

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การควบคุมแบบฟัซซีของแขนกลไฮดรอลิค  
FUZZY CONTROL OF HYDRAULIC ROBOT



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 62748  
วัน,เดือน,ปี... 2.1 ส.ค. 2549

.b.....  
.i.....

ปฏิญานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมแบบฟัซซีของแขนกลไฮดรอลิก  
FUZZY CONTROL OF HYDRAULIC ROBOT

โดย  
นายไพทัศน์ ชุมทอง  
นายนนทโชติ ตั้งธีระคุณ

อาจารย์ที่ปรึกษา  
ผศ. ดร. อุन्नัต พิณโสภณ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2548

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การควบคุมแบบฟัซซีของแขนกลไฮดรอลิก

FUZZY CONTROL OF HYDRAULIC ROBOT

ผู้จัดทำ

1. นายไพทักษณ์ ชุมทอง รหัสประจำตัว 45010310

2. นายนนทโชติ ตั้งธีระคุณ รหัสประจำตัว 45010363



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ. ดร. อุन्नัต พิณโสภณ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การควบคุมแบบพีชชีของแกนกลไฮดรอลิก

นายโททัศน์ ชุมทอง 45010310  
นายนทโชติ ตั้งธีระคุณ 45010363  
ผศ. ดร. อุณนัต พิน โสภณ อาจารย์ที่ปรึกษา  
ปีการศึกษา 2548

### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบตัวควบคุมแบบพีชชีในการควบคุมการทำงานของแกนกลไฮดรอลิก ตัวควบคุมที่สร้างขึ้นดังกล่าวสามารถควบคุมกระบวนการจริงที่ไม่ทราบฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ของระบบ การออกแบบตัวควบคุมพีชชีจะใช้องค์ประกอบหลักเป็นส่วนของพีชชีซึ่งประกอบด้วยพีชชีพีเค ชั้น พีชชีอินเฟอร์เนซ กฏฐานควบคุมพีชชีและดีพีชชีพีเคชั้น ซึ่งผลจากการทดลองปรากฏว่าการควบคุมความเร็วของกระบอบกตุบไฮดรอลิกด้วยวิธีพีชชี ให้ผลการควบคุมที่ดีเทียบเท่ากับการควบคุมด้วยวิธีพีโอ

ค



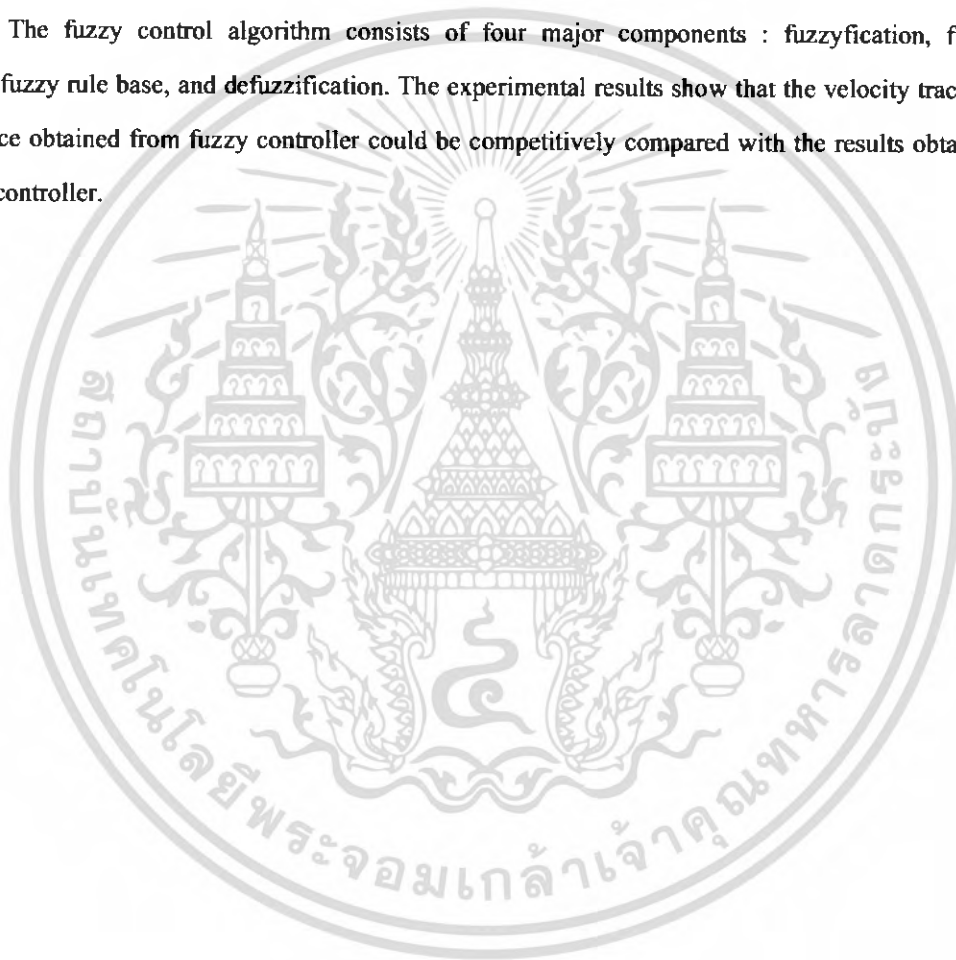
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Fuzzy Control of Hydraulic Robot

Thaitat Chumtong	45010310
Nontachot Tangtirakun	45010363
Assist. Prof. Dr. Unnat Pinsopon	Advisor

### ABSTRACT

This thesis presents the design and implementation of fuzzy control for feedback control of hydraulic robot. The fuzzy controller can be implemented to control any systems with unknown transfer functions. The fuzzy control algorithm consists of four major components : fuzzyfication, fuzzy inference, fuzzy rule base, and defuzzification. The experimental results show that the velocity tracking performance obtained from fuzzy controller could be competitively compared with the results obtained from PID controller.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ได้จัดทำขึ้นเพื่อประกอบการเรียนวิชา Project ซึ่งนับว่าเป็น โอกาสอันดีที่ทำให้ให้นักศึกษาได้นำความรู้ในภาคทฤษฎีมาปฏิบัติการ เป็นการเสริมสร้างความรู้และประสบการณ์ให้แก่ นักศึกษา

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้ดี เพราะได้รับการช่วยเหลือจากหลายฝ่าย ซึ่งข้าพเจ้า ขอขอบพระคุณทุกท่าน ดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ ที่เคารพรักยิ่ง ผู้ซึ่งให้โอกาสในการศึกษารวมทั้งให้กำลังใจ และให้คำปรึกษาเสมอมา อันเป็นแรงบันดาลใจให้ข้าพเจ้ามีมานะในการทำโครงการและเขียนปริญญา นิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.อุณหัต พิณโสภณ อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์เป็นอย่างสูง ที่กรุณา ให้คำปรึกษาแนะแนวทางและให้ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ต่อการทำโครงการตลอดมา รวมทั้งการ ตรวจทานแก้ไขปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือทั้งหมดตลอดจนถึง สถานที่ รวมทั้งการอำนวยความสะดวกสามารถทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสิ้น

และขอขอบพระคุณทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจการทำ ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จ ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและกราบขอขอบพระคุณเป็น อย่างสูง

โททัศน์ ชุมทอง  
นนทโชติ ตั้งธีระคุณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VII
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1 ความเป็นมาและ ความสำคัญ	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์	1
1.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ	1
1.4 วิธีการดำเนินงาน	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานไฮดรอลิก</b>	3
2.1 ระบบไฮดรอลิก	3
2.2 การใช้งานระบบไฮดรอลิก	3
2.3 ข้อดีของระบบไฮดรอลิก	4
2.4 น้ำมันไฮดรอลิก	5
2.5 ป้อนไฮดรอลิก	5
2.6 ระบายอากาศไฮดรอลิก	6
2.7 ถังพักน้ำมันไฮดรอลิก	7
2.8 ฟร้อพอร์ชันนัลวาล์ว	7
2.9 เซอร์โววาล์ว	15
2.10 การหาอัตราการไหล	22
2.11 ความดันของระบบ	22
<b>บทที่ 3 อุปกรณ์ในการควบคุมแขนกลไฮดรอลิก</b>	23
3.1 บทนำ	23
3.2 ชุดแขนกลและระบายอากาศไฮดรอลิก	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.3 โรตารี อินทรีเมนทัล เอน โค้ดเดอร์	24
3.4 การ์ดนำรอบ	25
3.5 คอมพิวเตอร์	27
3.6 Data Acquisition Card	28
3.7 อิเล็กทรอนิกส์ ออป-แอม	28
3.8 เซอร์โวแอมพลิไฟคอร์ด	29
3.9 เซอร์โววาล์ว	31
<b>บทที่ 4 ระบบตรรกศาสตร์พีชชี</b>	32
4.1 ที่มาและความสำคัญของพีชชี	32
4.2 นิยามของพีชชี	33
4.3 เซตที่สัมพันธ์กับพีชชี	37
4.4 ตัวแปรเชิงภาษา	38
4.5 คำขยาย	39
4.6 การดำเนินการพีชชี	41
4.7 ความสัมพันธ์พีชชี	42
4.8 การให้เหตุผลโดยประมาณ	43
4.9 กฎนิรนัยพีชชี	43
4.10 พีชชีอิมพลีเคชันฟังก์ชัน	45
4.11 ระบบตรรกศาสตร์พีชชี	45
4.12 ประเภทของระบบตรรกศาสตร์พีชชี	45
4.13 ทฤษฎีการควบคุมด้วยพีชชีลอจิก	47
4.13.1 การออกแบบสมาชิกการแปลงอยู่ในรูปพีชชี	48
4.13.2 การออกแบบกฎการทำงาน	51
4.13.3 การออกแบบสมาชิกเอาต์พุทของพีชชี	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 5 การจำลองการควบคุมระบบมวลติดสปริงและตัวหน่วง	55
5.1 การออกแบบการควบคุมระบบมวลติดสปริงและตัวหน่วง	55
5.2 การออกแบบสมาชิกอินพุท, เอาท์พุท และกฎการทำงานของการควบคุม	56
5.3 การจำลองการควบคุมระบบมวลติดสปริงและตัวหน่วง	58
5.3.1 วิธีการทดลอง	58
5.4 ผลการทดลอง	58
5.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง	65
บทที่ 6 การออกแบบควบคุมระบบแกนกลไฮดรอลิก	66
6.1 การออกแบบการควบคุมระบบแกนกลไฮดรอลิก	66
6.2 การออกแบบสมาชิกอินพุท	68
6.3 การออกแบบกฎการทำงานของการควบคุม	68
6.4 การออกแบบสมาชิกของเอาท์พุทของการควบคุมแกนกลไฮดรอลิก	69
6.5 การแปลงค่าสมาชิกเอาท์พุทและค่าสมาชิกอินพุทในการควบคุม	70
6.5.1 ตัวอย่างการแปลงค่าสมาชิกอินพุท	70
6.5.2 ตัวอย่างการแปลงค่าสมาชิกเอาท์พุท	71
6.6 เงื่อนไขในการทดลองและขั้นตอนการทดลอง	72
บทที่ 7 ผลการทดลอง	74
7.1 ผลการทดลอง	74
7.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง	81
บทที่ 8 สรุปผลการทดลองแนวทางในการพัฒนา	82
8.1 สรุปผลการทดลอง	82
8.2 แนวทางในการพัฒนา	82
บรรณานุกรม	83
ภาคผนวก	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงการทำงานของกระบอกสูบแบบทำงาน 2 ทาง	6
2.2 แสดงโครงสร้างของ Proportion Valve	7
2.3 แสดงโครงสร้างของรีลิฟวาล์วแบบหัวฉีด	8
2.4 แสดงโครงสร้างของรีลิฟวาล์วแบบพอพเพด	8
2.5 แสดง LVDT	9
2.6 แสดงโครงสร้างของรีลิฟวาล์วแบบแผ่น	9
2.7 แสดงโครงสร้างของวาล์วควบคุมอัตราการไหลแบบไม่มีสัญญาณป้อนกลับ	10
2.8 แสดงโครงสร้างของวาล์วควบคุมอัตราการไหลแบบมีสัญญาณป้อนกลับ	11
2.9 แสดงโครงสร้างของ Proportional Directional Control Valves	11
2.10 แสดงความแตกต่างระหว่าง โซลินอยด์แบบธรรมดา กับ โซลินอยด์แบบพรอพอร์ชันนัล	12
2.11 แสดงการเคลื่อนที่ของสปูลวาล์ว	13
2.12 แสดงความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุตกับอัตราการไหลจริงของเซอร์โววาล์ว	14
2.13 แสดงความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุตกับอัตราการไหลเมื่อมีการชดเชยค่าเดดแบนด์	14
2.14 แสดงการเกิดฮิสเตอรีซิส	15
2.15 แสดง Electrohydraulic Servo System	16
2.16 สปูลของเซอร์โววาล์วชนิดกระทำโดยตรง	16
2.17 สปูลของเซอร์โววาล์วชนิดทำงาน 2 ขั้นตอน	17
2.18 แสดงเซอร์โววาล์วแบบปีกปิด-เปิด	18
2.19 แสดงเซอร์โววาล์วแบบเจ็ดไฟฟ์	19
2.20 แสดงโครงสร้างของทอร์กมอเตอร์	19
2.21 แสดงการซ้อนทับกัน (Overlap) ของสปูลวาล์ว	20
2.22 แสดงการไม่ซ้อนทับกัน (Overlap) ของสปูลวาล์ว	20
2.23 แสดงการเปรียบเทียบค่าฮิสเตอรีซิสของ Proportion Valve และ Servovalve	21
2.24 แสดงการเปรียบเทียบการทำงานของ Proportion Valve และ Servovalve	22
3.1 แสดงระบบแกนกลไฮดรอลิก	23
3.2 แสดงวงจรการทำงานของแกนกลไฮดรอลิก	23
3.3 แสดงการติดตั้งแกนกลไฮดรอลิก	24
3.4 แสดงรูปร่างของโรตารีอินคริเมนทัลเอนโคเดอร์	25
3.5 แสดงวงจรภาคเอาต์พุตของเอนโคเดอร์	25
3.6 แสดง Schematic ของการ์ดนับรอบ	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.7 แสดงช่องเสียบการ์ดชนิด ISA	26
3.8 แสดงคอมพิวเตอร์ที่ใช้ควบคุมระบบ	28
3.9 แสดงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ออป-แอม	29
3.10 แสดงรูปร่างของ Servo Amplifier	29
3.11 แสดงลักษณะของเซอร์โวล้อ	31
4.1 การเปรียบเทียบระหว่างค่าความเป็นสมาชิกของเซตและเซตฟัซซี่	33
4.2 ค่าระดับความเป็นสมาชิกของเซตและเซตฟัซซี่	34
4.3 ซัพพอร์ต แคน และความสูงของเซตฟัซซี่	36
4.4 เซตที่สัมพันธ์กับเซตฟัซซี่	38
4.5 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างเซตฟัซซี่ Small, CON(Small), DIL(Small)	40
4.6 แสดงการเปรียบเทียบ ระหว่างเซตฟัซซี่ Small, INTEN(Small) และ FUZZY(Small)	41
4.7 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมพื้นฐาน	47
4.8 กระบวนการทำงานในฟัซซี่	47
4.9 การทำงานทั่วไปของการควบคุมโดยใช้ฟัซซี่ลอจิก	48
4.10 ตัวอย่างสมการ $\Gamma$	49
4.11 ตัวอย่างสมการ $S$	50
4.12 ตัวอย่างสมการ $L$	50
4.13 ตัวอย่างสมการ $\Lambda$	51
4.14 ตัวอย่างสมการ $\Pi$	51
4.15 แสดงภาพการทำงานของ ทฤษฎี Max - Min	52
4.16 แสดงการทำงานของทฤษฎี Max- Dot	51
4.17 ทฤษฎีค่าเฉลี่ยสูงสุด	54
4.18 ทฤษฎีค่าจุดศูนย์กลางพื้นที่	54
5.1 แสดงการจัดวางตำแหน่งของระบบมวลติดสปริงและตัวหน่วง	55
5.2 การออกแบบระบบควบคุมด้วยฟัซซี่พีไอ	55
5.3 ค่าความเป็นสมาชิกของอินพุท	56
5.4 ค่าความเป็นสมาชิกของเอาต์พุท	56
5.5 แสดงระบบมวลติดสปริงและตัวหน่วง	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.6 ตารางแสดงค่าเปอร์เซ็นต์โอเวอร์ชูตและค่าเวลาปรับตั้ง ณ ค่าการกระจัดต่าง ๆ เมื่อควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบพีซซี	59
5.7 แสดงผลการทดลองเมื่อการกระจัดเท่ากับ 0.2 เมตร โดยใช้พีซซีควบคุม	59
5.8 แสดงผลการทดลองเมื่อการกระจัดเท่ากับ 0.4 เมตร โดยใช้พีซซีควบคุม	60
5.9 แสดงผลการทดลองเมื่อการกระจัดเท่ากับ 0.6 เมตร โดยใช้พีซซีควบคุม	60
5.10 แสดงผลการทดลองเมื่อการกระจัดเท่ากับ 0.8 เมตร โดยใช้พีซซีควบคุม	61
5.11 แสดงผลการทดลองเมื่อการกระจัดเท่ากับ 1.0 เมตร โดยใช้พีซซีควบคุม	61
5.12 ตารางแสดงค่าเปอร์เซ็นต์โอเวอร์ชูตและค่าเวลาปรับตั้ง ณ ค่าการกระจัดต่าง ๆ เมื่อควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบพีโอ	62
5.13 แสดงผลการทดลองเมื่อการกระจัดเท่ากับ 0.2 เมตร โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีโอ	62
5.14 แสดงผลการทดลองเมื่อการกระจัดเท่ากับ 0.4 เมตร โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีโอ	63
5.15 แสดงผลการทดลองเมื่อการกระจัดเท่ากับ 0.6 เมตร โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีโอ	63
5.16 แสดงผลการทดลองเมื่อการกระจัดเท่ากับ 0.8 เมตร โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีโอ	64
5.17 แสดงผลการทดลองเมื่อการกระจัดเท่ากับ 1.0 เมตร โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีโอ	64
6.1 แสดงระบบแกนกลไฮดรอลิก	67
6.2 การออกแบบระบบควบคุมด้วยพีซซีพีโอ	67
6.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าเอาต์พุตของระบบในการวิเคราะห์	67
6.4 แสดงค่าความเป็นสมาชิกของอินพุต error และ error derivative	68
6.5 แสดงกฎในการออกแบบการควบคุมแกนกลไฮดรอลิก	69
6.6 แสดงค่าความเป็นสมาชิกของเอาต์พุต	70
6.7 แสดงการแปลงค่าสมาชิกอินพุต	71
6.8 แสดงค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงสัญญาณเอาต์พุตที่ผ่านกระบวนการแปลงค่าสมาชิกเอาต์พุต	72
7.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็ว (mm/s) กับคาบเวลา(s) ที่ amplitude =10	74
7.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง error (mm/s) กับ คาบเวลา (s) ที่ amplitude =10	74
7.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง U (mm/s) กับ คาบเวลา (s) ที่ amplitude =10	75
7.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงของ error (mm/s <sup>2</sup> )กับเวลา (s) ที่ amplitude = 10	75
7.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็ว (mm/s) กับคาบเวลา(s) ที่ amplitude =20	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
7.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง error (mm/s) กับ คาบเวลา (s) ที่ amplitude = 20	76
7.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\dot{u}$ (mm/s) กับ คาบเวลา (s) ที่ amplitude = 20	77
7.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงของ error (mm/s <sup>2</sup> )กับเวลา (s) ที่ amplitude = 20	77
7.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็ว (mm/s) กับคาบเวลา(s) ที่ amplitude = 30	78
7.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง error (mm/s) กับ คาบเวลา (s) ที่ amplitude = 30	78
7.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\dot{u}$ (mm/s) กับ คาบเวลา (s) ที่ amplitude = 30	79
7.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงของ error (mm/s <sup>2</sup> )กับเวลา (s) ที่ amplitude = 30	79
7.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วที่ 20 mm/s กับคาบเวลา (s) เมื่อสัญญาณอินพุท (input) เป็นแบบ unit step	80
7.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง error (mm/s) กับ คาบเวลา (s) เมื่อสัญญาณอินพุท (input) เป็นแบบ unit step	80
7.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\dot{u}$ (mm/s) กับ คาบเวลา (s) เมื่อสัญญาณอินพุท (input) เป็นแบบ unit step	81

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันมีการใช้หุ่นยนต์ในอุตสาหกรรมกันอย่างมากมาย ปัญหาอย่างหนึ่งที่พบในการควบคุมหุ่นยนต์คือมีการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ขณะที่หุ่นยนต์มีการทำงาน ทำให้การควบคุมหุ่นยนต์ให้มีความถูกต้องแม่นยำมีความเป็นไปได้ยาก เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการคิดค้นทฤษฎีการควบคุมต่างๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของตัวควบคุม เช่น ตัวควบคุมแบบปรับค่าได้ (Adaptive Controller) แต่การควบคุมดังกล่าวผู้ออกแบบจะต้องทราบค่าพารามิเตอร์ของระบบและลักษณะการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรในระบบ ซึ่งเป็นการยากในการปฏิบัติที่จะรู้ค่าเหล่านี้ ตัวควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกจึงได้ถูกพัฒนาขึ้น โดยผู้ที่ออกแบบตัวควบคุมไม่จำเป็นต้องสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แต่จะพิจารณาบนพื้นฐานพฤติกรรมของระบบที่จะควบคุม ทำให้ตัวควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกเข้าใจได้ง่ายปรับเปลี่ยนได้ไม่ยาก และมีความคล้ายคลึงกับการตัดสินใจของมนุษย์

ทฤษฎีฟัซซี่เซตถูกนำเสนอโดย Zedah ในปี ค.ศ. 1965 ซึ่งกล่าวถึงความไม่แน่นอนและไม่ชัดเจนของการนิยามสิ่งของหนึ่ง ๆ เนื่องจากความไม่ชัดเจนดังกล่าวจึงนิยามของเหล่านั้นในรูปของฟัซซี่เซต โดยฟัซซี่เซตก็จะขึ้นกับฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function) ซึ่งจะทำการแบ่งระดับความเป็นสมาชิกให้มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 จากนั้นฟัซซี่เซตต่าง ๆ ก็จะถูกนำมาสร้างความสัมพันธ์และแปรความหมายออกมาอีกครั้งเนื่องจากฟัซซี่นั้นกล่าวถึงความไม่แน่นอนและความไม่ชัดเจน จึงมีการนำทฤษฎีฟัซซี่มาใช้ในงานควบคุมพารามิเตอร์ต่างๆ ไม่เปลี่ยนแปลงขณะทำงาน

ในปริยญาณิพนธ์นี้จึงได้นำเสนอวิธีการควบคุมระบบด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซี่ร่วมกับตัวควบคุมแบบพีไอ เพื่อให้การควบคุมการทำงานของระบบที่มีความเป็นเชิงเส้นอย่างแกนกลไฮดรอลิกมีประสิทธิภาพและสามารถควบคุมระบบการทำงานได้ตามที่ต้องการ

### 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

1. เข้าใจการควบคุมแบบฟัซซี่
2. ออกแบบและสร้างโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่ของแขนกลไฮดรอลิก โดยอาศัยการใช้ฟัซซี่ลอจิกในการควบคุมความเร็วของแขนกล

### 1.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ

1. รู้จักและเข้าใจการใช้งาน และสามารถควบคุมอุปกรณ์การทำงานของระบบไฮดรอลิก
2. เข้าใจทฤษฎีการควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก
3. สามารถสร้างโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบไฮดรอลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 1.4 วิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาทฤษฎีการควบคุมแบบพีชคณิตอจิก
2. ออกแบบการควบคุมด้วยพีชคณิตอจิก
3. เขียนโปรแกรมการควบคุมการทำงานด้วยโปรแกรม MatLab
4. การจำลองควบคุมระบบมวลติดสปริง โดยใช้โปรแกรม MatLab
5. ทดลองการควบคุมของระบบมวลติดสปริง
6. เขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานด้วยโปรแกรม Turbo C
7. ทดลองการควบคุมของแขนกลไฮดรอลิก
8. สรุปผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีพื้นฐานของไฮดรอลิก

### 2.1 ระบบไฮดรอลิก (Hydraulic System)

คำว่า Hydraulic มาจากคำในภาษากรีก 2 คำ คือ Hydro หมายถึงน้ำ และ Aulis ซึ่งหมายถึงท่อ (pipe) เดิมคำว่า Hydraulic จึงหมายถึงเฉพาะการไหลของน้ำในท่อเท่านั้น แต่ปัจจุบันคำนี้หมายถึงการไหลของเหลวทุกชนิดที่ใช้ในระบบ เพื่อเป็นตัวกลางการถ่ายทอดกำลังงานในการเปลี่ยนแปลงกำลังงานของไหลเป็นกำลังงานกลคือทำให้กระบอกสูบไฮดรอลิกและมอเตอร์ไฮดรอลิกทำงาน ตัวอย่างการทำงาน เช่น ระบบเบรกในรถยนต์ แม่แรงไฮดรอลิก เครื่องอัด เกียร์อัตโนมัติ เครื่อง รถแทรกเตอร์ และ เครื่องจักร ในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ระบบไฮดรอลิกต้องมีอุปกรณ์พื้นฐานในการทำงานดังต่อไปนี้

1. อุปกรณ์ต้นกำลังไฮดรอลิก ทำหน้าที่เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนปั๊มน้ำมันไฮดรอลิกเพื่อส่งจ่ายให้แก่ไฮดรอลิก ประกอบด้วยเครื่องยนต์หรือมอเตอร์ไฟฟ้า
2. อุปกรณ์เก็บและปรับปรุงคุณภาพน้ำมันไฮดรอลิก ทำหน้าที่เป็นที่พักของน้ำมัน ขจัดสิ่งสกปรกขจัดฟองอากาศ และระบายความร้อนของน้ำมันไฮดรอลิก ประกอบด้วยถังพักน้ำมันไฮดรอลิก ใสกรองน้ำมันไฮดรอลิก และอุปกรณ์อื่น ๆ ประกอบที่ใช้กับถังพักน้ำมัน
3. อุปกรณ์สร้างการไหล ทำหน้าที่สร้างอัตราการไหล ประกอบด้วยปั๊มไฮดรอลิก ชนิดต่าง ๆ
4. อุปกรณ์ควบคุมการทำงาน หมายถึง วาล์วควบคุมชนิดต่าง ๆ ในระบบไฮดรอลิก เช่น วาล์วควบคุมทิศทางการไหลใช้ควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของกันสูบ วาล์วควบคุมอัตราการไหลใช้จำกัดปริมาณน้ำมันที่เข้าสู่สูบเพื่อควบคุมความเร็วของกันสูบ วาล์วควบคุมความดันใช้ควบคุมความดันในระบบ
5. อุปกรณ์การทำงาน ทำหน้าที่เปลี่ยนกำลังงานของไหลให้เป็นกำลังงานกล เช่น กระบอกสูบไฮดรอลิกหรือมอเตอร์ไฮดรอลิก
6. อุปกรณ์ในระบบท่อทาง ทำหน้าที่เป็นท่อทางการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกในระบบ ประกอบด้วย เป๊ป (pipe), ข้องอ (Blending), ท่อ (tube), สายน้ำมันไฮดรอลิก (hoses) และข้อต่อชนิดต่าง ๆ (Fittings)

### 2.2 การใช้งานระบบไฮดรอลิก

1. ระบบไฮดรอลิกในโรงงานอุตสาหกรรม ในโรงงานอุตสาหกรรมได้มีการนำระบบไฮดรอลิกไปใช้ในเครื่องมือต่างๆ เช่น เครื่องฉีดพลาสติก เครื่องฉีดอะลูมิเนียม แท่นอัดขึ้นงาน เครื่องป้อนและเครื่องตัดขึ้นงานเครื่องประกอบชิ้นรูปขึ้นงาน เครื่องจักรขนาดใหญ่ เครื่องกลึงและเจียรระโน

2. ระบบไฮดรอลิกในอุตสาหกรรมเหล็กกล้า ในปัจจุบันอุตสาหกรรมเหล็กกล้าส่วนใหญ่จะต้องมีการใช้งานอุปกรณ์ไฮดรอลิกตัวอย่าง เช่น ใช้กับแท่นเลื่อย แจน โยน ฐานป้อนและส่ง เครื่องปรับขนาดลูกกลิ้ง อุปกรณ์แยกและส่ง อุปกรณ์ควบคุมการหล่อเย็น เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ระบบไฮดรอลิกในงานวิศวกรรมโยธา ตัวอย่างงานที่ใช้ในระบบนี้เช่น ระบบปิด-เปิดประตูกั้นน้ำเขื่อนกั้นน้ำ การควบคุมการปิด-เปิดช่องทางเดินเรือ การควบคุมการปิด-เปิดสะพาน

4. ระบบไฮดรอลิกในยานยนต์อุตสาหกรรม ตัวอย่างของการใช้ระบบไฮดรอลิกที่ใช้ในยานยนต์ เช่น รถแทรกเตอร์ รถเทอร์เลอร์ ปั่นจั่น รถยก รถขุด เครน รถกวาด รถตัด เครื่องจักรกล การเกษตร รถกระเช้า รถขนย้ายวัสดุ และเครื่องกลที่ใช้ในการก่อสร้างอื่นๆ

5. ระบบไฮดรอลิกในเรือเดินทะเล เช่น ระบบนำร่องอัตโนมัติ ระบบเครื่องหางเสือเรือทั้งแบบธรรมดาและแบบอัตโนมัติ การควบคุมการปล่อยขวน การควบคุมระบบระบายน้ำใต้ท้องเรือ เป็นต้น

6. ระบบไฮดรอลิกในงานเฉพาะอย่าง งานที่นำเอาระบบไฮดรอลิกไปใช้นั้น ตัวอย่างเช่น กล้องเทเลสโคป ระบบสื่อสารทางอากาศ ทุ่นเก็บข้อมูลด้านสมุทรศาสตร์ และอุทกนิยศาสตร์ในทะเล เครื่องจุดเจาะน้ำมันในทะเล เครื่องเจาะสำรวจแหล่งแร่ เครื่องมือสำรวจชั้นดิน

### 2.3 ข้อดีของระบบไฮดรอลิก

ระบบไฮดรอลิกมีข้อได้เปรียบหลายประการดังนี้

1. ง่ายต่อการควบคุม โดยปกติแล้วการส่งกำลังโดยกลไกจะมีความยุ่งยากเกี่ยวกับโครงสร้างที่จะควบคุมให้เกิดการเคลื่อนที่ทำงานทั้งแบบหมุนหรือแนวอนเส้นตรง แต่ระบบไฮดรอลิกทำงานได้ง่ายและดีทั้งในแนวตรงและในแนวหมุนเพียงแต่ใช้กำลังจากของไหลไปเปลี่ยนแปลงเป็นกำลังงานเพื่อทำงานที่ต้องการผลักดันหรือแรงบิด ๆ ได้

2. การปรับเปลี่ยนความเร็วของลูกสูบหรือมอเตอร์ไฮดรอลิกกระทำได้ง่าย สามารถปรับเปลี่ยนความเร็วได้ทุกระดับ โดยปรับที่วาล์วควบคุมอัตราการไหลของน้ำมัน ส่วนมอเตอร์ไฟฟ้าเครื่องชนิดนั้นควรทำงานที่ความเร็วคงที่มากกว่า

3. แรงคงที่ ระบบไฮดรอลิกสามารถที่จะให้แรงคงที่ไม่จำกัดความเร็ว

4. ตั้งขนาดของแรงที่ต้องการใช้งานได้ เพราะปริมาณน้ำมันที่ความดันส่วนเกินจะไหลออกไปทางวาล์วจำกัดความดันหมด

5. การทำงานกลับทิศไปมาได้ กระบอกสูบและมอเตอร์ไฮดรอลิกสามารถทำงานกลับทิศได้โดยไม่ต้องรอให้หยุด โดยอาศัยวาล์วควบคุมทิศทางการไหล ส่วนปัญหาการโอเวอร์โหลดขณะทำงานกลับทิศจะไม่มีเช่น ก้านสูบเลื่อนออกสุดระยะชักแล้ว แต่ปั๊มยังคงส่งกำลังอัตราการไหลไปในระบบความดันก็จะเพิ่มขึ้นแต่จะถูกจำกัดโดยวาล์วปลดความดัน

6. ควบคุมการทำงานได้เที่ยงตรง แม่นยำ และถูกต้อง เพราะมีวาล์วที่ใช้ควบคุมทั้งความเร็วและความดัน

7. กะทัดรัด กินเนื้อที่ในการติดตั้งและมีน้ำหนักน้อยกว่า เมื่อมีการเปลี่ยนเทียบกับขนาดกำลังเดียวกัน เช่น ปั๊มหรือมอเตอร์ไฮดรอลิกขนาด 9 แรงม้า จะมีน้ำหนักเพียง 5 กิโลกรัมเท่านั้น ในขณะที่มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 10 แรงม้า จะมีน้ำหนักที่มากกว่าหลายสิบกิโลกรัม และในบริเวณที่ไม่เหมาะสมก็สามารถที่จะติดตั้งได้เพียงแต่มีที่ว่างให้วางท่อเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. สามารถหยุดชะงัก เนื่องจากการรั่วโอเวอร์โหลคนาน ๆ ได้ เมื่อโหลลดลงก็ทำงานต่อไปได้ทันที ไม่มีปัญหาจากการฟิวส์ขาดเหมือนมอเตอร์ไฟฟ้า เมื่อโอเวอร์โหลคนาน ๆ ระบบก็ยังคงทำงานต่อไปได้เพียงแต่ความดันน้ำมันส่วนเกินจะไหลออกทางวาล์วจำกัดความดัน

9. ปลอดภัย ระบบไฮดรอลิกจะมีความปลอดภัยสูง แม้ว่าจะรั่วโหลคนาน ๆ ไม่มีปัญหาไฟฟ้า ลัดวงจรเหมือนระบบไฟฟ้า จึงทำให้เป็นที่สนใจและนำไปใช้ในโรงงาน ได้ดีกว่าระบบอื่น ๆ

## 2.4 น้ำมันไฮดรอลิก

น้ำมันไฮดรอลิกมีหน้าที่เป็นตัวกลางในการถ่ายเทกำลังงานจากจุดหนึ่ง ไปสู่อีกจุดหนึ่งในระบบเพื่อเปลี่ยนแปลงกำลังงานของไหลให้เป็นกำลังกล เป็นตัวหล่อลื่น และลดแรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสของอุปกรณ์ต่าง ๆ น้ำมันไฮดรอลิกจะทำหน้าที่เป็นซีลด้วย เพื่อให้มีการรั่วซึมเกิดขึ้นน้อยที่สุดภายในชิ้นส่วนของอุปกรณ์

การไหลเวียนของน้ำมันไฮดรอลิกขณะทำงานจะช่วยถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์ต่าง ๆ อันเนื่องมาจากการสูญเสียกำลังงานในระบบ ถ้าเลือกใช้น้ำมันไฮดรอลิกประเภท ไม่เหมาะสมกับเครื่องจักรตามที่บริษัทผู้ผลิตได้กำหนดไว้ เครื่องจักรก็ทำงานได้เต็มที่หรืออาจจะขัดข้องไปทั้งระบบเนื่องจากเครื่องจักรต่าง ๆ ที่ใช้ระบบไฮดรอลิกมีลักษณะของการใช้แรงไม่เหมือนกันและระยะเบียดของชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายใต้อุปกรณ์ไม่เท่ากันรวมทั้งอุณหภูมิในการทำงานเครื่องจักรแต่ละชนิด

ดังนั้น การเลือกใช้น้ำมันไฮดรอลิกแต่ละชนิดจะต้องให้เหมาะสมกับลักษณะงานตามที่บริษัทผู้ผลิตได้กำหนดไว้ ถึงแม้ว่าเราจะเลือกใช้น้ำมันไฮดรอลิกได้อย่างถูกต้องแล้วก็ตาม ในขณะที่ใช้งานก็ยังต้องดูแลรักษาน้ำมันไฮดรอลิกให้อยู่ในสภาพดี คือ สะอาด มีอุณหภูมิพอเหมาะ และเปลี่ยนใหม่เมื่อถึงอายุการใช้งาน รวมทั้งควรตรวจสอบให้น้ำมันไฮดรอลิกอยู่ในระดับที่พอเพียงสำหรับการใช้งานระบบสม่ำเสมอ

## 2.5 ปั๊มไฮดรอลิก (Hydraulic Pumps)

ปั๊มไฮดรอลิกทำหน้าที่เป็นตัวเปลี่ยนพลังงานกลให้เป็นพลังงานของไหลภายใต้ความดัน กล่าวคือเมื่อป้อนกำลังกลไปที่เพลาขับ (Rotating Shaft) ของปั๊มให้ทำงาน ปั๊มก็จะเปลี่ยนพลังงานกลนั้นให้เป็นพลังงานกลในของไหล น้ำมันไฮดรอลิกก็จะถูกดูดจากถังพักแล้วส่งออกไปตามท่อทางในระบบเพื่อใช้งานได้ การไหลของน้ำมันไฮดรอลิกจะต้องมีพลังงานศักย์มากเพียงพอที่จะผ่านแรงต้านทานของระบบ แรงต้านทานการไหลในระบบนี้เองที่ทำให้เกิดความดันในระบบไฮดรอลิกขึ้น ซึ่งจะถูกนำไปใช้งาน ณ จุดต่าง ๆ ของระบบ ในโรงงานอุตสาหกรรมกำลังงานกลที่ใช้ปั๊มส่วนมากได้จากมอเตอร์ไฟฟ้า แต่ถ้าไม่ใช่ในโรงงานอุตสาหกรรมหรือในที่ที่มีกระแสไฟฟ้าก็ใช้เครื่องยนต์เป็นตัวขับ โดยการแบ่งประเภทของปั๊มจะพิจารณาจากลักษณะ โครงสร้าง และหลักการขึ้นพื้นฐานในการทำงาน ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

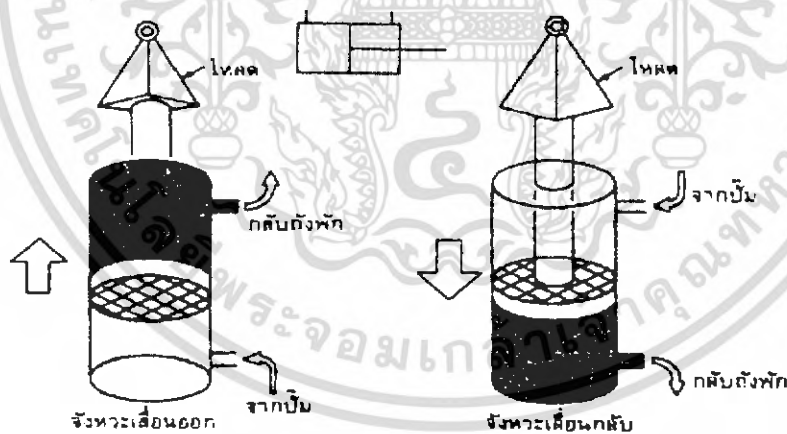
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. **ปั๊มประเภทดูดเหวี่ยง (Non-positive displacement pump)** คือปั๊มที่ทำงาน โคนอาศัยแรงเหวี่ยงของใบพัด แรงดันที่เกิดขึ้นภายในตัวปั๊มขึ้นอยู่กับความเร็วของปั๊ม

