



การควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงด้วยระบบควบคุมแบบฟัซซี่  
D.C. Motor Speed Control Using Fuzzy Controller



นาย อรรถวัฒน์ มากมี

นาย เฉลิมพงษ์ พังจูนันท์

นาย ยงชัย พูลสวัสดิ์

เลขเรียกหนังสือ..... ปรพ ๐๖๓๕๓ ๑๖๓๓

เลขทะเบียน.....

วัน เดือน ปี..... 13 ตค ๖๖

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมการวัดคุม  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงด้วยระบบควบคุมแบบฟัซซี่  
D.C. Motor Speed Control Using Fuzzy Controller



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมการวัดคุม  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2541

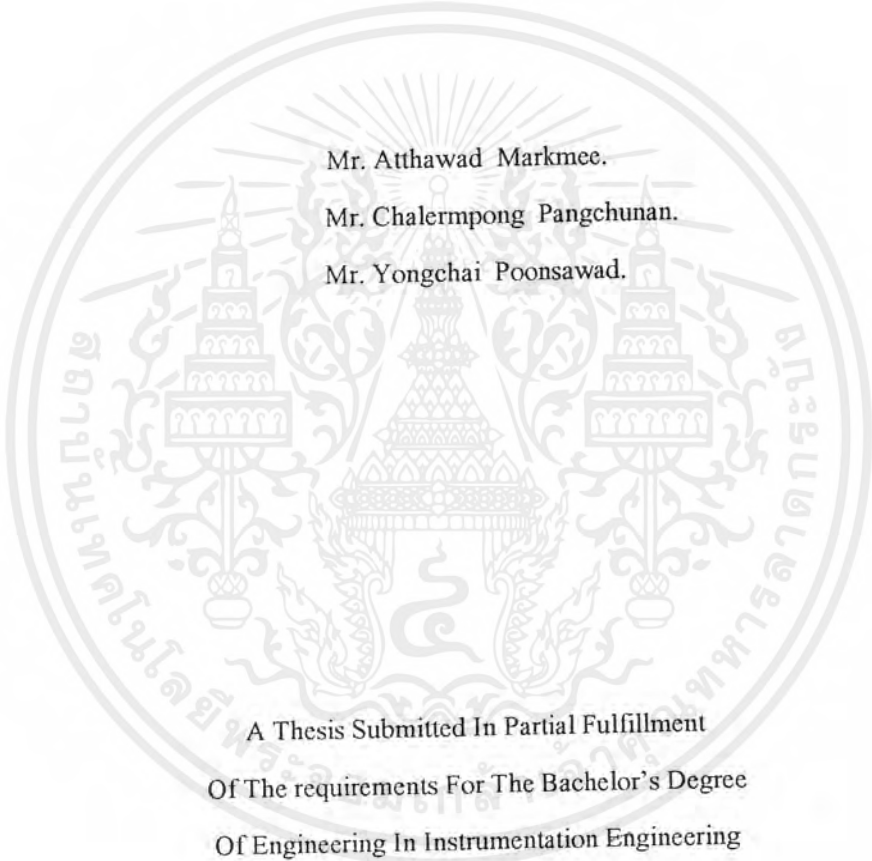
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**D.C. Motor Speed Control Using Fuzzy Controller.**

Mr. Atthawad Markmee.

Mr. Chalermpong Pangchunan.

Mr. Yongchai Poonsawad.



A Thesis Submitted In Partial Fulfillment  
Of The requirements For The Bachelor's Degree  
Of Engineering In Instrumentation Engineering  
Graduate School.

King Mongkut's Institute Of Technology Ladkrabang.

1998.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2541

ภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงด้วยระบบควบคุมแบบฟัซซี่

( D.C. Motor Speed Control Using Fuzzy Controller )

ผู้จัดทำ

นาย อรรถวัฒน์ มากมี 39012120

นาย เฉลิมพงษ์ พังจุนันท์ 39013377

นาย ยงชัย พูลสวัสดิ์ 39013395



อาจารย์ที่ปรึกษา

( อาจารย์ สาธิต อินทจักร )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญาานิพนธ์	การควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงด้วยระบบควบคุมแบบ
ฟัซซี่	
นักศึกษา	นาย อรรถวัฒน์ มากมี นาย เฉลิมพงษ์ พังจุนันท์ นาย ชงชัย พูลสวัสดิ์
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์	อาจารย์ สาธิต อินทจักร์
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการวัดคุม
ภาควิชา	เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา	2541

#### บทคัดย่อ

ในปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการประยุกต์ใช้ทฤษฎีฟัซซี่เซต (Fuzzy Set) และฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy Logic) เพื่อนำมาสร้างเป็นตัวควบคุมแบบฟัซซี่ (Fuzzy Controller) ซึ่งเป็นการใช้ตัวแปรภาษาค่าพูด (Linguistic Variable) ในการสร้างฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function) และ กฎฟัซซี่ (Fuzzy Rule) เพื่อควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ในการควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซี่นั้นจะสามารถลดความซับซ้อนของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังที่ใช้ในตัวควบคุมแบบอื่นๆ เช่น ตัวควบคุมแบบ PID ได้ ทำให้ง่ายต่อการศึกษาและพัฒนาแก้ไขระบบ

ระบบฟัซซี่ (Fuzzy System) ที่นำเสนอเป็นระบบฟัซซี่แบบสามารถปรับตัวเองได้ (Adaptive Fuzzy System) ซึ่งสามารถนำผลตอบสนองต่อการทำงานของมอเตอร์ให้เข้าคู่ค่าเป้าหมาย (Setpoint) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของโหลด (Load) โดยนำเสนอผ่านซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ที่สามารถสร้าง, แก้ไขระบบฟัซซี่และทำการควบคุมโดยผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลได้ ในการทดลองได้ทำการเปรียบเทียบ กับตัวควบคุมแบบ PID ผลตอบสนองที่ได้จากตัวควบคุมทั้งสองแบบนี้มีลักษณะใกล้เคียงกัน

Thesis title	D.C. Motor Speed Control Using Fuzzy Controller.
Student	Mr. Atthawad Markmee. Mr. Chalermpong Pangchunan. Mr. Yongchai Poonsawad.
Thesis Advisor	Mr. Sathit Intajag.
Level Of Study	Bachelor Of Engineering In Instrumentation Engineering.
Department	Industrial Instrumentation Technology. King Mongkut's Institute Of Technology Ladkrabang.
Year	1998.

### Abstract

In this thesis, we present fuzzy set and fuzzy logic to construct the fuzzy controller. To control speed of motor, we employ linguistic variable membership function and fuzzy rules. The fuzzy controller can be represent the complex mathematics models of a control system, such as PID controller. In our scheme, the motor speed controller is easily to use and flexible to develop and maintain.

When the load is change, a fuzzy system, especially, the adaptive fuzzy system is applied to automatically turn the controller to track the set-point target. The adaptive fuzzy system is simulated on computer software with the c power builder. Everything cards in their software, Trial to generate the membership functions, define the fuzzy rules, sent the output to directly control the motor and can update the rules when the system diverge. In experiment, we compare our scheme with PID controller, in general case, the result of PID and our algorithm are equal.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้ด้วยดีก็เพราะได้รับความเมตตาจากท่านอาจารย์ สาธิต อินทจักร เป็นอย่างมากที่ได้ให้แนวทางตลอดจนข้อแนะนำต่างๆ ผู้จัดทำต้องขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ เป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์อื่นที่ได้ให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาในเรื่องต่างๆ รวมทั้งเพื่อนๆอีกหลายคนที่ไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ ซึ่งมีน้ำใจช่วยเหลือทั้งให้ยืมอุปกรณ์ เครื่องมือและให้คำแนะนำในเรื่องต่างๆ จนปริญญาานิพนธ์นี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้ทุนในการทำปริญญาานิพนธ์ อีกทั้งยังเป็นกำลังใจในการทำปริญญาานิพนธ์นี้จนสำเร็จไปได้ด้วยดี



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	IV
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	V
กิตติกรรมประกาศ	VI
สารบัญ	VII
สารบัญตาราง	IX
สารบัญภาพ	X
บทที่ 1 บทนำ	1
- ทำความเข้าใจเกี่ยวกับลอจิกและความซับซ้อน	1
- ตัวควบคุมฟัซซี่คืออะไร	2
- แนวความคิดของฟัซซี่เซต	2
- ตัวแปรภาษาคำพูด	3
- การประมาณค่าโดยเงื่อนไข (Approximate Reasoning)	5
- ทำไมต้องใช้การควบคุมฟัซซี่ (Fuzzy control)	5
- ประโยชน์ที่ได้จากการสร้างแบบจำลองฟัซซี่	7
- ทฤษฎีทางตรรกศาสตร์แบบเดิม	8
- ทฤษฎีเซตแบบเดิม	9
บทที่ 2 ทฤษฎีฟัซซี่เซต	12
- หลักการและทฤษฎี	12
- ตัวแปรภาษาคำพูด	12
- การแทนข้อมูลโดยฟัซซี่เซต	16
- ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก	18
- ประเภทของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก	20
- ตัวดำเนินการฟัซซี่เซต	24
- ส่วนขยายของฟัซซี่เซต	25
บทที่ 3 ระบบควบคุมฟัซซี่ลอจิก(Fuzzy Logic Controller)	27
- ทฤษฎีฟัซซี่ลอจิก	27
- แบบจำลองฟัซซี่ (Fuzzy Model)	30
- แบบจำลองฟัซซี่ที่สามารถปรับตัวเองได้ (Adaptive Fuzzy Model)	41
- ความคลุมเครือ (Uncertainty)	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 การทดลอง	44
- วัตถุประสงค์	44
- อุปกรณ์การทดลอง	44
- การทดลองที่ 1 ใช้ไฟล์ System 1. Fzy	45
- การทดลองที่ 2 ใช้ไฟล์ System 2. Fzy	52
- การทดลองที่ 3 ใช้ไฟล์ System 3. Fzy	56
- การทดลองที่ 4 ใช้ไฟล์ System 4. Fzy	60
- การทดลองที่ 5 ใช้ไฟล์ System 5. Fzy	64
- การทดลองที่ 6 ใช้ไฟล์ System 6. Fzy	68
- การทดลองที่ 7 ระบบควบคุมพีไอดี(PID Controller)	72
- การเปรียบเทียบผลตอบสนองของความเร็วมอเตอร์	77
บทที่ 5 สรุปผลและวิจารณ์การทดลอง	79
- ข้อดีของตัวควบคุมฟัซซี่(Fuzzy Controller)	79
- ข้อเสียของตัวควบคุมฟัซซี่(Fuzzy Controller)	80
- แนวทางในการพัฒนา	80
บรรณานุกรม	81
ภาคผนวก ก. โปรแกรมระบบควบคุมฟัซซี่( Fuzzy Controller )	82
ภาคผนวก ข. คู่มือการใช้โปรแกรมระบบควบคุมฟัซซี่( Fuzzy Controller )	86
ภาคผนวก ค. ระบบควบคุมพีไอดี(PID Controller)	96
ภาคผนวก ง. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (D.C.Motor)	99
ภาคผนวก จ. การเชื่อมต่ออุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ต่างๆ (Hardware Interface)	110
ภาคผนวก ฉ. รายละเอียดของไฟล์ที่ใช้ในการทดลอง	118

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แสดงค่าความจริงของประพจน์ในทางการปฏิบัติการทางตรรกศาสตร์บูลีน	8
3.1 แสดงตารางความจริงสำหรับตัวปฏิบัติการพีชชีดอจิกตามนิยามของ Zadeh	28
3.2 แสดงตารางความจริงสำหรับตัวปฏิบัติการพีชชีดอจิกตามนิยามของ Baidwin	29
3.3 แสดงเมตริกซ์ FAM ของระบบการควบคุม STREAM TURBINE	34
3.4 แสดงกฎที่เป็นจริงของ FAM เมื่อ $T[i] = 190^{\circ}\text{C}$ $P[i] = 100 \text{ Kgmm}^{-2}$	37
4.1 แสดงผลการทดลองที่ 1 ขณะไม่มีโหลด	48
4.2 แสดงผลการทดลองที่ 1 ขณะใส่โหลดเต็มที่	49
4.3 แสดงผลการทดลองที่ 2 ขณะไม่มีโหลด	52
4.4 แสดงผลการทดลองที่ 2 ขณะใส่โหลดเต็มที่	53
4.5 แสดงผลการทดลองที่ 3 ขณะไม่มีโหลด	56
4.6 แสดงผลการทดลองที่ 3 ขณะใส่โหลดเต็มที่	57
4.7 แสดงผลการทดลองที่ 4 ขณะไม่มีโหลด	60
4.8 แสดงผลการทดลองที่ 4 ขณะใส่โหลดเต็มที่	61
4.9 แสดงผลการทดลองที่ 5 ขณะไม่มีโหลด	64
4.10 แสดงผลการทดลองที่ 5 ขณะใส่โหลดเต็มที่	65
4.11 แสดงผลการทดลองที่ 6 ขณะไม่มีโหลด	68
4.12 แสดงผลการทดลองที่ 6 ขณะใส่โหลดเต็มที่	69
4.13 แสดงผลการทดลองที่ 7 ขณะไม่มีโหลด	72
4.14 แสดงผลการทดลองที่ 7 ขณะใส่โหลดเต็มที่	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 แนวความคิดของ LONG Project	3
1.2 โครงสร้างของตัวแปรภาษาคำพูด	4
1.3 ระดับของลอจิกที่สนับสนุนการประมาณค่าโดยมีเงื่อนไข	5
2.1 แสดงค่าความเป็นสมาชิกของตัวแปรภาษาคำพูด	13
2.2 แสดงค่าความเป็นสมาชิกของเทอม "true" และ "false" ตามนิยามของ Zadeh	14
2.3 แสดงค่าความเป็นสมาชิกของตัวแปรภาษาคำพูด "Truth" ตาม นิยามของ Baldwin	15
2.4 ค่าความเป็นสมาชิกของเซต A ในกรณีที่เป็นเซตธรรมดา	17
2.5 ค่าความเป็นสมาชิกของเทอมเซต A ในกรณีที่เป็นฟัซซี่เซต	18
2.6 กราฟฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปร "ความสูง" ที่ประกอบด้วย 3 เทอมเซต	19
2.7 แสดงกราฟฟังก์ชันความเป็นสมาชิกชนิดต่างๆ	23
2.8 Hedge ของตัวแปรอุณหภูมิ	26
3.1 บล็อกไดอะแกรมของแบบจำลองฟัซซี่ลอจิก	30
3.2 แผนผังการควบคุม Stream Turbine	32
3.3 แสดงเทอมเซตของตัวแปร (ก) อุณหภูมิ (ข) ความดัน (ค) การเปิด-ปิดวาล์ว	33
3.4 แสดงการคำนวณค่าความเป็นสมาชิกของเทอมเซต COOL และ NORMAL	35
3.5 แสดงการคำนวณค่าความเป็นสมาชิกของเทอมเซต LOW และ OK	36
3.6 ขั้นตอนการประมาณค่า $I[u]$ โดยคำนวณจากค่าความจริงที่มีค่าต่ำสุด	38
3.7 แสดงการ Defuzzification โดยใช้ค่าสูงสุดของค่าอัตราความเป็นสมาชิก	39
3.8 แสดงการ Defuzzification โดยวิธี COA	40
4.1 บล็อกไดอะแกรมของแบบจำลองฟัซซี่แบบปรับตัวได้ในการควบคุมความเร็ว	45
4.2 แสดงเทอมเซตของตัวแปร (ก) อินพุตที่1(Error) (ข) อินพุตที่2( $\Delta Error$ ) (ค)เอาท์พุท	47
4.3 แสดงเมตริกซ์ FAM ของระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์	47
4.4 ผลตอบสนองของมอเตอร์ขณะไม่มีโหลด	50
4.5 ผลตอบสนองของมอเตอร์ขณะใส่โหลดเต็มที่	50
4.6 ผลตอบสนองของมอเตอร์ขณะใส่โหลดทันทีทันใด	51
4.7 ผลตอบสนองของมอเตอร์ขณะปลดโหลดทันทีทันใด	51
4.8 ผลตอบสนองของมอเตอร์ขณะไม่มีโหลด	54

4.9 ผลตอบสนองของมอเตอร์ขณะใส่โหลดเต็มที่	54
4.10 ผลตอบสนองของมอเตอร์ขณะใส่โหลดทันทีทันใด	55
4.11 ผลตอบสนองของมอเตอร์ขณะปลดโหลดทันทีทันใด	55
4.12 ผลตอบสนองของมอเตอร์ขณะไม่มีโหลด	58
4.13 ผลตอบสนองของมอเตอร์ขณะใส่โหลดเต็มที่	58
4.14 ผลตอบสนองของมอเตอร์ขณะใส่โหลดทันทีทันใด	59
4.15 ผลตอบสนองของมอเตอร์ขณะปลดโหลดทันทีทันใด	59
4.16 ผลตอบสนองของมอเตอร์ขณะไม่มีโหลด	62
4.17 ผลตอบสนองของมอเตอร์ขณะใส่โหลดเต็มที่	62
4.18 ผลตอบสนองของมอเตอร์ขณะใส่โหลดทันทีทันใด	63
4.19 ผลตอบสนองของมอเตอร์ขณะปลดโหลดทันทีทันใด	63
4.20 ผลตอบสนองของมอเตอร์ขณะไม่มีโหลด	66
4.21 ผลตอบสนองของมอเตอร์ขณะใส่โหลดเต็มที่	66
4.22 ผลตอบสนองของมอเตอร์ขณะใส่โหลดทันทีทันใด	67
4.23 ผลตอบสนองของมอเตอร์ขณะปลดโหลดทันทีทันใด	67
4.24 ผลตอบสนองของมอเตอร์ขณะไม่มีโหลด	70
4.25 ผลตอบสนองของมอเตอร์ขณะใส่โหลดเต็มที่	70
4.26 ผลตอบสนองของมอเตอร์ขณะใส่โหลดทันทีทันใด	71
4.27 ผลตอบสนองของมอเตอร์ขณะปลดโหลดทันทีทันใด	71
4.28 ผลตอบสนองของมอเตอร์ขณะไม่มีโหลด	75
4.29 ผลตอบสนองของมอเตอร์ขณะใส่โหลดเต็มที่	75
4.30 ผลตอบสนองของมอเตอร์ขณะใส่โหลดทันทีทันใด	76
4.31 ผลตอบสนองของมอเตอร์ขณะปลดโหลดทันทีทันใด	76
4.32 เปรียบเทียบผลตอบสนองของมอเตอร์ขณะไม่มีโหลด เมื่อใช้ ระบบการควบคุมพีชซีและระบบควบคุมพีไอดี	77
4.33 เปรียบเทียบผลตอบสนองของมอเตอร์ขณะใส่โหลดเต็มที่ เมื่อใช้ ระบบการควบคุมพีชซีและระบบควบคุมพีไอดี	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1 บทนำ

ปี ค.ศ. 1965 ศาสตราจารย์ Lotfi Zadeh วิศวกรและนักวิทยาศาสตร์ทางด้านระบบที่เชี่ยวชาญทางด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์ได้พัฒนาทฤษฎีหนึ่งขึ้นมาโดยมีใจความว่า “ปัญหาการควบคุมในโลกของความเป็นจริงสามารถแทนที่ด้วยระดับของค่าต่างๆให้ออกมาเป็นระดับๆได้” Zadeh ได้ค้นพบว่าปัญหาต่างๆสามารถแก้ไขได้โดยใช้วิธีการที่คล้ายคลึงกับระบบการคิดของมนุษย์ ดีกว่าการใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ที่ทำมาแต่เดิม แทนที่จะบอกว่าปัญหาในโลกนี้เป็นความจริงหรือเป็นเท็จโดยสมบูรณ์ แต่ทฤษฎีนี้จะนิยามปัญหาออกมาให้มีค่าความจริงเป็นระดับของแต่ละปัญหา ทฤษฎีดังกล่าวนี้มีชื่อว่า ฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy logic)

แม้ว่าฟัซซี่ลอจิกได้รับการพิสูจน์และทดสอบมานานกว่า 30 ปีแล้ว แต่ก็ยังไม่เป็นที่แพร่หลายกันทั่วไปนัก เหตุผลข้อหนึ่งก็คือ คำว่าฟัซซี่ (Fuzzy) ในภาษาอังกฤษหมายถึงเดือนดวง ไม่ชัดเจน ดังนั้นในทางจิตวิทยาแล้วจะไม่ค่อยมีใครสนใจแต่สำหรับประเทศญี่ปุ่น แล้วคำว่าฟัซซี่ไม่ได้ถูกแปลความหมายดังนั้น ญี่ปุ่น ได้ทำการทดลองอย่างรวดเร็วโดยปราศจากความคิดที่เป็นอคติ และพิสูจน์ได้ว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ไม่เป็นที่ต้องการอีกต่อไป

ผลิตภัณฑ์ต่างๆที่ใช้ฟัซซี่ลอจิกเข้ามาเกี่ยวข้องส่วนมากจะถูกพัฒนาขึ้นในประเทศญี่ปุ่น ต่อมาไม่นานอเมริกาและประเทศแถบตะวันตกก็นำมาใช้บ้าง เกือบจะทั้งหมดของจุดประสงค์ในการใช้งานฟัซซี่ลอจิก คือการใช้งานในกระบวนการ (Process) ต่างๆ และงานวิศวกรรมระบบควบคุม นอกจากนี้ฟัซซี่ลอจิกยังใช้กับอุตสาหกรรมการผลิตไอซี (IC) และไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) เพื่อให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ฟัซซี่ลอจิกก่อให้เกิดเทคโนโลยีที่สำคัญในการออกแบบและสร้างเครื่องจักรที่มีประสิทธิภาพสูง และด้วยการใช้ฟัซซี่ลอจิกโรงงานต่างๆ สามารถลดระยะเวลาในการพัฒนา , สามารถสร้างแบบจำลองของระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear) ที่ซับซ้อนมากๆได้, สามารถใช้วิศวกรในการควบคุมระบบ แทนการใช้นักวิทยาศาสตร์เฉพาะด้าน และทำการควบคุมโดยใช้ชิพ (Chip) และอุปกรณ์ตรวจจับ (Sensor) ต่างๆได้ในราคาที่ต่ำกว่า ถึงกระนั้นก็ตามระบบควบคุมต่างๆ ในปัจจุบันก็ยังใช้ประโยชน์จากฟัซซี่ลอจิกเพียงแค่น้อยเท่านั้น

### ทำความเข้าใจเกี่ยวกับลอจิกและความซับซ้อน

เพื่อที่จะให้เกิดความเข้าใจว่าระบบฟัซซี่ (Fuzzy system) นั้นสามารถจำลองข้อมูลที่ดีกว่าได้อย่างไร เราจะต้องไปดูที่จุดเริ่มต้นกันก่อน จากแนวความคิดของ Lotfi Zadeh ผู้คิดค้นฟัซซี่ลอจิกนั้นได้กำหนดวิธีการในการลดความซับซ้อนของระบบได้ Zadeh และได้ทำการศึกษาแล้วว่า ความถูกต้องของการคำนวณในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ต่างๆ จะลดลงเรื่อยๆ เมื่อความซับซ้อนของระบบที่กำลังทำการใช้งานอยู่นั้นเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ Zadeh ได้ตระหนักว่าระบบส่วนใหญ่ที่มีความซับซ้อนมักเกิด

ขึ้นจากวิธีการที่ตัวแปรต่างๆ ในระบบจะถูกสร้างขึ้นและถูกนำไปคำนวณ เนื่องจากตัวแปรเหล่านี้สามารถที่จะแสดงถึงสถานะของปรากฏการณ์ไม่ว่ามันจะมีอยู่จริงหรือไม่ ดังนั้นคณิตศาสตร์ที่ใช้จึงจำเป็นต้องคำนวณการทำงานในหลายๆ สถานะได้ ซึ่งเป็นการเพิ่มความซับซ้อนขึ้นเรื่อยๆ

Zadeh ได้อธิบายถึงนี้ไว้อย่างสั้นๆ ว่า “เมื่อความซับซ้อนของระบบเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ความสามารถของเราในการสร้างสมการคุณลักษณะให้มีความแม่นยำเที่ยงตรงจะลดน้อยลง”

จากภาพลักษณะของการสร้างแบบจำลองของระบบที่ซับซ้อนนี้ กลไกต่างๆ ที่เกิดขึ้นสามารถนำเสนอในรูปแบบของภาษาคำพูด ซึ่งดีกว่าที่จะเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ Zadeh ได้เสนอกรณีนี้ขึ้น โดยที่เหตุผลของมนุษย์จะไม่ถูกนำเสนอในเทอมของตัวเลขและสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์แบบไม่ต่อเนื่องแต่จะอยู่ในเทอมของฟัซซี่เซต (Fuzzy set) ต่างๆ เทอมฟัซซี่เซตเหล่านี้จะแสดงถึงการจัดประเภทต่างๆ ไปซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงภายในเซตที่ละน้อยขึ้นอยู่กับว่าระดับความเป็นสมาชิกภายในเซตจะมากหรือน้อย จากแนวความคิดของเซตที่ยืดหยุ่นนี้ Zadeh จึงได้เสนอรูปแบบของฟัซซี่เซตขึ้นมา

### การควบคุมฟัซซี่คืออะไร

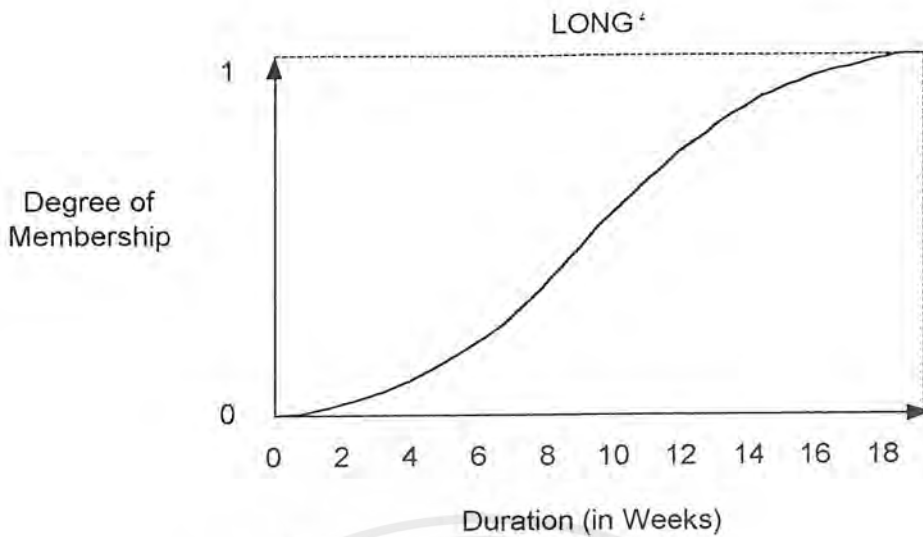
ระบบควบคุมฟัซซี่ (Fuzzy Control) เป็นระบบที่เรียกว่าระบบกฎพื้นฐาน (rule-based system) ซึ่งหมายความว่า จะมีกฎของฟัซซี่เป็นตัวตัดสินใจกลไกการทำงานของระบบควบคุมนั้น ให้มีการปรับเปลี่ยนไปตามผลกระทบที่เกิดขึ้นในระบบ จุดมุ่งหมายของระบบควบคุมฟัซซี่ (Fuzzy Control) ก็คือ การให้ระบบกฎพื้นฐานของฟัซซี่นี้ เข้าไปแทนการควบคุมแบบเก่าซึ่งใช้มนุษย์เป็นผู้ควบคุม (skilled human operator)

ระบบควบคุมฟัซซี่ (Fuzzy control) จะมีประโยชน์ในสถานการณ์ที่

- ไม่สามารถหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาแทนระบบนั้นๆ ได้
- เคยมีการใช้คนที่มีประสบการณ์เป็นผู้ควบคุมกระบวนการ ซึ่งต้องอาศัยกฎของการควบคุมที่ไม่ชัดเจนและคลุมเครือ

### แนวความคิดของฟัซซี่เซต

ฟัซซี่เซต คือ เซตที่ใช้แทนระดับความเป็นสมาชิกซึ่งระดับนี้ได้กำหนดไว้ในช่วงปิด  $[0,1]$  ตัวเลขที่แสดงถึงค่าระดับความเป็นสมาชิกในเซตนั้นๆ โดยระดับ 0 แสดงถึงว่าค่ามันไม่เป็นสมาชิกของเซต และระดับ 1 แสดงว่าค่ามันเป็นสมาชิกของเซตอย่างสมบูรณ์ ส่วนค่าที่อยู่ระหว่างนี้ก็จะมีระดับความเป็นสมาชิกลดหลั่นกันไป ดังนั้นจึงสามารถนำไปสร้างเป็นกราฟสมาชิกของเซตได้พิจารณาแนวความคิดของ LONG Project ในตัวอย่างง่ายๆ ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แนวความคิดของ LONG Project

สมาชิกของเซตนี้คือช่วงของเวลาเป็นสัปดาห์สำหรับ Project หนึ่ง ฟังก์ชันเซตจะเป็นตัวแสดงว่าที่ระดับเท่าใดของระยะเวลาของ Project ที่ถือว่าเป็นสมาชิกของเซตที่ใช้ระยะเวลานาน (LONG) เมื่อจำนวนสัปดาห์เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ความเชื่อมั่นของเราที่ว่า Project นี้ใช้เวลานาน (LONG) ก็จะเพิ่มขึ้นระยะเวลา 2 สัปดาห์ไม่ถือว่าเป็นระยะเวลานาน (LONG), ระยะเวลา 10 สัปดาห์จะมีค่าระดับความเป็นสมาชิกเป็นครึ่งหนึ่งของเซต LONG และระยะเวลา 18 สัปดาห์ขึ้นไปนั้นถือว่าเป็นสมาชิกอย่างสมบูรณ์ของเซต LONG ทั้งนี้ในการประยุกต์ใช้จะขึ้นอยู่กับความต้องการที่จะให้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับของเซตและค่าความเป็นสมาชิกมากน้อยอย่างไร

รูปแบบของกราฟในระบบฟuzzy นั้นจะใช้กราฟรูปสามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยมคางหมูเป็นส่วนใหญ่ ตอนแรกรูปเหล่านี้ก็มีข้อจำกัดอยู่บ้าง กล่าวคือกราฟจะแทนค่าที่จำกัดหรือค่าที่คงที่เท่านั้น แต่ถ้าเราปรับแต่งหรือเคลื่อนย้ายเพียงเล็กน้อยก็จะสามารถนำมาใช้ในระบบฟuzzy ได้เป็นอย่างดี

### ตัวแปรภาษาคำพูด (Linguistic Variable)

แนวความคิดของตัวแปรภาษาคำพูดนี้ถือได้ว่าเป็นส่วนสำคัญของเทคนิคการสร้างแบบจำลองทางฟuzzy เลยทีเดียว ตัวแปรภาษาคำพูดก็คือชื่อของฟังก์ชันเซตนั่นเอง จากตัวอย่างที่แล้วฟังก์ชันเซต LONG เป็นตัวแปรภาษาคำพูดอย่างง่ายที่สามารถนำไปใช้ในระบบกฎพื้นฐาน (Rule-based system) เพื่อการตัดสินใจได้ โดยมีพื้นฐานอยู่บนความยาวนานของ Project นั้นๆ เช่น

