหมาะสมกับระบบที่ทำการควบคุมซึ่งจะส่งผลให้ระบบที่ควบคุมมีประสิทธิภาพที่ดี งานวิจัยนี้เลือกการกำหนดอัตราการเรียนรู้เป็นแบบคงที่เนื่องจากต้องการลดการผันแปรจากตัวแปรหลายตัว ซึ่งการกำหนดค่าอัตราในการเรียนรู้นั้นทำการทดลองหาค่าอัตราการเรียนรู้โดยใช้วิธีการลองผิดลองถูกจากการทดลองจนได้ค่าอัตราการเรียนรู้ η_a, η_b และ η_c ที่ใช้ในสมการที่ (4.14), (4.15) และ (4.16)

4.2 การออกแบบตัวควบคุม

ระบบที่ได้พัฒนาขึ้นนี้จะใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมนิวโรฟัซซีที่มีคุณสมบัติสามารถเรียนรู้และปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมให้กับกระบวนการได้อย่างอัตโนมัติ โดยใช้โปรแกรม Matlab เวอร์ชัน 6.0 [10] ในการออกแบบตัวควบคุม โดยโครงสร้างของตัวควบคุมที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการแสดงดังรูปที่ 4.3 การทำงานเริ่มต้นจากสัญญาณป้อนกลับที่ได้จากกระบวนการในลักษณะของแรงดันไฟฟ้าขนาด 1-5 Vdc. จะถูกส่งไปยังคอมพิวเตอร์โดยผ่านการ์ดอินเทอร์เฟซ MPIBM3 ซึ่งมีวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล (A/D คอนเวอร์เตอร์) เพื่อทำการประมวลผลและทำการวิเคราะห์เพื่อที่จะนำค่าที่เหมาะสมส่งผ่านวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาลอก (D/A คอนเวอร์เตอร์) ในลักษณะของแรงดันไฟฟ้า 1 ถึง 5 โวลต์ และทำการแปลงเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้าขนาด 4-20 mA dc. ด้วยวงจรแปลงสัญญาณแรงดันเป็นกระแสไฟฟ้า (V/I คอนเวอร์เตอร์) เพื่อส่งออกไปควบคุมกระบวนการ



รูปที่ 4.3 โครงสร้างของตัวควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 การกำหนดตัวแปรอินพุต และตัวแปรเอาต์พุต

ในการกำหนดตัวแปรอินพุต และตัวแปรเอาต์พุตของตัวควบคุมจะประกอบด้วย 2 ตัวแปรอินพุต และ 1 ตัวแปรเอาต์พุต โดยตัวแปรอินพุตของตัวควบคุม คือ ตัวแปรค่าความผิดพลาด e (Error) แสดงดังสมการที่ (4.17) และตัวแปรค่าเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาด Δe (Change of error) แสดงดังสมการที่ (4.18) ส่วนตัวแปรเอาต์พุตของตัวควบคุม คือ สัญญาณควบคุม y (Control output) ซึ่งแทนด้วยค่าจำนวนจริงที่อยู่ในตารางกฎการควบคุม

$$e(n) = SP - P(n) \quad (4.17)$$

$$\Delta e(n) = e(n) - e(n-1) \quad (4.18)$$

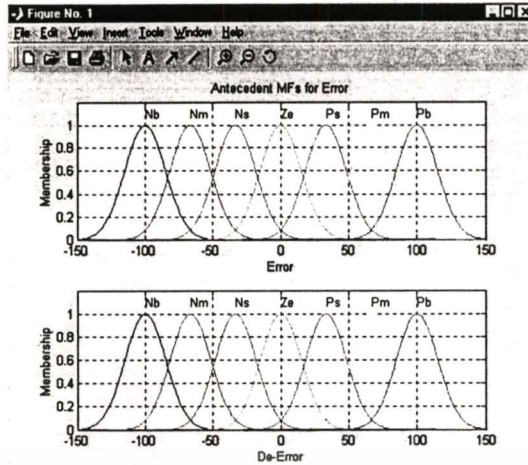
โดยที่ $e(n)$ คือ ตัวแปรค่าความผิดพลาดของระบบลำดับที่ n
 SP คือ ค่าเป้าหมาย (Set point)
 $P(n)$ คือ สัญญาณป้อนกลับของกระบวนการ
 $\Delta e(n)$ คือ ตัวแปรค่าการเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาด
 $e(n-1)$ คือ ค่าความผิดพลาดของระบบลำดับที่ $n-1$

4.2.2 การกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรอินพุต

ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบตัวควบคุม โดยกำหนดให้รูปร่างของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟังก์ชันเซตของตัวแปรอินพุต e และ Δe เป็นรูปทรงแบบเกาส์เซียนเนื่องจากมีความต่อเนื่องของรูปทรงและเหมาะกับระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้น เนื่องจากการทดลองใช้ตัวควบคุมไปควบคุมการเปิดปิดของวาล์ว ซึ่งมีความไม่เป็นเชิงเส้น ในรูปที่ 4.4 แสดงรูปร่างของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรอินพุต e และ Δe ซึ่งในการกำหนดเทอมเซตของตัวแปรอินพุตทั้งสองกำหนดให้แต่ละตัวแปร มีจำนวนเทอมเซตเท่ากับ 7 เซต คือ Nb, Nm, Ns, Ze, Ps, Pm, Pb โดยที่แต่ละตัวแปรมีค่าความกว้าง (w_{ij}) เท่ากับ 15 เท่ากันทุกเทอมเซต ส่วนค่ากลาง (c_{ij}) ของแต่ละตัวแปรมีค่า ดังนี้

- | | |
|-------------------------|----------|
| 1. Nb (Negative big) | = -100 |
| 2. Nm (Negative medium) | = -66.66 |
| 3. Ns (Negative small) | = -33.33 |
| 4. Ze (Zero equal) | = 0 |
| 5. Ps (Positive small) | = 33.33 |
| 6. Pm (Positive medium) | = 66.66 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารนำร่องสำหรับการใช้งานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรอินพุต e และ Δe

4.2.3 การกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรเอาต์พุต

การกำหนดความซับซ้อนของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอินพุตและตัวแปรเอาต์พุตที่คตินั้น จำนวนพีชชีเซตของตัวแปรอินพุตแต่ละตัวจะมีผลต่อขนาดของฐานกฎการควบคุมซึ่งเป็นส่วนของตัวแปรเอาต์พุต ในการหากฎการควบคุมนั้นสามารถหาได้ตามสมการที่ (4.19)

$$M = Ne \times N\Delta e \tag{4.19}$$

โดยที่ M คือ ขนาดของกฎการควบคุม

Ne คือ จำนวนเทอมเซตของตัวแปรอินพุต e

$N\Delta e$ คือ จำนวนเทอมเซตของตัวแปรอินพุต Δe

จากที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ผ่านมาตัวแปรอินพุต e และ Δe มีเทอมเซตเท่ากับ 7 เทอม ดังนั้นจำนวนกฎการควบคุมทั้งหมดเท่ากับ $M = 7 \times 7 = 49$ เซต ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และ 4.2

ตารางที่ 4.1 กฎการควบคุมที่ใช้ในกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถัง

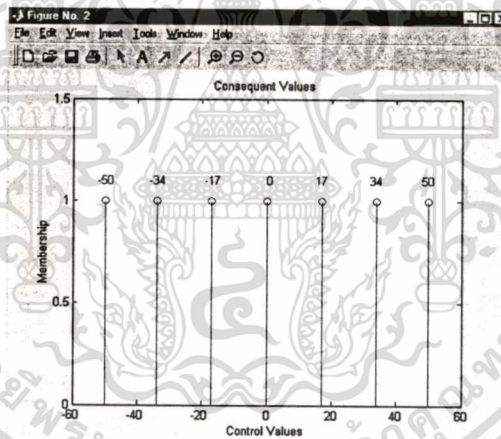
$e \backslash \Delta e$	Nb	Nm	Ns	Ze	Ps	Pm	Pb
Nb	-50	-50	-50	-50	-34	-17	0
Nm	-50	-50	-50	-34	-17	0	17
Ns	-50	-50	-34	-17	0	17	34
Ze	-50	-34	-17	0	17	34	50
Ps	-34	-17	0	17	34	50	50
Pm	-17	0	17	34	50	50	50
Pb	0	17	34	50	50	50	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

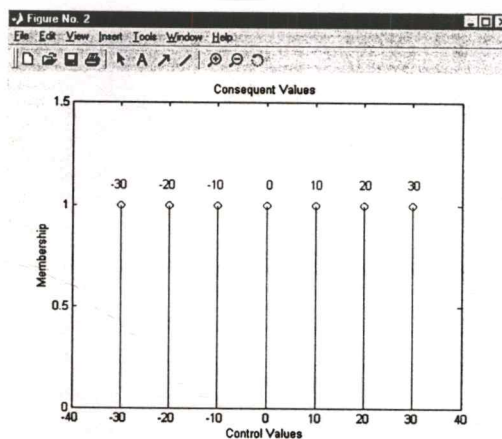
ตารางที่ 4.2 กฎการควบคุมที่ใช้ในระบบการควบคุมอุณหภูมิ

e \ Δe	Nb	Nm	Ns	Ze	Ps	Pm	Pb
Nb	-30	-30	-30	-30	-20	-10	0
Nm	-30	-30	-30	-20	-10	0	10
Ns	-30	-30	-20	-10	0	10	20
Ze	-30	-20	-10	0	10	20	30
Ps	-20	-10	0	10	20	30	30
Pm	-10	0	10	20	30	30	30
Pb	0	10	20	30	30	30	30

ในตารางกฎการควบคุมค่าจำนวนจริงที่กำหนดขึ้น คือ ค่ากฎเริ่มต้นที่จะใช้ในการสอน โดยกำหนดให้แต่ละเซตซึ่งแทนด้วยตัวแปรเอาต์พุตมีรูปแบบของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบซิงเกิลตัน แสดงดังรูปที่ 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ



รูปที่ 4.5 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเอาต์พุตแบบซิงเกิลตันที่ใช้ในระบบการควบคุมระดับน้ำ



รูปที่ 4.6 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเอาต์พุตแบบซิงเกิลตันที่ใช้ในระบบการควบคุมอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อวัตถุประสงค์ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์หรือจะเผยแพร่
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 อินเทอร์เฟซการ์ด

สำหรับตัวอินเทอร์เฟซการ์ดที่ผู้วิจัยเลือกใช้ในงานวิจัยนั้นเป็นการ์ด รุ่น MPIBM3 ของบริษัท BYTRONIC [11] คุณสมบัติของการ์ดนี้มีโมดูลในการใช้งานที่เหมาะสมกับโปรแกรม Matlab มี A/D คอนเวอร์เตอร์ จำนวน 8 ช่องสัญญาณ CH0 –CH7 ขนาด 8 บิต และ 12 บิต ซึ่งสามารถเลือกได้ ในส่วนของ D/A คอนเวอร์เตอร์ มีจำนวน 2 ช่องสัญญาณคือ DACA และ DACB ขนาด 12 บิต สามารถรับและส่งสัญญาณระหว่างตัวการ์ดกับโปรแกรม MATLAB โดยใช้คำสั่งเพียง adcinp ในการรับค่าสัญญาณอนาลอกเพื่อแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัล และ dacout ในการส่งค่าสัญญาณดิจิทัลเพื่อแปลงเป็นสัญญาณอนาลอก ซึ่งคำสั่งเหล่านี้อยู่ในรูปแบบของฟังก์ชัน DLL (Dynamic Linked Library) ซึ่งจะติดตั้งให้โดยอัตโนมัติเมื่อทำการติดตั้งไดรเวอร์ (Driver) ของการ์ด ทำให้ง่ายในการประยุกต์ใช้งาน นอกจากนี้ยังสามารถทำการควบคุมการ์ดเป็นแบบ Manual ได้ โดยรูปของการ์ดอินเทอร์เฟซ MPIBM 3 แสดงในภาคผนวก ก.

4.4 โปรแกรมตัวควบคุมนิวโรฟัซซี

ในงานวิจัยนี้ทำการออกแบบและสร้างตัวควบคุมนิวโรฟัซซีโดยเลือกใช้โปรแกรม Matlab เวอร์ชัน 6.0 โดยเขียนเป็น M-file แล้วสร้างการเชื่อมต่อระหว่างผู้ใช้ทางกราฟิก (Graphic User Interface (GUI)) [12]ซึ่งเป็นวิธีการเชื่อมต่อกันระหว่างผู้ใช้กับคอมพิวเตอร์ โดยคอมพิวเตอร์จะถูกใช้งานก็ต่อเมื่อผู้ใช้ได้ป้อนข้อมูลที่ต้องการผ่านทางคีย์บอร์ด เมาส์, trackball และ drawing pad อย่างใดอย่างหนึ่งให้กับคอมพิวเตอร์ คอมพิวเตอร์จะแสดงตัวอักษรและกราฟฟิกต่างๆ บนจอภาพ การเชื่อมต่อกับผู้ใช้ทางกราฟิก GUI จะสร้าง object ต่างๆ ที่ใช้สำหรับการติดต่อหรือใช้งานร่วมกัน คือ หน้าต่าง, ไอคอน, ปุ่ม, กรอบ, เมนู popup และตัวอักษรต่างๆซึ่งขั้นตอนการออกแบบจะคล้ายๆกับโปรแกรม Visual Basic และโปรแกรม Delphi แต่จะมีขั้นตอนการออกแบบที่ยุ่งยากซับซ้อนมากกว่า สาเหตุที่ผู้วิจัยเลือกใช้วิธีการทาง Matlab ในการออกแบบและสร้างตัวควบคุมก็เนื่องมาจากโปรแกรม Matlab เป็นโปรแกรมที่นิยมนำมาใช้ในการคำนวณแก้ปัญหาคณิตศาสตร์และกราฟฟิกที่ซับซ้อนให้ง่ายต่อการใช้งานเนื่องจากมีฟังก์ชันในการใช้งานทางคณิตศาสตร์มากมายมีความรวดเร็วและการเขียนโปรแกรมไม่ยุ่งยากซับซ้อนเป็นโปรแกรมที่ง่ายต่อความเข้าใจ

4.4.1 โครงสร้างการทำงานของตัวควบคุม

รูปแบบของการเชื่อมต่อระหว่างผู้ใช้ทางกราฟิก หรือ GUI ที่ผู้วิจัยทำการออกแบบแสดงดังรูปที่ 4.7 ซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ

1) Set point (SP) คือ การกำหนดค่าเป้าหมายของกระบวนการ

2) MPIBM3 Interface card เป็นส่วนที่กำหนดการทำงานของ A/D คอนเวอร์เตอร์ และ D/A

คอนเวอร์เตอร์ของการ์ดอินเทอร์เฟซ งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ADC คือ การรับค่าสัญญาณอนาลอกเพื่อแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลออกให้คำสั่ง `adcinp` (Base address, Channel, Resolution, Gain) ค่าที่ต้องกำหนด คือ ค่า Base address, Channel, Resolution และ Gain ตัวอย่าง เช่น `adcinp(576, 6, 1, 1)`

- DAC คือ การแปลงค่าสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาลอกเอาต์พุตให้คำสั่ง `dacout` (Base address, Channel) ค่าที่ต้องกำหนด คือ ค่า Base address และ Channel ตัวอย่าง เช่น `adcinp(576, 1)`

3) ปุ่มคำสั่ง(Command Button)ในส่วนนี้จะเป็นส่วนของปุ่มควบคุมซึ่งประกอบด้วย 6 ปุ่มดังนี้

- Start เป็นปุ่มคำสั่งที่กำหนดให้โปรแกรมเริ่มทำงานหลังจากรับค่าเป้าหมายเข้ามา

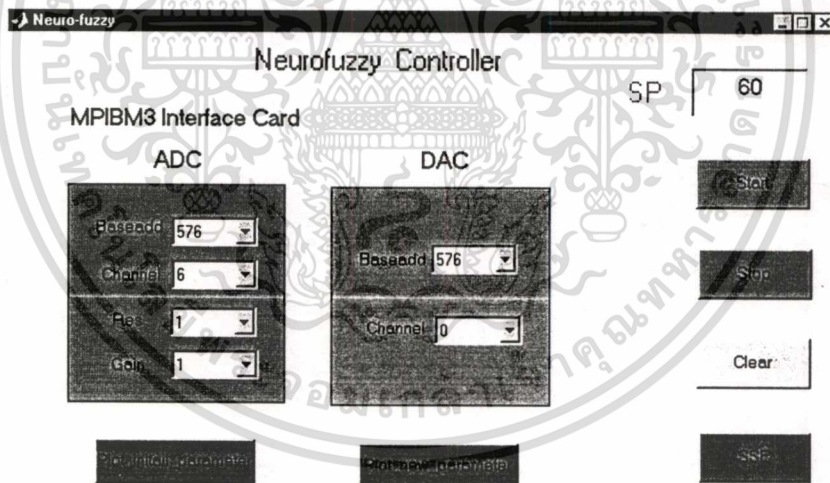
- Stop เป็นปุ่มคำสั่งให้โปรแกรมหยุดทำงานและทำการปิด โปรแกรม

- Clear เป็นปุ่มคำสั่งที่ให้ทำการเคลียร์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

- SSE เป็นปุ่มคำสั่งต้องการจะดูกราฟค่า Sum squared error (SSE)

- Plot_initial_parameter เป็นปุ่มคำสั่งที่ต้องการจะดูกราฟและค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นที่อยู่ในรูปแบบของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

- Plot_new_parameter เป็นปุ่มคำสั่งที่ต้องการจะดูกราฟและค่าพารามิเตอร์ที่อยู่ในรูปแบบของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกหลังจากผ่านกระบวนการเรียนรู้

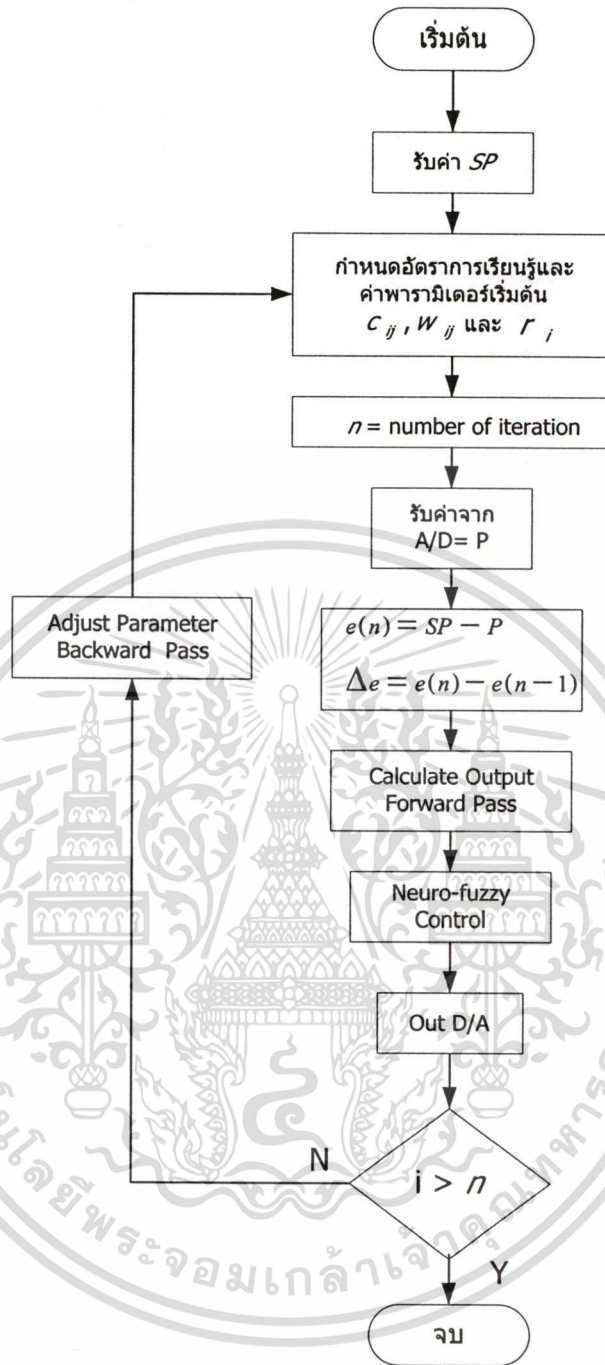


รูปที่ 4.7 โครงสร้างของ GUI

4.4.2 ผังขั้นตอนการทำงานของตัวควบคุม

การทำงานของตัวควบคุมแบบนิวโรฟัซซีเขียนเป็น Flow Chart ได้ดังรูปที่ 4.8 โดยการทำงานจะเริ่มจากกำหนดค่าเริ่มต้นต่างๆ ให้กับตัวควบคุม อย่างเช่น ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก กฎการควบคุมตลอดจนค่าอัตราการเรียนรู้ หลังจากนั้นทำการป้อนค่าเป้าหมายที่ต้องการควบคุม ซึ่งเราสามารถที่จะควบคุมกระบวนการผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับนักเรียนในเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ผังขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมควบคุม

4.5 ส่วนของการบันทึกผล

ในการเก็บข้อมูล (Recorder) ที่ได้จากการทดลองนั้น ทำการบันทึกผลการทดลองโดยใช้ตัวเก็บข้อมูลที่เขียนขึ้นด้วยโปรแกรม Delphi ซึ่งประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลักๆ คือ ส่วนของการบันทึกผล ในรูปของกราฟ ส่วนควบคุมการทำงานของตัวบันทึกผล และส่วนสุดท้ายจะเป็นส่วนการบันทึกผล ที่เป็นค่าตัวเลข ซึ่งหน้าจอของส่วนการบันทึกผลแสดงในรูปที่ 4.9

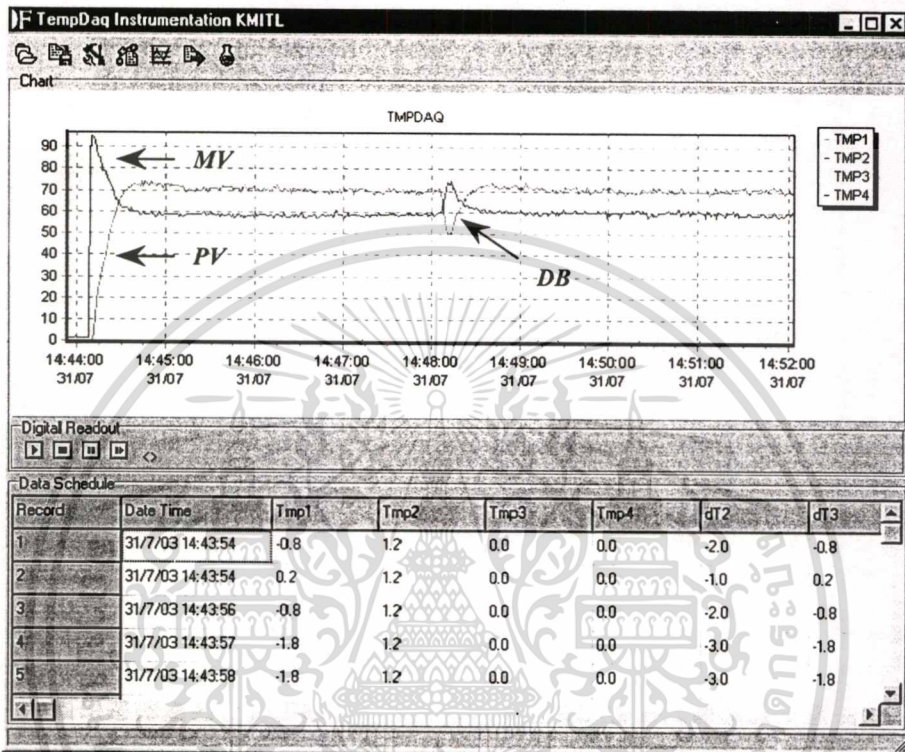
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

PV คือ ค่าของกระบวนการ (Process Value)

MV คือ ค่าเอาต์พุตที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการ (Manipulate Value)

DB คือ สัญญาณรบกวน (Disturbance) ที่ป้อนเข้าไปในระบบ



รูปที่ 4.9 หน้าจอของส่วนการบันทึกผล

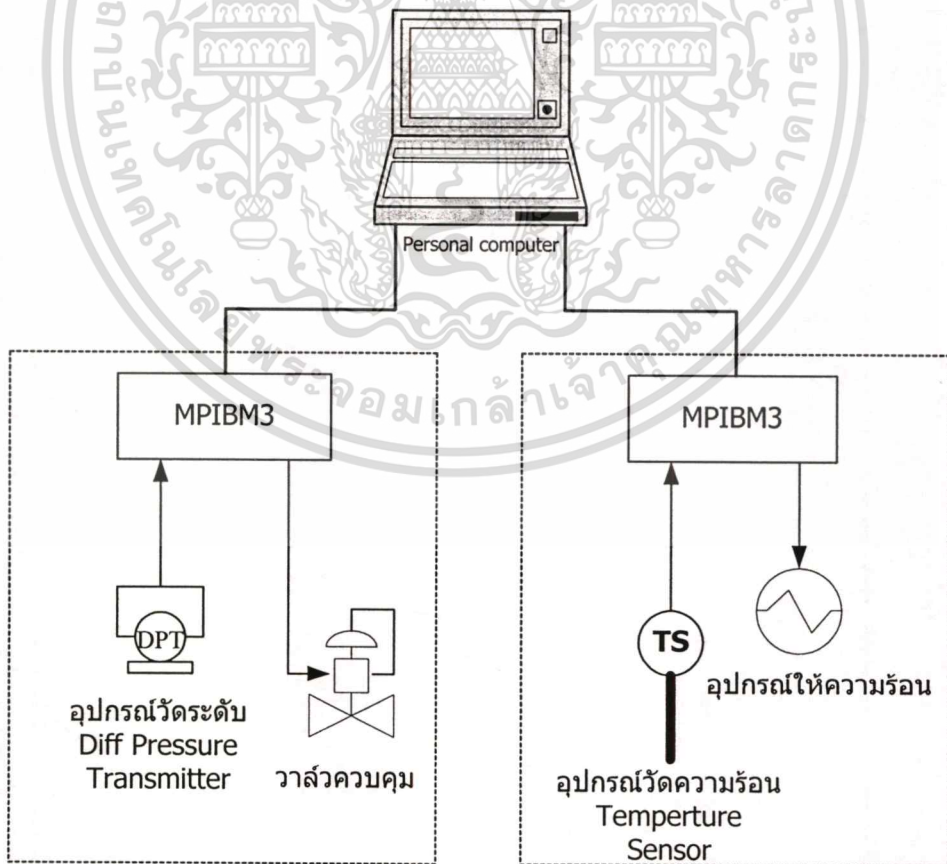
4.6 สรุป

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบตัวควบคุมนิวโรฟัซซี่ โดยเป็นการรวมเอาข้อดีของฟัซซี่ลอจิกและนิวรอลเน็ตเวิร์คเข้าด้วยกัน ซึ่งตัวควบคุมดังกล่าวมีคุณสมบัติสามารถที่จะเรียนรู้และปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของระบบฟัซซี่ได้ด้วยตัวเองโดยใช้เทคนิคการเรียนรู้ Gradient-based descent methods ที่ได้จากนิวรอลเน็ตเวิร์ค ซึ่งในการออกแบบตัวควบคุมนิวโรฟัซซี่จะใช้วิธีการของซูจิโนและทำการสร้างตัวควบคุมโดยใช้โปรแกรม Matlab เขียนด้วย M-file แล้วสร้างรูปแบบของ GUI ขึ้นมาเพื่อเป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างผู้ใช้กับคอมพิวเตอร์ ในการทดลองเพื่อทดสอบสมรรถนะของตัวควบคุมในการควบคุมกระบวนการจริง เลือกใช้กระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถัง และกระบวนการควบคุมอุณหภูมิ โดยทำการเปรียบเทียบผลการทดลองกับตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน ซึ่งขั้นตอนทดลองจนผลการทดลองแสดงในบทที่ 5