1. **ปั๊มประเภทดูดอัด (positive displacement pump)** เป็นปั๊มที่มีการทำงานในแบบที่เรียกว่า ไฮโดรสแตติก (hydrostatic) ได้แก่ ปั๊มแบบฟันเฟือง แบบสกรู แบบวน และแบบลูกสูบ ปั๊มแบบดูดอัดนี้ โครงสร้างภายในที่ทำงานมีการซีลแบบกลไก ซึ่งเป็นชนิดโลหะสัมผัสซึ่งกันและกัน กันไม่ให้ท่อทางเข้า และทางออกต่อกัน ซึ่งช่วยลดปริมาณการรั่วซึมภายในได้ดีจึงเหมาะสำหรับใช้ในความดันสูง ๆ แม้ว่า อัตราความดันภายในระบบไฮดรอลิกจะขึ้นหรือลง ก็ไม่มีผลกระทบต่อการทำงานในทุก ๆ ระยะชักหรือ ทูรรอบของการหมุนของปั๊ม

## 2.6 กระบอกลูกสูบไฮดรอลิก (Hydraulic cylinder)

กระบอกลูกสูบไฮดรอลิกมีหน้าที่รับน้ำมันไฮดรอลิกที่ส่งมาจากปั๊มและวาล์วควบคุมต่าง ๆ เพื่อ เปลี่ยนกำลังไฮดรอลิกให้เป็นกำลังงานกล โดยการเปลี่ยนความดันและความเร็วของน้ำมันไฮดรอลิกใน ท่อทางให้เป็นการเคลื่อนที่ของลูกสูบ เมื่อน้ำมันป้อนเข้าสู่กระบอกลูกสูบทำให้เกิดแรงดันขึ้นโดยอัตราการ ไหลของน้ำมันจะเป็นตัวกำหนดความเร็วของลูกสูบ กำลังงานกล (แรงม้า) ที่เกิดขึ้นที่กระบอกลูกสูบ โดยทั่วไป ๆ มี 2 ลักษณะคือ แบบทำงานสองทาง (double acting cylinder) และแบบทำงานทางเดียว (single acting cylinder) โดยกระบอกลูกสูบแบบมาตรฐานส่วนใหญ่เป็นแบบทำงานได้สองทาง ตัว กระบอกลูกสูบทำจากท่อเหล็กชุบโครเมียม



รูปที่ 2.1 แสดงการทำงานของกระบอกลูกสูบทำงาน 2 ทาง

รูปที่ 2.1 เป็นลักษณะการทำงานของกระบอกลูกสูบให้เปลี่ยน ไปอีกด้าน ในขณะที่เดียวกันน้ำมันไฮดรอลิกที่ด้านนี้จะถูกลูกสูบดับกลับสู่ถึงพักที่ความดันบรรยากาศหรือความดันต่ำ การทำงานเช่นนี้จึง เกิดขึ้นสลับกันทั้ง 2 ด้าน ทำให้ลูกสูบเคลื่อนกลับไปกลับมา โดยมีวาล์วควบคุมทิศทางเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ เปลี่ยนทิศทางการไหลของน้ำมันป้อนให้แก่กระบอกลูกสูบ ส่วนความดันในกระบอกลูกสูบที่เกิดขึ้นจนทำให้ ลูกสูบที่เกิดขึ้นจนทำให้ลูกสูบเคลื่อนทำงานได้ จะมีมากขึ้นอยู่กับโหนดที่กระทำอยู่ที่ปลายก้านสูบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

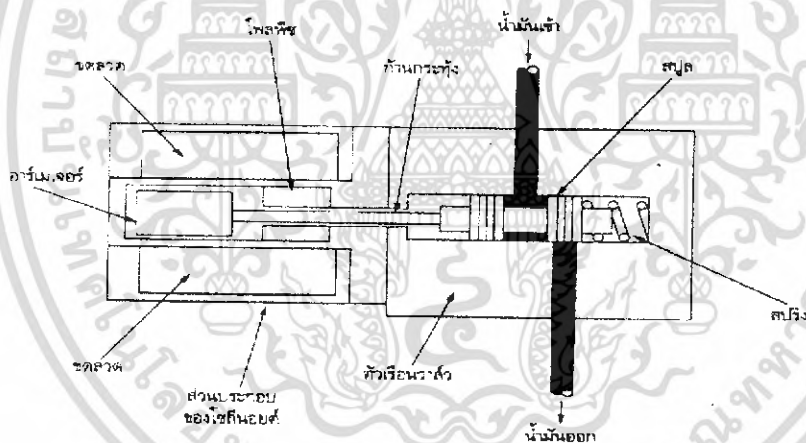
## 2.7 ถังพักน้ำมันไฮดรอลิก

ถังพักน้ำมันไฮดรอลิกมีหน้าที่ต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. เป็นที่เก็บและพักน้ำมัน
2. เป็นที่ขจัดสิ่งสกปรกต่าง ๆ
3. เป็นที่ระบายความร้อนของน้ำมันในระบบ
4. เป็นที่ขจัดฟองอากาศ

## 2.8 พรอพอร์ชันนัลวาล์ว (Proportion Valves)

พรอพอร์ชันนัลวาล์ว เป็นวาล์วที่มีคุณสมบัติที่อยู่ระหว่างชนิดธรรมดา กับเซอร์โววาล์ว พรอพอร์ชันนัลวาล์วจะถูกออกแบบให้ทำงานได้ง่าย ๆ และซ่อมบำรุงได้ง่ายด้วยแต่อย่างไรก็ตาม วาล์วนี้ก็ไม่ใช่เป็นโซลินอยด์ที่ทำงานเป็นแบบเปิด-เปิดเหมือนกับโซลินอยด์วาล์วทั่ว ๆ ไป แต่เป็นวาล์วที่สามารถให้สปีดเคลื่อนที่ได้หลาย ๆ ตำแหน่ง โดยการปรับค่ากระแสไฟฟ้า แต่เนื่องจากเป็นวาล์วที่มีโครงสร้างค่อนข้างจะซับซ้อนจึงต้องใช้น้ำมันไฮดรอลิกที่มีความสะอาดพอสมควร



รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างของ พรอพอร์ชันนัลวาล์ว

วาล์วในระบบไฮดรอลิกนั้นจะมีอยู่ 3 กลุ่มใหญ่ ๆ ด้วยกัน คือ วาล์วควบคุมทิศทาง วาล์วควบคุมอัตราการไหล (ความเร็ว) และวาล์วควบคุมความดัน (แรง) พรอพอร์ชันนัลวาล์วก็สามารถแบ่งประเภทออกในลักษณะทำนองเดียวกัน

### 2.8.1 วาล์วควบคุมความดันแบบพรอพอร์ชันนัล (Proportional Pressure Control Valves)

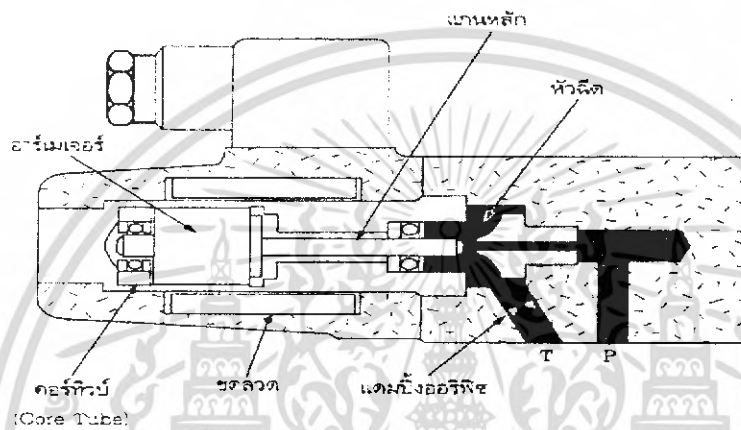
วาล์วควบคุมความดัน 2 ชนิดคือ รีลิววาล์ว และรีดิวซ์วาล์ว จะมีชิ้นส่วนของระบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ควบคุมอย่างเดียวกัน ตามที่ทราบกันแล้วว่าชุดของไหลอด จะให้ระบบอิเล็กทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดเล็กเป็นตัวควบคุม ส่วนชุดวาล์วหลักจะต้องใช้วาล์วขนาดใหญ่เพื่อให้อัตราการไหลของน้ำมันผ่านไปได้ตามต้องการ

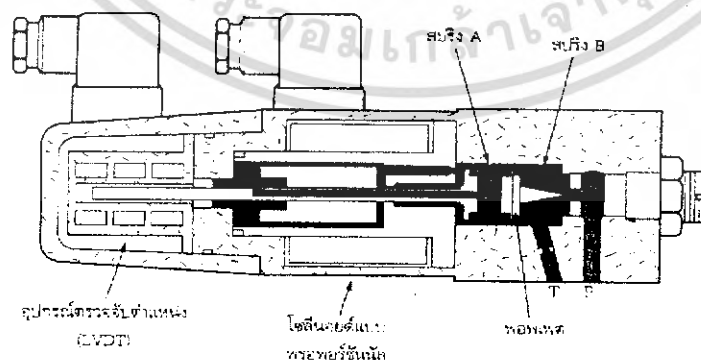
วาล์วควบคุมความดันจะปรากฏด้วยวาล์วที่ทำงานลักษณะต่าง ๆ กัน เช่น แบบหัวฉีด แบบพอพเพต ซึ่งมีระบบส่งสัญญาณย้อนกลับได้และแบบแผ่น

1. พรอพเพอร์ชันนัลรีลิววาล์วแบบหัวฉีด (Nozzle Type Proportional Relief Valves) เป็นวาล์วที่มีโครงสร้างง่ายที่สุด ราคาถูกที่สุด ใช้ควบคุมค่าของความดันที่ไม่ต้องการความละเอียดมากนัก



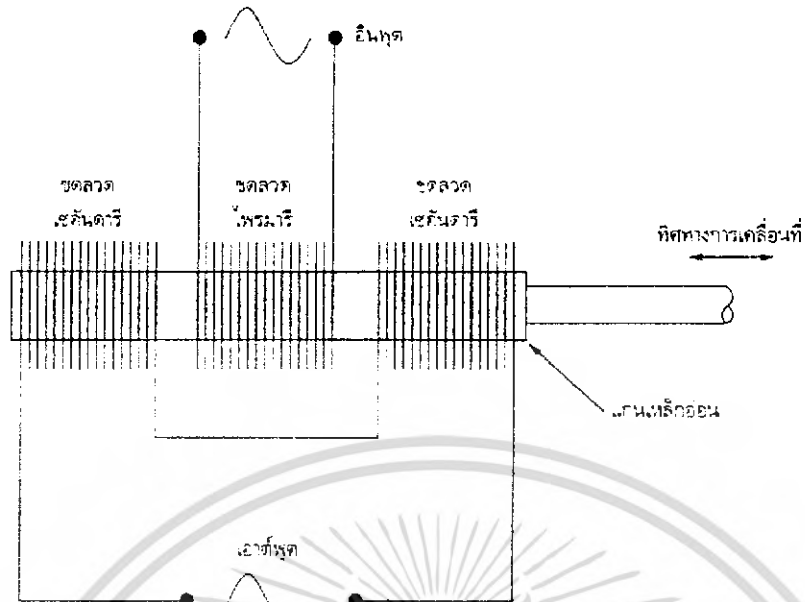
รูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างของรีลิววาล์วแบบหัวฉีด

2. รีลิววาล์วแบบพอพเพตที่มี LVDT (Poppet Type Relief Valve with LVDT) เป็นรีลิววาล์วที่มีคุณสมบัติดีกว่าแบบหัวฉีด สามารถควบคุมได้เที่ยงตรงกว่า



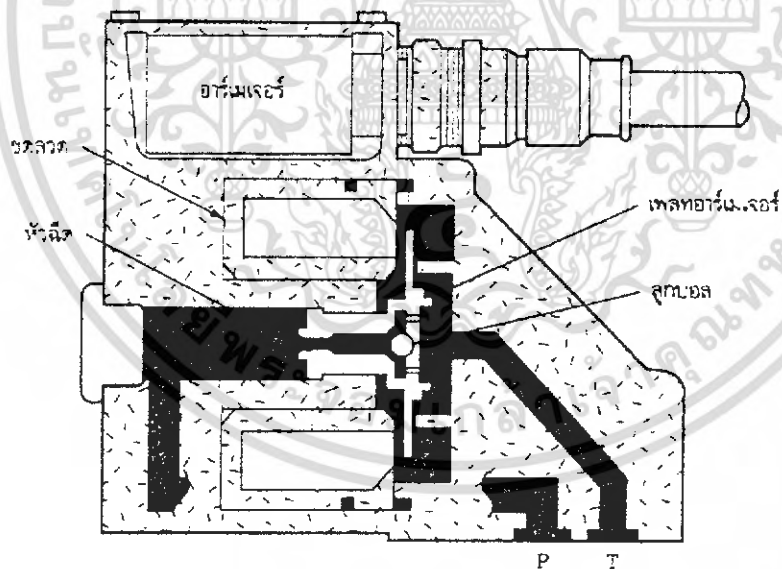
รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างของรีลิววาล์วแบบพอพเพต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แสดง LVDT

3. รีลิวฟวล์วแบบแผ่น (Plate Type Relief Valve) เป็นรีลิวฟวล์วที่สามารถใช้ในการควบคุมความดันในงานต่างๆ ที่มีค่าสเตรอร์ต่ำและการควบคุมการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงที่ฐานราบเรียบ



รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างของรีลิวฟวล์วแบบแผ่น

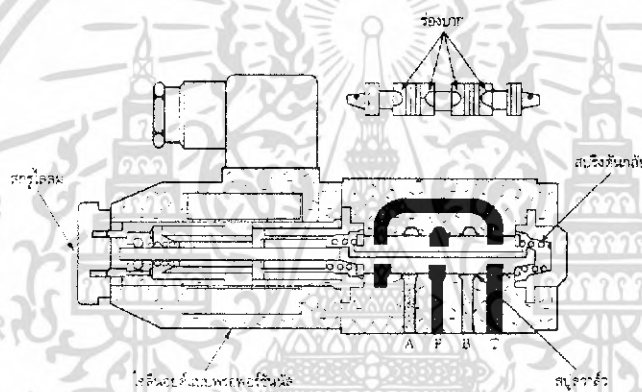
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.8.2 วาล์วควบคุมการไหลแบบพรอพออร์ชันนัล(Proportional Flow Control Valves)

วาล์วควบคุมการไหลแบบพรอพออร์ชันนัล ทำหน้าที่ควบคุมการไหลของน้ำมันไฮดรอลิก โดยปรับการปิด-เปิดวาล์วเป็นสัดส่วนกับแรงของโซลินอยด์ เพื่อให้ความเร็วของอุปกรณ์ทำงานเพิ่มขึ้นหรือลดลง วาล์วแบบรีแบ่งออกได้ 2 ชนิด คือ ชนิดไม่มีสัญญาณย้อนกลับและชนิดมีสัญญาณย้อนกลับ

### 1. วาล์วควบคุมอัตราการไหลแบบพรอพออร์ชันนัลชนิดไม่มีสัญญาณย้อนกลับ (Proportional Flow Control Valve without Feedback)

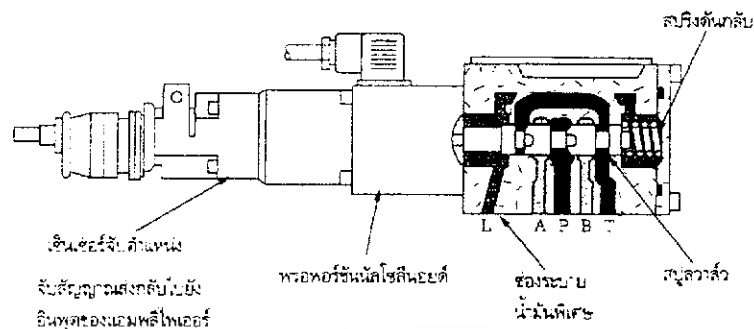
อัตราการไหลของน้ำมันที่ผ่านวาล์วควบคุมการไหลมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาดการเปิดช่อง น้ำมันไหลผ่านวาล์วกว้างหรือแคบ และค่าความดันตกเมื่อน้ำมันไหลผ่านวาล์ว เราจะได้ว่าถ้าความเร็วของน้ำมันสูงขึ้นทำให้ความดันลดลง จากหลักการนี้เองที่นำไปออกแบบสร้างวาล์วควบคุมการไหลแบบพรอพออร์ชันนัล



รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างของวาล์วควบคุมการไหลแบบไม่มีสัญญาณย้อนกลับ

### 2. วาล์วควบคุมการไหลแบบพรอพออร์ชันนัลชนิดมีสัญญาณย้อนกลับ (Proportional Flow Control Valve with Feedback)

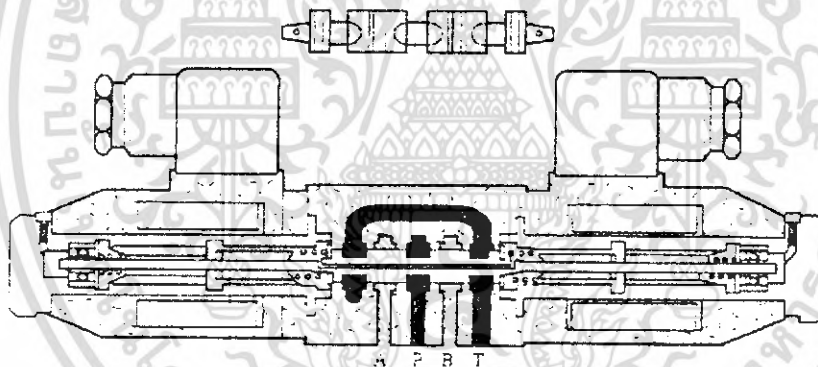
วาล์วควบคุมอัตราการไหลของน้ำมันที่ต้องการให้มีค่าฮีสเตอร์ซีตต่ำ ๆ และการตอบสนองรวดเร็วต้องใช้วาล์วชนิดมีสัญญาณย้อนกลับ ชนิดที่มีเซ็นเซอร์จับตำแหน่งของสปูลสามารถจับสัญญาณการเคลื่อนที่ของสปูลแล้วส่งกลับไปยังหน่วยอินพุทของแอมพลิไฟเออร์ จึงทำให้การทำงานของวาล์วนี้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น



รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างของวาล์วควบคุมการไหลแบบมีสัญญาณย้อนกลับ

### 2.8.3 วาล์วควบคุมทิศทางแบบพวอพอร์ชันนัล (Proportional Directional Control Valves)

วาล์วควบคุมทิศทางแบบนี้สามารถควบคุมจำนวนน้ำมันที่ไหลเข้ากระบอกสูบหรือมอเตอร์ไฮดรอลิกได้จากสัญญาณไฟฟ้าที่ป้อนเข้าโซลินอยด์ แบ่งออกได้ 3 ชนิดคือ แบบทำงานโดยตรงไม่มีสัญญาณย้อนกลับ แบบทำงานโดยตรงมีสัญญาณย้อนกลับ และแบบทำงานโดยอ้อม



รูปที่ 2.9 แสดงโครงสร้างของวาล์วควบคุมทิศทางแบบพวอพอร์ชันนัล

#### การเลือกชนิดของวาล์วควบคุมทิศทางไปใช้งาน

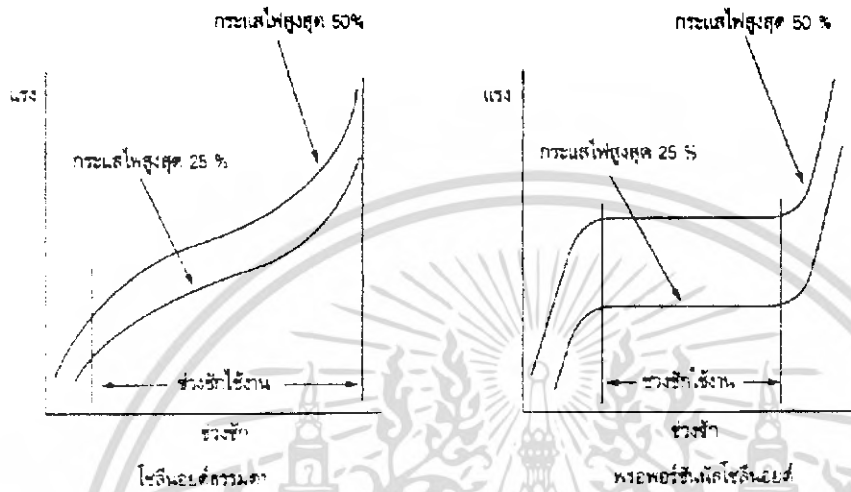
1. วาล์วควบคุมทิศทางแบบกระทำโดยตรงไม่มีสัญญาณย้อนกลับเหมาะสมกับลักษณะงานที่ต้องการตำแหน่งงานที่เที่ยงตรงไม่มากนัก
2. วาล์วควบคุมทิศทางแบบกระทำโดยตรงมีสัญญาณย้อนกลับเหมาะกับลักษณะงานที่ต้องการตำแหน่งงานที่มีความเที่ยงตรงมากขึ้นกว่าแบบไม่มีสัญญาณย้อนกลับ
3. วาล์วควบคุมทิศทางแบบไหลอดมีสัญญาณย้อนกลับเหมาะกับงานที่ต้องการตำแหน่งการทำงานที่เที่ยงตรงและมีอัตราการไหลของน้ำมันมากกว่าแบบกระทำโดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.8.4 โซลินอยด์แบบพรอพอร์ชันนัล (Proportional Solenoid Valves)

เป็นวาล์วที่สามารถปรับค่าของความดัน (Pressure) อัตราการไหล ทิศทางการไหล อัตราเร่ง และการลดค่าต่างๆ จากตำแหน่งในระยะไกลได้

หลักการทำงาน คือ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าเข้าโซลินอยด์แล้วทำให้สปริงเคลื่อนที่ที่ระยะทางต่าง ๆ กัน ขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้กับโซลินอยด์แล้ว



รูปที่ 2.10 แสดงความแตกต่างระหว่างโซลินอยด์และแบบธรรมดา กับโซลินอยด์แบบพรอพอร์ชันนัล

## 2.8.5 การขยายสัญญาณ (Amplifier Devices)

### 1. อิเล็กทรอนิกส์ ออป-แอมป์ (Electronics OP-AMTS)

อุปกรณ์ในระบบอิเล็กทรอนิกส์ไฮดรอลิก (Electrohydraulic) เช่น พรอพอร์ชันนัล (Proportional) เซอร์โวปั๊ม (Servo Pump) วาล์วควบคุมความดันและการไหล (Pressure and Flow Control Valve) และ วงจรควบคุมความเร็ว (Speed Control Circuits) มีความต้องการสัญญาณไฟฟ้าที่ต้องสูงเพียงพอสำหรับควบคุมหรือกำหนดตำแหน่ง

ตัวอย่างสัญญาณอินพุต (Input Signal) จากแหล่งต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับควบคุมพรอพอร์ชันนัลวาล์ว เช่น

1. โปเทนโอมิเตอร์ (Potentionmeter)
2. เซ็นเซอร์จับอุณหภูมิ (Temperature)
3. เครื่องแปลงความดัน (Pressure Transducer)
4. แทคโคเจนเนอเรเตอร์ (Tachogenerator)
5. อุปกรณ์ควบคุมไมโครโปรเซสเซอร์ (Microprocessor Controller Device)

แต่อุปกรณ์เหล่านี้จะให้สัญญาณอินพุตต่ำ ดังนั้นจึงต้องเพิ่มสัญญาณโดยให้ผ่านเข้าไปยังแอมพลิไฟเออร์ซึ่งทำให้โวลต์และกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ก่อนที่จะไปขับพรอพอร์ชันนัลวาล์ว

### 2. แอมพลิไฟเออร์ (Amplifier)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอมพลิฟายเออร์ คือวงจรหนึ่งที่ใช้สำหรับเพิ่มระดับของสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์แอมพลิฟายเออร์ใช้ทรานซิสเตอร์เป็นตัวขยายสัญญาณ (Transistors as Amplifier) ขั้ว Collector จะต่ออยู่กับขั้วบวก ส่วนขั้ว emitter จะต่ออยู่กับขั้วลบ สำหรับขั้ว base จะต่อกับสัญญาณไฟเข้ากับสัญญาณไฟที่เข้าที่โวลต์ที่มีค่าสูงกว่า emitter โดยให้ base ทำหน้าที่ควบคุม การทำงานของแอมพลิฟายเออร์นั้นจะให้สัญญาณที่มีกระแสไฟฟ้าที่ต่ำจ่ายให้กับ base control

## 2.8.6 การควบคุมแอมพลิฟายเออร์ด้วยวิธีการต่าง ๆ

### 1. แอมพลิฟายเออร์เกน (Amplifier Gain)

แอมพลิฟายเออร์เกน คือ ค่าของอัตราระหว่างสัญญาณอินพุทของแอมพลิฟายเออร์และสัญญาณเอาต์พุทของกระแสไฟฟ้าที่เข้าในวาล์ว โคนเอาต์พุทโวลเตจจะเป็นสัดส่วนกับอินพุทโวลเตจคือ

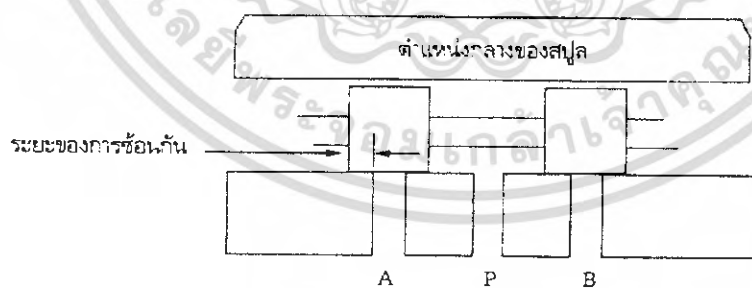
$$\text{Gain} = \frac{\text{Output Voltage}}{\text{Input Voltage}} \quad (2.1)$$

$$\text{Output Voltage} = \text{Input Voltage} \times 1,000,000 \quad (2.2)$$

### 2. ค่าบวกของลิมิตเตอร์ (+-Limiter)

แอมพลิฟายเออร์บางรุ่นมี + และ - มิเตอร์ ใช้สำหรับปรับค่าของเอาต์พุทสูงสุดของพรอพอร์ชันนัลวาล์วเพื่อป้องกันไม่ให้โซลีนอยด์ได้รับความเสียหายอันเนื่องมาจากอุบัติเหตุจากการมีกระแสไฟฟ้ามากเกินไป

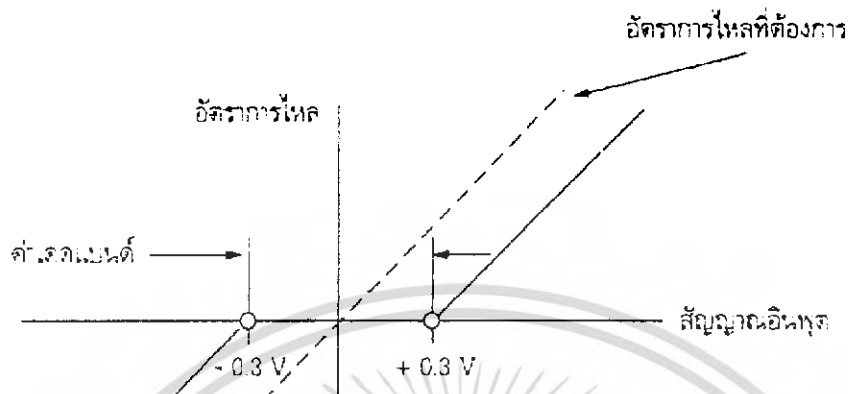
### 2. การชดเชยค่าเดดแบนด์ (Deadband Compensation)



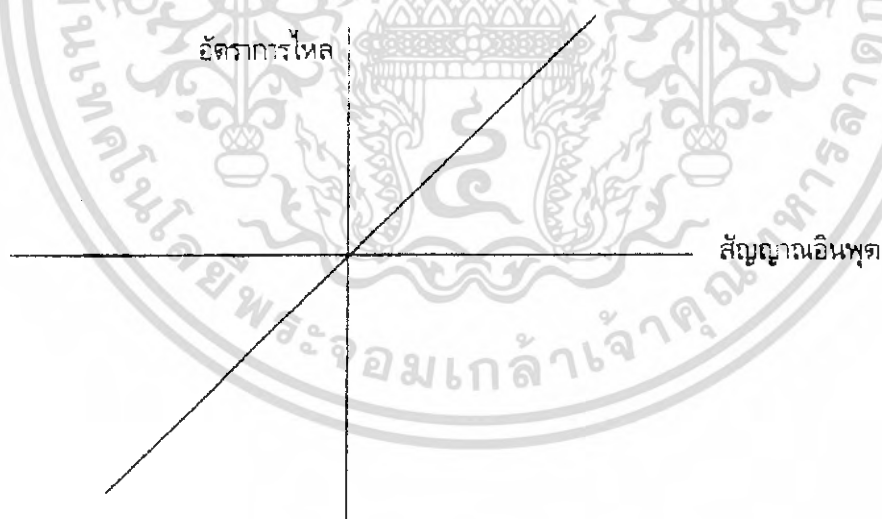
รูปที่ 2.11 แสดงการเคลื่อนที่ของสปูล

เดดแบนด์เกิดจากตำแหน่งของสปูลวาล์วกับรูวาล์วซ้อนกัน เมื่ออยู่ในตำแหน่งกลางตามรูปที่ 2.12 ดังนั้นสปูลจะต้องเคลื่อนที่ให้เลยตำแหน่งซ้อนกันเสียก่อนจึงให้น้ำมันจาก P ไป A หรือ จาก P ไป B ได้จากรูปที่ 2.12 จะเห็นระยะของเดดแบนด์เมื่อป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าไป 0.3 โวลต์ สปูลต้องเลื่อนตำแหน่งไปเลยระยะของเดดแบนด์ก่อนที่จะให้น้ำมันผ่านไปได้ การแก้ไขปัญหาทำได้โดยใช้อุปกรณ์เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชดเชยในแอมพลิไฟเออร์ของพรอพอร์ชันนัลวาล์ว อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์นี้จะส่งสัญญาณเข้าไปในแอมพลิไฟเออร์ เพื่อให้สปีลวาล์ว “ กระโดดข้าม ” (Skips Over) ระยะของเดคเบนดิ่ง จึงทำให้สปีลเคลื่อนที่ตามค่าของกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้จริง ๆ ตามรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.12 แสดงความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุตกับอัตราการใช้จริงของเซอร์โววาล์ว



รูปที่ 2.13 แสดงความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุตกับอัตราการใช้ เมื่อมีการชดเชยค่าเดคเบนดิ่ง

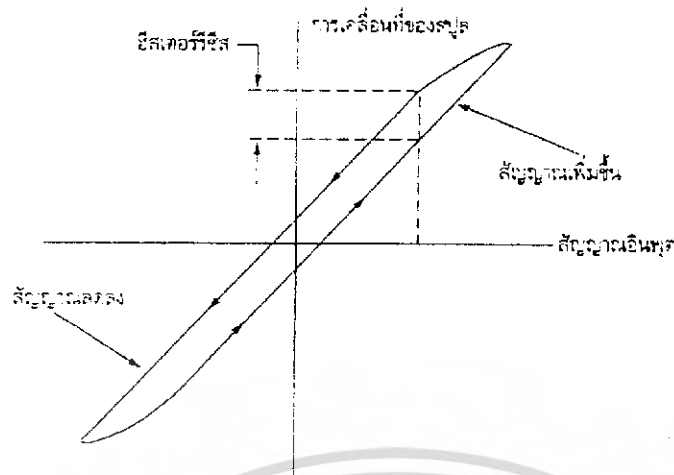
#### 4. ดิทเทอร์ (Dither)

ดิทเทอร์ คือเคลื่อนความถี่สูง (50-100 Hz) แต่ระดับสัญญาณต่ำสัญญาณเป็นแบบไฟ AC ที่ใช้

สำหรับปรับค่าของฮิสเตอร์รีซิส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 แสดงการเกิดฮิสเตอร์รีซีส

ฮิสเตอร์รีซีสเกิดจากความเสียดทานระหว่างขอบพอร์ซันนาลวาล์วกับเสื่อวาล์ว หรือเกิดจากการขยายของสปูลและเสื่อเนื่องจากความร้อน เกิดจากสึกหรอ เกิดจากค่าความหนืดของน้ำมัน ความสกปรกของน้ำมันหรือปัจจัยอื่นๆ เมื่อใช้คัทเทออร์เข้าปรับแต่ง จะทำให้ลดลงของค่าฮิสเตอร์รีซีสลงได้

#### 5. การควบคุมแบบไม่มีสัญญาณย้อนกลับ (Non-Feedback Control)

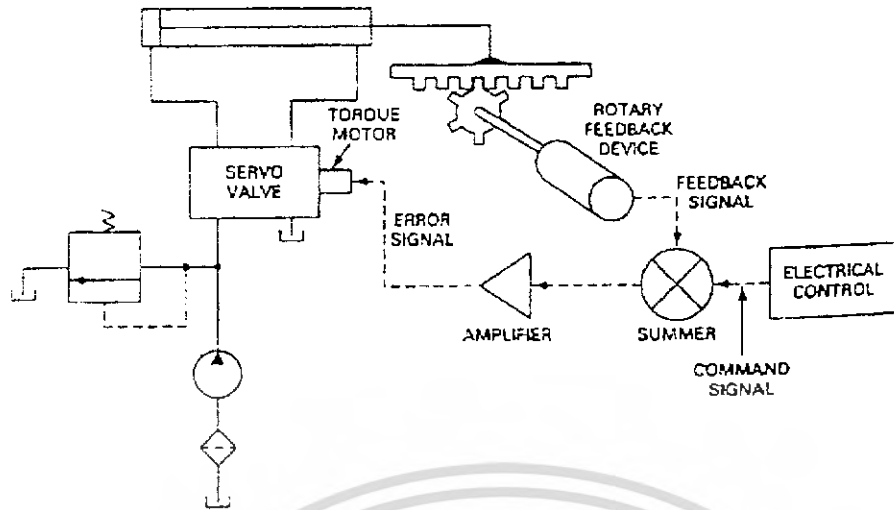
การที่จะทำให้การทำงานของกระบอกสูบหรืออุปกรณ์ทำงานอื่นๆ ทำงานได้อย่างราบเรียบ จำเป็นจะต้องให้โซลินอยด์วาล์วแบบพอร์ซันนาลและแอมพลิไฟเออร์อิเล็กทรอนิกส์เป็นตัวควบคุม แต่วิธีการนี้จะเป็นการควบคุมเฉพาะอัตราการไหลของสปูลวาล์วสปริงที่กระทำอยู่กับสปูลเท่านั้นที่ปรับการเคลื่อนที่ของสปูลวาล์วเปรียบเทียบกับสัญญาณที่ส่งเข้าไป

#### 6. การควบคุมแบบมีสัญญาณย้อนกลับ (Feedback Control)

ถ้าต้องการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ทำงานให้มีประสิทธิภาพและมีค่าความละเอียดยิ่งขึ้น นั้นจะต้องมีเซ็นเซอร์จับตำแหน่ง ติดตั้งอยู่ที่สปูลวาล์ว ตัวเซ็นเซอร์นี้จะส่งสัญญาณการเคลื่อนที่ของสปูลวาล์วกลับไปยังจุด SJ เพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ป้อนเข้ามา

### 2.9 เซอร์โววาล์ว (Servo Valves)

เซอร์โววาล์ว คือ วาล์วควบคุมทิศทางที่สามารถควบคุมตำแหน่งของการเคลื่อนที่ของโหลดและอัตราการไหลของน้ำมันที่มีความเที่ยงตรงมาก จะมีสัญญาณย้อนกลับเพื่อตรวจสอบการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ที่ทำงาน หลักการทำงานของเซอร์โววาล์วที่ใช้ระบบกลไกที่ทราบกันคือ ระบบควบคุมพวงมาลัยรถยนต์ (Power Steering) ทั้งรถเล็กหรือรถใหญ่

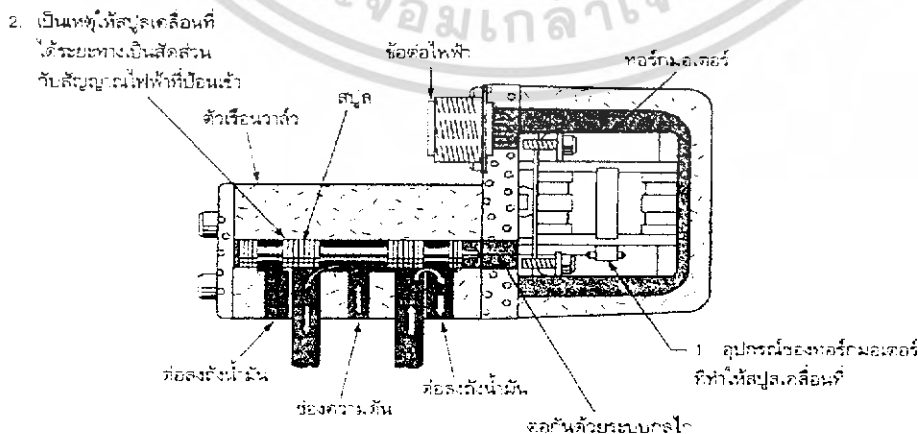


รูปที่ 2.15 แสดง Electrohydraulic Servo System

**2.9.1 อิเล็กโทรไฮดรอลิกเซอร์โววาล์ว (Electrohydraulic Servo Valves)**

สัญญาณไฟฟ้าที่ส่งเข้าไปยังทอร์กมอเตอร์ (Torque Motor) ไม่ว่าจะส่งโดยตรงหรือโดยอ้อมทำให้เซอร์โววาล์วทำงานทั้งสิ้น สัญญาณไฟฟ้างกล่าวนี้จะเกิดจากโพเทนชิโอมิเตอร์ (Potentiometer) ชุดควบคุมอิเล็กทรอนิกส์หรืออุปกรณ์อื่น ๆ สัญญาณเหล่านี้ จะส่งเข้าไปยังเซอร์โวแอมพลิไฟเออร์ ซึ่งรับสัญญาณไฟฟ้าที่มาจากสัญญาณย้อนกลับ เช่น จาก Tachometer Generator โพเทนชิโอมิเตอร์ หรือสัญญาณอื่น ๆ ที่ต่ออยู่กับโหลด สัญญาณเหล่านี้จะถูกเปรียบเทียบกับสัญญาณป้อนที่แท้จริง ถ้าเกิดได้ข้อผิดพลาดจากการเปรียบเทียบขึ้น มันจะสั่งให้ทอร์กมอเตอร์ปรับให้ค่าที่ถูกต้องตามความต้องการได้ ระบบควบคุมแบบเซอร์โววาล์วที่ใช้ไฟฟ้าและระบบไฮดรอลิกมีหลายชนิดด้วยกัน ซึ่งแต่ละชนิดจะให้การควบคุมทั้งตำแหน่งและอัตราการไหลของน้ำมันที่มีความเที่ยงตรงมากทั้งสิ้น