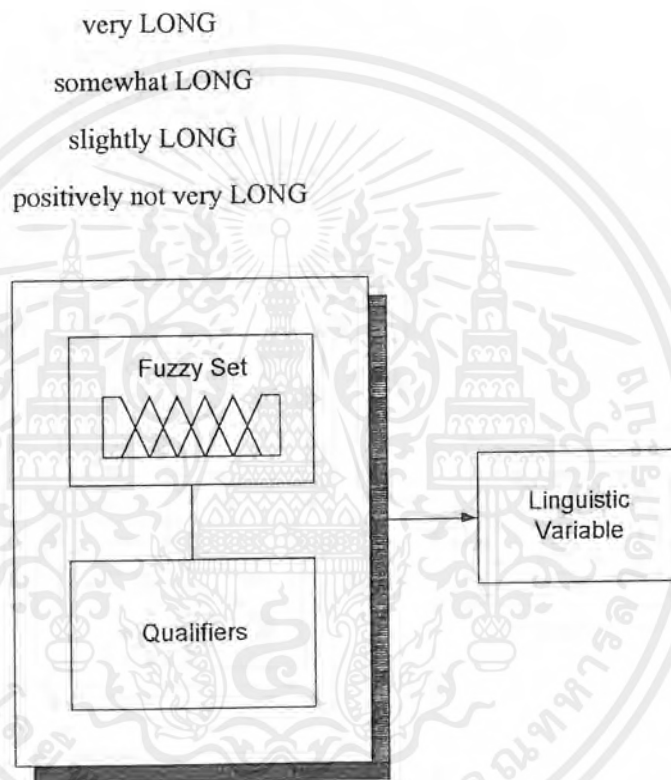
if project.duration is LONG

then the completion.risk is INCREASED;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวแปรภาษาคำพูดยังประกอบไปด้วยส่วนขยายซึ่งเรียกว่า “ Hedge “ ส่วนขยายเหล่านี้จะเปลี่ยนรูปร่างของฟัซซี่เซตไปในรูปแบบที่เราสามารถคาดหมายได้ หรือทำหน้าที่เหมือนกับ adverb และ adjective ในภาษาอังกฤษนั่นเอง รูปที่ 1.2 แสดงถึง โครงสร้างของตัวแปรภาษาคำพูด

ตัวแปรภาษาคำพูดนี้ทำให้วิศวกรที่มีประสบการณ์สามารถเขียนประโยค (Statement) ที่แสดงความหมายให้เกี่ยวข้องกับแนวคิด (Concept) ที่ต้องการได้ ตัวแปรภาษาคำพูดต่อไปนี้ใช้ฟัซซี่เซต LONG



รูปที่ 1.2 โครงสร้างของตัวแปรภาษาคำพูด

เราจะแปลความหมายของประโยคเหล่านี้เช่นเดียวกับกฎของภาษาอังกฤษ ดังนั้น not very LONG กับ very not LONG จะเป็นคนละประโยคกัน ตัวอย่างการใช้ประโยคที่มีส่วนขยาย แสดงในกฎต่อไปนี้

if project.duration is positively not very LONG

then the completion.risk is somewhat REDUCED;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนขยายที่ใช้ในฟัซซี่เซตอาจจะมีค่าที่ใช้ขยายความถี่รวมอยู่ด้วยเช่น usually,sometimes เป็นต้น ซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญสำหรับแบบจำลองฟัซซี่ที่อยู่ในรูปของอนุกรมเวลา

นอกจากนี้ตัวแปรภาษาคำพูดยังรวมเอาคุณสมบัติของการประมาณเข้าไว้ด้วย ซึ่งมีประโยชน์ในการคำนวณ โดยช่วยลดความสับสนในการอธิบายถึงระบบได้

### การประมาณค่าตามเงื่อนไข (Approximate Reasoning)

ในทางทฤษฎีของฟัซซี่เซต ฟัซซี่ลอจิกเป็นรากฐานในการออกแบบและสร้างแบบจำลองฟัซซี่ ทฤษฎีฟัซซี่เซตและฟัซซี่ลอจิกไม่ใช่วิธีการสำหรับการออกแบบให้ใช้กับระบบใดระบบหนึ่งโดยเฉพาะ ซึ่งวิธีการที่มากไปกว่าการใช้บูลีนลอจิก (Boolean logic) หรือความน่าจะเป็น (Probability) จึงจะเป็นลอจิก สำหรับการใช้งานเฉพาะอย่างได้ ทฤษฎีฟัซซี่เซตใช้แนวคิดของตรรกศาสตร์และทฤษฎีความน่าจะเป็นมาช่วยสนับสนุนทฤษฎีที่กว้างกว่าฟัซซี่ลอจิกหรือคณิตศาสตร์สมการฟัซซี่ ซึ่งทฤษฎีเหล่านี้จะช่วยสนับสนุนโครงสร้างของลอจิกที่ใช้ในการสร้างและจัดการ (Manipulate) ระบบฟัซซี่ ทฤษฎีดังกล่าวมีชื่อว่า Approximate Reasoning รูปที่ 1.3 แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างแต่ละทฤษฎี



รูปที่ 1.3 ระดับของลอจิกที่สนับสนุน Approximate Reasoning

ทำไมจึงต้องใช้ การควบคุมด้วยฟัซซี่

เหตุผลที่ต้องใช้ระบบควบคุมฟัซซี่(Fuzzy Control)นั้น แบ่งได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ เหตุผลทางทฤษฎีและเหตุผลทางปฏิบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1. เหตุผลทางทฤษฎีสำหรับระบบควบคุมพีซีซี

- โดยทั่วไปแล้วหลักการทางวิศวกรรมที่คือนั้น ควรจะต้องใช้ข้อมูลที่มีอยู่อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด เมื่อแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบนั้นยากเกินไปที่จะหามาได้ (ซึ่งเป็นไปได้มากในระบบที่ใช้ในการปฏิบัติจริงทั่วไป) ข้อมูลที่สำคัญที่สุดก็จะมาจาก
  1. ตัวตรวจจับ(Sensor) ซึ่งจะวัดค่าตัวแปรที่ต้องการควบคุมออกมาเป็นตัวเลข
  2. ผู้เชี่ยวชาญซึ่งจะอธิบายออกมาเป็นภาษาของมนุษย์(linguistic description) และคำสั่งควบคุม(Control Instruction)
- ระบบควบคุมพีซีซี นั้นสามารถออกแบบโดยนำข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งมีลักษณะไม่ชัดเจน ให้สามารถใช้ได้อย่างมีระบบและมีประสิทธิภาพ ซึ่งการควบคุมแบบเก่านั้นไม่สามารถนำข้อมูลแบบภาษาของมนุษย์มาใช้ได้ จึงทำให้ในสถานการณ์ที่ข้อมูลที่สำคัญที่สุดได้มาจากผู้เชียวชาญนั้นทำให้ระบบควบคุมพีซีซีจะเป็นทางเลือกที่ดีที่สุด
- ระบบควบคุมพีซีซีเป็นการสร้างแบบจำลองที่มีอิสระ กล่าวคือไม่ต้องการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบเหล่านั้นซึ่งทำให้ระบบยากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นการออกแบบจำลองที่มีอิสระจึงมีความสำคัญมากขึ้น การควบคุมแบบเก่านั้นก็มีบ้างเหมือนกันที่ใช้การออกแบบตามสภาพแวดล้อม เช่น การควบคุมแบบพีไอดี (PID Control)
- ระบบควบคุมพีซีซีเป็นระบบการควบคุมที่ไม่เป็นเชิงเส้น(nonlinear controller) ซึ่งจะอาศัยแนวคิดของตัวควบคุมพีซีซีลอจิกที่ใช้ในการประมวลค่าในเอกภพสัมพัทธ์โดยสามารถปรับแต่งให้ทำงานเป็นการควบคุมที่ไม่เป็นเชิงเส้นในแบบใด ๆ ก็ได้ ดังนั้นถ้าเลือกตัวแปรของระบบควบคุมพีซีซีได้เหมาะสม ก็จะสามารถควบคุมระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้นได้

## 2. เหตุผลทางการปฏิบัติสำหรับระบบควบคุมพีซีซี

- เป็นระบบที่เข้าใจได้ง่ายเนื่องจากระบบควบคุมพีซีซีเป็นการเลียนแบบวิธีการควบคุมของมนุษย์ซึ่งหลักการของระบบควบคุมพีซีซีก็สามารถที่จะเข้าใจได้ง่ายดายแม้แต่โดยบุคคลซึ่งไม่ใช่ผู้เชี่ยวชาญใน 2 ทศวรรษที่ผ่านมา ทฤษฎีการควบคุมแบบเก่าได้มีการใช้เครื่องมือทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนมากขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งก็เป็นสิ่งจำเป็นในการแก้ปัญหาที่ย่างยากซับซ้อน อย่างไรก็ตามสิ่งเหล่านี้ก็ทำให้จำนวนของวิศวกรปฏิบัติงานสามารถเข้าใจทฤษฎีเหล่านี้ลดน้อยลงไปด้วย ดังนั้นวิศวกรปฏิบัติงานที่ทำงานในการออกแบบสินค้าอุปโภคบริโภคก็มีแนวโน้มที่จะใช้วิธีที่ใช้งานและเข้าใจได้ง่าย ซึ่งระบบควบคุมพีซีซี ก็นับว่าเป็นวิธีการหนึ่งนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สามารถนำไปใช้งานได้ง่าย ระบบระบบควบคุมฟัซซี่ลอจิกซึ่งเป็นหัวใจของระบบควบคุมฟัซซี่สามารถเสนอได้ไม่ยากนักปัจจุบันมีการสร้างชิพฟัซซี่ VLSI (Fuzzy VLSI Chip) ขึ้นมากมาย ซึ่งก็จะทำให้ในการสร้างระบบควบคุมฟัซซี่ ทำได้ง่ายและรวดเร็ว
- เสียค่าใช้จ่ายไม่มากนักในการพัฒนา ในทฤษฎีทางการปฏิบัตินั้น ค่าใช้จ่ายในการพัฒนาระบบนับว่าเป็นปัจจัยสำคัญที่จะบ่งชี้ความสำเร็จของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากระบบควบคุมฟัซซี่ สามารถทำให้ความเข้าใจได้ง่ายใช้เวลาในการเรียนรู้ไม่มากนัก ทำให้ราคาของซอฟต์แวร์ค่าและจากการที่ระบบควบคุมฟัซซี่สามารถเสนอได้ง่าย จึงทำให้ราคาฮาร์ดแวร์ค่าด้วยเช่นกัน นอกจากนี้ยังมีซอฟต์แวร์ที่เป็นเครื่องมือ สำหรับการออกแบบระบบควบคุมฟัซซี่อีกด้วย ดังนั้นการควบคุมฟัซซี่จึงเป็นวิธีการที่มีอัตราส่วนระหว่างประสิทธิภาพการทำงานต่อค่าใช้จ่ายที่ต้องเสียไปสูงมากที่สุด

### ประโยชน์ที่ได้จากการสร้างแบบจำลองฟัซซี่

ฟัซซี่ลอจิกช่วยให้เราไม่ต้องเขียนซอฟต์แวร์หลักๆ สำหรับระบบการควบคุม หลังจากที่เราได้ออกแบบฮาร์ดแวร์ และเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือคอมพิวเตอร์ตัวซอฟต์แวร์จะถูกพัฒนาขึ้นให้ใช้วิธีการที่ใกล้เคียงกับความคิดของมนุษย์ นอกจากนี้ฟัซซี่ลอจิกยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้อีกมากมาย ดังตัวอย่างต่อไปนี้

1. สัญญาณกันขโมยในที่ทำงานหรือที่บ้าน
2. ใช้ควบคุมสภาวะอากาศภายในอาคาร เช่น เครื่องปรับอากาศ
3. ใช้ควบคุมมอเตอร์กระแสสลับ, กระแสตรง (A.C./D.C. Motor)
4. หุ่นยนต์
5. การพยากรณ์อากาศโดยใช้ความชื้น, อุณหภูมิ และความดัน
6. วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อรูปแบบและพฤติกรรมของข้อมูล
7. ควบคุมผลิตภัณฑ์ขณะทำการผลิต
8. ไม่ต้องการรายละเอียดที่ซับซ้อนในการออกแบบชุดควบคุมทำให้สามารถใช้งานกับระบบที่มีแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนได้ดีกว่า
9. สามารถนำความรู้และประสบการณ์ของผู้ควบคุมที่ไม่สามารถแสดงได้ด้วยรูปแบบทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการควบคุมได้
10. ชุดควบคุมฟัซซี่ลอจิกนั้นง่ายต่อการทำความเข้าใจทั้งนี้เพราะกฎควบคุม มีลักษณะคล้ายคลึงกับภาษาของมนุษย์และไม่ต้องอาศัยการคำนวณทางคณิตศาสตร์ที่ยุ่งยาก ดัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั่นจึงไม่จำเป็นที่จะต้องอาศัยวิศวกรที่มีการชำนาญมากนักในการใช้งานชุดควบคุมพีซีล่อจิก

11. แสดงด้วยกฎที่เราคุ้นเคยกันดี
12. เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นกับระบบอย่างกระทันหัน โดยมิได้คาดหมายชุดควบคุมพีซีล่อจิก ก็สามารถจัดการกับเหตุการณ์ได้
13. การประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ ของการควบคุมแบบพีซีล่อจิก เช่น ควบคุมแขนกล , ควบคุมจรวด , ควบคุมกลไกรถยนต์ , และควบคุมการเดินเรือ

### ทฤษฎีตรรกศาสตร์แบบเดิม

ทฤษฎีตรรกศาสตร์ซึ่งเป็นหลักการพื้นฐานของการหาข้อสรุปโดยใช้เหตุผล ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ค่าความจริง (truth value), การปฏิบัติการตรวจสอบให้แน่ใจและวิธีการหาข้อสรุปตามหลักการเหตุผล (reasoning procedure) ในตรรกศาสตร์บูลีนได้นิยามส่วนประกอบแต่ละส่วนดังนี้

#### นิยาม 1 ค่าความจริงของประพจน์ในตรรกศาสตร์บูลีน

ประพจน์ในตรรกศาสตร์บูลีน จะมีค่าความจริงเท่ากับ 0 เมื่อประพจน์เป็นเท็จ และจะมีค่าความจริงเท่ากับ 1 เมื่อประพจน์เป็นจริง

#### นิยาม 2 ปฏิบัติการทางตรรกศาสตร์บูลีน

ปฏิบัติการทางตรรกศาสตร์บูลีน ถูกนิยามด้วยค่าความจริงของประพจน์ ดังแสดงในตารางที่

1.1

ตารางที่ 1.1

แสดงค่าความจริงของประพจน์ในการปฏิบัติการทางตรรกศาสตร์บูลีน

A	B	$\wedge$	$\vee$	XV	$\rightarrow$	$\leftrightarrow$
1	1	1	1	0	1	1
1	0	0	1	1	0	0
0	1	0	1	1	1	0
0	0	0	0	0	1	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาข้อสรุปตามหลักการเหตุผลโดยใช้ทฤษฎีตรรกศาสตร์แบบเดิมจะใช้สัจนิรันดร์ (tautology) สำหรับเป็นพื้นฐานในการหาข้อสรุป ตัวอย่างสัจนิรันดร์ที่ใช้เป็นพื้นฐานในการหาข้อสรุปตามหลักการเหตุผล แสดงดังนี้

$$\text{modus ponens} : (A \wedge (A \rightarrow B)) \rightarrow B$$

$$\text{modus tollens} : ((A \rightarrow B) \wedge \neg B) \rightarrow \neg A$$

$$\text{sylogism} : ((A \rightarrow B) \wedge (B \rightarrow C)) \rightarrow (A \rightarrow C)$$

$$\text{contraposition} : (A \rightarrow B) \wedge ((\neg B) \rightarrow \neg A)$$

### ทฤษฎีเซตแบบเดิม (Crisp Set Theory)

#### นิยาม 1 คลิซป์เซต (Crisp Set)

คลิซป์เซต คือ กลุ่มของสมาชิกที่มีคุณสมบัติตามข้อกำหนดซึ่งอาจจะมีจำนวนจำกัดหรือไม่จำกัดก็ได้

#### นิยาม 2 เอกภพสัมพัทธ์ (Universe of Discourse : U)

เอกภพสัมพัทธ์ คือเซตที่มีสมาชิกทั้งหมดของขอบเขตที่ทำการพิจารณากำหนดให้  $u$  เป็นสมาชิกใดๆ ของ  $U$  เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์  $u \in U$

#### นิยาม 3 ฟังก์ชันการเป็นสมาชิก (Membership Function : $\mu$ )

ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของเซต เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์  $\mu$  ถูกนิยามดังนี้

$\mu_A(u)$  มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อ  $u$  เป็นสมาชิกของเซต  $A$

$\mu_A(u)$  มีค่าเท่ากับ 0 เมื่อ  $u$  ไม่เป็นสมาชิกของเซต  $A$

จะได้ว่า

$$\mu_A(u) : U \in \{0, 1\}$$

$$\mu_A(u) = \begin{cases} 1 & ; u \in A \\ 0 & ; u \notin A \end{cases} \quad (1.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### นิยาม 4 การเท่ากันของเซต

เซต A จะเท่ากับเซต B ก็ต่อเมื่อสมาชิกทุกตัวของเซต A เป็นสมาชิกของเซต B และสมาชิกทุกตัวของเซต B เป็นสมาชิกของเซต B เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์  $A=B$

$$(A=B) \leftrightarrow ((\forall a \in B) \wedge (\forall b \in A)) ; a \in A, b \in B \quad (1.2)$$

#### นิยาม 5 การเป็นสับเซต (Subset)

เซต A จะเป็นสับเซตของเซต B ก็ต่อเมื่อสมาชิกทุกตัวของเซต A เป็นสมาชิกของเซต B เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์  $A \subseteq B$

$$(A \subseteq B) \leftrightarrow (\forall a \in B ; a \in A) \quad (1.3)$$

เซต A จะเป็นสับเซตแท้ของเซต B ก็ต่อเมื่อ สมาชิกทุกตัวของเซต A เป็นสมาชิกของเซต B และเซต A ไม่เท่ากับเซต B เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์

$$(A \subset B) \leftrightarrow ((\forall a \in B) \wedge (A \neq B)) ; a \in A \quad (1.4)$$

#### นิยาม 6 ปฏิบัติการพื้นฐานของเซต

คอมพลีเมนต์ คือ ตัวปฏิบัติการในการสร้างเซตใหม่จากเซตเดิม โดยที่สมาชิกของเซตใหม่คือสมาชิกของเอกภพสัมพัทธ์ U ที่ไม่เป็นสมาชิกของเซตเดิม เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ดังนี้

$$A' = \{x \mid (x \in U) \wedge (x \notin A)\} \quad (1.5)$$

ยูเนียน คือ ตัวปฏิบัติการในการสร้างเซตใหม่จากเซตเดิม 2 เซต โดยที่สมาชิกของเซตใหม่ได้จากการรวมสมาชิกทั้งหมดที่เป็นสมาชิกของเซตใดเซตหนึ่ง หรือทั้ง 2 เซต เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ดังนี้

$$A \cup B = \{x \mid (x \in A) \vee (x \in B)\} \quad (1.6)$$

อินเตอร์เซกชัน คือ ตัวปฏิบัติการในการสร้างเซตใหม่จากเซตเดิม 2 เซต โดยที่สมาชิกของเซตใหม่ได้มาจากการรวมสมาชิกทั้งหมดที่เป็นสมาชิกของเซตเดิมทั้ง 2 เซต เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ดังนี้

$$A \cap B = \{x \mid (x \in A) \wedge (x \in B)\} \quad (1.7)$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2 ฟัซซีเซต

### หลักการและทฤษฎี

ฟัซซีเซต เป็นเซตที่แสดงถึงความสัมพันธ์ของสมาชิกภายในกลุ่มแต่ละตัวกับค่าจำกัดความของเซตนั้น ๆ โดยความสัมพันธ์นี้จะถูกแสดงในลักษณะของระดับความเป็นสมาชิก ที่มีค่าอยู่ในช่วง  $[0,1]$  แทนที่จะแสดงว่า สมาชิกตัวใดเป็นสมาชิกหรือไม่เป็นสมาชิกของเซตนั้น อย่างเซตธรรมดา (ซึ่งมีค่าเป็น  $\{0,1\}$  โดย 0 คือ ค่าต่ำสุดและ 1 คือ ค่าสูงสุด) ถ้าเรากำหนดให้  $U$  เป็นเซตเอกภพสัมพัทธ์ และฟัซซีเซต  $A$  มีสมาชิกของเซตเป็น  $\{X_1, X_2, X_3, \dots, X_n\}$  โดยที่  $X_i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ) เป็นสมาชิกของเซต  $A$  ซึ่งเซต  $A$  สามารถแสดงในรูปแบบของความสัมพันธ์ในฟัซซีเซตได้โดย  $\mu_A(X_i)$  ความสัมพันธ์เช่นนี้ในทางทฤษฎีของฟัซซีเซตจะเรียกว่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function) และสามารถเขียนเป็นสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ได้โดย

$$\mu_A(X_i) : U \rightarrow [0,1] \quad (2.1)$$

โดยที่  $\mu_A(X_i)$  ก็คือฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเซต  $A$

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเซตใด ก็จะต้องคล้องกับค่าจำกัดความของเซตนั้น และค่าจำกัดความเหล่านี้ ก็คือตัวแปรต่าง ๆ ของฟัซซีเซตที่อยู่ภายในขอบเขตเอกภพสัมพัทธ์หรือระบบใด ๆ ที่เราสนใจ

ตัวแปรฟัซซี (Fuzzy Variable) หรือบางครั้งอาจจะเรียกว่าตัวแปร Linguistic ซึ่งก็คือฟัซซีเซตใด ๆ ของระบบที่เราสนใจดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ตัวอย่างเช่น ถ้าเราพิจารณา “อุณหภูมิ” เป็นตัวแปรฟัซซีและค่าของตัวแปรของเซตนี้คือ {ต่ำ, ปานกลาง, สูง} ซึ่งจะเรียกเซตของค่าตัวแปรฟัซซีนี้ว่า เทอมเซตหรือเซตย่อยและนอกจากนี้ตัวแปรฟัซซีเซตแต่ละตัวอาจจะมีตัวขยาย (Hedges หรือ Qualifiers) เพื่อปรับค่าตัวแปรให้มีความยืดหยุ่นมากยิ่งขึ้นเช่นจากค่าของตัวแปรอุณหภูมิ “ต่ำ  $\rightarrow$  ต่ำมาก”, “สูง  $\rightarrow$  ค่อนข้างสูง” เป็นต้น คำว่า “มาก” หรือ “ค่อนข้าง” ในที่นี้เป็นตัวขยายของตัวแปรฟัซซี ซึ่งในทางปฏิบัติสามารถจะแทนด้านฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ได้

### ตัวแปรลึงกวิสติก (Linguistic Variable)

#### นิยามที่ 1 ตัวแปรลึงกวิสติก

ตัวแปรลึงกวิสติก ถูกนิยามด้วยฟังก์ชัน 5 เทอมคือ  $(x, T(x), U, G, M)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่  $x$  คือ ชื่อของตัวแปร (label)

$T(x)$  คือ เซตของค่าเชิงวิสตติคของ  $x$

$U$  คือ เอกภพสัมพัทธ์  $u \in U$

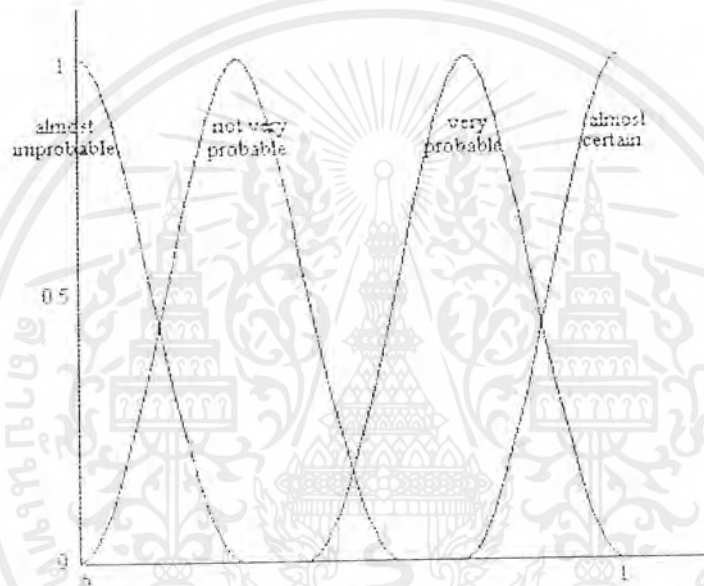
$X$  คือ ชื่อของค่าเชิงวิสตติคของ ที่ถูกสร้างตามกฎ  $G$  เรียกว่า เทอม (term)

$G$  คือ Syntactic rule ในการกำหนดชื่อของเทอม  $X$

$M$  คือ Sematic rule ในการนิยามคุณสมบัติของเทอม  $X$

$M(X)$  คือ  $U$  ฟังก์ชันระดับเซตของเอกภพสัมพัทธ์  $U$

ตัวแปรเชิงวิสตติค ที่สำคัญในทางฟัซซี่ลอจิก ได้แก่ ตัวแปร “Probability” และ “Truth” ซึ่งตัวอย่างการนิยามค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของเทอมของตัวแปรเชิงวิสตติค



รูปที่ 2.1 แสดงค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวแปรเชิงวิสตติค “probability”

“Probability” แสดงในรูปที่ 2.1

ในการนิยามตัวแปรเชิงวิสตติค “Truth” ได้มีผู้นำเสนอไว้ต่างกัันดังนี้ ในปี ค.ศ. 1973 Zadeh ได้นิยาม เซตของเทอมของตัวแปรเชิงวิสตติค “Truth” ดังสมการที่ (2.2)

$$T(\text{Truth}) = \{ \text{true, not true, very true, not very true, ..., false, not false, Very'false, ..., not very true and not very false, ...} \quad (2.2)$$

โดยได้นิยามเทอมปฐม (Primary term) ของตัวแปรเชิงวิสตติค “Truth” คือ “true” และ “false” และกำหนดค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของแต่ละเทอมตามสมการที่ (2.2)-(2.3) ซึ่งสามารถแสดงได้ในภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

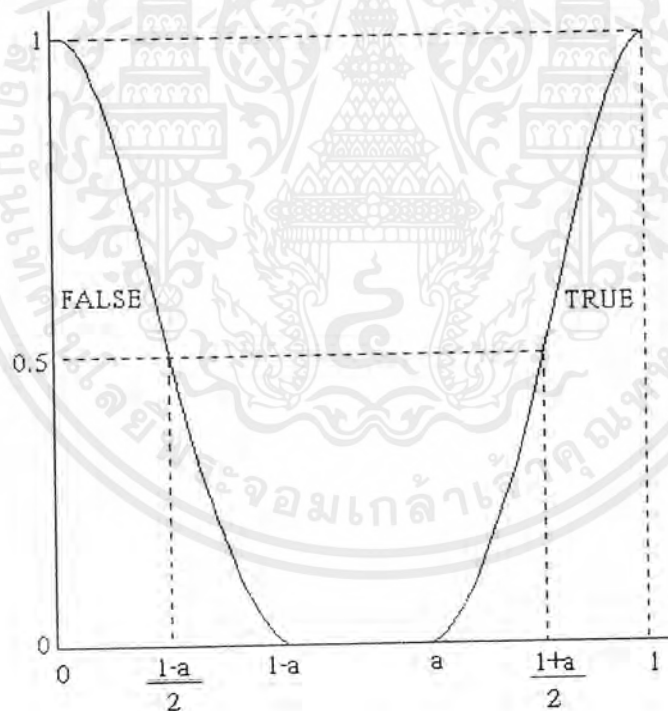
ที่ 2.2 และได้นิยามทอมอื่นๆจากการขยายทอมปฐม โดยการเติม modifier หรือ hedge ที่เหมาะสมในทอมที่ “true” และ “false”

$$\mu_{\text{true}}(V) = \begin{cases} 0 & ; \quad 0 \leq V \leq a \\ 2\left(\frac{V-1}{1-a}\right)^2 & ; \quad a \leq V \leq \frac{a+1}{2} \\ 1-2\left(\frac{V-1}{1-a}\right)^2 & ; \quad \frac{a+1}{2} \leq V \leq 1 \end{cases} \quad (2.3)$$

$$\mu_{\text{false}}(V) = \mu_{\text{true}}(1-V) \quad ; \quad 0 \leq V \leq 1 \quad (2.4)$$

เมื่อ  $V = (1+a)/2$  คือ จุดตัดข้าม (crossover)

$a \in [0, 1]$  คือ ค่าพารามิเตอร์ที่บอกถึงค่าต่ำสุดของ  $V$  ในการตัดสินใจ ความถูกต้องของประพจน์



รูปที่ 2.2 แสดงค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของทอม “true” และ “false” ตามนิยามของ Zadeh

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อมาในปี ค.ศ. 1979 Baldwin ได้นิยามเซตของเทอมของตัวแปรเชิงควิสติก "Truth" ตามสมการที่ (2.5)

$$T(\text{Truth}) = \{ \text{true, very true, fairly true, false, very false, fairly false} \} \quad (2.5)$$

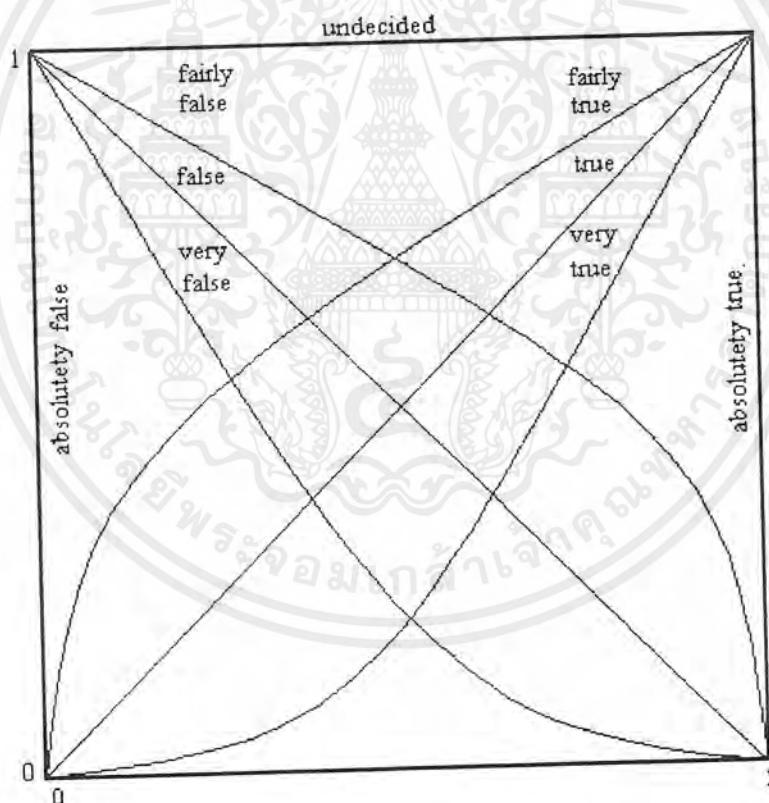
โดยกำหนดค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของแต่ละเทอมเป็นไปตามสมการที่ (2.6)-(2.7) ซึ่งสามารถได้ดังภาพที่ 2.3

$$\mu_{\text{very true}}(V) = (\mu_{\text{true}}(V))^2 ; V \in [0,1] \quad (2.6)$$

$$\mu_{\text{fairly true}}(V) = (\mu_{\text{true}}(V))^{1/2} ; V \in [0,1] \quad (2.7)$$

$$\mu_{\text{very false}}(V) = (\mu_{\text{false}}(V))^2 ; V \in [0,1] \quad (2.8)$$

$$\mu_{\text{fairly false}}(V) = (\mu_{\text{false}}(V))^{1/2} ; V \in [0,1] \quad (2.9)$$



รูปที่ 2.3 แสดงค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวแปรเชิงควิสติก "Truth" ตามนิยาม ของ

Baldwin

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## นิยาม 2 ตัวดำเนินการ Linguistic Hedge หรือ Modifier