บทที่ 5

ผลการทดลอง

ในวิทยานิพนธ์นี้จะทำการทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของตัวควบคุมนิวโรฟuzzy ที่สร้างขึ้น โดยจะทำการทดลองกับกระบวนการ 2 กระบวนการ คือ กระบวนการควบคุมระดับน้ำในถัง กรณีถังเดียวและกรณีสองถัง และ กระบวนการควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งทั้งสองกระบวนการนั้นทำการทดลองในห้องทดลองของภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม โดยจะแสดงให้เห็นถึงผลตอบสนองที่ค่าเป้าหมายต่าง ๆ กันของแต่ละกระบวนการ ในการควบคุมทำการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมนิวโรฟuzzy ที่นำเสนอกับตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน ของบริษัท OMRON จำนวน 2 รุ่น คือ รุ่น E5AK กับ รุ่น 3G2A5-PID01-E [13][14] นอกจากนี้ยังทำการทดสอบประสิทธิภาพในการปรับตัวของตัวควบคุม โดยการสร้างสัญญาณรบกวนในรูปแบบที่ต่าง ๆ กันเข้าไปในระบบควบคุมเพื่อดูผลตอบสนองของสัญญาณอ้างอิงเมื่อมีการรบกวนจากภายนอกเกิดขึ้น โครงสร้างของการทดลองแสดงดังรูปที่ 5.1

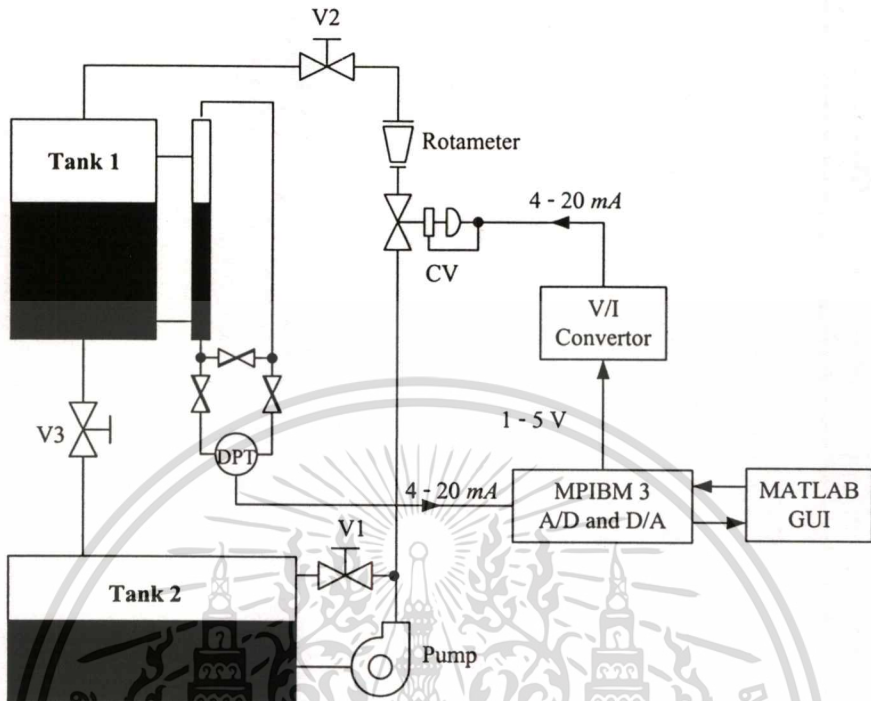


รูปที่ 5.1 โครงสร้างการทดลองของกระบวนการควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1 การทดลองกับกระบวนการควบคุมระดับน้ำ

5.1.1 กระบวนการควบคุมระดับน้ำในถังกรณีถังเดียว



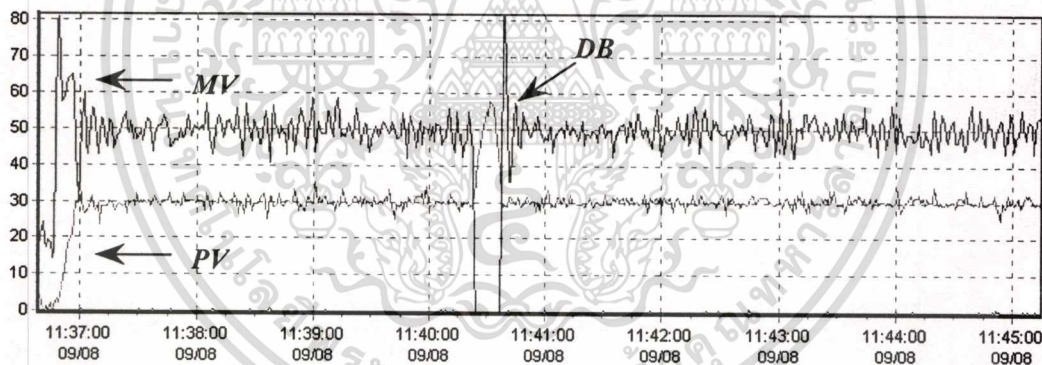
รูปที่ 5.2 โครงสร้างการทดลองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 1 กรณีถังเดียว

จากรูปที่ 5.2 เป็นการทำงานของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังกรณีถังเดียว ซึ่งการควบคุมระดับของน้ำใน Tank 1 เริ่มต้นจากระบบจะทำการปั้มน้ำจาก Tank 2 ผ่านไปตามท่อผ่านไปยังตัววาล์วควบคุม CV ผ่านตัว Rotameter ซึ่งเป็นตัววัดอัตราการไหลของน้ำ ทำการเปิดวาล์ว V2 เต็มที่ หลังจากนั้นน้ำก็จะไหลลงใน Tank 1 ผ่านวาล์ว V3 ลงสู่ Tank 2 ในการวัดระดับของน้ำใช้ตัว Diff Pressure Transmitter (DPT) เป็นตัววัดระดับของน้ำใน Tank 1 และแปลงเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้าขนาด 4-20 mA dc. สัญญาณกระแสไฟฟ้านี้จะถูกแปลงเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า 1-5 Vdc. โดยใช้ความต้านทาน 250 โอห์ม และถูกป้อนเป็นสัญญาณอินพุตส่งผ่านไปยังการ์ดควบคุม MPIBM3 เพื่อแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลโดยผ่านวงจร A/D ขนาด 12 บิต ทำการประมวลผลตัวควบคุมนิวโรฟuzzyด้วยโปรแกรม Matlab บนเครื่องคอมพิวเตอร์ หลังจากนั้นส่งสัญญาณดิจิตอลที่คำนวณได้ส่งผ่านไปยังวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาลอก D/A ขนาด 12 บิต ซึ่งมีค่าแรงดันไฟฟ้า 1-5 Vdc. ทำการแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ได้ให้เป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้าขนาด 4-20 mA dc. โดยใช้วงจร V/I เพื่อนำสัญญาณที่ได้ไปการควบคุมการเปิดปิดของวาล์ว

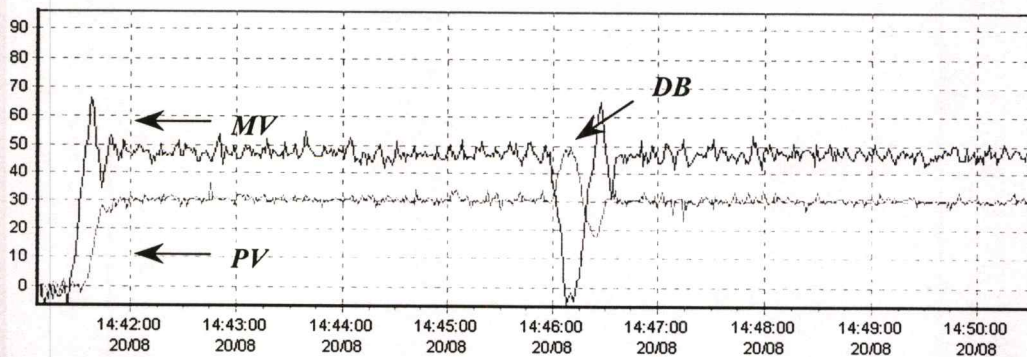
ในการทดลองเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุม เพื่อควบคุมกระบวนการในการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 1 กรณีถังเดียว ทำการเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างตัวควบคุมนิวโรฟuzzyที่สร้างขึ้นกับตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐานของบริษัท OMRON จำนวน 2 รุ่น คือรุ่น E5AK
 เอกสารฉบับที่ 10/2558 เรื่อง การเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐานของบริษัท OMRON จำนวน 2 รุ่น คือรุ่น E5AK
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับ รุ่น 3G2A5-PID01-E ที่ค่าเป้าหมาย 30 %, 50 % และ 70 % ตามลำดับ นอกจากนี้ยังทำการทดลองในลักษณะของการเปลี่ยนค่าเป้าหมายขณะควบคุม (Step change) และทำการปรับระบบควบคุมโดยการสร้างสัญญาณรบกวนรูปแบบที่ต่างๆกันเข้าไปในระบบเพื่อทดสอบสมรรถนะของตัวควบคุม ซึ่งในการทดลองได้กำหนดค่าคงที่ต่างๆดังนี้ ค่าแรงดันปั๊มที่จะใช้ในการปั้มน้ำมีค่าเท่ากับ 26.50 Hz. ค่าอัตราการเรียนรู้ที่ใช้ของตัวควบคุมนิวโรฟัซซีมีค่าเท่ากับ $\eta_a = 0.5$, $\eta_b = 0.5$ และ $\eta_c = 0.01$ ในส่วนของการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐานที่จะใช้ในการควบคุมกระบวนการนั้นจะใช้ในโหมดของการปรับค่าอย่างอัตโนมัติ (Auto-Tuning) ซึ่งตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐานที่ผลิตจากบริษัท OMRON ทั้ง 2 รุ่นนี้มีหลักการในการ Auto-Tuning ที่แตกต่างกัน ในรุ่น 3G2A5-PID01-E จะใช้หลักการของ Ziegler-Nichols ส่วนรุ่น E5AK จะใช้หลักการของ Fuzzy Self-Tuning โดยค่าพารามิเตอร์ที่หาได้มีค่าดังนี้รุ่น 3G2A5-PID01-E ($K_p=22$, $T_i=40$, $T_d=10$) และรุ่น E5AK ($K_p=25.9$, $T_i=7$, $T_d=1$)

1) การทดลองที่ค่าเป้าหมาย 30 % และมีการรบกวนโดยการเติมน้ำจำนวน 1.5 ลิตรลงในถังที่ 1 ขณะควบคุมทำการเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างตัวควบคุมนิวโรฟัซซีกับตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐานของบริษัท OMRON จำนวน 2 รุ่น คือ รุ่น 3G2A5-PID01-E กับ รุ่น E5AK



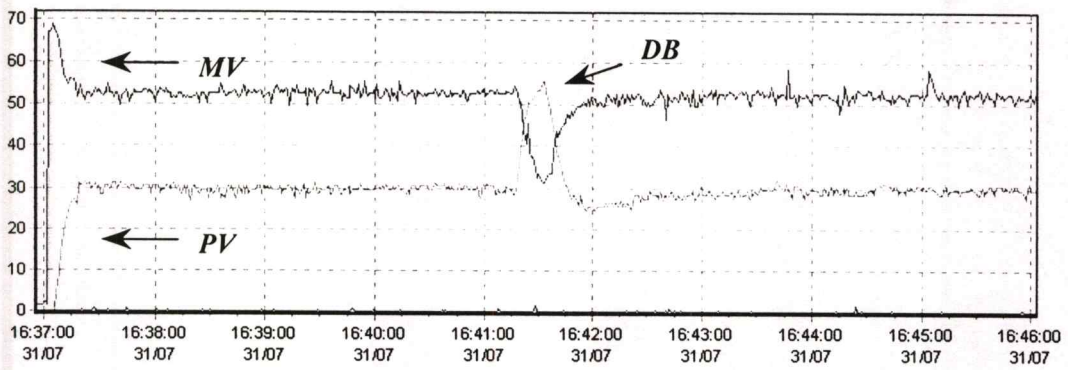
รูปที่ 5.3 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 1 กรณีถึงเคียว ด้วยตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน รุ่น 3G2A5-PID01-E ที่ค่าเป้าหมาย 30 %



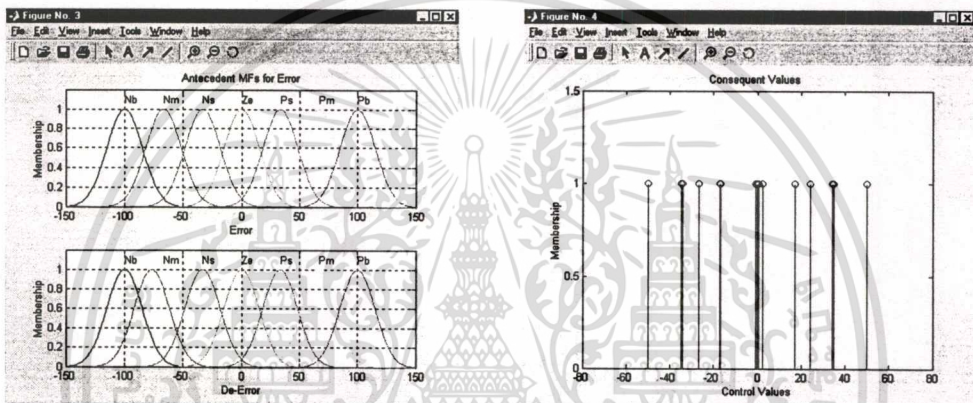
รูปที่ 5.4 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 1 กรณีถึงเคียว ด้วยตัวควบคุม

พีไอดีมาตรฐาน รุ่น E5AK ที่ค่าเป้าหมาย 30 %

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 1 กรณีถังเดียว ด้วยตัวควบคุม นิวโรฟัซซี ที่ค่าเป้าหมาย 30 %



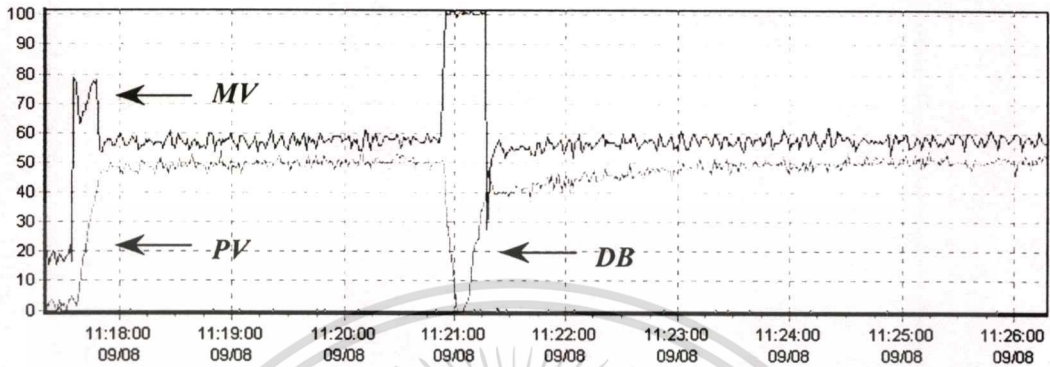
รูปที่ 5.6 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกส่วนของ Antecedent และ Consequent หลังจากผ่านกระบวนการเรียนรู้ที่ค่าเป้าหมาย 30 % ของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 1 กรณีถังเดียว

จากรูปที่ 5.3 – 5.5 เป็นผลการทดลองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 1 กรณีถังเดียว ที่ค่าเป้าหมาย 30 % ด้วยตัวควบคุมควบคุมพีไอดีมาตรฐานของบริษัท OMRON รุ่น 3G2A5-PID01-E และ รุ่น E5AK เปรียบเทียบกับตัวควบคุมนิวโรฟัซซี จากการทดลองพบว่าตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน ทั้ง 2 รุ่น มีผลตอบสนองของสัญญาณเอาต์พุตต่อสัญญาณอ้างอิงที่ดี ในเรื่องของเวลาการไต่ระดับที่ใช้เวลารวดเร็วโดยไม่เกิดการฟุ้งเกินใกล้เคียงกับตัวควบคุมนิวโรฟัซซี แต่จะใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัวมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมนิวโรฟัซซี ในส่วนของการทดสอบเมื่อทำการสร้างการรบกวนเข้าไปในระบบควบคุมโดยการเติมน้ำ พบว่าตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐานรุ่น 3G2A5-PID01-E จะใช้เวลาน้อยกว่าเพื่อที่จะกลับไปควบคุมที่ค่าเป้าหมายเดิมเมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน รุ่น E5AK และตัวควบคุมนิวโรฟัซซี ส่วนรูปที่ 5.6 เป็นฟังก์ชันความเป็นสมาชิกส่วนของ Antecedent และ Consequent หลังจากผ่านกระบวนการเรียนรู้ที่ค่าเป้าหมาย 30 % พบว่าที่การทดลองนี้ค่าพารามิเตอร์ส่วน Antecedent และค่าพารามิเตอร์ส่วน Consequent ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก ซึ่งรายละเอียดการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์สามารถดูได้จาก

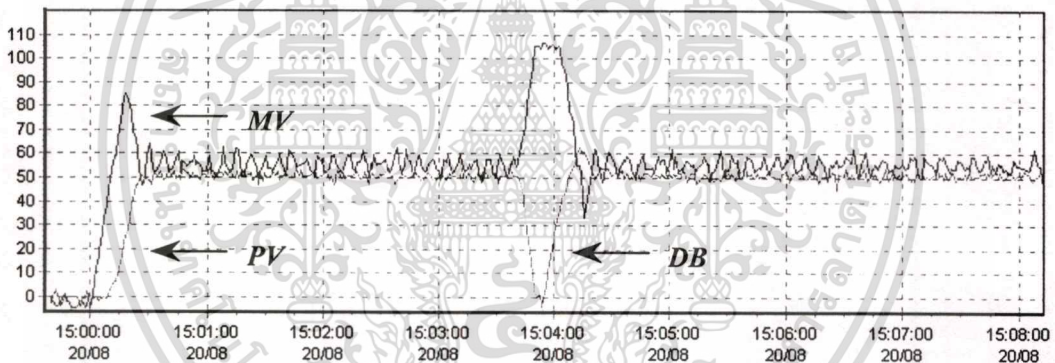
เอกสารตารางที่ 5.2, 5.3 และ 5.4 หรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

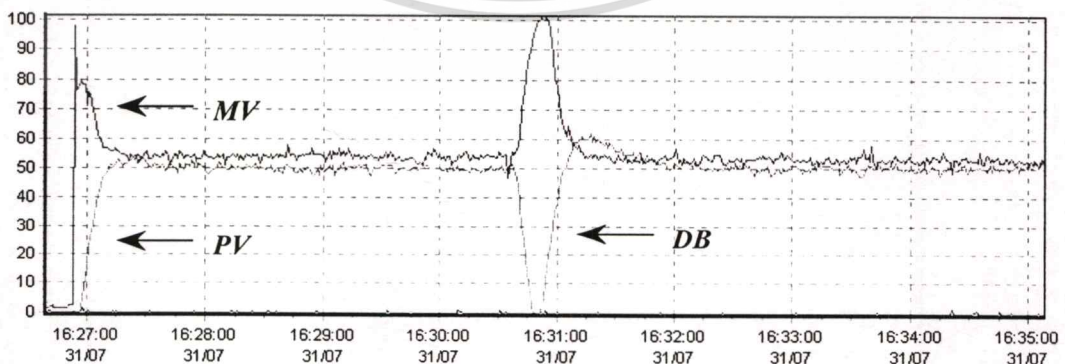
2) การทดลองที่ค่าเป้าหมาย 50 % และมีการรบกวนโดยการปิดปั๊มเป็นเวลา 5 วินาทีขณะควบคุมทำการเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างตัวควบคุมนิวโรฟัซซี่กับตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐานของบริษัท OMRON จำนวน 2 รุ่น คือ รุ่น 3G2A5-PID01-E กับ รุ่น E5AK



รูปที่ 5.7 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 1 กรณีถึงเคียวด้วยตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน รุ่น 3G2A5-PID01-E ที่ค่าเป้าหมาย 50 %

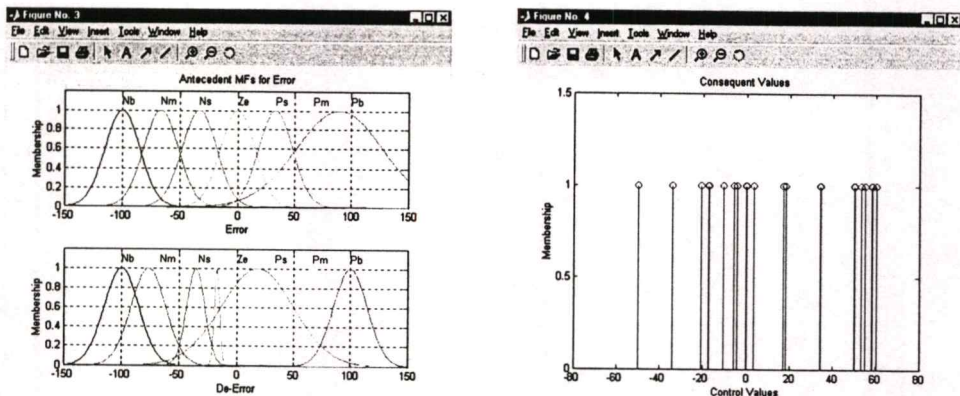


รูปที่ 5.8 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 1 กรณีถึงเคียวด้วยตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน รุ่น E5AK ที่ค่าเป้าหมาย 50 %



รูปที่ 5.9 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 1 กรณีถึงเคียวด้วยตัวควบคุมนิวโรฟัซซี่ ที่ค่าเป้าหมาย 50 %

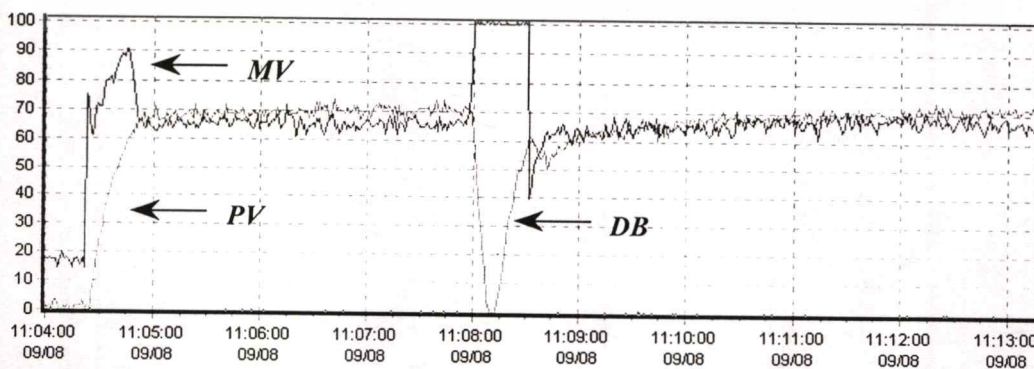
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สแกนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.10 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกส่วนของ Antecedent และ Consequent หลังจากผ่านกระบวนการเรียนรู้ที่ค่าเป้าหมาย 50 % ของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 1 กรณีดังกล่าว

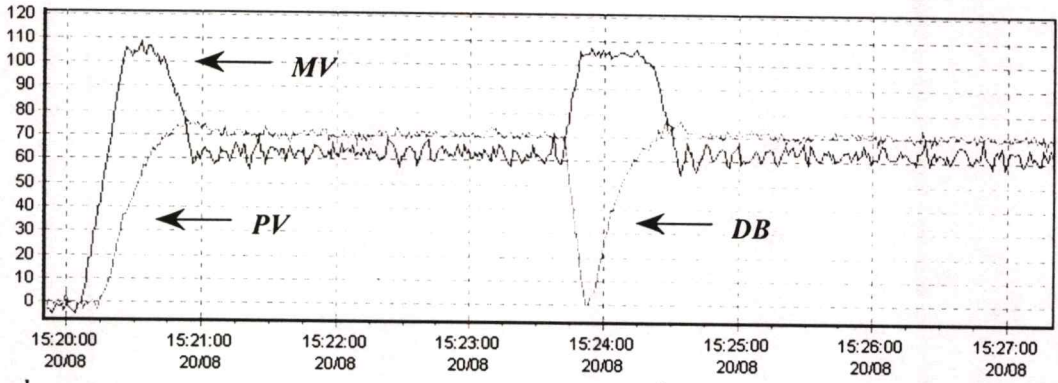
จากรูปที่ 5.7 – 5.9 เป็นผลการทดลองที่ค่าเป้าหมาย 50 % พบว่าตัวควบคุมพีไอมาตรฐาน ทั้ง 2 รุ่น มีผลตอบสนองของสัญญาณเอาต์พุตต่อสัญญาณอ้างอิง ในเรื่องของเวลาการไต่ระดับที่ใช้เวลารวดเร็วใกล้เคียงกับตัวควบคุมนิวโรฟิชซีแต่ตัวควบคุมนิวโรฟิชซีจะเกิดการพุ่งเกินเล็กน้อย ในส่วนของเวลาที่ใช้ในการเข้าสู่สภาวะคงตัวนั้น ตัวควบคุมพีไอมาตรฐาน รุ่น 3G2A5-PID01-E จะใช้เวลามากกว่า ในการทดสอบเมื่อทำการสร้างการรบกวนเข้าไปในระบบควบคุมโดยการปิดปั๊ม พบว่าตัวควบคุมพีไอมาตรฐาน รุ่น 3G2A5-PID01-E จะใช้เวลามากกว่าเพื่อที่จะกลับไปควบคุมที่ค่าเป้าหมายเดิมเมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมพีไอมาตรฐาน รุ่น E5AK และตัวควบคุมนิวโรฟิชซี ส่วนรูปที่ 5.10 เป็นฟังก์ชันความเป็นสมาชิกส่วนของ Antecedent และ Consequent หลังจากผ่านกระบวนการเรียนรู้ที่ค่าเป้าหมาย 50 % พบว่าที่การทดลองนี้ค่าพารามิเตอร์ส่วน Antecedent และค่าพารามิเตอร์ส่วน Consequent มีการเปลี่ยนแปลงมากขึ้น ซึ่งรายละเอียดการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์สามารถดูได้จากตารางที่ 5.2, 5.3 และ 5.5

3) การทดลองที่ค่าเป้าหมาย 70 % และมีการรบกวนโดยการปิดปั๊มเป็นเวลา 5 วินาทีขณะควบคุมทำการเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างตัวควบคุมนิวโรฟิชซีกับตัวควบคุมพีไอมาตรฐานของบริษัท OMRON จำนวน 2 รุ่น คือ รุ่น 3G2A5-PID01-E กับ รุ่น E5AK

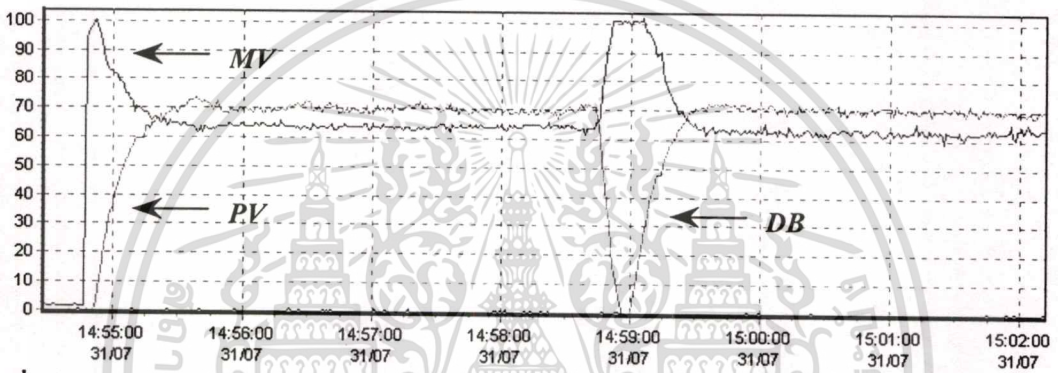


รูปที่ 5.11 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 1 กรณีดังกล่าวด้วยตัวควบคุม