**1.9.2 เซอร์โววาล์วชนิดทำงานโดยตรง**



รูปที่ 2.16 สปรูตของเซอร์โววาล์วชนิดกระทำโดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

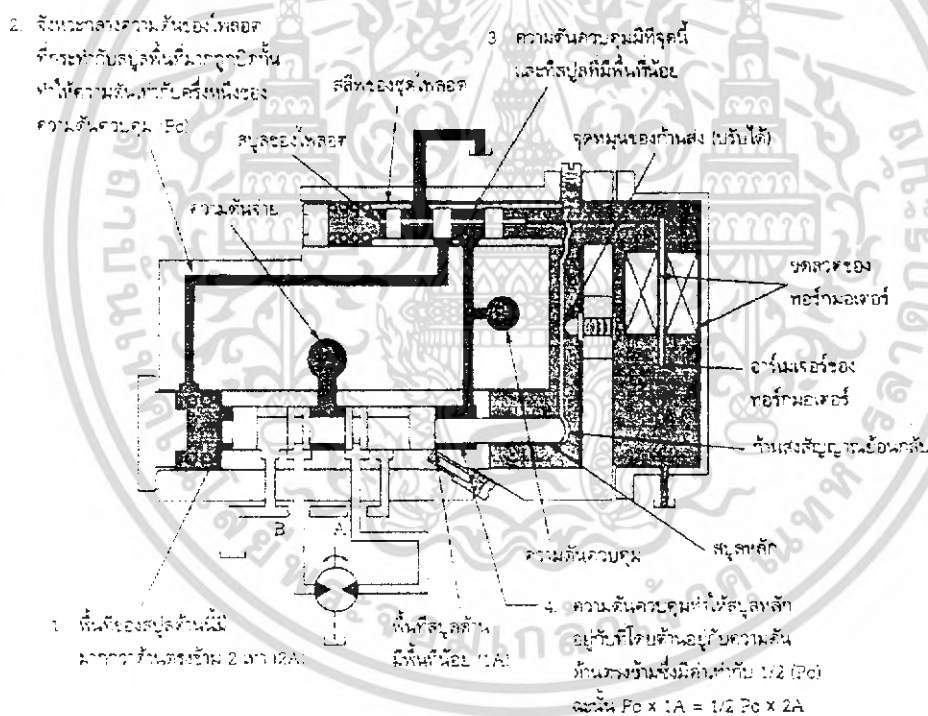
## สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

จากรูปที่ 2.16 เป็นหลักการทำงานและโครงสร้างของเซอร์โววาล์วชนิดกระทำโดยตรงซึ่งตัวทอร์กมอเตอร์จะกระทำกับสปูลโดยตรงเพื่อเปิดน้ำมันผ่าน โคนการเปิดวาล์วนี้เป็นสัดส่วนกับสัญญาณไฟฟ้า (Electric Signal) อัตราการไหลผ่านของน้ำมันของวาล์วนี้จะได้ค่าไม่มากนัก เนื่องจากแรงและระยะการเคลื่อนที่ของทอร์กมอเตอร์มีค่าจำกัด

### 2.9.3 เซอร์โววาล์วแยกสปูลชนิดทำงาน 2 ขั้นตอน (Two-Stage Spool-Type Servo Valves)

หลักการทำงานของเซอร์โววาล์วจะแตกต่างกับแบบกระทำโดยตรงมีชุดสปูลอีกชุดหนึ่งเรียกว่าสปูลไหลตติงอยู่ด้านบนของวาล์ว ส่วนสปูลหลักอยู่ด้านล่างซึ่งต่อเข้ากับอุปกรณ์ทำงาน ในที่นี้ใช้มอเตอร์ไฮดรอลิก จากรูปที่ 2.17 เป็นจังหวะที่มอเตอร์ไฮดรอลิกยังไม่หมุนเพราะสปูลไหลตติงอยู่ในตำแหน่งกลาง ทำให้ไม่มีน้ำมันไหลมายังสปูลหลัก ถ้าพิจารณาที่ตัวสปูลหลักแล้วจะเห็นได้ว่า สปูลไม่ได้เคลื่อนที่เพื่อเปิดน้ำมันเข้ามอเตอร์ไฮดรอลิกเพราะแรงที่กระทำสปูลมีเท่ากันคือ

$$PC \times 1A = (1/2)(PC \times 2A)$$



รูปที่ 2.17 สปูลของเซอร์โววาล์วชนิดทำงาน 2 ขั้นตอน

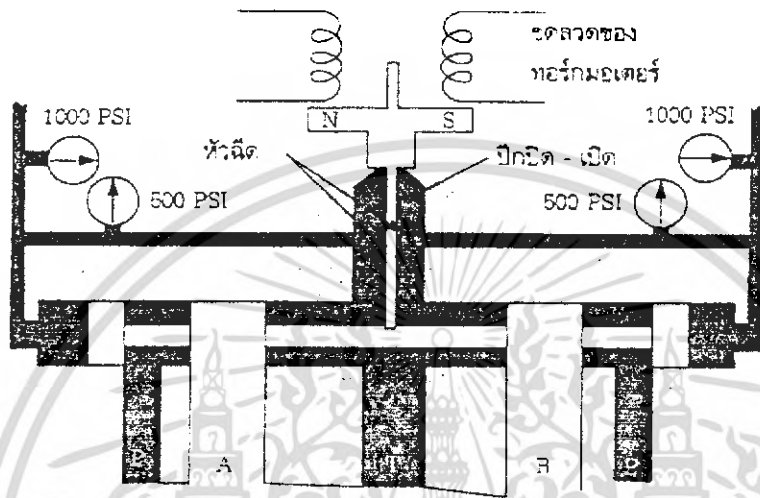
### 2.9.4 ดิทเทอร์(Dither)

ตามรูปที่--การใช้เซอร์วาล์วให้ได้ประสิทธิภาพ จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ชนิดหนึ่งคือ ดิทเทอร์ ซึ่งทำหน้าที่ลดค่าฮิสเตอร์รีซิส ดิทเทอร์เป็นสัญญาณที่ให้ค่าระดับต่ำแต่ถี่ความถี่สูงขนาด 50-100 Hz ย้ายเข้าไปยังทอร์กมอเตอร์ ทำให้การเคลื่อนที่ของสปูลถูกต้องตามตำแหน่งที่ต้องการ หน้าที่ของดิทเทอร์ในระบบเซอร์โวและพรอพอร์ชันนัลเหมือนกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงหรือเผยแพร่ข้อมูลใดๆ ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.9.5 เซอร์โววาล์วแบบปีกปิด-เปิด (Flapper Nozzle – Type Servo Valve)

ตามรูปที่ 2.18 เป็นเซอร์โววาล์วแบบปีกปิด-เปิด การทำงานในจังหวะนี้ความดันของน้ำมันทั้งสองข้างมีค่าเท่ากัน การควบคุมอัตราการไหลของน้ำมันที่ผ่านไปยังจังหวะนี้คือจะสิ้นสุดที่ปีกปิด-เปิด หลังจากนั้นจะระบายทิ้ง ที่ช่อง T แรงที่กระทำทำให้สปูลเคลื่อนที่ซึ่งมีเท่ากัน



รูปที่ 2.18 แสดงเซอร์โววาล์วแบบปีกปิด-เปิด

ระยะการเคลื่อนที่ของสปูลจึงขึ้นอยู่กับระยะทางปีกปิด-เปิดหรือการเกิดจากขนาดของสัญญาณไฟฟ้าที่ส่งเข้าไปในทอร์คมอเตอร์ ถ้ามีสัญญาณไฟฟ้ามากจะได้อัตราการไหลของน้ำมันมาก สัญญาณไฟฟ้าป้อนเข้าน้อยการไหลก็น้อยตามไปด้วย

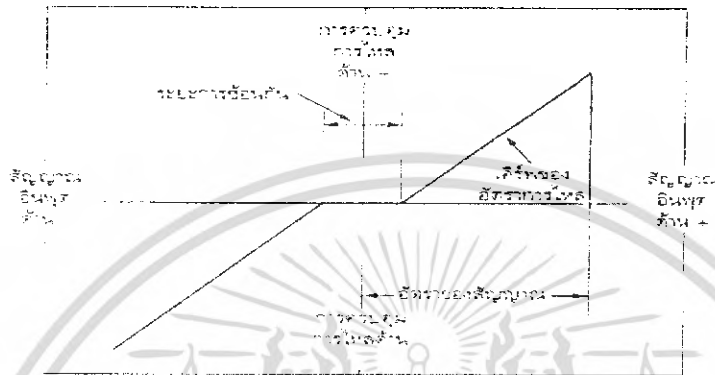
### 2.9.6 เซอร์โววาล์วแบบเจ็ตไพป์ (Jet Pipe Servo Valve)

เมื่อมีสัญญาณไฟฟ้าที่ต่อที่หัวต่อไฟฟ้า ป้อนเข้าไปในทอร์คมอเตอร์ทำให้ความดันที่เข้าด้านสปูลด้านข้างไม่เท่ากัน สปูลวาล์วจึงเคลื่อนที่โดยด้านอยู่กับสปริงที่ส่งผลย้อนกลับและสปริงที่ส่งผลย้อนกลับด้านอยู่กับสปริงที่ส่งผลย้อนกลับและสปริงที่ส่งผลย้อนกลับด้านอยู่กับแขนส่ง ผลย้อนกลับ ซึ่งแรงส่งผลย้อนกลับจะให้ตำแหน่งใหม่เพื่อให้ความดันทั้งสองด้านของสปูลสมดุลกัน

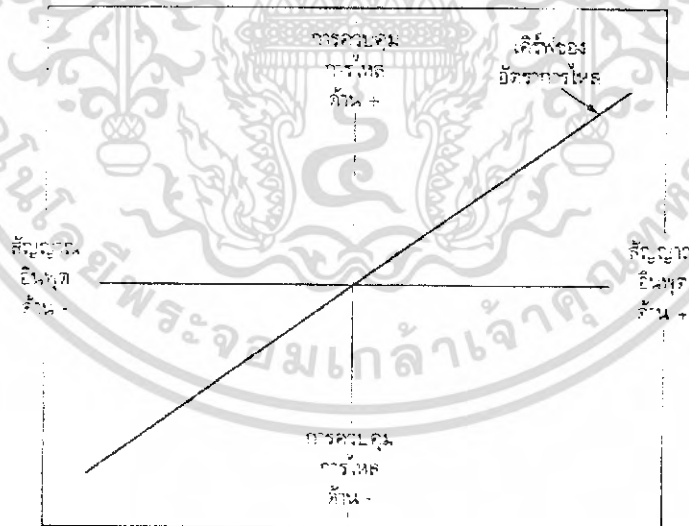


### 2.9.8 การไม่ซ้อนกันและซ้อนกัน (Zero-Lap and Overlap) ของสปลูตวลัว

พรอพอร์ชันนัลวาลัวจะมีโครงสร้างของสปลูตวลัวและช่องน้ำมันที่ซ้อนกัน คือสปลูตวลัวที่มีขนาด ใหญ่กว่าช่องน้ำมัน เมื่อให้สปลูตวลัวเคลื่อนที่จึงต้องเคลื่อนที่ผ่านค่าที่ซ้อนกันก่อน เป็นผลให้สัญญาณป้อนเข้า กับอัตราการไหลของน้ำมันไม่เป็นความจริง แต่ถ้ารูปที่ 2.22 เป็นเซอร์โววาลัวที่ไม่มีค่าซ้อนกันของสปลูตวลัว ทำให้ค่าสัญญาณป้อนเข้าได้อัตราการไหลที่ถูกต้องกว่า



รูปที่ 2.21 แสดงการซ้อนกัน (overlap) ของสปลูตวลัว

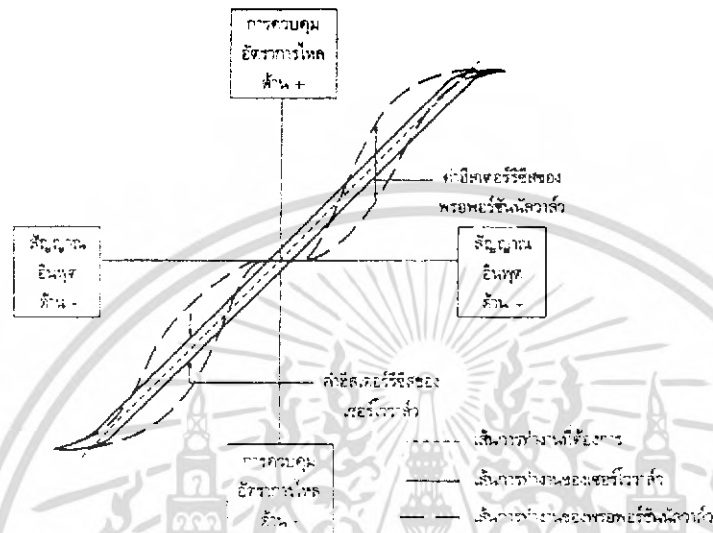


รูปที่ 2.22 แสดงการไม่ซ้อนกัน (zero-lap) ของสปลูตวลัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.9.9 ฮิสเตอร์รีซิส (Hysteresis)

ค่าฮิสเตอร์รีซิส คือค่าที่ทำให้สปูลเคลื่อนที่ในจังหวะเดินหน้าและถอยหลังไม่เท่ากันอันเนื่องมาจากค่าความเสียหายของสปูลกับเสื่อของสปูล ส่วนฮิสเตอร์ที่เกิดขึ้นในเซอร์โววาล์วจะมีค่าแตกต่างกันน้อยกว่าในพรอพอร์ชันนัลวาล์วคังได้กล่าวมาแล้วในเรื่องพรอพอร์ชันนัล สำหรับเส้นประจะเป็นเส้นการทำงานที่เป็นอุดมคติเท่านั้นเพราะไม่สามารถที่จะให้การทำงานของสปูลวาล์วเป็นเช่นนี้ได้



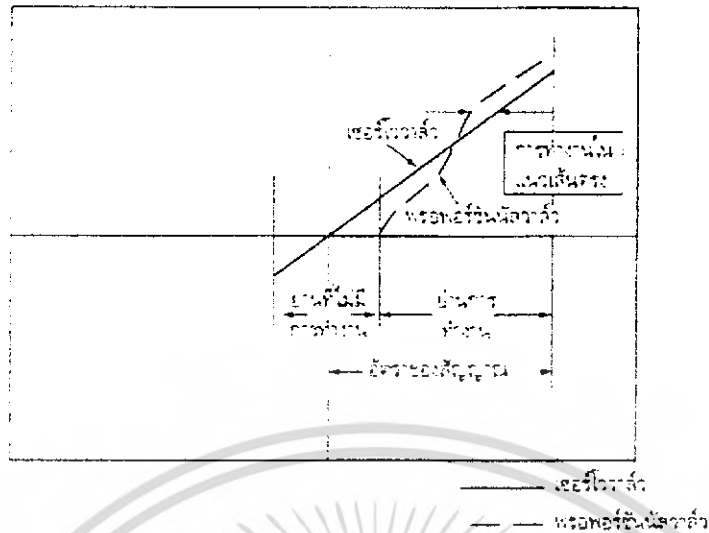
รูปที่ 2.23 แสดงการเปรียบเทียบค่าฮิสเตอร์รีซิสของ Proportional Valve และ Servo valve

### 2.9.10 การทำงานในแนวเส้นตรง (Linearity)

ลิเนียริตี (Linearity) เป็นความสัมพันธ์ระหว่างการควบคุมอัตราการไหลของวาล์วและสัญญาณป้อนเข้า ซึ่งวาล์วทั้งแบบพรอพอร์ชันนัลและเซอร์โววาล์วคังก็มีตัวควบคุมอัตราการไหลที่เป็นสัดส่วนกับสัญญาณป้อนเข้า

ถ้าใช้พล็อตเตอร์จับการทำงานของวาล์วทั้งสองแล้ว ค่าที่พล็อตเตอร์จับบนเส้นกราฟควรจะเป็นเส้นตรง ซึ่งหมายถึงการทำงานของวาล์วมีอัตราการไหลที่เที่ยงตรงแน่นอน

ถ้าเปรียบเทียบระหว่างวาล์วทั้งสองแล้ว จะเห็นว่าเมื่อสัญญาณป้อนเข้าแล้ว เซอร์โววาล์วจะควบคุมอัตราการไหลได้ดีกว่าพรอพอร์ชันนัลวาล์ว



รูปที่ 2.24 แสดงการเปรียบเทียบการทำงานของ Proportional Valve และ Servo valve

## 2.10 การหาอัตราการไหล

หากอัตราการไหลของน้ำมันเมื่อไหลผ่านรูค้ำในของพรอพอร์ชันนัลวาล์วได้ตามสูตรต่อไปนี้

$$Q = \frac{C_d \times A \times \sqrt{2 \times \Delta P}}{l}$$

กำหนดให้

$Q$	=	อัตราการไหล
$C_d$	=	สัมประสิทธิ์ของคอคอดที่ระบายออก
$A$	=	พื้นที่ของคอคอด
$P$	=	ความดันเมื่อผ่านคอคอด
$l$	=	ความหนาแน่นของน้ำมัน

## 2.11 ความดันของระบบ

สูตรที่ใช้หาความดันไหลคือ

$$P_l = \frac{T \times 2\pi}{d}$$

กำหนดให้

$T$	=	แรงบิดของมอเตอร์ (นิว-ปอนด์)
$\pi$	=	3.1416
$d$	=	อัตราการกวาดน้ำมันของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

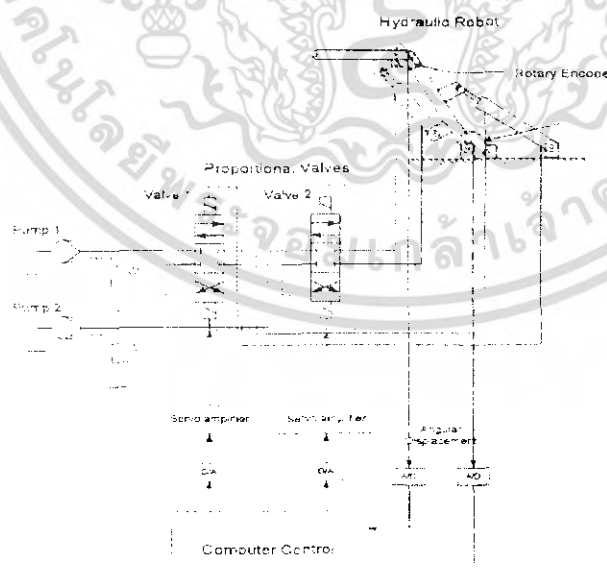
### อุปกรณ์ในการควบคุมแขนกลไฮดรอลิก

#### 3.1 บทนำ

องค์ประกอบของ โครงสร้างแขนกลไฮดรอลิกประกอบด้วยระบบแขนกลที่บังคับการเคลื่อนที่ด้วยกระบอกสูบไฮดรอลิก ดังแสดงในรูปที่ 3.1 และรูปที่ 3.2 แสดงวงจรการทำงานของแขนกลไฮดรอลิก โดยระยะชักของกระบอกสูบไฮดรอลิกขึ้นอยู่กับค่าโวลท์อินพุตที่พรอพอร์ชันนัลวาล์ว ได้รับความควบคุมผ่านทางระบบคอมพิวเตอร์ ระบบในการควบคุมแขนกลไฮดรอลิก ประกอบด้วยองค์ประกอบ และรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 3.1 แสดงระบบแขนกลไฮดรอลิก



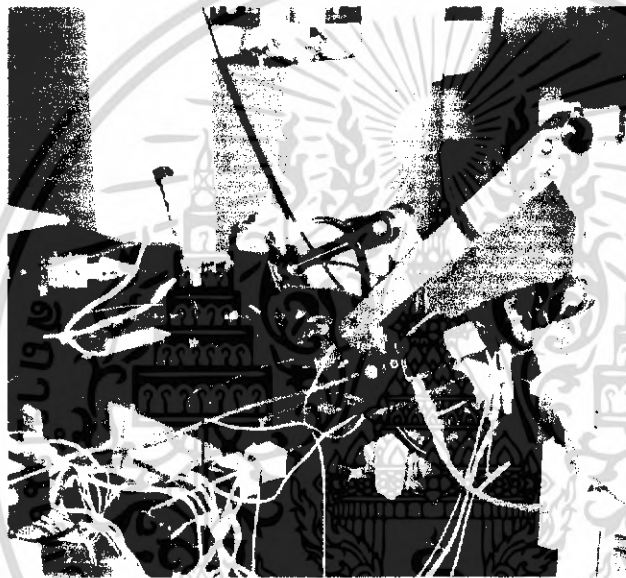
รูปที่ 3.2 แสดงวงจรการทำงานของแขนกลไฮดรอลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 ชุดแขนกลและกระบอสูบไฮดรอลิก

ชุดแขนกลประกอบด้วย แขนกล 2 แขนและกระบอสูบ 2 ตัว แขนกลมีระดับความเสรี (Degree of Freedom) เท่ากับ 2 แขนกลท่อนบนมีขนาด 50×600×30 มิลลิเมตร น้ำหนัก 5.90 กิโลกรัม แขนกลท่อนล่างมีขนาด 50×600×30 มิลลิเมตร น้ำหนัก 8.95 กิโลกรัม กระบอสูบไฮดรอลิก มีหน้าที่เปลี่ยนกำลังงานไฮดรอลิกให้เป็นงานทางกล โดยเปลี่ยนความดันและความเร็วของน้ำมันในท่อให้เป็นการเคลื่อนที่ของลูกสูบ

กระบอสูบที่ใช้เป็นแบบทำงาน 2 ทางมีขนาด 420 มิลลิเมตร ขนาดซอกเกด(Socket) 30 มิลลิเมตร ความยาวสโตรค(Stroke) 150 มิลลิเมตร น้ำหนักเท่ากับ 6.75 กิโลกรัม การติดตั้งกระบอสูบเข้ากับแขนกลแสดงได้ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงการติดตั้งแขนกลไฮดรอลิก

### 3.3 โรตารี อินคริเมนทัล เอนโค๊ดเดอร์ (Rotary Incremental Encoder)

Rotary incremental Encoder มีหน้าที่วัดตำแหน่งเชิงมุมที่เปลี่ยนไปตามการเคลื่อนที่ของแขนกลเป็นตัวแปลงการหมุนของแขนกลมาเข้ารหัส (Encoder) เป็นสัญญาณดิจิทัล ให้การ์ดนำรอบและคอมพิวเตอร์ทำการประมวลผลต่อไป สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากเอนโค๊ดเดอร์จะมีลักษณะเป็นพัลส์ (Pulse) ซึ่งความถี่ที่เกิดขึ้นอยู่กับความเร็วในการหมุนของเพลาของเอนโค๊ดเดอร์หรือเป็นสัดส่วนกับคาบเวลา ดังสมการ

$$\text{ความถี่ (Hz)} = \frac{\text{จำนวนพัลส์(รอบ)}}{\text{เวลา (วินาที)}} \quad (3.1)$$

$$\text{หรือ ความถี่ (Hz)} = \frac{1}{T} \quad (3.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $T$  คือ คาบเวลา(วินาที)

การหาความเร็วเชิงมุมของแกนกลทำได้โดยให้คาร์ดนับรอบ นับจำนวนพัลส์ที่เกิดขึ้นในช่วงที่กำหนด (Sampling Time) ซึ่งเป็นค่าคงที่ เมื่อได้ความถี่ของสัญญาณแล้วสามารถหาความเร็วเชิงมุมได้จากสมการ เมื่อ  $N$  คือ จำนวนพัลส์ต่อการหมุนทางกล 1 รอบ

$$\text{ความเร็วเชิงมุม (rad)} = \frac{f}{N} \quad (3.2)$$

เมื่อ  $N$  คือ จำนวนพัลส์ของการหมุนทางกล 1 รอบ

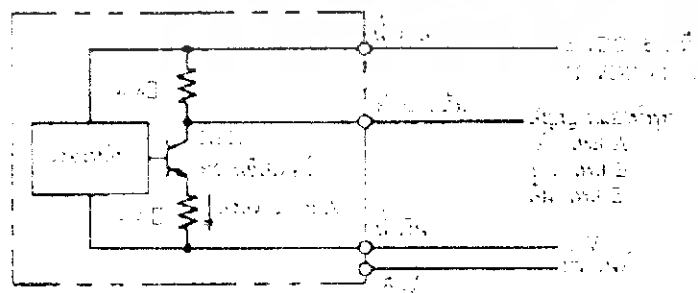
$f$  คือ ความถี่ (รอบต่อวินาที)

เอนโคเดอร์ที่ใช้ในโครงการ ซึ่งได้ทำการติดตั้งที่ขั้วต่อทั้งสองของแกนกล เป็นของ OMRON รุ่น E6C2-CWZ3E มีความละเอียด 1000 พัลส์ (Pulse) ต่อรอบ มีลักษณะดังรูปที่ 3.4 ลักษณะวงจรของเอนโคเดอร์รุ่น E6C2-CWZ3E ดังแสดงรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงรูปร่างของโรตารีอินครีเมนทัลเอนโคเดอร์ (Rotary Incremental Encoder)

E6C2-CWZ3E



รูปที่ 3.5 แสดงวงจรภาคเอาต์พุตของเอนโคเดอร์

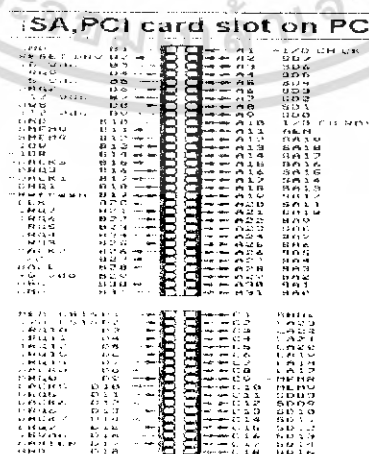
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 การ์ดนับรอบ

การ์ดนับรอบเป็นการ์ดเชื่อมต่อ(Interface) ระหว่างเอนโคเดอร์กับคอมพิวเตอร์ทางพอร์ต ISA ทำหน้าที่จำนวนพัลส์ (Pulse) จากโรตารีอินครีเมนทัลเอนโคเดอร์ (Rotary Incremental Encoder) แล้วให้คอมพิวเตอร์คำนวณจำนวนพัลส์เป็นความเร็วเชิงมุมและความเร็วจริงของแขนกลเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับความเร็วที่ต้องการพิจารณา แล้วนำค่าผลต่างของความเร็วนั้นไปเข้าสู่กระบวนการควบคุม เพื่อให้แขนกลมีความเร็วใกล้เคียงหรือเท่ากับ ความเร็วที่ต้องการควบคุม

การ์ดนับรอบที่สร้างขึ้นในโครงการ ประกอบด้วย LS7266R1 ซึ่งเป็นไอซี (IC) สำเร็จรูป ที่ใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่ (Motion) ตำแหน่ง (Position) ทิศทาง (Direction) และความเร็ว (Speed) ในอุตสาหกรรมต่างๆ โดยมี 74HC138 และ DIP Switch เป็นตัวดีโค้ดและกำหนดแอดเดรส (Address Decoding) การ์ดนับรอบตัวนี้สามารถใช้ได้กับ Encoder จำนวน 2 ตัว มีความละเอียดในการนับถึง 24 bit โดยวงจรของการ์ดนับรอบมีลักษณะดังรูปที่ 3.6

รูปที่ 3.6 แสดง Schematic ของการ์ดนับรอบ



รูปที่ 3.7 แสดงช่องเสียบการ์ดชนิด ISA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำหนดแอดเดรสให้กับการ์ดหน่วยความจำคอมพิวเตอร์รู้จักการ์ดหน่วยความจำและให้สามารถทำงานร่วมกันได้ ต้องมีการกำหนดตำแหน่งพอร์ต (Port Address) ของการ์ดหน่วยความจำและต้องไม่ซ้ำกับตำแหน่งพอร์ต (Port Address) ของอุปกรณ์อื่น ๆ ของคอมพิวเตอร์

DIP Switch มีจำนวนตำแหน่งของแต่ละแถวดังนี้

แถวที่	ค่าตำแหน่งเป็นเลขฐานสิบหก(HEX Value)	ค่าตำแหน่งเป็นเลขฐานสิบ(DEC Value)
1	200	512
2	220	544
3	240	576
4	260	608
5	280	640
6	2A0	672
7	2C0	704
8	2E0	736

ในการตำแหน่งแอดเดรส (Address) ทำได้โดยสับสวิตช์ให้อยู่ในตำแหน่งเปิด (ON) ของแถวใดแถวหนึ่งในที่นี้เราเลือกแถวที่ 8 ซึ่งมีค่าตำแหน่งเป็น 2E0 (HEX Value)

การทำงานของการ์ดหน่วยความจำ แบ่งเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

1. โหมด (Mode) การทำงานในสถานะเริ่มต้น เป็นการกำหนดค่าสถานะให้พร้อมที่จะทำงาน และกำหนดค่าใหม่ (Reset) ให้กับค่าความผิดพลาด (Error) ที่เกิดขึ้น
2. โหมด (Mode) การทำงานในการส่งข้อมูล เพื่อให้วงจรภายในนับจำนวนสัญญาณ
3. ขั้นตอนการอ่านค่าข้อมูลที่ได้ออกการนับ

การ์ดหน่วยความจำนี้สามารถนับได้ถึง 24 bit หรือ นับจำนวนได้ตั้งแต่ 0 ถึง  $2^{24}-1 = 16777215$  (เลขฐานสิบหก) ซึ่งเราต้องเขียน โปรแกรมควบคุมการทำงานของการ์ดและเพื่อเชื่อมต่อ (Interface) ให้ทำงานร่วมกับคอมพิวเตอร์ได้ ซึ่งรายละเอียดดูได้จาก ภาคผนวก

### 3.5 คอมพิวเตอร์ (Microcomputer)

คอมพิวเตอร์เป็นศูนย์กลางในการควบคุมและประมวลผล ทำหน้าที่ส่งข้อมูลหรือสัญญาณควบคุมไปสั่งงานให้เซอร์โวลัวทำงานและระบบรับค่าจากเซนทลกลับมา (Feedback) ทำการคำนวณเปรียบเทียบค่าจริงที่ได้กับค่าที่ต้องการแล้วนำค่าความผิดพลาด (Error) นั้นไปผ่านกระบวนการควบคุมให้มีค่าความผิดพลาด(Error) ลดลงจนมีค่าศูนย์ โดยมี Specification ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

System: Microsoft Window 98 (Second Edition)  
 Computer: Authentic AMD  
 AMD-K6(tm)3D+Process  
 64.0 Mb RAM

ลักษณะคอมพิวเตอร์แสดงดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แสดงคอมพิวเตอร์ที่ใช้ควบคุมระบบ

### 3.6 Data Acquisition Card

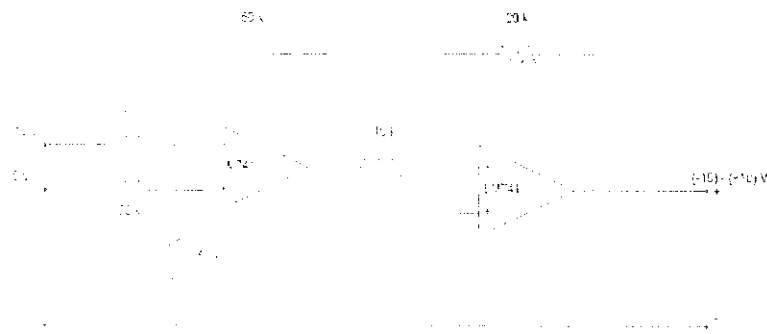
Data Acquisition Card เป็นการ์ดที่ทำหน้าที่ทั้งแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (Analog to Digital) และแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก (Analog to Digital) ในตัวเดียวกัน เมื่ออุปกรณ์ภายนอกที่เป็นสัญญาณอนาล็อก (Analog) จำเป็นต้องทำการประมวลผลในคอมพิวเตอร์อุปกรณ์นั้นจะต้องต่อเข้ากับการ์ดนี้เพื่อแปลงสัญญาณให้คอมพิวเตอร์ทำการประมวลผลได้

Data Acquisition Card ติดตั้งร่วมกับคอมพิวเตอร์โดยผ่านทางสล๊อต (Slot) ของ ISA นอกจากนี้จะทำหน้าที่แปลงสัญญาณ A/D และ D/A แล้วทำหน้าที่เป็น พอร์ตอินพุท-เอาต์พุท (Input/Output Port) อีกด้วย การ์ดที่ใช้คือ Nudaq ACL-8216

### 3.7 อีเล็กทรอนิกส์ ออป-แอม (Operation Amplifier)

เป็นตัวขยายสัญญาณแรงดันอินพุทที่ส่งมาจากคอมพิวเตอร์ซึ่งให้ค่าสัญญาณระหว่าง 0 ถึง +5 โวลต์ ให้กับเซอร์โวแอมพลิไฟเออร์ (Servo Amplifier) ที่ต้องการสัญญาณแรงดันอินพุทระหว่าง 10 ถึง +10 โวลต์ โดยให้ค่าเกน (Gain) หรืออัตราส่วนของแรงดันเอาต์พุทและแรงดันอินพุทของอีเล็กทรอนิกส์ ออป-แอม (Operation Amplifier) เท่ากับ -2 ดังรูปที่ 3.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 แสดงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ออป-แอม (Operation Amplifier)

### 3.8 เซอร์โวแอมพลิไฟเออร์ (Servo Amplifier)

เซอร์โวแอมพลิไฟเออร์เป็นอุปกรณ์ขยายสัญญาณ กล่าวคือสัญญาณแรงดันอินพุตที่เข้ามาในรูปแบบโวลต์เตจ จะถูกขยายแยกภาคเพาเวอร์ของเซอร์โวแอมพลิไฟเออร์ ได้สัญญาณเอาต์พุตในรูปแบบโวลต์เตจหรือกระแสตามแต่เอาต์พุตที่ต้องการนำไปใช้ นอกจากนั้นมักใช้เป็นเสมือนการชดเชย หรือให้เป็นซัมมิ่งแอมพลิไฟ ทำหน้าที่เหมือนกับจุดรวมสัญญาณบังคับ และสร้างสัญญาณความผิดพลาด (Error) ซึ่งจะถูกขยายโดยตัวขยายสัญญาณเพื่อไปแก้ค่าสัญญาณที่ต้องควบคุมให้มีค่าที่ถูกต้อง

เซอร์โวแอมพลิไฟเออร์ที่แท้จริงสามารถให้สัญญาณแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้าที่มีค่าเป็นบวกและลบได้ ดังนั้น น้ำมันไฮดรอลิกสามารถทำงานใน 4 กวอดรันท์(Quadrants) มีลักษณะดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แสดงรูปร่างของ Servo Amplifier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถแบ่งประเภทของเซอร์โวแอมพลิไฟเออร์เป็น 3 ประเภท คือ

1. ลิเนียร์แอมพลิไฟเออร์
2. SCR แอมพลิไฟเออร์
3. สวิตชิง แอมพลิไฟเออร์

เซอร์โวแอมพลิไฟเออร์เป็นอุปกรณ์ระบบอนาล็อก ใช้เป็นตัวขยายสัญญาณไปบังคับ Electro Hydraulic Servo Valve ซึ่งเซอร์โวแอมพลิไฟเออร์มีความสามารถในการควบคุมตำแหน่ง, ความเร็ว, และ แรงดัน ในระบบป้อนกลับของ Potentiometer, Tachometer และ pressure-cell โดยมีคุณสมบัติดังนี้

อินพุท (AC power source)

- (1) Voltage: 100 V, AC
- (2) Frequency: 50 Hz หรือ 60 Hz
- (3) Power expense: 20 V, AC

เอาต์พุท (DC power source)

- (1) Voltage: +15 V and -15V, DC
- (2) Maximum: 30mA

สัญญาณอินพุท (Input Signal)

- (1) Operating input voltage: -10 V ถึง +10 V
- (2) Maximum input voltage: -15 V ถึง +15 V
- (3) Input impedance: 50 k $\Omega$

สัญญาณเอาต์พุท (Output Signal)

- (1) Rate output current and load: 30 mA at 200, 0.65 $\mu$ H
- (2) Maximum output current: +120% of I<sub>r</sub>.(With shortage circuit protector)
- (3) Maximum driveable frequency at 200 % of I<sub>r</sub>. P-p input: More than 50 Hz for 30mA, 200 0.65  $\mu$ H

coil

- (4) Frequency response with 200 % of I<sub>r</sub> p-p input 200 0.65  $\mu$ H coil : -45 phase lag point is more than

700 Hz with the load of fixed to input resistor

- (5) Nullshift with temperature change : Less than 100 V/C, the rate is converted to input

- (6) Operating temperature range : 0 to 50 °C

- (7) Linearity : Less than 0.5 % of I<sub>r</sub>.