Linguistic Hedge หรือ Modifier คือ ตัวดำเนินการในการแปลงหรือขยายขอบเขตของความหมายของฟัซซีเซต ซึ่งในที่นี้คือเทอมของตัวแปรลึงกวิสติก

กำหนดให้  $A$  เป็นฟัซซีเซตในเอกภพสัมพัทธ์  $U$  โดยที่  $u \in U$

นิยามตัวดำเนินการ modifier :  $m$  บนฟัซซีเซต  $A$  เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์  $m(A)$  ดังนี้

$$\text{concentration} : \mu_{\text{con}(A)}(u) = (\mu_A(u))^2 \quad (2.10)$$

$$\text{dilation} : \mu_{\text{dil}(A)}(u) = (\mu_A(u))^{1/2} \quad (2.11)$$

$$\text{intensification} : \mu_{\text{int}(A)}(u) = \begin{cases} 2(\mu_A(u))^2 & ; \mu_A(u) \in (0.5, 1] \\ 1 - 2(1 - \mu_A(u))^2 & ; \mu_A(u) \in [0, 0.5] \end{cases} \quad (2.12)$$

$$\text{จะได้ว่า} \quad \text{very } A = \text{con}(A) \quad (2.13)$$

$$\text{more or less } A = \text{dil}(A) \quad (2.14)$$

$$\text{plus } A = A^{1.25} \quad (2.15)$$

$$\text{slightly} = \text{int}[\text{plus } A \text{ and not (very } A)] \quad (2.16)$$

## นิยาม 3 ตัวแปรลึงกวิสติกบูลีน (Boolean Linguistic Variable)

ตัวแปรลึงกวิสติกบูลีน คือ ตัวแปรลึงกวิสติกที่มีเทอมเป็นค่าบูลีน ซึ่งมีเทอมปฐม 2 ตัว โดยที่เทอมทั้งหมด จะอยู่ในรูป  $X_p$  และ  $m(X_p)$

เมื่อ  $X_p$  คือ เทอมปฐม

$m(X_p)$  คือ เทอมที่ได้จากการทำปฏิบัติการ modifier บนเทอมปฐม

## การแทนข้อมูลโดยฟัซซีเซต

เพื่อให้เข้าใจการแทนข้อมูลโดยฟัซซีเซตได้ง่ายขึ้น เราจะยกตัวอย่างของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวัน คือเราจะพิจารณาความสูงของผู้ชายไทย โดย “ความสูง” ในที่นี้จะเป็นตัวแปรฟัซซีเซต และเพื่อให้เข้าใจความหมายของฟัซซีเซตได้เด่นชัดยิ่งขึ้น เราจะเปรียบเทียบการแทนข้อมูลของฟัซซีเซตกับเซตธรรมดา การแปลงข้อมูลเพื่อคำนวณค่าความเป็นสมาชิกของเซตธรรมดา จะต้องมีการกำหนดค่าเทรซโฮลด์ เพื่อจะนำมาเป็นตัวตัดสินว่าสมาชิกตัวใดในเซตเอกภพสัมพัทธ์ที่เป็นสมาชิกเซตที่กำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

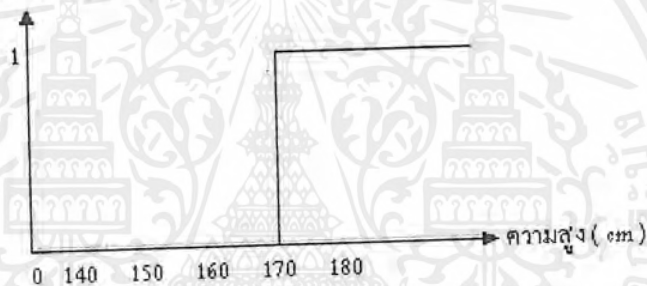
พิจารณาอยู่บ้าง สำหรับในตัวอย่างของเซตความสูงของผู้ชายไทย สมมุติอยู่ในช่วง 140-180 cm (โดเมนของเซตเอกภพสัมพัทธ์) แต่ในที่นี้เราสนใจคนที่สูง ถ้าเรากำหนดให้เซต A เป็นเซตของคนสูง (“สูง” ในกรณีของฟัซซีเซตจะเป็นทอสมเซต) ดังนั้นเซต A ในกรณีของเซตธรรมดาจะต้องมีค่าขีดเริ่มเปลี่ยนหรือค่าเทรชโฮลด์ (Threshold) ซึ่งในที่นี้จะกำหนดให้เท่ากับ 170 cm นั่นคือถ้าชายไทยมีความสูงมากกว่าหรือเท่ากับ 170 cm จะถือว่าคนนั้นสูง (เป็นสมาชิกของเซต A) ซึ่งสามารถเขียนเป็นฟังก์ชันคุณลักษณะ (Characteristic Function) หรือฟังก์ชันความเป็นสมาชิกได้ดังนี้

$$\mu_A(X_i) = \{X_i \geq 170\} \quad (2.17)$$

โดยที่  $X_i$  คือความสูงของผู้ชายไทยคนที่  $i$

จากสมการที่ 2.17 สามารถนำมาเขียนเป็นกราฟของความเป็นสมาชิกได้ดังรูปที่ 2.4

ระดับความเป็นสมาชิก :  $\mu_A(X_i)$



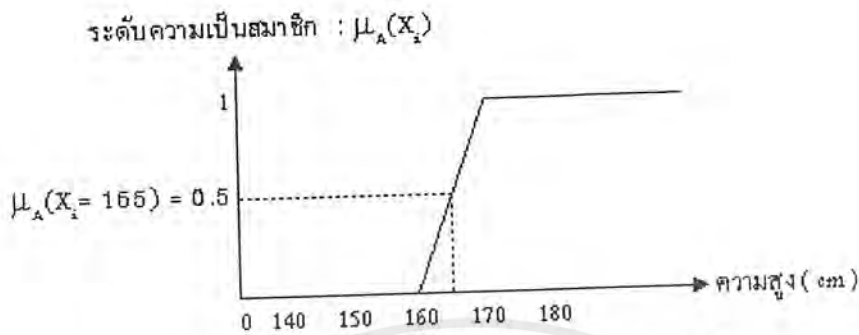
รูปที่ 2.4 ค่าความเป็นสมาชิกของเซต A ในกรณีที่เป็นเซตธรรมดา

ในกราฟ บนแนวแกนตั้งแทนค่าระดับความเป็นสมาชิกที่มีค่าเป็น 0 (ไม่เป็นสมาชิกของเซต A) และ 1 (เป็นสมาชิกของเซต A) และจะเห็นว่าคนที่มีความสูงมากกว่าหรือเท่ากับ 170 cm ขึ้นไปเท่านั้นจึงจะถือว่าผู้ชายคนนั้นสูง นอกจากนั้นจะไม่ใช้สมาชิกของเซต A

ในกรณีของฟัซซีเซตฟังก์ชัน ความเป็นสมาชิกจะมีความยืดหยุ่นกว่า และสอดคล้องกับความ เป็นจริงมากกว่าเซตธรรมดา ดังในสมการที่ 2.18

$$\mu_A(X_i) = \begin{cases} \frac{1}{(170-160)}(X_i - 160) & ; \text{ ถ้า } 160 \leq X_i \leq 170 \\ 1 & ; \text{ ถ้า } X > 170 \\ 0 & ; \text{ ในกรณีอื่น ๆ } \end{cases} \quad (2.18)$$

ในสมการที่ 2.18 เป็นกำหนดค่าความเป็นสมาชิกให้กับเทอมเซตของคนสูงและในกราฟรูปที่ 2.5 แสดงกราฟระดับความเป็นสมาชิกของสมการนี้



รูปที่ 2.5 ค่าความเป็นสมาชิกของเทอมเซต A ในกรณีที่เป็นฟัซซี่เซต

เมื่อเปรียบเทียบฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในกราฟรูปที่ 2.1 กับรูปที่ 2.2 จะเห็นว่ากราฟแสดงความเป็นสมาชิกของฟัซซี่เซตจะมีความต่อเนื่องในค่าระดับความเป็นสมาชิกในช่วง  $[0,1]$  เช่น คนที่มีความสูง 165 cm ก็จะได้ว่าเป็นคนสูงเช่นกัน แต่เขาจะมีระดับความเป็นสมาชิกของเซต A ทั้งหมดที่มีความสูงแตกต่างจากคนที่สูงไม่ถึงเซนติเมตรเท่านั้น หรือแม้แต่คนที่มีความสูง 169 cm ซึ่งมีความสูงต่างจากคนที่ถือว่าสูงเพียง 1 cm เท่านั้น แต่ในเซตธรรมดา จะถือว่าเขาไม่ใช่คนสูงแต่สำหรับการแทนข้อมูลโดยฟัซซี่เซตจะถือว่าคนนี้เป็นเซตของคนสูงด้วยค่าระดับความเป็นสมาชิกเท่ากับ 0.9 (คือเกือบจะเป็นคนสูงเลยทีเดียว)

### ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

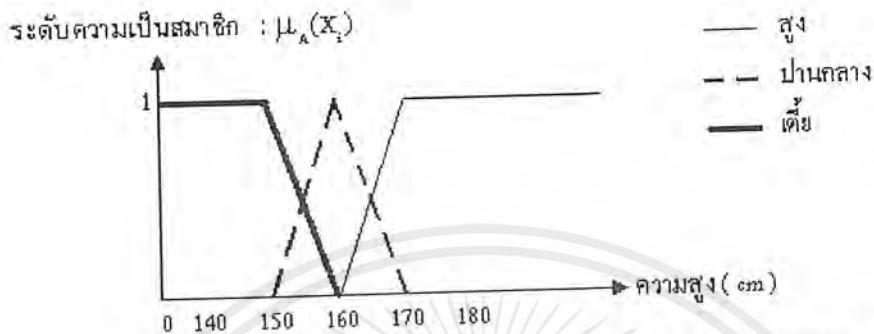
ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกหรือฟังก์ชันคุณลักษณะในกรณีของฟัซซี่เซตไม่ใช่แค่การ Normalization ข้อมูลอย่างที่หลาย ๆ คนเข้าใจกัน แต่ฟังก์ชันนี้จะต้องถูกกำหนดขึ้นตามคำจำกัดความของเทอมเซตที่มีความยืดหยุ่นและตรงตามความเป็นจริง แต่ก่อนที่จะพิจารณาดังฟังก์ชันความเป็นสมาชิกชนิดต่าง ๆ เราจะไปดูถึงคุณสมบัติบางประการของฟัซซี่เซตก่อน

#### - เซตเอกภพสัมพัทธ์

เมื่อพิจารณาดังกราฟรูปที่ 2.5 แกนบนของกราฟจะแทนโดเมนของฟัซซี่เซต ส่วนแกนตั้งจะแทนค่าระดับความเป็นสมาชิก แต่ในกราฟรูปที่ 2.5 เทอมเซตเพียงเทอมเดียว ซึ่งเป็นเทอมของคนสูงเท่านั้นเพื่อให้ครอบคลุมกลุ่มประชากรที่เราสนใจจึงเพิ่มเทอมเซตอีกสองเทอมคือ เทอมเซตของคน "เตี้ย" และเทอมเซตของคนที่มีความสูง "ปานกลาง" ดังรูปที่ 2.6 ซึ่งในกรณีนี้โดเมนของตัวแปร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟuzzy ที่ครอบคลุมประชากรทั้งหมดที่ทำการศึกษา เราจะเรียกโดเมนของตัวแปรนี้ว่า เซตเอกภพ สัมพัทธ์ และในแต่ละเทอมเซตก็จะมีโดเมนของตัวเองเช่น เทอมเซตของคนเตี้ยจะมีโดเมนอยู่ในช่วง 140-160 cm เทอมเซตของคนที่มีความสูงปานกลางจะมีโดเมนอยู่ในช่วง 150-170 cm. และเทอมเซตของคนที่สูงจะมีโดเมนอยู่ในช่วง 160-180 cm.



รูปที่ 2.6 แสดงกราฟฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปร “ความสูง” ที่ประกอบด้วย 3 เทอมเซต

#### - ซัพพอร์ตเซต (Support Set)

ในกรณีที่  $x_i (\forall i)$  ในบางเทอมเซตมีค่าน้อยกว่าโดเมนของมัน เช่น ในเทอมเซตของคนเตี้ยซึ่งมีโดเมนอยู่ในช่วง [ 140-160 ] เมื่อทำการวัดความสูงของประชากรกลุ่มนี้ปรากฏว่าความสูงที่วัดได้จริง ๆ ของพวกเขาอยู่ในช่วง [145-160] ซึ่งช่วงของข้อมูลที่วัดได้จริง ๆ จะเรียกว่า ซัพพอร์ตเซตของเทอมนั้นๆ สำหรับซัพพอร์ตเซตจะมีประโยชน์ในการปรับขนาดของเทอมเซตโดยอัตโนมัติ

#### - การแทรกโฮลด์ฟuzzyเซต

“การแทรกโฮลด์หรืออัลฟา คัท (Alpha-Cut, หรือ  $\alpha$ -Cut) ของฟuzzyเซตมีความสัมพันธ์กับซัพพอร์ตเซต คือค่าระดับของ  $\alpha$  ( $0 \leq \alpha \leq 1$ ) จะเป็นค่าแทรกโฮลด์ภายในขอบเขตโดเมนของเทอมเซตที่ค่า  $\alpha$  เป็นค่าของเขตล่างของซัพพอร์ตเซต หรืออาจจะเป็นค่าใด ๆ ที่เราสนใจในช่วง [0,1]  $\alpha$ -Cut มีอยู่สองชนิดด้วยกันคือ

#### 1. Strong $\alpha$ -Cut ซึ่งกำหนดโดย

$$\mu_\alpha(x_i) = \begin{cases} \mu_\alpha(x_i) & ; \text{ ถ้า } \mu_\alpha(x_i) \geq \alpha \\ 0 & ; \text{ ในกรณีอื่น ๆ } \end{cases} \quad (2.19)$$

#### 2. Weak $\alpha$ -Cut สามารถกำหนดได้โดย

$$\mu_\alpha(x_i) = \begin{cases} \mu_\alpha(x_i) & ; \text{ ถ้า } \mu_\alpha(x_i) > \alpha \\ 0 & ; \text{ ในกรณีอื่น ๆ } \end{cases} \quad (2.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ปณ  
03/4/61  
95111

เมื่อ  $A$  เป็นทอมเซตใด ๆ ประโยชน์ของ  $\alpha$ -Cut มีอยู่สองประการด้วยกัน อย่างแรกคือ Strong  $\alpha$ -Cut ใช้ในการกำหนดซัพพอร์ตเซตอย่างที่สองคือ ทำให้มีความยืดหยุ่นสำหรับระบบควบคุมที่ใช้ ฟัชชีเซต ในกรณีที่มีการอินเตอร์เซกชันกันหลายทอมซึ่งจะได้อธิบายในหัวข้อของกฎฟัชชีเซตต่อไป

### ประเภทของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

ตอนนี้เราจะพิจารณาถึงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบต่างๆที่ใช้ในการประมาณค่าความเป็นสมาชิกของแต่ละทอมเซตโดยมีทั้งแบบที่ประมาณค่าเป็นเชิงเส้นเช่น รูปสามเหลี่ยม, รูปสี่เหลี่ยมคางหมู และแบบที่ประมาณค่าโดย ฟังก์ชันต่อเนื่อง เช่น  $S, S^{-1}$ , ระวังคำว่า เป็นขั้น ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

#### 1. สมการเชิงเส้น

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบสมการเชิงเส้น ที่ใช้ในแปลงค่าความสัมพันธ์ของโดเมน ไปยังเรนจ์ สำหรับข้อมูลที่มีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้น ดังสมการที่ 2.17

#### 2. รูปสามเหลี่ยม

การกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกโดยใช้รูปสามเหลี่ยม นิยมใช้กันมากในระบบควบคุมที่ใช้ฟัชชีเซต ทอมเซตที่กำหนดโดยฟังก์ชันนี้จะต้องมีค่าที่เหมาะสมที่สุดอยู่เพียงค่าเดียวที่ทำให้ค่าความเป็นสมาชิกเท่ากับหนึ่ง ส่วนค่าอื่น ๆ จะมีความเป็นสมาชิกลดลงเรื่อย ๆ เมื่อห่างจากค่านี้มากขึ้น ในตัวอย่างของตัวแปรความสูง ทอมเซต “ปานกลาง” มีฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเป็นรูปสามเหลี่ยม ถ้ากำหนดให้  $a \leq b \leq c$  เมื่อ  $a, b,$  และ  $c$  เป็นเลขจำนวนจริงใด ๆ ดังนั้นสมการของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของรูปสามเหลี่ยมสามารถกำหนดได้ดังนี้

$$\mu_x(X_i) = \begin{cases} \frac{1}{(b-a)} (X_i - a) & ; \text{ ถ้า } a \leq X_i \leq b \text{ และ } a \neq b \\ \frac{1}{(c-b)} (c - X_i) & ; \text{ ถ้า } b < X_i \leq c \text{ และ } b \neq c \\ 0 & ; \text{ ในกรณีอื่น ๆ } \end{cases} \quad (2.21)$$

#### 3. รูปสี่เหลี่ยมคางหมู

สำหรับฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่กำหนดด้วยสมการรูปสี่เหลี่ยมคางหมุนิยมใช้ในระบบควบคุมที่ใช้ฟัชชีเซตเช่นกันแต่จะพบน้อยกว่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่จะกำหนดด้วยสมการรูปสามเหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่กำหนดด้วยสมการรูปสี่เหลี่ยมคางหมูจะต้องมีช่วงของค่าที่เหมาะสมมากที่สุดอยู่กลุ่มหนึ่ง ที่ทำให้ค่าความเป็นสมาชิกของทอมเซตนั้น ๆ มีค่าเท่ากับหนึ่ง นอกจากนี้จะมีความเป็นสมมาตรน้อยลงเรื่อย ๆ เมื่อยิ่งห่างจากข้อมูลกลุ่มนี้ ถ้ากำหนดให้  $a \leq b \leq c \leq d$

$$\mu_A(X_i) = \begin{cases} \frac{1}{(b-a)} (X_i - a) & ; \text{ ถ้า } a \leq X_i \leq b \text{ และ } a \neq b \\ 0 & ; \text{ ถ้า } b < X_i \leq c \\ \frac{1}{(d-c)} (d - X_i) & ; \text{ ถ้า } b < X_i \leq d \text{ และ } c \neq d \\ 0 & ; \text{ ในกรณีอื่น ๆ } \end{cases} \quad (2.22)$$

เมื่อ  $a, b, c$  และ  $d$  เป็นเลขจำนวนจริงใด ๆ ดังนั้นสมการของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของรูปสี่เหลี่ยมคางหมูสามารถกำหนดได้ดังนี้

#### 4. เส้นโค้งรูป S

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่กำหนดด้วยเส้นโค้งรูปตัว S (S-Curve, Sigmoid หรือ Logic) เป็นการกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างโดเมนไปยังเรนจ์แบบไม่เป็นเชิงเส้น ตัวแปรที่เหมาะสมที่จะใช้ฟังก์ชันนี้คือพวกอายุการใช้งานของอุปกรณ์ต่างๆ เป็นต้น ซึ่งตัวแปรพวกนี้มักจะมีความสัมพันธ์แบบไม่เป็น

$$\mu_A(X_i) = \begin{cases} 0 & ; \text{ ถ้า } X_i \leq a \\ 2 \left[ \frac{X_i - a}{c - a} \right]^2 & ; \text{ ถ้า } a < X_i \leq b \\ 1 - 2 \left[ \frac{X_i - a}{c - a} \right]^2 & ; \text{ ถ้า } b < X_i \leq c \\ 1 & ; \text{ ถ้า } X_i > a \end{cases} \quad (2.23)$$

เชิงเส้นที่เป็นตัว S หรือ  $S^{-1}$  ถ้ากำหนดให้  $a \leq b \leq c$  เมื่อ  $a, b,$  และ  $c$  เป็นเลขจำนวนจริงใด ๆ ดังนั้นสมการของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเส้นโค้งรูปตัว S สามารถกำหนดได้ดังสมการที่ (2.23) และ  $S^{-1}$  สามารถคำนวณได้โดยหาค่าคอมพลีเมนต์ของสมการที่ (2.23) ( $S^{-1} = 1 - \mu_A(X_i)$ ) โดยที่ได้จากสมการที่ (2.23)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### รูปประฆังคว่ำ

เทอมเซตที่ใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบรูปประฆังคว่ำจะมีคุณสมบัติของข้อมูลคล้ายสมการรูปสามเหลี่ยม แต่ข้อมูลของโดเมนที่แปลงไปยังเรนจ์จะมีความสัมพันธ์ในลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น สมการของรูปประฆังคว่ำมีด้วยกันหลายสมการแต่ที่ใช้กันมากคือ ฟังก์ชัน  $\pi$  , ฟังก์ชัน Gaussian และ ฟังก์ชัน Bc1a ซึ่งสามารถกำหนดค่าได้ดังนี้

-ฟังก์ชัน  $\pi$  กำหนดได้จากสมการที่ (2.23)

$$S(X_i; a, b, c) = \begin{cases} 0 & ; \text{ถ้า } X_i \leq a \\ 2 \left[ \frac{X_i - a}{c - a} \right]^2 & ; \text{ถ้า } a < X_i \leq b \\ 1 - 2 \left[ \frac{X_i - a}{c - a} \right]^2 & ; \text{ถ้า } b < X_i \leq c \\ 1 & ; \text{ถ้า } X_i > c \end{cases} \quad (2.24)$$

โดยที่  $b = \frac{c-a}{2}$

ดังนั้นฟังก์ชัน สามารถกำหนดได้โดย

$$\mu_A(X_i) = \begin{cases} S(X_i; c - b, c - \frac{b}{2}, c) & \text{ในกรณีที่ } X_i \leq c \\ 1 - S(X_i; c, c + \frac{b}{2}, c + b) & \text{ในกรณีที่ } X_i > c \end{cases} \quad (2.25)$$

- ฟังก์ชัน Gaussian

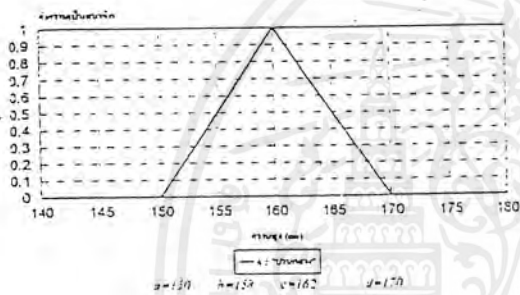
$$\mu_A(X_i) = e^{-K(\bar{x} - x_i)^2} \quad (2.26)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

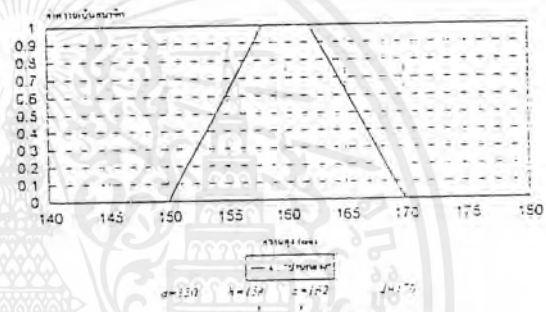
โดยที่  $K = \frac{1}{2\sigma^2}$  ซึ่งเป็นโคเมนสายของฟังก์ชันเซต A ที่มีค่าเฉลี่ยเป็น  $x$  และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน  $\sigma$

- ฟังก์ชัน Beta ฟังก์ชันนี้จะมีคุณสมบัติคล้ายกับสมการรูปสี่เหลี่ยมคางหมู คือจะมีช่วงของข้อมูลที่เหมาะสมกับเทอมเซตนั้น ๆ อยู่กลุ่มหนึ่งที่ทำให้ค่าความเป็นสมาชิกของเทอมเซตมีค่าเข้าใกล้ 1 ซึ่งของข้อมูลกลุ่มนี้มีความกว้างของช่วงเท่ากับค่า  $\beta$  ซึ่งถ้าค่า  $p - \alpha$  จะทำให้ข้อมูลในช่วง  $\beta$  มีค่าเข้าใกล้ 1 มากยิ่งขึ้นโดยมีจุดศูนย์กลางอยู่ที่  $x$  ดังแสดงในสมการที่ (2.27)

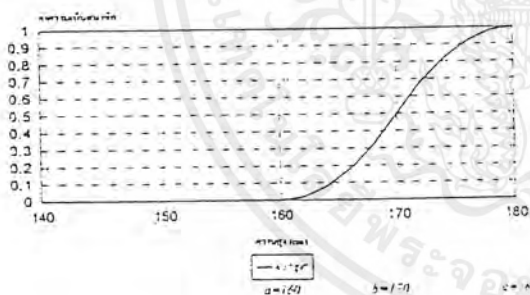
$$\mu_A(x) = \frac{1}{1 + \left[ \frac{x - \bar{x}}{\sigma} \right]^p} \quad (2.27)$$



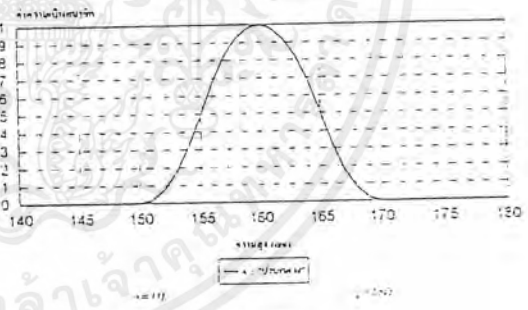
(ก. รูปสามเหลี่ยม)



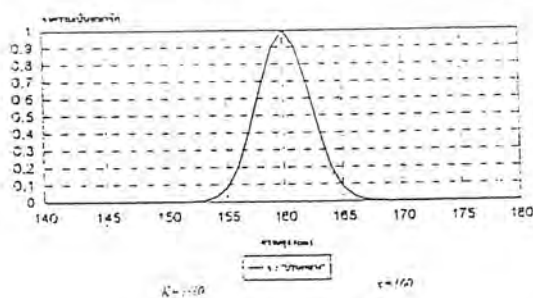
(ข. รูปสี่เหลี่ยมคางหมู)



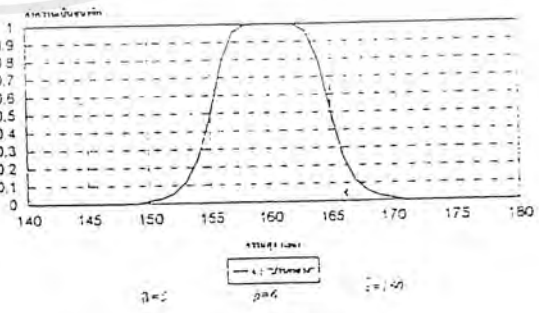
(ค. S-Curve)



(ง. π)



(จ. Gaussian)



(ฉ. Beta)

รูปที่ 2.7 แสดงกราฟฟังก์ชันความเป็นสมาชิกชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตัวดำเนินการฟัซซี่เซต

ตัวดำเนินการของฟัซซี่เซตส่วนใหญ่แล้วจะมีตัวดำเนินการคล้ายกับเซตธรรมดา เช่น อินเตอร์เซกชัน, ยูเนียน, คอมพลิเมนต์ เป็นต้น ซึ่งตัวดำเนินการเหล่านี้จะใช้ในการอนุมานฟัซซี่เซตเพื่อประโยชน์ในการตัดสินใจโดยการประมาณค่าของตัวแปร ในที่นี้เราจะเสนอตัวดำเนินการของฟัซซี่เซตบางส่วนเฉพาะที่ใช้ในแบบจำลองการตัดสินใจของระบบควบคุมโดยใช้ฟัซซี่เซตเท่านั้น

กำหนดให้  $U$  เป็นเซตเอกภพสัมพัทธ์,  $A, B$  เป็นเทอมเซตใด ๆ ที่อยู่ใน  $U$  และตัวดำเนินการพื้นฐานต่าง ๆ สามารถกำหนดได้ดังนี้

### 1. เซตย่อย

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

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

### 2. คอมพลิเมนต์

$A$  เป็นคอมพลิเมนต์ของ  $B$  ( $A = B^c$ ) ก็ต่อเมื่อ

$$\mu_{A^c}(x_i) = \mu_{B^c}(x_i) = 1 - \mu_B(x_i); \forall x_i \in U$$

### 3. อินเตอร์เซกชันของ $A$ และ $B$ ( $A \cap B$ ) กำหนดได้โดย

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

### 4. ยูเนียนของ $A$ กับ $B$ ( $A \cup B$ ) กำหนดได้โดย

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ยกกำลังด้วยค่า  $\alpha$  ( $A^\alpha$ ) กำหนดได้โดย

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

6. Concentration ของเซต A กำหนดได้โดย

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

7. Dilation ของเซต A กำหนดได้โดย

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

8. Contrast Intensification ของเซต A กำหนดได้โดย

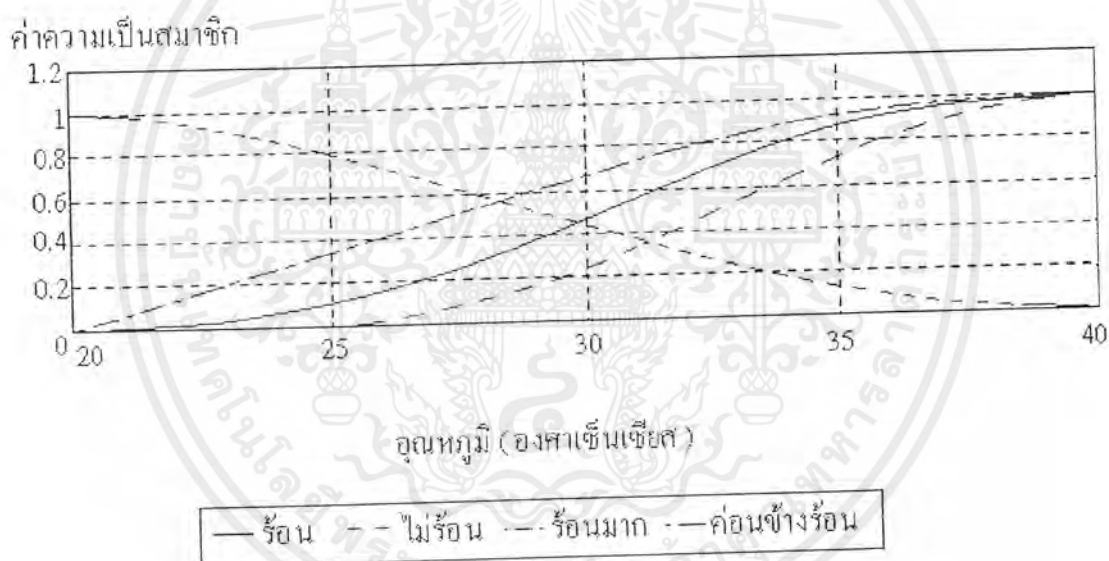
$$\text{INT}(A) \Rightarrow \mu_{\text{INT}(A)}(x_i) = \begin{cases} 2(\mu_A(x_i)); & \text{ถ้า } 0 \leq \mu_A(x_i) \leq 0.5 \\ 1 - 2(1 - \mu_A(x_i)); & \text{ถ้า } 0.5 < \mu_A(x_i) \leq 1 \end{cases}$$