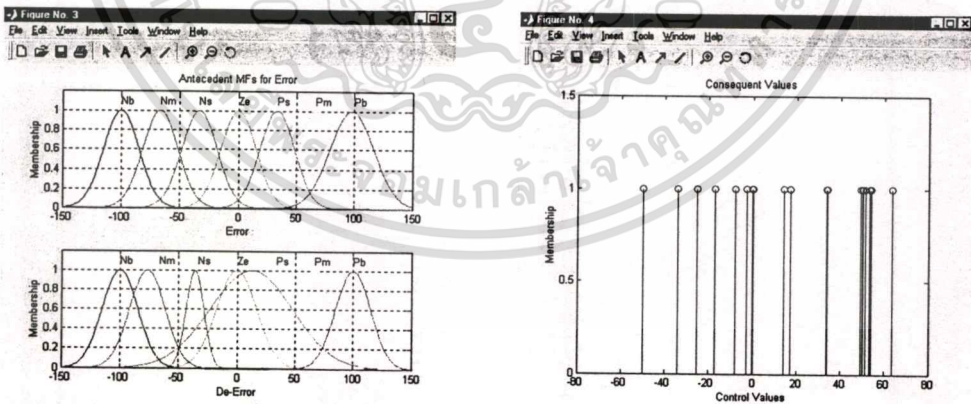
เอกสารนี้เป็นเอพีไอมาตรฐาน รุ่น 3G2A5-PID01-E ที่ค่าเป้าหมาย 70 % ไม่สามารถให้แนวโน้มไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.12 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 1 กรณีถังเดียวด้วยตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน รุ่น E5AK ที่ค่าเป้าหมาย 70 %



รูปที่ 5.13 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 1 กรณีถังเดียวด้วยตัวควบคุมนิวโรฟuzzy ที่ค่าเป้าหมาย 70 %

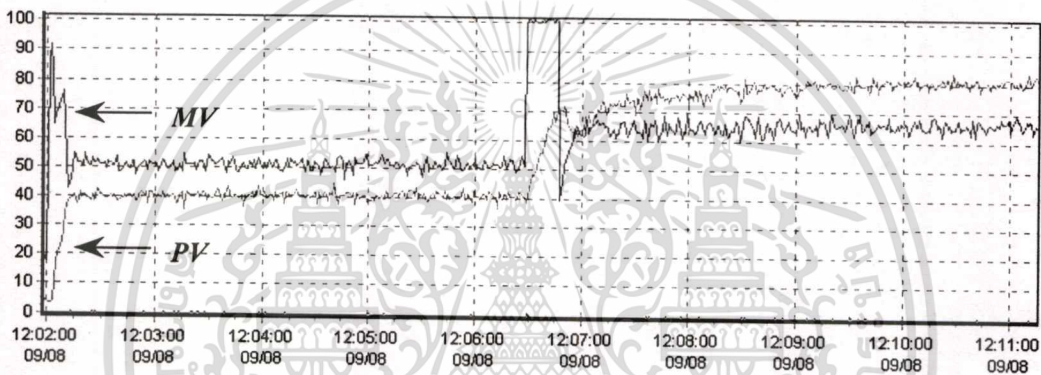


รูปที่ 5.14 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกส่วนของ Antecedent และ Consequent หลังจากผ่านกระบวนการเรียนรู้ที่ค่าเป้าหมาย 70 % ของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 1 กรณีถังเดียว

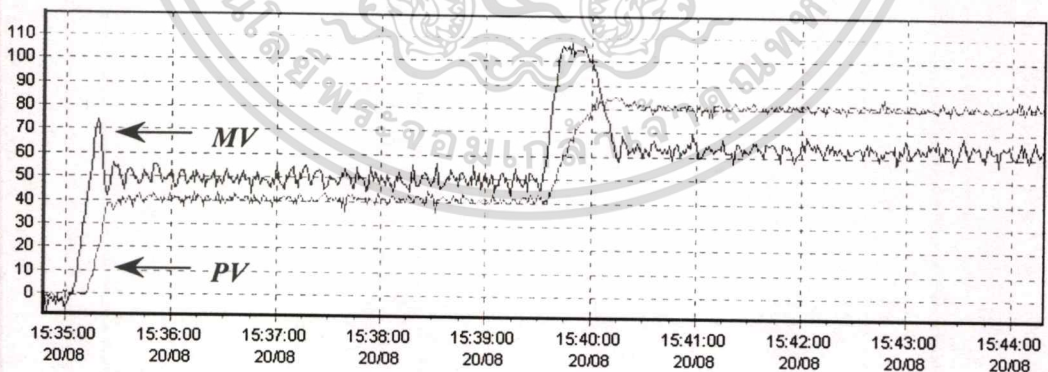
จากรูปที่ 5.11 – 5.13 เป็นผลการทดลองที่ค่าเป้าหมาย 70 % พบว่าตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน ทั้ง 2 รุ่น มีผลตอบสนองของสัญญาณเอาต์พุตต่อสัญญาณอ้างอิง ในเรื่องของเวลาการไถ่ระดับและเวลาที่ใช้ในการเข้าสู่ภาวะคงตัวใกล้เคียงกับตัวควบคุมนิวโรฟuzzy แต่ตัวควบคุมนิวโรฟuzzy จะเกิดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพุ่งเกินเล็กน้อย ในการทดสอบเมื่อทำการสร้างการรบกวนเข้าไปในระบบควบคุมโดยการปิดปั๊ม พบว่าตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน รุ่น 3G2A5-PID01-E จะใช้เวลามากกว่าเพื่อที่จะกลับไปควบคุมที่ค่าเป้าหมายเดิมเมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน รุ่น E5AK และตัวควบคุมนิวโรฟuzzy ส่วนรูปที่ 5.14 เป็นฟังก์ชันความเป็นสมาชิกส่วนของ Antecedent และ Consequent หลังจากผ่านกระบวนการเรียนรู้ที่ค่าเป้าหมาย 70 % ซึ่งรายละเอียดการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์สามารถดูได้จากตารางที่ 5.2, 5.3 และ 5.6

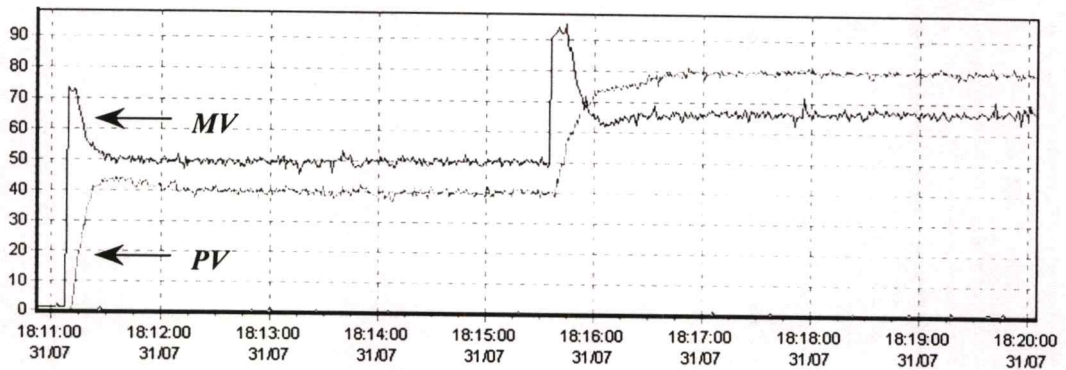
4) การทดลองที่ค่าเป้าหมาย 40 % และ Step Change ไปที่ 80 % โดยทำการเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างตัวควบคุมนิวโรฟuzzyกับตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐานของบริษัท OMRON จำนวน 2 รุ่น คือ รุ่น 3G2A5-PID01-E กับ รุ่น E5AK



รูปที่ 5.15 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 1 กรณีดังเดียวด้วยตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน รุ่น 3G2A5-PID01-E ที่ค่าเป้าหมาย 40 % และ Step Change ไปที่ 80 %



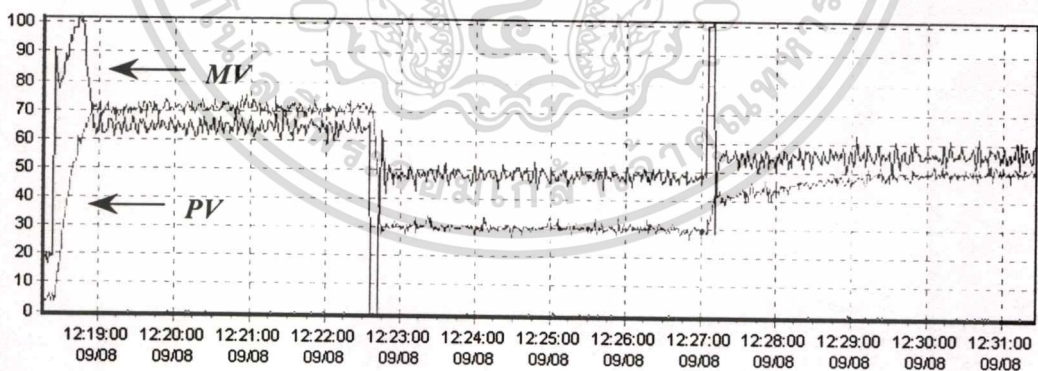
รูปที่ 5.16 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 1 กรณีดังเดียวด้วยตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน รุ่น E5AK ที่ค่าเป้าหมาย 40 % และ Step Change ไปที่ 80 %



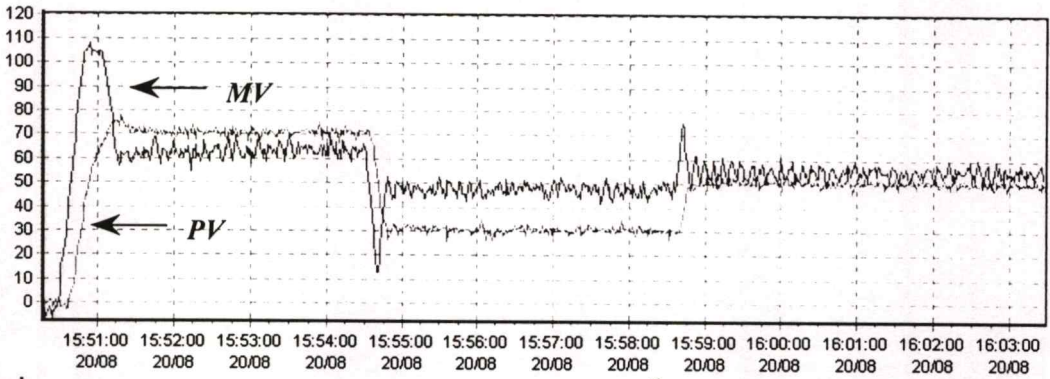
รูปที่ 5.17 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 1 กรณีถึงได้ด้วยตัวควบคุม นิวโรฟิชซี ที่ค่าเป้าหมาย 40 % และ Step Change ไปที่ 80 %

จากรูปที่ 5.15 – 5.17 เป็นผลการทดลองที่ได้จากการเปลี่ยนค่าเป้าหมายขณะควบคุม 2 ระดับ โดยทำการทดลองที่ค่าเป้าหมายเริ่มต้น 40 % และทำการเปลี่ยนไปควบคุมที่ค่าเป้าหมาย 80 % พบว่าผลการทดลองที่ได้ตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน รุ่น 3G2A5-PID01-E ใช้เวลาในการไต่ระดับเพื่อไปควบคุมที่ค่าเป้าหมายใหม่นานกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน รุ่น E5AK และตัวควบคุมนิวโรฟิชซี

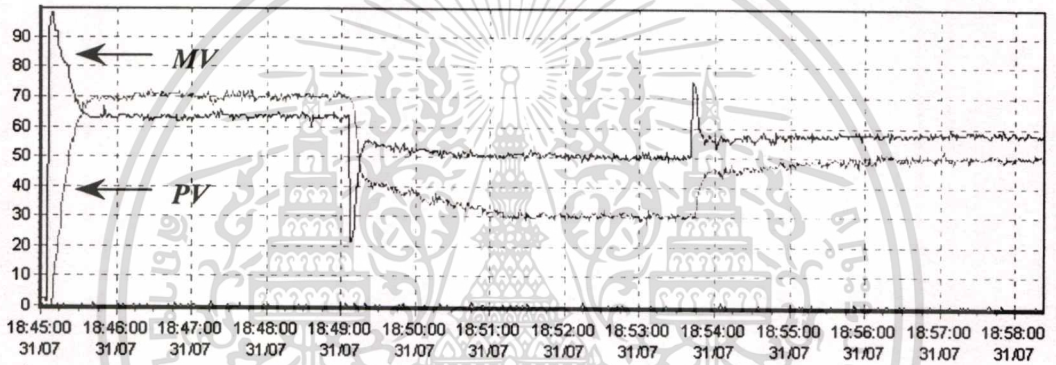
5) การทดลองที่ค่าเป้าหมาย 70 % Step Change ไปที่ 30 % และ Step Change ไปที่ 50 % โดยทำการเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างตัวควบคุมนิวโรฟิชซีกับตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐานของบริษัท OMRON จำนวน 2 รุ่น คือรุ่น E5AK กับ รุ่น 3G2A5-PID01-E



รูปที่ 5.18 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 1 กรณีถึงได้ด้วยตัวควบคุม พีไอดีมาตรฐาน รุ่น 3G2A5-PID01-E ที่ค่าเป้าหมาย 70 % Step Change ไปที่ 30 % และ Step Change ไปที่ 50 %



รูปที่ 5.19 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 1 กรณีถึงเคียวด้วยตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน รุ่น E5AK ที่ค่าเป้าหมาย 70 % Step Change ไปที่ 30 % และ Step Change ไปที่ 50 %



รูปที่ 5.20 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 1 กรณีถึงเคียวด้วยตัวควบคุมนิวโรฟัซซี ที่ค่าเป้าหมาย 70 % Step Change ไปที่ 30 % และ Step Change ไปที่ 50 %

จากรูปที่ 5.18 – 5.20 เป็นผลการทดลองที่ได้จากการเปลี่ยนค่าเป้าหมายขณะควบคุม 3 ระดับ โดยทำการทดลองที่ค่าเป้าหมายเริ่มต้น 70 % เปลี่ยนไปควบคุมที่ค่าเป้าหมาย 30 % และสุดท้ายเปลี่ยนไปควบคุมที่ค่าเป้าหมาย 50 % พบว่าผลการทดลองที่ได้ตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน รุ่น 3G2A5-PID01-E ใช้เวลาในการไต่ระดับเพื่อไปควบคุมที่ค่าเป้าหมายใหม่นานกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน รุ่น E5AK ในส่วนของตัวควบคุมนิวโรฟัซซีจะมีลักษณะของการควบคุมในลักษณะของปรับตัวเองเป็นไปอย่างช้าๆเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมาย โดยสามารถปรับตัวเพื่อที่จะไปควบคุมที่ค่าเป้าหมายใหม่ได้เป็นอย่างดี ในการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมนิวโรฟัซซีกับตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐานที่ทำการทดลองในกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 1 กรณีถึงเคียว ที่ค่าเป้าหมาย 30 %, 50 %, และ 70 % ได้ทำการเปรียบเทียบในเรื่องของเวลาการไต่ระดับ (Rise time, T_r) เวลาที่ผลตอบสนองใช้ในการเข้าสู่ภาวะคงตัว (Settling time, T_s) และค่าการพุ่งเกิน (Overshoot, O_s) ซึ่งรายละเอียดแสดงในตารางที่ 5.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบสมรรถนะของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 1 กรณีถังเดียว ด้วยตัวควบคุมนิวโรฟัซซีกับตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน ของบริษัท OMRON 2 รุ่น คือ รุ่น 3G2A5-PID01-E กับ รุ่น E5AK

ค่าเป้าหมาย (0-100 %)	ชนิดของตัวควบคุม (Controller Type)	T_r (วินาที)	T_s (วินาที)	O_s (%)
30	PID(รุ่น 3G2A5-PID01-E)	7	25	0
	PID(รุ่น E5AK)	8	21	0
	Neuro-Fuzzy	9	16	0
50	PID(รุ่น 3G2A5-PID01-E)	12	37	0
	PID(รุ่น E5AK)	12	28	0
	Neuro-Fuzzy	10	33	6
70	PID(รุ่น 3G2A5-PID01-E)	21	54	0
	PID(รุ่น E5AK)	22	56	7.14
	Neuro-Fuzzy	23	56	4.28

จากตารางที่ 5.1 เป็นการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมนิวโรฟัซซีกับตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐานทั้ง 2 รุ่น พบว่าที่ค่าเป้าหมาย 30 %, 50 %, และ 70 % ตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐานมีผลตอบสนองของสัญญาณเอาต์พุตต่อสัญญาณอ้างอิง ในเรื่องของเวลาการไต่ระดับและเวลาที่ใช้ในการเข้าสู่สภาวะคงตัวได้อย่างรวดเร็วโดยไม่เกิดการฟุ้งเกินใกล้เคียงกับตัวควบคุมนิวโรฟัซซี แต่ตัวควบคุมนิวโรฟัซซีจะเกิดการฟุ้งเกินเล็กน้อยเมื่อควบคุมที่ค่าเป้าหมายสูงขึ้น ส่วนในตารางที่ 5.2 และ 5.3 แสดงค่าพารามิเตอร์ส่วนของ Antecedent ของตัวแปรอินพุต e และ Δe หลังจากผ่านกระบวนการเรียนรู้ที่ค่าเป้าหมาย 30 %, 50 %, และ 70 % ที่ทำการทดลองในกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 1 กรณีถังเดียว ส่วนตารางที่ 5.4, 5.5 และ 5.6 แสดงค่าพารามิเตอร์ส่วนของ Consequent หลังจากผ่านกระบวนการเรียนรู้เช่นเดียวกัน

ตารางที่ 5.2 ค่าพารามิเตอร์ส่วนของ Antecedent ของตัวแปรอินพุต e ในกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 1 กรณีดังกล่าว

e	พารามิเตอร์เริ่มต้น (Initial parameter)		ที่ค่าเป้าหมาย 30 %		ที่ค่าเป้าหมาย 50 %		ที่ค่าเป้าหมาย 70 %	
	c_{ij} (initial)	w_{ij} (initial)	c_{ij} (new)	w_{ij} (new)	c_{ij} (new)	w_{ij} (new)	c_{ij} (new)	w_{ij} (new)
Pb	-100.00	15.00	-100.00	15.00	-100.00	15.00	-100.00	15.00
Pm	-66.66	15.00	-66.66	15.00	-66.66	15.00	-66.66	15.00
Ps	-33.33	15.00	-33.33	15.00	-33.33	15.00	-33.33	15.00
Ze	0.00	15.00	0.00	15.00	0.00	15.00	-0.00	15.00
Ns	33.33	15.00	33.33	15.00	33.34	15.01	33.33	15.00
Nm	66.66	15.00	66.65	15.00	66.64	15.01	66.66	15.00
Nb	100	15.00	99.99	15.03	89.63	38.10	97.78	18.88

ตารางที่ 5.3 ค่าพารามิเตอร์ส่วนของ Antecedent ของตัวแปรอินพุต Δe ในกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 1 กรณีดังกล่าว

Δe	พารามิเตอร์เริ่มต้น (Initial parameter)		ที่ค่าเป้าหมาย 30 %		ที่ค่าเป้าหมาย 50 %		ที่ค่าเป้าหมาย 70 %	
	c_{ij} (initial)	w_{ij} (initial)	c_{ij} (new)	w_{ij} (new)	c_{ij} (new)	w_{ij} (new)	c_{ij} (new)	w_{ij} (new)
Pb	-100.00	15.00	-100.00	15.00	-100.00	15.00	-100.00	15.00
Pm	-66.66	15.00	-76.66	15.00	-76.66	14.96	-76.66	14.96
Ps	-33.33	15.00	-33.32	15.00	-35.64	7.91	-35.98	7.50
Ze	0.00	15.00	0.00	15.00	-17.11	2.33	-0.48	16.96
Ns	33.33	15.00	33.32	15.00	18.23	31.89	12.34	35.14
Nm	66.66	15.00	66.66	15.00	66.66	15.00	66.66	15.00
Nb	100	15.00	100.00	15.03	100.00	15.00	100.00	15.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 ค่าพารามิเตอร์ส่วนของ Consequent ที่ค่าเป้าหมาย 30 % ในกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 1 กรณีดังกล่าว

$e \backslash \Delta e$	Nb	Nm	Ns	Ze	Ps	Pm	Pb
Nb	-50	-50	-50	-50	-34	-17	0
Nm	-50	-50	-50	-34	-17.01	0	17
Ns	-50	-50	-34.86	-26.71	-0.84	16.97	34
Ze	-50	-34	-16.75	2.44	17.21	34	50
Ps	-34	-17	0.69	24.02	34.86	50.01	50
Pm	-17	0	17.03	34.29	50.06	50	50
Pb	0	17	34	50	50	50	50

ตารางที่ 5.5 ค่าพารามิเตอร์ส่วนของ Consequent ที่ค่าเป้าหมาย 50 % ในกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 1 กรณีดังกล่าว

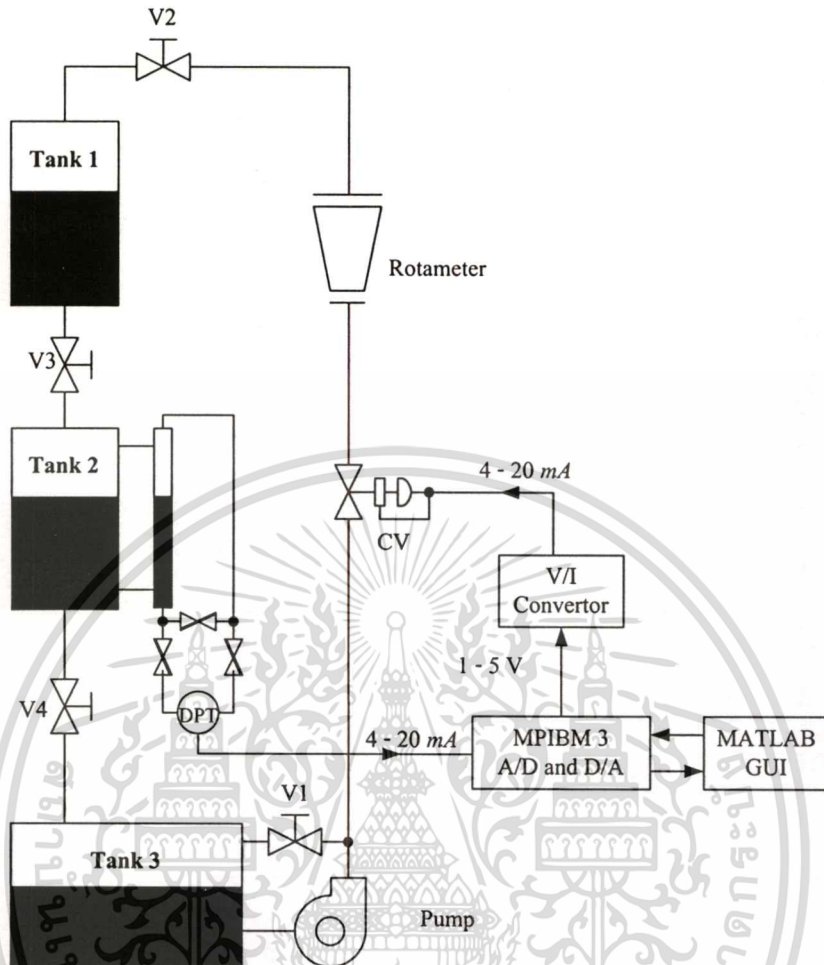
$e \backslash \Delta e$	Nb	Nm	Ns	Ze	Ps	Pm	Pb
Nb	-50	-50	-50	-50	-34	-17	0
Nm	-50	-50	-50	-34	-17	0	17
Ns	-50	-50	-34.23	-20.77	-5.74	16.99	34
Ze	-50	-34	-17.52	-10.53	-4.34	34	50
Ps	-34	-16.99	3.60	53.27	55.18	50.25	50
Pm	-17	0	18.10	50.36	57.97	50.26	50
Pb	0	17	34	60.20	58.43	50	50

ตารางที่ 5.6 ค่าพารามิเตอร์ส่วนของ Consequent ที่ค่าเป้าหมาย 70 % ในกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 1 กรณีดังกล่าว

$e \backslash \Delta e$	Nb	Nm	Ns	Ze	Ps	Pm	Pb
Nb	-50	-50	-50	-50	-34	-17	0
Nm	-50	-50	-50	-34	-17.03	0	17
Ns	-50	-50	-34	-25.38	-7.90	16.99	34
Ze	-50	-34	-17.02	-2.78	14.30	33.99	50
Ps	-34	-16.99	0	33.60	49.37	50.02	50
Pm	-17	0	17.17	51.27	63.53	50.49	50.01
Pb	0	17	34.04	54.18	53.22	50.07	50.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2 กระบวนการการควบคุมระดับน้ำในถังกรณีสองถัง



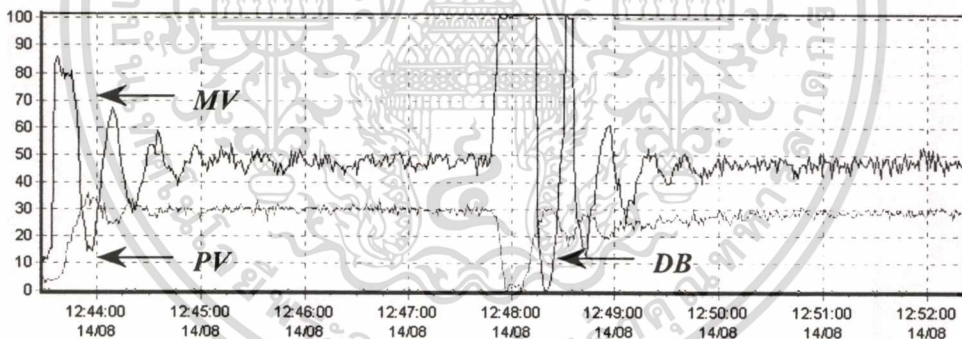
รูปที่ 5.21 โครงสร้างการทดลองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถัง

จากรูปที่ 5.21 เป็นการทำงานของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังกรณีสองถัง ซึ่งการควบคุมระดับของน้ำใน Tank 2 การทำงานของกระบวนการเริ่มต้นจากระบบจะทำการปั้มน้ำจาก Tank 3 ผ่านไปตามท่อผ่านไปยังตัววาล์วควบคุม CV ผ่านตัว Rotameter ซึ่งเป็นตัววัดอัตราการไหลของน้ำ ทำการเปิดวาล์ว V2 เต็มที่ หลังจากนั้นน้ำก็จะไหลลงใน Tank 1 ผ่านวาล์ว V3 โดยทำการเปิดวาล์วประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ น้ำก็จะไหลลงสู่ Tank 2 ผ่านวาล์ว V4 ลงสู่ Tank 3 ในการวัดระดับของน้ำใช้ตัว Diff Pressure Transmitter (DPT) เป็นตัววัดระดับของน้ำใน Tank 2 และแปลงเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้าขนาด 4-20 mA dc. สัญญาณกระแสไฟฟ้านี้จะถูกแปลงเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า 1-5 Vdc. โดยใช้ความต้านทาน 250 โอห์ม และถูกป้อนเป็นสัญญาณ อินพุตส่งผ่านไปยังการ์ดควบคุม MPIBM3 เพื่อแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล โดยผ่านวงจร A/D ขนาด 12 บิต ทำการประมวลผลตัวควบคุมนิวโรฟuzzyด้วยโปรแกรม Matlab บนเครื่องคอมพิวเตอร์ หลังจากนั้นส่งสัญญาณดิจิทัลที่คำนวณได้ส่งผ่านไปยังวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาลอก D/A ขนาด 12 บิต ซึ่งมีค่าแรงดันไฟฟ้า 1-5 Vdc. ทำการแปลงสัญญาณ

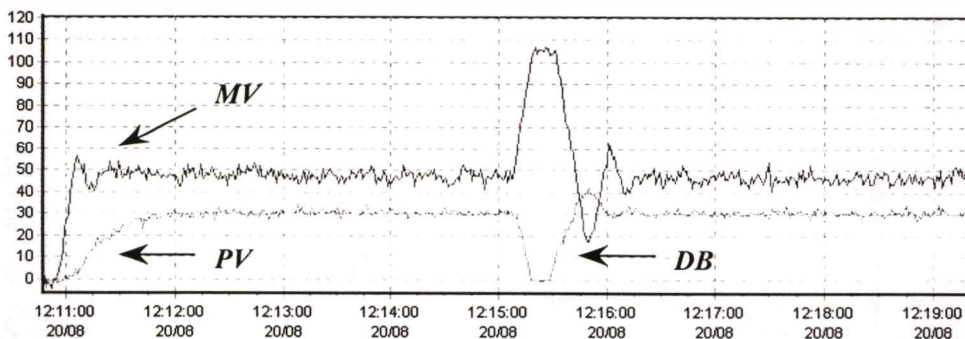
แรงดันไฟฟ้าที่ได้ให้เป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้าขนาด 4-20 mA dc. โดยใช้วงจร V/I เพื่อนำสัญญาณที่ได้ไปการควบคุมการเปิดปิดของวาล์ว

ในการทดลองเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมเพื่อควบคุมกระบวนการในการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถึงทำการเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างตัวควบคุมนิวโรฟิชซีที่สร้างขึ้นกับตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน ของบริษัท OMRON จำนวน 2 รุ่น คือ รุ่น E5AK กับ รุ่น 3G2A5-PID01-E ที่ค่าเป้าหมาย 30 %, 50 %, 70 % ตามลำดับ นอกจากนี้ยังทำการทดลองในลักษณะของการเปลี่ยนค่าเป้าหมายขณะควบคุม และทำการรบกวนระบบควบคุมโดยการสร้างสัญญาณรบกวนรูปแบบที่ต่าง ๆ กันเข้าไปในระบบเพื่อทดสอบสมรรถนะของตัวควบคุม ซึ่งในการทดลองได้กำหนดค่าคงที่ต่าง ๆ ดังนี้ค่าแรงดันปั๊มที่จะใช้ในการปั้มน้ำมีค่าเท่ากับ 32.00 Hz. ค่าอัตราการเรียนรู้ที่ใช้ในตัวควบคุมนิวโรฟิชซีมีค่าเท่ากับ $\eta_a = 0.5$, $\eta_b = 0.5$ และ $\eta_c = 0.01$ ในส่วนของการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐานนั้น ค่าพารามิเตอร์ที่หาได้มีค่าดังนี้ รุ่น 3G2A5-PID01-E ($K_p=68$, $T_i=40$, $T_d=10$) และรุ่น E5AK ($K_p=27.5$, $T_i=20$, $T_d=3$)

1) การทดลองที่ค่าเป้าหมาย 30 % และมีการรบกวนโดยการปิดปั๊มเป็นเวลา 5 วินาทีขณะควบคุมทำการเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างตัวควบคุมนิวโรฟิชซีกับตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐานของบริษัท OMRON จำนวน 2 รุ่น คือรุ่น E5AK กับ รุ่น 3G2A5-PID01-E

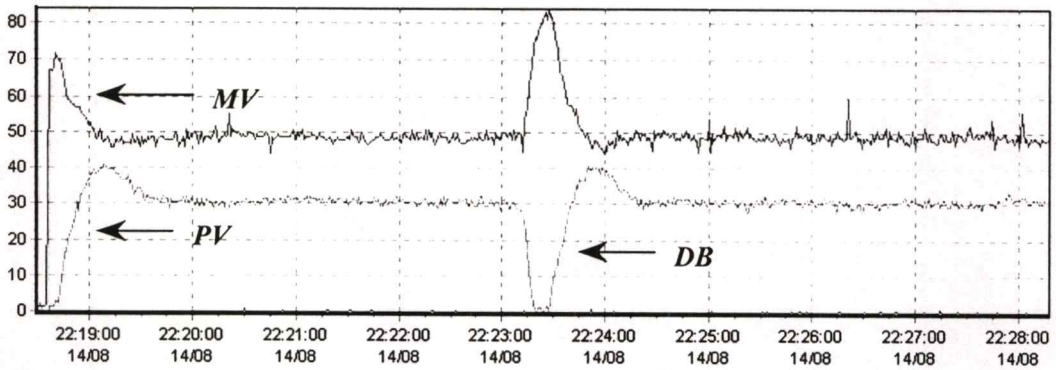


รูปที่ 5.22 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถึงด้วยตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน รุ่น 3G2A5-PID01-E ที่ค่าเป้าหมาย 30 %

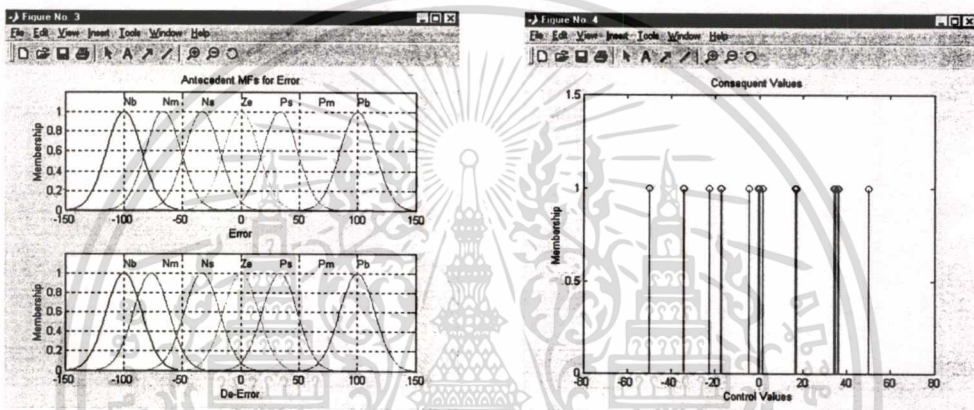


รูปที่ 5.23 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถึงด้วยตัวควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารพีไอดีมาตรฐาน รุ่น E5AK ที่ค่าเป้าหมาย 30 % นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.24 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถังด้วยตัวควบคุม นิวโรฟuzzy ที่ค่าเป้าหมาย 30 %

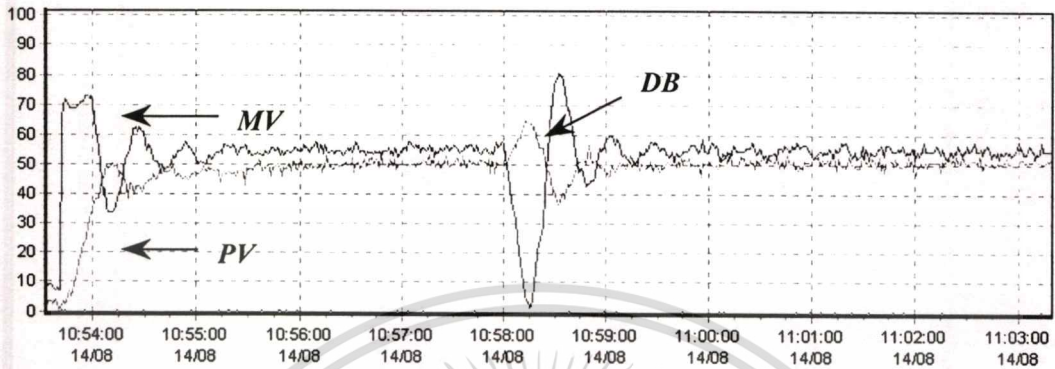


รูปที่ 5.25 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกส่วนของ Antecedent และ Consequent หลังจากผ่านกระบวนการเรียนรู้ที่ค่าเป้าหมาย 30 % ของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถัง

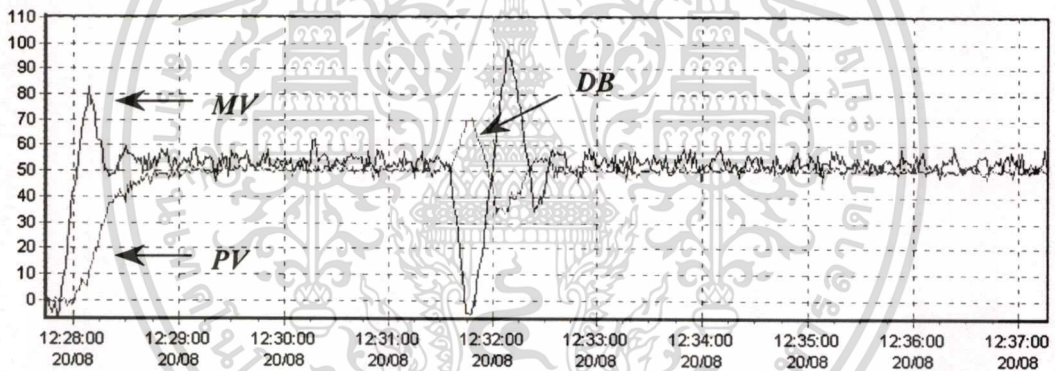
จากรูปที่ 5.22 – 5.24 เป็นผลการทดลองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถังที่ค่าเป้าหมาย 30 % ของตัวควบคุมควบคุมพีไอดีมาตรฐานของบริษัท OMRON รุ่น 3G2A5-PID01-E และ รุ่น E5AK เปรียบเทียบกับตัวควบคุมนิวโรฟuzzy ซึ่งพบว่าตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐานทั้ง 2 รุ่นมีผลตอบสนองของสัญญาณเอาต์พุตต่อสัญญาณอ้างอิง โดยใช้เวลาในการไต่ระดับมากกว่า ส่วนเวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัวจะมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมนิวโรฟuzzy แต่ตัวควบคุมนิวโรฟuzzy จะเกิดการฟุ้งเกินมากกว่า ในส่วนของการทดสอบเมื่อทำการสร้างการรบกวนเข้าไปในระบบโดยการปิดปั๊ม พบว่าตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน รุ่น 3G2A5-PID01-E จะใช้เวลาในการปรับตัวเข้าสู่ค่าเป้าหมายเดิมนานกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน รุ่น E5AK และตัวควบคุมนิวโรฟuzzy ส่วนรูปที่ 5.25 เป็นฟังก์ชันความเป็นสมาชิกส่วนของ Antecedent และ Consequent หลังจากผ่านกระบวนการเรียนรู้ที่ค่าเป้าหมาย 30 % พบว่าที่การทดลองนี้ค่าพารามิเตอร์ในส่วน Antecedent และค่าพารามิเตอร์ส่วน Consequent ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก ซึ่งรายละเอียดการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์สามารถดูได้จากตารางที่ 5.8, 5.9 และ

เอกสาร 5.10 เอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

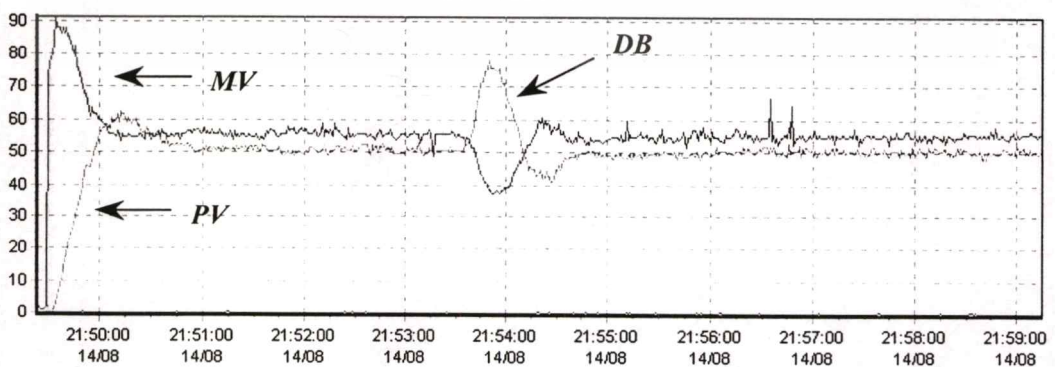
2) การทดลองที่ค่าเป้าหมาย 50 % และมีการรบกวนโดยการเติมน้ำจำนวน 1.5 ลิตรลงในถังที่ 1 ขณะควบคุมทำการเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างตัวควบคุมนิวโรฟิชซีกับตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐานของบริษัท OMRON จำนวน 2 รุ่น คือรุ่น E5AK กับ รุ่น 3G2A5-PID01-E



รูปที่ 5.26 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถังด้วยตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน รุ่น 3G2A5-PID01-E ที่ค่าเป้าหมาย 50 %

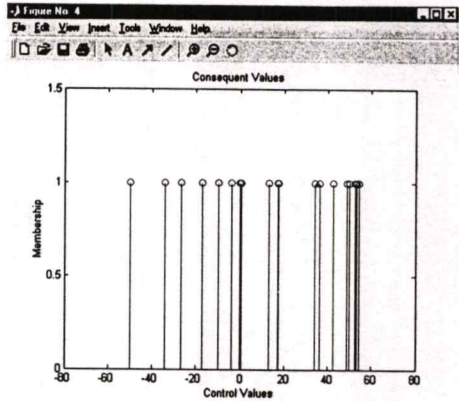
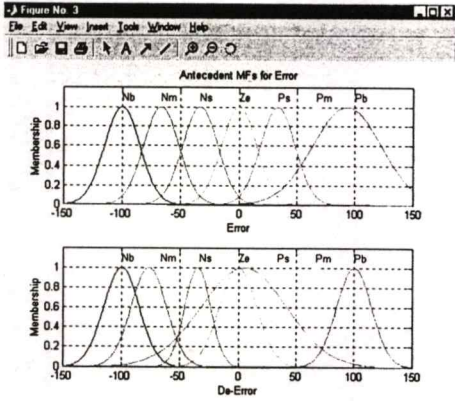


รูปที่ 5.27 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถังด้วยตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน รุ่น E5AK ที่ค่าเป้าหมาย 50 %



รูปที่ 5.28 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถังด้วยตัวควบคุมนิวโรฟิชซี ที่ค่าเป้าหมาย 50 %

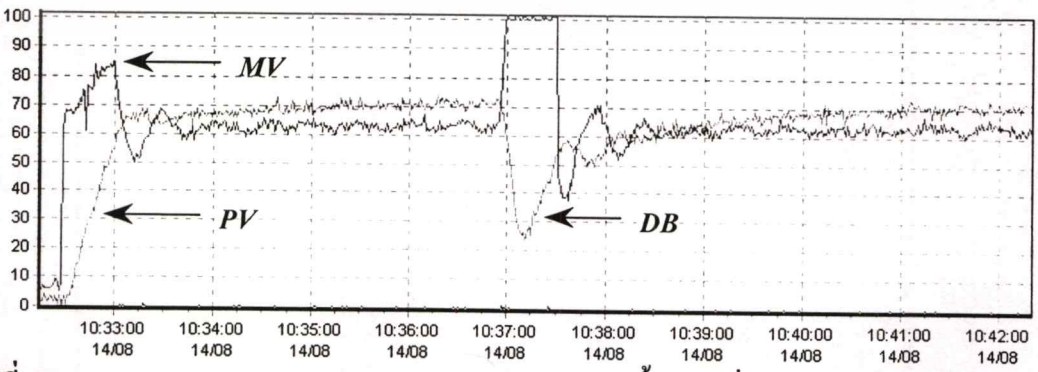
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวทช.จัดทำขึ้นเพื่อการเรียนการสอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.29 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกส่วนของ Antecedent และ Consequent หลังจากผ่านกระบวนการเรียนรู้ที่ค่าเป้าหมาย 50 % ของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถึง

จากรูปที่ 5.26 – 5.28 เป็นผลการทดลองที่ค่าเป้าหมาย 50 % พบว่าตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน ทั้ง 2 รุ่น เมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมนิวโรฟัซซีมีผลตอบสนองของสัญญาณเอาต์พุตต่อสัญญาณอ้างอิง โดยใช้เวลาในการไต่ระดับและเวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัวมากกว่าตัวควบคุมนิวโรฟัซซี แต่ตัวควบคุมนิวโรฟัซซีจะเกิดการพุ่งเกินเล็กน้อย ในส่วนของการสร้างการรบกวนเข้าไปในระบบควบคุมโดยการเติมน้ำ พบว่าตัวควบคุมนิวโรฟัซซีสามารถที่จะลดผลกระทบที่เกิดจากการรบกวนได้เป็นอย่างดีโดยใช้เวลาในการปรับตัวเพื่อเข้าสู่ค่าเป้าหมายเดิมได้รวดเร็วกว่าตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน ส่วนรูปที่ 5.29 เป็นฟังก์ชันความเป็นสมาชิกส่วนของ Antecedent และ Consequent หลังจากผ่านกระบวนการเรียนรู้ที่ค่าเป้าหมาย 50 % พบว่าที่การทดลองนี้ค่าพารามิเตอร์ในส่วน Antecedent และ Consequent จะมีการเปลี่ยนแปลงมากขึ้น ซึ่งรายละเอียดการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์สามารถดูได้จากตารางที่ 5.8, 5.9 และ 5.11

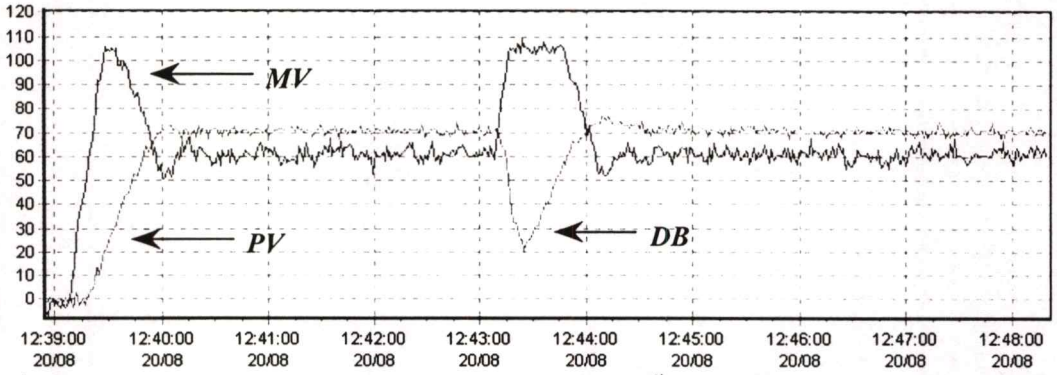
3) การทดลองที่ค่าเป้าหมาย 70 % และมีการรบกวนโดยการปิดปั๊มเป็นเวลา 5 วินาทีขณะควบคุมทำการเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างตัวควบคุมนิวโรฟัซซีกับตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐานของบริษัท OMRON จำนวน 2 รุ่น คือรุ่น E5AK กับ รุ่น 3G2A5-PID01-E



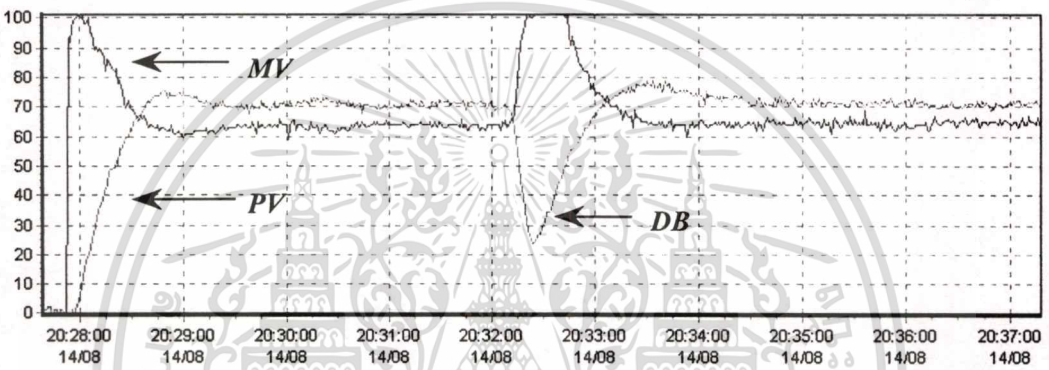
รูปที่ 5.30 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถึงด้วยตัวควบคุม

พีไอดีมาตรฐาน รุ่น 3G2A5-PID01-E ที่ค่าเป้าหมาย 70 %

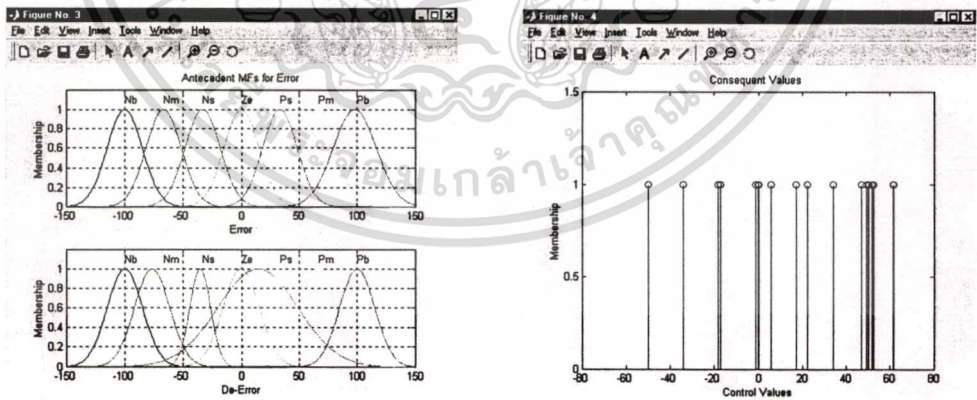
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.31 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถังด้วยตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน รุ่น E5AK ที่ค่าเป้าหมาย 70 %



รูปที่ 5.32 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถังด้วยตัวควบคุมนิวโรฟัชซี ที่ค่าเป้าหมาย 70 %

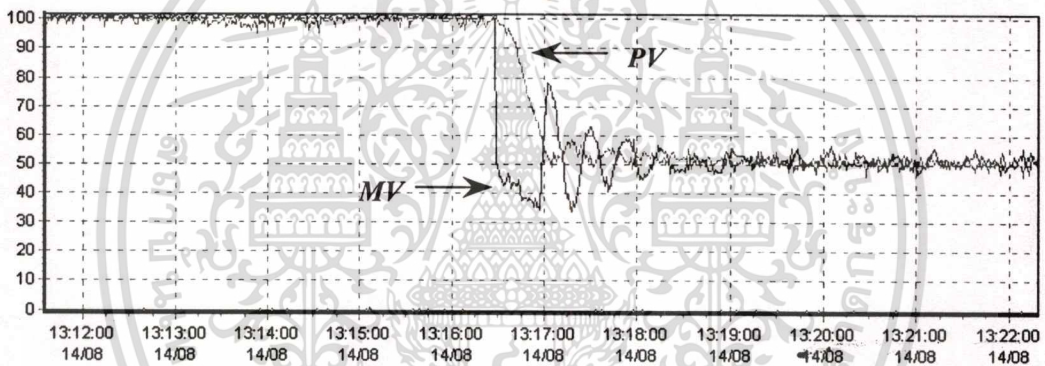


รูปที่ 5.33 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกส่วนของ Antecedent และ Consequent หลังจากผ่านกระบวนการเรียนรู้ที่ค่าเป้าหมาย 70 % ของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถัง

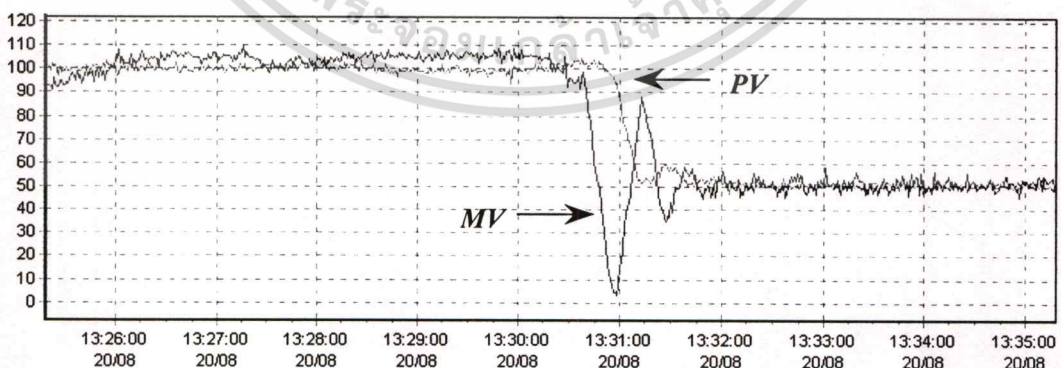
จากรูปที่ 5.30 – 5.32 เป็นผลการทดลองที่ค่าเป้าหมาย 70 % พบว่าตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน รุ่น 3G2A5-PID01-E เมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมนิวโรฟัชซีมีผลตอบสนองของสัญญาณเอาต์พุตต่อสัญญาณอ้างอิง ในเรื่องของเวลาการได้ระดับตลอดจนเวลาที่ใช้ในการเข้าสู่สภาวะคงตัวจะใช้ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลามากกว่าตัวควบคุมนิวโรฟิชซี แต่ตัวควบคุมนิวโรฟิชซีจะเกิดการพุ่งเกินและการแกว่งที่สภาวะคงตัวเล็กน้อย ส่วนตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน รุ่น E5AK จะมีค่าเวลาในการไต่ระดับตลอดจนเวลาที่ใช้ในการเข้าสู่สภาวะคงตัวที่ค่าเป้าหมายนี้ดีที่สุด ในส่วนของการสร้างการรบกวนเข้าไปในระบบควบคุมโดยการปิดปั๊ม พบว่าตัวควบคุมนิวโรฟิชซีสามารถที่จะลดผลกระทบที่เกิดจากการรบกวนได้เป็นอย่างดีโดยใช้เวลาในการปรับตัวเพื่อเข้าสู่ค่าเป้าหมายเดิมได้รวดเร็วกว่าตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน รุ่น 3G2A5-PID01-E ส่วนรูปที่ 5.33 เป็นฟังก์ชันความเป็นสมาชิกส่วนของ Antecedent และ Consequent หลังจากผ่านกระบวนการเรียนรู้ที่ค่าเป้าหมาย 70 % ซึ่งรายละเอียดการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์สามารถดูได้จากตารางที่ 5.8, 5.9 และ 5.12

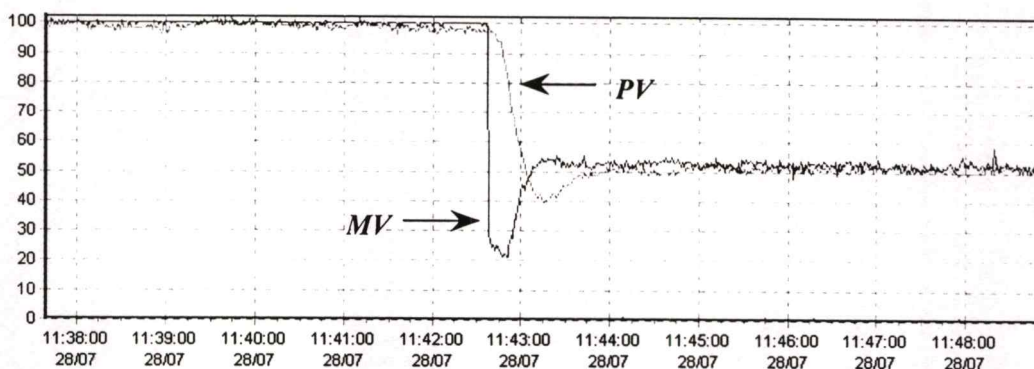
4) การทดลองที่ค่าเป้าหมาย 100 % และ Step Change ไปที่ 50 % โดยทำการเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างตัวควบคุมนิวโรฟิชซีกับตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐานของบริษัท OMRON จำนวน 2 รุ่น คือรุ่น E5AK กับ รุ่น 3G2A5-PID01-E



รูปที่ 5.34 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถังด้วยตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน รุ่น 3G2A5-PID01-E ที่ค่าเป้าหมาย 100 % และ Step Change ไปที่ 50 %



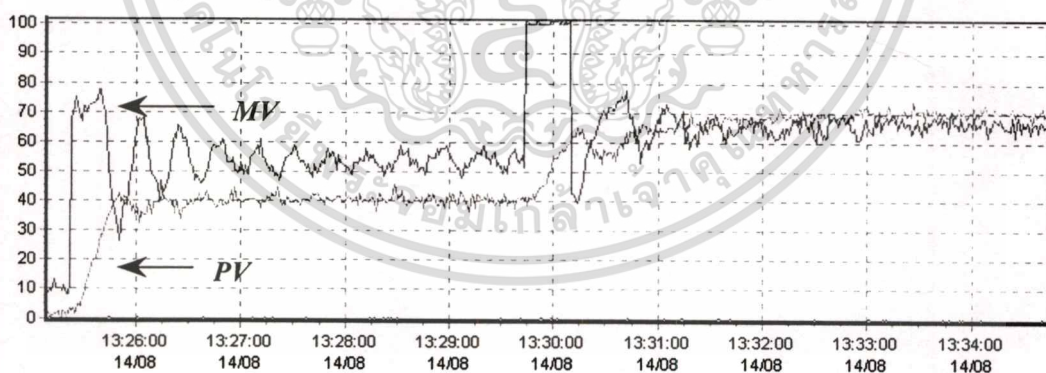
รูปที่ 5.35 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถังด้วยตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน รุ่น E5AK ที่ค่าเป้าหมาย 100 % และ Step Change ไปที่ 50 %