- (8) Maximum gain : 30mA (I<sub>r</sub>) / 50 mA(Input Signal)

Other signal

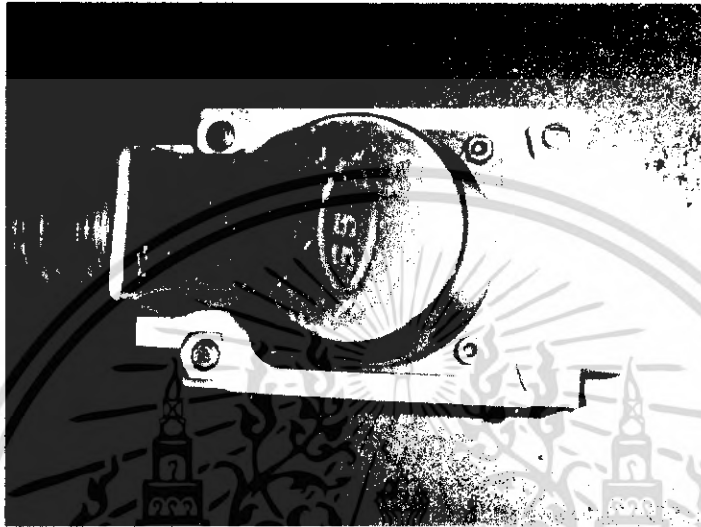
- (1) Output current : 0 to 30 % of I<sub>r</sub> p-p

- (2) Frequency : 200 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.9 เซอร์โววาล์ว (Servo Valve)

เซอร์โววาล์ว (Servo Valve) เป็นวาล์วควบคุมทิศทางที่สามารถควบคุมอัตราการไหลของน้ำมัน เซอร์โววาล์วที่ใช้รับกระแสได้สูงสุด 30 แอมแปร์ อัตราการไหล 7.5 ลิตรต่อวินาที ลักษณะเซอร์โววาล์ว แสดงดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 แสดงลักษณะของเซอร์โววาล์ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ทฤษฎีเซตฟัซซี

#### 4.1 ที่มาและความสำคัญของฟัซซีเซต

เซตในความหมายปกติเป็นแนวคิดที่มีประโยชน์มากต่อการศึกษาวิชาคณิตศาสตร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนที่เกี่ยวข้องกับตรรกศาสตร์ โดยจะหมายถึงกลุ่มของสิ่งของที่มีคุณสมบัติบางอย่างร่วมกัน และสามารถจัดรวมเข้าไว้ในกลุ่มเดียวกันได้ เพื่อความชัดเจนเราอาจให้นิยามเซตหนึ่ง ๆ ได้โดยกำหนดให้มีค่าประจำตัวของสิ่งนั้นซึ่งแสดงระดับความเป็นสมาชิกของสิ่งของนั้นในเซตที่เราสนใจ ตัวเลขนี้มีค่าเป็น 0 หรือ 1 โดยค่า 0 แสดงว่าสิ่งของนั้นไม่ได้อยู่ในเซตที่สนใจ ค่า 1 แสดงว่าสิ่งของนั้นอยู่ในเซตที่เราสนใจ เราเรียกฟังก์ชันที่ทำการกำหนดค่าระดับความเป็นสมาชิกรูปนี้ว่าฟังก์ชันลักษณะสมบัติ (Characteristic Function) ซึ่งแสดงได้ดังนี้

$$X_A U \Rightarrow \{0,1\} \quad (4.1)$$

$$X_A(u) = \begin{cases} 1; u \in A \\ 0; u \notin A \end{cases} \quad (4.2)$$

จากสมการข้างต้น  $X_A$  เป็นฟังก์ชันที่แสดงระดับความเป็นสมาชิกในเซต  $A$  ของสิ่งของหนึ่ง (แสดงโดย  $u$ ) โดยจะให้ค่าเป็น 0 ถ้าสิ่งของนั้นไม่ได้อยู่ในเซต  $A$  และให้ค่าเป็น 1 ถ้าสิ่งของของนั้นอยู่ในเซต  $A$  เมื่อ  $u$  เป็นสิ่งของสิ่งหนึ่งที่อยู่ในเซตที่เรียกว่า เอกภพสัมพัทธ์ (Relative Universe) ซึ่งใหญ่พอที่จะครอบคลุมสิ่งของที่เราสนใจทั้งหมดได้

แม้ว่าเซตมีประโยชน์มากในความหมายปกติแต่ก็มีข้อจำกัดเช่นเดียวกัน พบว่าในบางครั้งที่ไม่สามารถกำหนดได้อย่างมั่นใจว่าสิ่งของสิ่งหนึ่งมีคุณสมบัติอย่างเพียงพอที่เราจะจัดให้เป็นของเซตนั้น ๆ ได้หรือไม่ ตัวอย่างหนึ่งที่จะแสดงได้แก่ความพยายามสร้างเซตของคนสูงขึ้นมา โดยใช้คุณสมบัติบางอย่างของคนเป็นตัวกำหนดว่าอยู่ในเซตหรือไม่ โดยใช้ความสูงของคนๆ นั้น โดยอาจวัดหน่วยความยาวเป็นเซนติเมตรหรือเป็นนิ้ว โดยกำหนดตัวเลขความสูงขึ้นมาค่าหนึ่ง ตัวอย่างเช่น 170 เซนติเมตร แล้วนับรวมคนที่มีความสูงมากกว่าค่ากำหนดไว้อยู่ในเซตที่จะพยายามจะสร้าง ในขณะที่คัดคนที่มีความสูงน้อยกว่าตัวเลขดังกล่าวออกจากเซต

แม้ว่าการกำหนดเซตดังกล่าวเป็นการแบ่งกลุ่มได้อย่างชัดเจน แต่พบว่ามีความไม่เป็นธรรมชาติของเซต ประการแรกได้ว่าคนที่ไม่มีมีความสูงมากกว่าคนแรกเพียง 1.5 เซนติเมตร ไม่จัดว่า “สูง” ในขณะที่มีคนมีความสูง 170.5 เซนติเมตร ซึ่งมีความสูงมากกว่าคนแรกเพียง 1.5 เซนติเมตรกลับถูกจัดว่า “สูง” ประการที่สอง คนที่มีความสูง 198 เซนติเมตร กับคนที่มีความสูง 172 เซนติเมตร ในกรณีนี้ถูกจัดว่า “สูง” เหมือนกันทั้งที่ความรู้สึกบอกว่าแตกต่างกันมากและนอกจากนี้ ประการที่สาม ให้คนแต่ละคนกำหนดความสูงที่ใช้แบ่งคือตัวเลข 170 เซนติเมตรดังกล่าว จะได้ตัวเลขที่ไม่เหมือนกันสำหรับแต่ละคน ความไม่เป็นธรรมชาติของสิ่งที่กล่ามานี้เกิดขึ้นเพราะคุณสมบัติที่จะพยายามสร้างเซตขึ้นมา เป็นค่าที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

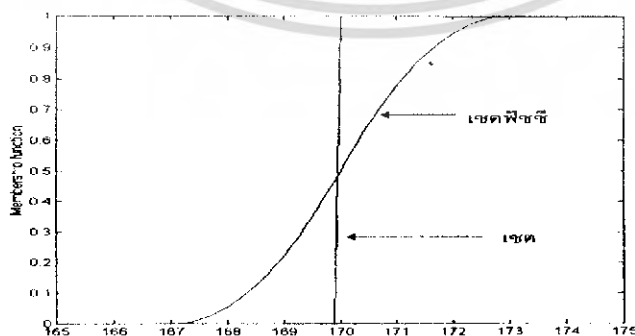
กำหนดโดยคำในภาษาธรรมชาติ ตัวอย่างคำในภาษาธรรมชาติ หรือแทนความรู้สึกต่างๆ ได้แก่ เร็ว ช้า ร้อน เย็น ฯลฯ ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวนี้มีความไม่แน่นอนอยู่ด้วยเสมอจึงบอกได้ว่าคนหนึ่ง ๆ สูงหรือไม่ ก็ โดยการเปรียบเทียบความสูงของคนๆ นั้นกับความสูงที่เราตั้งไว้ ซึ่งความสูงดังกล่าวก็มีค่าไม่เท่ากัน สำหรับในแต่ละคน นอกจากนั้นคุณสมบัติสูงที่เรารู้สึกจริงๆ จะได้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงระดับอย่าง จับพลันเหมือนในเซตที่ได้สร้างไว้ในข้างต้น ยิ่งมีความสูงมากเท่าไรก็ยิ่งรู้สึกว่าคนที่มีความสูงดังกล่าวมีความสูงมากขึ้นเท่านั้น ดังนั้นการนำเอาเซตธรรมดาแทนความหมายคุณสมบัติความสูง ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่กำหนดโดยคำในภาษาธรรมชาติจึงไม่เหมาะสม

แนวคิดเรื่องเซตฟัซซีเป็นแนวคิดที่ริเริ่มขึ้นมาในช่วงคริสต์ทศวรรษที่ 1960 โดย Prof. Lotfi A. Zadeh แห่ง University of California at Berkeley ในบทความเชิงสมนาในเรื่องเกี่ยวกับกับการสร้างแบบจำลองความไม่แน่นอนของภาษาธรรมชาติของเซตฟัซซีช่วยให้แก้ปัญหาดังกล่าวได้ง่ายมาก แทนลูกบั้งกับให้คนที่มีความสูงต่างๆ กันว่า “สูง” หรือ “ไม่สูง” เพียงสองทาง ในเซตฟัซซีมีทางเลือกมากขึ้น ในกรณีนี้คือการกำหนดตัวเลขที่มีค่าระหว่าง 0 กับ 1 ขึ้นสำหรับความสูงค่าหนึ่งเพื่อบอกว่าความสูงที่มีความสูงเท่ากับค่าที่กำหนดจะถูกจัดว่า “สูง” ในระดับมากน้อยเพียงใด ถ้ากำหนดค่าเป็น 0 นั้นหมายความว่าจัดคนที่มีความสูงค่านี้ว่า “สูงในระดับ 0” หรือจัดว่า “ไม่สูง” ในความหมายเดิม ถ้ากำหนดค่า  $\frac{1}{2}$  นั่นคือจัดคนที่มีความสูงค่านี้ว่า “สูงในระดับ  $\frac{1}{2}$ ” หรือถ้าเทียบเป็นคำพูดก็อาจได้ว่า “สูงพอสมควร” และถ้ากำหนดค่าเป็น 1 ก็เทียบได้กับการบอกว่าคนที่มีความสูงนั้น “สูง” เป็นต้น

## 4.2 นิยามของเซตฟัซซี

### 4.2.1 นิยามเซตฟัซซี

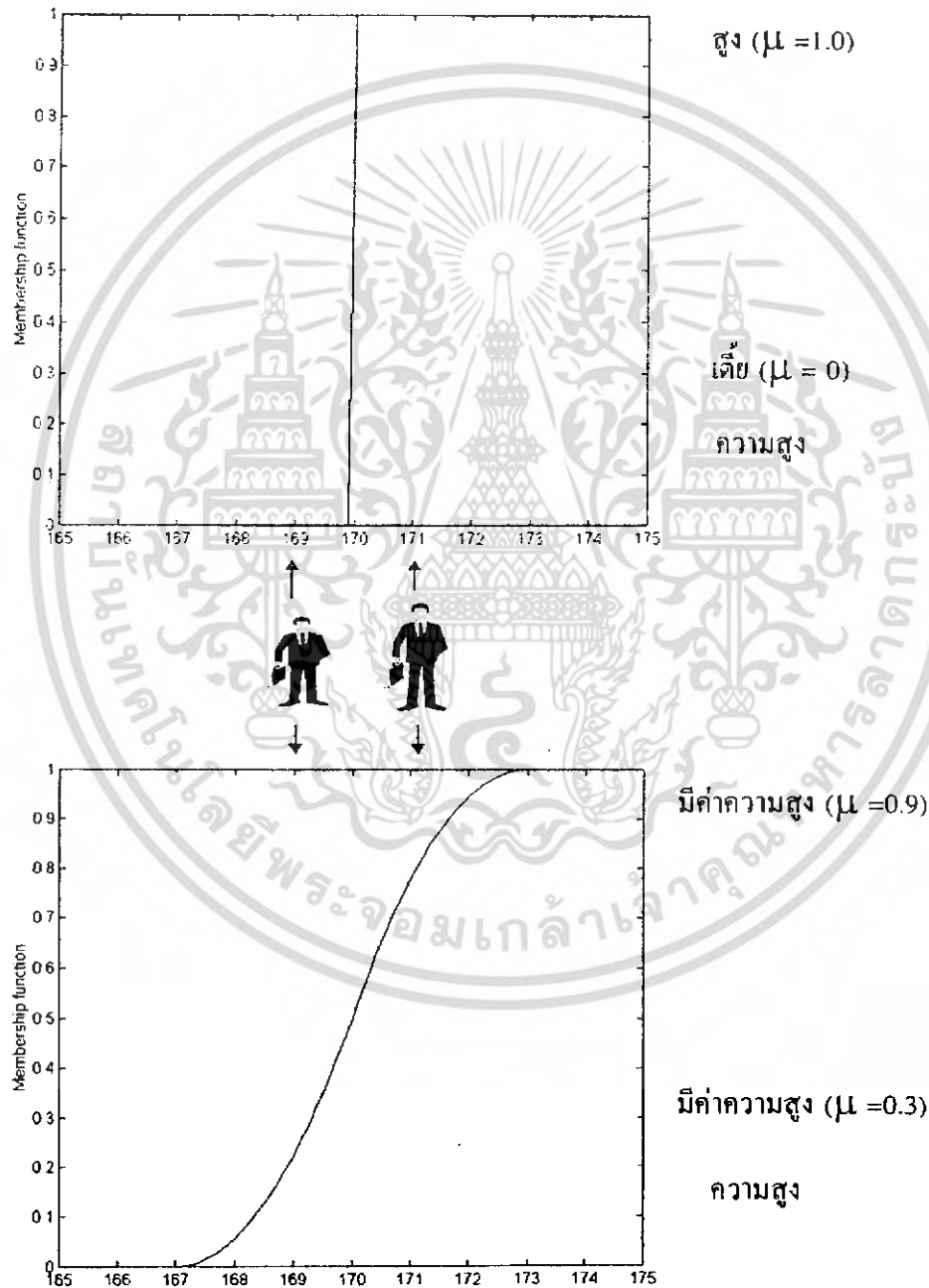
กำหนดให้  $U$  เป็นเซตของสิ่งของชุดหนึ่งซึ่งแสดงโดย  $\{u\}$  โดย  $u$  แทนสมาชิกตัวใดตัวหนึ่งในตัวหนึ่งของ  $u$  จะเรียก  $U$  ว่า เอกภพสัมพัทธ์แห่งการบรรยาย (Universe of Discourse: UOD) ซึ่งอาจมีสมาชิกเป็นค่าต่อเนื่อง (Continuous Universe of Discourse) หรือเป็นค่าระดับขั้น (Discrete Universe of Discourse) เซตฟัซซี  $F$  ในเอกภพสัมพัทธ์แห่งการบรรยาย  $U$  จะถูกกำหนดลักษณะสมบัติโดยฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function) โดยเป็นค่าประจำตัวของแต่ละสมาชิก  $u$  ใน  $U$  ซึ่งแสดงระดับความเป็นสมาชิก (Grade of Membership) ของ  $u$  ในเซตฟัซซี  $F$  ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบระหว่างค่าความเป็นสมาชิกของเซตและเซตฟัซซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพิจารณาเซตฟัซซีว่าเป็นการขยายแนวความคิดของเซตธรรมดา ซึ่งฟังก์ชันความเป็นสมาชิก เรียกว่า ฟังก์ชันลักษณะสมบัติ ในกรณีเซตธรรมดา ให้ค่าเพียง 2 ค่า คือ 0 และ 1 โดยค่า 0 และ 1 แสดงถึงความไม่เป็นสมาชิกและความเป็นสมาชิกในเซตธรรมดาตามลำดับในหัวข้อต่อไปจะใช้คำว่าเซตแทน ความหมายของเซตธรรมดา และใช้คำว่าเซตฟัซซีหมายถึงเซตที่มีนิยามในนิยาม 2.1 สัญลักษณ์  $F$  ใช้แทน เซตฟัซซีใดๆ และสัญลักษณ์  $\mu$  แทนเอกภพสัมพัทธ์แห่งการบรรยาย(UOD) โดยได้แสดงตัวอย่างที่ได้ กล่าวมาแล้วไว้ข้างต้นแบบธรรมดาและเซตฟัซซีดังแสดงรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ค่าระดับความเป็นสมาชิกของเซตและเซตฟัซซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนิยามของฟัซซีซึ่งอาศัยฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติเราสามารถแสดงเซตฟัซซี  $F$  ได้ด้วยเซตของคู่ลำดับของสมาชิก  $u$  และค่าระดับความเป็นสมาชิกดังนี้

$$F = \{(u, \mu_F(u)) | u \in U\} \quad (4.2)$$

ในกรณีที่  $U$  มีสมาชิกเป็นค่าต่อเนื่องเราจะแทน  $F$  โดยการใช้สัญลักษณ์

$$F = \int_U \mu_F(u)/u \quad (4.3)$$

และในกรณีที่  $U$  มีสมาชิกเป็นค่าที่ไม่ต่อเนื่องเราจะแทน  $F$  ด้วยสัญลักษณ์

$$F = \sum_{i=1}^n \mu_F(u_i)/u_i \quad (4.4)$$

หมายเหตุ : เครื่องหมายผลรวมและเครื่องหมายอินทิกรัลในความสัมพันธ์ข้างต้นแทนการผนวกสมาชิก  $(u, \mu_F(u))$  แต่ละตัวเข้าด้วยกันเป็นเซต ไม่ได้หมายถึงการหาผลรวมหรือการหาอินทิกรัลทางคณิตศาสตร์แบบปกติและเครื่องหมาย “ / ” เป็นเพียงเครื่องหมายคั่นเท่านั้น ไม่ได้ถึงเครื่องหมายหาร

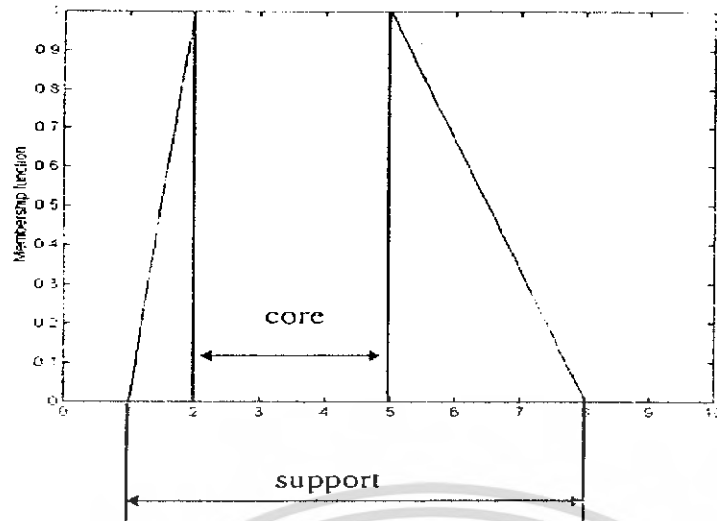
เซตฟัซซี ซึ่งเป็นการขยายแนวความคิดของเซตแบบธรรมดาเพื่อให้มีความสามารถจัดการกับความไม่แน่นอนของระดับความเป็นสมาชิกของสิ่งของที่เราสงสัยได้ เซตฟัซซีนิยามและคุณสมบัติที่คล้ายคลึงกับเซตธรรมดา โดยสามารถใช้ตัวดำเนินการต่างๆ ที่ใช้ในเซตธรรมดาไม่ว่าจะเป็นการอินเตอร์เซกชัน, ยูเนียน, การคอมพลีเมนต์ ฯลฯ บนเซตธรรมดาโดยตัวดำเนินการที่สัมพันธ์ในเซตธรรมดาสามารถใช้ความสัมพันธ์ฟัซซีร่วมกับกฎการผสมแบบต่างๆ ในการหาค่าการแปลงของความสัมพันธ์ฟัซซีจากเซตฟัซซีให้ในทำนองเดียวกับ การหาค่าฟังก์ชันเมื่อกำหนดอาร์กิวเมนต์ให้ได้อีกด้วย

#### 4.2.2 นิยามฟัซซีซิงเกิลตัน (Fuzzy Singleton)

ถ้าเซตฟัซซีของเซตฟัซซี  $F$  เป็นเพียงจุดเดียวโดยที่มีค่าระดับความเป็นสมาชิกเท่ากับ 1 จะเรียก  $F$  นี้ว่าเป็นฟัซซีซิงเกิลตัน

#### 4.2.3 นิยามความสูง (Height) และนอร์มอล (Normal)

ความสูงของเซตฟัซซี  $F$  คือค่าความสูงที่สุดของ  $\mu_F(u)$  ใน  $U$  และจะเรียกเซตฟัซซี  $F$  ว่าเป็นนอร์มอล ถ้าความสูงของเซตฟัซซี  $F$  มีค่าเป็น 1 ดังรูป 4.3



รูป 4.3 ขั้วพอร์ด แกน และความสูงของเซตฟัซซี

#### 4.2.4 นิยามปริมาณฟัซซี (Fuzzy Quantity)

เซตฟัซซีที่นิยามบน UOD ซึ่งเป็นเซตของจำนวนจริง ดังนั้นถ้าเป็นปริมาณฟัซซีจะได้ว่า

$$F = \{(u, \mu_F(u)) | u \in R\} \quad (4.5)$$

โดย R เป็นเซตของจำนวนจริง

#### 4.2.5 นิยามจำนวนฟัซซี (Fuzzy Number)

หมายถึงช่วงฟัซซีที่มีสมาชิกที่มีค่าระดับความเป็นสมาชิก 1 เพียงตัวเดียว

#### 4.2.6 นิยาม 2.6 ช่วงฟัซซี (Fuzzy Interval)

หมายถึงปริมาณฟัซซีนูน (Convex Fuzzy Quantity) นั่นคือถ้า F เป็นช่วงที่นิยามบน U แล้ว

$$\forall u_1, u_2 \in U, \forall \lambda \in [0,1] \mu_F(\lambda u_1 + (1-\lambda)u_2) \geq \min(\mu_F(u_1), \mu_F(u_2)) \quad (4.6)$$

#### 4.2.7 นิยามเซตนูนฟัซซี (Convex fuzzy Set)

เราจะเรียกเซตฟัซซี F ว่าเป็นเซตนูนฟัซซีเมื่อ  $\forall u_1, u_2, u_3 \in U$  และ  $u_1 < u_2 < u_3$  แล้ว  $\mu_F(u_2) \geq \min(\mu_F(u_1), \mu_F(u_3))$  หรือหากขั้วพอร์ดของมันเป็นเซตของจำนวนจริง และสำหรับทุกๆ u ในช่วง  $[u_1, u_2]$  ใดๆ

$$\mu_{F(u)} \geq \min[\mu_F(u_1), \mu_F(u_2)] \quad (4.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.8 นิยามความเท่ากัน (Equality)

เซตฟัซซีสองเซต  $F$  และ  $G$  จะเท่ากันก็ต่อเมื่อเซตฟัซซีทั้งสองมีค่าระดับความเป็นสมาชิกเท่ากัน สำหรับสมาชิกทุกตัวใน  $U$ OD ที่เราใช้นิยามเซตฟัซซีทั้งสอง

$$F = G \leftrightarrow \forall u \in U, \mu_F(u) \leq \mu_G(u) \quad (4.8)$$

#### 4.2.9 นิยามความเป็นส่วนหนึ่ง (Inclusion)

เซตฟัซซี  $F$  เป็นส่วนหนึ่งในเซตฟัซซี  $G$  ก็ต่อเมื่อค่าระดับความเป็นสมาชิกของสมาชิกตัวนั้นในเซตฟัซซี  $G$

### 4.3 เซตที่สัมพันธ์กับเซตฟัซซี

#### 4.3.1 นิยามซัพพอร์ต (Support) และแกน (Core)

ซัพพอร์ตของฟัซซี  $F$  คือเซตแบบดั้งเดิมของทุกๆ จุดบน  $u \in U$  ที่มีระดับความเป็นสมาชิกของเซตฟัซซี  $F$  มากกว่าศูนย์ และแกนของเซตฟัซซี  $F$  คือเซตแบบดั้งเดิมของทุกๆ จุดบน  $u \in U$  ที่มีค่าระดับความเป็นสมาชิกของเซตฟัซซี  $F$  เท่ากับหนึ่ง

$$\text{sup } p(F) = \{u \in U \mid \mu_F(u) > 0\} \quad (4.9)$$

$$\text{core}(F) = \{u \in U \mid \mu_F(u) = 1\} \quad (4.10)$$

#### 4.3.2 นิยามอัลฟาคัท ( $\alpha$ -cut)

$\alpha$ -cut ของเซตฟัซซี  $F$  เขียนแทนด้วย  $F_\alpha$  คือเซตแบบดั้งเดิมของทุกๆ จุด  $u \in U$  ที่มีค่าระดับความเป็นสมาชิกมากกว่าหนึ่งหรือเท่ากับ  $\alpha$  สังเกตว่าเซต  $\alpha$ -cut จะตัดออกจุดที่มึค่าระดับความเป็นสมาชิกต่ำกว่า  $\alpha$  ที่สนใจ ออกจากการพิจารณา  $\alpha$ -cut ของเซตฟัซซีบางครั้งเรียกว่า เซตระดับ (level set) นอกจากนี้ strong  $\alpha$ -cut เขียนแทนด้วย  $F_{\bar{\alpha}}$  นิยามได้เช่นเดียวกันแต่ให้ตัดกรณีที่ค่าระดับความเป็นสมาชิกเท่ากัน ออกไปด้วย

$$F_\alpha = \alpha\text{-cut}(F) = \{u \in U \mid \mu_F(u) \geq \alpha\} \quad (4.11)$$

$$F_{\bar{\alpha}} = \bar{\alpha}\text{-cut}(F) = \{u \in U \mid \mu_F(u) > \alpha\} \quad (4.12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3.3 นิยามสตองอัสฟักท์ (Strong $\alpha$ -cut)

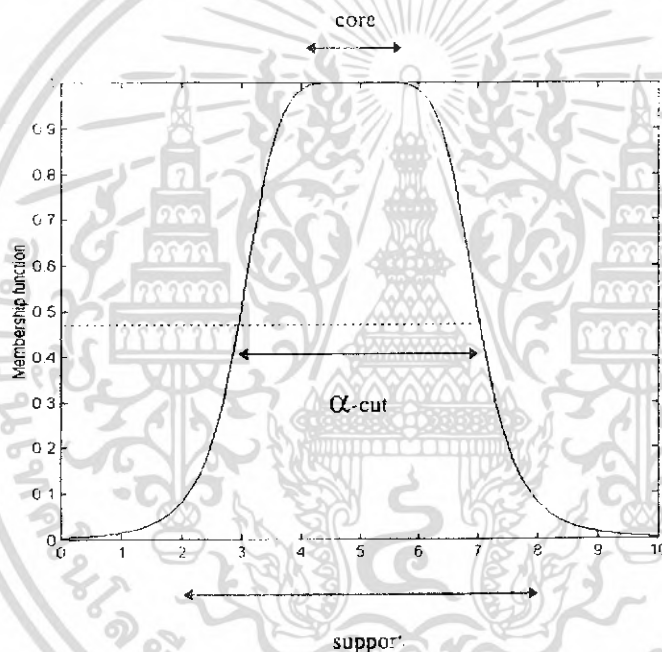
ของเซตฟัซซี  $F$  เขียนแทนด้วย  $F_\alpha$  หมายถึงเซตที่ประกอบด้วยสมาชิกใน UOD ที่มีระดับความเป็นสมาชิกในเซตฟัซซี  $F$  มากกว่า  $\alpha$

$$F_\alpha = \{u | \mu_F(u) \geq \alpha\} \quad (4.13)$$

### 4.3.4 นิยาม 2.13 แกน (Core)

หมายถึงอัสฟักท์ของเซตฟัซซี  $F$  ที่มีค่า  $\alpha=1$

$$F = \{u | \mu_F(u) \geq 1\} = \{u | \mu_F(u) = 1\} = F_1 \quad (4.14)$$



รูปที่ 4.4 เซตที่สัมพันธ์กับเซตฟัซซี

## 4.4 ตัวแปรเชิงภาษา

### 4.4.1 นิยามตัวแปรเชิงภาษา (Linguistic Variable)

ตัวแปรเชิงภาษานิยามได้จาก  $(x, T(x), U, G, M)$  โดยที่  $x$  เป็นชื่อตัวแปร;  $T(x)$  เป็นเทอมเซตของ  $x$  นั่นคือชุดของชื่อของค่าเชิงภาษาที่เป็นค่าของ  $x$  โดยที่แต่ละค่าเป็นเซตฟัซซีกำหนดบนเอกภพสัมพัทธ์  $U$ ;  $G$  เป็นกฎวากยสัมพันธ์ที่ใช้ในการกำหนดชื่อของตัวแปร  $x$ ;  $M$  เป็นทางความหมายเพื่อกำหนดความหมายของค่าเชิงภาษาแต่ละค่า

หากกล่าวอย่างง่าย ๆ ก็คือถ้าตัวแปรสามารถมีค่าของตัวแปรเป็นค่าในภาษาหนึ่งๆ ที่มีความหมายก็ให้ตัวแปรนั้นเป็นตัวแปรเชิงภาษา ค่าที่ใช้เป็นค่าของตัวแปรภาษานี้ปกติก็จะใช้มาเป็นชื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเซตฟัซซีที่กำหนดความหมายของคำนั่นเอง ตัวอย่างเช่น อุณหภูมิ เป็นตัวแปรเชิงภาษา โดยมีค่าเชิงภาษาในทอมนเซตเป็นหนาว สบาย และร้อน กำหนดค่าอยู่ในช่วง  $10^{\circ}\text{C}$  ถึง  $40^{\circ}\text{C}$  นอกจากนี้ยังมีการกำหนดกฎวากยสัมพันธ์ G เช่น ทอม ร้อน ต้องมีความหมายว่ามีค่ามากกว่าค่าทอมสบาย เป็นต้น โดยที่ความหมายของค่าเชิงภาษา M สามารถแสดงได้ด้วยฟังก์ชันการเป็นสมาชิกดังรูปที่ 4.3 ดังนั้นตัวแปรเชิงภาษานี้กำหนดลักษณะโดย(อุณหภูมิ, {หนาว, สบาย, ร้อน},  $[10^{\circ}\text{C}, 40^{\circ}\text{C}]$ , G, M)

จะเห็นได้ชัดเจนว่าค่าจำนวน  $27^{\circ}\text{C}$  มีความง่ายกว่าฟังก์ชัน สบาย แต่ สบาย เป็นตัวเลือกหนึ่งจากทั้งหมดสามตัวเลือก ในขณะที่จำนวน  $27^{\circ}\text{C}$  อาจเป็นตัวเลือกหนึ่งในค่าที่เป็นไปได้ทั้งหมด 100 ตัวเลือก เป็นต้น จากตัวอย่างนี้แสดงให้เห็นรูปแบบการสรุปข้อมูลซึ่งรูปแบบนี้เรียกว่า granulation แม้ว่าการควอนไทซ์แบบปกติสามารถให้ผลการชั่งข้อมูลซึ่งข้างต้นได้เช่นกัน แต่ในกรณีของการควอนไทซ์ค่าจะเป็นช่วง ในขณะที่ granulation ค่าเป็นฟัซซีที่มีการซ้อนกัน ซึ่งมีข้อดีเหนือการควอนไทซ์คือ 1) มีความเป็นทั่วไป 2) เลียนแบบการตีความเชิงภาษาของมนุษย์ 3) การเปลี่ยนแปลงจากค่าเชิงภาษาหนึ่งไปเป็นอีกค่าหนึ่งซึ่งอยู่ติดกัน จะมีความต่อเนื่องแทนที่จะเปลี่ยนแปลงอย่างเฉียบพลัน

ข้อสังเกตสำคัญประการหนึ่งที่พึงตระหนักในแนวคิดของทฤษฎีเซตฟัซซีในที่นี้คือ แม้ว่าเราจะสามารถที่จะแทนข้อมูลสารสนเทศที่ไม่ชัดเจนได้โดยกำหนดความหมายให้กับค่าเชิงภาษาด้วยเซตฟัซซี แต่ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกที่จะกำหนดให้เป็นความหมายนี้ จะเป็นลักษณะขึ้นกับผู้กำหนดหรือผู้สังเกต (Subjective) กล่าวคือ ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกที่กำหนดสำหรับแนวคิดถึงสิ่งเดียวกันเช่น อุณหภูมิที่เย็นสบายของแต่ละบุคคลอาจจะแตกต่างกันออกไปตามเนื้อหาที่กล่าวถึง สถานการณ์ กิจกรรม หรือแม้แต่วเวลาอีกด้วย แต่อย่างไรก็ตามแนวคิดของการใช้เซตฟัซซีในตัวแปรเชิงภาษายังคงเป็นเครื่องมือพื้นฐานที่สำคัญที่จะสามารถนำไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

#### 4.5 คำขยาย (Hedge)

ในการอธิบายความหมายทางภาษา มักใช้คำขยายเข้ามาช่วยในการขยายคำคุณศัพท์เพื่อให้เกิดคำที่มีความหมายต่างๆ มากขึ้น เช่น เราอาจใช้คำว่ามาก (very) หรือ พอประมาณ (more or less) เพื่อใช้ขยายคำอื่นๆ เช่น ขยายคำว่า “เร็ว” ให้เป็นคำต่างๆ คือ “เร็ว” “เร็วปานกลาง” “เร็วมาก” ฯลฯ โดยมีข้อสังเกตว่า คำว่า “เร็วธรรมดา” เป็นต้น ดังนั้นถ้าคำว่า “เร็ว” เป็นป้ายชื่อที่แทนความหมายของคำดังกล่าว คำว่า “มาก” และ “พอประมาณ” จะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนแปลงเซตฟัซซีที่แทนความหมายของคำว่า “เร็ว” ให้มีฟังก์ชันของการเป็นสมาชิกเปลี่ยนไปตามความหมายของคำต่างๆ เพื่อความชัดเจนในการอธิบายทำให้เราต้องการคำนิยามอย่างเป็นทางการ ของคำขยายต่างๆ เหล่านี้ในการจำลองความหมายของภาษาด้วยเซตฟัซซี

##### 4.5.1 นิยามฟังก์ชัน CON

กำหนดให้ F เป็นเซตฟัซซีใน U ดังนั้น  $\text{CON}(F)$  ซึ่งทำหน้าที่แทนความหมายของคำว่า very จะมีนิยามเป็นเซตฟัซซีใน U ซึ่งมีฟังก์ชันการเป็นสมาชิก

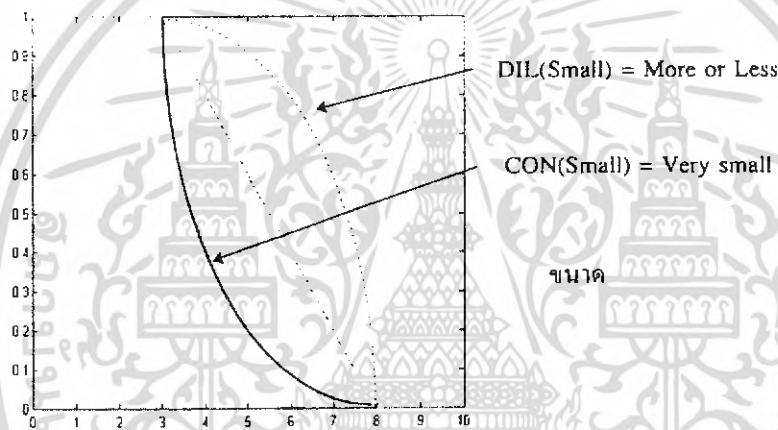
$$\mu_{\text{CON}(F)} = (\mu_F(u))^2 \quad (4.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ  $DIL(F)$  ซึ่งให้แทนความหมายของคำว่า More or Less จะเป็นเซตฟัซซีใน  $U$  ซึ่งมีฟังก์ชันการเป็นสมาชิก

$$\mu_{DIL(F)} = (\mu_F(u))^{1/2} \text{ โดย } u \in U \quad (4.16)$$

ค่าขยาย CON เสมือนทำให้เงื่อนไขในการเป็นสมาชิกของเซตฟัซซีเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ DIL เสมือนทำให้เงื่อนไขดังกล่าวลดลง พิจารณารูปที่ 2.6 สมมติเราต้องการหาค่าขนาดที่ทำให้ระดับความเป็นสมาชิกใน Small,  $CON(\text{Small})$ ,  $DIL(\text{Small})$  เป็น 0.5 ค่าขนาดดังกล่าวของ  $CON(\text{Small})$  จะมีค่าน้อยที่สุด รองลงมาคือ Small และค่าขนาดที่มากที่สุดเป็นของ  $DIL(\text{Small})$  นั่นหมายความว่าเงื่อนไขของการเป็นสมาชิกของ  $CON(\text{Small})$  เข้มงวดที่สุด



รูปที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างเซตฟัซซี Small,  $CON(\text{Small})$ ,  $DIL(\text{Small})$

#### 4.5.2 นิยามฟังก์ชัน INTEN

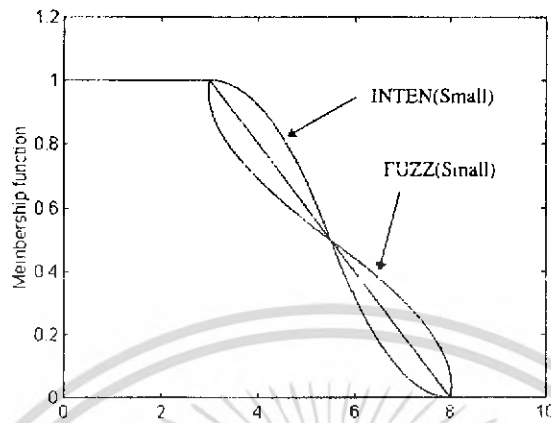
กำหนดให้  $F$  เป็นเซตฟัซซีใน  $U$  ดังนั้น  $INTEN(F)$  จะมีนิยามเป็นเซตฟัซซีใน  $U$  ดังนั้น  $INTEN(F)$  จะมีนิยามเป็นเซตฟัซซีใน  $U$  ซึ่งมีความเป็นสมาชิก

$$\mu_{INTEN(F)}(u) = \begin{cases} 2(\mu_F(u))^2; & \mu_F(u) < \frac{1}{2} \\ 1 - 2(1 - \mu_F(u))^2; & \mu_F(u) \geq \frac{1}{2} \end{cases} \quad (4.17)$$

และ  $FUZZY(F)$  จะเป็นเซตฟัซซีใน  $U$  ซึ่งมีฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\mu_{FUZZY(F)}(u) = \begin{cases} \sqrt{\mu_F(u)/2}; \mu_F(u) < \frac{1}{2} \\ 1 - \sqrt{\mu_F(u)/2}; \mu_F(u) \geq \frac{1}{2} \end{cases} \quad (4.17)$$



รูปที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบ ระหว่างเซตฟัซซี่ Small, INTEN(Small) และ FUZZY(Small)

คำขยาย INTEN เสมือนทำให้เซตฟัซซี่มีความไม่แน่นอนน้อยลง คือเข้าใกล้เซตมากขึ้น ในขณะที่คำขยาย FUZZ เสมือนทำให้เซตฟัซซี่มีความไม่แน่นอนมากขึ้น คือห่างจากเซตมากขึ้น สังเกตได้จากใน INTEN(Small) สมาชิกส่วนใหญ่จะมีค่าระดับความเป็นสมาชิกเข้าใกล้ 0 หรือ 1 ในขณะที่ FUZZ(Small) สมาชิกส่วนใหญ่จะมีค่าระดับความเป็นสมาชิกเข้าใกล้ 0.5 มากกว่า

#### 4.6 การดำเนินการฟัซซี่ (Fuzzy Operation)

กำหนดให้ A และ B เป็นเซตฟัซซี่ 2 เซตใน U โดยมีฟังก์ชันความเป็นสมาชิก  $\mu_A$  และ  $\mu_B$  ตามลำดับ เราสามารถให้นิยามการดำเนินการทางทฤษฎีเซต (Set-theoretic Operation) ของยูเนียน อินเตอร์เซกชัน และคอมพลีเมนต์ในกรณีของเซตฟัซซี่ได้ดังนี้

##### 4.6.1 นิยามยูเนียน

A และ B เขียนแทนได้ด้วย  $A \cup B$  เป็นเซตฟัซซี่ใน U ซึ่งได้มาโดยใช้การดำเนินการยูเนียนระหว่าง A และ B โดยมีฟังก์ชันการเป็นสมาชิคนิยามสำหรับทุกค่า  $u \in U$  เป็น

$$\mu_{A \cup B}(u) = \max\{\mu_A(u), \mu_B(u)\} \quad (4.18)$$

##### 4.6.2 นิยามอินเตอร์เซกชัน

A และ B เขียนแทนได้ด้วย  $A \cap B$  เป็นเซตฟัซซี่ใน U ซึ่งได้มาโดยให้การดำเนินการอินเตอร์เซกชันระหว่าง A และ B โดยมีฟังก์ชันความเป็นสมาชิคนิยามสำหรับทุกค่า  $u \in U$  เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\mu_{A \cap B}(u) = \min\{\mu_A(u), \mu_B(u)\} \quad (4.19)$$