### ส่วนขยายของฟัซซีเซต

ส่วนขยาย (Hedge) ของฟัซซีเซตจะมีคุณสมบัติคล้ายกับค่าคุณศัพท์ในประโยคที่เราใช้พูดคุยติดต่อกัน ซึ่งจะขยายให้มีใจความของประโยคให้ได้ความหมายที่ชัดเจนยิ่งขึ้นหรือทำให้ความหมายเปลี่ยนไปสำหรับ Hedge ของฟัซซีเซตนั้นจะขยายขอบเขตของตัวแปรฟัซซีเซต เพื่อให้การประมาณค่าของตัวแปรมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น เมื่อขยายขอบเขตใดด้วย Hedge จะส่งผลให้รูปร่างของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเซตนั้น ๆ เปลี่ยนไปและในบางกรณีอาจจะทำให้ได้ขอบเขตใหม่ขึ้นมา Hedge แต่ละตัวจะเป็นตัวดำเนินการของฟัซซีเซต เช่น Hedge คำว่า “มาก” Zadeh ได้ให้ความหมายของคำนี้ไว้โดยการยกกำลังค่าความเป็นสมาชิกทุกตัวในเซตด้วยสอง ซึ่งก็คือตัวดำเนินการ Concentration ของฟัซซีเซต ส่วน Hedge ของคำว่า “ค่อนข้าง” Zadeh ได้ให้ความหมายของคำนี้ไว้โดยการถอดรากที่สองของค่าความเป็นสมาชิกทุกตัวในเซตหรือก็คือตัวดำเนินการ Dilation ของฟัซซีเซตนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาเหตุที่ Zadeh แทนความหมายของ Hedge ของคำว่า “มาก” และ “ค่อนข้าง” ด้วยตัวดำเนินการยกกำลังด้วย 2 และ 0.5 ตามลำดับ ก็เพื่อทำการแปลงค่าความเป็นสมาชิกให้เหมาะสมกับเทอมเซตนั้น ๆ ยิ่งขึ้น อย่างเช่น Hedge คำว่า “มาก” เมื่อนำไปขยายเทอมเซตใด แสดงว่าค่อนข้างจะแน่ใจว่าสัจพจน์ของเทอมเซตนั้นต้องการความถูกต้องสูง และเพื่อให้แน่ใจว่าค่าระดับความเป็นสมาชิกของเทอมเซตนี้มีความถูกต้องสูงจริง ๆ จึงทำการลดค่าระดับความเป็นสมาชิกลงมาร โดยตัวดำเนินการ Concentration ส่วน Hedge คำว่า “ค่อนข้าง” แสดงถึงความไม่แน่ใจในผลตอบสนองของเทอมเซตนั้น ๆ จึงทำการเพิ่มค่าระดับความเป็นสมาชิกให้มากขึ้น โดยการยกกำลังด้วย 0.5 ความจริงความหมายของ Hedge เป็นการแปลความหมายตามอำเภอใจ ดังนั้นคำว่า “มาก” อาจจะไม่ใช่จำเป็นต้องยกกำลังสองก็ได้ เช่นอาจจะยกกำลังด้วย 1.3 หรือ 1.8 เป็นต้น สำหรับเทอมเซตตัวอื่น ๆ ที่มักพบบ่อยคือตัวดำเนินการคอมพลิเมนต์หรือ Hedge คำว่า “ไม่” ส่วน Hedge ที่ใช้ในการเปรียบเทียบเช่น “มากกว่า” หรือ “สูงกว่า” “น้อยกว่า” หรือ “ต่ำกว่า” เป็นต้น รูปที่ 2.8 แสดง Hedge ของตัวอนุภูมิ ซึ่งเป็นอนุภูมิห้อง



รูปที่ 2.8 Hedge ของตัวแปรอนุภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3 ตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิก

#### ทฤษฎีฟัซซี่ลอจิก

ฟัซซี่ลอจิกเป็นทฤษฎีทางตรรกศาสตร์ที่ขยายมาจากทฤษฎีตรรกศาสตร์หลายค่า (multivalued logic) โดยนิยามค่าความจริงของประพจน์เป็นตัวเลขกวดิจได้และมีการนิยามการปฏิบัติการทางตรรกศาสตร์สำหรับฟัซซี่ลอจิกไว้ต่างๆ กัน ในวิทยานิพนธ์นี้ จะอ้างอิงจากนิยามดั้งเดิมของ Zadeh ดังต่อไปนี้

#### นิยาม 1 ค่าความจริงของประพจน์ในทฤษฎีฟัซซี่ลอจิก

กำหนดให้  $V(A)$  เป็นฟัซซี่เซตในเอกภพสัมพัทธ์  $V = [0, 1]$  ซึ่งแทนค่าความจริงของประพจน์  $A$  จะได้ว่า

$$V(A) = \{(V_i, \mu_i \mid i = 1, 2, \dots, n, V_i \in [0, 1])\} \quad (3.1)$$

$$V(\text{not } A) = 1 - V(A) = \{(1 - V_i, \mu_i \mid i = 1, 2, \dots, n, V_i \in [0, 1])\} \quad (3.2)$$

#### นิยาม 2 การปฏิบัติการทางตรรกศาสตร์ในทฤษฎีฟัซซี่ลอจิก

$$\text{กำหนดให้ } V(A) = \{(V, \mu_A \mid \mu_A(V) \in [0, 1], V \in [0, 1])\}$$

$$V(B) = \{(V, \mu_B \mid \mu_B(V) \in [0, 1], V \in [0, 1])\}$$

$$\text{จะได้ว่า } V(A) \wedge V(B) = V(A \text{ and } B) = \{(V, \min\{\mu_A(V), \mu_B(V)\})\} \quad (3.3)$$

$$V(A) \vee V(B) = V(A \text{ or } B) = \{(V, \max\{\mu_A(V), \mu_B(V)\})\} \quad (3.4)$$

$$\neg V(A) = \{(V, 1 - \mu_A(V))\} \quad (3.5)$$

$$\begin{aligned} V(A) \rightarrow V(B) &= V(A \rightarrow B) = \neg V(A) \vee V(B) \\ &= \{(V, \max\{1 - \mu_A(V), \mu_B(V)\})\} \end{aligned} \quad (3.6)$$

$$\text{ในกรณีนี้ที่ } V(A) = \{(V_i, \alpha_i \mid i = 1, 2, \dots, n; V_i \in [0, 1]; \alpha_i \in [0, 1])\}$$

$$V(B) = \{(\omega_i, \beta_i \mid i = 1, 2, \dots, n; \omega_i \in [0, 1]; \beta_i \in [0, 1])\}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ว่า

$$V(A) \wedge V(B) = V(A \text{ and } B) = \left\{ \left[ \min\{\alpha_i, \beta_i\}, \max_{\min\{\alpha_i, \beta_i\}} \right] \right\} \quad (3.7)$$

$$V(A) \vee V(B) = V(A \text{ or } B) = \left\{ \left[ \max\{\alpha_i, \beta_i\}, \max_{\max\{\alpha_i, \beta_i\}} \right] \right\} \quad (3.8)$$

$$V(A) \rightarrow V(B) = V(A \rightarrow B) = \neg V(A) \vee V(B)$$

$$= \left\{ \left[ \max\{\alpha_i, \beta_i\}, \min\{1-\alpha_i, \beta_i\} \right] \right\} \quad (3.9)$$

Zadch ได้เสนอตารางความจริง สำหรับพิจารณาค่าความจริงในการปฏิบัติการของฟัซซี่ลอจิก โดยการขยายจากตรรกศาสตร์บูลีน มาเป็นตรรกะ 3 ค่า คือ true (T), false (F) และ unknow (T+F) ได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1 แสดงตารางความจริงสำหรับตัวปฏิบัติการฟัซซี่ลอจิก ตามนิยามของ Zadch

A	B	$\wedge$	$\vee$	$\neg A$
T	T	T	T	F
T	F	F	T	F
T	T+F	T+F	T	F
F	T	F	T	T
F	F	F	F	T
F	T+F	F	T+F	T
T+F	T	T+F	T	T+F
T+F	F	F	T+F	T+F
T+F	T+F	T+F	T+F	T+F

Baldwin ได้เสนอการสร้างตารางความจริงสำหรับฟัซซี่ลอจิก โดยทำกรนิยามเทอมและฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวปรลิงกวิสตติ "Truth" ซึ่งแสดงในภาพที่ 23 ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{True} = \{(v, \mu_{\text{true}}(v) = v) \mid v \in [0,1]\}$$

$$\text{False} = \{(v, \mu_{\text{false}}(v) = 1 - \mu_{\text{true}}(v)) \mid v \in [0,1]\}$$

$$\text{Very true} = \{(v, (\mu_{\text{true}}(v))^2) \mid v \in [0,1]\}$$

$$\text{Very false} = \{(v, (1 - \mu_{\text{true}}(v))^2) \mid v \in [0,1]\}$$

$$\text{Fairly true} = \{(v, (\mu_{\text{true}}(v))^{1/2}) \mid v \in [0,1]\}$$

$$\text{Fairly false} = \{(v, (1 - \mu_{\text{true}}(v))^{1/2}) \mid v \in [0,1]\}$$

$$\text{Undecided} = \{(v, 1) \mid v \in [0,1]\}$$

ดังนั้น

$$(\text{very})^k \text{ true} \rightarrow \text{absolutely true} \quad \text{เมื่อ } k \rightarrow \infty$$

$$(\text{very})^k \text{ false} \rightarrow \text{absolutely false} \quad \text{เมื่อ } k \rightarrow \infty$$

$$(\text{fairly})^k \text{ true} \rightarrow \text{undecided} \quad \text{เมื่อ } k \rightarrow \infty$$

$$(\text{fairly})^k \text{ false} \rightarrow \text{undecided} \quad \text{เมื่อ } k \rightarrow \infty$$

นอกจากนี้ Baldwin ได้นิยามตัวปฏิบัติการ "and" และ "or" ด้วย minimum และ maximum ตามลำดับ และสร้างตารางความจริงของการปฏิบัติการฟัซซี่ลอจิก ได้ผลลัพธ์ดังแสดงในตารางที่ 3.2

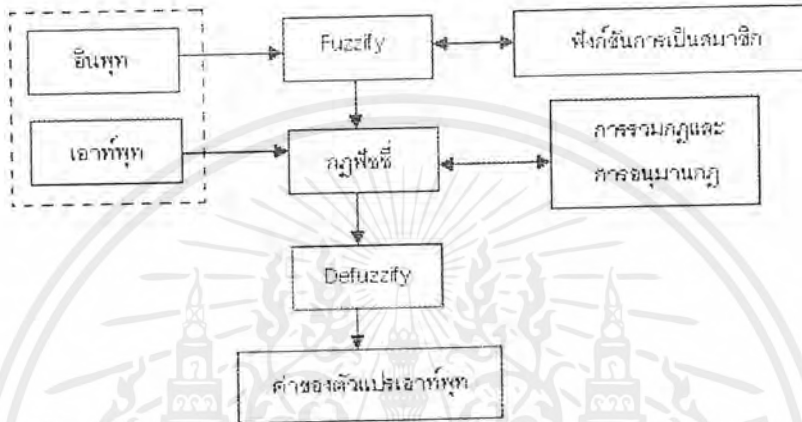
ตารางที่ 3.2 แสดงตารางความจริงสำหรับตัวปฏิบัติการฟัซซี่ลอจิก ตามนิยามของ Baldwin

V(P)	V(Q)	V(PandQ)	V(PorQ)
False	False	False	False
True	False	False	True
True	True	True	True
Undecided	False	False	Undecided
Undecided	True	Undecided	True
Undecided	Undecided	Undecided	Undecided
True	Very true	True	Very true
True	Fairly true	Fairly true	True

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### แบบจำลองฟัซซี (Fuzzy Model)

จากหัวข้อที่กล่าวมาแล้ว ทั้งหมดในเรื่องของ ฟัซซีเซตจะถูกนำมาใช้ในแบบจำลองฟัซซี ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ใช้ในการอนุมานค่าของตัวแปร ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานดังบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของแบบจำลองฟัซซีลอจิก

จากบล็อกไดอะแกรมของแบบจำลองของฟัซซีลอจิก สามารถแยกอธิบายขั้นตอนได้ดังนี้

1. อินพุทและเอาต์พุทของแบบจำลองฟัซซีลอจิกก็คือ ตัวแปรของฟัซซีเซต ซึ่งตัวแปรแต่ละตัวอาจจะมีเทอมเซตได้หลายเทอม อินพุทซึ่งเป็นตัวแปรของระบบ (State Variables) อาจจะมีกี่ตัวก็ได้ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับระบบ สำหรับตัวแปรของเอาต์พุทหรือที่เรียกว่า Action Variables ซึ่งเป็นตัวแปรที่ถูกประมาณค่าโดยแบบจำลองของฟัซซีลอจิกเพื่อนำไปใช้ในการออกแบบกฎฟัซซีเพื่อใช้ในการควบคุมระบบต่อไปปัญหาที่เกิดในตอนนี้ก็คือการกำหนดจำนวนเทอมเซตของแต่ละตัวแปรว่าควรจะมีเซตกี่เทอมจึงจะทำให้การอนุมานค่าของตัวแปรเอาต์พุทมีค่าใกล้เคียงค่าตัวแปรที่แท้จริงมากที่สุดซึ่งจุดนี้ผู้ออกแบบจำลองฟัซซีจะต้องมีความรู้เกี่ยวกับระบบที่กำลังออกแบบอยู่พอสมควร

2. Fuzzify เป็นขั้นตอนการแปลงค่าของตัวแปรของอินพุทไปเป็นค่าระดับความเป็นสมาชิกของแต่ละเทอมเซตโดยใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ได้เสนอไปแล้วการเลือกใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเราต้องเลือกให้เหมาะสมกับคุณสมบัติของตัวแปรเช่นถ้าตัวแปรมีคุณสมบัติเป็นเชิงเส้นจะต้องเลือกฟังก์ชัน ความเป็นสมาชิกที่เป็นเชิงเส้นด้วยซึ่งอาจจะเป็นสมการรูปลามเหลียม และรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ส่วนตัวแปรที่มีคุณสมบัติไม่เป็นเชิงเส้นก็ต้องใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ไม่เป็นเชิงเส้นด้วยเช่นฟังก์ชันรูปตัว S ,  $\pi$  , Beta , Guassian

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. กฎฟัซซี่ (Fuzzy Rules) จะประกอบด้วยประพจน์ของฟัซซี่ โดยกฎฟัซซี่ซึ่งจะอยู่ในรูปของ IF-THEN เช่น

IF X is small THEN Y is positive

ที่ X และ Y เป็นตัวแปรฟัซซี่ ส่วน small และ positive เป็นเทอมเซตที่สอดคล้องกับตัวแปร X, Y และประพจน์ของฟัซซี่เซตคือ X is small และ Y is positive ประพจน์ที่ตามหลัง IF จะเป็นส่วนของเงื่อนไขที่เรียกว่า Antecedent ซึ่งก็คือ ส่วนของอินพุทของแบบจำลองฟัซซี่ลอจิกนั่นเองและประพจน์ที่ตามหลัง THEN จะเรียกว่า Consequent หรือส่วนของเอาต์พุทของแบบจำลองฟัซซี่ลอจิก Antecedent อาจจะประกอบด้วยหลายประพจน์ซึ่งจำนวนของประพจน์จะขึ้นอยู่กับจำนวนตัวแปรของอินพุทและจำนวนของเทอมเซตของตัวแปรแต่ละตัวเช่น ถ้าอินพุทมีสองตัวแปรในส่วนของ Antecedent จะมีสองประพจน์ต่อกันในกฎหนึ่งกฎและในการเชื่อมต่อกันของประพจน์จะต้องมีตัวเชื่อมซึ่งในแบบจำลองฟัซซี่ลอจิกจะมีตัวเชื่อมอยู่สองตัวด้วยกัน คือ ยูเนียน และ อินเตอร์เซกชัน เช่น ในกรณีที่เชื่อมด้วยยูเนียน

IF X small OR T is cool THEN Y is positive

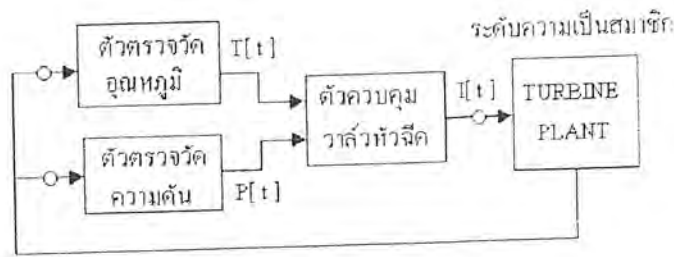
และในกรณีที่เชื่อมด้วยอินเตอร์เซกชัน

IF X small AND T is cool THEN Y is positive

นอกจากนี้ในกฎฟัซซี่เทอมเซตอาจจะมี Hedge มาขยายเช่น very และ large

IF X very small THEN Y is large positive

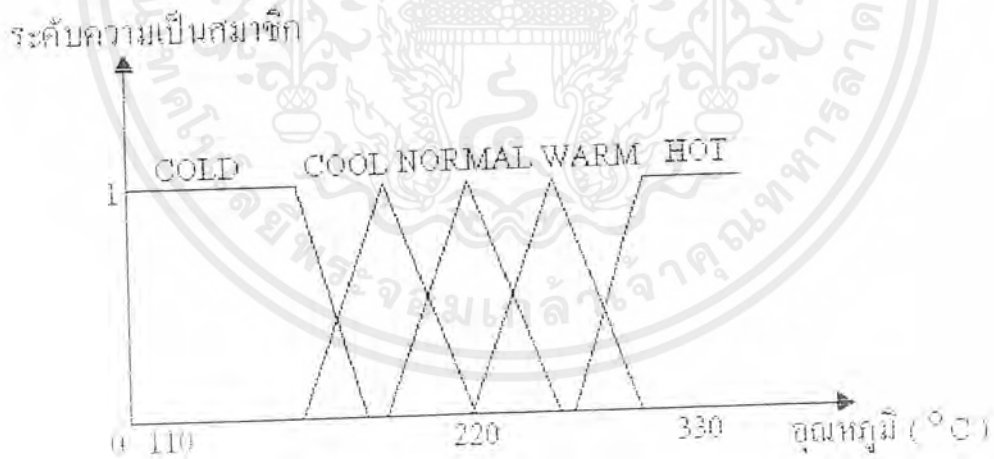
สำหรับจำนวนกฎในแบบจำลองฟัซซี่ลอจิกของระบบหนึ่งหนึ่งจะขึ้นอยู่กับจำนวนของตัวแปรอินพุทและจำนวนเทอมของแต่ละตัวแปรเช่น ถ้าอินพุทมีสองตัวแปรและตัวแปรแต่ละตัวมี 5 เทอมเซตซึ่งจำนวนกฎทั้งหมดจะมีเท่ากับ 25 กฎ ตัวอย่างของแบบจำลองฟัซซี่ลอจิกที่ใช้กับระบบของ stream turbine ซึ่งมีแผนผังการควบคุมดังรูปที่ 3.2



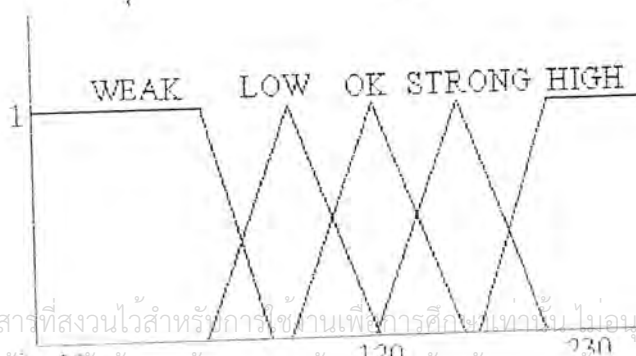
รูปที่ 3.2 แผนผังการควบคุม Stream Turbine

จากแผนผังของกระบวนการควบคุมของ Stream Turbine อินพุตของแบบจำลองฟัซซี่ลอจิกมีตัวแปรสองตัวคือ อุณหภูมิ และความดัน ส่วนเอาต์พุตมีตัวแปรหนึ่งตัวคือการเปิดปิดวาล์ว ตัวแปรของอินพุตแต่ละตัวจะมีเทอมเซตอย่างละ 5 เทอมคือ ถ้ากำหนดให้  $T[t]$  เป็นตัวแปรของอุณหภูมิที่วัดได้ในเวลา  $t$  ใด ๆ ซึ่งมีค่าของตัวแปรอยู่ 5 ค่าด้วยกันคือ  $T[t] = \{\text{cold, cool, normal, warm, hot}\}$  และสำหรับตัวแปรของความดันที่วัดได้ในเวลา  $t$  ใด ๆ ซึ่งมีค่าของตัวแปรนี้อยู่ 5 ค่าเช่นกันคือ  $P[t] = \{\text{weak, low, ok, strong, high}\}$  และตัวแปรของเอาต์พุต  $I[t]$  มี 7 เทอมเซตคือ  $I[t] = \{\text{NL, NM, NS, ZR, PS, PM, PL}\}$  ในรูปที่ 3.3

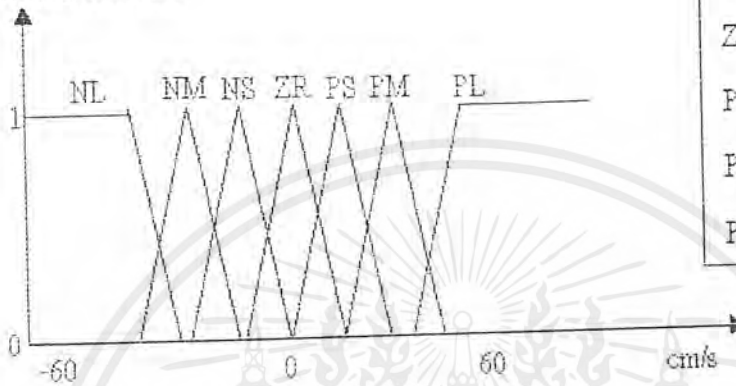
แสดงเทอมเซตของตัวแปรทั้ง 3 ตัวของระบบการควบคุม Stream Turbine



(ก)



ระดับความเป็นสมาชิก



NL : Negative Large

NM : Negative medium

NS : Negative small

ZR : Approximately Zero

PS : positive small

PM : positive medium

PL : positive Large

รูปที่ 3.3 แสดงเทอมเซตของตัวแปร (ก) อุณหภูมิ (ข) ความดัน (ค) การเปิดปิดวาล์ว

เมื่อออกแบบเทอมเซตของตัวแปรแต่ละตัวได้แล้ว ก็นำเทอมเซตของตัวแปรแต่ละตัวมาเขียนเป็นกฎฟัซซี่ได้ดังนี้

IF T [t] is cold AND P [t] is weak	THEN I[t] is positive large
IF T[t] is cool AND P[t] is weak	THEN I[t] is positive large
IF T[t] is normal AND P[t] is weak	THEN I[t] is positive medium
IF T[t] is warm AND P[t] is weak	THEN I[t] is positive medium
IF T[t] is hot AND P[t] is weak	THEN I[t] is positive small
IF T[t] is cold AND P[t] is low	THEN I[t] is positive medium
IF T[t] is cool AND P[t] is low	THEN I[t] is positive medium
IF T[t] is normal AND P[t] is low	THEN I[t] is positive small
IF T[t] is warm AND P[t] is low	THEN I[t] is positive small
IF T[t] is hot AND P[t] is low	THEN I[t] is positive small
IF T[t] is cold AND P[t] is ok	THEN I[t] is positive small

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IF T[t] is cool AND P[t] is ok	THEN I[t] is approximately zero
IF T[t] is normal AND P[t] is ok	THEN I[t] is approximately zero
IF T[t] is warm AND P[t] is ok	THEN I[t] is negative small
IF T[t] is hot AND P[t] is ok	THEN I[t] is negative medium
IF T[t] is cold AND P[t] is strong	THEN I[t] is negative small
IF T[t] is cool AND P[t] is strong	THEN I[t] is negative medium
IF T[t] is normal AND P[t] is strong	THEN I[t] is negative small
IF T[t] is warm AND P[t] is strong	THEN I[t] is negative medium
IF T[t] is hot AND P[t] is strong	THEN I[t] is negative large
IF T[t] is cold AND P[t] is high	THEN I[t] is negative medium
IF T[t] is cool AND P[t] is high	THEN I[t] is negative medium
IF T[t] is normal AND P[t] is high	THEN I[t] is negative medium
IF T[t] is warm AND P[t] is high	THEN I[t] is negative large
IF T[t] is hot AND P[t] is high	THEN I[t] is negative large

จากกฎทั้ง 25 กฎของระบบนี้ สามารถนำมาเขียนเป็นเมตริกซ์ที่แสดงถึงความสัมพันธ์ร่วมกันของตัวแปรได้ดังตารางที่ 3.3 ซึ่งเมตริกซ์จะถูกเรียกว่า Fuzzy Associative Memory (FAM) FAM จะมีมิติเท่ากับจำนวนตัวแปรของอินพุต ซึ่งในตัวอย่างนี้มีสองตัวแปรดังนี้ FAM จะมีเมตริกซ์เป็นสองมิติขนาด  $M \times N$  เมื่อ  $M$  แทนจำนวนเทอมเซตของตัวแปรอุณหภูมิ และ  $N$  เป็นจำนวนเทอมเซตของตัวแปรความดัน และสมาชิกของเมตริกซ์นี้คือค่าของตัวแปรเอาต์พุตทั้ง 7 เทอม ส่วนในกรณีอื่น ๆ เช่นถ้าตัวแปรของอินพุตมี 3 ตัว FAM จะมี 3 มิติและขนาดของตาราง 3 มิติและขนาดของตาราง 3 มิติจะเป็น  $M \times N \times P$  เมื่อ  $M, N,$  และ  $P$  เป็นจำนวนเทอมเซตของแต่ละตัวแปร เป็นต้น

อุณหภูมิ	COLD	COOL	NORMAL	WARM	HOT
ความดัน					
WEAK	PL	PL	PM	PM	PS
LOW	PM	PM	PS	PS	PS
OK	PS	ZR	ZR	NS	MS
STRONG	NS	NM	NS	NM	NL
HIGH	NM	NM	NM	NL	NL

ตาราง 3.3 แสดงเมตริกซ์ FAM ของระบบควบคุม STREAM TURBINE

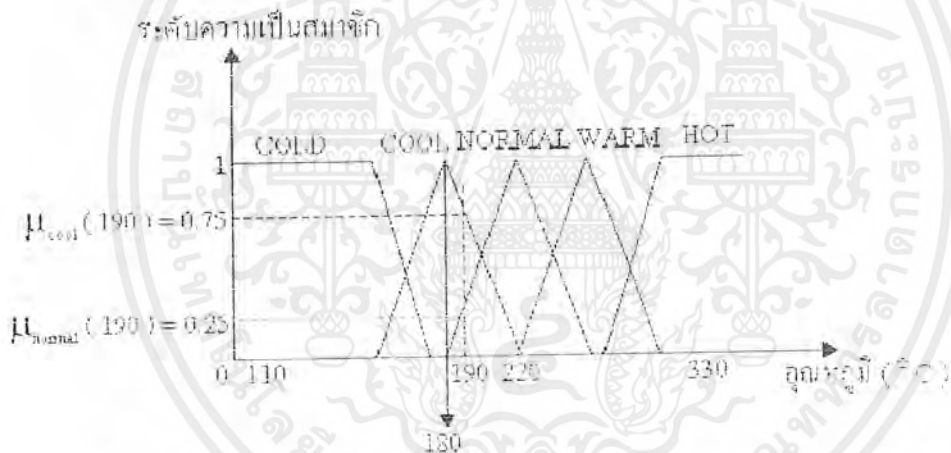
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4. Defuzzify

Defuzzification เป็นกระบวนการประมาณค่าของตัวแปรอาฟัฟุท โดยการอนุมานจากค่าความจริงในส่วนของ Antecedent ของแบบจำลองฟัซซี่ลอจิก โดยค่าที่ได้จะเป็นเลขจำนวนจริงที่อยู่ในโดเมนของตัวแปรอาฟัฟุทและค่านี้จะเป็นค่าคาดหวัง (Expected Value) ของตัวแปรฟัซซี่เซต ที่นำไปใช้ในการควบคุมระบบต่อไป สำหรับการหาค่าคาดหวังของฟัซซี่เซตโดยการ Defuzzification นั้นมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน คือ

4.1 กำหนดจากค่าความจริงที่มีค่าต่ำสุด (เฉพาะเทอมเซตที่เป็นสมาชิกเท่านั้น,  $\mu_A(X_i) > 0$  เมื่อ A เป็นเทอมเซตใด ๆ ) ของ Antecedent จากตัวอย่างแบบจำลองฟัซซี่ลอจิกที่ใช้กับระบบ Stream Turbine ในขั้นตอนของกฎฟัซซี่สามารถประมาณค่า  $\mu$  ที่เวลาใด ๆ ได้ดังนี้

สมมุติอุณหภูมิที่วัดได้เวลาเท่ากับ  $190^{\circ}\text{C}$  และความดันที่เวลาเดียวกับที่วัดอุณหภูมิเท่ากับ  $100\text{ KgM}^{-2}$  จากกฎฟัซซี่เทอมเซต COOL และ NORMAL ที่ถูกนำมาพิจารณาดังนั้นเราสามารถประมาณค่าระดับการเปิดปีควาล์วได้ดังนี้ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงการคำนวณค่าความเป็นสมาชิกของเทอมเซต COOL และ NORMAL

$$\mu_{COOL}(x=190; a=140, b=180, c=220) = \frac{1}{c-b}(c-x)$$

$$= \frac{1}{40}(220-190)$$

$$= 0.75$$

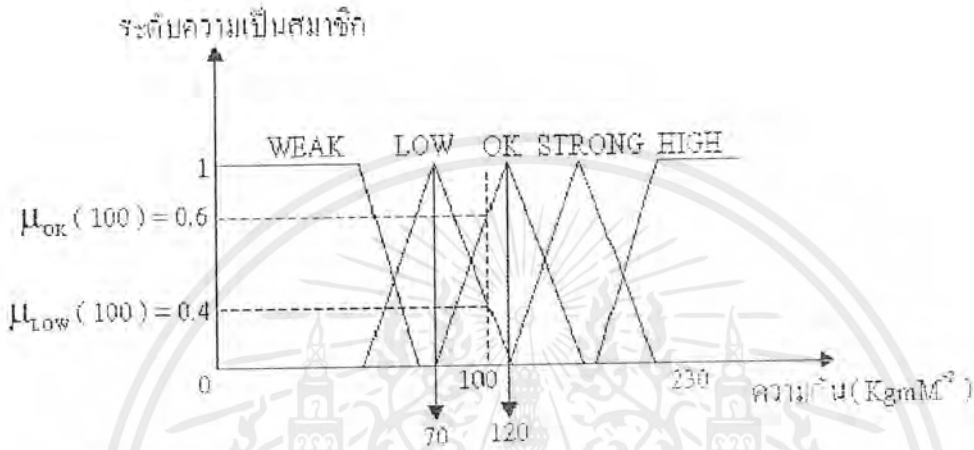
$$\mu_{NORMAL}(x=190; a=180, b=220, c=260) = \frac{1}{b-a}(x-a)$$

$$= \frac{1}{40}(190-180)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

= 0.25

ที่อุณหภูมิ 190 °C ไม่ได้เป็นสมาชิกของเทอมเซต COLD, WARM, และ HOT สำหรับความดันที่ 100 KGmM<sup>-2</sup> นั้นสาจากกฎฟัซซี่จะมีเทอมเซต LOW และ OK ที่ถูกนำมาพิจารณาดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงการคำนวณค่าความเป็นสมาชิกของเทอมเซต LOW และ OK

$$\begin{aligned} \mu_{Low}(x=100; a=20, b=70, c=120) &= \frac{1}{c-b}(c-x) \\ &= \frac{1}{50}(120-100) \\ &= 0.4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{Ok}(x=100; a=70, b=120, c=170) &= \frac{1}{b-a}(x-a) \\ &= \frac{1}{50}(100-70) \\ &= 0.6 \end{aligned}$$