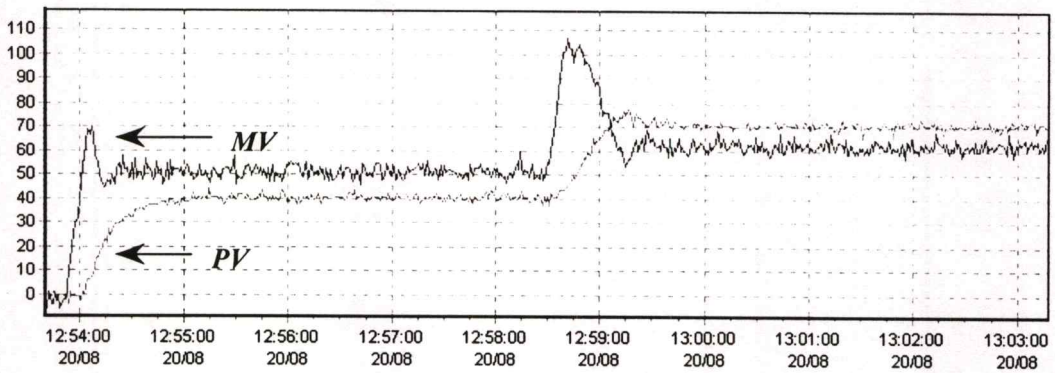
รูปที่ 5.36 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถังด้วยตัวควบคุม
นิวโรฟuzzy ที่ค่าเป้าหมาย 100 % และ Step Change ไปที่ 50 %

จากรูปที่ 5.34 – 5.36 เป็นผลการทดลองที่ได้จากการเปลี่ยนค่าเป้าหมายขณะควบคุม 2 ระดับ โดยทำการทดลองที่ค่าเป้าหมายเริ่มต้น 100 % และทำการเปลี่ยนไปควบคุมที่ค่าเป้าหมาย 50 % พบว่าผลการทดลองที่ได้ตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน รุ่น 3G2A5-PID01-E ใช้เวลาในการไต่ระดับเพื่อไปควบคุมที่ค่าเป้าหมายใหม่นานกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน รุ่น E5AK และตัวควบคุมนิวโรฟuzzy

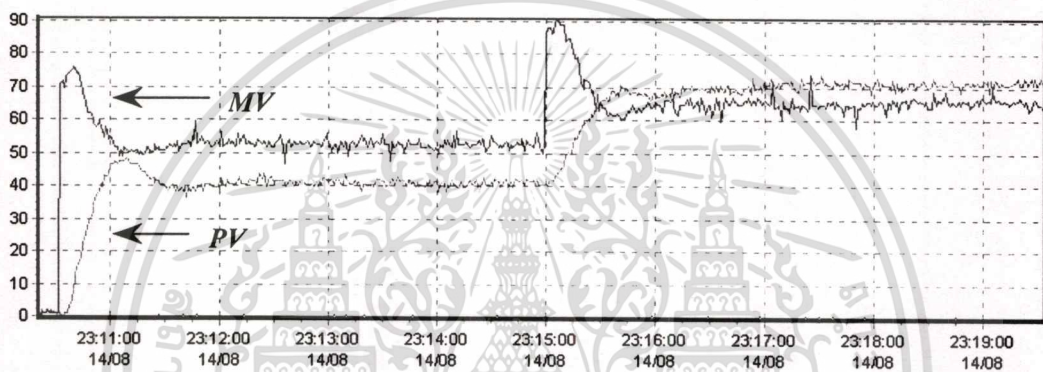
5) การทดลองที่ค่าเป้าหมาย 40 % และ Step Change ไปที่ 70 % โดยทำการเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างตัวควบคุมนิวโรฟuzzy กับตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐานของบริษัท OMRON จำนวน 2 รุ่น คือรุ่น E5AK กับ รุ่น 3G2A5-PID01-E



รูปที่ 5.37 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถังด้วยตัวควบคุม
พีไอดีมาตรฐาน รุ่น 3G2A5-PID01-E ที่ค่าเป้าหมาย 40 % และ Step Change ไปที่ 70 %



รูปที่ 5.38 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถังด้วยตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน รุ่น E5AK ที่ค่าเป้าหมาย 40 % และ Step Change ไปที่ 70 %



รูปที่ 5.39 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถังด้วยตัวควบคุมนิวโรฟัซซี ที่ค่าเป้าหมาย 40 % และ Step Change ไปที่ 70 %

จากรูปที่ 5.37 – 5.39 เป็นผลการทดลองที่ได้จากการเปลี่ยนค่าเป้าหมายขณะควบคุม 2 ระดับ โดยทำการทดลองที่ค่าเป้าหมายเริ่มต้น 40 % เปลี่ยนไปควบคุมที่ค่าเป้าหมาย 70 % พบว่าผลการทดลองที่ได้ตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน รุ่น 3G2A5-PID01-E ใช้เวลาในการไต่ระดับเพื่อไปควบคุมที่ค่าเป้าหมายใหม่นานกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน รุ่น E5AK และตัวควบคุมนิวโรฟัซซี โดยที่ลักษณะการควบคุมของตัวควบคุมนิวโรฟัซซีจะมีค่าการพุ่งเกินเล็กน้อยเมื่อทำการควบคุมที่ค่าเป้าหมายเริ่มต้น 40 % หลังจากนั้นจะทำการปรับตัวเองเพื่อไปควบคุมที่ค่าเป้าหมายใหม่ได้ตามที่ต้องการ ในการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมนิวโรฟัซซีกับตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐานที่ทำการทดลองในกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถังที่ค่าเป้าหมาย 30 %, 50 %, และ 70 % ได้ทำการเปรียบเทียบในเรื่องของเวลาการไต่ระดับ, เวลาที่ผลตอบสนองใช้ในการเข้าสู่สภาวะคงตัว และค่าการพุ่งเกิน ซึ่งรายละเอียดแสดงในตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 การเปรียบเทียบสมรรถนะของกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถัง ด้วยตัวควบคุมนิวโรฟัซซีกับตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน ของบริษัท OMRON 2 รุ่น คือ รุ่น 3G2A5-PID01-E กับ รุ่น E5AK

ค่าเป้าหมาย (0-100 %)	ชนิดของตัวควบคุม (Controller Type)	T_r (วินาที)	T_s (วินาที)	O_s (%)
30	PID(รุ่น 3G2A5-PID01-E)	16	68	13.33
	PID(รุ่น E5AK)	26	52	0
	Neuro-Fuzzy	11	58	16.66
50	PID(รุ่น 3G2A5-PID01-E)	22	105	0
	PID(รุ่น E5AK)	31	64	0
	Neuro-Fuzzy	12	61	22
70	PID(รุ่น 3G2A5-PID01-E)	31	123	0
	PID(รุ่น E5AK)	28	61	2.85
	Neuro-Fuzzy	32	72	7.14

จากตารางที่ 5.7 เป็นการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมนิวโรฟัซซีกับตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน ทั้ง 2 รุ่น พบว่าที่ค่าเป้าหมาย 30 % ตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐานมีผลตอบสนองของสัญญาณเอาต์พุตต่อสัญญาณอ้างอิง ในเรื่องของเวลาการไต่ระดับและเวลาที่ใช้ในการเข้าสู่สภาวะคงตัวได้อย่างรวดเร็วใกล้เคียงกับตัวควบคุมนิวโรฟัซซี แต่ตัวควบคุมนิวโรฟัซซีจะเกิดการพุ่งเกินเล็กน้อย ส่วนที่ค่าเป้าหมาย 50 % และ 70 % ตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน รุ่น 3G2A5-PID01-E จะใช้เวลามากขึ้นในการเข้าสู่สภาวะคงตัว แต่จะไม่เกิดการพุ่งเกิน ส่วนในตารางที่ 5.8 และ 5.9 แสดงค่าพารามิเตอร์ส่วนของ Antecedent ของตัวแปรอินพุต e และ Δe หลังจากผ่านกระบวนการเรียนรู้ที่ค่าเป้าหมาย 30 %, 50 %, และ 70 % ที่ทำการทดลองในกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถัง ส่วนตารางที่ 5.10, 5.11 และ 5.12 แสดงค่าพารามิเตอร์ส่วนของ Consequent หลังจากผ่านกระบวนการเรียนรู้เช่นเดียวกัน

ตารางที่ 5.8 ค่าพารามิเตอร์ส่วนของ Antecedent ของตัวแปรอินพุต e ในกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถัง

e	พารามิเตอร์เริ่มต้น (Initial parameter)		ที่ค่าเป้าหมาย 30 %		ที่ค่าเป้าหมาย 50 %		ที่ค่าเป้าหมาย 70 %	
	c_{ij} (initial)	w_{ij} (initial)	c_{ij} (new)	w_{ij} (new)	c_{ij} (new)	w_{ij} (new)	c_{ij} (new)	w_{ij} (new)
	Pb	-100.00	15.00	-100.00	15.00	-100.00	15.00	-100.00
Pm	-66.66	15.00	-66.66	15.00	-66.66	15.00	-66.66	15.00
Ps	-33.33	15.00	-33.33	15.00	-33.33	15.00	-33.33	15.00
Ze	0.00	15.00	0.00	15.00	0.00	15.00	0.00	15.00
Ns	33.33	15.00	33.32	15.00	33.34	15.02	33.33	15.00
Nm	66.66	15.00	66.65	15.00	66.64	15.01	66.66	15.00
Nb	100	15.00	99.98	15.05	93.18	29.56	97.96	18.51

ตารางที่ 5.9 ค่าพารามิเตอร์ส่วนของ Antecedent ของตัวแปรอินพุต Δe ในกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถัง

Δe	พารามิเตอร์เริ่มต้น (Initial parameter)		ที่ค่าเป้าหมาย 30 %		ที่ค่าเป้าหมาย 50 %		ที่ค่าเป้าหมาย 70 %	
	c_{ij} (initial)	w_{ij} (initial)	c_{ij} (new)	w_{ij} (new)	c_{ij} (new)	w_{ij} (new)	c_{ij} (new)	w_{ij} (new)
	Pb	-100.00	15.00	-100.00	15.00	-100.00	15.00	-100.00
Pm	-66.66	15.00	-76.66	15.00	-76.66	14.98	-76.66	14.98
Ps	-33.33	15.00	-33.32	15.00	-34.91	10.93	-35.52	8.85
Ze	0.00	15.00	0.00	15.00	-0.24	15.97	-0.39	15.48
Ns	33.33	15.00	33.32	15.01	4.92	36.72	14.21	34.36
Nm	66.66	15.00	66.66	15.00	66.66	15.00	66.66	15.00
Nb	100	15.00	100.00	15.00	100.00	15.00	100.00	15.00

ตารางที่ 5.10 ค่าพารามิเตอร์ส่วนของ Consequent ที่ค่าเป้าหมาย 30 % ในกระบวนการควบคุม
ระดับของน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถัง

$e \backslash \Delta e$	Nb	Nm	Ns	Ze	Ps	Pm	Pb
Nb	-50	-50	-50	-50	-34	-17	0
Nm	-50	-50	-50	-34	-17	0	17
Ns	-50	-50	-34.48	-22.53	-0.47	16.99	34
Ze	-50	-34	-17.34	-4.69	16.58	34	50
Ps	-34	-16.99	1.68	36.21	35.98	50.01	50
Pm	-17	0	17.06	34.70	50.02	50	50
Pb	0	17	34	50	50	50	50

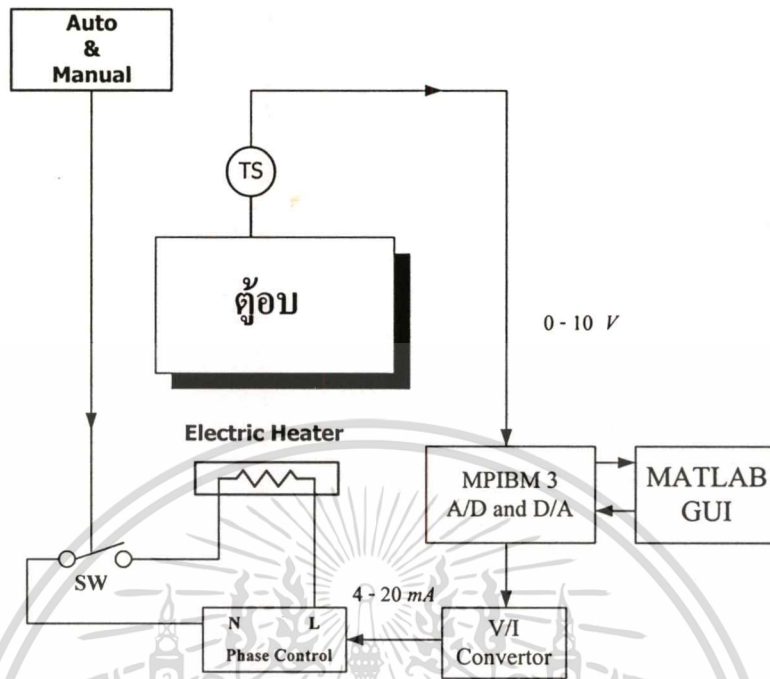
ตารางที่ 5.11 ค่าพารามิเตอร์ส่วนของ Consequent ที่ค่าเป้าหมาย 50 % ในกระบวนการควบคุม
ระดับของน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถัง

$e \backslash \Delta e$	Nb	Nm	Ns	Ze	Ps	Pm	Pb
Nb	-50	-50	-50	-50	-34	-17	0
Nm	-50	-50	-50	-34.10	-17.10	0	17
Ns	-50	-50	-34.04	-26.90	-9.98	16.99	34
Ze	-50	-34	-17.01	-3.92	12.98	34	50
Ps	-34	-17	0.63	36.18	48.94	50.12	50
Pm	-17	0	17.64	42.68	54.25	50.13	50
Pb	0	17	34.11	53.12	52.59	50	50

ตารางที่ 5.12 ค่าพารามิเตอร์ส่วนของ Consequent ที่ค่าเป้าหมาย 70 % ในกระบวนการควบคุม
ระดับของน้ำในถังที่ 2 กรณีสองถัง

$e \backslash \Delta e$	Nb	Nm	Ns	Ze	Ps	Pm	Pb
Nb	-50	-50	-50	-50	-34	-17	0
Nm	-50	-50	-50	-34	-17	0	17
Ns	-50	-50	-34	-18.28	-1.18	16.99	34
Ze	-50	-34	-17	5.66	22.17	34	50
Ps	-34	-16.99	0.02	47.17	61.48	50.02	50
Pm	-17	0	17.15	49.33	61.60	50.49	50.07
Pb	0	17	34.04	52.70	51.83	50.07	50.01

5.2 การทดลองกับกระบวนการควบคุมอุณหภูมิ



รูปที่ 5.40 โครงสร้างการทดลองของกระบวนการควบคุมอุณหภูมิ

จากรูปที่ 5.40 เป็นการทำงานของกระบวนการควบคุมอุณหภูมิ เริ่มต้นจากระบบจะทำการอ่านค่าสัญญาณป้อนกลับที่ได้จาก Temperature Sensor (TS) โดยจะทำการแปลงค่าอุณหภูมิ 0-100 องศาเซลเซียส ให้เป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า 0-10 Vdc แล้วส่งสัญญาณดังกล่าวไปยังการ์ดควบคุม MPIBM 3 เพื่อแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลโดยผ่านวงจร A/D ขนาด 12 บิต ทำการประมวลผลตัวควบคุมนิวโรฟัชซีด้วยโปรแกรม Matlab บนเครื่องคอมพิวเตอร์ หลังจากนั้นส่งสัญญาณดิจิทัลที่คำนวณได้ส่งผ่าน ไปยังวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาลอก D/A ขนาด 12 บิต ซึ่งมีค่าแรงดันไฟฟ้า 1-5 Vdc.ทำการแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ได้ให้เป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้าขนาด 4-20 mA.โดยใช้วงจร V/I เพื่อนำสัญญาณที่ได้ไปควบคุมชุดควบคุมแรงดัน (Phase Control)

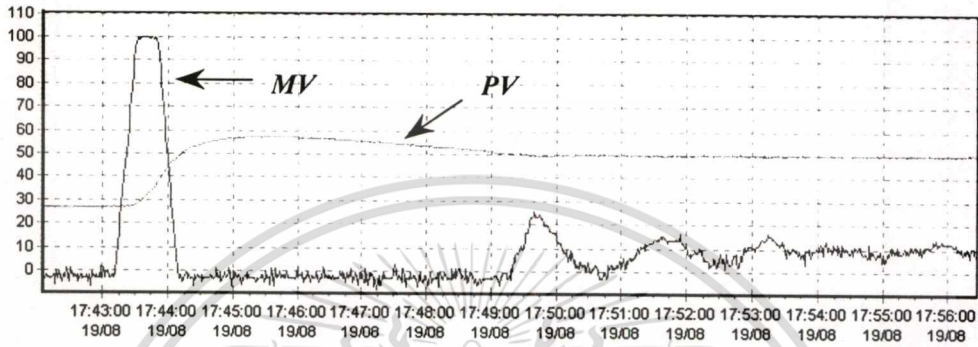
ในการทดลองเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุม เพื่อควบคุมกระบวนการควบคุมอุณหภูมิ ทำการเปรียบเทียบตัวควบคุมนิวโรฟัชซีกับตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐานของบริษัท OMRON รุ่น E5AK ที่ค่าเป้าหมาย 50 % และ 70 % ตลอดจนทำการทดลองในลักษณะของการเปลี่ยนค่าเป้าหมายขณะควบคุม และทำการรบกวนระบบควบคุมโดยการสร้างการรบกวนเข้าไปในระบบควบคุมเพื่อทดสอบสมรรถนะของตัวควบคุม ซึ่งในการทดลองได้กำหนดค่าคงที่ต่างๆดังนี้ ค่าอัตราการเรียนรู้ที่ใช้ในตัวควบคุมนิวโรฟัชซีที่ค่าเป้าหมาย 50 % กำหนดอัตราการเรียนรู้ $\eta_a = 0.5$, $\eta_b = 0.5$ และ $\eta_c = 0.001$ ส่วนที่ค่าเป้าหมาย 70 % กำหนดอัตราการเรียนรู้

$\eta_a = 0.5$, $\eta_b = 0.5$ และ $\eta_c = 0.002$ ในส่วนของกำหนดค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดีค่า

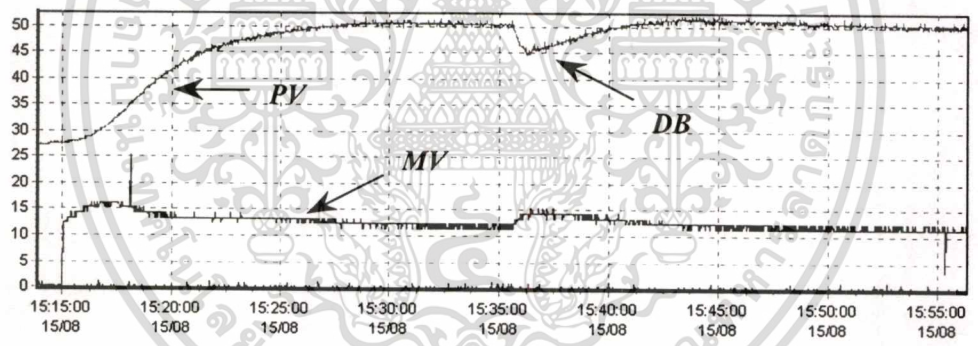
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานของบริษัท OMRON รุ่น E5AK ที่จะใช้ในการควบคุมกระบวนการนั้นค่าพารามิเตอร์ที่หาได้มีค่าดังนี้ $K_p=3.2, T_i=59, T_d=9$

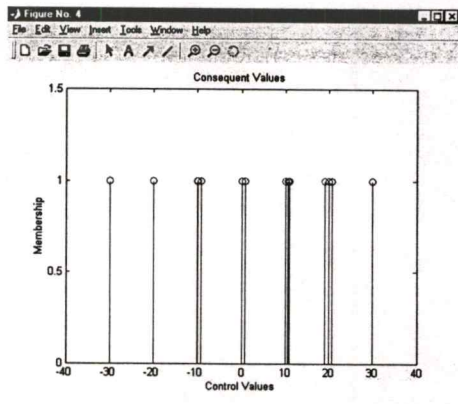
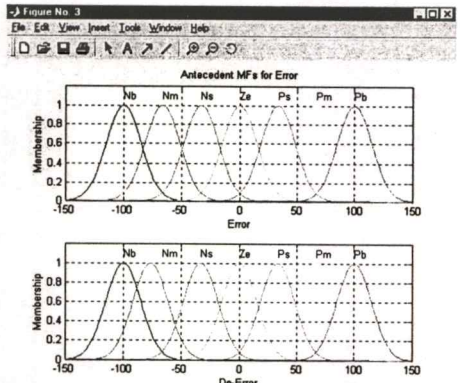
1) การทดลองที่ค่าเป้าหมาย 50 % และมีการรบกวนโดยการเปิดตู้อบเป็นเวลา 30 วินาทีขณะควบคุม โดยทำการเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างตัวควบคุมนิวโรฟัซซีกับตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐานของบริษัท OMRON รุ่น E5AK



รูปที่ 5.41 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมอุณหภูมิด้วยตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐานรุ่น E5AK ที่ค่าเป้าหมาย 50 %



รูปที่ 5.42 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมอุณหภูมิด้วยตัวควบคุมนิวโรฟัซซี ที่ค่าเป้าหมาย 50 %

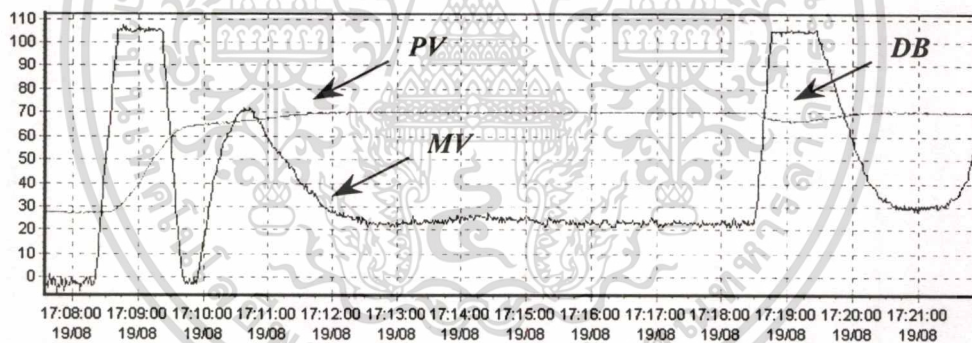


รูปที่ 5.43 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกส่วนของ Antecedent และ Consequent หลังจากผ่านกระบวนการ

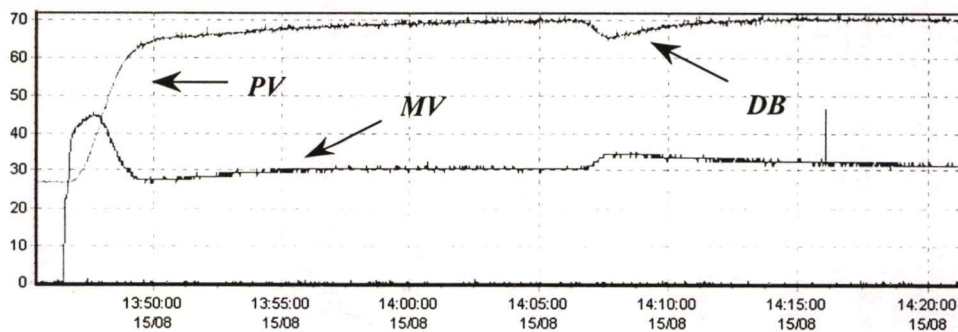
เอกสารนี้เป็นเอกสารเรียนรู้ที่ค่าเป้าหมาย 50 % ของกระบวนการควบคุมอุณหภูมิให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.41 – 5.42 เป็นผลการทดลองของกระบวนการควบคุมอุณหภูมิ ที่ค่าเป้าหมาย 50 % ของตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐานของบริษัท OMRON รุ่น E5AK เปรียบเทียบกับตัวควบคุมนิวโรฟิชซี จากผลการทดลองตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐานมีผลตอบสนองของสัญญาณเอาต์พุตต่อสัญญาณอ้างอิงในเรื่องของเวลาการไต่ระดับตลอดจนเวลาในการเข้าสู่ภาวะคงตัวที่เร็วกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมนิวโรฟิชซี แต่จะเกิดการพุ่งเกินมากกว่า ในส่วนของการทดสอบเมื่อทำการสร้างการรบกวนเข้าไปในระบบควบคุมโดยเปิดตู้อบขณะควบคุมพบว่าตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐานสามารถที่จะใช้เวลาในการปรับตัวเข้าสู่ค่าเป้าหมายเดิมได้รวดเร็วกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมนิวโรฟิชซี ส่วนรูปที่ 5.43 เป็นฟังก์ชันความเป็นสมาชิกส่วนของ Antecedent และ Consequent หลังจากผ่านกระบวนการเรียนรู้ที่ค่าเป้าหมาย 50 % พบว่าที่การทดลองนี้ค่าพารามิเตอร์ในส่วน Antecedent และ ค่าพารามิเตอร์ส่วน Consequent ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก ซึ่งรายละเอียดการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์สามารถดูได้จากตารางที่ 5.14, 5.15 และ 5.16

2) การทดลองที่ค่าเป้าหมาย 70 % และมีการรบกวนโดยการเปิดตู้อบเป็นเวลา 30 วินาทีขณะควบคุม โดยทำการเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างตัวควบคุมนิวโรฟิชซีกับตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐานของบริษัท OMRON รุ่น E5AK



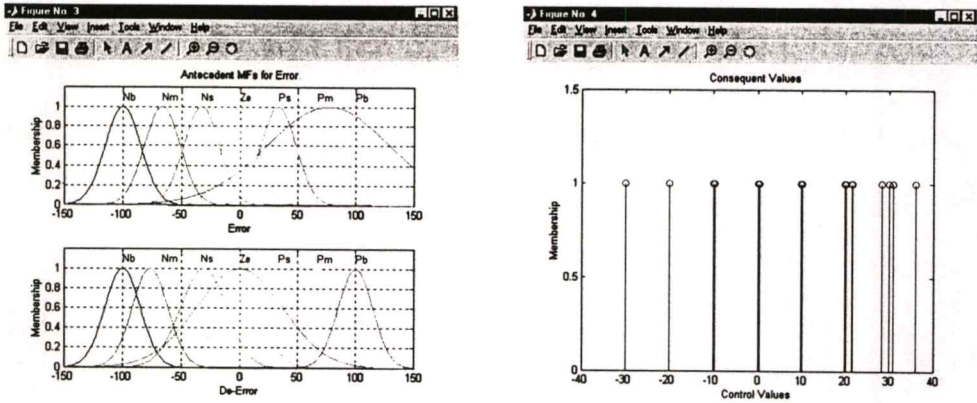
รูปที่ 5.44 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมอุณหภูมิด้วยตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐานรุ่น E5AK ที่ค่าเป้าหมาย 70 %



รูปที่ 5.45 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมอุณหภูมิด้วยตัวควบคุมนิวโรฟิชซี