#### 4.6.3 นิยามคอมพลิเมนต์

A เขียนได้ด้วย  $\bar{A}$  เป็นเซตฟัซซีใน  $U$  ซึ่งได้มาโดยการให้การดำเนินการคอมพลิเมนต์กับ  $A$  โดยมีฟังก์ชันความเป็นสมาชิกนิยามสำหรับทุกค่า  $u \in U$  เป็น

$$\mu_{\bar{A}}(u) = 1 - \mu_A(u) \quad (4.20)$$

### 4.7 ความสัมพันธ์ฟัซซี (Fuzzy Relation)

#### 4.7.1 นิยามความสัมพันธ์ฟัซซี (Fuzzy Relation)

กำหนดให้  $U$  และ  $V$  เป็น UOD 2 เซตความสัมพันธ์ฟัซซี  $R$  มีนิยามเป็นเซตฟัซซีปริภูมิผลคูณ (Product Space)  $U \times V$  นั่นคือ  $R$  มีฟังก์ชันความเป็นสมาชิก  $\mu_R(u, v)$  สำหรับแต่ละ  $u \in U, v \in V$

#### 4.7.2 นิยามฟัซซีคอนจังก์ชัน (Fuzzy Conjunction)

ฟังก์ชันคอนจังก์ชันของ  $A$  และ  $B$  เป็นความสัมพันธ์ฟัซซีบน  $U \times V$  ที่กำหนดโดยฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

$$\mu_{A \rightarrow B}(u, v) = \mu_A(u) * \mu_B(v) \quad (4.21)$$

#### 4.7.3 นิยามฟัซซีดิสจังก์ชัน (Fuzzy Disjunction)

ฟัซซีดิสจังก์ชันของ  $A$  และ  $B$  เป็นความสัมพันธ์ฟัซซีบน  $U \times V$  ที่กำหนดโดยฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

$$\mu_{A \vee B}(u, v) = \mu_A(u) + \mu_B(v) \quad (4.22)$$

#### 4.7.4 นิยามฟัซซีอิมพลีเคชัน (Fuzzy Implication)

ฟัซซีอิมพลีเคชัน ของ  $A$  และ  $B$  ความสัมพันธ์ฟัซซีบน  $U \times V$  ประเภทหนึ่งซึ่งกำหนดโดยฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบต่างๆ ดังต่อไปนี้

##### 1. Material Implication

$$\mu_{A \rightarrow B}(u, v) = \mu_{\bar{A}}(u) + \mu_B(v) \quad (4.23)$$

##### 2. Propositional Calculus

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\mu_{A \rightarrow B}(u, v) = \mu_{\bar{A}}(u) + \mu_{A=B}(v) \quad (4.24)$$

### 3. Extended Propositional Calculus

$$\mu_{A \rightarrow B}(u, v) = \mu_{\bar{A}}(u) * \mu_{\bar{B}}(v) + \mu_B(v) \quad (4.25)$$

### 4. Generalization of Modus Ponens

$$\mu_{A \rightarrow B}(u, v) = \sup\{c \in [0, 1] \mid \mu_A(u) * c \leq \mu_B(v)\} \quad (4.26)$$

### 5. Generalization of Modus Tollen

$$\mu_{A \rightarrow B}(u, v) = \inf\{c \in [0, 1] \mid \mu_B(u) + c \leq \mu_A(v)\} \quad (4.27)$$

## 4.8 การให้เหตุผลโดยการประมาณ

การให้เหตุผลโดยการประมาณเป็นวิธีการหาผลสรุปจากความรู้ที่กำหนดให้ ทั้งที่ผลสรุปและความรู้ดังกล่าวมีความไม่แน่นอนและความไม่แม่นยำเข้ามาเกี่ยวข้อง โดยมากเป็นการหาผลสรุปจากความรู้ที่แสดงในรูปของประโยคที่เป็นภาษาธรรมชาติ ซึ่งมักใช้แนวความคิดเกี่ยวกับตัวแปรเชิงภาษาในทฤษฎีตรรกศาสตร์ฟัซซีเพื่อทำการให้เหตุผลโดยประมาณ

## 4.9 กฎการนิรนัยฟัซซี

การให้เหตุผลโดยประมาณที่สนใจในที่นี้อยู่ในรูปแบบของการนิรนัยหรือการหาผลสรุปในรูปของข้อมูลขาออก จากความรู้ที่มีสองประการ ได้แก่ความรู้เกี่ยวกับข้อมูลขาเข้าซึ่งเป็นข้อมูลที่เราได้มาโดยวิธีการต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการวัดข้อมูลจากสถานะแวดล้อมจริงหรือวิธีการอื่นๆ ซึ่งแสดงในรูปแบบของประโยคเงื่อนไข ถ้า-แล้ว(IF-THEN) คือ

$$\text{IF (ส่วนต้น) THEN (ส่วนปลาย)} \quad (4.28)$$

โดยส่วนต้นและส่วนปลายเป็นประโยคที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลขาเข้าหรือข้อมูลขาออกอย่างใดอย่างหนึ่ง โดยขึ้นอยู่กับรูปแบบการนิรนัยความจริง ซึ่งจะได้อธิบายต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประโยคเงื่อนไขดังกล่าวจะถูกนำไปใช้ในการให้เหตุผลโดยประมาณ โดยถ้าในส่วนต้นเป็นจริง สามารถนิรนัยให้ได้ผลลัพธ์ตามที่กำหนดไว้ในส่วนปลาย และนอกจากนี้แล้วตามหลักตรรกศาสตร์จะได้ว่าถ้าส่วนปลายไม่เป็นจริง ในกรณีนี้สามารถวินิจฉัยได้นิเสธของส่วนต้นเป็นผลลัพธ์แทน

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นทำให้สรุปได้ว่าการให้เหตุผลโดยประมาณ โดยอาศัยประโยคเงื่อนไข IF-THEN ดังกล่าวมามีใช้กัน 2 รูปแบบ ได้แก่ แบบ Generalized Modus (GMP) และแบบ Generalized Modus Tollen (GMT) ซึ่งมีลักษณะการนิรนัยหาผลลัพธ์จากความรู้ที่กำหนดให้ 2 ชุด ดังนี้

#### 4.9.1 Generalized Modus (GMP)

ความรู้ 1	: u is A'
ความรู้ 2	: IF u is A THEN v is B
ผลลัพธ์	: v is B'

#### 4.9.2 Generalized Modus Tollen (GMT)

ความรู้ 1	: u is B'
ความรู้ 2	: IF u is A THEN v is B
ผลลัพธ์	: v is A'

โดยที่ A,A',B และ B' เป็นเซตฟัซซีที่ใช้เป็นค่าเชิงภาษาของตัวแปรเชิงภาษา u และ v ซึ่งมีนิยามใน UOD U สำหรับ A,A' และ V สำหรับ B,B' ตามลำดับประโยคที่อยู่เหนือเส้นเป็นประโยคที่เกี่ยวข้องกับความรู้ซึ่งมีอยู่สองประโยคคือ ประโยคที่เกี่ยวข้องกับความรู้ที่เกี่ยวกับข้อมูลขาเข้า และประโยคที่เกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ระหว่างความสัมพันธ์ข้อมูลขาเข้าและข้อมูลขาออก ในขณะที่ส่วนที่อยู่ใต้เส้นเป็นผลลัพธ์ที่เราต้องการสรุปจากประโยคความรู้ทั้งสองประโยค โดยอยู่ในรูปข้อมูลขาออก

การให้เหตุผลในลักษณะดังกล่าวเป็นการให้เหตุผลที่กว้างขวางครอบคลุมรูปแบบการให้เหตุผลลักษณะต่างๆ อีกมากมาย การศึกษาการให้เหตุผลในลักษณะของ GMP และ GMT จึงมีประโยชน์มากต่อการนำหลักการให้เหตุผลโดยประมาณไปประยุกต์ใช้งานด้านต่างๆ

สำหรับตรรกศาสตร์แบบดั้งเดิม การนิรนัยหาผลสรุปจากความรู้ที่มีอยู่ทำได้ตรงไปตรงมาแต่สำหรับในกรณีตรรกศาสตร์ฟัซซีซึ่งมีระดับความเป็นสมาชิกที่มีค่าต่างๆ มากกว่า 2 ค่า นั้น การนิรนัยหาผลสรุปจากความรู้สามารถกระทำได้หลายรูปแบบมาก โดยแต่ละแบบอาจให้ผลลัพธ์ที่สมเหตุสมผลต่างกันไป ในการทดสอบผลลัพธ์ที่ได้จากการนิรนัยในวิธีต่างๆ นั้น จึงกำหนดประโยคเงื่อนไข IF u is A THEN v is B เป็นความรู้ที่เราเกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลขาเข้าและข้อมูลขาออก และตั้งบรรทัดฐานเกี่ยวข้องกับผลลัพธ์ที่ได้จากการนิรนัยโดยอาศัยความรู้จากเงื่อนไขดังกล่าวกับความรู้เกี่ยวกับข้อมูลขาเข้าที่ต่างไปจากที่ปรากฏในประโยคเงื่อนไข บรรทัดฐานดังกล่าวเป็นกฎสามัญสำนึกในการให้เหตุผลที่มนุษย์ใช้กันทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.10 ฟัซซีอิมพลีเคชันฟังก์ชัน

จากข้างต้นประโยคเงื่อนไข TF-THEN แต่ละประโยคถูกกำหนดโดยเซตฟัซซีของข้อมูลขาเข้า และเซตฟัซซีของข้อมูลขาออก ดังนั้นเราจึงสามารถแทนประโยคเงื่อนไขแต่ละประโยคได้ในรูปของความสัมพันธ์ฟัซซีที่สร้างขึ้นมาจากเซตฟัซซีทั้งสองสามารถสร้างความสัมพันธ์ฟัซซีดังกล่าวได้หลายวิธี โดยการเลือกใช้ตัวดำเนินการสร้างความสัมพันธ์ฟัซซีแบบต่างๆ ซึ่งตัวดำเนินการที่ใช้สร้างความสัมพันธ์ฟัซซีดังกล่าวนี้เรารวมเรียกว่า ฟังก์ชันอิมพลีเคชัน

#### 4.11 ระบบตรรกศาสตร์ฟัซซี

ระบบฟัซซีเป็นระบบที่นำหลักการของตรรกศาสตร์ฟัซซี และการให้เหตุผลโดยประมาณเพื่อมาใช้งานในด้านต่างๆ ระบบฟัซซีที่ใช้งานกันโดยทั่วไปมีหลายลักษณะ แต่ที่แพร่หลายมากที่สุดเป็นระบบฟัซซีที่มีตัวแปลงฟัซซีและตัวแปลงกลับฟัซซี สิ่งที่ทำให้ความสนใจเป็นพิเศษของหัวข้อนี้ได้แบ่งการออกแบบระบบฟัซซี ซึ่งจะต้องคำนึงถึงองค์ประกอบต่างๆ ของระบบฟัซซีทั้งระบบ ทั้งส่วนที่เกี่ยวกับการให้เหตุผลโดยประมาณ ได้แก่ ฟัซซีอิมพลีเคชันฟังก์ชัน ตัวเชื่อมประโยค ตัวดำเนินการผสม ฯลฯ และส่วนที่เกี่ยวกับการให้เหตุผลโดยประมาณ ได้แก่ ตัวแปลงฟัซซี ตัวแปลงกลับฟัซซี การแบ่งช่วงของข้อมูล การสร้างฐานกฎ เป็นต้น

#### 4.12 ประเภทของระบบตรรกศาสตร์ฟัซซี

ระบบตรรกศาสตร์ฟัซซีหรือเรียกสั้นๆ ว่า ระบบฟัซซี เป็นระบบที่ทำงานโดยอาศัยหลักการของตรรกศาสตร์ฟัซซี และการให้เหตุผลโดยประมาณ เป็นการนำหลักการทั้งสองมาช่วยในการนิรนัยความจริงจากความรู้เกี่ยวกับข้อมูลขาเข้าและความรู้เกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่าง ข้อมูลขาเข้าและข้อมูลขาออก เพื่อหาข้อสรุปที่เป็นผลลัพธ์ที่นำไปใช้งานต่อไป ระบบตรรกศาสตร์ฟัซซีที่ปรากฏในบทความเชิงวิชาการมีด้วยกัน 3 ประเภท ประเภทที่หนึ่ง ได้แก่ ระบบตรรกศาสตร์ฟัซซีล้วน ประเภทที่สองได้แก่ ระบบตรรกศาสตร์ฟัซซีของ Takagi และ Sugeno และประเภทที่สามได้แก่ ระบบตรรกศาสตร์ฟัซซีที่มีตัวแปลงฟัซซี (Fuzzyfier) และตัวแปลงกลับฟัซซี (Defuzzier)

##### 4.12.1 ระบบตรรกศาสตร์ฟัซซีล้วน

โครงสร้างพื้นฐานของระบบตรรกศาสตร์ฟัซซีล้วนประกอบด้วยชุดของกฎฟัซซีอยู่ในรูปของประโยคเงื่อนไข IF-THEN โดยมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องเป็นตัวแปรเชิงภาษากฎดังกล่าวเรียกว่ากฎฟัซซี นอกจากนั้นแล้วยังมีตัวนิรนัยฟัซซี (Fuzzy Interface Engine) ซึ่งใช้กฎฟัซซีดังกล่าวในการแปลงฐานข้อมูลขาเข้าซึ่งเป็นฟัซซีใน UOD ขาเข้าคือ U ไปเป็นผลลัพธ์ซึ่งเป็นเซตฟัซซีใน UOD ขาออก V โดยอาศัยหลักการของตรรกศาสตร์ฟัซซี กฎฟัซซีจะอยู่ในรูปประโยคเงื่อนไข IF-THEN เช่น

$$R_i : \text{IF } U \text{ is } A_i \text{ THEN } V \text{ is } B_i$$

โดย  $A_i$  และ  $B_i$  เป็นเซตฟัซซี U และ V เป็นตัวแปลงเชิงภาษาขาเข้าและขาออกตามลำดับ  $i=1,2,3,\dots,n$  จากการปฏิบัติพบว่าผู้เชี่ยวชาญไว้ในรูปของตัวแปรเชิงภาษา และใช้หลักตรรกศาสตร์การจัดการกับข้อมูลอย่างเป็นระบบ ข้อจำกัดของระบบตรรกศาสตร์ฟัซซีล้วนก็คือข้อมูลขาเข้าและข้อมูลขาออกนี้เป็นเอกสารที่สแกนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกจะต้องเป็นเซตฟัซซีในขณะที่ระบบเชิงวิศวกรรมทั่วไปข้อมูลขาเข้าและข้อมูลขาออกเป็นจำนวนจริง  
ค่าตายตัว (Crisp Value)

#### 4.12.2 ระบบตรรกศาสตร์ฟัซซีที่เสนอโดย Takagi และ Sugeno

Takagi และ Sugeno เสนอกฎฟัซซีในรูปแบบที่ต่างไปจากที่ใช้ในระบบตรรกศาสตร์ฟัซซี  
ล้วนก็คือ

$$Li : IF U \text{ is } A_i \text{ THEN } V_i \text{ is } f_i(u) \quad (4.29)$$

โดย  $A_i$  เป็นเซตฟัซซี  $f_i$  เป็นฟังก์ชันค่าจริงและ  $V$  เป็นข้อมูลขาออกของระบบเนื่องมาจาก  
กฎข้อที่  $i$  โดย  $i = 1, 2, 3, \dots, n$  นั่นคือในกฎข้างต้น ส่วนต้นเท่านั้นที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรเชิงภาษา และในส่วน  
ปลายจะเกี่ยวข้องกับค่าตายตัวคือเป็นฟังก์ชันของข้อมูลขาเข้า  $U$  สัญลักษณ์ข้อมูลขาออก  $V$  ของระบบฟัซซี  
ที่เสนอโดย Takagi และ Sugeno เป็นค่าเฉลี่ยของ  $V_i$  โดยตัวประกอบน้ำหนัก (Weighting Factor) เป็นค่า  
ความจริงของประโยคส่วนต้นของกฎแต่ละกฎซึ่งคำนวณได้โดยการใช้ตัวเชื่อมประโยค AND ในกรณีที่มี  
ข้อมูลขาเข้ามากกว่าหนึ่งตัว

โครงสร้างของระบบฟัซซีที่เสนอโดย Takagi และ Sugeno นำไปใช้ในการแก้ปัญหาต่างๆ  
มาแล้วมากมาย โดยวิธีนี้มีข้อได้เปรียบคือทำให้ได้สมการระบบที่กระชับรัดกุมทำให้สามารถประมาณ  
ค่าพารามิเตอร์เพื่อนำไปใช้ในระบบฟัซซีที่ง่ายกว่าระบบฟัซซีล้วน ส่วนข้อจำกัดของวิธีนี้ก็คือส่วน  
ผลลัพธ์ที่ไม่เป็นลักษณะของตัวแปรเชิงภาษาซึ่งเหมาะสมที่จะนำมาใช้อธิบายความรู้ที่ได้จากผู้เชี่ยวชาญ  
ซึ่งจะอยู่ในรูปของตัวแปรเชิงภาษาทั้งหมด

#### 4.12.3 ระบบตรรกศาสตร์ฟัซซีมีตัวแปลงฟัซซีและตัวแปลงกลับฟัซซี

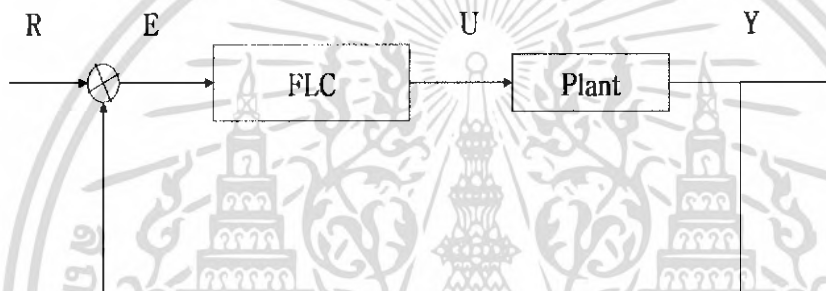
วิธีนี้มีการเพิ่มตัวแปลงฟัซซีและตัวแปลงกลับฟัซซีเข้าไปในส่วนข้อมูลขาเข้าและข้อมูล  
ขาออกของระบบฟัซซีล้วน โครงสร้างพื้นฐานของระบบตรรกศาสตร์ฟัซซีที่มีตัวแปลงฟัซซีและตัวแปลง  
กลับฟัซซีแสดงในรูป ตัวแปลงฟัซซีจะทำการแปลงข้อมูลค่าตายตัวใน  $U$  ให้เป็นเซตฟัซซีขาเข้าใน  $U$   
และตัวกลับฟัซซีจะแปลงเซตฟัซซีผลลัพธ์ใน  $V$  ให้เป็นข้อมูลตายตัวใน  $V$  ฐานกฎและตัวนิรนัยมีลักษณะ  
เหมือนที่ใช้ในระบบฟัซซีล้วนทุกประการ ในระบบความเชิงวิชาการมักเรียกระบบฟัซซีในลักษณะนี้ว่า  
ตัวควบคุมฟัซซี (Fuzzy Logic Control) เพราะใช้เป็นตัวควบคุมในการควบคุมกระบวนการ ระบบฟัซซี  
แบบนี้ถูกเสนอครั้งแรกโดย Mamdani และถูกใช้อย่างแพร่หลายในเวลาต่อมา

ระบบตรรกศาสตร์ฟัซซีที่มีตัวแปลงและตัวแปลงกลับฟัซซีมีข้อดีหลายประการ ประการแรกคือ  
มีความเหมาะสมที่จะใช้งานกับระบบวิศวกรรมทั่วไป เพราะข้อมูลขาเข้าและข้อมูลขาออกของระบบเป็น  
ขางจริงตายตัว ประการที่สองคือมีความเหมาะสมสำหรับใช้เก็บความรู้ของผู้เชี่ยวชาญทั้งส่วนต้นและส่วน  
ปลายของระบบเกี่ยวข้องกับตัวแปรเชิงภาษา และประการที่สามคือมีความยืดหยุ่นในการออกแบบคือ  
สามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขส่วนต่างๆ ของระบบได้หลายประการไม่ว่าจะเกี่ยวข้องกับตัวแปรฟัซซี, ตัว  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิรนัยฟัซซี และตัวแปลงกลับฟัซซี เพื่อให้เราออกแบบระบบฟัซซีให้เหมาะสมกับปัญหาหนึ่งๆ ได้มากที่สุด

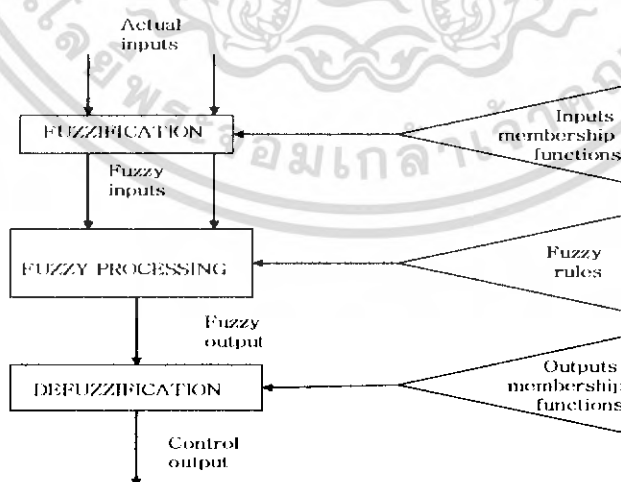
**4.13 ทฤษฎีการควบคุมด้วยฟัซซีลอจิก**

การควบคุมด้วยฟัซซีลอจิกที่ใช้ในการควบคุมระบบปิด สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.7 ซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญที่ใช้ในการควบคุมด้วยฟัซซีลอจิกพื้นฐาน การทำงานของฟัซซีลอจิกในระบบปิดนั้นก็เช่นเดียวกับ การควบคุมทั่วไป โดยค่า E ก็เป็นค่าความผิดพลาดจากระบบที่เกิดจากค่าที่กำหนด R เมื่อทำการควบคุม แล้วค่าที่ได้ในการควบคุมแล้วค่าที่ได้ในการควบคุมก็คือ U ก็ทำหน้าที่ควบคุมระบบการทำงานค่าที่วัดได้ ของระบบการทำงานก็คือ Y ค่า Y ที่ได้ก็จะนำไปหักล้างกับค่าที่กำหนดเกิดค่าความผิดพลาด โดยค่าความผิดพลาดนี้ก็จะนำไปทำการประมวลผลเพื่อการควบคุมในรอบต่อไป



รูปที่ 4.7 บล็อกโคะแกรมการควบคุมพื้นฐาน

ทฤษฎีฟัซซีลอจิกมีกระบวนการ ในการปฏิบัติงานอยู่ 3 ขั้นตอนซึ่งสามารถแบ่งการทำงานได้ แสดงดังรูปที่ 4.8 ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานดังนี้



รูปที่ 4.8 กระบวนการทำงานในฟัซซี

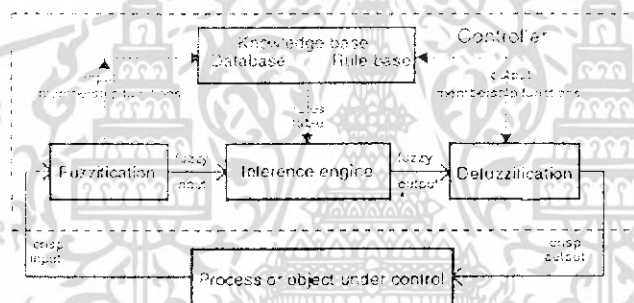
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การแปลงอยู่ในรูปฟัซซี (Fuzzification) วิธีการนี้เป็นกระบวนการเปลี่ยนรูปแบบของค่าป้อนเข้าจากระบบการทำงานของสิ่งที่กำหนดจริงให้เปลี่ยนอยู่ในรูปแบบค่าใหม่ที่มีความสัมพันธ์กับค่าป้อนเข้าจริง โดยอาศัยการกำหนดสมาชิกป้อนเข้าของฟัซซีเซต ในการออกแบบฟัซซีลอจิกของสมาชิกป้อนเข้านี้สามารถออกแบบได้หลายวิธี

2. กระบวนการฟัซซี (Fuzzy processing) เป็นกระบวนการการทำงานของระบบควบคุมการทำงานที่ถูกกำหนดให้อยู่ในรูปแบบกฎการทำงาน หรือเป็นตัวดำเนินการในการควบคุมผลลัพธ์ที่ได้นี้จะได้ค่าป้อนเข้าให้กับสมาชิกของเอาต์พุต

3. การแปลงกลับอยู่ในรูปค่าที่ใช้งานจริง (Defuzzification) เป็นกระบวนการที่เปลี่ยนค่าของผลลัพธ์ให้อยู่ในรูปแบบของค่าที่ควบคุมจริงของระบบการทำงานนั้น

จากขั้นตอนในการควบคุมการทำงานโดยใช้ฟัซซีลอจิกนั้นจะเห็นได้ว่า กระบวนการทั้ง 3 เป็นสิ่งที่ขาดไม่ได้สำหรับการออกแบบควบคุมการทำงานของระบบ ในการทำงานของระบบควบคุมการทำงานโดยใช้ฟัซซีทั่วๆ ไปสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.9



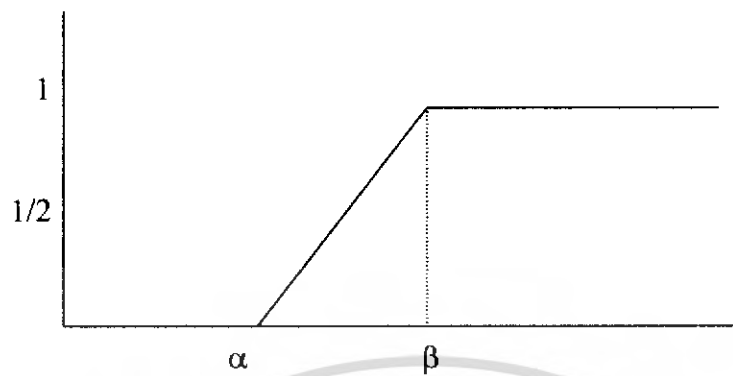
รูปที่ 4.9 การทำงานทั่วไปของการควบคุมโดยใช้ฟัซซีลอจิก

จากรูปที่ 4.9 แสดงบล็อกไดอะแกรมในเส้นประซึ่งเป็นตัวควบคุมระบบการทำงาน ภายในประกอบไปด้วยขั้นตอน และกระบวนการในการควบคุมโดยการรับค่าจริงจากระบบที่ถูกควบคุมและส่งค่าที่ได้จากขั้นตอนในการควบคุมไปควบคุมระบบ

#### 4.13.1 การออกแบบสมาชิกการแปลงอยู่ในรูปฟัซซี (Fuzzification)

ในการออกแบบสมาชิกเริ่มต้นของการควบคุมนั้น ได้อาศัยการออกแบบทางคณิตศาสตร์โดยอาศัยหลักการกำหนดให้อยู่ในรูปแบบความน่าจะเป็นไปได้ เช่น เมื่อเราต้องการค่าที่ได้ เท่ากับเลข 7 สิ่งที่ได้ในการออกแบบนั้นก็คือความน่าจะเป็นเลข 7 นั่นก็คือเลข 1 และเลขข้างเคียงเลข 7 ก็คือเลข 6 และเลข 8 ก็จะเป็น 0.8 เลขถัดออกมาก็คือเลข 5 และเลข 9 ก็อาจจะจะเป็น 0.5 และแนวโน้มเลขข้างเคียงก็จะลดลง ไปเรื่อย ๆ จนความน่าจะเป็นเท่ากับ 0 จากการออกแบบสมาชิกนี้ก็สามารถนำไปออกแบบรูปแบบการทำงานของสมาชิกป้อนเข้าได้ รูปแบบทางสมการก็อาจเป็นเส้นตรง เส้นโค้ง หรือรูปแบบทางสมการคณิตศาสตร์อื่น ๆ ก็ได้ การออกแบบสมาชิกมีรูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 ตัวอย่างสมการ  $\Gamma : U \rightarrow [0,1]$

จากรูปที่ 4.10 เป็นสมการที่อยู่ในรูปแบบของสมการที่มีสองตัวแปร โดยที่ค่า  $u$  เป็นค่าใด ๆ ซึ่งสามารถจัดอยู่ในรูปของสมการ 4.30 ดังนี้

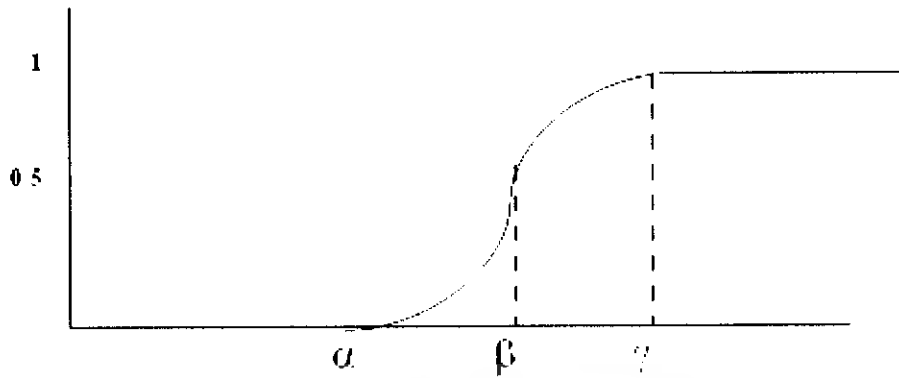
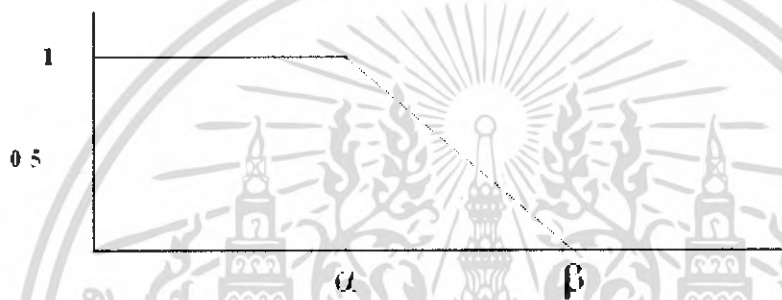
$$\Gamma(u; \alpha, \beta) = \begin{cases} 0 & u < \alpha \\ (u - \alpha) / (\beta - \alpha) & \alpha \leq u \leq \beta \\ 1 & u > \beta \end{cases} \quad (4.30)$$

จากรูปที่ 4.11 แสดงสมการอยู่ในรูปสมการ  $S$  (4.31) ซึ่งสามารถกำหนดได้ดังนี้

$$S(x; \alpha, \beta, \gamma) = \begin{cases} 0 & x < \alpha \\ 2 \left( \frac{x - \alpha}{\gamma - \alpha} \right)^2 & \alpha \leq x < \beta \\ 1 - 2 \left( \frac{x - \alpha}{\gamma - \alpha} \right)^2 & \beta \leq x \leq \gamma \\ 1 & x > \gamma \end{cases} \quad (4.31)$$

โดยที่  $\beta = (\alpha + \gamma) / 2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.11 ตัวอย่างสมการ  $S$ รูปที่ 4.12 ตัวอย่างสมการ  $Z$ 

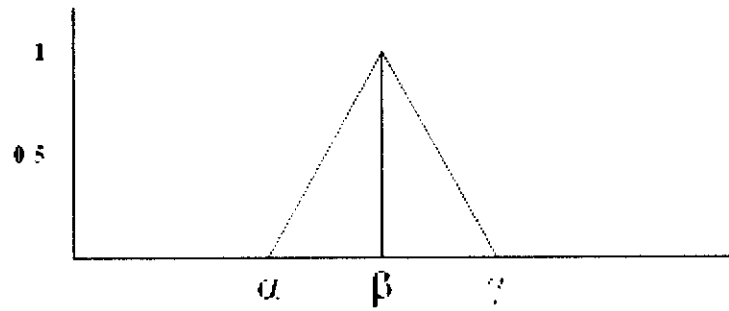
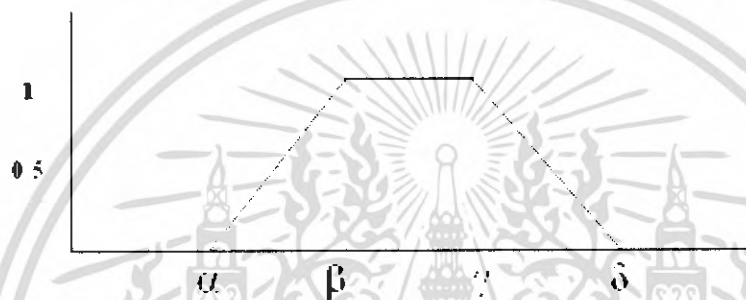
จากรูปที่ 4.12 เป็นตัวอย่างสมการ  $L$  (4.31) ซึ่งจะมีลักษณะรูปแบบคล้ายกับสมการ  $\Gamma$  ในรูปนี้สามารถแสดงสมการได้ดังนี้

$$L(u; \alpha, \beta) = \begin{cases} 1 & u < \alpha \\ (\alpha - u) / (\beta - \alpha) & \alpha \leq u \leq \beta \\ 0 & u > \beta \end{cases} \quad (4.32)$$

จากรูปที่ 4.13 เป็นรูปแบบของสมการทางการออกแบบพีชชีที่พบเห็นได้บ่อย สมการ  $\Lambda$  (4.33) นี้มีรูปแบบของสมการที่แสดงดังนี้

$$\Lambda(x; \beta, \gamma) = \begin{cases} 0 & u < \alpha \\ (u - \alpha) / \beta - \alpha & \alpha \leq u \leq \beta \\ (\alpha - u) / \beta - \alpha & \beta \leq u \leq \gamma \\ 1 & u > \gamma \end{cases} \quad (4.33)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.13 ตัวอย่างสมการ  $\Lambda$ รูปที่ 4.14 ตัวอย่างสมการ  $\Pi$ 

จากรูปที่ 4.14 แสดงตัวอย่างของกราฟในรูปสมการ  $\Pi$  (4.34) เป็นสมการอีกรูปแบบหนึ่งในการกำหนดสมาชิกของฟัซซี ซึ่งสามารถแสดงสมการได้ดังนี้

$$\Pi(u; \alpha, \beta, \gamma, \delta) = \begin{cases} 0 & u < \alpha \\ (u - \alpha) / (\beta - \alpha) & \alpha \leq u \leq \beta \\ 1 & \beta \leq u \leq \gamma \\ (\gamma - u) / (\delta - \gamma) & \gamma \leq u \leq \delta \\ 0 & u > \delta \end{cases} \quad (4.34)$$

รูปแบบต่าง ๆ ของสมการที่แสดงให้เห็นก่อนหน้านี้ เป็นรูปแบบของสมการที่ได้ใช้กำหนดสมาชิกของฟัซซี เพื่อนำไปออกแบบการทำงานของระบบค่าของผลลัพธ์ที่เกิดจากสมการในรูปแบบต่าง ๆ ที่ได้แสดงนี้จะเห็นได้ว่ามีค่าผลลัพธ์อยู่ในช่วงระหว่าง 0 ถึง 1 ซึ่งค่าที่อยู่ในช่วงนี้จะถูกนำไปคำนวณด้วยการออกแบบกฎการทำงานต่อไป

#### 4.13.2 การออกแบบกฎการทำงาน

การออกแบบกฎของฟัซซีนีได้อาศัยความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ กำหนดเป็นเงื่อนไข เช่น ถ้าเราต้องการลมแรง ๆ แต่ผลที่วัดได้ของลมมีค่าผิดพลาดมาก ๆ ดังนั้นเราก็ต้องป้อนสัญญาณให้มากขึ้นและเหมาะสมด้วย เป็นต้น การที่เราต้องเปิดพัดลมให้มาก ๆ นี้ก็จะส่งผลต่อการทำงานของระบบ และค่าความเอกซารนี้เป็นเอกซารที่สวนงวไ้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผิดพลาดการทำงานก็จะน้อยลง จากความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ที่กำหนดรวมถึงประสบการณ์ในการออกแบบสามารถนำมากำหนดเป็นเงื่อนไข นั่นก็คือการออกแบบกฎการทำงาน

การออกแบบกฎการทำงานนั้น มีวิธีการที่สามารถนำไปซึ่งการออกแบบกฎการทำงานโดยอาศัยวิธีการอยู่หลายวิธีเพื่อที่จะได้การทำงานที่ดี วิธีการที่ใช้ในการออกแบบกฎการทำงานทั่วไปที่ใช้ในการควบคุมการทำงาน อาทิเช่น การอาศัยประสบการณ์ในการออกแบบหรือความรู้ในการควบคุม อาศัยความรู้จากสมการคณิตศาสตร์ สมการทางฟิสิกส์จากกระบวนการ การเรียนรู้จากการควบคุมการทดลอง

การควบคุมการทำงานของกฎฟัซซีลอจิกนั้น วิธีการในการดำเนินงานของกฎนั้นมีทฤษฎีในการออกแบบหลายวิธี ส่วนมากแล้ว โดยทั่วไปที่มักพบเห็นในการควบคุมการทำงาน ในการดำเนินการทำงานของกฎนั้นมี

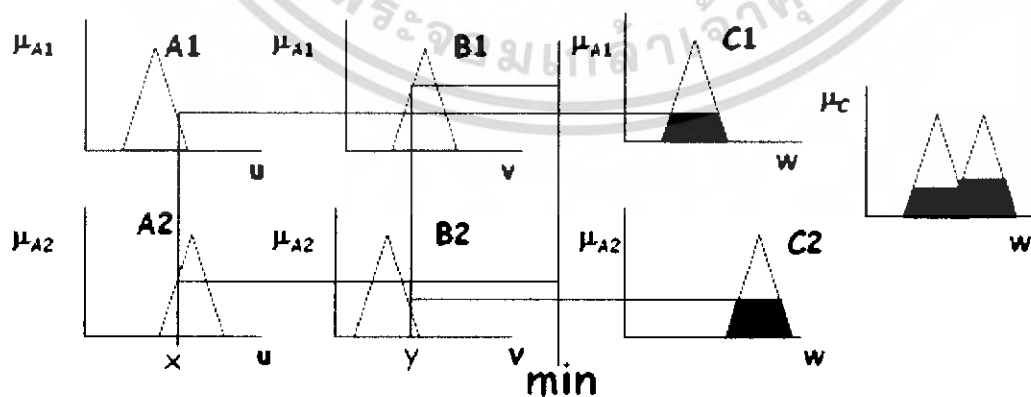
#### 4.13.2.1 ทฤษฎี MAX – Min ( Mamdani's Minimum )