ที่ความดัน 100 KGmM<sup>-2</sup> ไม่เป็นสมาชิกของเทอมเซต WEAK, STRONG, และ HIGH ดังนั้นที่ T |t| = 190 °C และ P|t| = 100 KGmM<sup>-2</sup> จะส่งผลให้เทอมเซต PM, ZR, และ PS เป็นเทอมที่ให้ประมาณค่า |t| พิจารณามตรिकซ์ FAM ในตารางที่ 3.3 กฎฟัซซี่ที่เป็นจริงอยู่ 4 กฎด้วยกันดังแสดงในตารางที่ 3.4 (กฎที่เงื่อนไขจริงจะถูกล้อมกรอบด้วยสี่ดำเข้ม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ \ ความดัน	COLD	COOL	NORMAL	WARM	HOT
WEAK	PL	PL	PM	PM	PS
LOW	PM	PM	PS	PS	PS
OK	PS	ZR	ZR	NS	MS
STRONG	NS	NM	NS	NM	NL
HIGH	NM	NM	NM	NL	NL

ตารางที่ 3.4 แสดงกฎที่เป็นจริงของ FAM เมื่อ  $T[t] = 190^{\circ}\text{C}$  และ  $P[t] = 100\text{ Kgmm}^{-2}$

เราสามารถประมาณค่าตัวแปรเอาต์พุต  $I[t]$  ด้วยค่าความจริงที่มีค่าต่ำสุดได้ดังรูปที่ 3.6

4.2 กำหนดจากค่าความจริงที่มีค่าสูงสุดของ Antecedent จากขั้นตอนการประมาณค่าตัวแปรเอาต์พุตในรูปที่ 3.6 จะมีความแตกต่างจากการ Defuzzification โดยใช้ค่าความจริงที่มีค่าต่ำสุดในหัวข้อ 4.1 เฉพาะขั้นตอนการคำนวณค่า  $\mu_{\text{INFERENCE}}$  เท่านั้นซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned}\mu_{\text{INFERENCE}} &= \text{Max}(0.4, 0.6, 0.25, 0.25) \\ &= 0.6\end{aligned}$$

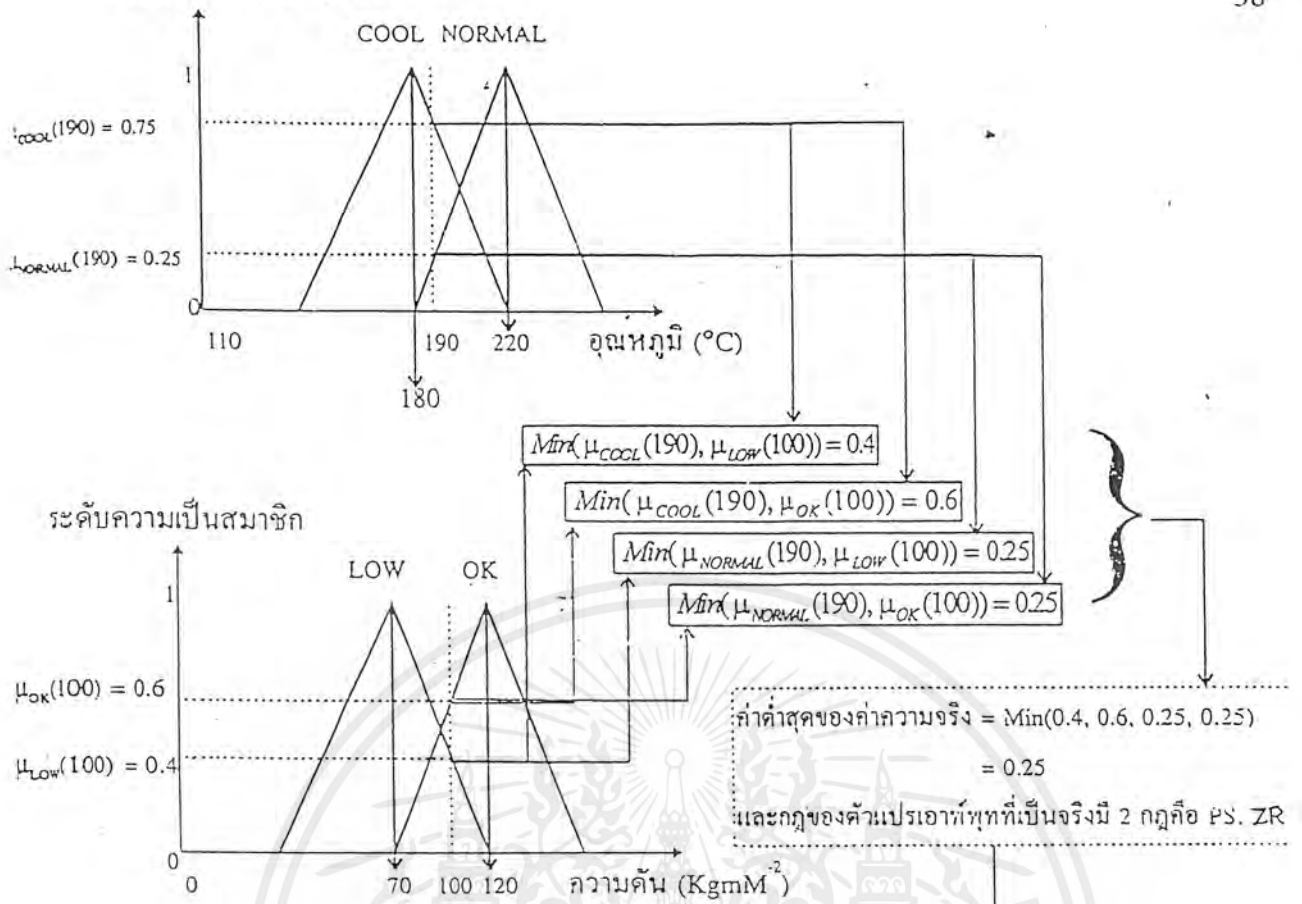
กฎที่ใช้ในการประมาณค่า  $I[t]$  ในกรณีการ Defuzzification โดยวิธีนี้คือ

IF  $T[t]$  is cool AND  $P[t]$  is ok THEN  $I[t]$  is approximately zero

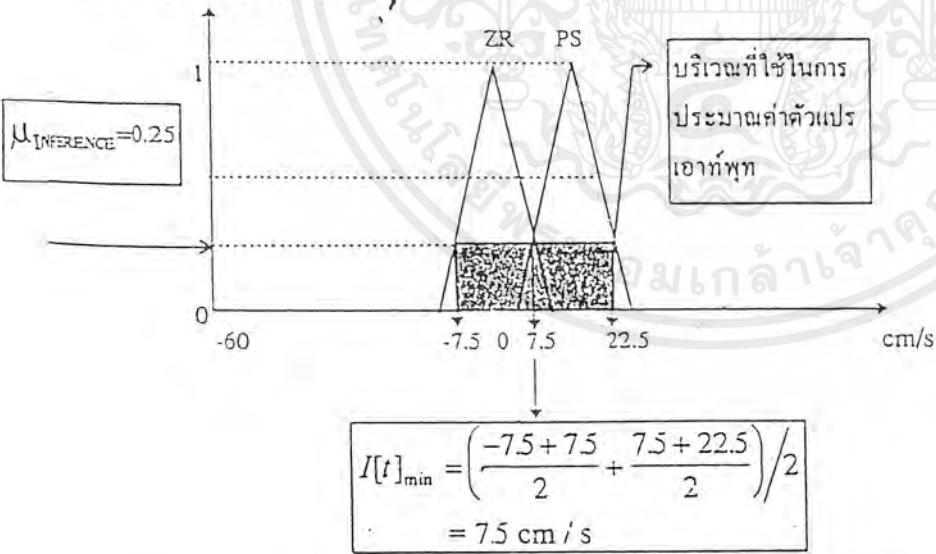
เนื่องจากกฎข้อนี้ให้ค่าความจริงที่มีค่าสูงสุด  $\mu_{\text{INFERENCE}} = 0.6$  ดังนั้นสามารถคำนวณค่าประมาณของ  $I[t]$  ได้ดังรูปที่ 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับความเป็นสมาชิก

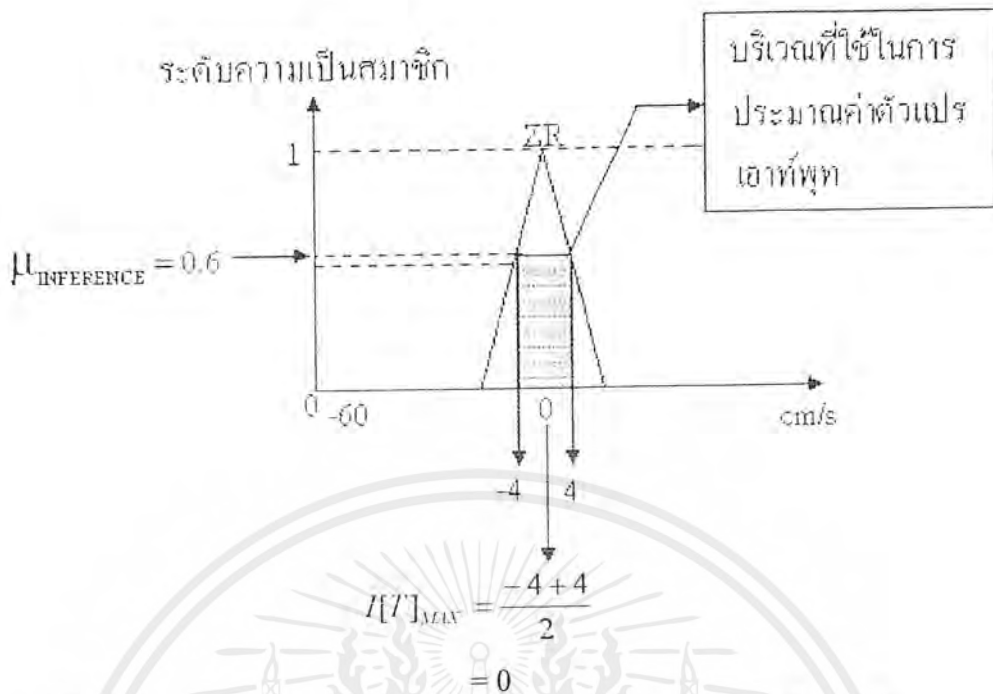


ระดับความเป็นสมาชิก



รูปที่ 3.6 ขั้นตอนการประมาณค่า I[t] โดยคำนวณจากค่าความจริงที่มีค่าต่ำสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 แสดงการ Defuzzification โดยใช้ค่าสูงสุดของค่าอัตราความเป็นสมาชิก

4.3 คำนวณจากค่าเฉลี่ยของ กฎที่มีค่าความจริง สูงสุดหรือที่เรียกว่าวิธี Mean of Maximum :MOM วิธีนี้คล้ายกับวิธีที่ใช้ค่าระดับความเป็นสมาชิกที่มีค่าสูงสุดในหัวข้อ 4.2 เพียงแต่เพิ่มค่าระดับความเป็นสมาชิกของกฎเดียวกันเป็นตัวหารซึ่งจากตัวอย่างของการควบคุมระบบ สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$I[T]_{MOM} = \frac{-4 + 4}{0.6 + 0.6} = 0$$

4.4 การหาค่าจุดศูนย์กลางถ่วง (Centroid หรือ Center of Area : COA) เป็นการประมาณค่าของตัวแปรเอาต์พุตโดยการหาค่าจุดศูนย์กลางของพื้นที่ของกฎที่เป็นจริง ซึ่งลักษณะการคำนวณจะมีความแตกต่างจากสองวิธีแรก คือแทนที่จะประมาณค่าตัวแปรของเอาต์พุตโดยใช้ความจริงของกฎที่มีค่าความเป็นสมาชิกต่ำสุดหรือสูงสุด ก็จะใช้ค่าความจริงของกฎทุกข้อที่มีค่าระดับความเป็นสมาชิกมากกว่าศูนย์ ซึ่งในกรณีนี้กฎทุกข้อที่ถูกล้อมรอบด้วยเส้นทึบของตาราง FAM ในตารางที่ 3.4 ในตัวอย่างของระบบควบคุม Stream Turbine จะถูกนำมาประมาณค่าตัวแปร  $I[u]$  ทุกกฎซึ่งสามารถดำเนินการได้ดังนี้

จากขั้นตอนการประมาณค่าตัวแปรเอาต์พุตในรูปที่ 3.6 กฎที่ใช้ในการประมาณค่า  $I[u]$  ในกรณีการ Defuzzification โดยวิธีนี้คือ

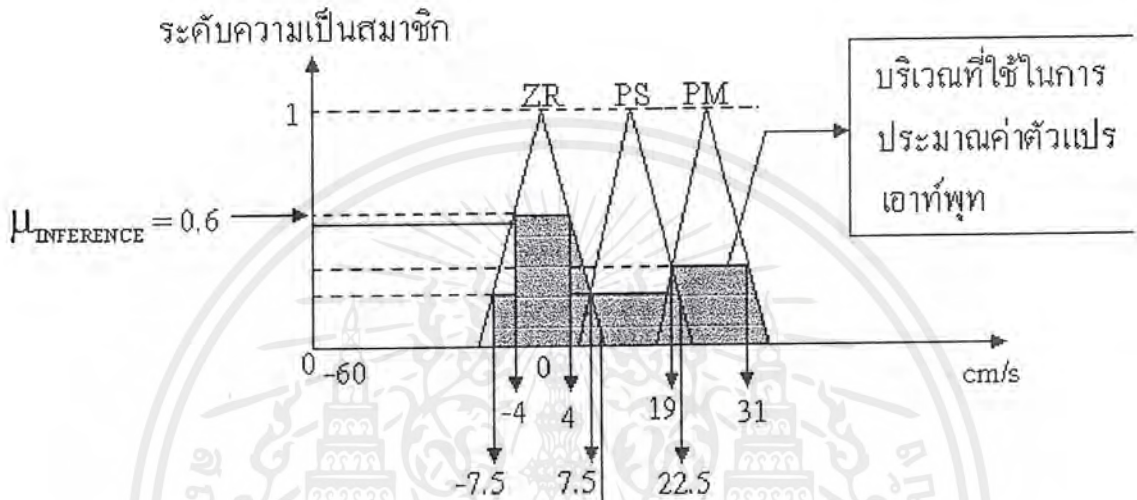
IF T[u] is cool AND P[u] is low

THEN I[u] is positive medium

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IF T[t] is cool AND P[t] is ok	THEN I[t] is approximately zero
IF T[t] is normal AND P[t] is low	THEN I[t] is positive small
IF T[t] is normal AND P[t] is ok	THEN I[t] is approximately zero

ซึ่งมีค่า  $\mu_{\text{INFERENCE}}$  จะมี 4 ค่า ด้วยกันคือ  $\mu_{\text{INFERENCE}} = \{0.4, 0.6, 0.25, 0.25\}$  ดังนั้นสามารถคำนวณค่าประมาณของ I[t] ได้ดังรูป 3.8



$$I[t] = \frac{(-7.5 * 0.25) + (-4 * 0.6) + (4 * 0.6) + (7.5 * 0.25) + (7.5 * 0.25) + (22.5 * 0.25) + (19 * 0.4) + (31 * 0.4)}{0.25 + 0.6 + 0.6 + 0.25 + 0.25 + 0.4 + 0.25 + 0.4}$$

$$= 9.167 \text{ cm/s}$$

รูปที่ 3.8 แสดงการ Defuzzification โดยใช้วิธี COA

จากวิธีการ Defuzzification ที่ได้กล่าวมาแล้วทั้ง 4 วิธี วิธี COA เป็นวิธีที่นิยมใช้ในกระบวนการควบคุมมากกว่าวิธีอื่นเนื่องจากวิธีนี้ ใช้ข้อมูลข่าวสารของค่าความจริงของทุกกฎที่เป็นจริง ( $\mu_A(x) > 0$ ) ทำให้ค่าที่ได้มีความน่าเชื่อถือและเหมาะสมมากกว่าวิธีอื่น ๆ ที่ได้กล่าวมาแล้ว นอกจากนี้ยังมีวิธีอื่น ๆ อีกที่ค่าตัวแปรบางตัวสามารถปรับค่าได้เช่น วิธี Basic Defuzzification Distribution : BADD และวิธี Semi Linear Defuzzification : SLIDE เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## แบบจำลองฟัซซีที่สามารถปรับตัวเอง (Adaptive Fuzzy Model)

Fuzzy Model สามารถควบคุมให้ระบบเข้าสู่ค่าเป้าหมายได้ แต่ยังมีจุดค้อยที่ไม่สามารถนำผลตอบสนองเข้าสู่ค่าเป้าหมายในขณะมีโพลได้ นั่นคือจะทำให้เกิด offset ขึ้นในระบบ จึงมีการพัฒนา Fuzzy Model ไปสู่ Adaptive Fuzzy Model ที่ช่วยให้ผลลัพธ์เข้าสู่ค่าคาดหวังในกรณีที่มีการปรับเปลี่ยนโพลได้เป็นอย่างดี โดยมีค่าของผลลัพธ์ในครั้งที่แล้ว ( $t-1$ ) มาใช้ปรับค่าถ่วงน้ำหนัก และให้ค่าที่ได้จากการ Defuzzify เป็นค่า Compensate Value ซึ่งจะนำค่าที่ได้ไปรวมกับค่าควบคุมที่เวลาก่อนหน้าเป็นค่าควบคุมที่เวลาปัจจุบันหรือ Expected Value ดังนั้น เมื่อให้ Expected Value หรือ  $MV_{(t)}$  เป็นค่าควบคุมที่เวลา  $t$  และ  $MV_{(t-1)}$  เป็นค่าควบคุมที่เวลา  $t-1$  จะได้สมการค่าควบคุมจากการ Defuzzify ด้วยวิธีต่างๆ ดังนี้คือ

$$MV_t = f^{-1}(\mu(x)) + MV_{t-1}$$

### ความคลุมเครือ

ความคลุมเครือหรือที่เรียกว่า Fuzziness เป็นระดับหรือปริมาณที่ไม่สามารถกำหนดขอบเขตให้กับตัวแปรฟัซซีได้อย่างแน่นอน (บางครั้งอาจเรียกว่า Vagueess) ซึ่งค่าของตัวเหล่านี้จะมีความคลุมเครืออยู่แล้วโดยธรรมชาติเนื่องจากเราไม่สามารถกำหนดขอบเขตให้กับตัวแปรของบางตัวได้อย่างแน่นอนเช่น เมื่อเราวัดอุณหภูมิ (ไม่ว่าจะเป็นอุณหภูมิของระบบใด) เราไม่สามารถกำหนดขอบเขตได้อย่างแน่นอนว่าอุณหภูมิเท่าไรจึงเรียกว่าร้อนและอุณหภูมิกี่องศาจึงจะเหมาะสมกับระบบนั้น ๆ ในทางปฏิบัติได้ทำการประมาณตัวแปรของข้อมูลโดยการแบ่งข้อมูลออกเป็นชุดย่อยหรือเทอมเซต เพื่อหาค่าถ่วงน้ำหนัก (ระดับความเป็นสมาชิก) ว่าเทอมใดมีโอกาสถูกต้องสูงสุด แต่อย่างไรก็ตามที่สร้างขึ้นก็เป็นการคาดคะเนจากประสบการณ์จากการทดลองหรืออาจจะอาศัยข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญ ดังนั้นจึงมีการวัดความคลุมเครือของฟัซซีเซตโดยใช้ค่าดัชนีความคลุมเครือ (Index of Fuzziness:H) ซึ่งค่าของดัชนีจะบอกได้ว่าเทอมเซตใดเป็นเทอมเซตที่ถูกออกแบบได้อย่างเหมาะสมคือถ้าเทอมเซตใดสามารถออกแบบได้ครอบคลุมข้อมูลทั้งหมดได้อย่างเหมาะสมแล้วค่าความเป็นสมาชิกจะเข้าใกล้ ศูนย์ (ในกรณีที่ไม่ได้เป็นสมาชิก) และเข้าใกล้หนึ่ง (ในกรณีที่ เป็นสมาชิก) ซึ่งถ้าเป็นดังนี้ค่าดัชนีความคลุมเครือจะมีค่าต่ำมาก ( $H \rightarrow 0$ ) ในทางตรงกันข้ามถ้าเทอมเซตใดไม่สามารถระบุได้อย่างแน่ชัดว่าเป็นสมาชิกหรือไม่ ( $\mu_A(x) \rightarrow 0.5$  ค่าดัชนีความคลุมเครือของเทอมเซตนั้นจะมีค่ามาก( $H \rightarrow \infty$ )) ได้แนะนำไว้ว่าคุณสมบัติที่ดีของตัววัดดัชนีความคลุมเครือควรมีคุณสมบัติดังนี้

เมื่อ A,B เป็นเทอมเซตใด ๆ ใน U

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Sharpness ในกรณีที่ออกแบบเซต A ได้อย่างเหมาะสม

$$H(A) = 0 \Leftrightarrow \mu_A(x) = 0 \text{ OR } 1 \quad \forall x \in U$$

2. Maximality เมื่อกำหนดเซต A ไม่เหมาะสมกับข้อมูลชุดนั้น ๆ จะทำให้

$$H(A) = \alpha \Leftrightarrow \mu_A(x) = 0.5 \quad \forall x \in U$$

3. Resolution ถ้ามีเซต A เป็นเซตที่มีคุณสมบัติ Sharpness ของเซต A จะได้ว่า

$$H(A) \geq H(A')$$

4. Symmetry

$$H(A) = H(1-A)$$

โดยที่

$$\mu_{1-A}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad \forall x \in U$$

5. Valuation

$$H(A \cup B) + H(A \cap B) = H(A) + H(B)$$

ในปี ค.ศ. 1968 Zadeh ได้เสนอตัววัดความคลุมเครือไว้ดังนี้

$$H_{ZK}(A, P) = - \sum_i \mu_i p_i \log p_i$$

โดยที่  $\mu_i \in A$  ซึ่งเป็นเซต และ  $p_i \in P$  เป็นเซตของความน่าจะเป็นที่ใช้ข้อมูลชุดเดียวกับเซต A เนื่องจากวิธีวัดความคลุมเครือของ Zadeh ไม่เป็นไปตามคุณสมบัติที่ Ebanks ได้ตั้งไว้ทั้ง 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อ วิธีวัดความคลุมเครือที่มีคุณสมบัติของ Ebanks ครบทั้ง 5 ข้อถูกเสนอครั้งแรกโดย Deluca และ Termini ซึ่งมีสมการดังนี้

$$H_{DTE}(A) = -K \sum_{i=1}^n \mu_i \log \mu_i + (1 - \mu_i) \log(1 - \mu_i)$$

ที่ K เป็นค่าคงที่ที่ใช้ในการ Normalization

สำหรับตัวค่านิยามการวัดความคลุมเครือวิธีอื่น ๆ ที่มีคุณสมบัติครบทั้ง 5 ข้อ คือวิธีของ Ebanks , Pal และ Pal, Bhandari และ Pal , และวิธีของ Pal และ Bezdeh และวิธีอื่น ๆ ที่มีคุณสมบัติบางข้อขาดไป เช่น Yager , และ Kaufmann เป็นต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4 การทดลอง

### วัตถุประสงค์

ศึกษาการออกแบบกฎฟuzzyที่ใช้ในการควบคุม

1. เพื่อเปรียบเทียบผลตอบสนองของความเร็วมอเตอร์ที่ระดับ 500-2400 rpm ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function) ต่างๆ กัน เมื่อไม่มีโหลด (No-Load) และใส่โหลดเต็มที่ (Full-Load)
2. เพื่อเปรียบเทียบผลตอบสนองของความเร็วมอเตอร์ที่ระดับ 500-2400 rpm ของกฎฟuzzy ต่างๆ กัน เมื่อไม่มีโหลด และมีโหลดเต็มที่
3. เพื่อเปรียบเทียบผลตอบสนองของความเร็วมอเตอร์ที่ระดับค่าเป้าหมาย (Setpoint) ต่างๆ โดยใช้ระบบควบคุมฟuzzy และ ระบบควบคุมพีไอคี่
4. เพื่อเปรียบเทียบผลตอบสนองของความเร็วมอเตอร์ เมื่อมีการใส่โหลด และปลด โหลดอย่างทันทีทันใด โดยใช้ระบบควบคุมฟuzzy และ ระบบควบคุมพีไอคี่

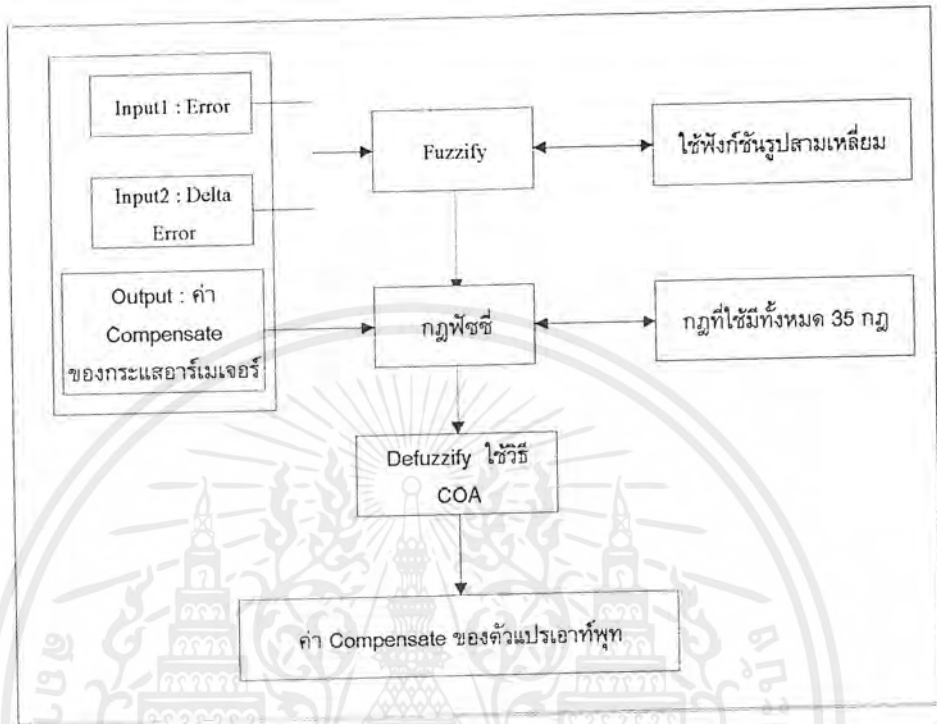
### อุปกรณ์การทดลอง

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ และซอฟต์แวร์ระบบควบคุมฟuzzy
2. ชุดจับมอเตอร์ด้วยกระแส พร้อมวงจร D/A และ A/D Converter
3. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 50 Vdc 1 Amp. และ Tachogenerator ขนาดเอาต์พุต 2 V/1000 rpm
4. การ์ดเชื่อมโยง อินพุต/เอาต์พุต เบอร์ 8255

### หมายเหตุ

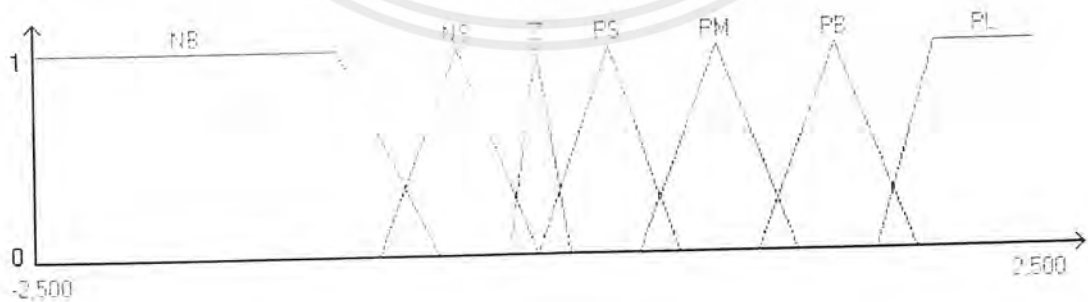
ในการทดลองจะใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก และ กฎฟuzzyที่ออกแบบไว้ซึ่งจะเก็บไว้ในไฟล์ System1.fzy ถึง System6.fzy โดยที่ System1.fzy, System2.fzy และ System3.fzy จะทำการเปลี่ยนแปลงกฎฟuzzy โดยคงค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเดียวกันไว้ ส่วน System4.fzy, System5.fzy และ System6.fzy จะทำการเปลี่ยนแปลงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกโดยคงค่ากฎฟuzzyเดียวกันไว้ (รายละเอียดของแต่ละไฟล์ ดูที่ภาคผนวก ฉ.)