ที่ค่าเป้าหมาย 70 %

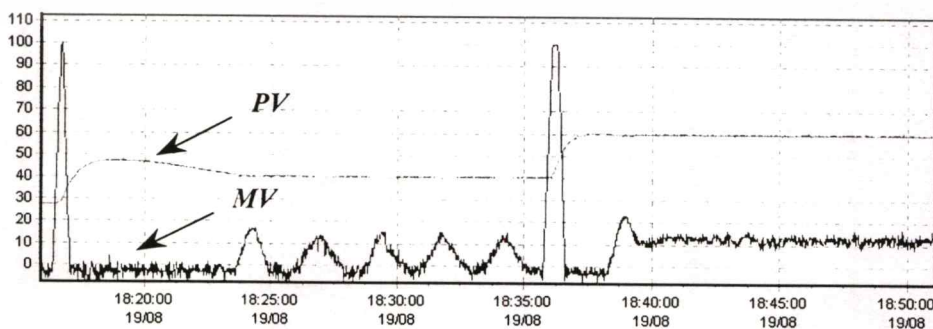
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.46 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกส่วนของ Antecedent และ Consequent หลังจากผ่านกระบวนการเรียนรู้ที่ค่าเป้าหมาย 70 % ของกระบวนการควบคุมอุณหภูมิ

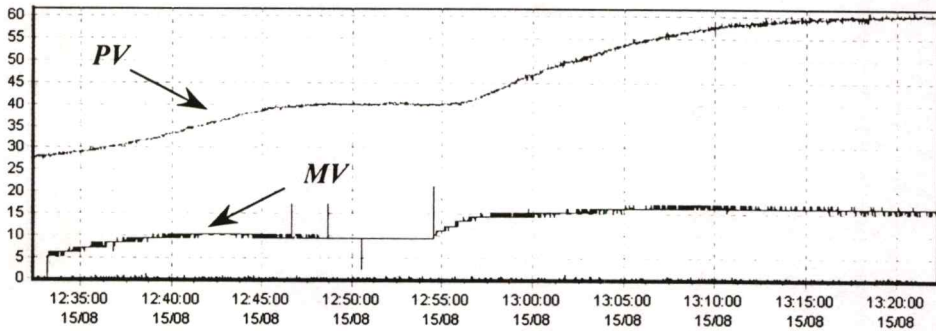
จากรูปที่ 5.44 – 5.45 เป็นผลการทดลองของกระบวนการควบคุมอุณหภูมิ ที่ค่าเป้าหมาย 70 % ของตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐานของบริษัท OMRON รุ่น E5AK เปรียบเทียบกับตัวควบคุมนิวโรฟัชซี พบว่าผลการทดลองที่ได้จากตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐานมีผลตอบสนองของสัญญาณเอาต์พุตต่อสัญญาณอ้างอิงในเรื่องของเวลาการได้ระดับตลอดจนเวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัวที่เร็วกว่าโดยไม่เกิดการพุ่งเกินเมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมนิวโรฟัชซี ในส่วนของการทดสอบเมื่อทำการสร้างการรบกวนเข้าไปในระบบควบคุม โดยเปิดตู้อบขณะควบคุมพบว่าตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐานสามารถที่จะใช้เวลาในการปรับตัวเข้าสู่ค่าเป้าหมายเดิมได้รวดเร็วกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมนิวโรฟัชซี ส่วนรูปที่ 5.46 เป็นฟังก์ชันความเป็นสมาชิกส่วนของ Antecedent และ Consequent หลังจากผ่านกระบวนการเรียนรู้ที่ค่าเป้าหมาย 70 % พบว่าที่การทดลองนี้ค่าพารามิเตอร์ในส่วน Antecedent และค่าพารามิเตอร์ส่วน Consequent มีการเปลี่ยนแปลงมากขึ้น ซึ่งรายละเอียดการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์สามารถดูได้จากตารางที่ 5.14, 5.15 และ 5.17

3) การทดลองที่ค่าเป้าหมาย 40 % และ Step Change ไปที่ 60 % โดยทำการเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างตัวควบคุมนิวโรฟัชซีกับตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐานของบริษัท OMRON รุ่น E5AK



รูปที่ 5.47 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมอุณหภูมิด้วยตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐานรุ่น E5AK ที่ค่าเป้าหมาย 40 % และ Step Change ไปที่ 60 %

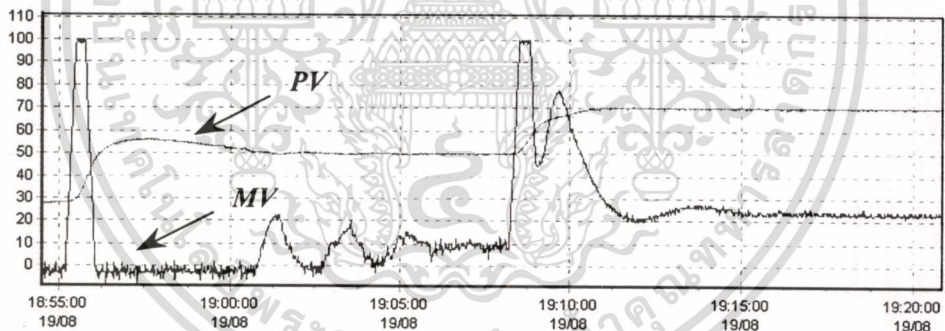
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



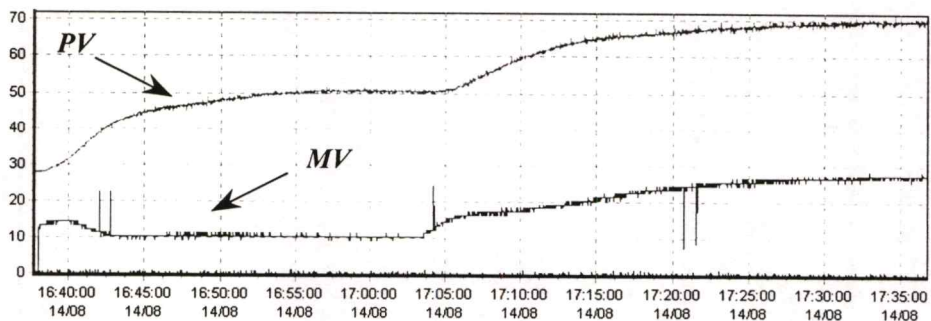
รูปที่ 5.48 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมอุณหภูมิ ด้วยตัวควบคุมนิวโรฟัซซี่
ที่ค่าเป้าหมาย 40 % และ Step Change ไปที่ 60 %

จากรูปที่ 5.47 – 5.48 เป็นผลการทดลองที่ได้จากการเปลี่ยนค่าเป้าหมายขณะควบคุม 2 ระดับ โดยทำการทดลองที่ค่าเป้าหมายเริ่มต้น 40 % และทำการเปลี่ยนไปควบคุมที่ค่าเป้าหมาย 60 % พบว่าผลการทดลองที่ได้ตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน รุ่น E5AK และตัวควบคุมนิวโรฟัซซี่สามารถปรับตัวเพื่อที่จะไปควบคุมที่ค่าเป้าหมายใหม่ได้เป็นอย่างดี

4) การทดลองที่ค่าเป้าหมาย 50 % และ Step Change ไปที่ 70 % โดยทำการเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างตัวควบคุมนิวโรฟัซซี่กับตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐานของบริษัท OMRON รุ่น E5AK



รูปที่ 5.49 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมอุณหภูมิด้วยตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐานรุ่น E5AK
ที่ค่าเป้าหมาย 50 % และ Step Change ไปที่ 70 %



รูปที่ 5.50 ผลตอบสนองของกระบวนการควบคุมอุณหภูมิ ด้วยตัวควบคุมนิวโรฟัซซี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ค่าเป้าหมาย 50 % และ Step Change ไปที่ 70 % ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.49 – 5.50 เป็นผลการทดลองที่ได้จากการเปลี่ยนค่าเป้าหมายขณะควบคุม 2 ระดับ โดยทำการทดลองที่ค่าเป้าหมายเริ่มต้น 50 % และทำการเปลี่ยนไปควบคุมที่ค่าเป้าหมาย 70 % พบว่าผลการทดลองที่ได้ตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน รุ่น E5AK และตัวควบคุมนิวโรฟัซซีสามารถปรับตัวเพื่อที่จะไปควบคุมที่ค่าเป้าหมายใหม่ได้ตามที่ต้องการ ในการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมนิวโรฟัซซีกับตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐานที่ทำการทดลองในกระบวนการควบคุมอุณหภูมิ ที่ค่าเป้าหมาย 50 % และ 70 % ได้ทำการเปรียบเทียบในเรื่องของเวลาการไต่ระดับ, เวลาที่ผลตอบสนองใช้ในการเข้าสู่สภาวะคงตัว และค่าการพุ่งเกิน ซึ่งรายละเอียดแสดงในตารางที่ 5.13

ตารางที่ 5.13 การเปรียบเทียบสมรรถนะของกระบวนการควบคุมอุณหภูมิด้วยตัวควบคุมนิวโรฟัซซีกับตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน ของบริษัท OMRON รุ่น E5AK

ค่าเป้าหมาย (0-100 %)	ชนิดของตัวควบคุม (Controller Type)	T_r (วินาที)	T_s (วินาที)	O_s (%)
50	PID(รุ่น E5AK)	35	370	36.36
	Neuro-Fuzzy	280	690	4.54
70	PID(รุ่น E5AK)	105	180	0
	Neuro-Fuzzy	190	540	0

จากตารางที่ 5.13 เป็นการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมนิวโรฟัซซีกับตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน รุ่น E5AK ซึ่งที่ค่าเป้าหมาย 50 % ตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐานมีผลตอบสนองของสัญญาณเอาต์พุตต่อสัญญาณอ้างอิง ในเรื่องของเวลาการไต่ระดับและเวลาที่ใช้ในการเข้าสู่สภาวะคงตัวได้อย่างรวดเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมนิวโรฟัซซี แต่ตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐานจะเกิดการพุ่งเกินมากกว่า ส่วนที่ค่าเป้าหมาย 70 % ตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐานและตัวควบคุมนิวโรฟัซซีจะใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัวน้อยลงและไม่เกิดการพุ่งเกิน ส่วนในตารางที่ 5.14 และ 5.15 แสดงค่าพารามิเตอร์ส่วนของ Antecedent ของตัวแปรอินพุต e และ Δe หลังจากผ่านกระบวนการเรียนรู้ที่ค่าเป้าหมาย 50 % และ 70 % ที่ทำการทดลองในกระบวนการควบคุมอุณหภูมิ ส่วนตารางที่ 5.16 และ 5.17 แสดงค่าพารามิเตอร์ส่วนของ Consequent หลังจากผ่านกระบวนการเรียนรู้เช่นเดียวกัน

ตารางที่ 5.14 ค่าพารามิเตอร์ส่วนของ Antecedent ของตัวแปรอินพุต e ในกระบวนการควบคุมอุณหภูมิต

e	พารามิเตอร์เริ่มต้น (Initial parameter)		ที่ค่าเป้าหมาย 50 %		ที่ค่าเป้าหมาย 70 %	
	c_{ij} (initial)	w_{ij} (initial)	c_{ij} (new)	w_{ij} (new)	c_{ij} (new)	w_{ij} (new)
	Pb	-100.00	15.00	-100.00	15.00	-100.00
Pm	-66.66	15.00	-66.66	15.00	-66.66	15.00
Ps	-33.33	15.00	-33.33	15.00	-33.33	15.00
Ze	0.00	15.00	0.00	15.00	0.00	15.00
Ns	33.33	15.00	33.33	15.00	33.33	15.00
Nm	66.66	15.00	66.66	15.00	66.65	15.00
Nb	100	15.00	99.99	15.02	76.64	53.05

ตารางที่ 5.15 ค่าพารามิเตอร์ส่วนของ Antecedent ของตัวแปรอินพุต Δe ในกระบวนการควบคุมอุณหภูมิต

Δe	พารามิเตอร์เริ่มต้น (Initial parameter)		ที่ค่าเป้าหมาย 50 %		ที่ค่าเป้าหมาย 70 %	
	c_{ij} (initial)	w_{ij} (initial)	c_{ij} (new)	w_{ij} (new)	c_{ij} (new)	w_{ij} (new)
	Pb	-100.00	15.00	-100.00	15.00	-100.00
Pm	-66.66	15.00	-76.66	15.00	-76.60	15.01
Ps	-33.33	15.00	-33.32	15.01	-31.16	19.53
Ze	0.00	15.00	0.00	15.00	-0.00	18.10
Ns	33.33	15.00	33.32	15.01	-0.01	37.32
Nm	66.66	15.00	66.66	15.00	66.66	15.00
Nb	100	15.00	100.00	15.00	100.00	15.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.16 ค่าพารามิเตอร์ส่วนของ Consequent ที่ค่าเป้าหมาย 50 % ในกระบวนการควบคุมอุณหภูมิ

e \ Δe	Nb	Nm	Ns	Ze	Ps	Pm	Pb
Nb	-30	-30	-30	-30	-20	-10	0
Nm	-30	-30	-30	-20	-10	0	10
Ns	-30	-30	-19.98	-9.82	0.01	10	20
Ze	-30	-20	-9.09	10.61	10.90	20	30
Ps	-20	-10	0.77	19.07	20.77	30	30
Pm	-10	0	10	20.08	30	30	30
Pb	0	10	20	30	30	30	30

ตารางที่ 5.17 ค่าพารามิเตอร์ส่วนของ Consequent ที่ค่าเป้าหมาย 70 % ในกระบวนการควบคุมอุณหภูมิ

e \ Δe	Nb	Nm	Ns	Ze	Ps	Pm	Pb
Nb	-30	-30	-30	-30	-20	-10	0
Nm	-30	-30	-30	-19.99	-9.99	0	10
Ns	-30	-30	-19.99	-9.60	0.35	10	20
Ze	-30	-19.99	-9.90	9.88	19.81	20	30
Ps	-20	-9.98	0.54	21.49	28.25	30	30
Pm	-10	0	10.15	21.70	30.78	30	30
Pb	0	10	20.12	38.07	36.01	30	30

5.3 สรุป

จากการทดลองนำตัวควบคุมนิวโรฟัซซีที่ออกแบบไปใช้ควบคุมกระบวนการ 2 กระบวนการ คือ กระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถัง และกระบวนการควบคุมอุณหภูมิในตู้อบ ในกรณีของ กระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถัง กรณีถังเดียว และกรณีสองถัง พบว่าตัวควบคุมนิวโรฟัซซี สามารถควบคุมกระบวนการได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีผลตอบสนองของสัญญาณเอาต์พุตต่อสัญญาณอ้างอิงที่ดี ในเรื่องของค่าเวลาการไต่ระดับ ค่าการพุ่งเกิน ตลอดจนเวลาที่ผลตอบสนองเข้าสู่สภาวะคงตัวโดยทำการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้กับตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐานจำนวน 2 รุ่น คือ รุ่น E5AK กับ รุ่น 3G2A5-PID01-E ซึ่งแสดงในตารางที่ 5.1 และตารางที่ 5.7 นอกจากนี้ยังทำการสร้างการรบกวนเข้าไปในระบบควบคุมเพื่อทดสอบสมรรถนะและประสิทธิภาพของตัวควบคุมนิวโรฟัซซี ในรูปแบบที่ต่าง ๆ กัน เช่น การเติมน้ำ และการปิดเปิดปั๊มขณะทำการควบคุมค่าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งตัวควบคุมนิวโรฟิซซีสามารถที่จะเรียนรู้และปรับตัวเองจนเข้าสู่ค่าเป้าหมายเดิมได้ ในการทดลองกรณีของกระบวนการควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบ พบว่าตัวควบคุมนิวโรฟิซซีสามารถควบคุมกระบวนการได้ดีในระดับหนึ่ง โดยลักษณะของกระบวนการนี้จะเป็นกระบวนการที่มีผลตอบสนองที่ค่อนข้างจะช้าเมื่อเทียบกับกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถัง ดังนั้นการกำหนดอัตราการเรียนรู้ให้กับตัวควบคุมนิวโรฟิซซี จะต้องกำหนดให้มีค่าน้อยๆ โดยลักษณะของอุณหภูมิภายในตู้อบจะเป็นในลักษณะขึ้นเร็วแต่ลงช้า ซึ่งต่างจากกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังที่มีลักษณะขึ้นเร็วลงเร็ว ซึ่งถ้ากำหนดค่าอัตราการเรียนรู้มากๆจะทำให้ระบบมีผลตอบสนองที่ทำให้เกิดการพุ่งเกินมาก และจะทำให้ใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัวนานเกินไป ในการเปรียบเทียบผลการทดลองของกระบวนการควบคุมอุณหภูมิในตู้อบระหว่างตัวควบคุมนิวโรฟิซซีกับตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐาน รุ่น E5AK ซึ่งแสดงในตารางที่ 5.13 พบว่าเวลาในการได้ระดับตลอดจนเวลาที่ใช้ในการเข้าสู่สภาวะคงตัวจะใช้เวลาไม่นาน ในส่วนของการทดสอบสมรรถนะและประสิทธิภาพของตัวควบคุมนิวโรฟิซซี โดยทำการสร้างการรบกวนเข้าไปในระบบควบคุมพบว่าตัวควบคุมนิวโรฟิซซีสามารถที่จะเรียนรู้และปรับตัวเองจนเข้าสู่ค่าเป้าหมายเดิมได้

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้ ได้นำเสนอวิธีการออกแบบตัวควบคุมนิวโรฟิชซีในการประยุกต์ใช้ควบคุมกระบวนการทางอุตสาหกรรม โดยทำการสร้างตัวควบคุมนิวโรฟิชซีบนเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ ด้วยโปรแกรม Matlab ควบคุมกระบวนการ 2 กระบวนการ คือ กระบวนการควบคุมระดับน้ำในถัง และกระบวนการควบคุมอุณหภูมิ ตัวควบคุมที่นำเสนอมีคุณสมบัติเด่น คือ สามารถที่จะเรียนรู้และปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมด้วยตนเองโดยเรียนรู้จากผลการควบคุม นอกจากนี้ยังสามารถปรับตัวขณะควบคุม เพื่อลดผลกระทบที่เกิดจากการรบกวนจากภายนอกได้ดีอีกด้วย

การออกแบบตัวควบคุมนิวโรฟิชซีใช้แบบจำลองของซูจิโนในการออกแบบตัวควบคุมและใช้กระบวนการเรียนรู้ของนิวรอลเน็ตเวิร์คเพื่อปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ โดยโครงสร้างการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์แบ่งออกเป็น 2 หน่วย คือ หน่วยปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ในส่วนของเหตุที่มีรูปแบบเป็นฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบเกาส์เซียนค่าที่ทำการปรับ คือ ค่ากลางและค่าความกว้างของรูปทรงเกาส์เซียน และหน่วยปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ในส่วนของผลที่มีรูปแบบเป็นฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบซิงเกิลตันค่าที่ทำการปรับ คือ ค่าจำนวนจริงที่อยู่ในตารางของกฎการควบคุม ซึ่งการทำงานของตัวควบคุมจะทำการเรียนรู้และปรับแต่งพารามิเตอร์ของตัวควบคุมในทุกคาบของการสุ่มสัญญาณตลอดเวลาที่ทำการควบคุม ซึ่งจะส่งผลให้ระบบที่ทำการควบคุมมีประสิทธิภาพที่ดี จากผลการทดลองใช้ตัวควบคุมที่สร้างขึ้นควบคุมกระบวนการในเวลาจริงพบว่าตัวควบคุมสามารถควบคุมกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังกรณีถึงเคียวและกรณีสองถังได้ดี โดยที่ตัวควบคุมสามารถที่จะเรียนรู้ และปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่เหมาะสมทำให้สามารถควบคุมระบบให้เป็นไปตามค่าเป้าหมายได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังสามารถปรับตัวเพื่อลดผลกระทบที่เกิดจากการรบกวนจากภายนอกได้ โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมนิวโรฟิชซีกับตัวควบคุมแบบพีไอดีมาตรฐาน พบว่าผลตอบสนองที่สถานะทรานเซียนท์ (Transient response) ของระบบควบคุม ตัวควบคุมมีค่าเวลาในการไต่ระดับน้อยกว่า แต่จะมีค่าการพุ่งเกินมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมแบบพีไอดีมาตรฐานเล็กน้อย เปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมที่สถานะคงตัวระบบควบคุมแบบนิวโรฟิชซีจะใช้เวลาในการเข้าสู่สถานะคงตัวได้เร็วกว่าตลอดจนมีการแกว่งของสัญญาณเอาต์พุตน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมแบบพีไอดีมาตรฐาน ในส่วนของการทดลองกรณีของกระบวนการควบคุมอุณหภูมิพบว่าสมรรถนะของตัวควบคุมนิวโรฟิชซีที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการมีประสิทธิภาพที่ไม่ดีเท่ากับกระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถัง ตัวควบคุมต้องใช้เวลาในการเข้าสู่สถานะคงตัวนานเมื่อเปรียบเทียบกับ

ตัวควบคุมแบบพีไอดีมาตรฐาน ดังนั้นจึงต้องกำหนดค่าอัตราการเรียนรู้ของตัวควบคุมให้มีค่าน้อยๆ เพื่อไม่ให้ผลตอบสนองของระบบเกิดการพุ่งเกินมากไป ในส่วนของการทดสอบสมรรถนะของตัวควบคุมเมื่อมีการรบกวนจากภายนอกเกิดขึ้น พบว่าตัวควบคุมสามารถปรับตัวเพื่อลดผลกระทบที่เกิดจากการรบกวนได้เป็นอย่างดีที่สามารถที่จะกลับไปควบคุมที่ค่าเป้าหมายเดิมได้

6.2 ข้อเสนอแนะ

การออกแบบตัวควบคุมนิวโรฟิซซีให้มีสมรรถนะที่ดี สามารถที่จะนำไปควบคุมกระบวนการได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น การกำหนดค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นถือเป็นเรื่องที่สำคัญ ต้องกำหนดให้มีความเหมาะสมกับระบบที่จะใช้ควบคุม ซึ่งจะส่งผลให้ระบบมีผลตอบสนองที่เร็วหรือช้าได้ ดังนั้นผู้ออกแบบจะต้องมีความรู้ความเข้าใจในระบบที่จะทำการควบคุมพอสมควร ในการทดลองยังพบว่าอัตราการเรียนรู้มีผลต่อผลตอบสนองต่อสัญญาณอ้างอิงของกระบวนการ การกำหนดอัตราการเรียนรู้จึงต้องกำหนดให้มีความเหมาะสมในระดับหนึ่ง ในวิทยานิพนธ์นี้ผู้วิจัยได้ใช้วิธีการหาค่าอัตราการเรียนรู้จากการลองผิดลองถูกโดยการทดลองหลายๆครั้ง และกำหนดให้เป็นค่าคงที่เพื่อที่จะลดการผันแปรของตัวแปรหลายตัวโดยที่แนวทางในการการพัฒนาผู้ออกแบบสามารถที่จะกำหนดอัตราการเรียนรู้ให้แปรตามผลตอบสนองของระบบควบคุม ซึ่งจะส่งผลให้ตัวควบคุมมีสมรรถนะที่ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ในการทำวิจัยผู้วิจัยเลือกใช้กระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถังและกระบวนการควบคุมอุณหภูมิมาทำการทดสอบสมรรถนะของตัวควบคุม โดยที่กระบวนการทั้ง 2 กระบวนการนี้มีผลตอบสนองที่ค่อนข้างช้า ดังนั้นจึงเป็นเรื่องที่ทำทนายและน่าสนใจสำหรับนักวิจัยใหม่ๆ ในการนำตัวควบคุมแบบนิวโรฟิซซีไปประยุกต์ใช้ควบคุมกระบวนการอื่นๆที่มีผลตอบสนองที่ค่อนข้างรวดเร็ว ซึ่งมีอยู่อย่างมากมายในภาคอุตสาหกรรม

เอกสารอ้างอิง

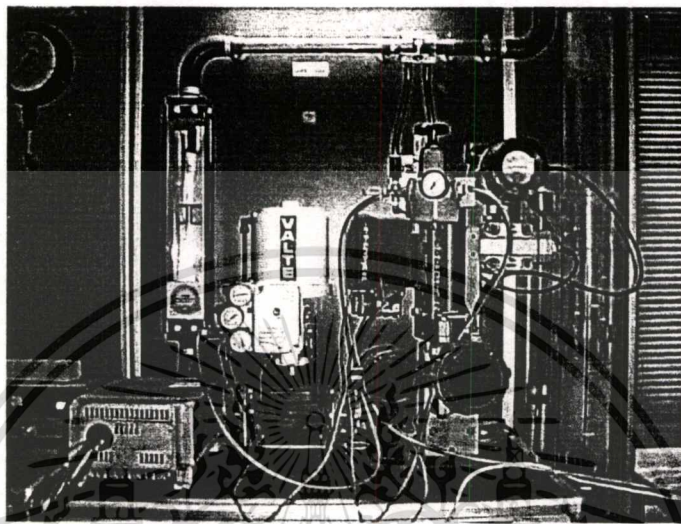
- [1] ธิคาพร พิทักษ์พรพันธ์. “ตัวควบคุมฟัซซี่แบบปรับแต่งพารามิเตอร์ได้ด้วยตนเอง”
วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย,
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2539.
- [2] L. X. Wang, Adaptive Fuzzy Systems and Control, New Jersey: Prentice –Hall, Ins. 1997.
- [3] C.T. Lin and C.S George Lee, Neural Fuzzy System, USA : Prentice-Hall International,
1996.
- [4] J. M. Zurada, Introduction to Artificial Neural Systems, West Publishing Company,
Singapore, 1992.
- [5] สาริต อินทจักร์. “ การหาขอบภาพโดยใช้แบบจำลองฟัซซี่และนิวรอลเน็ตเวิร์ค”
วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย,
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2538.
- [6] J.S.R. Jang, C.T Sun and E. Mizutani, Neuro-Fuzzy and Soft Computing,
USA: Prentice-Hall International, 1997.
- [7] Martin Brown, Chris Harris, Neurofuzzy Adaptive Modelling and Control, New York:
Prentice –Hall, 1994.
- [8] Tommi Ojara. “NEURO-FUZZY SYSTEMS AND CONTROL”. Master of science thesis.
Department of Electrical Engineering Tampere University of Technology. Tampere :
Finland, 1994.
- [9] J. Wesley Hines, Matlab Supplement to Fuzzy and Neural Approaches in Engineering ,
USA: John Wiley & Sons, Ins. 1997.
- [10] รศ. ดร. มนต์ ตั้งวรศิลป์ และวรรรัตน์ ภักธอมรกุล ,คู่มือการใช้งาน MATLAB ฉบับสมบูรณ์,
กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ อินโฟเพรส, 2543.
- [11] Bytronic International Ltd, Documentation for the Bytronic PC Interface Version2.0,
England: Bytronic International Ltd, 1997.
- [12] [Http://dochoost.mathematik.hu-berlin.de/matlab/techdoc/creating_guis/ch_overv.html](http://dochoost.mathematik.hu-berlin.de/matlab/techdoc/creating_guis/ch_overv.html)
- [13] Omron co., ltd. User’s Manual E5AK Digital Controller.
- [14] Omron co., ltd.“User’s Manual PID Unit Type 3G2A5-PID01-E.