วิธีการของทฤษฎีนี้ได้อาศัยความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ในเรื่องเซตล้นับเซตดังตัวอย่างรูปที่ 4.15 สมาชิกฟัซซีของ A1 A2 B1 และ B2 ซึ่งเป็นสมาชิกของฟัซซีที่เราได้ออกแบบ โดยค่า  $X_0$  และ  $Y_0$  ก็คือ ค่าที่เกิดจากอินพุทของระบบจากการทำงานที่วัดได้ กระบวนการนี้จะทำหน้าที่แปลงค่าเป็นอินพุทของฟัซซีลอจิก (Fuzzification) ค่าที่ได้จะอยู่ในรูปสมาชิกที่มีค่า 0 ถึง 1 โดยแต่ละสมาชิกของฟัซซี A1 A2 B1 และ B2 ก็จะมีค่าที่ต่างกันนี้เมื่อนำมาออกกฎการทำงานดังตัวอย่างจากเงื่อนไขเช่น

IF x is A1 and y is B1 then z is C1

IF x is A2 and y is B2 then z is C2

จากรูปที่ 4.15 เมื่อใช้ทฤษฎีของ Mamdani's Minimum ผลลัพธ์ที่ได้จากเงื่อนไข ค่าที่เกิดขึ้นในสมาชิกของ C1 และ C2 ก็คือ ค่าพื้นที่แรเงา ซึ่งค่า C1 และ C2 เป็นค่าผลลัพธ์ของสมาชิกเอาพุต แต่ยังไม่ได้ทำการแปลงกลับเป็นค่าที่จะนำไปใช้งาน

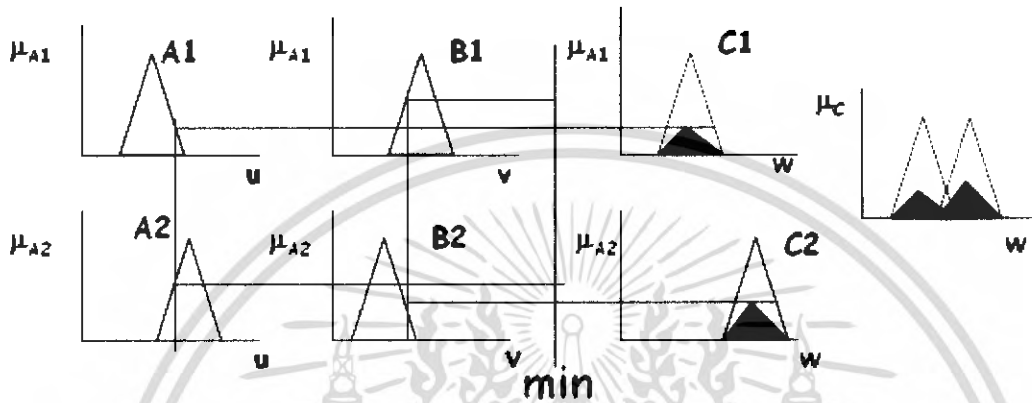


รูปที่ 4.15 แสดงภาพการทำงานของ ทฤษฎี Max – Min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.13.2 ทฤษฎี Max-Dot (Larson's Product)

วิธีการนี้ก็คล้ายเช่นเดียวกับการออกแบบ Max-Min แต่จะต่างกันตรงที่การออกแบบจะเป็นในรูปของสเกลที่เกิดจากการคูณกันของสมาชิกฟัซซีในแต่ละสมาชิกที่เกิดจากอินพุทของระบบการทำงาน จากรูปที่ 4.16 อาศัยกฎการออกแบบ และ เงื่อนไขซึ่งใช้เหมือนกันกับทฤษฎี Max-Min ผลลัพธ์ที่ได้ ในทฤษฎี max-Dot สามารถแสดงในส่วนพื้นที่แรเงา



รูปที่ 4.16 แสดงการทำงานของทฤษฎี Max-Dot

ผลลัพธ์ที่ได้จากการออกแบบสมาชิก และตั้งกฎการทำงานจะทำให้ค่าของสมาชิกเอาพุทของสมาชิกเอาพุทมีค่าต่างกันไป ในการที่จะนำค่าของสมาชิกไปใช้งานในการควบคุมระบบจะต้องทำการแปลงค่าให้ได้ค่าที่เรานำไปใช้งานควบคุมจริง

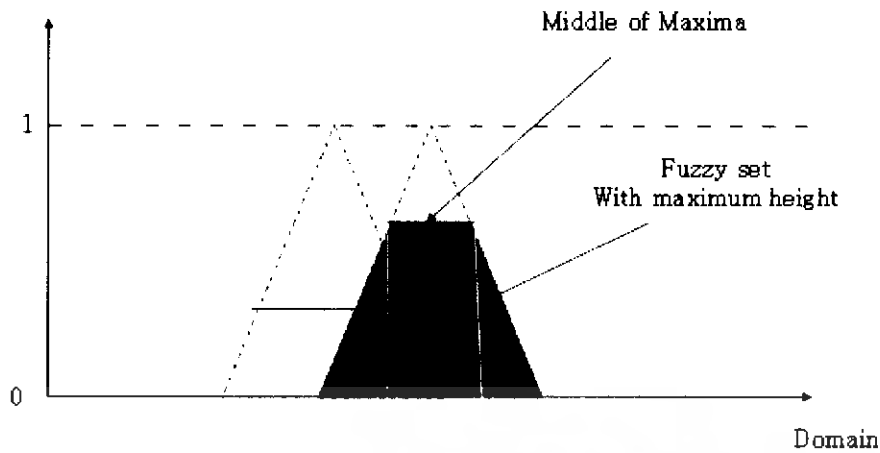
#### 4.13.3 การออกแบบสมาชิกเอาพุทของฟัซซี (Defuzzification)

การออกแบบสมาชิกเอาพุทของการทำงาน รูปแบบสมการคณิตศาสตร์ที่ใช้หรือฟังก์ชันสมาชิกในการออกแบบมีการออกแบบเช่นเดียวกับการออกแบบสมาชิกอินพุท การออกแบบนั้นจะต้องกำหนดช่วงขอบเขตของอุปกรณ์ หรือผลลัพธ์ที่จะนำไปใช้งานจริง กระบวนการที่จะนำไปซึ่งผลลัพธ์นั้นต้องทำการแปลงกลับจากค่าสมาชิกเอาพุทที่ได้ การแปลงค่าเพื่อนำไปใช้งานจริงมีอยู่หลายวิธีการ โดยส่วนมากที่พบเห็นได้บ่อย ก็คือ ทฤษฎีค่าเฉลี่ยสูงสุด (Mean of maximum MOM method) ทฤษฎีค่าจุดศูนย์กลางพื้นที่ (Center of area COA method) และ ยังมีวิธีการอื่น ๆ อีกหลายวิธี

##### 4.13.3.1 ทฤษฎีค่าเฉลี่ยสูงสุด (Mean of maximum MOM method)

พื้นที่ที่ได้จากรูปที่ 4.15 และ 4.16 จะเห็นพื้นที่แรเงาที่ได้จากการออกแบบซึ่งเกิดจากค่าผลลัพธ์จากสมาชิกเอาพุทและกระบวนการในการทำงาน ค่าที่ได้ในการทำงานแต่ละครั้งในรอบการทำงาน พื้นที่แรเงาที่ได้จะต่างกัน ขึ้นอยู่กับค่าที่ป้อนให้กับระบบแต่ละครั้ง ในการหาค่าผลลัพธ์ที่ได้จากพื้นที่แรเงาจากรูปที่ 4.17 โดยใช้ทฤษฎีค่าเฉลี่ยสูงสุด (MOM) จะนำค่าสูงสุดของขอบซ้ายพื้นที่แรเงา และค่าสูงสุดของขอบขวาพื้นที่แรเงา มาหาค่าเฉลี่ย ค่าที่ได้คือค่าเอาพุทของตัวควบคุม

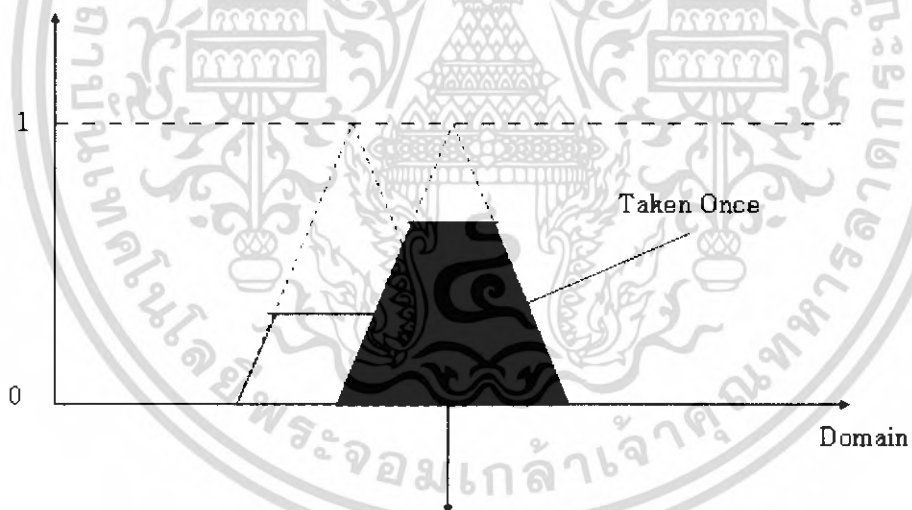
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 ทฤษฎีค่าเฉลี่ยสูงสุด

#### 4.13.3.2 ทฤษฎีค่าจุดศูนย์กลางพื้นที่ ( Center of Area COA method )

ทฤษฎีค่าจุดศูนย์กลางพื้นที่หาจากพื้นที่ที่เราที่ได้จากผลลัพธ์ที่เกิดการออกแบบสมาชิก อินพุตและการออกแบบกฎการทำงาน ซึ่งแต่ละครั้งในรอบการทำงานจะทำให้ได้พื้นที่ที่เราเกิดขึ้น ทฤษฎีนี้ต้องหาพื้นที่จุดศูนย์กลางพื้นที่ที่เรา ค่าผลลัพธ์ที่ได้นั้นก็คือค่าที่นำไปใช้งานในระบบควบคุมการทำงาน



รูปที่ 4.18 ทฤษฎีค่าจุดศูนย์กลางพื้นที่

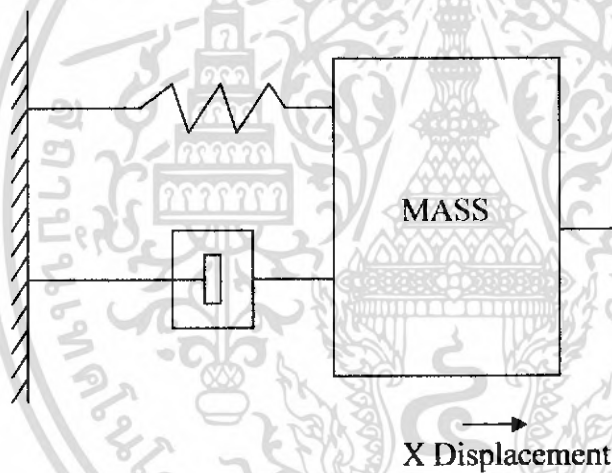
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

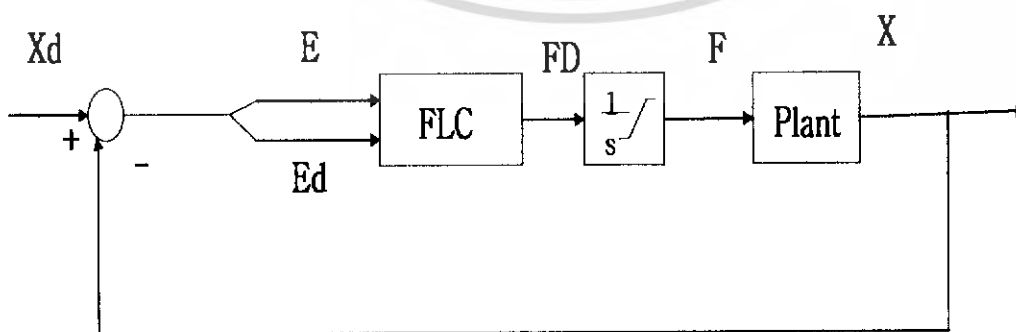
### การจำลองการควบคุมระบบมวลติดสปริงและตัวหน่วง

#### 5.1 การออกแบบการควบคุมระบบมวลติดสปริงและตัวหน่วง

ในการออกแบบครั้งนี้จะเป็นการออกแบบตัวควบคุมฟuzzyพีไอ เพื่อใช้ในการควบคุมระบบมวลที่ติดสปริงและตัวหน่วงดังแสดงในรูปที่ 5.1 ซึ่งโปรแกรมที่เขียนขึ้นมาเพื่อนำไปใช้ในการควบคุมแกนกลไฮดรอลิก โดยการเปลี่ยนแปลงค่าอินพุต เอาท์พุท และปรับค่าความเป็นสมาชิกให้เหมาะสม การควบคุมการทำงานของระบบจะเป็นดังแสดงในรูปที่ 5.2 โดย E เป็นค่าความผิดพลาด, ED เป็นค่าอัตรา การเปลี่ยนแปลงความผิดพลาด, FD เป็นค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ, F เป็นค่าสัญญาณในการ ควบคุมการทำงานของระบบ, Xd เป็นค่าที่กำหนด และ X เป็นค่าเอาท์พุทของระบบ การออกแบบระบบ การทำงานได้อาศัยความสัมพันธ์ของค่าความผิดพลาดและอัตราการเปลี่ยนแปลงความผิดพลาดในการ ออกแบบ



รูปที่ 5.1 แสดงการจัดวางตำแหน่งของระบบมวลติดสปริงและตัวหน่วง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ โดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 การออกแบบสมาชิกอินพุต, เอาท์พุท และกฎการทำงานของการควบคุม

การออกแบบสมาชิกอินพุทของระบบมวลคิดสปริงและตัวหน่วง ค่าอินพุทของสมาชิกได้ออกแบบจากค่าความผิดพลาดของการกระจัดและค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความผิดพลาดของการกระจัด โดยได้กำหนดค่าความเป็นสมาชิกของอินพุท ดังแสดงในรูปที่ 5.3 ซึ่งการออกแบบกำหนดค่าความเป็นสมาชิกของเอาท์พุท ค่าเอาท์พุทของสมาชิกได้ออกแบบให้เห็นเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงของแรง ดังแสดงในรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.3 ค่าความเป็นสมาชิกของอินพุท

รูปที่ 5.4 ค่าความเป็นสมาชิกของเอาท์พุท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## โดยกำหนดให้

NEG	=	Negative Error
SN	=	Small Negative Error
ZE	=	Zero Error
SP	=	Small Positive Error
POZ	=	Positive Error
INC	=	Increasing of Displacement
Z	=	No change in Error
DEC	=	Decreasing of Displacement
D	=	Decreasing of Output
SD	=	Slow Decreasing of Output
NA	=	No Action
SI	=	Slow Increasing of Output
I	=	Increasing of Output

ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นสมาชิกอินพุตและค่าความเป็นสมาชิกเอาต์พุต จะถูกประมวลผลด้วยกฎการทำงานของการควบคุมดังนี้

1. IF (E is ZE) and (ED is DE) THEN (FD is NA)
2. IF (E is ZE) and (ED is Z) THEN (FD is NA)
3. IF (E is SP) and (ED is IN) THEN (FD is NA)
4. IF (E is SP) and (ED is DE) THEN (FD is SI)
5. IF (E is SP) and (ED is Z) THEN (FD is SI)
6. IF (E is SP) and (ED is IN) THEN (FD is NA)
7. IF (E is POZ) and (ED is DE) THEN (FD is I)
8. IF (E is POZ) and (ED is Z) THEN (FD is I)
9. IF (E is POZ) and (ED is IN) THEN (FD is SI)
10. IF (E is SN) and (ED is DE) THEN (FD is NA)
11. IF (E is SN) and (ED is Z) THEN (FD is SD)
12. IF (E is SN) and (ED is IN) THEN (FD is SD)
13. IF (E is NEG) and (ED is DE) THEN (FD is SD)
14. IF (E is NEG) and (ED is Z) THEN (FD is D)
15. IF (E is NEG) and (ED is IN) THEN (FD is D)

เมื่อ E คือค่าความผิดพลาด, ED คือ ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงความผิดพลาด และ FD คือ ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3 การจำลองการควบคุมระบบมวลติดสปริงและตัวหน่วง

การจำลองเป็นวิธีการที่ทำให้สามารถหาแนวทางการทำงานของระบบที่ทำการควบคุม ซึ่งแบบจำลองของระบบนี้ได้แสดงแนวโน้มในการทำงานมีความเป็นไปได้มากขึ้นเพียงใด โดยแบบจำลองที่สร้างขึ้นสามารถหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมต่อการทำงานตามที่ต้องการและวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองระบบ

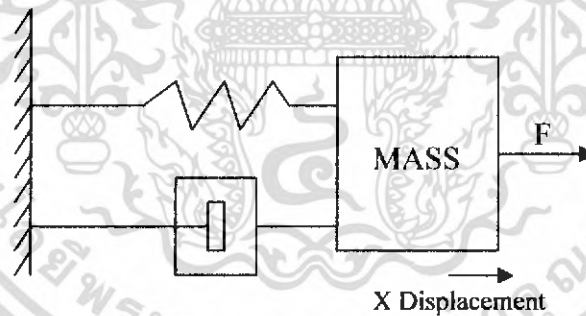
การจำลองระบบมวลติดสปริงและตัวหน่วงเป็นการศึกษาการควบคุมการเคลื่อนที่ของมวล โดยการออกแบบสัญญาณควบคุมและวิธีการควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบพีซีซึ่งล่อจิกเพื่อทดสอบการทำงานของระบบ, สังเกตผลการตอบสนองของระบบและเปรียบเทียบผลการตอบสนองของระบบกับการควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ

#### 5.3.1 วิธีการทดลอง

การทดลองเป็นการทำการทดลองแบบจำลองของระบบมวลติดสปริงและตัวหน่วง ดังแสดงในรูปที่ 5.5 โดยแสดงค่าต่าง ๆ ดังนี้

ค่าคงที่ของสปริง (k)	100	นิวตันต่อเมตร
ค่ามวล (m)	1	กิโลกรัม
ค่าคงที่ของตัวหน่วง (d)	6	นิวตัน-วินาทีต่อเมตร

โดยทำการทดลองที่ค่าการกระจัดได้แก่ 0.2 เมตร, 0.4 เมตร, 0.6 เมตร, 0.8 เมตร และ 1 เมตร



รูปที่ 5.5 แสดงระบบมวลติดสปริงและตัวหน่วง

### 5.4 ผลการทดลอง

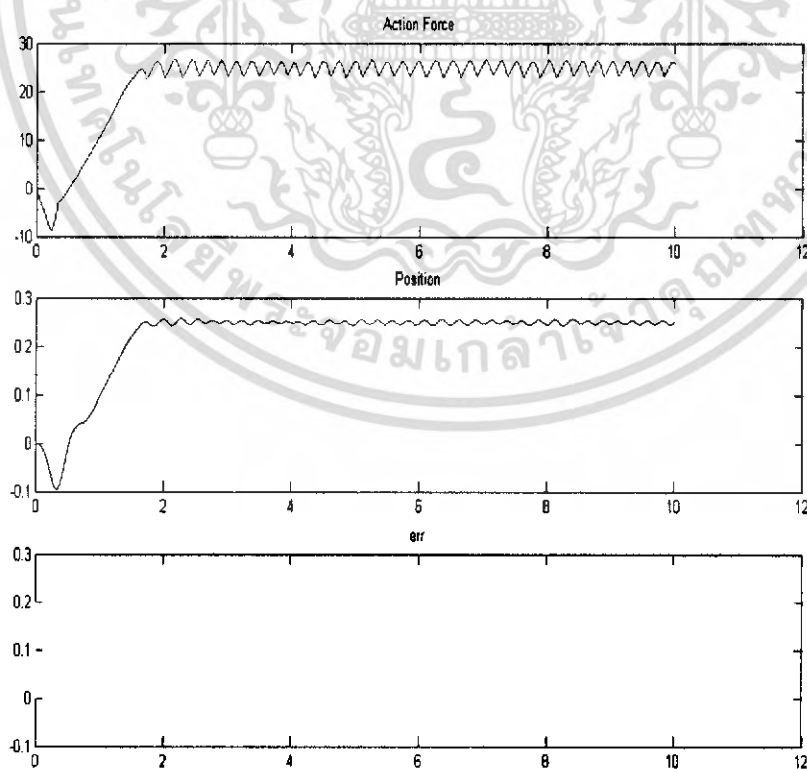
1. ผลการทดลองโดยการควบคุมแบบจำลองของระบบมวลติดสปริงและตัวหน่วงด้วยการควบคุมแบบพีซี จะได้ค่าเปอร์เซ็นต์โอเวอร์ชูต (percent overshoot) และค่าเวลาปรับตั้ง (settling time) ดังตารางแสดงผลด้านล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกระจัด (m)	เปอร์เซ็นต์โอเวอร์ชูต (%OS)	ค่าเวลาปรับตั้ง (s)
0.2	0	1.73
0.4	0	3.12
0.6	0	5.01
0.8	0	6.58
1.0	0	8.35

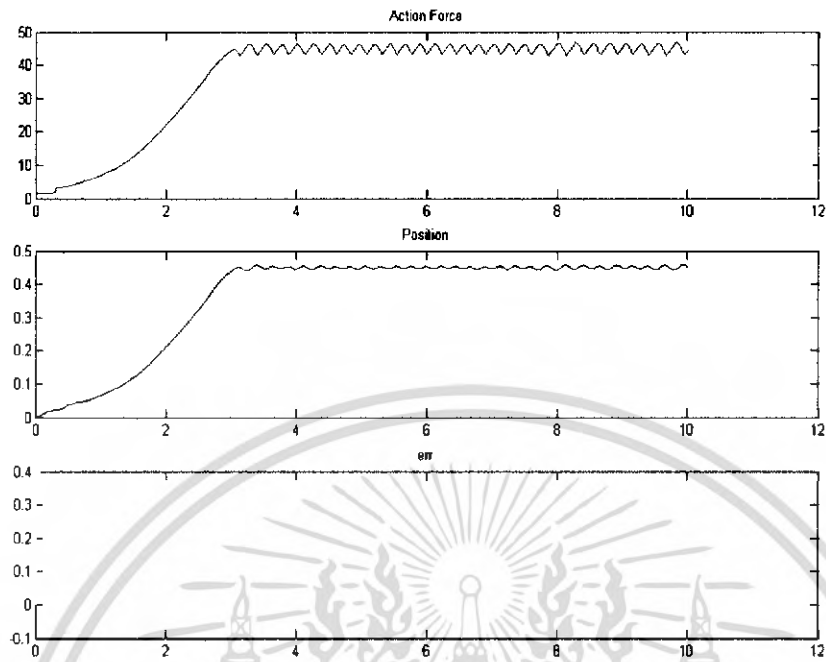
รูปที่ 5.6 ตารางแสดงค่าเปอร์เซ็นต์โอเวอร์ชูตและค่าเวลาปรับตั้ง ณ ค่าการกระจัดต่าง ๆ เมื่อควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบพีซีซี

ผลการทดลองในตารางได้แสดงถึงความชัดเจนด้วยกราฟ ดังรูปแสดงผลด้านล่าง

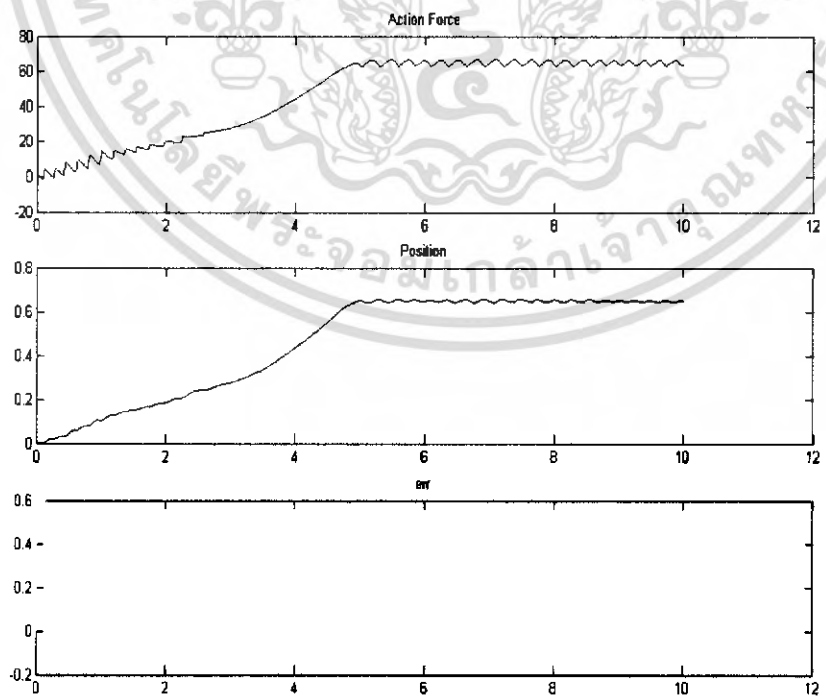


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.7 แสดงผลการทดลองเมื่อการกระจัดเท่ากับ 0.2 เมตร โดยใช้ฟิซที่ควบคุม

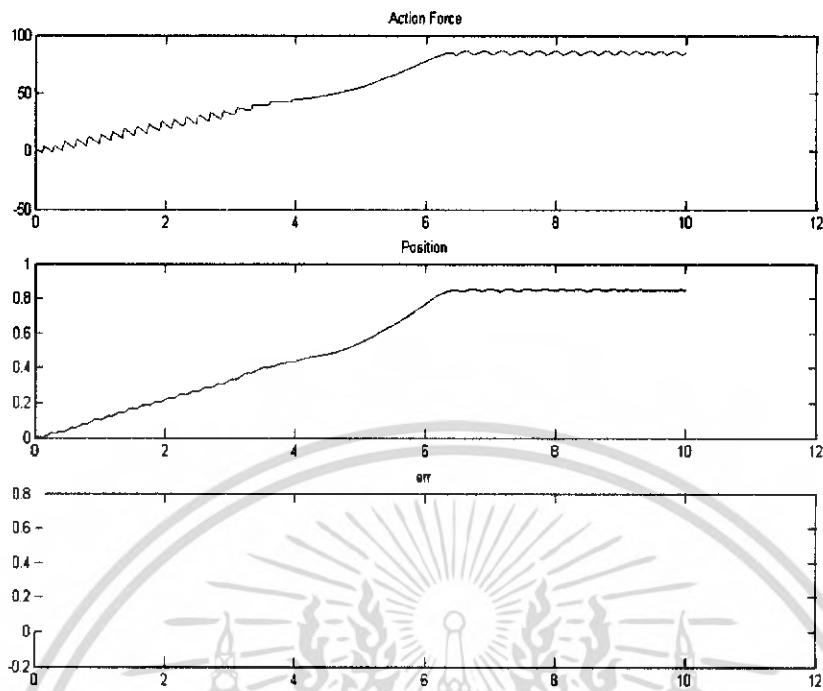


รูปที่ 5.8 แสดงผลการทดลองเมื่อการกระจัดเท่ากับ 0.4 เมตร โดยใช้ฟิซที่ควบคุม

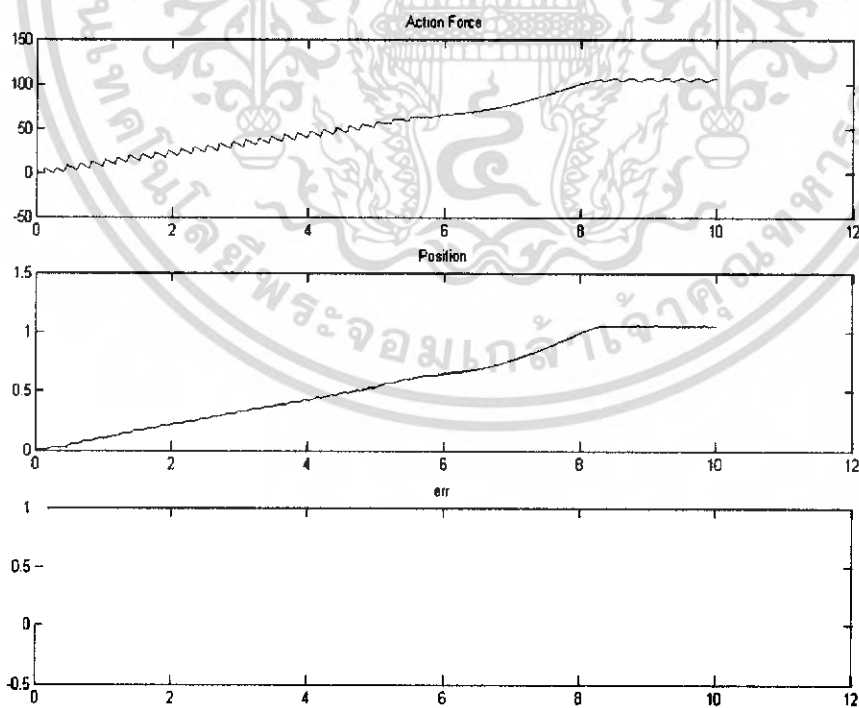


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.9 แสดงผลการทดลองเมื่อการกระจัดเท่ากับ 0.6 เมตร โดยใช้ฟิซซ์ควบคุม



รูปที่ 5.10 แสดงผลการทดลองเมื่อการกระจัดเท่ากับ 0.8 เมตร โดยใช้ฟิซซ์ควบคุม



รูปที่ 5.11 แสดงผลการทดลองเมื่อการกระจัดเท่ากับ 1.0 เมตร โดยใช้ฟิซซ์ควบคุม

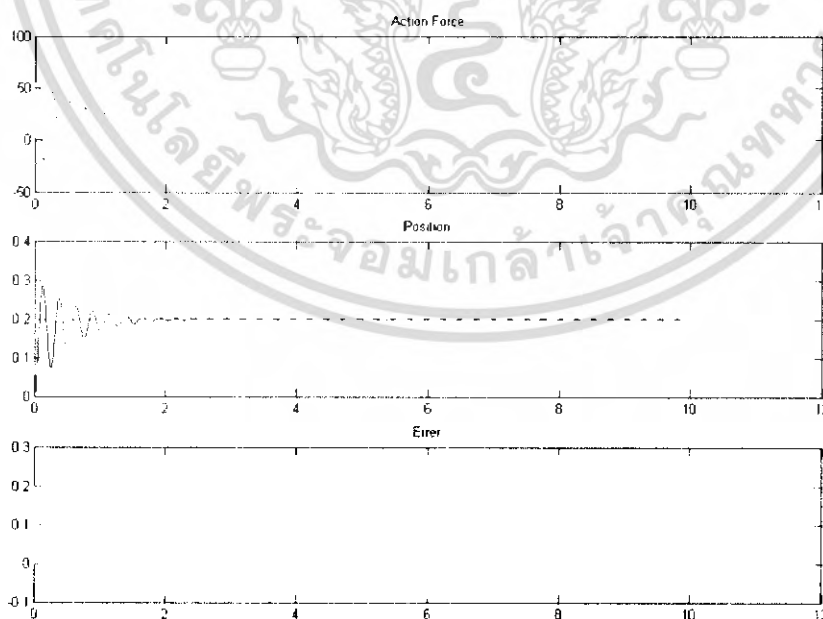
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ผลการทดลองโดยการควบคุมแบบจำลองของระบบมวลติดสปริงและตัวหน่วงด้วยต่อควบคุมแบบพีไอ จะได้ค่าเปอร์เซ็นต์โอเวอร์ชูต (percent overshoot) และค่าเวลาปรับตั้ง (settling time) ดังตารางแสดงผลด้านล่าง

การกระจัด (m)	เปอร์เซ็นต์โอเวอร์ชูต(%OS)	ค่าเวลาปรับตั้ง (s)
0.2	26.35	1.87
0.4	42.05	2.03
0.6	42.08	2.01
0.8	42.05	2.11
1.0	42.04	1.85

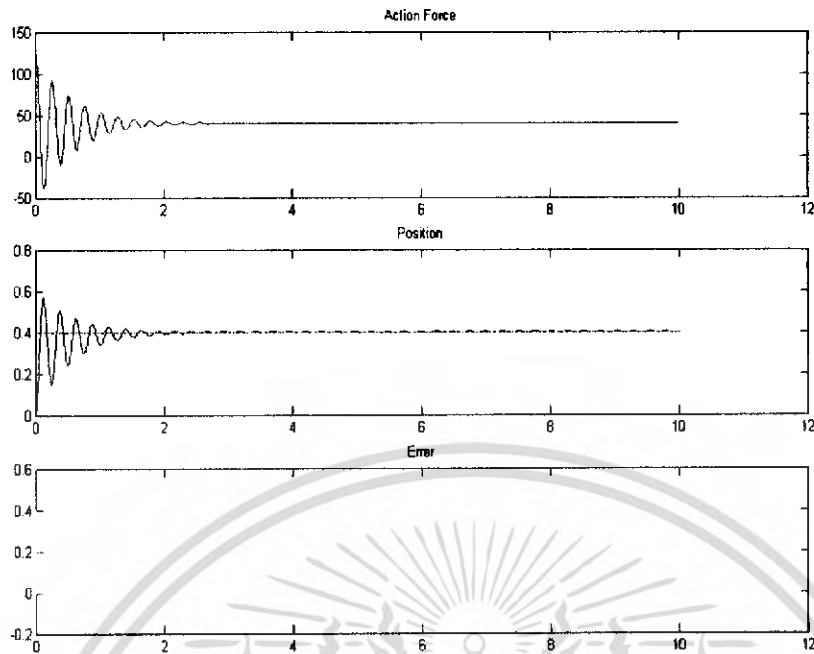
รูปที่ 5.12 ตารางแสดงค่าเปอร์เซ็นต์โอเวอร์ชูตและค่าเวลาปรับตั้ง ณ ค่าการกระจัดต่าง ๆ เมื่อควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ

ผลการทดลองในตารางได้แสดงถึงความชัดเจนด้วยกราฟ ดังรูปแสดงผลด้านล่าง

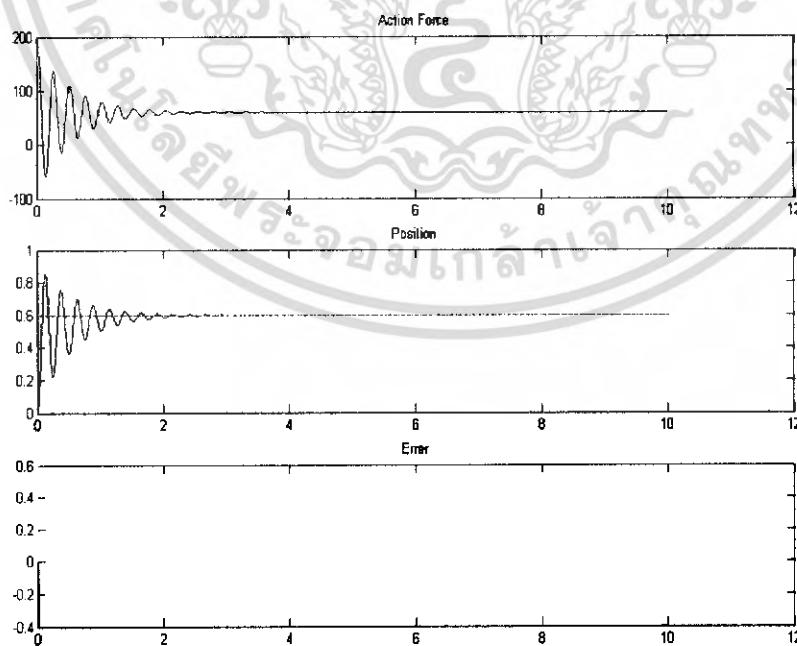


รูปที่ 5.13 แสดงผลการทดลองเมื่อการกระจัดเท่ากับ 0.2 เมตร โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

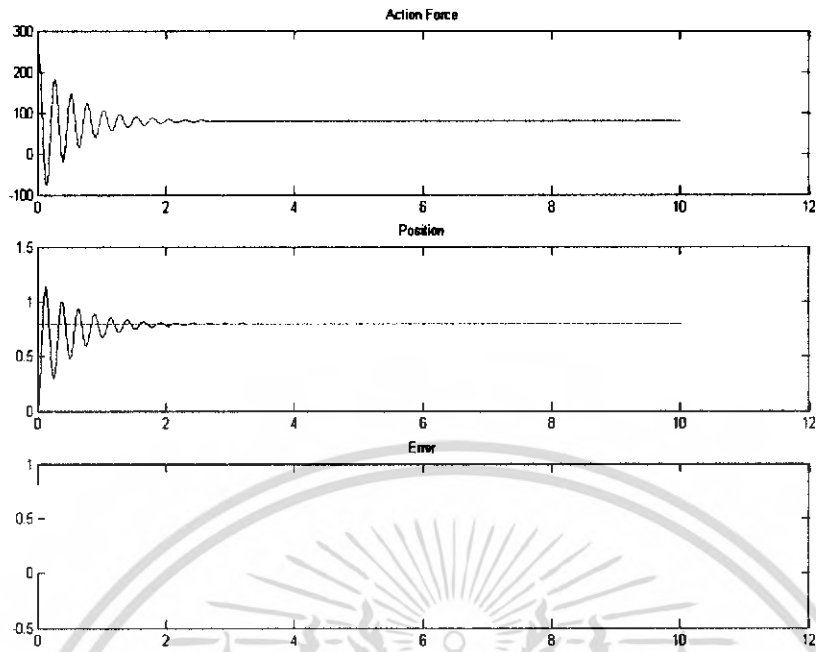


รูปที่ 5.14 แสดงผลการทดลองเมื่อการกระจัดเท่ากับ 0.4 เมตร โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ

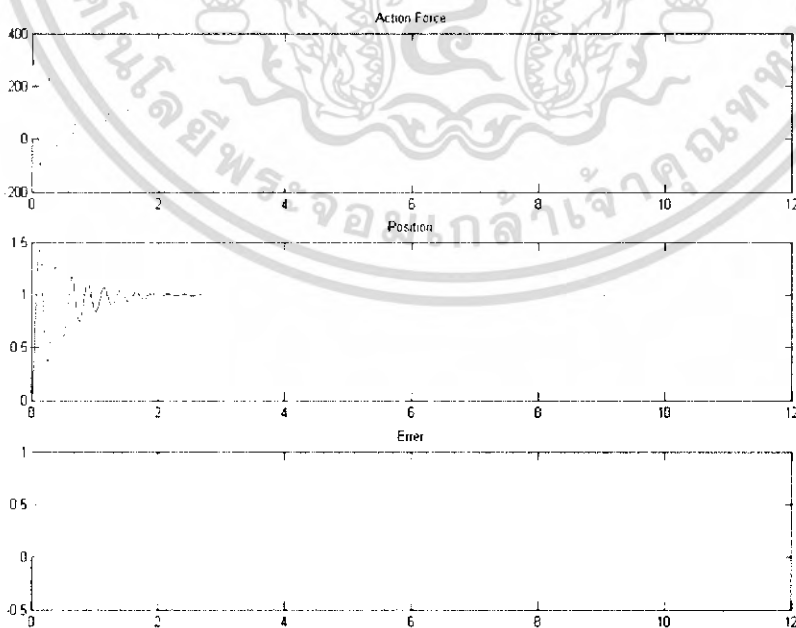


รูปที่ 5.15 แสดงผลการทดลองเมื่อการกระจัดเท่ากับ 0.6 เมตร โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.16 แสดงผลการทดลองเมื่อการกระทำเท่ากับ 0.8 เมตร โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.17 แสดงผลการทดลองเมื่อการกระจัดเท่ากับ 1.0 เมตร โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ

#### 5.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองได้แสดงให้เห็นว่าผลที่ได้จากตัวควบคุมแบบพีซีลยจิกจะไม่มีค่าเปอร์เซ็นต์โอเวอร์ชูต (percent overshoot) แต่ค่าเวลาปรับตั้ง (setting time) จะมากกว่าผลการทดลองที่ได้จากตัวควบคุมแบบพีไอ ซึ่งค่าเวลาปรับตั้งอาจสามารถปรับปรุงให้มีค่าน้อยลงได้อีก โดยการออกแบบค่าความเป็นสมาชิกของเอาต์พุตให้เหมาะสมกว่านี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

### การออกแบบการควบคุมระบบแกนกลไฮดรอลิก

#### 6.1 การออกแบบการควบคุมระบบแกนกลไฮดรอลิก

ในการออกแบบครั้งนี้จะเป็นการออกแบบตัวควบคุมพีซีพีไอ เพื่อใช้ในการควบคุมระบบแกนกลไฮดรอลิกดังแสดงในรูปที่ 6.1 ซึ่ง โปรแกรมที่เขียนขึ้นนี้มีแนวทางมาจากการออกแบบจำลองควบคุมระบบมวลติดสปริงและตัวหน่วง โดยการเปลี่ยนแปลงค่าอินพุท, เอาท์พุท และปรับค่าความเป็นสมาชิกให้เหมาะสม การควบคุมการทำงานของระบบจะเป็นดังแสดงในรูปที่ 6.2 โดย E เป็นค่าความผิดพลาด, ED เป็นค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงความผิดพลาด, FD เป็นค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ, F เป็นค่าสัญญาณในการควบคุมการทำงานของระบบ,  $v_d$  เป็นค่าที่กำหนด และ  $v$  เป็นค่าเอาท์พุทของระบบ การออกแบบระบบการทำงานได้อาศัยความสัมพันธ์ของค่าความผิดพลาดของความเร็วและอัตราการเปลี่ยนแปลงความผิดพลาดของความเร็วในการออกแบบ โดยไปควบคุมสัญญาณของโซลินอยด์วาล์ว ซึ่งในโครงการนี้ได้ควบคุมด้วยพีซีพีไอที่เลียนแบบการทำงานของควบคุมแบบพีไอ โดยหลักการทำงานของควบคุมแบบพีไอ มีดังนี้

$$U_{PI} = K_p e + K_I \int_0^t e dt \quad (6.1)$$

$$\dot{U}_{PI} = K_p \dot{e} + K_I e \quad (6.2)$$

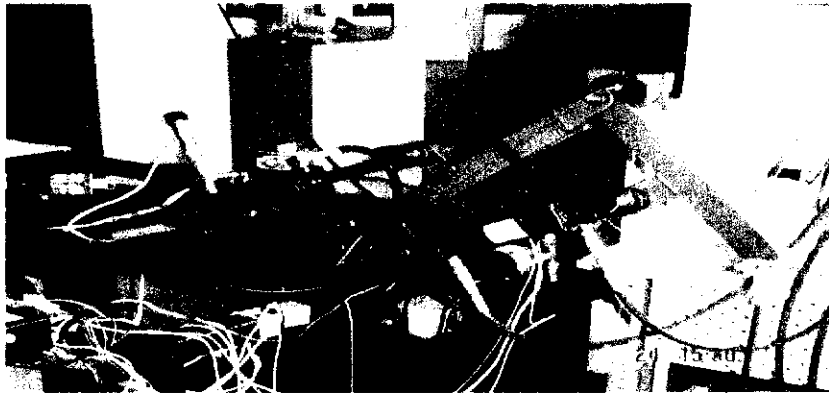
โดย  $K_p$  คือ เกนของตัวควบคุมเชิงสัดส่วน  
 $K_I$  คือ เกนของตัวควบคุมเชิงอินทิกรัล  
 $e$  คือ ความผิดพลาด  
 $t$  คือ เวลา

ซึ่งในการออกแบบตัวควบคุมแบบพีซีพีไอได้อาศัยสมการ 6.2 ในการออกแบบการทำงาน ดังรูปที่ 6.2 เอาท์พุทของตัวควบคุมแบบพีซีพีไอ คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเอาท์พุท ซึ่งจะต้องทำการแปลงให้เป็นสัญญาณเอาท์พุทเสียก่อนดังนี้

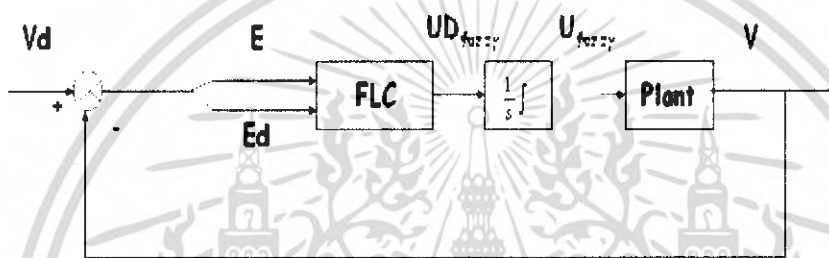
$$U_{fuzzy} = (UD_{fuzzy} \times t) + U_{fuzzy(oid)} \quad (6.3)$$

โดย  $U_{fuzzy}$  คือ เอาท์พุทที่ได้จากตัวควบคุมแบบพีซีพีไอ  
 $UD_{fuzzy}$  คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของเอาท์พุทที่ได้จากตัวควบคุมแบบพีซีพีไอ  
 $U_{fuzzy(oid)}$  คือ เอาท์พุทของการควบคุมรอบก่อนหน้า  
 $t$  คือ เวลา

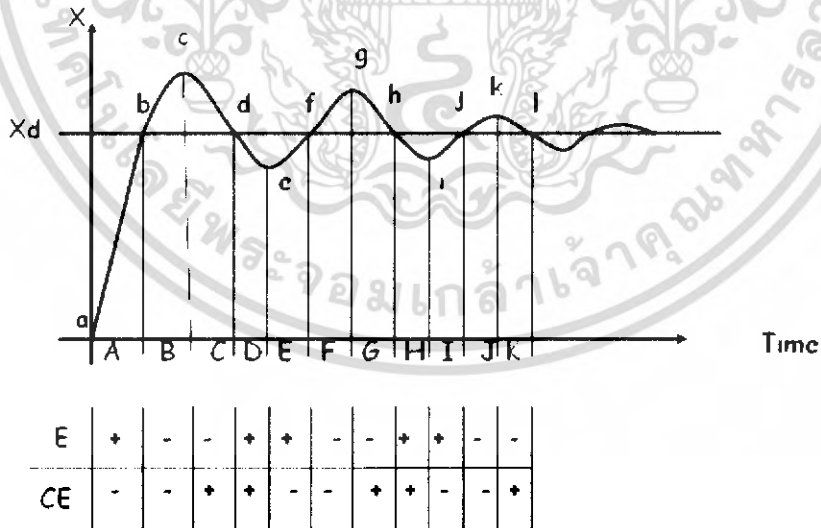
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.1 แสดงระบบแขนกลไฮดรอลิก



รูปที่ 6.2 แสดงการออกแบบระบบควบคุมด้วยฟัซซีฟิวอิ

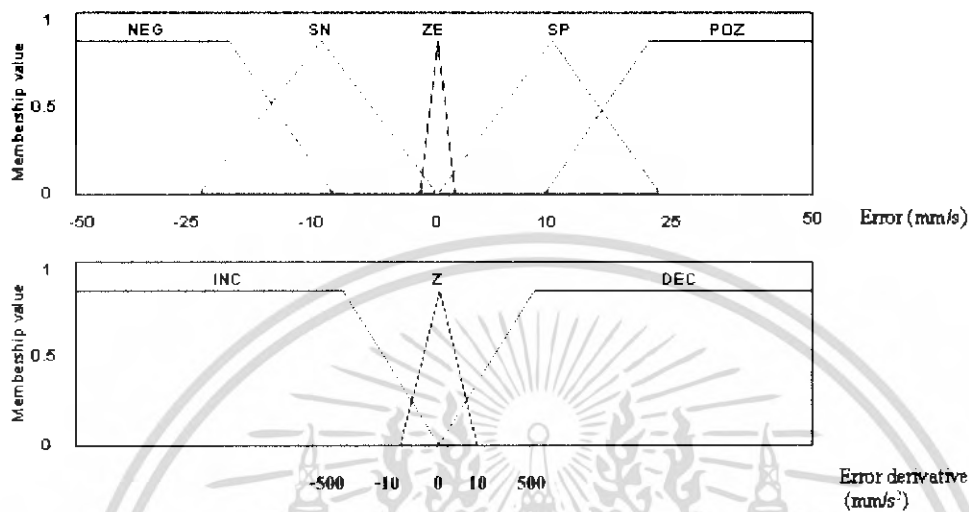


รูปที่ 6.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าอาห์พุกของระบบในการวิเคราะห์

การออกแบบในโครงการนี้ได้อาศัยความสัมพันธ์จากข้างต้น ในการออกแบบระบบควบคุมระบบแขนกลไฮดรอลิก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6.2 การออกแบบสมาชิกอินพุต

การออกแบบสมาชิกอินพุตของระบบแขนกลไฮดรอลิก ค่าอินพุตของสมาชิกได้ออกแบบจากค่าความผิดพลาดของความเร็วและค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความผิดพลาดของความเร็ว โดยได้กำหนดค่าความเป็นสมาชิกของอินพุต ดังแสดงในรูปที่ 6.4



รูปที่ 6.4 แสดงค่าความเป็นสมาชิกของอินพุต error และ error derivative

## 6.3 การออกแบบกฎการทำงานของการควบคุม

การออกแบบกฎการทำงานนั้น การออกแบบการทำงานมีแนวทางในการออกแบบกฎการทำงานได้โดยอาศัยความรู้ทางการควบคุม ความชำนาญในการเรียนรู้ระบบ หรือความรู้ที่ได้จากสมการคณิตศาสตร์ ที่ช่วยให้เราเข้าใจการทำงานของระบบ การออกแบบกฎการทำงานได้ออกแบบกฎการทำงานจากค่าความผิดพลาดของความเร็วและอัตราการเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาดของความเร็วซึ่งแสดงได้ดังนี้

- |                  |     |            |      |                             |
|------------------|-----|------------|------|-----------------------------|
| 1. IF (E is ZE)  | and | (ED is DE) | THEN | (UD <sub>fuzzy</sub> is NA) |
| 2. IF (E is ZE)  | and | (ED is Z)  | THEN | (UD <sub>fuzzy</sub> is NA) |
| 3. IF (E is SP)  | and | (ED is IN) | THEN | (UD <sub>fuzzy</sub> is NA) |
| 4. IF (E is SP)  | and | (ED is DE) | THEN | (UD <sub>fuzzy</sub> is SI) |
| 5. IF (E is SP)  | and | (ED is Z)  | THEN | (UD <sub>fuzzy</sub> is SI) |
| 6. IF (E is SP)  | and | (ED is IN) | THEN | (UD <sub>fuzzy</sub> is NA) |
| 7. IF (E is POZ) | and | (ED is DE) | THEN | (UD <sub>fuzzy</sub> is I)  |
| 8. IF (E is POZ) | and | (ED is Z)  | THEN | (UD <sub>fuzzy</sub> is I)  |
| 9. IF (E is POZ) | and | (ED is IN) | THEN | (UD <sub>fuzzy</sub> is SI) |
| 10. IF (E is SN) | and | (ED is DE) | THEN | (UD <sub>fuzzy</sub> is NA) |
| 11. IF (E is SN) | and | (ED is Z)  | THEN | (UD <sub>fuzzy</sub> is SD) |
| 12. IF (E is SN) | and | (ED is IN) | THEN | (UD <sub>fuzzy</sub> is SD) |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. IF (E is NEG)           and   (ED is DE)       THEN       (UD<sub>fuzzy</sub> is SD)  
 14. IF (E is NEG)           and   (ED is Z)        THEN       (UD<sub>fuzzy</sub> is D)  
 15. IF (E is NEG)           and   (ED is IN)       THEN       (UD<sub>fuzzy</sub> is D)

โดยกำหนดให้

- NEG = Negative Error  
 SN = Small Negative Error  
 ZE = Zero Error  
 SP = Small Positive Error  
 POZ = Positive Error

เมื่อ E คือค่าความผิดพลาดของความเร็ว, ED คือ ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาดของความเร็ว และ UD<sub>fuzzy</sub> คือ ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเอาต์พุต

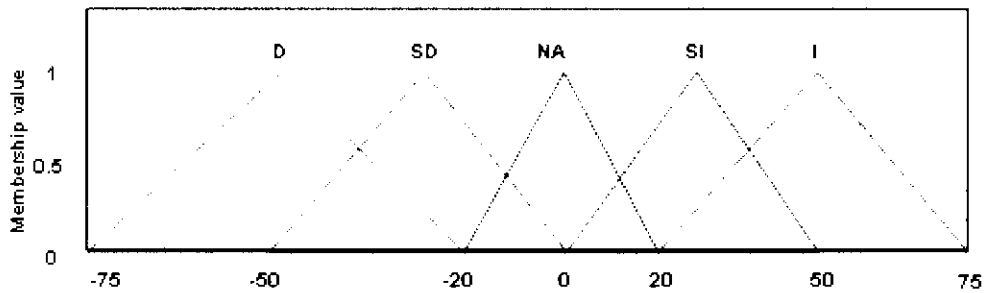
		Error					
		NEG	SN	ZE	SP	PEZ	
Error Derivative	DEC	SD	NA	NA	SI	I	
	Z	D	SD	NA	SI	I	
	INC	D	SD	NA	NA	SI	

รูปที่ 6.5 แสดงกฎในการออกแบบการควบคุมแขนกลไฮดรอลิก

#### 6.4 การออกแบบสมาชิกของเอาต์พุตของการควบคุมแขนกลไฮดรอลิก

สมาชิกเอาต์พุตของสัญญาณที่ควบคุมการทำงานมีหนึ่งสัญญาณ คือ สัญญาณที่ควบคุมโซลินอยด์ว่าลว โดยช่วงของอัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณจะอยู่ในช่วง -10 ถึง +10 โวลต์ ประกอบด้วยสมาชิก คือ D (Decreasing), SD (Small Decreasing), NA (No Action), SI (Small Increasing), I (Increasing) ดังรูปที่ 6.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.6 แสดงค่าความเป็นสมาชิกของเอาต์พุต

โดยกำหนดให้

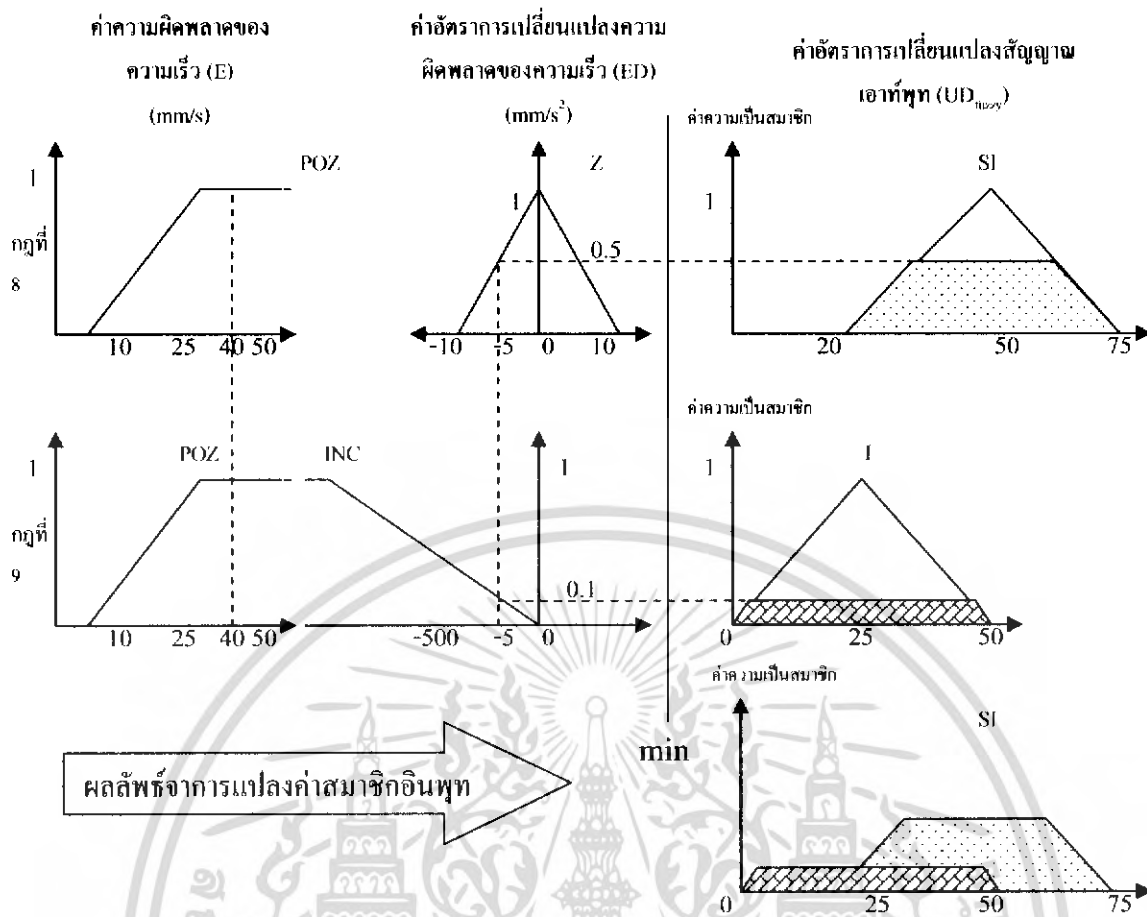
D	=	Decreasing of Output
SD	=	Slow Decreasing of Output
NA	=	No Action
SI	=	Slow Increasing of Output
I	=	Increasing of Output

#### 6.5 การแปลงค่าสมาชิกเอาต์พุตและค่าสมาชิกอินพุต ในการควบคุม

การแปลงสัญญาณของสมาชิกเอาต์พุตที่ได้จากการกำหนดสมาชิกเอาต์พุต ในการควบคุมสัญญาณได้ใช้ทฤษฎีค่าจุดศูนย์กลางพื้นที่ ในการหาค่าควบคุม โซลินอยด์วาล์วเพราะเป็นทฤษฎีที่ใช้ข้อมูลของค่าความเป็นสมาชิกของกฎที่เป็นจริงทำให้ค่าที่ได้มีความน่าเชื่อถือและให้ผลในลักษณะที่ค่อนข้างต่อเนื่องมากกว่าทฤษฎีอื่นๆ

##### 6.5.1 ตัวอย่างการแปลงค่าสมาชิกอินพุต

ตัวแปรอินพุตทั้ง 2 มีค่าดังนี้ ค่าความผิดพลาดของความเร็ว (E) มีค่าเท่ากับ 40 และค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงความผิดพลาดของความเร็ว (ED) มีค่าเท่ากับ -5 แสดงการแปลงค่าสมาชิกอินพุตดังรูปที่ 6.7



ผลลัพธ์จากการแปลงค่าสมาชิกอินพุต

รูปที่ 6.7 แสดงการแปลงค่าสมาชิกอินพุต

6.5.2 ตัวอย่างการแปลงค่าสมาชิก output

การแปลงผลจากค่าความเป็นสมาชิกให้อยู่ในรูปของค่าเอาร์ทพุทซึ่งเป็นจำนวนจริงที่อยู่ในโดเมนของตัวแปรเอาร์ทพุท ในโครงนี้ใช้วิธีการถ่วงจุดศูนย์กลางพื้นที่ ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าเอาร์ทพุทจากสมการที่ 6.4

$$UD_{fuzzy} = \frac{\sum_j \mu(UD_j) \cdot UD_j}{\sum_j \mu(UD_j)} \tag{6.4}$$

- โดยที่  $UD_{fuzzy}$  คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงสัญญาณเอาร์ทพุท
- $UD_j$  คือ ค่าเอาร์ทพุทของตัวแปรอัตราการเปลี่ยนแปลงสัญญาณเอาร์ทพุท
- $\mu(UD_j)$  คือ ค่าความเป็นสมาชิกของตัวแปร  $UD_j$  ตัวที่  $j$
- $N$  คือ จำนวนข้อมูลที่แซมปลิง (Sampling) จากผลลัพธ์ของการกฎควบคุมในโครงงานนี้ใช้ทั้งหมด 15 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลลัพธ์ในการแปลงค่าสมาชิกอินพุตในหัวข้อที่ 6.5.1 สามารถหาค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงสัญญาณเอาต์พุตจากสมการที่ 6.4 จะได้ว่า

$$UD_{fuzzy} = \frac{(0.5 \times 47.5) + (0.1 \times 25)}{0.5 + 0.1}$$

$$UD_{fuzzy} = 43.75$$

แสดงผลค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงสัญญาณเอาต์พุตได้ดังรูปที่ 6.8



รูปที่ 6.8 แสดงค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงสัญญาณเอาต์พุต

เมื่อได้ค่า  $UD_{fuzzy}$  แล้วนำไปคำนวณในสมการที่ 6.3 โดยกำหนดให้  $t$  คือค่าแซมปลิงไทม์ (Sampling time) มีค่าเท่ากับ 0.01 วินาที และ  $U_{fuzzy(oid)}$  มีค่าเท่ากับ 0 จะได้ว่า  $U_{fuzzy}$  จากสมการที่ 6.3 ดังนี้

$$\begin{aligned} U_{fuzzy} &= (UD_{fuzzy} \times t) + U_{fuzzy(oid)} \\ &= (43.75 \times 0.01) + 0 \\ &= 0.4375 \quad \text{โวลต์} \end{aligned}$$

#### 6.6 เงื่อนไขในการทดลองและขั้นตอนการทดลอง

การทดลองได้ออกแบบการทดลองควบคุมแบบกลไกไฮดรอลิก ให้เคลื่อนที่ตามฟังก์ชันของความเร็วกำหนด ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ จะใช้ความเร็ว ดังนี้

$$V_d = A \sin(\omega t) \quad (6.5)$$

โดย	$V_d$	=	ความเร็วที่เราต้องการ
	$A$	=	Amplitude
	$\omega$	=	ความถี่ (rad/s)
	$t$	=	เวลา (s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งในการทดลองครั้งนี้จะทดลองที่ Amplitude 3 ค่า คือ ที่ Amplitude = 10, 20, 30 และผลที่ได้จากการทดลอง ได้นำมาแสดงในรูปกราฟที่แสดงอยู่ในรูปของค่าความเร็ว ความผิดพลาดของความเร็ว และสัญญาณเอาร์ทพุท

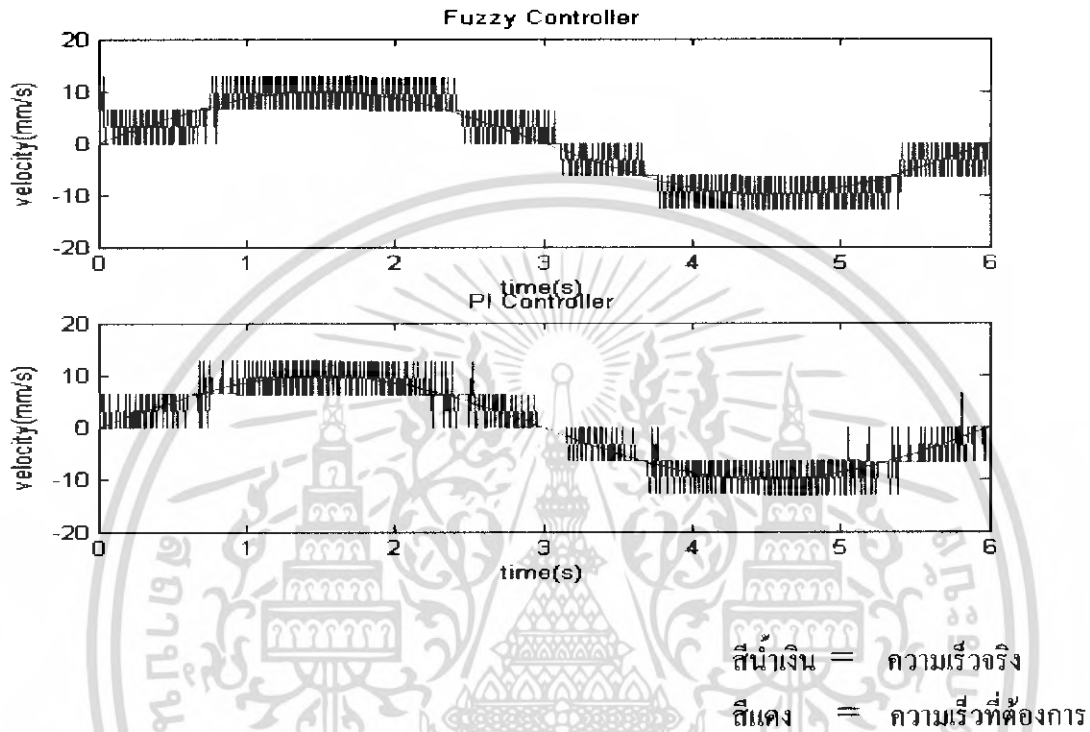


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

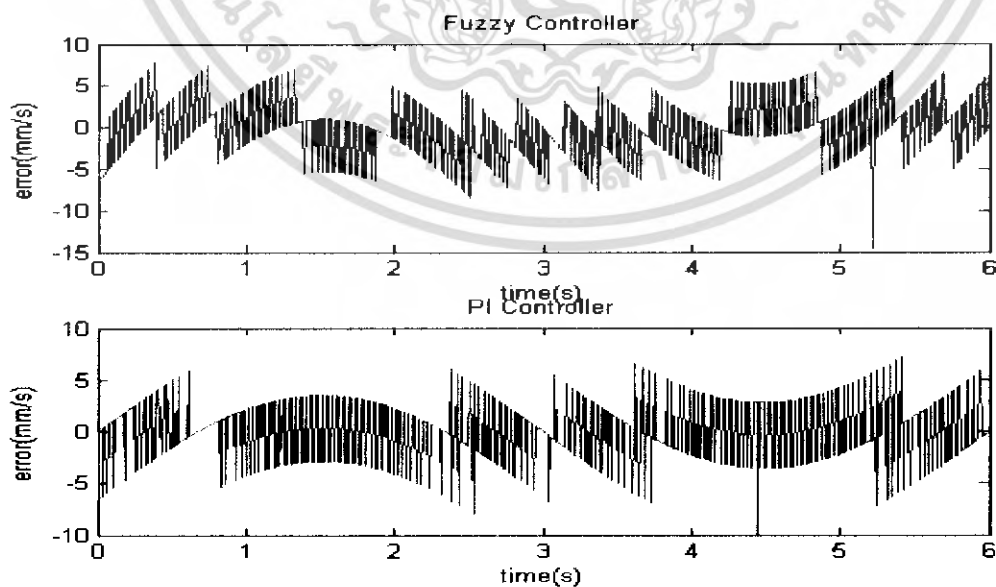
# บทที่ 7

## ผลการทดลอง

### 7.1 ผลการทดลอง

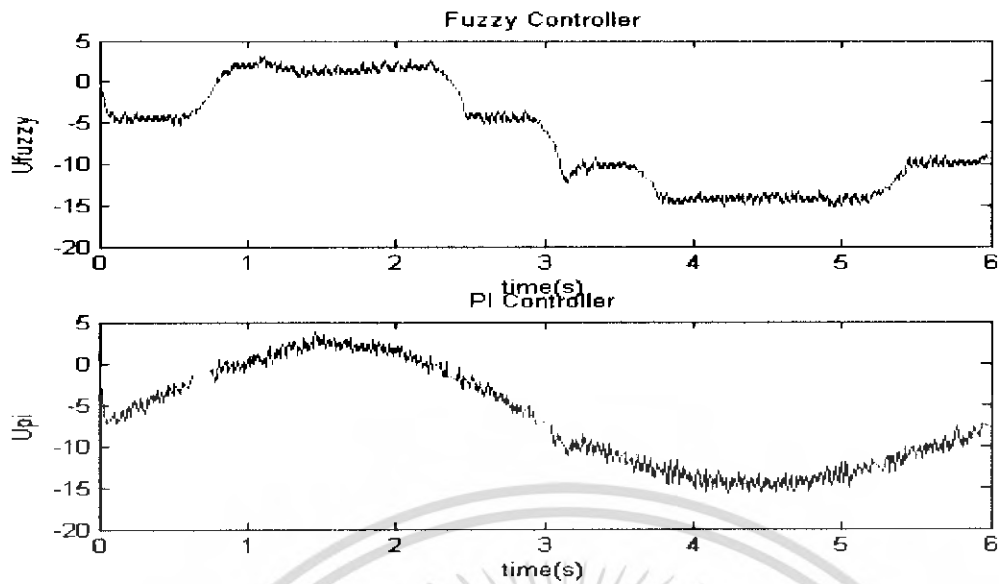


รูปที่ 7.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็ว (mm/s) กับคาบเวลา(s) ที่ amplitude=10

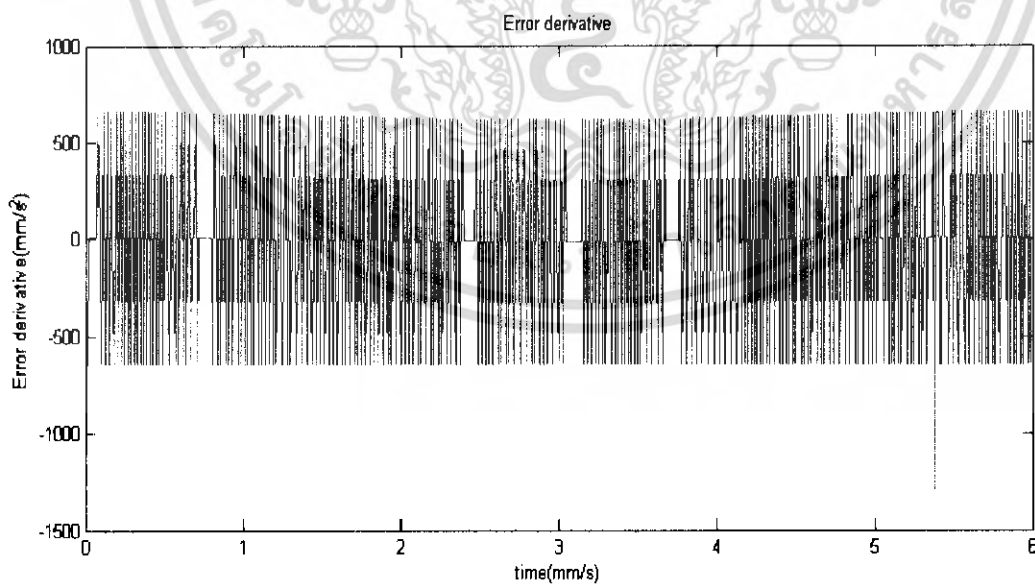


รูปที่ 7.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง error (mm/s) กับ คาบเวลา (s) ที่ amplitude=10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาหรับการเชิงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญขาดเินาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



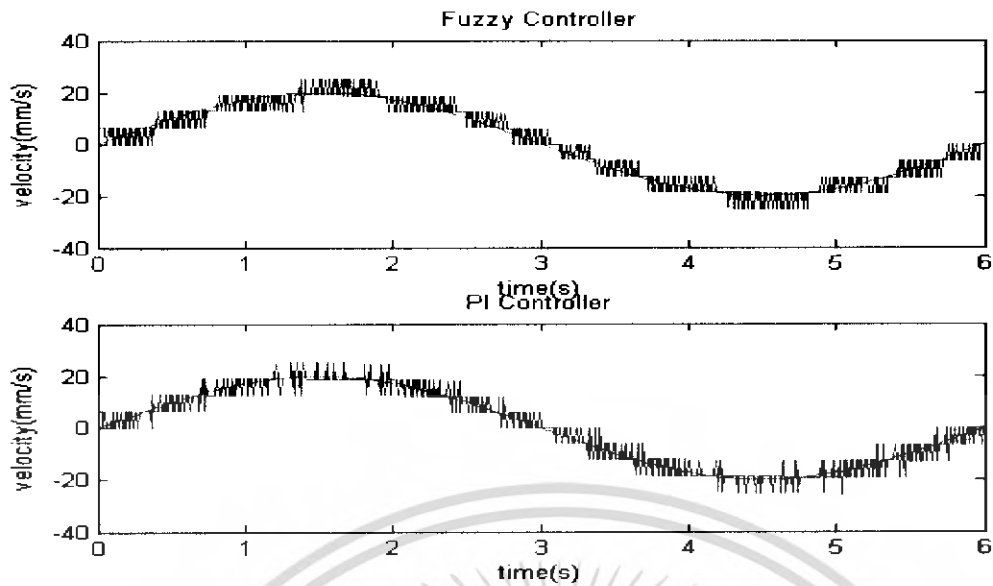
รูปที่ 7.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $U$  (mm/s) กับ คาบเวลา (s) ที่ amplitude = 10



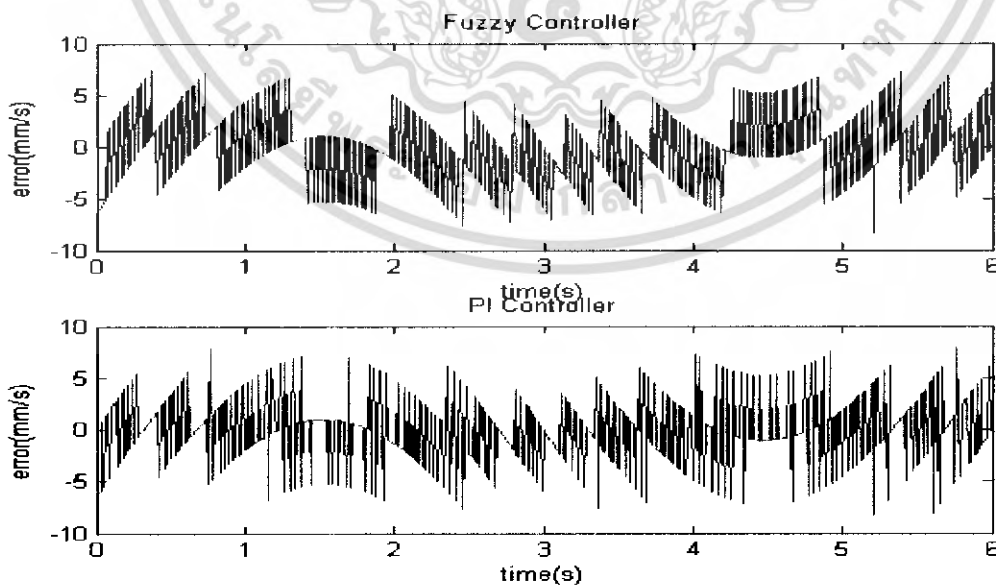
รูปที่ 7.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงของ error (mm/s<sup>2</sup>)กับเวลา (s) ที่

amplitude = 10

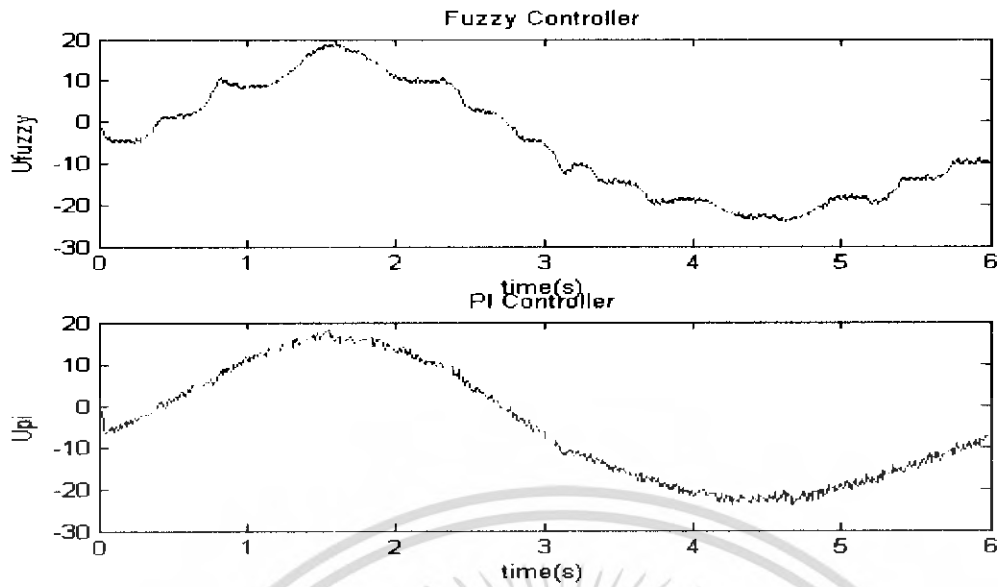
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



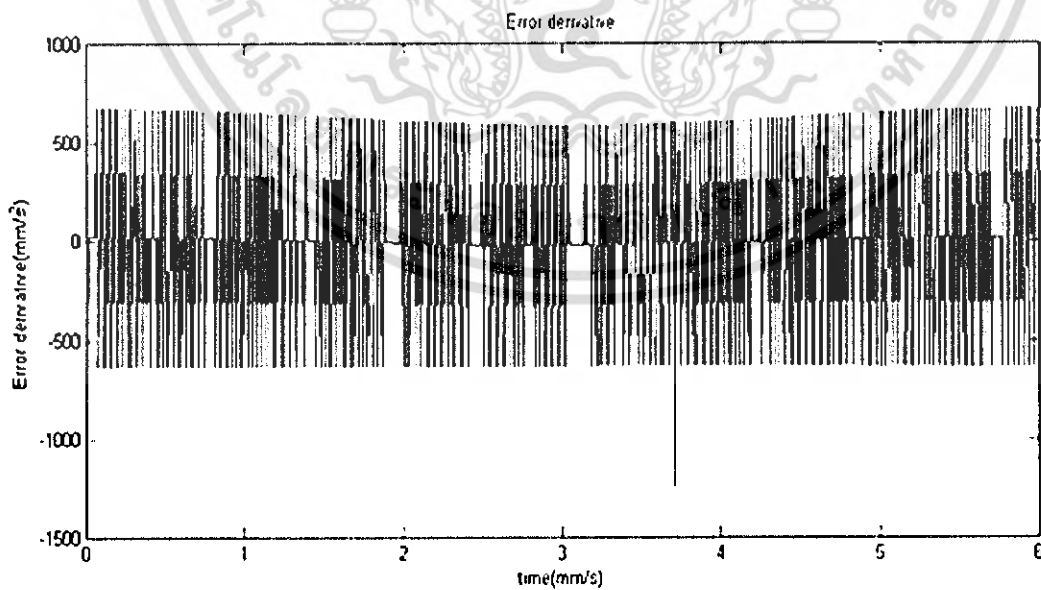
รูปที่ 7.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็ว (mm/s) กับคาบเวลา(s) ที่ amplitude = 20  
 สีน้ำเงิน = ความเร็วจริง  
 สีแดง = ความเร็วที่ต้องการ