การทดลองที่ 1 ใช้ไฟล์ System1.fzy



รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมของแบบจำลองฟuzzyแบบปรับตัวในการควบคุมความเร็ว

1. อินพุตที่ 1 ของฟuzzyลอจิก คือค่าความผิดพลาดที่ (Error) เป็นค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่ตั้งไว้กับผลตอบสนองที่ได้ (หน่วยเป็น round per minute หรือ รอบ ต่อ นาที) ประกอบด้วยเทอมเซตทั้งหมด 7 เทอมเซตดังนี้



เมื่อ NB : -2500, -1000, -500  
 NS : -800, -400, 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Z : -150, 0, 150

PS : 0, 350, 700

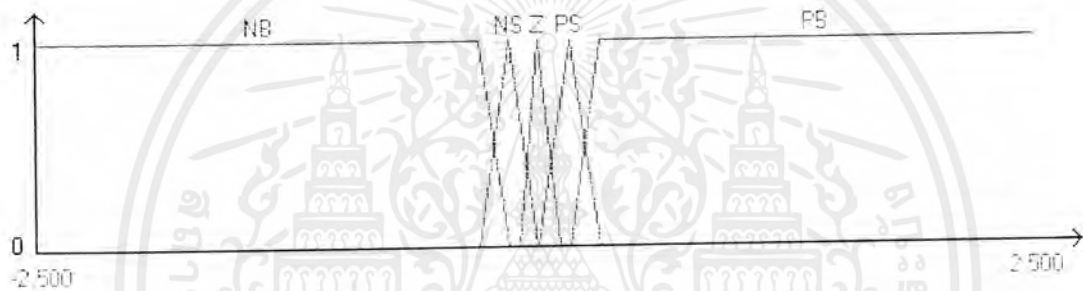
PM : 500, 900, 1300

PB : 1100, 1500, 1900

PL : 1700, 2000, 2500

(ก)

2. อินพุตที่ 2 ของฟัซซี่ลอจิก คือ DeltaError เป็นค่าความแตกต่างระหว่างค่าความผิดพลาดปัจจุบัน กับค่าความผิดพลาดครั้งก่อน (หน่วยเป็น rpm) ซึ่งมีเทอมเซตทั้งหมด 5 เทอมเซตดังนี้



เมื่อ NB : -2500, -300, -150

NS : -300, -150, 0

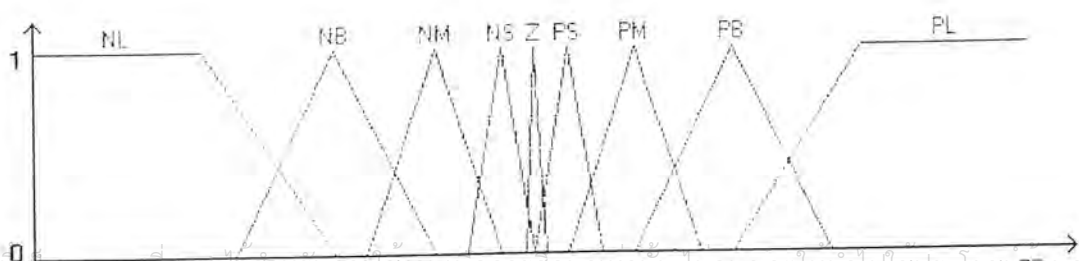
Z : -100, 0, 100

PS : 0, 150, 300

PB : 150, 300, 2500

(ข)

3. เอาท์พุทของฟัซซี่ลอจิกคือ ค่าชดเชยของกระแสอาร์มเจอร์ที่ควบคุมความเร็วมอเตอร์ (0-255 : 0-1 Amp) ประกอบด้วยเทอมเซตทั้งหมด 7 เทอมเซตดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่น การค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ NL : -75, -50, -30

NB : -45, -30, -15

NM : -25, -15, -5

NS : -10, -5, 0

Z : -1.5, 0, 1.5

PS : 0, 5, 10

PM : 5, 15, 25

PB : 15, 30, 45

PL : 30, 50, 75

ให้ NL : Negative Large

NB : Negative Big

NM : Negative Medium

NS : Negative Small

Z : Zero

PS : Positive Small

PM : Positive Medium

PB : Positive Big

PL : Positive Large

(ค)

รูปที่4.2แสดงเทอมเซตของตัวแปร (ก)อินพุทที่ 1 (Error) (ข) อินพุทที่ 2 ( $\Delta$ Error) (ค)เอาต์พุท

4. เมื่อออกแบบเทอมเซตของตัวแปรแต่ละตัวได้แล้ว นำเทอมเซตของตัวแปรแต่ละตัวมาเขียนเป็นกฎพีชคณิตในรูปของเมตริก(FAM) ได้ดังนี้

Input	NB	NS	Z	PS	PM	PB	PL
NB	NL	NL	NB	NL	NS	NS	NS
NS	NL	NB	NS	NS	PS	NS	PS
Z	NM	NS	Z	PS	PM	PB	PB
PS	NL	PM	PM	PS	PB	PB	PL
PB	PB	PM	PL	PM	PL	PL	PL

รูปที่4.3 แสดงเมตริกซ์ FAM ของระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**-No-load**

Setpoint (rpm)	Rise Time (sec)	Overshoot (% of Setpoint)	Steady-state Time (sec)	Steady-state Offset (rpm)
500	0.16	68.63	0.66	0
600	0.16	50.33	0.71	0
700	0.16	34.45	1.10	0
800	0.16	29.90	0.77	0
900	0.16	25.27	0.99	0
1000	0.22	22.55	0.71	0
1100	0.22	18.54	1.21	0
1200	0.22	16.83	0.88	0
1300	0.22	21.42	1.26	0
1400	0.22	20.45	1.26	0
1500	0.22	22.88	0.44	0
1600	0.27	17.03	0.88	0
1700	0.27	16.49	0.93	0
1800	0.27	12.57	1.21	0
1900	0.27	11.46	1.37	0
2000	0.33	15.20	1.21	0
2100	0.33	11.58	0.82	0
2200	0.33	7.40	1.32	0
2300	0.33	8.27	0.99	0
2400	0.33	4.17	1.21	0

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองที่ 1 ขณะไม่มีโหลด

จากผลตอบสนองที่ได้พบว่า Overshoot ในช่วง transient จะลดลงตามระดับค่าเป้าหมายที่เพิ่มขึ้น ช่วงเวลาในการเข้าสู่สภาวะ Steady-state มีค่าใกล้เคียงกัน เข้าสู่ค่าเป้าหมายได้อย่างถูกต้องโดยไม่มี offset

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

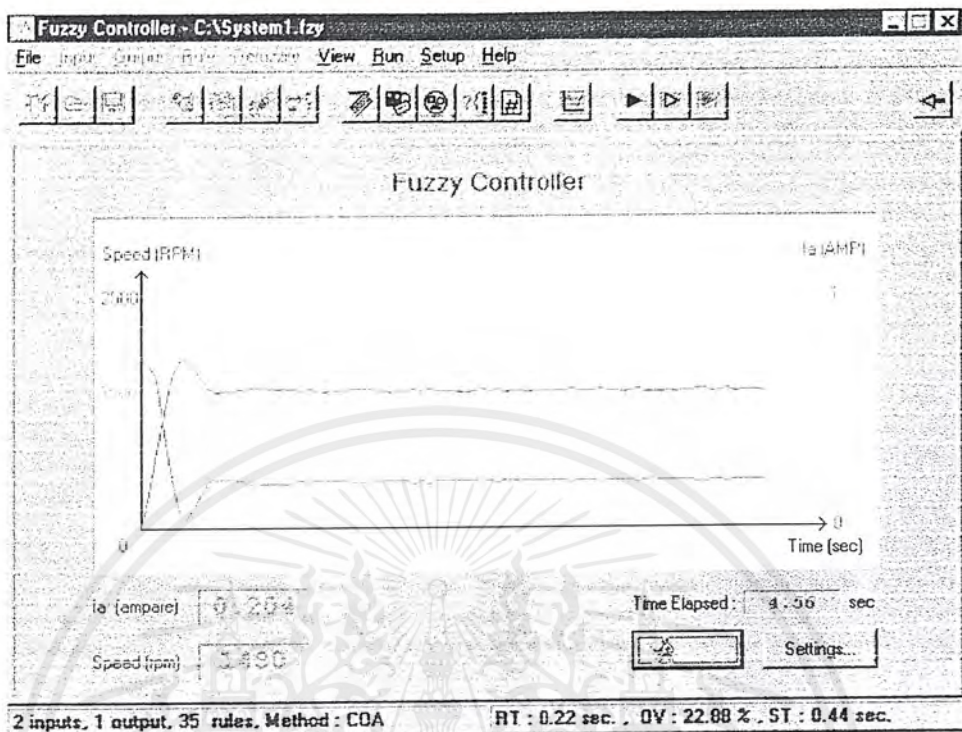
**-Full-load**

Setpoint (rpm)	Rise Time (sec)	Overshoot (% of Setpoint)	Steady-state Time (sec)	Steady-state Offset (rpm)
500	0.16	23.53	0.60	0
600	0.16	1.31	1.32	0
700	1.32	0.84	1.32	0
800	1.92	0.49	2.86	0
900	2.36	0.22	2.75	0
1000	2.36	0.00	2.36	0
1100	1.48	0.71	1.48	0
1200	2.31	1.31	2.53	0
1300	2.64	0.30	2.64	0
1400	1.48	0.14	1.48	0
1500	1.76	0.00	1.76	0
1600	2.03	0.49	2.03	0
1700	2.03	0.92	2.03	0
1800	2.80	1.31	2.80	0
1900	1.76	0.10	1.76	0
2000	1.59	0.00	1.59	0
2100	1.59	0.84	1.59	0
2200	2.09	0.71	2.09	0
2300	1.76	0.17	1.76	0
2400	2.09	0.49	2.09	0

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองที่ 1 ขณะใส่โหลดเต็มที่

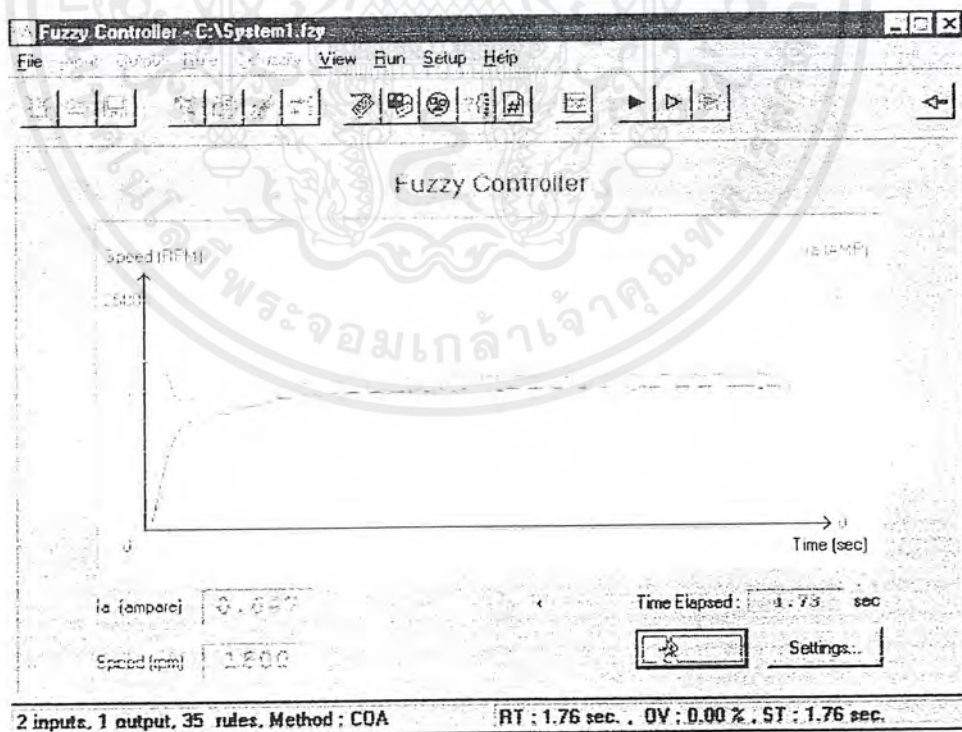
จากผลตอบสนองที่ได้พบว่า Overshoot ในช่วง transient จะมีน้อยมากหรือไม่มีเลย เนื่องจากค่าเวลา Rise Time มีค่ายาวนานเพราะเป็นการปรับตัวเข้าสู่ค่าเป้าหมายในขณะที่มีโหลดคั่งอยู่ ผลตอบสนองเข้าสู่ ค่าเป้าหมายได้อย่างถูกต้องโดยไม่มี offset

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

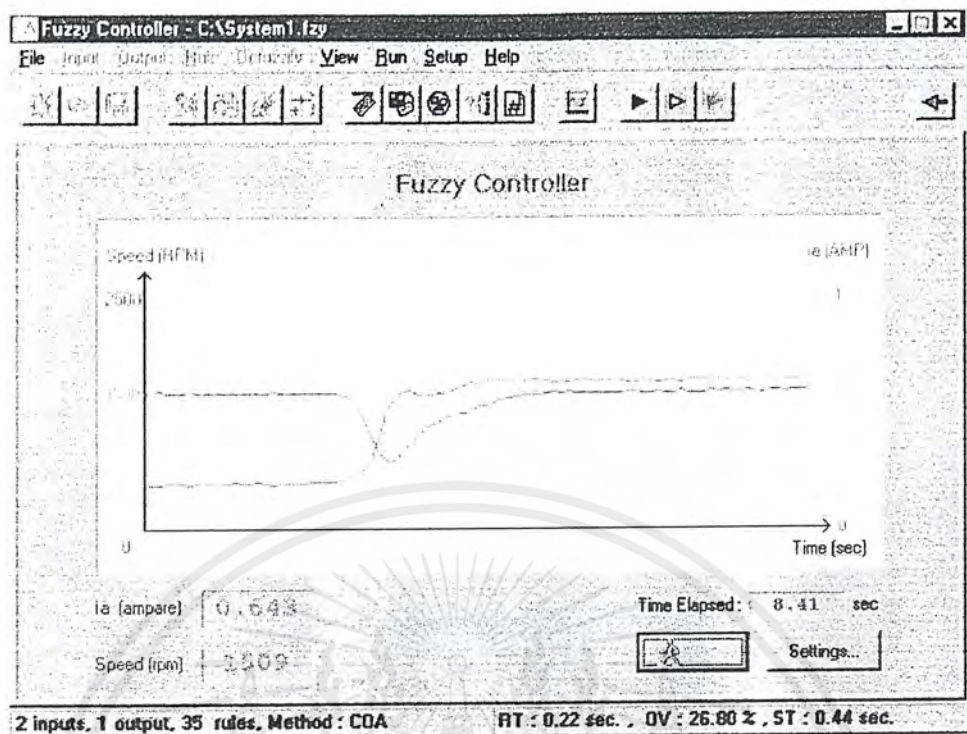


รูปที่ 4.4 ผลตอบสนองของมอเตอร์ขณะไม่มีโหลด

รูปที่ 4.5 ผลตอบสนองของมอเตอร์ขณะมีโหลดเต็มที่

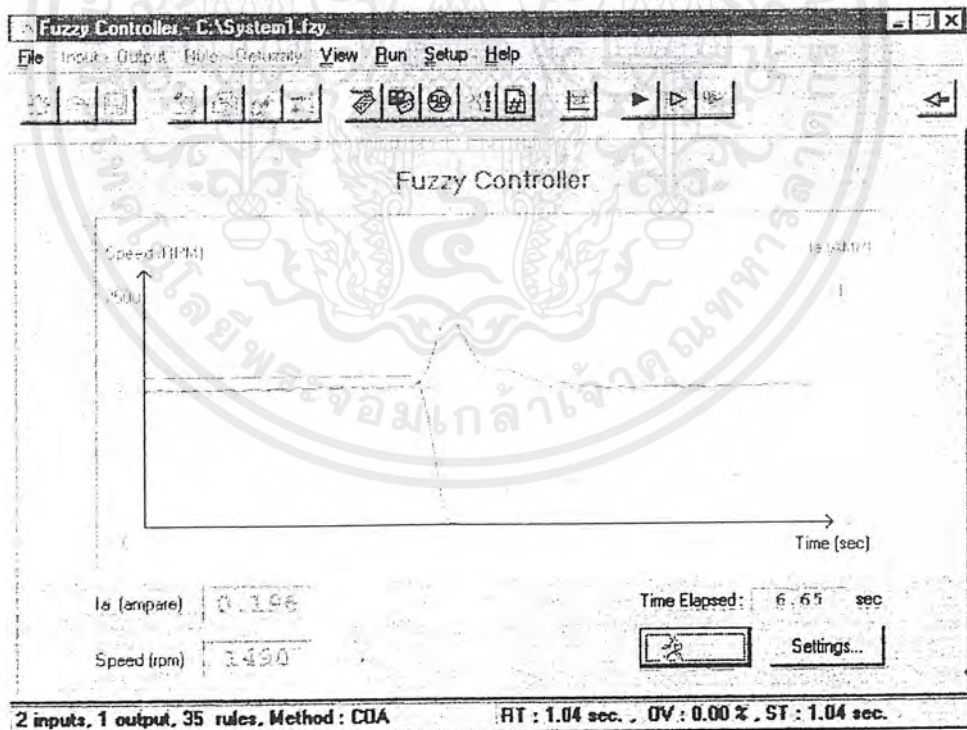


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ผลตอบสนองของมอเตอร์ขณะใส่โหลดทันทีทันใด

รูปที่ 4.7 ผลตอบสนองของมอเตอร์ขณะปลดโหลดทันทีทันใด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การทดลองที่ 2 ใช้ไฟล์ System2.fzy

-No-load

Setpoint (rpm)	Rise Time (sec)	Overshoot (% of Setpoint)	Steady-state Time (sec)	Steady-state Offset (rpm)
500	0.11	76.46	0.77	0
600	0.16	48.69	1.15	0
700	0.16	34.45	1.10	0
800	0.22	20.10	0.71	0
900	0.22	15.47	1.26	0
1000	0.22	11.76	1.48	0
1100	0.27	11.41	2.80	0
1200	0.33	10.29	1.26	0
1300	0.38	5.58	0.66	0
1400	0.44	5.04	0.71	0
1500	0.49	5.23	0.71	0
1600	0.60	4.17	0.77	0
1700	0.55	7.27	0.77	0
1800	0.55	6.75	2.03	0
1900	0.60	4.75	0.88	0
2000	0.66	4.90	1.43	0
2100	0.60	4.11	0.93	0
2200	0.71	4.72	0.99	0
2300	0.66	5.71	1.26	0
2400	0.71	3.76	1.92	0

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองที่ 2 ขณะไม่มีโหลด (No Load)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลตอบสนองที่ได้พบว่า Overshoot ในช่วง transient จะน้อยกว่า Overshoot จากการใช้ไฟล์ System1.fzy แต่ก็ส่งผลให้ช่วงเวลา Rise Time มีค่ามากกว่า รวมถึงช่วงเวลาในการตอบสนองต่อการได้ โหลดทันทีจะมีค่ามากกว่าด้วย การเข้าสู่ค่าเป้าหมายทำได้ถูกต้องโดยไม่มี offset

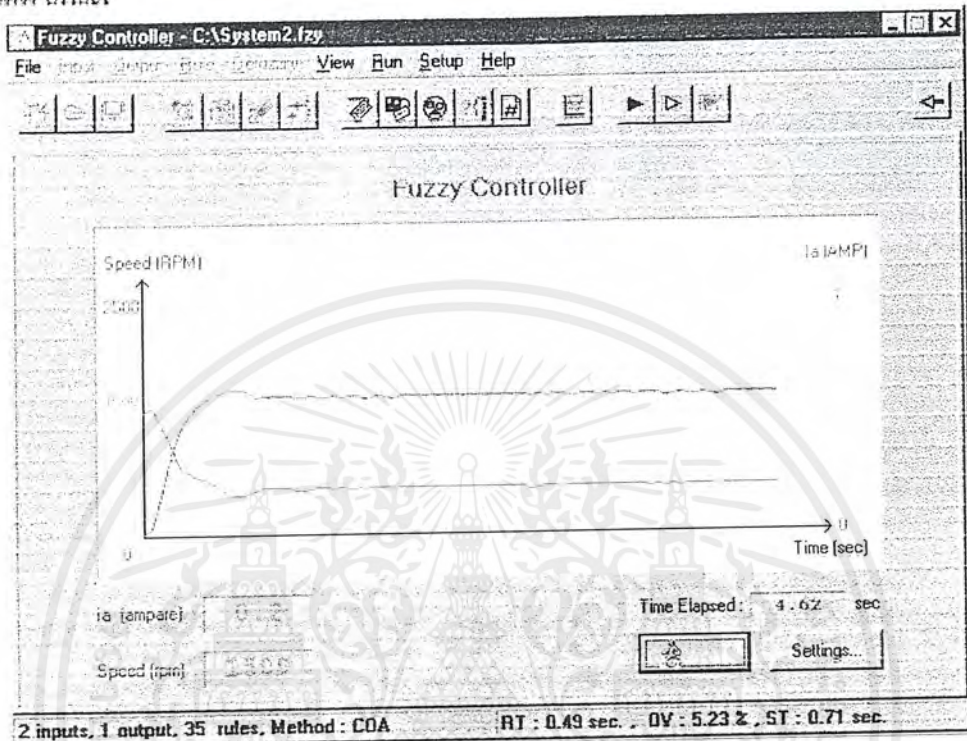
**-Full-load**

Setpoint (rpm)	Rise Time (sec)	Overshoot (% of Setpoint)	Steady-state Time (sec)	Steady-state Offset (rpm)
500	0.16	21.57	0.33	0
600	0.22	9.48	0.33	0
700	1.54	0.84	1.54	0
800	1.32	0.49	1.32	0
900	1.15	0.22	1.15	0
1000	1.21	0.00	1.21	0
1100	1.59	0.71	1.59	0
1200	1.59	1.31	4.01	0
1300	2.20	0.30	2.20	0
1400	1.70	0.14	1.70	0
1500	1.54	0.00	1.54	0
1600	1.65	0.49	1.76	0
1700	2.47	1.50	2.47	0
1800	1.98	0.22	1.98	0
1900	1.98	0.10	1.98	0
2000	1.92	0.00	1.92	0
2100	2.58	0.37	4.29	0
2200	2.80	0.27	2.80	0
2300	2.97	0.17	2.97	0
2400	3.85	0.49	3.85	0

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลองที่ 2 ขณะมีโหลดเต็มที่ (Full Load)

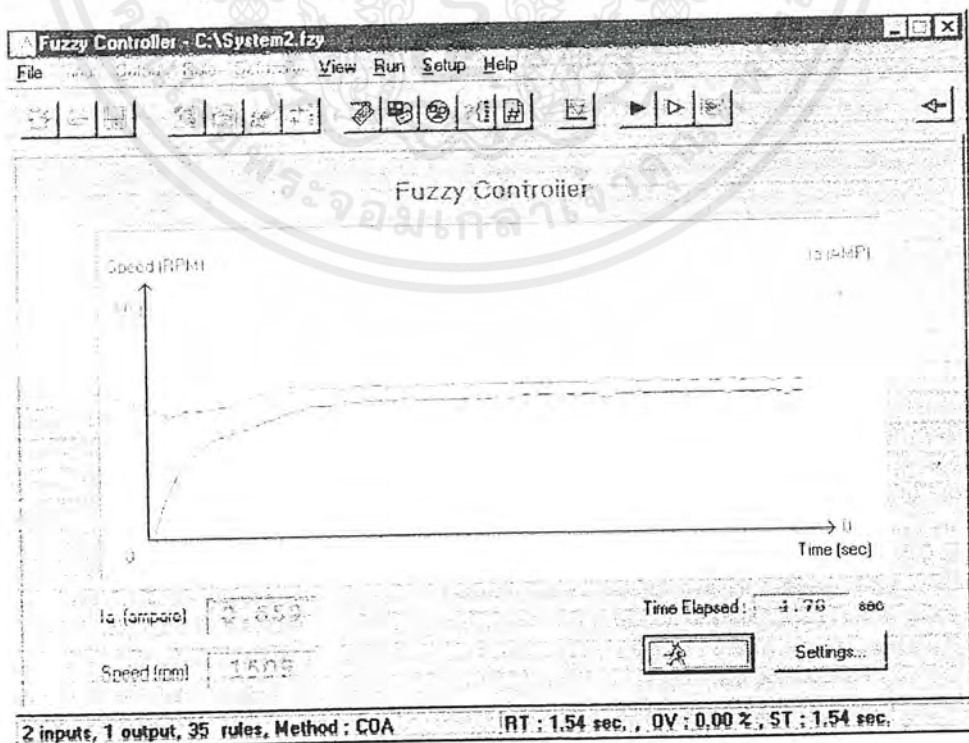
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลตอบสนองที่ได้พบว่าค่าเวลาRiseTime มีค่าใกล้เคียงกับผลจากการใช้ไฟล์ System1.fzy ในขณะที่ Load ต่ออยู่โดยจะมีค่ามากกว่าในบางช่วงของระดับค่าเป้าหมาย ผลตอบสนองเข้าสู่ค่าเป้าหมายได้อย่างถูกต้องโดยไม่มี offset

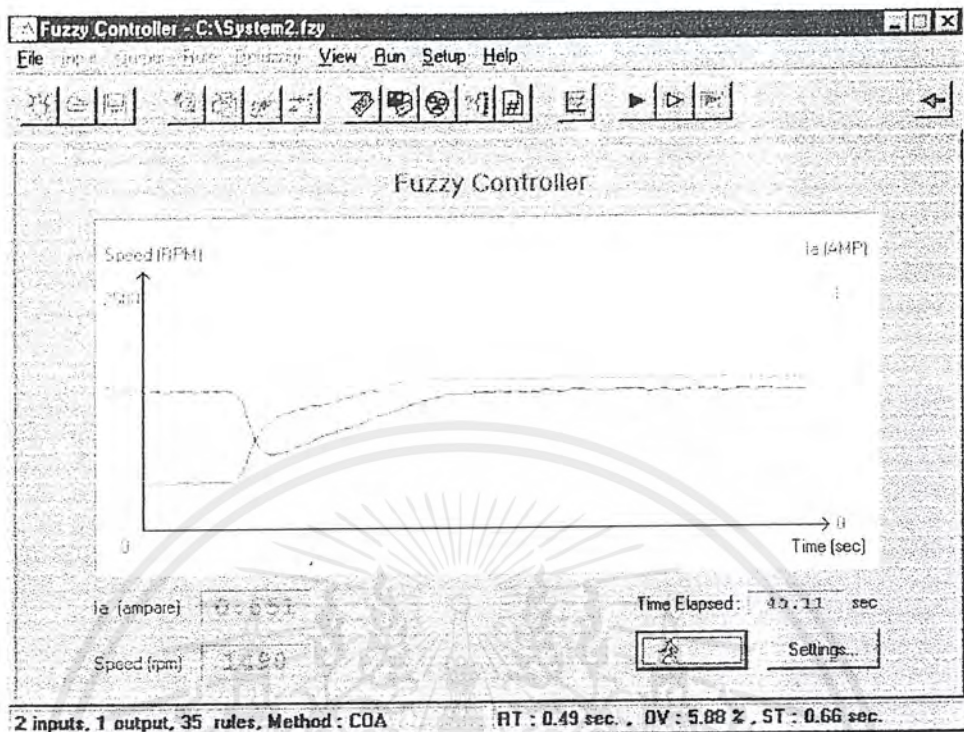


รูปที่ 4.8 ผลตอบสนองของมอเตอร์ขณะไม่มีโหลด

รูปที่ 4.9 ผลตอบสนองของมอเตอร์ขณะมีโหลดเต็มที

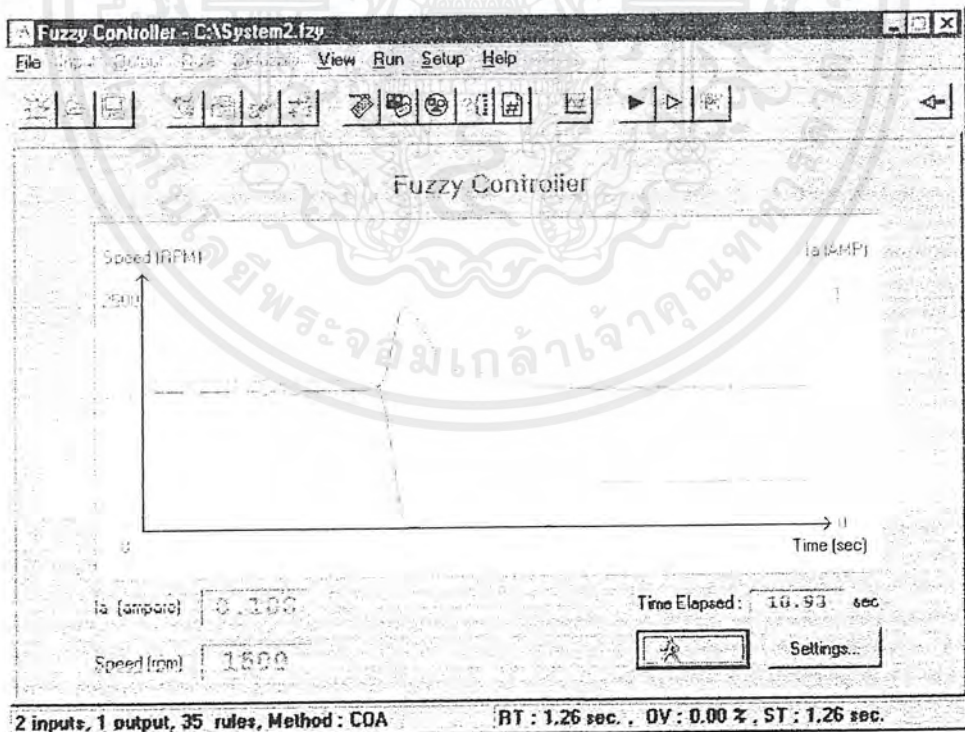


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 ผลตอบสนองของมอเตอร์ขณะได้โหลดทันทีทันใด

รูปที่ 4.11 ผลตอบสนองของมอเตอร์ขณะปลดโหลดทันทีทันใด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การทดลองที่ 3 ใช้ไฟล์ System3.fzy

-No-load

Setpoint (rpm)	Rise Time (sec)	Overshoot (% of Setpoint)	Steady-state Time (sec)	Steady-state Offset (rpm)
500	0.11	78.43	1.92	0
600	0.16	65.03	2.36	0
700	0.16	63.87	2.31	0
800	0.16	62.99	1.70	0
900	0.16	49.24	1.65	0
1000	0.22	46.08	1.65	0
1100	0.22	38.15	2.25	0
1200	0.22	35.62	1.76	0
1300	0.22	36.50	1.37	0
1400	0.22	45.66	2.80	0
1500	0.22	38.56	1.81	0
1600	0.27	32.97	2.58	0
1700	0.27	27.45	2.36	0
1800	0.27	31.26	1.92	0
1900	0.27	29.00	1.92	0
2000	0.27	25.00	2.75	0
2100	0.33	19.05	2.53	0
2200	0.33	13.64	1.92	0
2300	0.33	8.70	2.97	0
2400	0.33	4.17	2.03	0

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดลองที่ 3 ขณะไม่มีโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลตอบสนองที่ได้พบว่า Overshoot ในช่วง transient จะมากกว่า Overshoot จากการใช้ไฟล์ System1.fzy และ System2.fzy และมีการแกว่งก่อนเข้าสู่สภาวะ Steady-state ทำให้เวลาในการเข้าสู่สภาวะ Steady-state ยาวนานกว่า แต่การเข้าสู่ค่าเป้าหมาย เมื่อใส่โหลดทันทีทันทีจะใช้เวลาน้อยกว่า

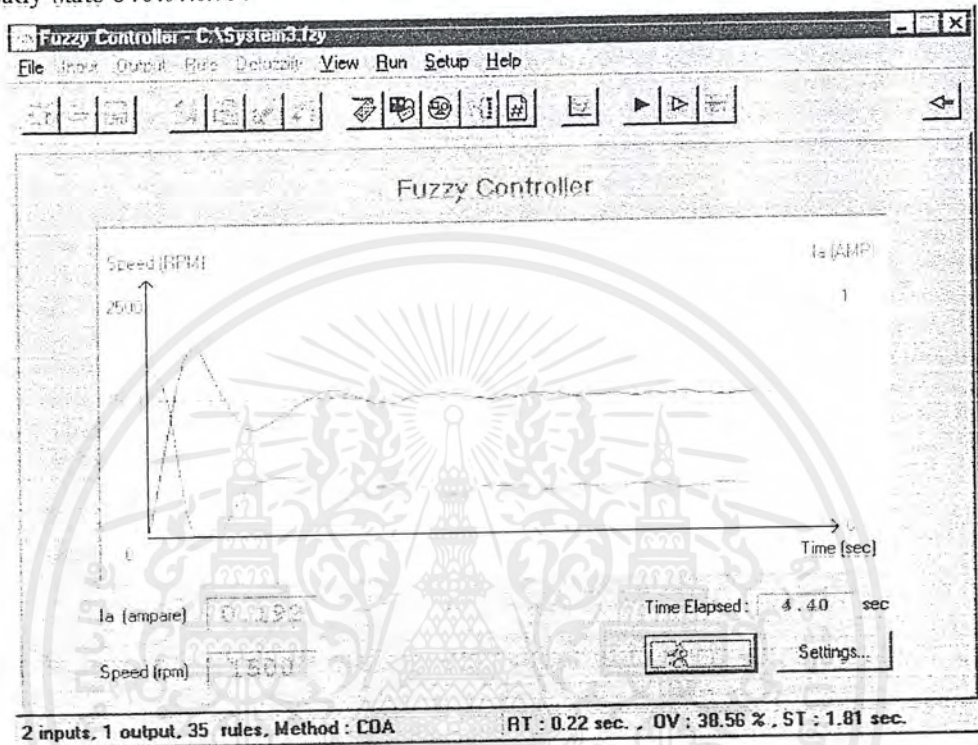
**-Full-load**

Setpoint (rpm)	Rise Time (sec)	Overshoot (% of Setpoint)	Steady-state Time (sec)	Steady-state Offset (rpm)
500	0.11	37.25	0.55	0
600	0.16	17.65	0.60	0
700	0.22	5.04	0.27	0
800	0.22	2.94	1.54	0
900	0.77	0.22	0.77	0
1000	0.88	0.98	0.88	0
1100	1.43	0.71	1.43	0
1200	2.25	0.49	2.25	0
1300	1.70	1.06	1.70	0
1400	1.21	0.14	1.21	0
1500	1.54	0.00	1.54	0
1600	1.32	1.10	1.32	0
1700	1.70	1.50	1.70	0
1800	2.03	2.40	2.20	0
1900	1.59	0.10	1.59	0
2000	1.43	0.00	1.43	0
2100	1.59	0.37	1.59	0
2200	2.09	0.27	2.20	0
2300	1.92	1.45	2.14	0
2400	1.87	0.49	1.87	0