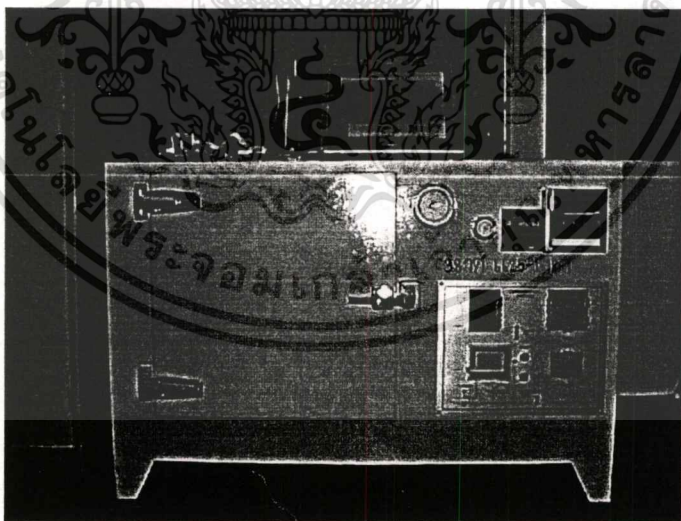
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

กระบวนการที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ ก.1 กระบวนการควบคุมระดับของน้ำในถัง



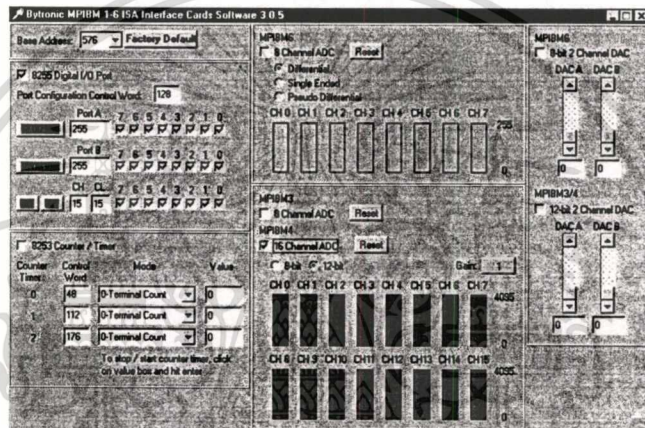
รูปที่ ก.2 กระบวนการควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

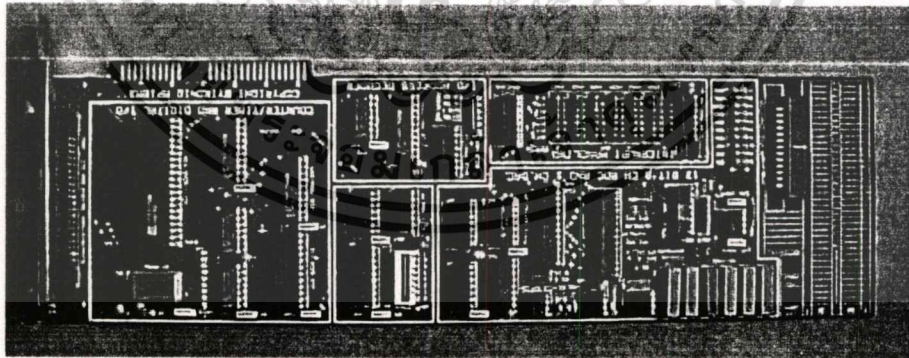
ภาคผนวก ข.

MPIBM 3 INTERFACE CARD

สำหรับตัวอินเตอร์เฟสการ์ดที่ผู้วิจัยเลือกใช้ในวิทยานิพนธ์นั้นเป็นการ์ดรุ่น MPIBM3 INTERFACE CARD ของบริษัท BYTRONIC รายละเอียดการใช้งานของการ์ดอินเตอร์เฟสสามารถหาข้อมูลเพิ่มเติมได้ทางอินเทอร์เน็ตเว็บไซต์ <http://www.Bytronic.co.uk> โดยในรูปที่ ข.1 แสดงหน้าต่างควบคุมการทำงานของอินเตอร์เฟสการ์ดแบบ manual ส่วนในรูปที่ ข.2 เป็นภาพของตัวอินเตอร์เฟสการ์ด



รูปที่ ข.1 The Interactive Software

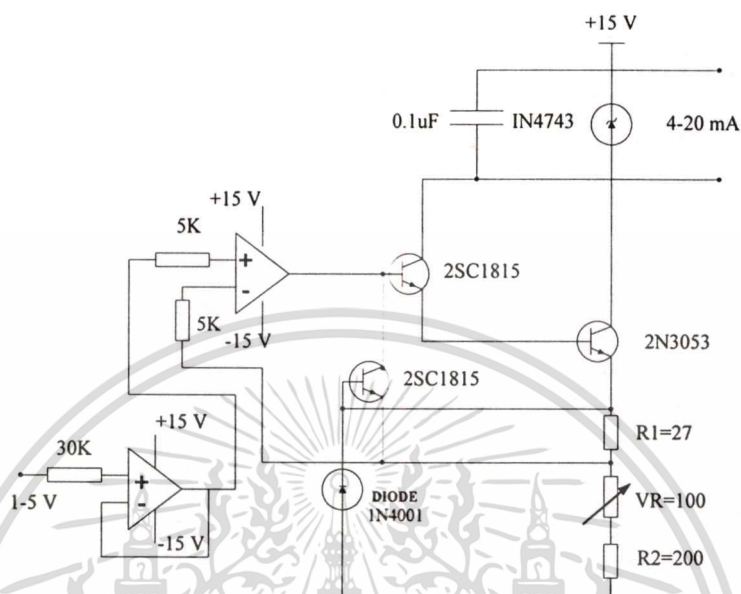


รูปที่ ข.2 MPIBM3 Interface Cards

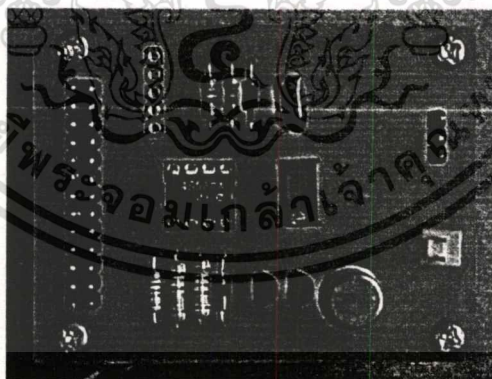
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

วงจรแปลงแรงดันเป็นกระแสไฟฟ้า (V/I Converter)



รูปที่ ค.1 แผงวงจรแปลงแรงดันเป็นกระแสไฟฟ้า



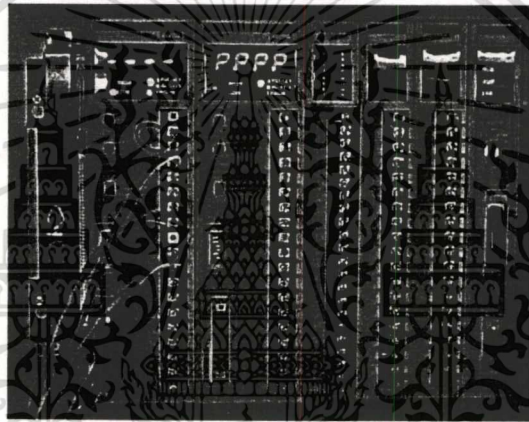
รูปที่ ค.2 ภาพวงจรแปลงแรงดันเป็นกระแสไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

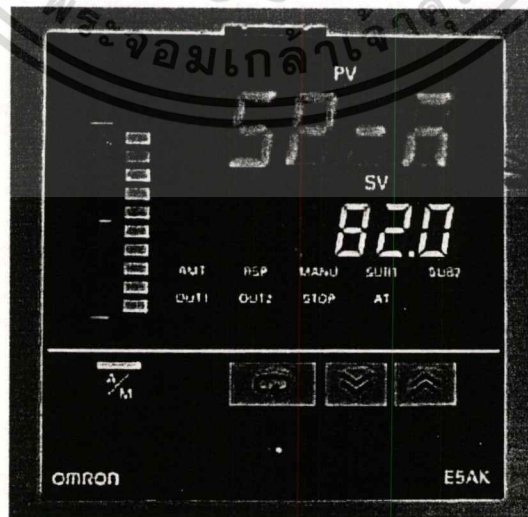
ภาคผนวก ง.

ตัวควบคุมแบบพีไอดีมาตรฐาน

ในการเปรียบเทียบผลการทดลองของตัวควบคุมนิรโทษซ์กับตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐานนั้น ทำการเปรียบเทียบกับตัวควบคุมแบบพีไอดีมาตรฐานจำนวน 2 รุ่น คือ รุ่น 3G2A5-PID01-E และ รุ่น E5AK ซึ่งทั้งสองรุ่นนี้เป็นพีไอดีมาตรฐานที่ผลิตจากบริษัท OMRON แต่มีหลักการในส่วนของ การ Auto-Tuning ที่แตกต่างกัน ในรุ่น 3G2A5-PID01-E จะใช้หลักการของ Ziegler - Nichols ส่วนรุ่น E5AK จะใช้หลักการของ Fuzzy Self-Tuning โดยรูปแบบของพีไอดีมาตรฐานทั้งสองรุ่น แสดงในรูปที่ ง.1 และ รูปที่ ง.2



รูปที่ ง.1 ตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐานของบริษัท OMRON รุ่น 3G2A5-PID01-E



รูปที่ ง.2 ตัวควบคุมพีไอดีมาตรฐานของบริษัท OMRON รุ่น E5AK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น เมื่อผู้ญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดการใช้งานพีไอดีมาตรฐาน 3G2A5-PID01-E ของบริษัท OMRON

● Characteristics

Analog input	+1 to +5 V or 4 to 20mA
Analog output	+1 to +5 V or 4 to 20mA
Number of loops	1
Input impedance	Voltage input: 1M Ω min. Current input: 250 Ω \pm 1%
Output impedance	Voltage output: 0.5 Ω max.
Resolution	1/4095
Input/output accuracy	\pm 0.2% of full scale max.(at 25 °C)
Indication accuracy	\pm 0.2% of full scale \pm 1 digit max.
Max. external input	Voltage input: +15 V Current input: 60mA
Max. output load	Voltage output: +15 mA Current input: 550 Ω max.
Linearization	Square root calculation
PID constant	Proportional band: 0 to 999% Reset time: 0 to 3999s Rate time: 0 to 3999s
Automatic control Parameter setting	Step Response Method or Ultimate Sensitivity Method
Manual output	0 to 100% (resolution: 0.1s)
Upper-(high) and lower-limit(low) Alarm outputs	Transistor output(open collector) 24V \pm 10%0.3A
Control period	0.1 to 60s (resolution:0.1s) When using the automatic control parameter setting function, the control period is fixed to 1 or 2s.
Memory protection	20 days at 25 °C average temperature (using capacitor)
Current consumption	5V \pm 5% 1.4 A max (with programming console connected: 2.1 A max)
Weigh	900g max

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดการใช้งานพีไอดีมาตรฐาน E5AK ของบริษัท OMRON

● Ratings

	AC100-240V type	AC/DC24V type
Supply Voltage	AC100-240V~, 50/60 Hz	AC/DC24V \approx , 50/60 Hz
Power Consumption	16VA	12VA, 8W
Opening Voltage Range	85% to 110% of rated supply voltage	
Main Input	Thermocouple : K, J, T, E, L, U, N, R, S, B, W, PLII Platinum resistance thermometer : JPt100, Pt100 Current input : 4 to 20mA, 0 to 20mA (Input impedance 150 Ω) Voltage input : 1 to 5V, 0 to 5V, 1 to 10V (Input impedance 15M) *1	
Sub - Input	CT input : E54-CT1, E54-CT3 Potentiometer : 100 Ω to 2.5k Ω Remote SP input : 4 to 20mA (Input impedance 150 Ω)	
Control Output	According to output unit (see "User Manual Output Unit Ratings")	
Auxiliary Output	SPST-NO, 3A at 250 VAC (resistive load)	
Control Method	Advanced PID or ON/OFF control (Fuzzy self tuning method)	
Setting Method	Digital setting using front panel keys	
Indication Method	7-segment digital display, Bar graph and LEDs	
Other Functions	According to option unit (see "User Manual Option Unit Ratings")	
Ambient Temperature	Operating : -10 $^{\circ}$ C (with no icing) / 3-year warranty period Storage : -25 $^{\circ}$ C to 65 $^{\circ}$ C (with no icing)	
Ambient Humidity	35% to 85%	

*1 Thermocouple W is W/Re5-26

● Characteristics

Indication Accuracy	Thermocouple: ($\pm 0.3\%$ of indication value or 25 $^{\circ}$ C whichever greater) 1 digit max. Platinum resistance thermometer: ($\pm 0.2\%$ of indication value or 25 $^{\circ}$ C whichever greater) 1 digit max. Analog input: $\pm 0.2\%$ ± 1 digit max. CT input: $\pm 5\%$ FS ± 1 digit max. Potentiometer: $\pm 5\%$ FS ± 1 digit max. Remote SP: $\pm 0.2\%$ FS ± 1 digit max.	
Hysteresis	0.01 to 99.99%FS (in unites of 0.01%FS)	
Proportional Band (P)	0.1 to 999.99%FS (in unites of 0.1%FS)	
Integral (reset) Time (I)	0 to 3999 s (in unites of 1 second)	
Derivative (rate) Time (D)	0 to 3999 s (in unites of 1 second)	
Control Period	1 to 99 s (in unites of 1 second)	
Manula Reset Value	0.0 to 100.0% s (in unites of 0.1%)	
Alarm Setting Range	-1999 to 9999 or -199.9 to 999.9 decimal point position dependent on input type or result scaling)	
Sampling Period	Temperature input: 250 ms, Analog input: 100 ms, Sub-input: 1s	
Insulation Resistance	20 M Ω min. (at 200 VDC)	
Dielectric Strength	2000VAC, 50/60Hz for 1 min (between terminals of different polarities)	
Vibration Resistance	Malfunction	10 to 55 Hz, 10 m/s ² (approx.1G) in 10 min each in X,Y and Z directions
	Destruction	10 to 55 Hz, 20 m/s ² (approx.2G) in 2 min each in X,Y and Z directions
Shock Resistance	Malfunction	200 m/s ² min. (approx.20G) 3 times each in 6 directions (100 m/s ² (approx.10G) applied to the relay)
	Destruction	300 m/s ² min. (approx.30G) 3 times each in 6 directions
Weight	Approx. 450 g, mounting bracket approx. 65 g	
Enclosure Ratings	Front panel: NEMA4 for indoor use (equivalent to IP66) Rear case: IEC standard IP20 Terminals: IEC standard IP00	
Memory Protection	Nonvolatile memory (number of writing: 100000 operations)	

● Heater Burnout Alarm

Max. heater current	Single-phase 50A VAC (see note 1)
Heater current value display accuracy	$\pm 5\%$ FS ± 1 digit max.
Heater burnout alarm setting range	0.1 to 49.9 A (in unites of 1 A) (see note 2)
Min. detection ON time	190 ms (see note 3)

Note: 1. Use the K2CU-FA-GS (with gate input terminals for the detection of three-phase heater burnout.

2. The heater burnout alarm is always OFF if the alarm is set to 0.0A and always ON if the alarm is set to 50.0A

3. No heater burnout detection or heater current value measurement is possible if the control output (heat) is ON for less than 190ms.

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ.

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ที่ได้รับการตีพิมพ์

บทความวิจัยซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับการตีพิมพ์ในงานประชุมทางวิชาการ ดังต่อไปนี้

[1] V. Tipsuwanporn, N. Koetsam-ang, V. Kongratana, A. Numsomran and T. Suesut

“A DESIGN NEUROFUZZY CONTROLLER FOR LEVEL PROCESS CONTROL.”

Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE 2001) Canada, 2001.

[2] เวคิน ปิยรัตน์, ณธรรม เกิดสำอางค์, วิชา ทิพย์สุวรรณพร, วิริยะ กองรัตน์ และ สุธี รุกขพันธุ์

“การออกแบบตัวควบคุมนิวโรฟัซซีโดยใช้ Matlab สำหรับควบคุมกระบวนการ”

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 26, 6-7 พฤศจิกายน 2546.

CCECE 2001 CCGÉI

Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering

Congrès Canadien en Génie Électrique et Informatique

**Paper
Index**

**Author
Index**

**Keyword
Search**

**Welcome
to CCECE**

**About
this CD**

**About
CCECE**

**SPONSORS
of CCECE
2001**

Organized by the Sections of the Central
Canada Council of IEEE Canada.

IEEE Catalog Number 01TH855C

ISBN: 0-7803-6716-2

Copyright ©2001 IEEE

... de la société pour le Millénaire

A DESIGN NEUROFUZZY CONTROLLER FOR LEVEL PROCESS CONTROL

V. Tipsuwanporn, N. Koetsam-ang, V. Kongratana, A. Numsomran and T. Suesut

Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,
Bangkok 10520, Thailand. Tel: (66-2) 326-7347:Ext.102
(E-mail: ktvittay@kmitl.ac.th)

ABSTRACT

This paper presents the design and implementation of Neurofuzzy controller self-organizing for tuning the fuzzy logic parameter using back-propagation neural network. The controller is implemented by software on a microcomputer to control the unknown transfer function system of real plant for testing the learning efficiency of self-organizing and proper parameter tuning that scaling factor(g_0, g_1) is set from experimental corresponded with process characterization and designer experience. The results are shown that the performance of this controller improved in term of set point compared with PID standard controller.

1. INTRODUCTION

Recently, fuzzy logic and neural network are widely interesting in education and industry. The advantage of neural network can get learning and optimizing solution. For fuzzy logic, it is similar with human thinking concept by the if-then rule with easy to understand and apply by human expert when we take both advantages of neural network and fuzzy logic. We can develop to be adaptive control system [1]. In face of fuzzy and neural network have two method are neural network based fuzzy systems and fuzzy logic based neural network models. The first method is to consist of fuzzification, fuzzy inference and defuzzification, respectively. In adjustment parameter of antecedent and parameter of consequent are use back-propagation method [2]. This paper is called "Neurofuzzy"[1,2]. The second method is not refer to talk about in this paper [1].

2. THEOREM OF NEUROFUZZY CONTROLLER

The structure of Neurofuzzy controller divides two parts as basic of fuzzy controller and adjustment parameters.

2.1. Basic of fuzzy controller

Fuzzy logic can be formed as equation (1) also called Fuzzy Singleton Rule [1,3,4].

Rule l : if x_i is F_i^l and, ..., and x_n is F_n^l then y is \bar{y}^l (1)

Where

x_i = input variable (i is number of input; $i = 1, \dots, n$
: $n = 2$)

y = output variable (l is number of fuzzy rule base;
 $l = 1, \dots, M$; $M = 49$)

F_i^l = Linguistics of antecedent

\bar{y}^l = Real number of consequent

$$f(x) = \frac{\sum_{l=1}^M \bar{y}^l \mu_l}{\sum_{l=1}^M \mu_l} \quad (2)$$

Where

$f(x)$ = Output of fuzzy

x = Input vector ($x = [x_1, x_2, \dots, x_n]$)

μ_l = Inference value from membership function of antecedent.

In experiment fuzzification used fuzzy singleton because of the system have low noise. Fuzzy inference used product inference because of easy to compute and high efficiency and defuzzification is used center average because of system employed by adjustment parameter of fuzzy by neuron network can be fast resulted as equation (2)[3]. Membership function in section of antecedent used gaussian function because continuous of shape and suitable for nonlinear system as (4)[3].

$$\mu_l = \mu_{F_1^l}(x_1) \times \dots \times \mu_{F_n^l}(x_n) = \prod_{i=1}^n \mu_{F_i^l}(x_i) \quad (3)$$

E/Δe	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	-100	-100	-100	-100	-66.6	-33.3	0
NM	-100	-100	-100	-66.6	-33.3	0	33.33
NS	-100	-100	-66.67	-33.3	0	33.33	66.67
ZE	-100	-66.6	-33.33	0	33.33	66.67	100
PS	-66.6	-33.3	0	33.33	66.67	100	100
PM	-33.3	0	33.33	66.67	100	100	100
PB	0	33.33	66.67	100	100	100	100

Fig.3 Fuzzy rule base.

3.3 Fuzzy rule base

Rule *i*: if *e* is F_1^i and Δe is F_2^i then *y* is \bar{y}^i (20)

Where \bar{y}^i is fuzzy rule base and show in (12), (15) and (17). The linguistic variables have 7 variables then fuzzy rule base have 49 rules.

3.4. Defuzzification

It uses center average method as (2) and output of system between 0 to 100%.

3.5. Learning rate

It uses (12), (15) and (17) and assumes $\lambda_1=0.6$, $\lambda_2=0.01$, $\lambda_3=0.001$ respectively. The structure of system used in experiment show in fig.4. Range of feedback signal has between 1 to 5 V. We using PCL-818 card (A/D, D/A 12 bits) of Advantech Company because convenient to construct neurofuzzy controller. PCL-818 card has module convert input and output value into variables by setting timer every 1 sec. Voltage value can be normalized as (21).

$$P(nt)_{norm} = (P(nt) - 1V) / (5V - 1V) * 100 \quad (21)$$

Performance index is measurement to present value of system and considers as overshoot, rise time, settling time, and oscillation of transient state. [5,6] Condition of Scaling factor used in experiment in this manner as

1. Range of feedback signal between 0-75% of set point will define $g_0 = 2$ and $g_1 = 1$. This assumption to effect of small rise time and fast response.
2. Range of feedback signal more than 75% of set point will define. $g_0 = 2$ and $g_1 = 18$. This assumption to effect of reduce overshoot and no oscillate in steady state.

3. When the feedback signal into range +/-1% of set point will define $g_0 = 1$ and $g_1 = 1$. If more than range will define $g_0 = 2$ and $g_1 = 18$.

The output of neurofuzzy obtain (22) from demoralized into manipulate value.

$$mv = ((\text{Neuro fuzzy output} * 4V) / 100) + 1V \quad (22)$$

The voltage output signal has 1 to 5 Volt converted to 4-20 mA by V/I converter and sent to control valve. In experimental for water level of two tank that determine the flow rate of 500 litres/hour, tank 1 and tank 2 are the same volume with 49 cm High (Measure 0 to 100% in the experiment), diameter is 18.5 cm and 13.18 litres volume with 1 inch pipe.

The input signal 1 to 5 volt of system is measured from level transmitter (LT1) through buffer circuit to adjust a suitable impedance then send to A/D circuit as Fig.5. 20% of valve V2 is opened and adjust valve V1 to determine the flow rate as sped. The PID control parameters are set as detail, PB=85%, Ti=85 sec, Td=5 sec. The condition of fine tune can be better control all the range of 0 to 100% and compare the operation with neurofuzzy.

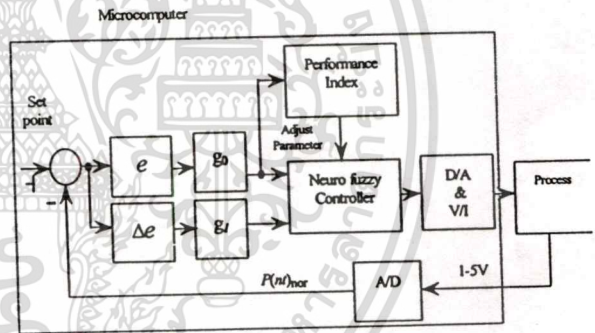


Fig. 4. Structure of neurofuzzy Controller.

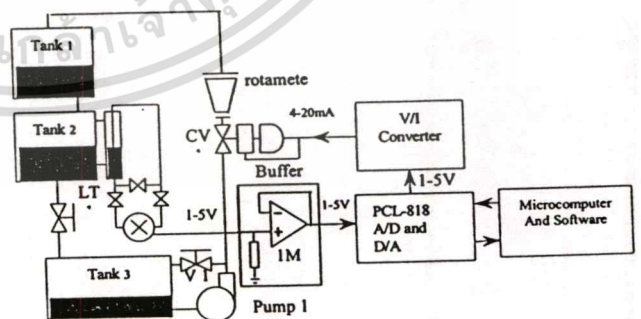


Fig.5(a). Diagram of level control system.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The reference data of 2 systems equal 50% and step change to 75%, record data by connecting the signal from level transmitter with yokogawa μ 180 graph recorder. The experiment result is as Fig.6 (a, b).

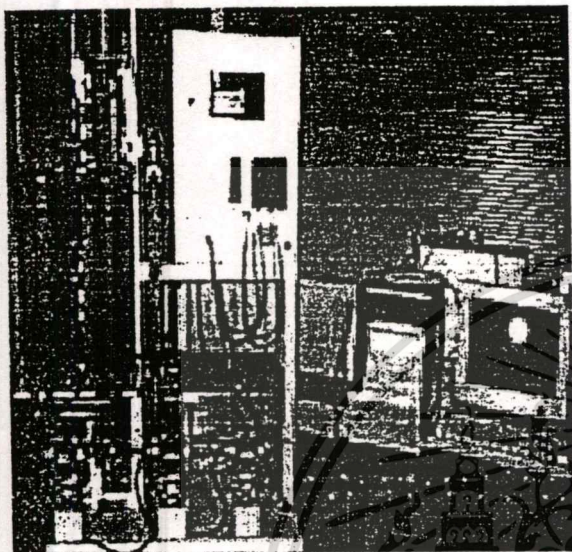


Fig. 5(b). Process control in experimental.

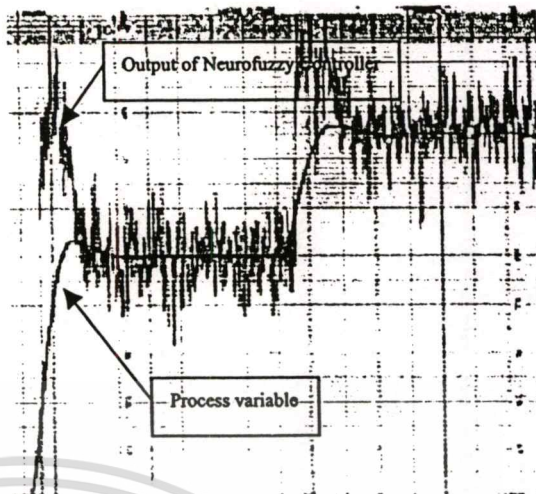


Fig. 6(b). Result of level control by neurofuzzy.

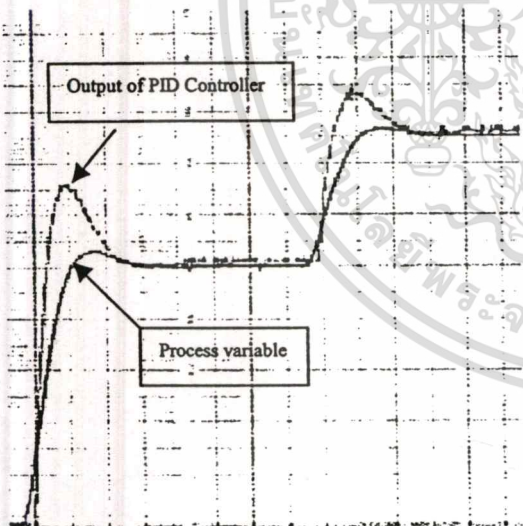


Fig. 6(a). Result of level control by PID controller.

4. CONCLUSION

In process of water level control in case of two tanks is the second order system. It found that response in reference signal of neurofuzzy control system have overshoot and rise time (10-90%) from reference signal) familiar with PID controller, assessment in steady state due to the speed of level calculator lead to water fluctuation. In system of interaction is slow due to the big tank. Therefore it necessary to determine first score of learning rate in low score because of system may be occur in overshoot and error at steady state. In experiment use the increase and decrease scaling factor as a factor in the decrement of rise time score, overshoot assessment, steady state without oscillate.

Neurofuzzy controllers have a good result that it is advantage for complex control of system such as linear system in adaptive fuzzy parameter. In the contrary, non-linear system must to adapt.

Suggestion in design, if properly determine in first score lead to designed system will perfectly controllible. But it includes scaling factor and learning rate. From the above discussion, because the scaling factor setting must correspond with process characterization and designer experience, it will generate laborious design steps. However, in the feature work the neurofuzzy controller design tuned by genetic algorithm (GAs) can somewhat eliminate laborious design steps such as manual tuning of the membership functions and selection of the fuzzy rules.

5. REFERENCES

- [1] C.T. Lin and C.S George Lee (1996), "Neural Fuzzy System", Prentice-Hall, pp. 533-608.
- [2] J.S.R. Jang, C.T Sun and E. Mizutani (1997), "Neuro-Fuzzy and Soft Computing", Prentice-Hall, pp. 13-91,335-400.
- [3] L.X. Wang (1994), "Adaptive fuzzy systems and control", Prentice-Hall, pp. 1-46.
- [4] L.X. Wang (1997), "A course in fuzzy systems and control", Prentice-Hall, pp. 1-117,168-178.
- [5] M. Brown and Chris Harris (1994), "Neurofuzzy Adaptive Modeling and Control", Prentice-Hall, pp. 409-437.
- [6] L.Ljung (1993), "Neural Fuzzy System", Prentice-Hall, pp. 533-608.