รูปที่ 7.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง error (mm/s) กับ คาบเวลา (s) ที่ amplitude = 20  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



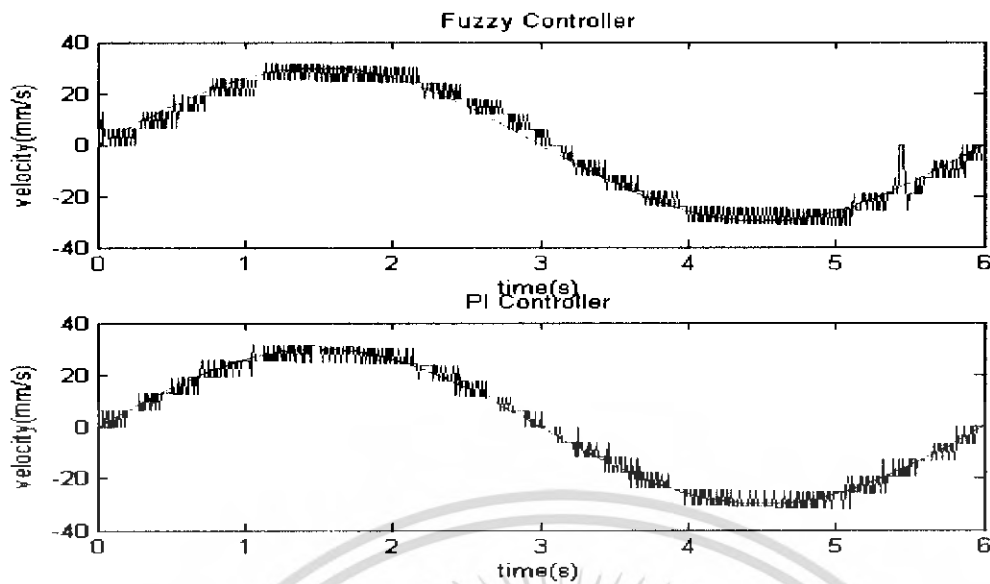
รูปที่ 7.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $U$  (mm/s) กับ คาบเวลา (s) ที่ amplitude = 20



รูปที่ 7.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเปลี่ยนแปลงของ error (mm/s<sup>2</sup>) กับเวลา (s) ที่

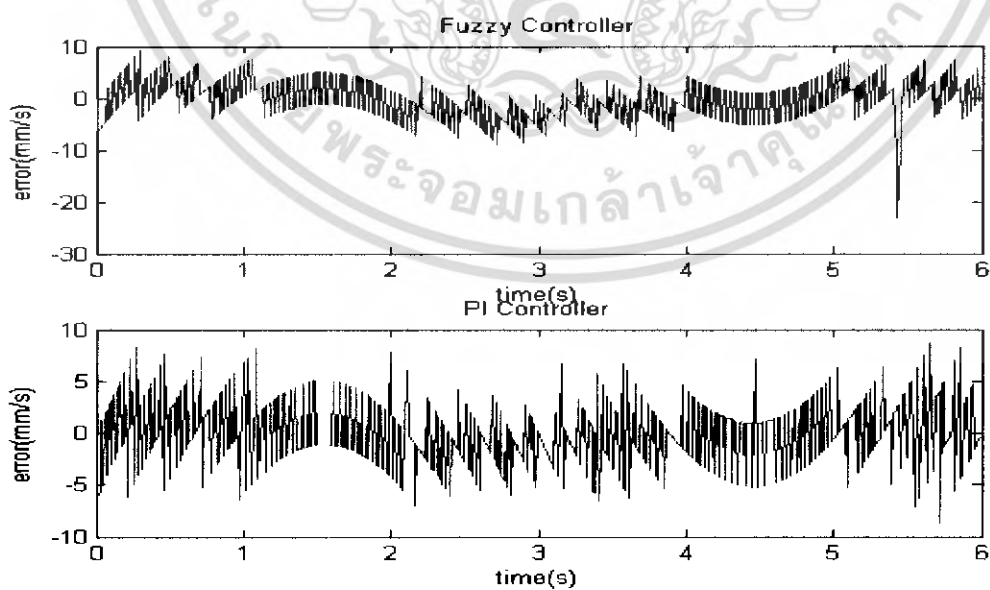
amplitude = 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



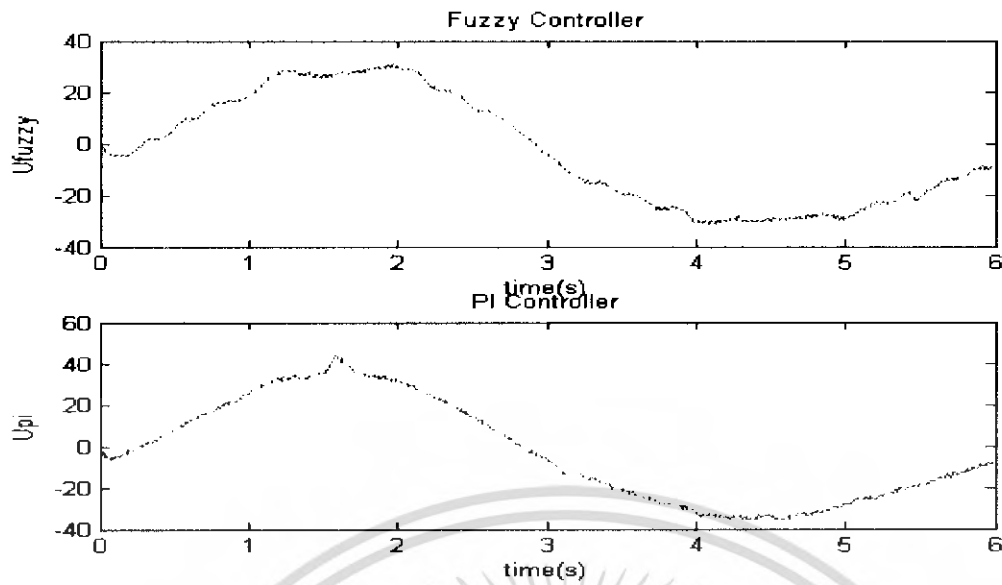
สีน้ำเงิน = ความเร็วจริง  
สีแดง = ความเร็วที่ต้องการ

รูปที่ 7.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็ว (mm/s) กับคาบเวลา(s) ที่ amplitude = 30

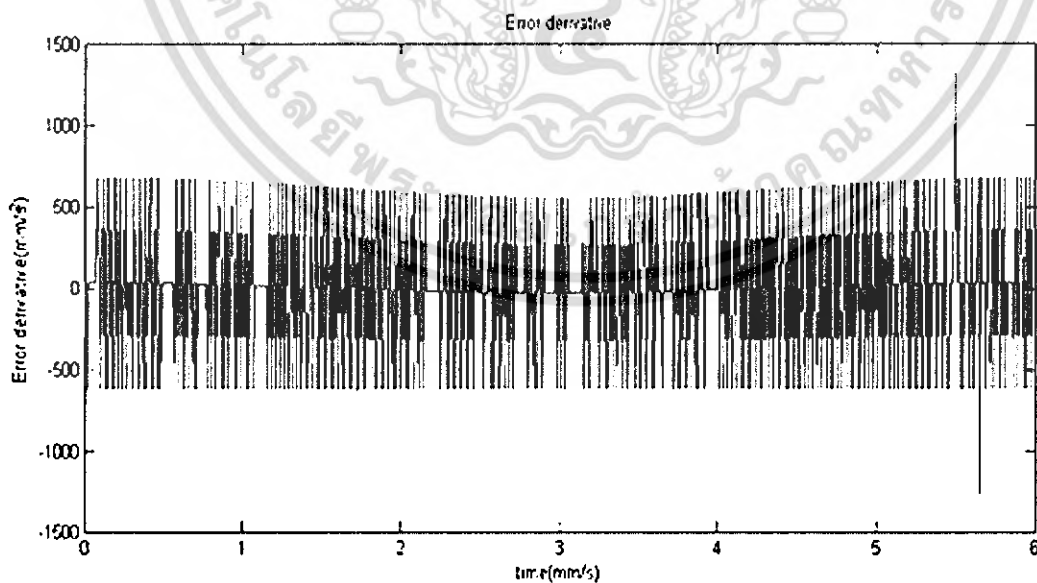


รูปที่ 7.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง error (mm/s) กับ คาบเวลา (s) ที่ amplitude = 30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



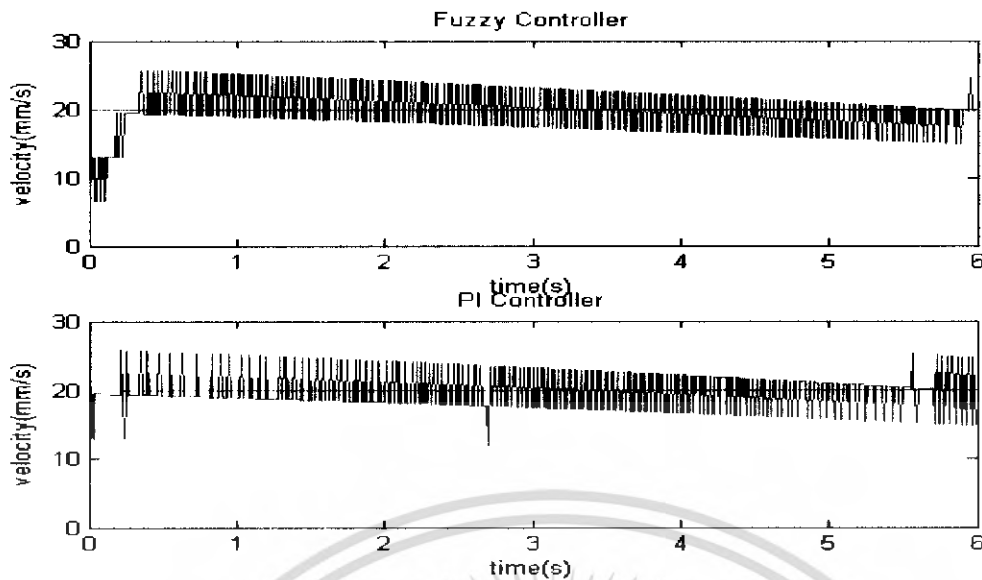
รูปที่ 7.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $U$  (mm/s) กับ เวลา (s) ที่ amplitude = 30



รูปที่ 7.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเปลี่ยนแปลงของ error (mm/s<sup>2</sup>) กับ เวลา (s) ที่

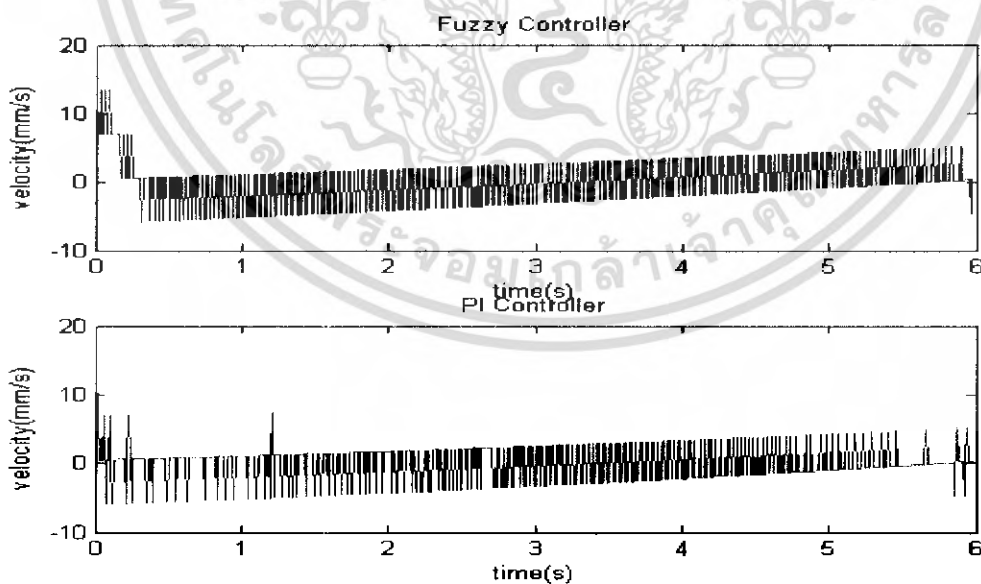
amplitude = 30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



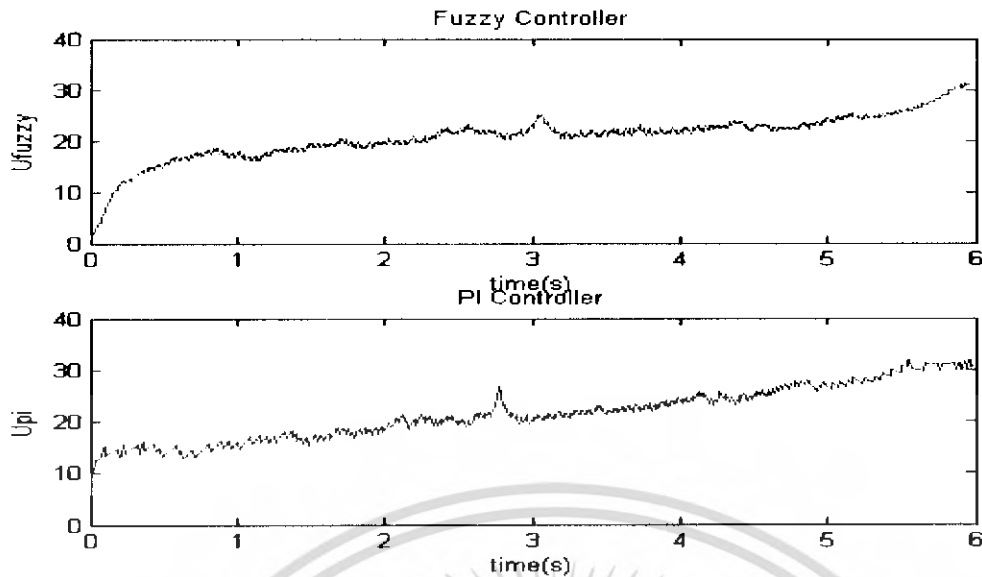
รูปที่ 7.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วที่ 20 mm/s กับเวลา (s) เมื่อสัญญาณอินพุท (input) เป็นแบบ unit step

สีน้ำเงิน = ความเร็วจริง  
สีแดง = ความเร็วที่ต้องการ



รูปที่ 7.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง error (mm/s) กับ เวลา (s) เมื่อสัญญาณอินพุท (input) เป็นแบบ unit step

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $U(\text{mm/s})$  กับ คาบเวลา (s) เมื่อสัญญาณอินพุต (input) เป็นแบบ unit step

## 7.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองปรากฏว่า ตัวควบคุมแบบฟัซซี่ สามารถทำงานได้ดีในระดับที่น่าพอใจ และสามารถปรับปรุงพัฒนาให้ดีขึ้นได้อีก โดยการปรับค่าความเป็นสมาชิกของอินพุต และค่าความเป็นสมาชิกของเอาต์พุตให้เหมาะสมมากขึ้น

## บทที่ 8

### สรุปผลการทดลองและแนวทางในการพัฒนา

#### 8.1 สรุปผลการทดลอง

โครงการนี้ ได้อาศัยทฤษฎีทางการออกแบบฟuzzyลอจิกมาประยุกต์ใช้ในการควบคุมการทำงานของแขนกลไฮดรอลิก โดยการออกแบบกฎการควบคุมของฟuzzyลอจิก จากค่าผิดพลาดของความเร็วและค่าผิดพลาดของอัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็ว โดยเริ่มจากการจำลองระบบการทำงานของระบบมวลสปริงและตัวหน่วง จากนั้นเป็นการจำลองการควบคุมในโปรแกรม MathLab โดยการใช้ฟuzzyลอจิกในการควบคุมและเปรียบเทียบกับการควบคุมแบบ PID จากนั้นเขียนการทำงานโดยใช้โปรแกรม Turbo C และนำไปควบคุมการทำงานของแขนกลไฮดรอลิก และสามารถนำมาใช้ควบคุมได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ โดยทั่วไปต้องทราบสมการทางคณิตศาสตร์ของระบบที่จะทำการควบคุม ในการทดลองนี้ได้ทำการทดลองกับกระบอกสูบตัวล่างเพียงหนึ่งตัว

#### 8.2 แนวทางในการพัฒนา

1. การออกแบบ โปรแกรมให้มีสัญญาณควบคุมที่ได้รับเปรียบกว่านี้ สามารถทำได้โดยการออกแบบสมาชิกของเอชท์พุทในฟuzzyให้มีความเหมาะสมมากกว่านี้
2. การออกแบบด้วยตัวควบคุมฟuzzyลอจิกจะมีช่วงในการออกแบบที่สามารถใช้งานได้ดีในช่วงของการใช้งานหนึ่ง ๆ เพราะการกำหนดค่าความเป็นสมาชิกที่เป็นค่าคงที่ ให้สามารถปรับแต่งได้ด้วยตัวเองหรือมีการออกแบบให้สามารถควบคุมหลายช่วงการควบคุม ถ้าทำได้ดังที่กล่าวมานั้น ก็สามารถควบคุมการทำงาน ได้ในช่วงที่กว้างขึ้น และมีความผิดพลาดน้อยลง

## บรรณานุกรม

- [1] คู่มือ MATLAB ฉบับสมบูรณ์ รัช.ดร.มนัส สังวรศิลป์, วรรัตน์ ภัทรอมรกุล สำนักพิมพ์ อินโฟเพรส
- [2] จักรพงษ์ เกาเทียน, “การออกแบบตัวควบคุมแบบฟัซซี่ในการควบคุมกระบวนการทางอุตสาหกรรม, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2543.
- [3] ณรงค์ ดันชีวะวงศ์, “ไฮดรอลิกอุตสาหกรรม”, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น, กรุงเทพฯ. 2544
- [4] ดร. โยธิน เปรมปรมณีรัตน์, “ระบบเซอร์โววาล์วและอิเล็กทรอนิกส์คอนโทรลมอเตอร์”, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ. 2533
- [5] โปรแกรมภาษาซีและซีพลัสพลัส เรียบเรียงโดย ธนัท ชัยยุทธ, สำนักพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมอาชีพ ศ.ศ.อ.
- [6] วสิน สารวิทย์, “การควบคุมหลายตัวแปรของระบบปรับอากาศโดยใช้ฟัซซี่ลอจิก”, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2548
- [7] สมชัย นรเศรษฐ์โสภณ, “กลศาสตร์เครื่องจักรกล”, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ. 2538
- [8] Anthony Esposito, “Fluid Power with Applications”, 5<sup>th</sup> ed. Prentice-Hall, Inc, 1985
- [9] Ambalal V. Patel, “Simplest Fuzzy PI Controllers under Various Defuzzification Methods”, Internation Journal of Computational Cognition, Vol. 3, No. 1, March 2005.
- [10] Anthony Esposito, “Fluid Power with Application”, 4th edition, Prentice Hall, 2003.
- [11] Borut Zupancic and Igor Skrijanc, “Advanced fuzzy control of the temperature in the test chamber”
- [12] George J. Klir, Ute St. Clair, Bo Yhan, “Fuzzy set Theory”, Prentice Hall, 2003.
- [13] Toshiro Terano, Kiyoji Asai, Michio Sugano, “Applied Fuzzy System”, Academic Press Limited, 1994.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/*****/
/*FUZZY PI CONTROLLER */
/*****/

#include<stdio.h>
#include<stdlib.h>
#include<alloc.h>
#include"c:\tc\NOK\Err.c"
#include"c:\tc\NOK\ED.c"
#include"c:\tc\NOK\cal_FD.c"
#include"c:\tc\NOK\TRIANGLE.c"
#include"c:\tc\NOK\CLIP.c"
#include"c:\tc\NOK\CAL_OUTPUT.c"
#include"c:\tc\NOK\CENTROID.c"
#include"c:\tc\NOK\MAX.c"
void main()
{
float e,FD = 0.0, cd, *G_ED, *G_E;
float G_D1,G_D2,G_SD1,G_SD2,G_SD3,G_NA1,G_NA2,
G_NA3,G_NA4,G_NA5,G_SI1,G_SI2,G_SI3,G_I1,G_I2;
clrscr();
printf("\nEnter the value of Error: ");
scanf("%f",&e);
printf("\nEnter the value of Error rate change: ");
scanf("%f",&cd);
G_E = Err(e);
G_ED= ED(cd);

/*printf("\nG_NEG= %f",G_E[0]);
printf("\nG_SN= %f",G_E[1]);
printf("\nG_ZE= %f",G_E[2]);
printf("\nG_SP= %f",G_E[3]);
printf("\nG_POZ= %f",G_E[4]);
printf("\nG_INC= %f",G_ED[0]);
printf("\nG_Z= %f",G_ED[1]);
printf("\nG_DEC= %f",G_ED[2]);*/

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/*****
*/
/*RULE BASE
*/
/*****

    G_D1 = min(G_E[0],G_ED[0]);
    G_D2 = min(G_E[0],G_ED[1]);
    G_SD1 = min(G_E[0],G_ED[2]);
    G_SD2 = min(G_E[1],G_ED[0]);
    G_SD3 = min(G_E[1],G_ED[1]);
    G_NA1 = min(G_E[1],G_ED[2]);
    G_NA2 = min(G_E[2],G_ED[0]);
    G_NA3 = min(G_E[2],G_ED[1]);
    G_NA4 = min(G_E[2],G_ED[2]);
    G_NA5 = min(G_E[3],G_ED[0]);
    G_SI1 = min(G_E[3],G_ED[1]);
    G_SI2 = min(G_E[3],G_ED[2]);
    G_SI3 = min(G_E[4],G_ED[0]);
    G_I1 = min(G_E[4],G_ED[1]);
    G_I2 = min(G_E[4],G_ED[2]);

/*printf("\nG_D1= %f",G_D1);
printf("\nG_D2= %f",G_D2);
printf("\nG_SD1= %f",G_SD1);
printf("\nG_SD2= %f",G_SD2);
printf("\nG_SD3= %f",G_SD3);
printf("\nG_NA1= %f",G_NA1);
printf("\nG_NA2= %f",G_NA2);
printf("\nG_NA3= %f",G_NA3);
printf("\nG_NA4= %f",G_NA4);
printf("\nG_NA5= %f",G_NA5);*/
//printf("\nG_SI1= %f",G_SI1);
//printf("\nG_SI2= %f",G_SI2);
// printf("\nG_SI3= %f",G_SI3);
//printf("\nG_I1= %f",G_I1);
//printf("\nG_I2= %f",G_I2);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
FD      = cal_FD(G_D1,G_D2,G_SD1,G_SD2,G_SD3,G_NA1,G_NA2,  
                G_NA3,G_NA4,G_NA5,G_SI1,G_SI2,G_SI3,G_I1,G_I2);  
printf("\nFD =%f",FD);
```

;



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/*****
/*Memberships Values of Error(ERR)
*****/

// function G_E = Err(c,G_E)
#include<stdio.h>
//float e,G_NEG,G_SN,G_ZE,G_SP,G_POZ;
//void main()
//{

//clrscr();
//printf("Enter Value of err: ");
//scanf(" %f",&e);
float* Err(float e)
{
int i;
float *G_E;
float G_NEG,G_SN,G_ZE,G_SP,G_POZ;
G_E = (float*) malloc(20);
for(i=0;i<5;i++)
{
G_E[i]=0;
}
if(-0.5 >= e)
{
G_NEG = 1.0;
G_SN = 0.0;
G_ZE = 0.0;
G_SP = 0.0;
G_POZ = 0.0;
}
if(-0.5 < e && e <= -0.25)
{
G_NEG = ((-1/0.25)*e)-1.0;
G_SN = ((1/0.25)*e)+2.0;
G_ZE = 0.0;
}
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

G_SP = 0.0;
G_POZ = 0.0;
}
iff(-0.25 < c && e <= -0.05)
{
G_NEG = 0.0;
G_SN = (-1/0.2)*e;
G_ZE = 0.0;
G_SP = 0.0;
G_POZ = 0.0;
}
iff(-0.05 < c && e <= 0.0)
{
G_NEG = 0.0;
G_SN = (-1/0.25)*e;
G_ZE = (1/0.05)*e+1;
G_SP = 0.0;
G_POZ = 0.0;
}
iff(0.0 < c && e <= 0.05)
{
G_NEG = 0.0;
G_SN = 0.0;
G_ZE = (-1/0.05)*e+1;
G_SP = (1/0.25)*e;
G_POZ = 0.0;
}
iff(0.05 < c && e <= 0.25)
{
G_NEG = 0.0;
G_SN = 0.0;
G_ZE = 0.0;
G_SP = (1/0.25)*e;
G_POZ = 0.0; }

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    if(0.25<e&&e<=0.5)
    {
        G_NEG = 0.0;
        G_SN = 0.0;
        G_ZE = 0.0;
        G_SP = (-1/0.25)*e+2.0;
        G_POZ = (1/0.25)*e-1.0;
    }
    if(0.5<e)
    {
        G_NEG = 0.0;
        G_SN = 0.0;
        G_ZE = 0.0;
        G_SP = 0.0;
        G_POZ = 1.0;
    }
    G_E[0]=G_NEG;
    G_E[1]=G_SN;
    G_E[2]=G_ZE;
    G_E[3]=G_SP;
    G_E[4]=G_POZ;
    return(G_E);
    /*printf("\nG_NEG= %f",G_NEG);
    printf("\nG_SN= %f",G_SN);
    printf("\nG_ZE= %f",G_ZE);
    printf("\nG_SP= %f",G_SP);
    printf("\nG_POZ= %f",G_POZ);*/
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/*****
/*Memberships Values of Error derivative(ED)
*****/

float *ED(float ed)
{
    float *G_ED;
    float G_INC,G_Z,G_DEC;
    G_ED = (float*) malloc(12);
    clrscr();
    if(ed<=-0.01)
    {
        G_INC =1.0;
        G_Z =0.0;
        G_DEC =0.0;
    }
    if(-0.01<ed&&ed<=-0.00125)
    {
        G_INC =(-1/(0.01-0.00125))*ed;
        G_Z =0.0;
        G_DEC =0.0;
    }
    if(-0.00125<ed&&ed<=0.0)
    {
        G_INC =(-1/(0.01-0.00125))*ed;
        G_Z =(1/0.00125)*ed+1.0;
        G_DEC =0.0;
    }
    if(0.0<ed&&ed<=0.00125)
    {
        G_INC =0.0;
        G_Z =(-1/0.00125)*ed+1.0;
        G_DEC =(1/0.01)*ed;
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if(0.00125<ed&&ed<=0.01)
{
G_INC =0.0;
G_Z =0.0;
G_DEC =(1/0.01)*ed;
}
if(0.01<ed)
{
G_INC =0.0;
G_Z =0.0;
G_DEC =1.0;
}
G_ED[0]=G_INC;
G_ED[1]=G_Z;
G_ED[2]=G_DEC;
return(G_ED);
/* printf("\nG_INC= %f",G_ED[0]);
printf("\nG_Z= %f",G_ED[1]);
printf("\nG_DEC= %f",G_ED[2]); */

```

}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/*****/
/*CAL_FD */
/*****/

float cal_FD( float G_D1,float G_D2,float G_SD1,float G_SD2,float G_SD3,float G_NA1,float
            G_NA2,float G_NA3,float G_NA4,float G_NA5,float G_SI1,float G_SI2,float
            G_SI3,float G_I1,float G_I2)
{
    float *TRIANGLE(int,int,int,int,int);
    float *CLIP(float*,float,int);
    int *CAL_OUTPUT(int,int);
    float CENTROID(float*,int,int);
    float*
    MAX (int,float*,float*,float*,float*,float*,float*,float*,float*,float*,float*,float*,
        float*,float*,float*,float*);
    int n,s,i,a,b,c,d;
    int *output;
    float *union_mf,*D,*SD,*NA,*SI,*I;
    float center,FD;
    float *clip_D1,*clip_D2,*clip_SD1,*clip_SD2,*clip_SD3,*clip_NA1,*clip_NA2,
        *clip_NA3,*clip_NA4,*clip_NA5,*clip_SI1,*clip_SI2,*clip_SI3,*clip_I1,*clip_I2;
    printf("Enter number of output: ");
    scanf(" %d",&n);
    printf("Enter start point of output: ");
    scanf(" %d",&s);
        clip_D1 = (float*) malloc(n*4);
        for(a=0;a<n;a++)
            {
                clip_D1[a]=0;
            }
        clip_D2 = (float*) malloc(n*4);
        for(a=0;a<n;a++)
            {
                clip_D2[a]=0;
            }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

clip_SD1 = (float*) malloc(n*4);
for(a=0;a<n;a++)
{
    clip_SD1[a]=0;
}

clip_SD2 = (float*) malloc(n*4);
for(a=0;a<n;a++)
{
    clip_SD2[a]=0;
}

clip_SD3 = (float*) malloc(n*4);
for(a=0;a<n;a++)
{
    clip_SD3[a]=0;
}

clip_NA1 = (float*) malloc(n*4);
for(a=0;a<n;a++)
{
    clip_NA1[a]=0;
}

clip_NA2 = (float*) malloc(n*4);
for(a=0;a<n;a++)
{
    clip_NA2[a]=0;
}

clip_NA3 = (float*) malloc(n*4);
for(a=0;a<n;a++)
{
    clip_NA3[a]=0;
}

clip_NA4 = (float*)malloc(n*4);
for(a=0;a<n;a++)
{
    clip_NA4[a]=0; }

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

clip_NA5 = (float*)malloc(n*4);
for(a=0;a<n;a++)
{
    clip_NA5[a]=0;
}

clip_SI1 = (float*)malloc(n*4);
for(a=0;a<n;a++)
{
    clip_SI1[a]=0;
}

clip_SI2 = (float*)malloc(n*4);
for(a=0;a<n;a++)
{
    clip_SI2[a]=0;
}

clip_SI3 = (float*)malloc(n*4);
for(a=0;a<n;a++)
{
    clip_SI3[a]=0;
}

clip_I1 = (float*)malloc(n*4);
for(a=0;a<n;a++)
{
    clip_I1[a]=0;
}

clip_I2 = (float*)malloc(n*4);
for(a=0;a<n;a++)
{
    clip_I2[a]=0;
}

D = (float*)malloc(n*4);
for(a=0;a<n;a++)
{
    D[a]=0; }

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

SD = (float*)malloc(n*4);
for(a=0;a<n;a++)
{
SD[a]=0;
}

NA = (float*)malloc(n*4);
for(a=0;a<n;a++)
{
NA[a]=0;
}

SI = (float*)malloc(n*4);
for(a=0;a<n;a++)
{
SI[a]=0;
}

I = (float*)malloc(n*4);
for(a=0;a<n;a++)
{
I[a]=0;
}

output = (int*) malloc(n*2);
for(a=0;a<n;a++)
{
output[a]=0;
}

union_mf= (float*)malloc(n*4);
for(b=0;b<n;b++)
{
union_mf[b]=0;
}

output = CAL_OUTPUT(n,s);
//D = TRIANGLE(-180,-120,-60,n,s);

clip_D1 = CLIP(TRIANGLE(-75,-50,-25,n,s),G_D1,n);
clip_D2 = CLIP(TRIANGLE(-75,-50,-25,n,s),G_D2,n);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

//SD = TRIANGLE(-120,-60,0,n,s);
clip_SD1= CLIP(TRIANGLE(-50,-25,0,n,s),G_SD1,n);
clip_SD2= CLIP(TRIANGLE(-50,-25,0,n,s),G_SD2,n);
clip_SD3= CLIP(TRIANGLE(-50,-25,0,n,s),G_SD3,n);
//NA = TRIANGLE(-10,0,10,n,s);
clip_NA1= CLIP(TRIANGLE(-10,0,10,n,s),G_NA1,n);
clip_NA2= CLIP(TRIANGLE(-10,0,10,n,s),G_NA2,n);
clip_NA3= CLIP(TRIANGLE(-10,0,10,n,s),G_NA3,n);
clip_NA4= CLIP(TRIANGLE(-10,0,10,n,s),G_NA4,n);
clip_NA5= CLIP(TRIANGLE(-10,0,10,n,s),G_NA5,n);
//SI = TRIANGLE(0,10,20,n,s);
clip_SI1= CLIP(TRIANGLE(0,25,50,n,s),G_SI1,n);
clip_SI2= CLIP(TRIANGLE(0,25,50,n,s),G_SI2,n);
clip_SI3= CLIP(TRIANGLE(0,25,50,n,s),G_SI3,n);
//I = TRIANGLE(10,20,30,n,s);
clip_I1 = CLIP(TRIANGLE(25,50,75,n,s),G_I1,n);
clip_I2 = CLIP(TRIANGLE(25,50,75,n,s),G_I2,n);
union_mf= MAXAR(n,clip_D1,clip_D2,clip_SD1,clip_SD2,clip_SD3
,clip_NA1,clip_NA2,clip_NA3,clip_NA4,
clip_NA5,clip_SI1,clip_SI2,clip_SI3,clip_I1,
clip_I2);
center = CENTROID(union_mf,n,s);
FD = center;
//return(FD);
free(union_mf);
free(output);
free(D);
free(SD);
free(NA);
free(SI);
free(I);
free(clip_D1);
free(clip_D2);
free(clip_SD1);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
free(clip_SD2);
free(clip_SD3);
free(clip_NA1);
free(clip_NA2);
free(clip_NA3);
free(clip_NA4);
free(clip_NA5);
free(clip_SI1);
free(clip_SI2);
free(clip_SI3);
free(clip_I1);
free(clip_I2);
return(FD);
```

}



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/*****
/*TRIANGLE
/*****

#include<object.h>
#include<stdio.h>
#include "c:\tc\NOK&NON\findd.c"
Float * TRIANGLE(int a,int b,int c,int n,int s)
void main()
{
int i,o,p,q;
float *membership;
membership=(float*)malloc(n*4);
clrscr());
for(i=0;i<n;i++)
{
membership[i]=0.0;
}
//o=findd(x,a,n);p=findd(x,b,n);q=findd(x,c,n);
/*if ((o+p+q)!=3)
{
printf("\na,b and c must be defined in the universe of discourse");
}
*/
for(i=a;i<=b;i++)
{
membership[i-s] = (i-a)/(b-a+(2.2204/10000000000000000.0));
}
for(i=b;i<=c;i++)
{
membership[i-s] = (c-i)/(c-b+(2.2204/10000000000000000.0));
}
if (b==c)
{
membership[b-s] = 1.0;
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    /*for(i=0;i<3;i++)
        {
            printf("membership = %f",membership[i]);
        }*/
return(membership);
}
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/*****
*/CLIP
*****/

#include<stdio.h>

float* CLIP(float*FS,float level,int n)

void main()
{
    int i;
    /*if(level==0.125)
    {
        for(i=180;i<200;i++)
        {
            printf("\nFS= %f",FS[i]);
        }
    }*/
    for(i=0;i<=n;i++)
    {
        if(FS[i]>level)
        {
            FS[i]=level;
        }
    }
    return(FS);
    /*printf("\nFS[0]= %f",FS[0]);
    printf("\nFS[1]= %f",FS[1]);
    printf("\nFS[2]= %f",FS[2]);
    printf("\nFS[3]= %f",FS[3]);
    printf("\nFS[4]= %f",FS[4]);*/
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/*****
/*CAL_OUTPUT
*****/

#include <stdio.h>
#include <alloc.h>
void main()
int* CAL_OUTPUT(int n,int s)
{
    int    i,m;
    int    *p;

    /*printf("Please enter number of output:");
    scanf("%d",&n);
    printf("Please enter start point of output:");
    scanf("%d",&s);*/
    p= (int*)malloc(n*2);
    for(i=0;i<n;i++)
    {
        p[i]=s;
        s++;
    }
    /* for(m=0;m<n;m++)
    {
        printf("p= %d",p[m]);
    }*/

    return(p);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/*****
/*CENTROID
*****/

float CENTROID(float*y,int n,int s)          //y is union_mf
{
    float   *c;
    int     a,i;
    float   sumy          = 0.0;
    float   sum_moment   = 0.0;
    float   moment       = 0.0;
    float   center       = 0.0;
    float   u            = 0.5;
    c=(float*) malloc(n*4);
    for(i=0;i<n;i++)
    {
        c[i]=0.0;
        c[i]=y[i];
    }
    for(a=0;a<n;a++)
    {
        moment = u*(c[a]);
        sum_moment = sum_moment+moment;
        sumy = sumy+(c[a]);
        u=u+1.0;
    }
    center = (sum_moment/sumy)+s;
    printf("\nsum_moment=%f",sum_moment);
    printf("\nsumy =%f",sumy);

    return(center);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/*****
/*MAX
*****/

#include<stdio.h>

void main()

Float * MAXAR(int n,float*clip_D1,float*clip_D2,float*clip_SD1,float*clip_SD2,float*clip_SD3,
float*clip_NA1,float*clip_NA2,float*clip_NA3,float*clip_NA4,float*clip_NA5,
float*clip_SI1,float*clip_SI2,float*clip_SI3,float*clip_I1,float*clip_I2)
{

int i;
float *u_mf;
/*for(i=0;i<n;i++)
{
printf("\nclip_SI2=%f",clip_SI2[i]);
}*/
u_mf=(float*)malloc(n*4);
/*if(u_mf==NULL)
{
printf("\n!!!!" );
}*/
for(i=0;i<n;i++)
{
u_mf[i]=0.0;
}

for(i=0;i<n;i++)
{
u_mf[i] = max(clip_D1[i],clip_D2[i]);
u_mf[i] = max(u_mf[i],clip_SD1[i]);
u_mf[i] = max(u_mf[i],clip_SD2[i]);
u_mf[i] = max(u_mf[i],clip_SD3[i]);
u_mf[i] = max(u_mf[i],clip_NA1[i]);
u_mf[i] = max(u_mf[i],clip_NA2[i]);
u_mf[i] = max(u_mf[i],clip_NA3[i]);
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

u_mf[i] = max(u_mf[i],clip_NA4[i]);
u_mf[i] = max(u_mf[i],clip_NA5[i]);
u_mf[i] = max(u_mf[i],clip_SI1[i]);
u_mf[i] = max(u_mf[i],clip_SI2[i]);
u_mf[i] = max(u_mf[i],clip_SI3[i]);
u_mf[i] = max(u_mf[i],clip_I1[i]);
u_mf[i] = max(u_mf[i],clip_I2[i]);
}
/*for(i=180;i<200;i++)
{
printf("\nu_mf After compair = %f",u_mf[i]);
}*/
return (u_mf);
}

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้