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดลองที่ 3 ขณะใส่โหลดเต็มที

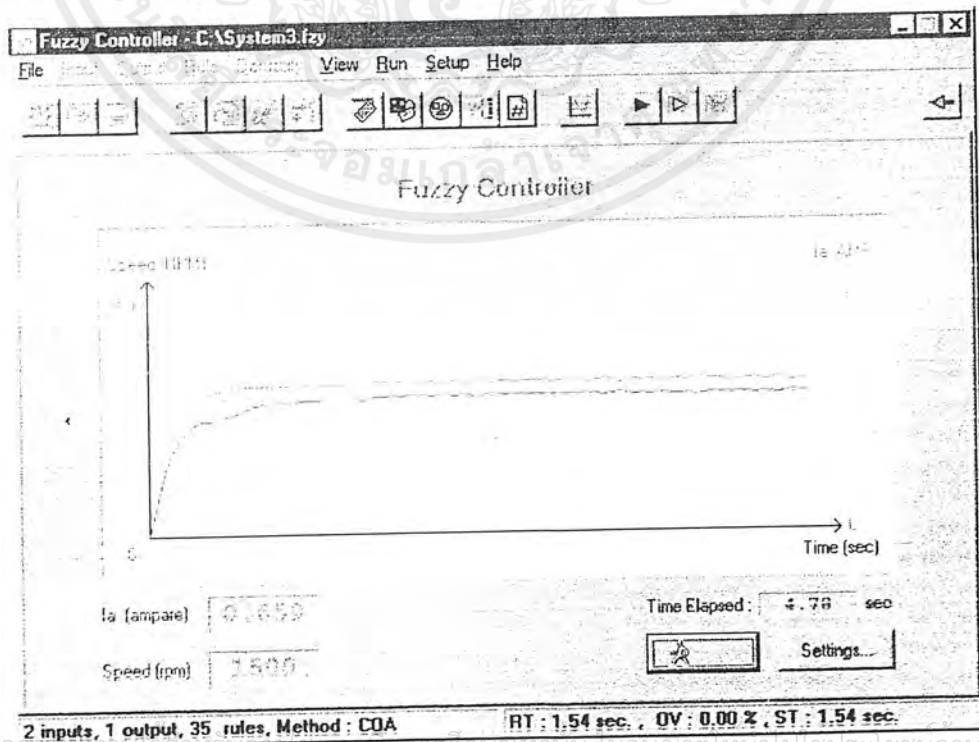
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลตอบสนองที่ได้พบว่าช่วง Rise Time จะดีกว่าค่าที่ได้จากการใช้ไฟล์ System1.fzy และ System2.fzy แต่เมื่อมีการปลดโหลดทันทีทันใดจะมีการแกว่งก่อนเข้าสู่สภาวะ Steady-state ทำให้เวลาในการเข้าสู่สภาวะ Steady-state ชยาวนานกว่า

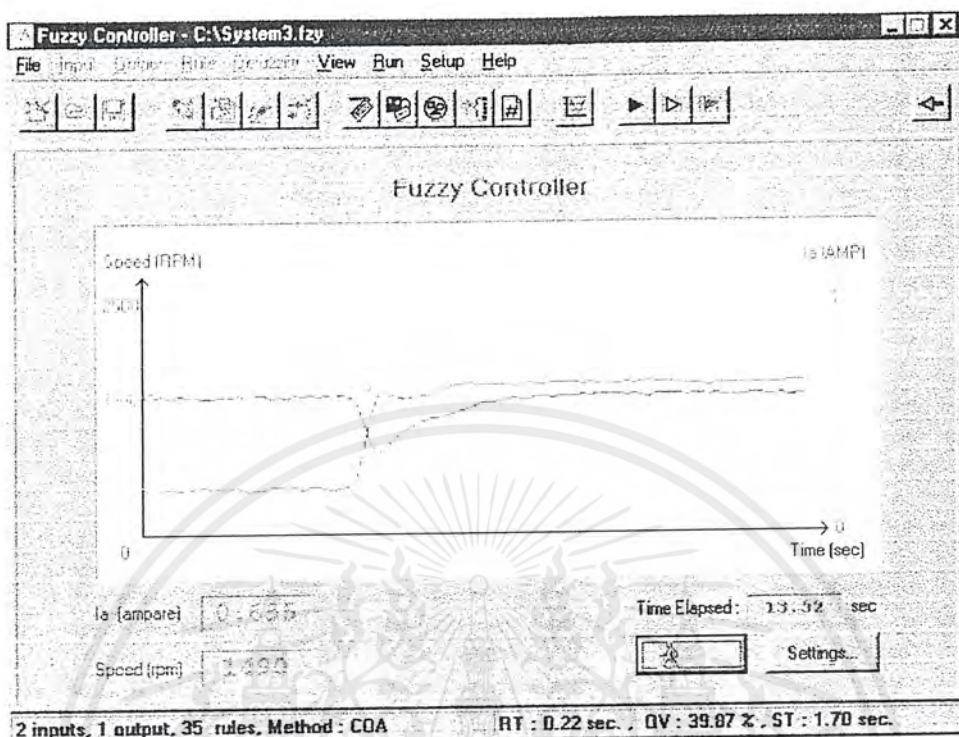


รูปที่ 4.12 ผลตอบสนองของมอเตอร์ขณะไม่มีโหลด

รูปที่ 4.13 ผลตอบสนองของมอเตอร์ขณะได้โหลดเต็มที

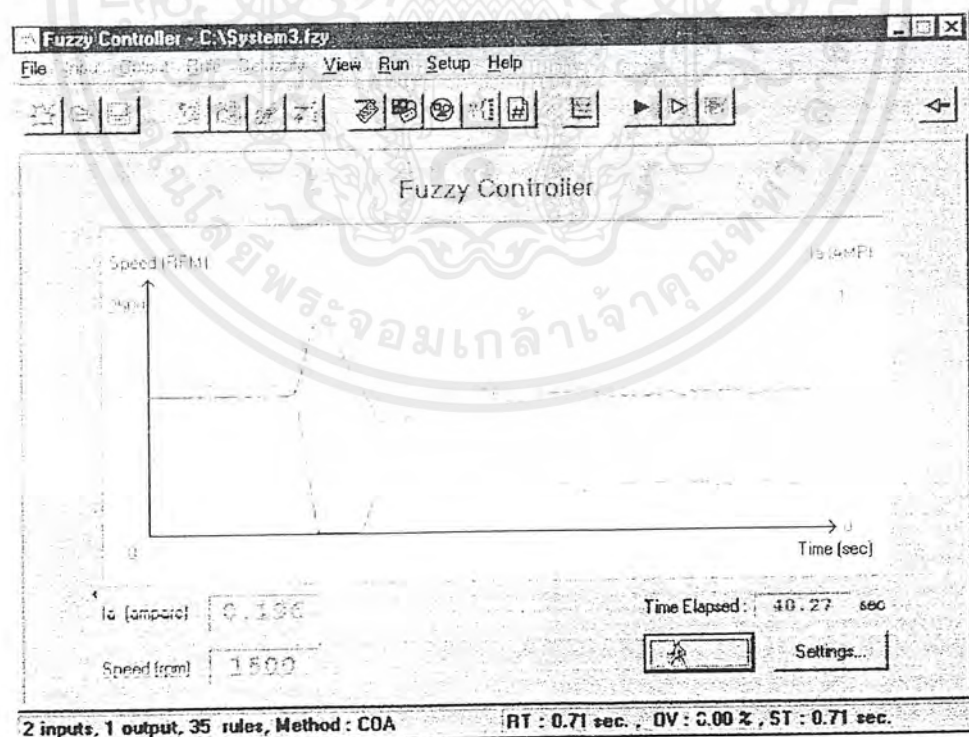


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการสงวนเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 ผลตอบสนองของมอเตอร์กระแสไอโพลคั่นที่ทันใด

รูปที่ 4.15 ผลตอบสนองของมอเตอร์กระแสปลดโพลคั่นที่ทันใด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การทดลองที่ 4 ใช้ไฟล์ System4.fzy

-No-load

Setpoint (rpm)	Rise Time (sec)	Overshoot (% of Setpoint)	Steady-state Time (sec)	Steady-state Offset (rpm)
500	0.11	74.51	0.66	0
600	0.16	51.96	0.44	0
700	0.16	21.85	0.88	0
800	0.16	15.20	0.44	0
900	0.22	6.75	0.38	0
1000	0.22	7.84	1.15	0
1100	0.22	7.84	0.38	0
1200	0.22	7.03	0.49	0
1300	0.22	7.09	0.49	0
1400	0.22	9.24	0.66	0
1500	0.22	9.15	0.44	0
1600	0.27	7.84	0.71	0
1700	0.27	8.42	0.93	0
1800	0.27	7.30	0.88	0
1900	0.33	5.26	0.49	0
2000	0.33	8.33	0.93	0
2100	0.33	7.84	0.77	0
2200	0.33	2.94	0.55	0
2300	0.33	4.86	0.93	0
2400	0.33	1.31	1.43	0

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดลองที่ 4 ขณะไม่มีโหลด

จากผลตอบสนองที่ได้พบว่า Overshoot ในช่วง transient จะ มีค่าน้อยและดีกว่าค่าที่ได้จากการใช้ไฟล์ System1.fzy แต่ผลตอบสนองเมื่อทำการใส่โหลดทันทีจะมีค่าเวลาในการเข้าสู่ค่าเป้าหมายมากกว่า การเข้าสู่ค่าเป้าหมายต้องโดยไม่มี offset

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

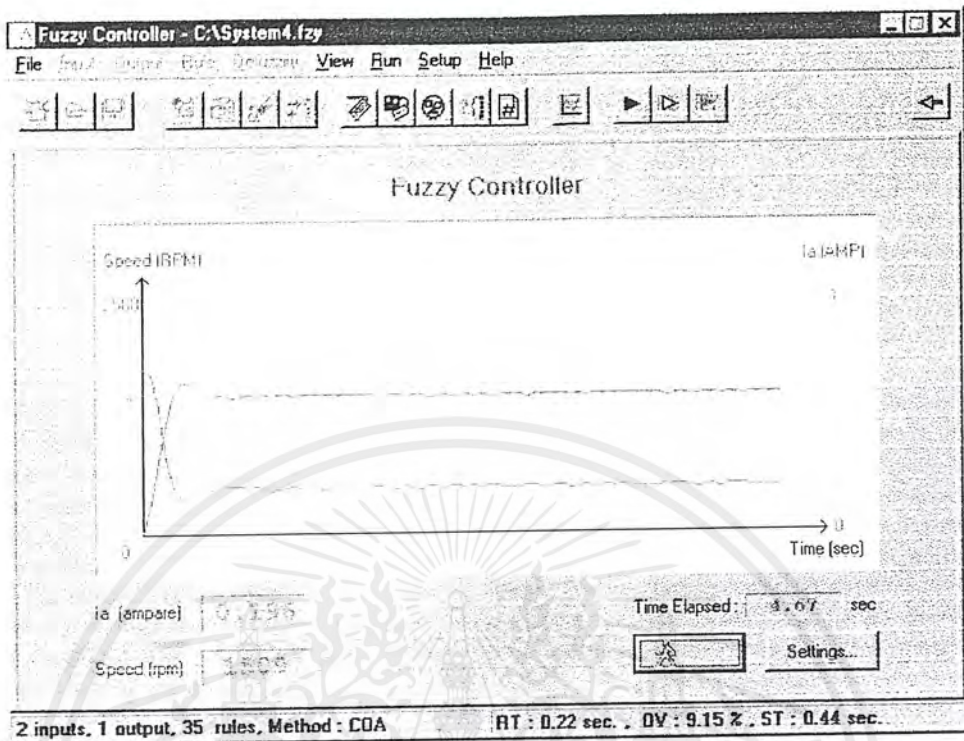
**-Full-load**

Setpoint (rpm)	Rise Time (sec)	Overshoot (% of Setpoint)	Steady-state Time (sec)	Steady-state Offset (rpm)
500	0.16	17.65	0.55	0
600	0.16	4.58	0.16	0
700	2.80	0.84	2.80	0
800	3.52	0.49	3.63	0
900	3.52	1.31	3.52	0
1000	3.63	0.98	3.63	0
1100	4.12	0.71	4.12	0
1200	4.40	0.49	4.84	0
1300	4.40	0.30	4.40	0
1400	3.6	0.84	3.68	0
1500	2.75	0.00	2.75	0
1600	2.97	0.49	2.97	0
1700	3.96	0.35	3.96	0
1800	3.85	1.31	3.85	0
1900	3.79	0.10	4.01	0
2000	3.85	0.00	3.85	0
2100	3.30	0.37	3.30	0
2200	3.85	0.27	3.85	0
2300	4.84	0.60	4.85	0
2400	4.45	0.49	4.45	0

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการทดลองที่ 4 ขณะมีโหลดเต็มที่

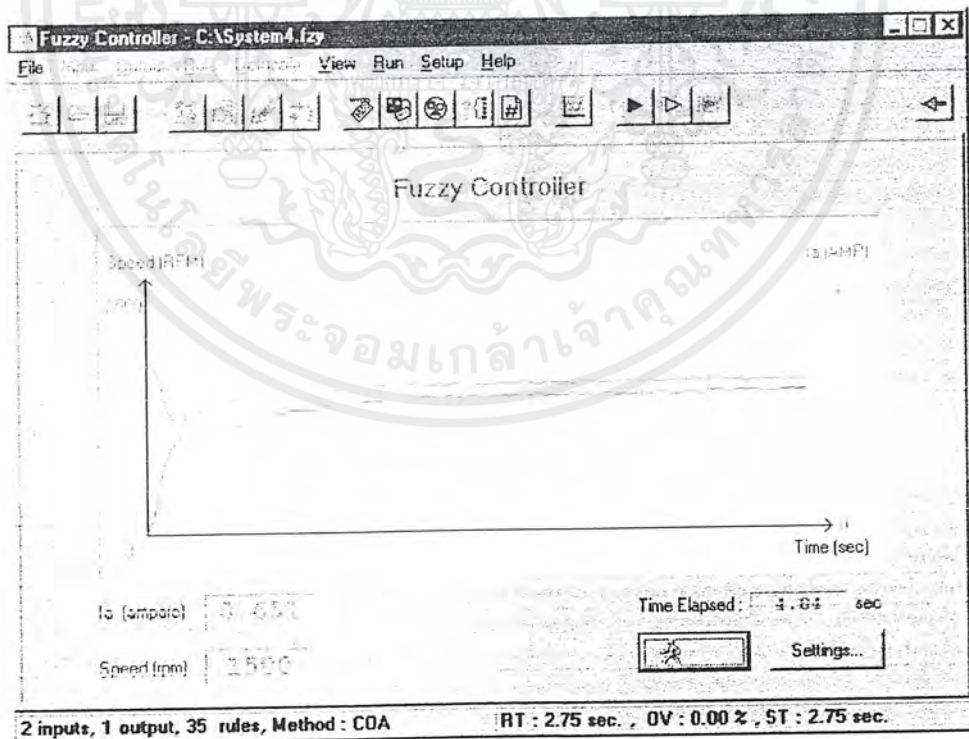
จากผลตอบสนองที่ได้พบว่า Rise Time ในช่วง transient จะ มีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากการใช้ไฟถี่ ต่างๆ ที่ผ่านมาและผลตอบสนองเมื่อทำการปลดโหลดทันทีจะมีค่าเวลาในการเข้าสู่ค่าเป้าหมายมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

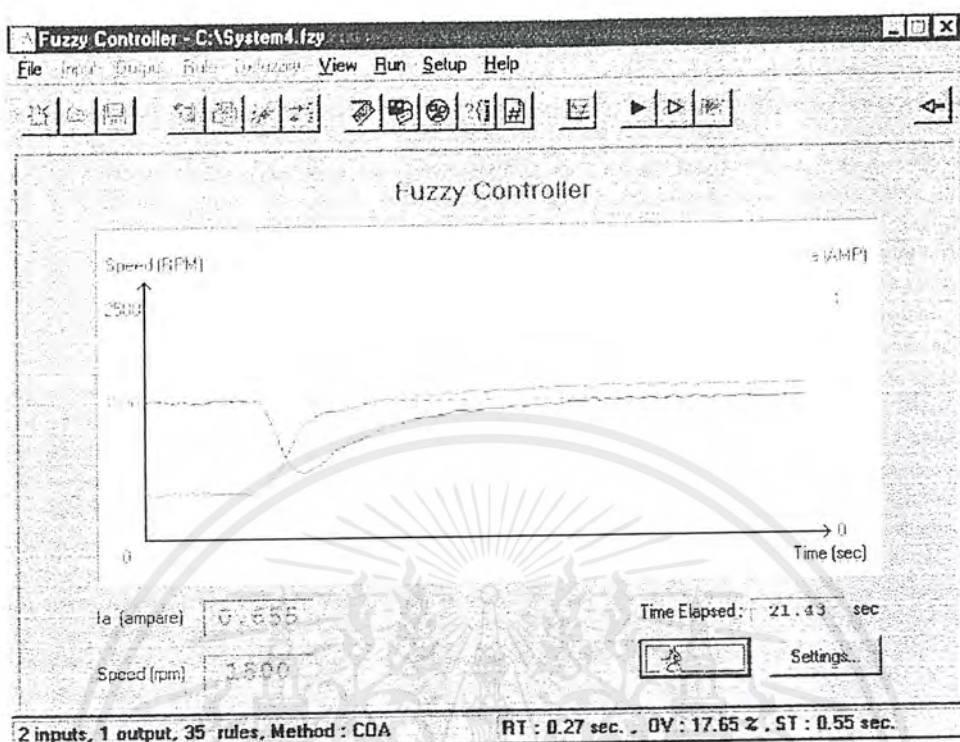


รูปที่ 4.16 ผลตอบสนองของมอเตอร์ขณะไม่มีโหลด

รูปที่ 4.17 ผลตอบสนองของมอเตอร์ขณะใส่โหลดเต็มที่

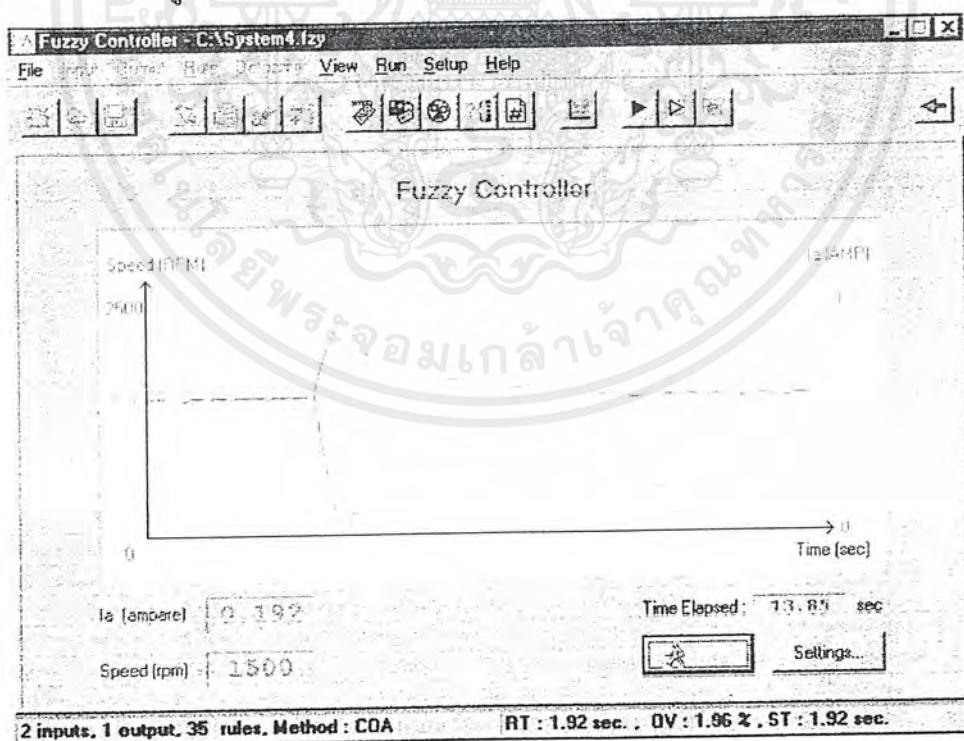


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 ผลตอบสนองของมอเตอร์ขณะใส่โหลดทันทีทันใด

รูปที่ 4.19 ผลตอบสนองของมอเตอร์ขณะปลดโหลดทันทีทันใด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การทดลองที่ 5 ใช้ไฟล์ System5.fzy

-No-load

Setpoint (rpm)	Rise Time (sec)	Overshoot (% of Setpoint)	Steady-state Time (sec)	Steady-state Offset (rpm)
500	0.16	121.57	1.32	0
600	0.16	92.81	2.42	0
700	0.16	58.26	1.48	0
800	0.16	42.16	1.10	0
900	0.22	36.17	2.75	0
1000	0.22	20.59	0.82	0
1100	0.22	29.23	1.04	0
1200	0.22	16.83	1.37	0
1300	0.22	16.89	1.32	0
1400	0.22	17.65	1.43	0
1500	0.22	15.03	1.43	0
1600	0.22	14.58	1.21	0
1700	0.27	12.46	1.48	0
1800	0.27	12.75	2.97	0
1900	0.27	14.04	1.21	0
2000	0.33	10.78	1.32	0
2100	0.33	8.78	2.03	0
2200	0.33	6.06	1.15	0
2300	0.33	8.70	1.21	0
2400	0.38	4.17	1.92	0

ตารางที่ 4.9 แสดงผลการทดลองที่ 5 ขณะไม่มีโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลตอบสนองที่ได้พบว่า Overshoot ในช่วง transient จะ มีค่ามากในช่วงค่าเป้าหมายต่ำๆ แต่ค่า Overshoot โดยรวมจะน้อยกว่าค่าที่ได้จากการใช้ไฟล์ System3.fzy เวลาในการเข้าสู่ค่าเป้าหมายค่อนข้างมากการเข้าสู่ค่าเป้าหมายทำได้ถูกต้องโดยไม่มี offset

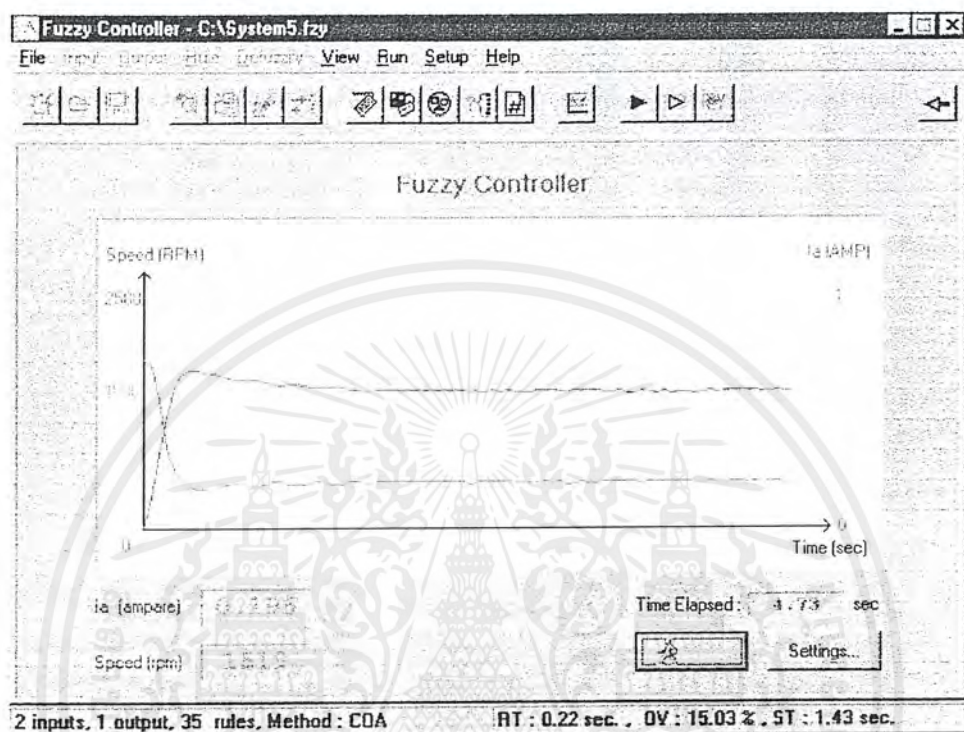
**-Full-load**

Setpoint (rpm)	Rise Time (sec)	Overshoot (% of Setpoint)	Steady-state Time (sec)	Steady-state Offset (rpm)
500	0.16	39.22	1.92	0
600	0.16	19.28	1.04	0
700	0.22	12.04	0.93	0
800	0.38	1.72	0.38	0
900	1.10	0.22	1.10	0
1000	1.76	0.00	1.87	0
1100	2.25	0.71	2.25	0
1200	2.36	0.49	2.36	0
1300	1.96	0.30	2.91	0
1400	1.98	0.14	2.31	0
1500	2.14	0.00	2.14	0
1600	2.25	1.10	2.25	0
1700	2.31	0.35	2.31	0
1800	2.14	0.22	2.14	0
1900	2.20	0.10	2.20	0
2000	2.09	0.00	2.09	0
2100	2.03	1.31	2.03	0
2200	2.09	0.27	2.09	0
2300	2.58	0.17	2.91	0
2400	2.58	0.08	2.58	0

ตารางที่ 4.10 แสดงผลการทดลองที่ 5 ขณะใส่โหลดเต็มที่

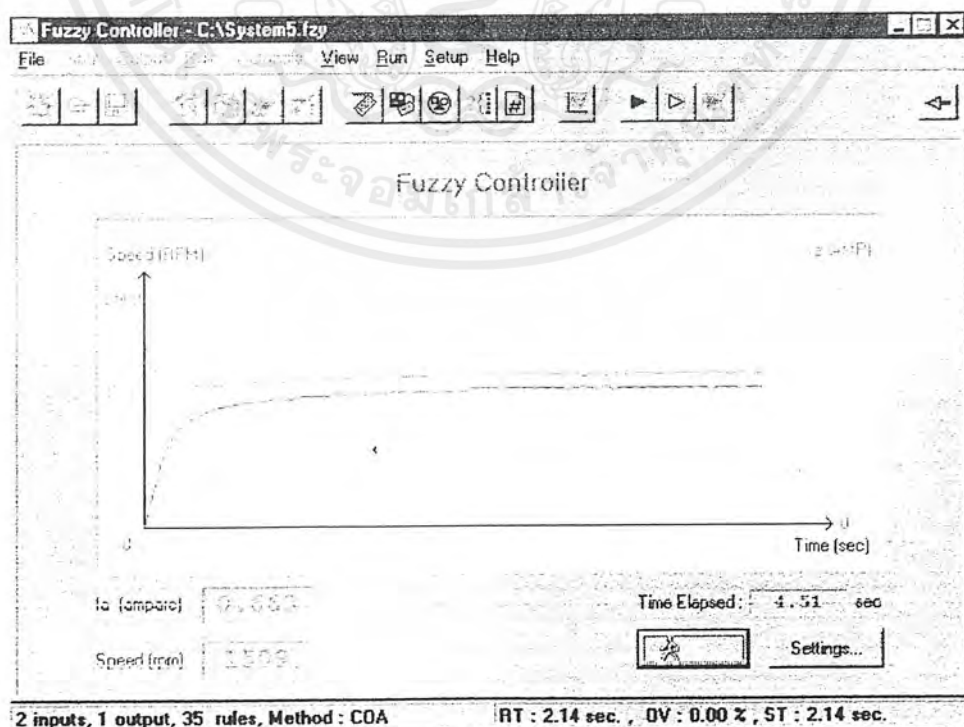
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลตอบสนองที่ได้พบว่า Rise Time ในช่วง transient จะ มีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากการใช้ไฟล์ System4.fzy ซึ่งทำให้เวลาในการเข้าผู้ค่าเป้าหมายดีกว่า แต่ผลตอบสนองเมื่อทำการปลดโหลดทันทีจะมีค่า Overshoot ค่อนข้างสูง

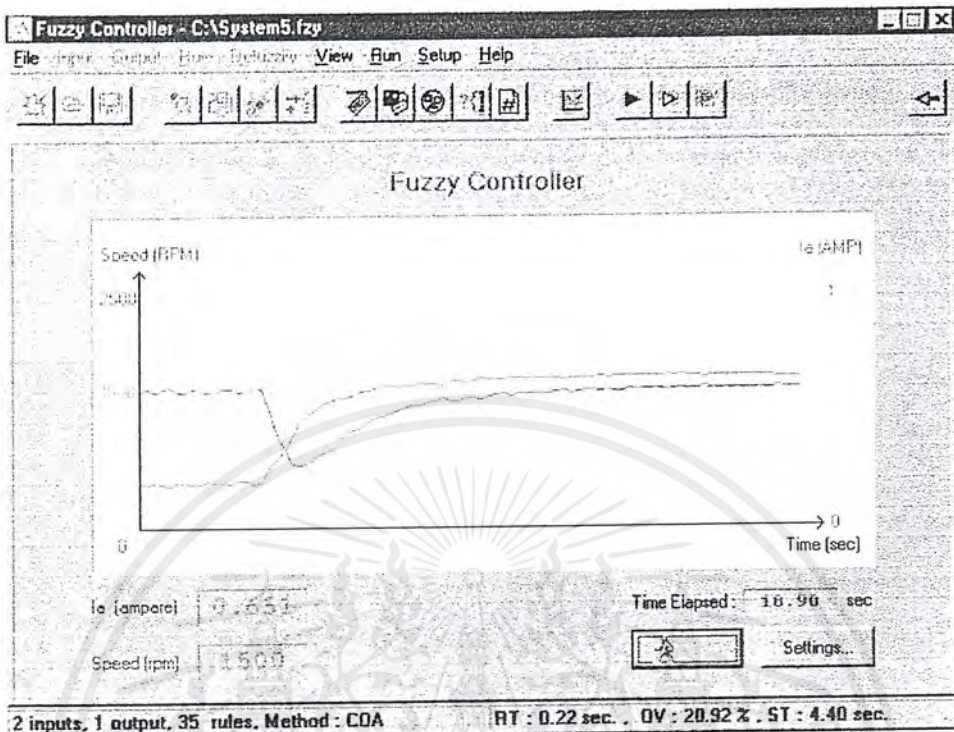


รูปที่ 4.20 ผลตอบสนองของมอเตอร์ขณะไม่มีโหลด

รูปที่ 4.21 ผลตอบสนองของมอเตอร์ขณะใส่โหลดเต็ม

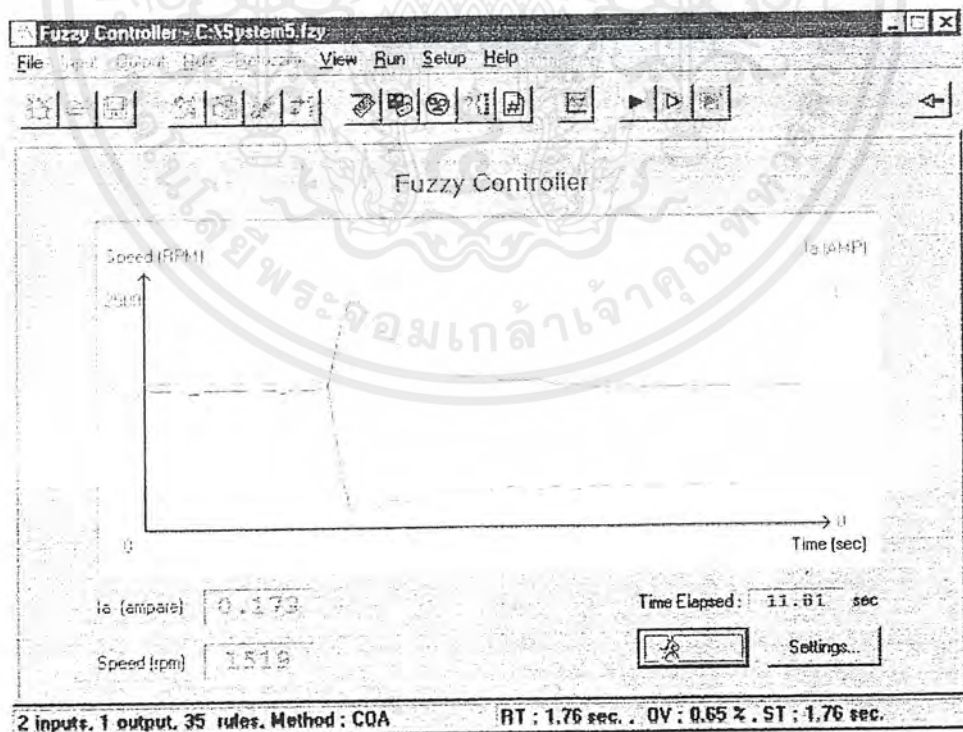


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 ผลตอบสนองของมอเตอร์ขณะใส่โหลดทันทีทันใด