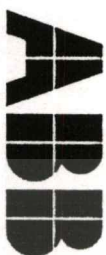


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



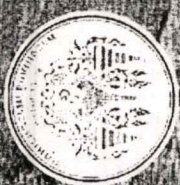
EECON26 การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 26 26th Electrical Engineering Conference

- ประกาศรับบทความ
- คณะกรรมการประชุมวิชาการฯ
- สำเนาเอกสารต้น/ฉบับที่/ปรระจำ
- สารบัญ
- แผ่นภาพความ CDROM
- ผู้สนับสนุนการประชุม



6 - 7 พฤษภาคม 2546

ทางวิชาการระบบไฟฟ้าและพลังงานเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาโยธาเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ณ โรงแรมโกลด์เมทรีด ซอย เพชรบุรี



การออกแบบตัวควบคุมนิวโรฟัซซีโดยใช้ Matlab สำหรับควบคุมกระบวนการ Design Neuro-fuzzy Controller Based On Matlab For Process Control

เวลิน ปิยรัตน์*, ณธรรม เกิดสำอางค์**, วิทยา ทิพย์สุวรรณพร**, วิริยะ กองรัตน์** และ สุธี รุกขพันธุ์**

* ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ(องครักษ์)

ถนน รังสิต-นครนายก อองครักษ์ นครนายก 26120

** ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

โทร (66-2) 326-7347 ต่อ 102 (E-mail: ktvittay@kmitl.ac.th)

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอวิธีการออกแบบตัวควบคุมนิวโรฟัซซีสำหรับประยุกต์ใช้กับกระบวนการจริง โดยทำการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของฟัซซีในส่วนของ Antecedent ที่มีฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเป็นแบบเกาส์เซียน และส่วนของ Consequent ที่มีฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเป็นแบบซิงเกิลตัน โดยใช้เทคนิคการเรียนรู้ที่ได้มาจากโครงข่ายประสาทมาทำการการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ ใช้ตัวควบคุมที่สร้างด้วย โปรแกรม Matlab ควบคุมกระบวนการจริงที่ไม่ทราบค่าทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของระบบเพื่อทดสอบประสิทธิภาพการเรียนรู้ในการปรับแต่งพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่เหมาะสม จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าตัวควบคุมที่นำเสนอนี้มีสมรรถนะที่ดี ในด้านผลตอบสนองต่อสัญญาณอ้างอิง

คำสำคัญ: นิวโรฟัซซี ,การควบคุมกระบวนการ

Abstract

This paper presents the design and implementation of Neuro-fuzzy controller for real process application. The fuzzy parameter is used for adjusting of antecedent part and consequent part that are gaussian membership and singleton membership function by learning techniques derived from neural networks to turn the parameter. The controller is implemented by matlab program to control real plant that unknown transfer function system for testing the learning efficiency of self-organizing and proper parameter. The results are shown that the performance of this controller improved in term of set point.

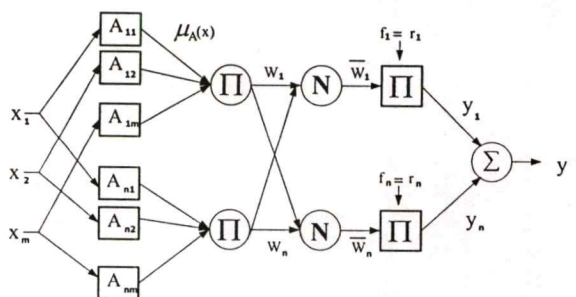
Keywords: neurofuzzy, matlab control, process control

1. บทนำ

เทคโนโลยีฟัซซีลอจิกและโครงข่ายประสาทเป็นที่น่าสนใจอย่างกว้างทั้งในวงการศึกษาและอุตสาหกรรม เนื่องจากข้อได้เปรียบของโครงข่ายประสาทสามารถที่จะเรียนรู้และทำการ Optimizing solution ได้ในส่วนของฟัซซีลอจิกนั้นมีลักษณะคล้ายกับมนุษย์คือสามารถที่จะคิดรูปแบบวิธีในการแก้ปัญหาโดยการแทนด้วยกฎในรูปแบบ IF-THENซึ่งเป็นรูปแบบที่เข้าใจง่าย โดยมนุษย์ผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบกฎการควบคุมเมื่อนำจุดเด่นทั้งสองของโครงข่ายประสาทและฟัซซีลอจิกมาประยุกต์ใช้งานสามารถนำไปพัฒนาระบบควบคุมที่สามารถปรับแต่งตัวเองได้ ซึ่งเรียกว่าตัวควบคุมแบบนิวโรฟัซซี[1]

2. ทฤษฎีของนิวโรฟัซซี

ในการออกแบบตัวควบคุมแบบนิวโรฟัซซีได้เลือกใช้วิธีของ Sugeno model system [2][3] มาทำการออกแบบตัวควบคุม ขั้นตอนของวิธีนี้ก็คือ ใช้การเรียนรู้ความสัมพันธ์ของอินพุตและเอาท์พุต โดยใช้เทคนิคของ Gradient-based descent methods เพื่อปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของระบบฟัซซี โดยการทำงานแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ป้อนไปข้างหน้าเพื่อคำนวณค่าเอาท์พุต และ ส่วนของการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ โดยรูปแบบวิธีนี้แสดงให้เห็นดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 Sugeno Model System

โดยที่ x คือ ตัวแปรอินพุต (j คือ จำนวนตัวแปรอินพุต; $j = 1, \dots, m; m = 2$)

A คือ เซตฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของส่วน Antecedent (LHS)

$\mu_A(x)$ คือ ค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ได้จากเซต A

w_i คือ ค่าที่ได้จากความสัมพันธ์ของอินพุต โดยใช้วิธี Product

\bar{w}_i คือ ค่าที่ได้จากการนอมอลไลซ์ของกฎแต่ละกฎ

r_i คือ ค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของส่วน Consequent (RHS)

แบบ ซิงเกิลตัน

y_i คือ ตัวแปรเอาต์พุต

2.1 ส่วนของการป้อนไปข้างหน้า

ในส่วนนี้จะเป็นการคำนวณเพื่อหาค่าเอาต์พุตที่เป็นระบบฟัซซี เพื่อที่จะได้นำไปควบคุมระบบ โดยแบ่งการทำงานออกเป็น 4 เลขอร์ดังนี้ เลขอร์ที่ 1: เป็นการคำนวณเพื่อหาค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุตเวกเตอร์

$$O_i^1 = \mu_{A_j}(x) \tag{1}$$

เลขอร์ที่ 2: เป็นการหาความสัมพันธ์ของอินพุตเวกเตอร์โดยเลือกใช้วิธีของ Product

$$O_i^2 = w_i = \prod_{j=1}^m \mu_{A_j}(x) \tag{2}$$

เลขอร์ที่ 3: เป็นการนอมอลไลซ์เพื่อหาค่าของอินพุตเวกเตอร์ที่ได้จากเลขอร์ที่ 2

$$O_i^3 = \bar{w}_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \tag{3}$$

เลขอร์ที่ 4: เป็นการคำนวณค่าเอาต์พุตของระบบ

$$O_i^4 = y = \sum_{i=1}^n \bar{w}_i r_i = \sum_{i=1}^n y_i \tag{4}$$

2.2 ส่วนการปรับแต่งพารามิเตอร์

ในส่วนของการป้อนกลับ เพื่อทำการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของระบบฟัซซีนั้นเลือกใช้วิธีของ Gradient-based descent methods โดยในการทดลองได้กำหนดรูปแบบของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในส่วน Antecedent เป็นแบบเกาส์เซียน (Gaussian) แสดงตามสมการที่(5) ค่าพารามิเตอร์ที่ทำการปรับแต่งมีอยู่ด้วยกัน 2 ค่า คือค่า c_{ij} และ w_{ij} โดยใช้สมการ(7)และ(8) (c_{ij} คือค่ากลาง w_{ij} คือค่าความกว้างของรูปทรงเกาส์เซียน) ในส่วนของค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกส่วน Consequent ใช้รูปแบบของซิงเกิลตัน ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่ทำการปรับแต่งคือค่า r_i แสดงตามสมการ(9) ซึ่งเป็นค่าจำนวนจริงที่อยู่ในตารางกฎการควบคุม โดยที่ใน

การปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ นั้นค่า Squared error จะถูกนำมาใช้เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมดังแสดงตามสมการ (6)

$$\mu_{A_j}(x_m) = e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x_m - c_{ij}}{w_{ij}} \right)^2} \tag{5}$$

$$E = \frac{1}{2} (y_d - y')^2 \tag{6}$$

โดยที่ y_d คือ ค่าเอาต์พุตที่ได้จากระบบ

y' คือ ค่าเอาต์พุตที่ต้องการ

จะได้ลอกริทัมที่ใช้ในการปรับค่า c_{ij} ตามสมการที่ (7)

$$c_{ij}(n+1) = c_{ij}(n) - \eta_a \cdot \frac{\partial E}{\partial c_{ij}} \tag{7}$$

ใช้วิธีการเดียวกันในการปรับค่า w_{ij} และ r_i จะได้ตามสมการที่(8)และ(9)

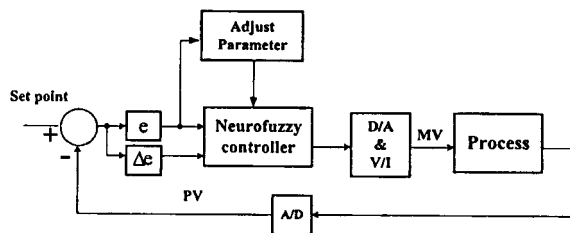
$$w_{ij}(n+1) = w_{ij}(n) - \eta_b \cdot \frac{\partial E}{\partial w_{ij}} \tag{8}$$

$$r_i(n+1) = r_i(n) - \eta_c \cdot \frac{\partial E}{\partial r_i} \tag{9}$$

โดยที่ η_a, η_b, η_c คือ ค่าอัตราการเรียนรู้ (Learning rate)

3. การออกแบบตัวควบคุมและวิธีการทดลอง

การออกแบบตัวควบคุมแบบนิวโรฟัซซี ทำการสร้างโดยใช้โปรแกรม Matlab 6.0[4] เขียนด้วย M-file แล้วสร้างรูปแบบ GUI ขึ้นมาเพื่อเป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างผู้ใช้และคอมพิวเตอร์ ในการควบคุมกระบวนการภายในห้องทดลอง โดยเลือกใช้กระบวนการควบคุมระดับน้ำในถังมาเป็นกรณีศึกษา ในส่วนของโครงสร้างตัวควบคุมแสดงให้เห็นดังรูปที่ 2 ประกอบด้วย 2 อินพุต และ 1 เอาต์พุต ตัวแปรที่เป็นค่าอินพุต คือ ค่าความผิดพลาด และอัตราการเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาด แสดงตามสมการที่(10)และ(11)ตามลำดับในส่วนของค่าตัวแปรเอาต์พุตที่ใช้ควบคุมกระบวนการแสดงตามสมการที่(4)



รูปที่ 2 โครงสร้างของตัวควบคุมนิวโรฟัซซีที่ใช้ควบคุมกระบวนการ

ค่าความผิดพลาด e สามารถหาได้จากสมการที่ (10)

$$e(n) = SP - P(n) \tag{10}$$

โดยที่ $e(n)$ = ค่าความผิดพลาดของระบบ

SP = ค่าเป้าหมาย (Set point)

$P(n)$ = สัญญาณป้อนกลับของกระบวนการ

สำหรับอัตราการเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาด Δe ที่เกิดขึ้นสามารถหาได้จากสมการที่(11)

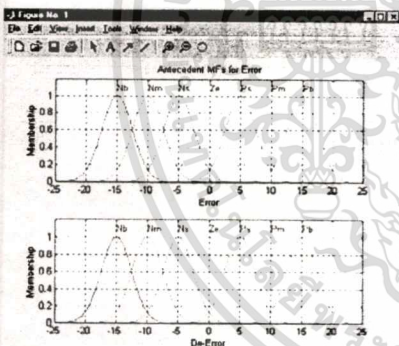
$$\Delta e(n) = e(n) - e(n-1) \tag{11}$$

โดยที่ $\Delta e(n)$ = อัตราการเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาด

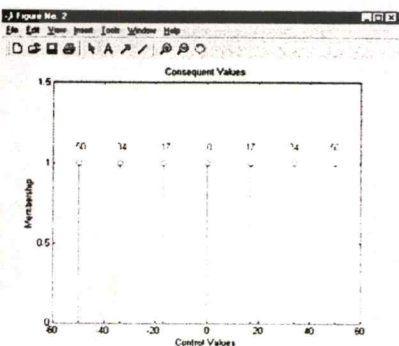
$e(n)$ = ค่าความผิดพลาดของระบบ

$e(n-1)$ = ค่าความผิดพลาดครั้งก่อน

3.1 ตัวแปรอินพุตและเอาต์พุต การกำหนดรูปแบบของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรอินพุตทั้งสองเป็นแบบเกาส์เซียนแสดงดังรูปที่ 3 ส่วนในรูปที่ 4 แสดงรูปแบบของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรเอาต์พุตแบบซิงเกิลตัน r_i และเป็นค่าจำนวนจริงที่แทนในสมการ(4)



รูปที่ 3 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบเกาส์เซียน ของอินพุต e และ Δe



รูปที่ 4 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเอาต์พุตแบบซิงเกิลตัน

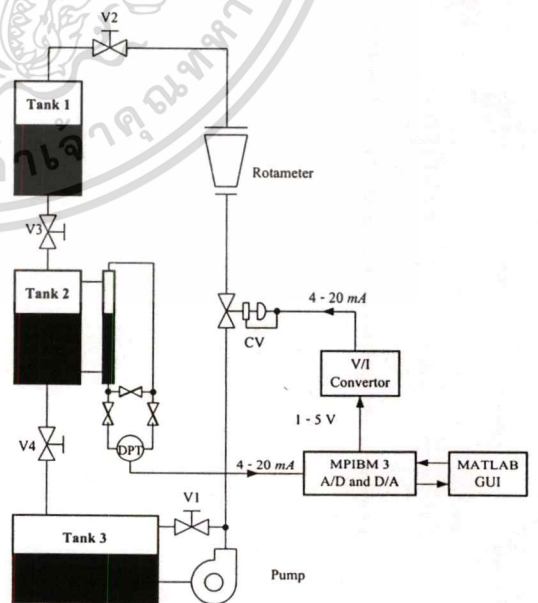
จากระบบที่ทำการทดลองได้ออกแบบตัวควบคุมให้มีตัวแปรอินพุต ($e, \Delta e$) ให้มีเซตของตัวแปร Pb, Pm, Ps, Ze, Ns, Nm, Nb 7 ตัวแปรเท่ากัน ดังนั้นกฎการควบคุมจึงมีด้วยกัน 49 กฎ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 กฎการควบคุม

$e, \Delta e$	Nb	Nm	Ns	Ze	Ps	Pm	Pb
Nb	-50	-50	-50	-50	-34	-17	0
Nm	-50	-50	-50	-34	-17	0	17
Ns	-50	-50	-34	-17	0	17	34
Ze	-50	-34	-17	0	17	34	50
Ps	-34	-17	0	17	34	50	50
Pm	-17	0	17	34	50	50	50
Pb	0	17	34	50	50	50	50

3.2 อัตราการเรียนรู้ (Learning rate) ในการกำหนดอัตราการเรียนรู้ที่ใช้ในสมการ(7),(8)และ(9)กำหนดให้เป็นค่าคงที่ซึ่งมีค่าดังนี้ $\eta_u = 0.05, \eta_b = 0.05$ และ $\eta_c = 0.01$

3.3 Interface Card เนื่องจากตัวควบคุมนิวโรฟัซซีที่ทำการออกแบบใช้โปรแกรม Matlab ในการสร้าง ดังนั้นจึงต้องตัวอินเตอร์เฟสการ์ดที่เหมาะสม จึงเลือกใช้การ์ดรุ่น MPIBM3 ของบริษัท Bytronic เนื่องจากการ์ด MPIBM3 ตัวนี้มีฟังก์ชันในการใช้งานกับโปรแกรม Matlab ในการแปลงค่าอินพุตและเอาต์พุต (A/D, D/A ขนาด 12 บิต)

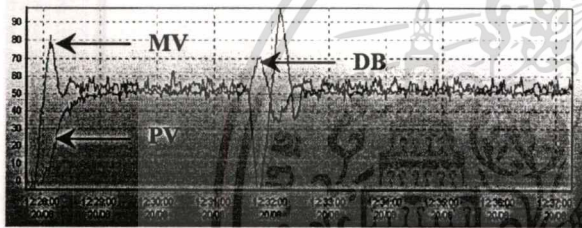


รูปที่ 5 กระบวนการควบคุมระดับน้ำในถัง

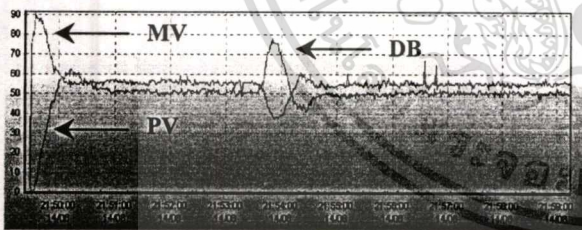
3.4 โครงสร้างของกระบวนการ ระบบที่ใช้ในการทดลองเป็นกระบวนการควบคุมระดับน้ำในถังกรณีสองถัง ซึ่งมีหลักการทำงานดังนี้ สัญญาณป้อนกลับที่ได้จากกระบวนการมีค่าเท่ากับ 1-5 โวลต์ จะถูกส่งผ่านคาร์ดที่มี A/D เพื่อไปประมวลผลในโปรแกรม Matlab หลังจากนั้นทำการประมวลผลเรียบร้อยแล้วก็จะส่งค่าสัญญาณเอาต์พุตที่ได้ผ่านวงจร D/A ซึ่งมีค่าเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า 1 - 5 V และแปลงเป็นสัญญาณกระแสที่มีค่า 4 - 20 mA โดยใช้วงจรแปลงแรงดันเป็นกระแสไฟฟ้า V/I คอนเวอร์เตอร์ เพื่อไปควบคุมการเปิดปิดของวาล์วควบคุม ซึ่งโครงสร้างของกระบวนการควบคุมระดับน้ำในถังกรณีสองถังแสดงดังรูปที่ 5

ในการทดลองกำหนดค่าเป้าหมายที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 50% และ 70% โดยทำการเปรียบเทียบผลการทดลองกับตัวควบคุมแบบพีไอมาตรฐานของบริษัท OMRON รุ่น E5AK

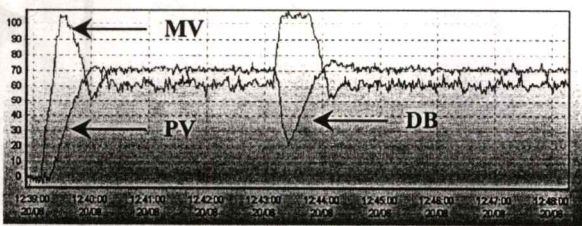
4. ผลการทดลอง



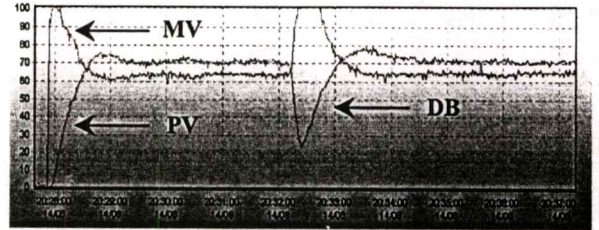
รูปที่ 6 การควบคุมระดับน้ำที่ค่าเป้าหมาย 50% ด้วยตัวควบคุมแบบพีไอมาตรฐาน



รูปที่ 7 การควบคุมระดับน้ำที่ค่าเป้าหมาย 50% ด้วยตัวควบคุมนิวโรฟัซซี



รูปที่ 8 การควบคุมระดับน้ำที่ค่าเป้าหมาย 70% ด้วยตัวควบคุมแบบพีไอมาตรฐาน



รูปที่ 9 การควบคุมระดับน้ำที่ค่าเป้าหมาย 70% ด้วยตัวควบคุมนิวโรฟัซซี

ผลการทดลองในกระบวนการควบคุมระดับน้ำในถังกรณีสองถึงที่ค่าเป้าหมาย 50% และ 70% ในรูปที่ 6 และ 8 เป็นการควบคุมโดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอมาตรฐาน ส่วนในรูปที่ 7 และรูปที่ 9 เป็นการควบคุมโดยใช้ตัวควบคุมนิวโรฟัซซี โดยที่ค่าป้อนกลับที่ได้จากกระบวนการ (Process value) แทนด้วย PV, ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุม (Manipulate value) แทนด้วย MV และสัญญาณรบกวน (Disturbance) แทนด้วย DB

ตารางที่ 2 ค่าพารามิเตอร์ e ในส่วนของ Antecedent

$e, \Delta e$	พารามิเตอร์เริ่มต้น (Initial parameter)		ที่ค่าเป้าหมาย 50%		ที่ค่าเป้าหมาย 70%	
	c_{ij} (initial)	w_{ij} (initial)	c_{ij} (new)	w_{ij} (new)	c_{ij} (new)	w_{ij} (new)
Pb	-100.00	15.00	-100.00	15.00	-100.00	15.00
Pm	-66.66	15.00	-66.66	15.00	-66.66	15.00
Ps	-33.33	15.00	-33.33	15.00	-33.33	15.00
Ze	0.00	15.00	0.00	15.00	0.00	15.00
Ns	33.33	15.00	33.34	15.02	33.33	15.00
Nm	66.66	15.00	66.64	15.01	66.66	15.00
Nb	100	15.00	93.18	29.56	97.96	18.51

ตารางที่ 3 ค่าพารามิเตอร์ Δe ในส่วนของ Antecedent

$e, \Delta e$	พารามิเตอร์เริ่มต้น (Initial parameter)		ที่ค่าเป้าหมาย 50%		ที่ค่าเป้าหมาย 70%	
	c_{ij} (initial)	w_{ij} (initial)	c_{ij} (new)	w_{ij} (new)	c_{ij} (new)	w_{ij} (new)
Pb	-100.00	15.00	-100.00	15.00	-100.00	15.00
Pm	-66.66	15.00	-76.66	14.98	-76.66	14.98
Ps	-33.33	15.00	-34.91	10.93	-35.52	8.85
Ze	0.00	15.00	-0.24	15.97	-0.39	15.48
Ns	33.33	15.00	4.92	36.72	14.21	34.36
Nm	66.66	15.00	66.66	15.00	66.66	15.00
Nb	100	15.00	100.00	15.00	100.00	15.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 26 (EECON-26) 6-7 พฤศจิกายน 2546 สจพ.

ในตารางที่ 2 และตารางที่ 3 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ถูกปรับแต่งของส่วน Antecedent คือค่า c_{ij} และ w_{ij} ส่วนในตารางที่ 4 และตารางที่ 5 แสดงค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ถูกปรับแต่งในส่วนของ Consequent คือค่า r_i ซึ่งเป็นค่าพารามิเตอร์ที่อยู่ในตารางของกฎการควบคุม

ตารางที่ 4 ค่าพารามิเตอร์ในส่วนของ Consequent ที่ค่าเป้าหมาย 50%

e, Δ	Nb	Nm	Ns	Ze	Ps	Pm	Pb
Nb	-50	-50	-50	-50	-34	-17	0
Nm	-50	-50	-50	-34.10	-17.10	0	17
Ns	-50	-50	-34.04	-26.90	-9.98	16.99	34
Ze	-50	-34	-17.01	-3.92	12.98	34	50
Ps	-34	-17	0.63	36.18	48.94	50.12	50
Pm	-17	0	17.64	42.68	54.25	50.13	50
Pb	0	17	34.11	53.12	52.59	50	50

ตารางที่ 5 ค่าพารามิเตอร์ในส่วนของ Consequent ที่ค่าเป้าหมาย 70%

e, Δ	Nb	Nm	Ns	Ze	Ps	Pm	Pb
Nb	-50	-50	-50	-50	-34	-17	0
Nm	-50	-50	-50	-34	-17	0	17
Ns	-50	-50	-34	-18.28	-1.18	16.99	34
Ze	-50	-34	-17	5.66	22.17	34	50
Ps	-34	-16.99	0.02	47.17	61.48	50.02	50
Pm	-17	0	17.15	49.33	61.60	50.49	50.07
Pb	0	17	34.04	52.70	51.83	50.07	50.01

5. บทสรุป

ในกระบวนการควบคุมระดับน้ำในถังกรณีสองถัง (กระบวนการอันดับสอง) ที่ทำการทดลองได้ทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นเพื่อที่จะใช้ควบคุมกระบวนการ โดยที่ค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดนั้นยังไม่มีความเหมาะสมกับระบบควบคุมมากนัก หลังจากนั้นไปผ่านกระบวนการเรียนรู้โดยใช้ตัวควบคุมแบบนิวโรฟัซซี ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้พบว่า ผลตอบสนองต่อสัญญาณอ้างอิงของตัวควบคุมนิวโรฟัซซีมีผลตอบสนองที่ดีในเทอมของค่าไรซ์โทมที่มีค่าน้อยและใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัว ได้อย่างรวดเร็วโดยไม่เกิดการแกว่งที่สภาวะคงตัวเมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมแบบฟีดแบ็คมาตรฐาน ในส่วนของการทดสอบสมรรถนะและประสิทธิภาพของตัวควบคุมนิวโรฟัซซี โดยทำการสร้างการรบกวนเข้าไปในระบบควบคุม เช่น การเติมน้ำ ตลอดจนการปิดปั๊มในขณะที่ทำการควบคุม ซึ่งจากผลการทดลองตัวควบคุมนิวโรฟัซซีสามารถที่จะลดผลกระทบอันเกิดจากการรบกวนจากภายนอกได้ดี โดยที่ตัวควบคุมนิวโรฟัซซีสามารถที่จะเรียนรู้และปรับตัวเองจนเข้าสู่ค่าเป้าหมาย

หมายเคมได้ โดยภาพรวมแล้วตัวควบคุมแบบนิวโรฟัซซีที่นำเสนอในบทความนี้ให้ผลลัพธ์ที่ดีซึ่งสามารถที่จะนำตัวควบคุมนี้ไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมกระบวนการที่มีความซับซ้อนของระบบมากๆ ได้

เอกสารอ้างอิง

[1] L. X. Wang, Adaptive Fuzzy Systems and Control, New Jersey : Prentice -Hall, Ins. 1997
 [2] J.S.R. Jang, C.T Sun and E. Mizutani (1997), "Neuro-Fuzzy and Soft Computing", Prentice-Hall, pp. 13-91,335-400.
 [3] C.T. Lin and C.S George Lee (1996), "Neural Fuzzy System", Prentice-Hall, pp.533-608.
 [4] J. Wesley Hines, " Matlab Supplement to Fuzzy and Neural Approaches in Engineering", pp. 1-81,158-205.



นายณธรรม เกิดด้าองศ์ นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง งานวิจัยการควบคุมกระบวนการ



รศ. วิษยะ ทิพย์สุวรรณพร อาจารย์ระดับ 9 ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง งานวิจัยการควบคุมระบบด้วยดิจิทัล



รศ. วิริยะ กองรัตน์ อาจารย์ระดับ 9 ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง งานวิจัยการออกแบบ PLCและการประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์



นายสุธี รุกขพันธุ์ นักศึกษาระดับปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง งานวิจัยระบบควบคุมฟัซซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 26 (EECON-26) 6-7 พฤศจิกายน 2546 สทพ. ครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นายฉัตรธรรม เกิดสำอางค์ เกิดเมื่อวันที่ 26 กันยายน พ.ศ. 2520 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จากมหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ในปีการศึกษา 2541 และเข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโทหลักสูตร ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2543 ในระหว่างที่ศึกษาอยู่ในระดับ ปริญญาโทได้มีโอกาสเดินทางไปร่วมการประชุมทางวิชาการที่ประเทศแคนาดา และมีผลงานทาง วิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์จำนวน 2 เรื่อง

ผลงานทางวิชาการ

- [1] V. Tipsuwanporn, N. Koetsam-ang, V. Kongratana, A. Numsomran and T. Suesut
 “A DESIGN NEUROFUZZY CONTROLLER FOR LEVEL PROCESS CONTROL.”
 Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE 2001) Canada, 2001.
- [2] เวคิน ปิยรัตน์ , ฉัตรธรรม เกิดสำอางค์, วิทยา ทิพย์สุวรรณพร, วิริยะ กองรัตน์ และ สุทธิ รุกขพันธุ์
 “การออกแบบตัวควบคุมนิวโรฟัซซีโดยใช้ Matlab สำหรับควบคุมกระบวนการ”
 การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 26, 6-7 พฤศจิกายน 2546.