รูปที่ 4.23 ผลตอบสนองของมอเตอร์ขณะปลดโหลดทันทีทันใด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การทดลองที่ 6 ใช้ไฟล์ System6.fzy

-No-load

Setpoint (rpm)	Rise Time (sec)	Overshoot (% of Setpoint)	Steady-state Time (sec)	Steady-state Offset (rpm)
500	0.11	109.80	1.43	0
600	0.11	89.54	0.82	0
700	0.16	59.66	1.43	0
800	0.11	39.71	0.82	0
900	0.16	33.99	0.93	0
1000	0.16	48.04	1.10	0
1100	0.16	28.34	0.88	0
1200	0.16	21.73	1.48	0
1300	0.16	38.01	1.26	0
1400	0.16	24.65	1.26	0
1500	0.22	24.18	0.82	0
1600	0.22	23.77	1.59	0
1700	0.27	18.80	2.03	0
1800	0.27	15.47	2.58	0
1900	0.27	9.39	0.88	0
2000	0.27	14.71	1.48	0
2100	0.27	11.11	1.92	0
2200	0.27	8.29	1.04	0
2300	0.27	8.70	1.15	0
2400	0.33	2.53	1.65	0

ตารางที่ 4.11 แสดงผลการทดลองที่ 6 ขณะไม่มีโหลด

จากผลตอบสนองที่ได้พบว่า Overshoot โดยรวมในช่วง transient จะมีค่าสูง แต่น้อยกว่าค่าที่ได้จากการใช้ไฟล์ System3.fzy เวลาในการเข้าสู่ค่าเป้าหมายเมื่อใส่โหลดทันทีทำได้ค่อนข้างดี และการเข้าสู่ค่าเป้าหมายทำได้ถูกต้องโดยไม่มี offset

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

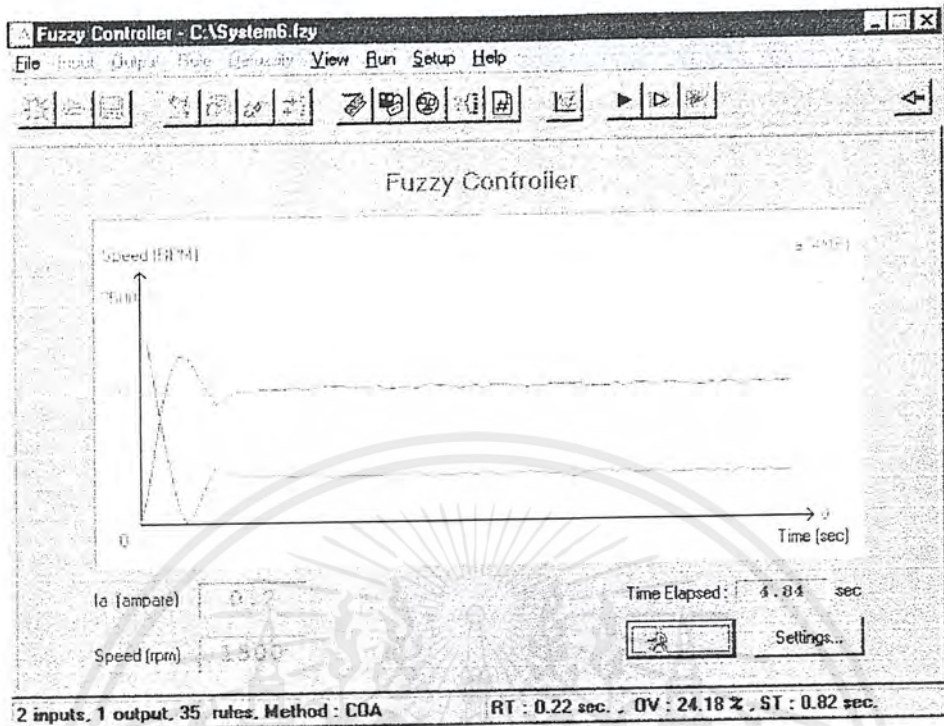
## -Full-load

Setpoint (rpm)	Rise Time (sec)	Overshoot (% of Setpoint)	Steady-state Time (sec)	Steady-state Offset (rpm)
500	0.11	37.25	0.60	0
600	0.11	20.92	0.55	0
700	0.16	12.04	0.27	0
800	0.22	11.52	1.48	0
900	0.22	2.40	0.77	0
1000	0.82	0.00	0.82	0
1100	1.43	0.71	1.43	0
1200	1.37	1.31	1.37	0
1300	1.43	0.30	1.70	0
1400	1.37	0.14	1.37	0
1500	1.54	0.00	1.54	0
1600	1.76	0.49	2.03	0
1700	1.26	0.92	1.26	0
1800	1.48	1.31	1.48	0
1900	1.43	0.10	1.43	0
2000	1.21	0.00	1.21	0
2100	1.32	1.31	1.32	0
2200	1.21	0.27	1.21	0
2300	1.32	0.60	1.32	0
2400	1.32	0.08	1.32	0

ตารางที่ 4.12 แสดงผลการทดลองที่ 6 ขณะใส่โหลดเต็ม

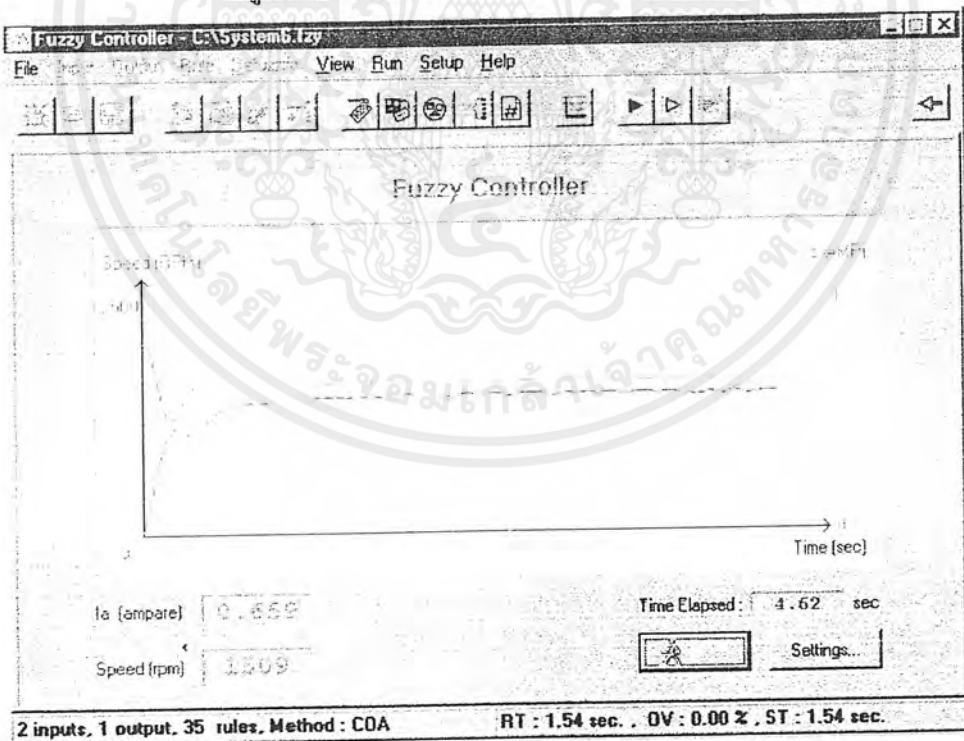
จากผลตอบสนองที่ได้พบว่า Rise Time ในช่วง transient จะมีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากการใช้ไฟล์ต่างๆ ที่ผ่าน มา ซึ่งทำให้เวลาในการเข้าสู่ค่าเป้าหมายดีกว่าแต่ผลตอบสนองเมื่อทำการปลดโหลดทันทีจะมีค่า Overshoot สูงกว่าค่า Overshoot ที่ได้จากการใช้ไฟล์ System1.fzy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

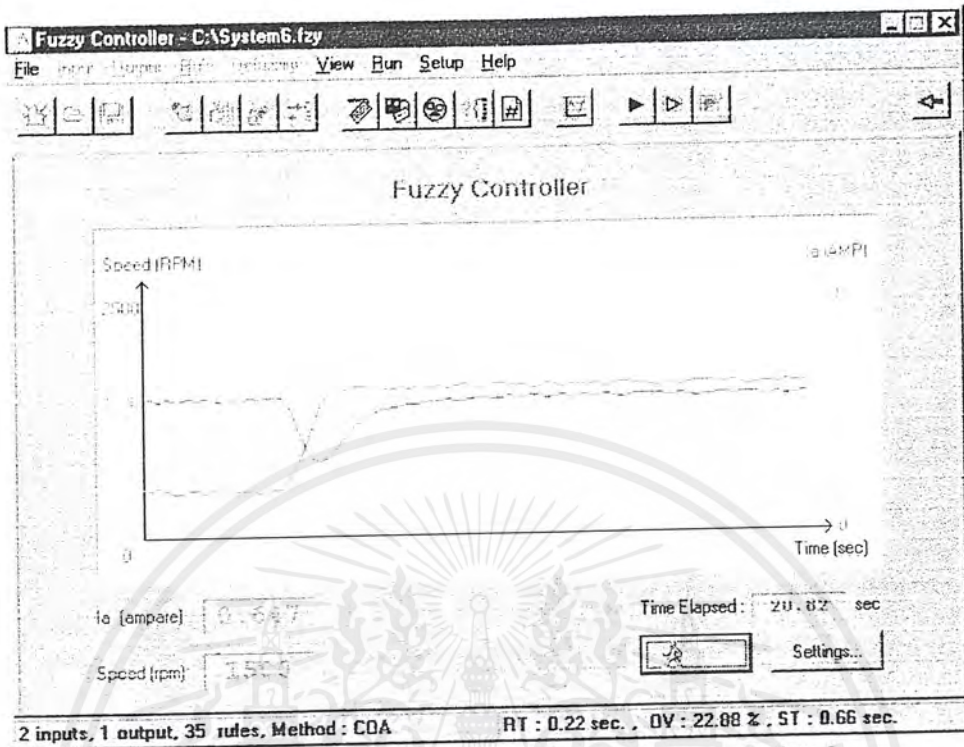


รูปที่ 4.24 ผลตอบสนองของมอเตอร์ขณะไม่มีโหลด

รูปที่ 4.25 ผลตอบสนองของมอเตอร์ขณะมีโหลดเต็มที่

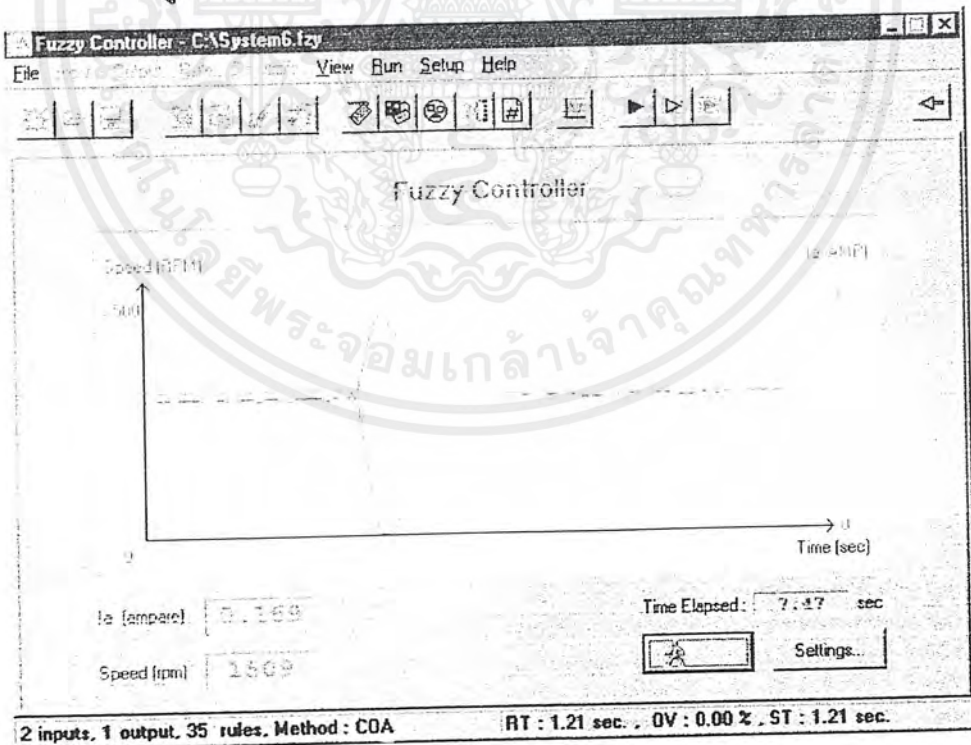


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 ผลตอบสนองของมอเตอร์ขณะใส่โหลดทันทีทันใด

รูปที่ 4.27 ผลตอบสนองของมอเตอร์ขณะปลดโหลดทันทีทันใด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การทดลองที่ 7 “PID Controller”

ใช้ค่า parameter ของ PID Controller เมื่อ  $K_p=1.36$ ,  $K_i=3.71$ ,  $K_d=0$  จากการหาค่าด้วยวิธีของ Ziegler-Nichols (ภาคผนวก ค.)

-No-load

Setpoint (rpm)	Rise Time (sec)	Overshoot (% of Setpoint)	Steady-state Time (sec)	Steady-state Offset (rpm)
500	0.16	76.47	0.38	20
600	0.16	63.40	0.38	30
700	0.16	49.86	0.38	20
800	0.22	34.80	0.55	30
900	0.22	23.09	0.60	20
1000	0.22	18.63	1.10	20
1100	0.22	16.76	0.66	20
1200	0.22	13.56	0.66	30
1300	0.22	24.43	0.66	30
1400	0.22	19.75	0.60	30
1500	0.22	25.49	0.60	20
1600	0.22	17.65	1.15	20
1700	0.22	12.46	0.71	20
1800	0.27	7.84	1.15	30
1900	0.27	2.68	0.99	30
2000	0.77	0.00	0.77	0
2100	1.04	0.00	1.04	20
2200	1.54	0.00	1.54	20
2300	1.10	0.60	1.10	20
2400	1.15	0.08	1.15	20

ตารางที่ 4.13 แสดงผลการทดลองที่ 7 ขณะ ไม่มี โหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลตอบสนองที่ได้พบว่า ช่วงเวลาในการเข้าสู่สถานะที่มีเสถียรภาพนั้น ดีกว่าตัวควบคุมพีชชี ส่วน Overshoot จะอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกับตัวควบคุมพีชชี ที่ใช้ไฟล์ System1.fzy แต่เมื่อทำการใส่โหลดทันที จะใช้เวลาในการเข้าสู่ค่าเป้าหมายนานกว่า, ช่วงค่าเป้าหมายระดับ สูงๆ จะไม่เกิด Overshoot เลยแต่ค่าเวลา Rise Time ก็จะมากขึ้นตามไปด้วย ในการเข้าสู่ค่าเป้าหมายจะเกิด offset ที่ต่ำกว่าระดับค่าเป้าหมาย อยู่ประมาณ 20-30 rpm การกำจัด offset ให้หมดไปจะต้องเพิ่มค่า Ki ขึ้นสูงๆ ซึ่งจะมีผลให้ Overshoot เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ในสถานะมีโหลดเต็มที่(Full-Load) ค่า Rise Time จะใกล้เคียงกับ ระบบควบคุมพีชชี ที่ใช้ไฟล์ System1.fzy แต่การปลดโหลดทันทีจะใช้เวลาเข้าสู่ค่าเป้าหมายน้อยกว่าและเกิด Overshoot มากกว่า



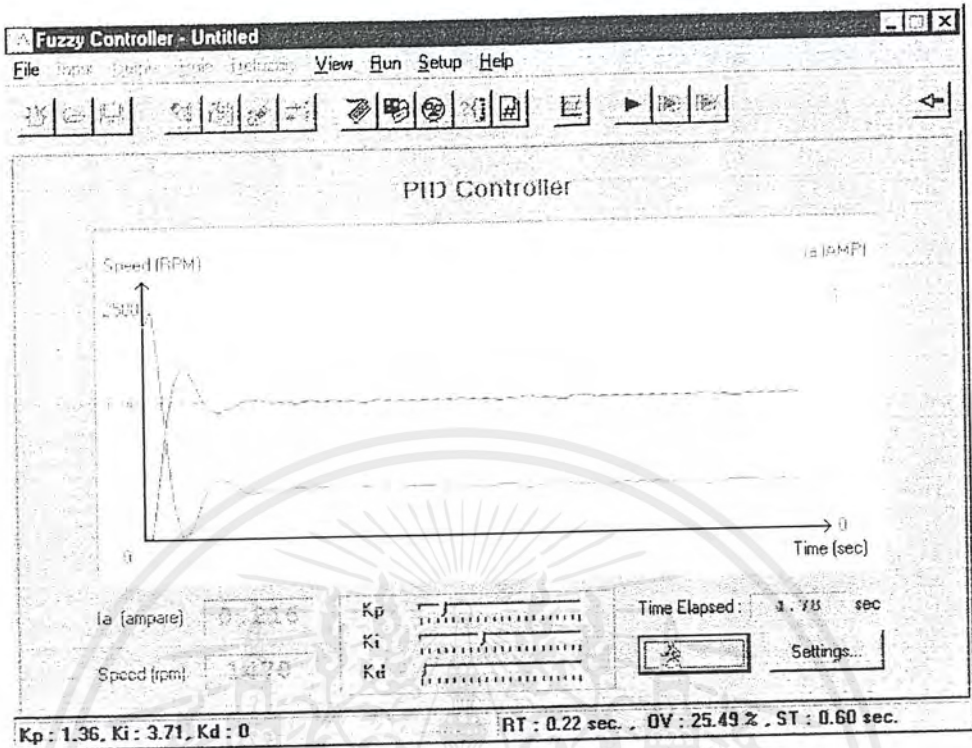
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**-Full-load**

Setpoint (rpm)	Rise Time (sec)	Overshoot (% of Setpoint)	Steady-state Time (sec)	Steady-state Offset (rpm)
500	0.16	19.61	0.22	20
600	0.22	2.94	0.55	20
700	1.15	0.00	1.15	30
800	1.21	0.00	1.21	30
900	1.37	0.00	1.37	30
1000	1.43	0.00	1.43	20
1100	1.65	0.00	1.65	30
1200	1.59	0.00	1.59	30
1300	1.87	0.00	1.87	30
1400	1.65	0.00	1.65	20
1500	1.59	0.00	1.59	20
1600	1.87	0.00	1.87	30
1700	1.81	0.00	1.81	30
1800	2.03	0.76	2.03	20
1900	1.92	0.00	1.92	30
2000	1.92	0.00	1.92	10
2100	2.20	0.00	2.20	30
2200	2.25	1.16	2.75	20
2300	2.14	0.00	2.14	30
2400	2.25	0.00	2.25	40

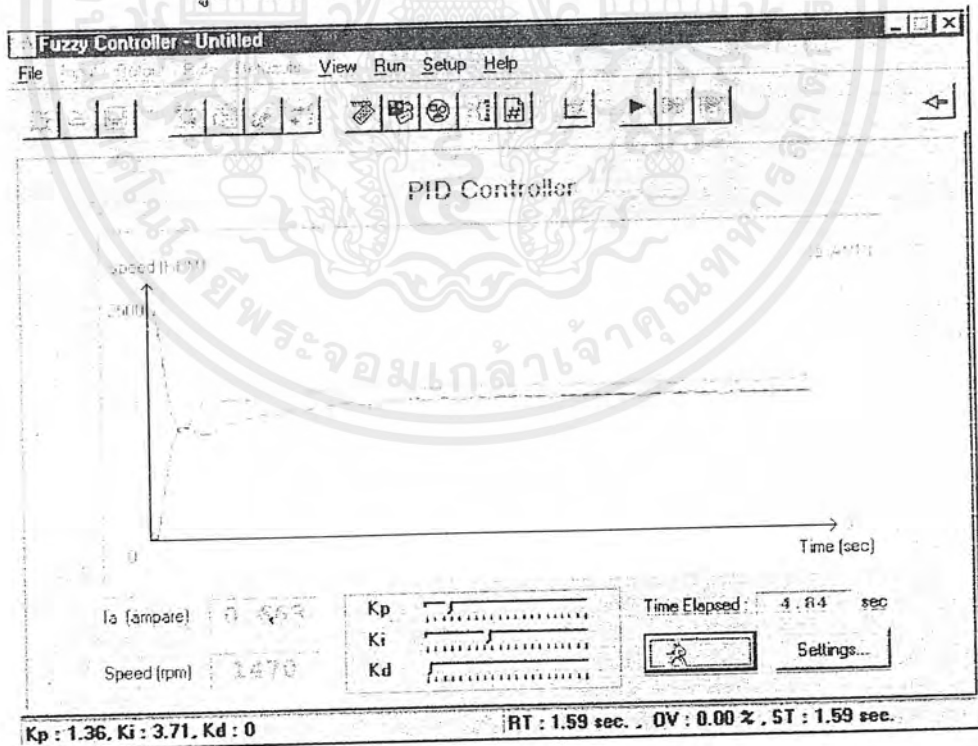
ตารางที่ 4.14 แสดงผลการทดลองที่ 7 ณะใส่โหลดเต็มที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

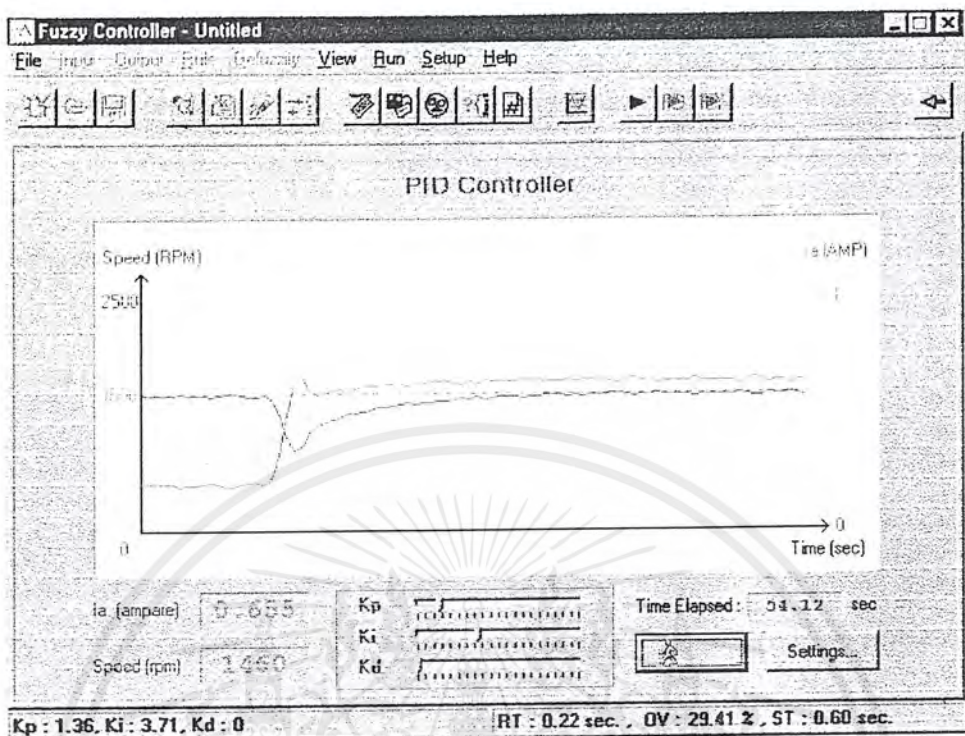


รูปที่ 4.28 ผลตอบสนองของมอเตอร์ขณะไม่มีโหลด

รูปที่ 4.29 ผลตอบสนองของมอเตอร์ขณะใส่โหลดเต็มที่

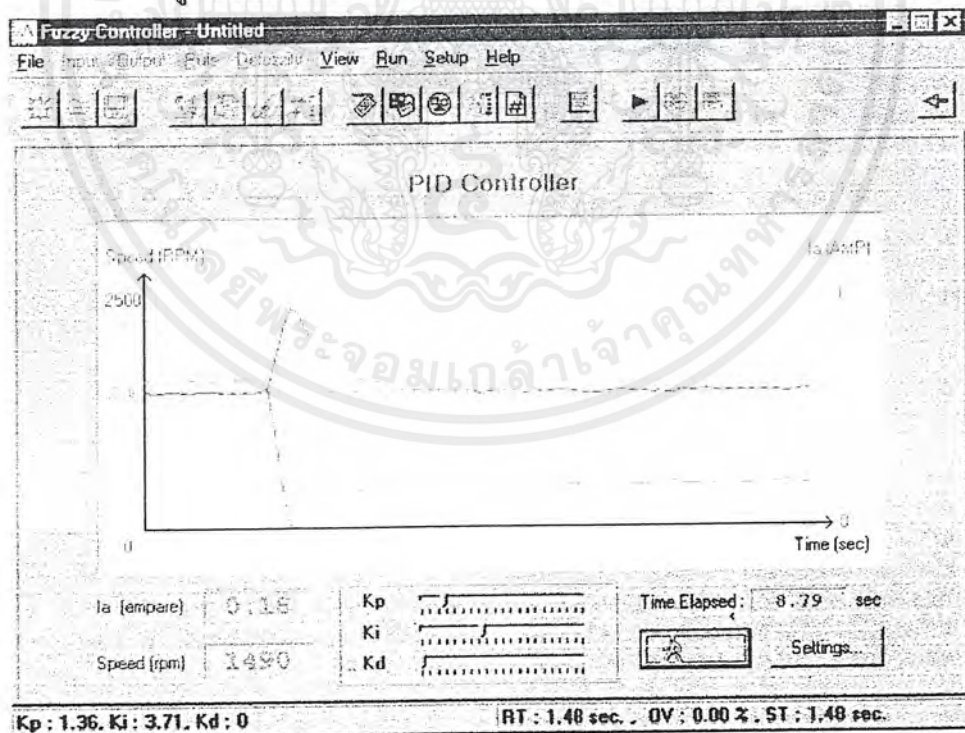


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.30 ผลตอบสนองของมอเตอร์ขณะใส่โหลดทันทีทันใด

รูปที่ 4.31 ผลตอบสนองของมอเตอร์ขณะปลดโหลดทันทีทันใด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลและวิจารณ์การทดลอง

1. การกำหนดลักษณะของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกให้แตกต่างกันในไฟล์ System4.fzy , System5.fzy และ System6.fzy นั้น จะมีผลต่อผลตอบแทนของมอเตอร์ แต่ก็ยังไม่มากนักเมื่อเทียบกับผลที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงกฎฟuzzy ในไฟล์ System1.fzy, System2.fzy และ System3.fzy ซึ่งจะทำให้ผลตอบแทนเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัด เช่น Overshoot ลดลงมากโดยที่ Rise Time เพิ่มมากขึ้นหรือเกิดการแกว่งมากก่อนเข้าสู่ค่าเป้าหมาย เป็นต้น

2. การกำหนดจำนวนเทอมเซตให้มากขึ้น (จำนวนกฎฟuzzy เพิ่มขึ้น) จะช่วยให้เกิดความละเอียดในการควบคุม โดยให้ผลตอบแทนที่ดีขึ้นแต่จะมีผลให้ใช้เวลาในการประเมินผลมากขึ้นด้วย

3. จากการทดลองในบางกรณีจะพบว่าตัวควบคุมฟuzzy ยังทำงานได้ไม่ดันทักเมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมพีไอดี เช่นในการเข้าสู่สถานะเสถียร เป็นต้น ซึ่งอาจเกิดจากผู้ทดลองยังมีประสบการณ์ไม่เพียงพอในการออกแบบฟังก์ชันความเป็นสมาชิก และ กฎฟuzzy แต่โดยภาพรวมจากการทดลองแล้ว ตัวควบคุมฟuzzy สามารถทำงานได้ใกล้เคียงกับตัวควบคุม PID และดีกว่าตัวควบคุม PID ในบางกรณีเช่น การใช้กระแสในช่วงเริ่มต้นน้อยกว่าและการเข้าสู่เป้าหมายได้อย่างถูกต้องโดยไม่เกิด offset เป็นต้น

4. ผลตอบแทนที่ได้จากตัวควบคุมฟuzzy และตัวควบคุม PID นั้นจะพบว่าที่สถานะเสถียรนั้น ผลตอบแทนจะไม่ราบเรียบเลขที่เดียว แต่จะมีการแกว่งด้วยความกว้างของคลื่นขนาดเล็กๆ ทั้งนี้เป็นเพราะตัวควบคุมพยายามที่จะปรับให้ผลตอบแทนอยู่ที่ค่าเป้าหมายให้ได้นั่นเอง แต่เนื่องจากข้อจำกัดของการส่งข้อมูลเป็นอนาล็อก ( สัญญาณอนาล็อกที่ออกจากตัวแปลงสัญญาณจากดิจิทัล/อนาล็อก ) ยังไม่ละเอียดพอเพราะย่านสัญญาณกระแสที่ควบคุมมอเตอร์ได้นั้นอยู่ในช่วงแคบๆ จึงทำให้สัญญาณควบคุมเกิดการแกว่งด้วย ช่วงความกว้างของคลื่นขนาดเล็กๆ และมีผลต่อไปยังผลตอบแทน ทำให้ผลตอบแทนมีการแกว่งอยู่เล็กน้อยเช่นกัน

#### ข้อดีของตัวควบคุมฟuzzy

1. ไม่ต้องการรายละเอียดที่ซับซ้อนในการออกแบบตัวควบคุมทำให้สามารถใช้งานกับระบบที่มีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนได้ดีกว่า
2. การควบคุมจะแสดงด้วยกฎที่เราคุ้นเคยดีโดยประสบการณ์
3. สามารถนำความรู้และประสบการณ์ของผู้ควบคุม ที่ไม่สามารถแสดงด้วยรูปแบบทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการควบคุมได้

4. ตัวควบคุมพีซีซี นั้นง่ายต่อการทำความเข้าใจ ทั้งนี้เพราะ วิธีการใช้ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกต่างๆ รวมทั้งกฎของพีซีซี จะมีลักษณะเป็นภาษาคำพูดที่สามารถเข้าใจได้ง่าย ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องอาศัยวิศวกรที่มีความชำนาญมากนักในการใช้งานตัวควบคุมพีซีซี

### ข้อเสียของตัวควบคุมพีซีซี

1. การออกแบบกฎพีซีซีเพื่อให้ได้กฎสำหรับการควบคุมที่เหมาะสมที่สุดนั้น ต้องทำการทดลองไปเรื่อยๆ จนกระทั่งได้กฎที่ดีที่สุด(Trial and Error) ทำให้ต้องใช้เวลานานในการออกแบบสำหรับผู้ที่ไม่มีความชำนาญในงานนั้นๆ
2. หากจำนวนฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเพิ่มมากขึ้น จะมีผลทำให้กฎพีซีซีเพิ่มขึ้นด้วย และจะต้องใช้เวลาในการทดลองเพิ่มขึ้นตามด้วยเพราะการใช้กฎที่ไม่เหมาะสม จะมีผลต่อผลตอบสนองอย่างเห็นได้ชัดรวมทั้งเวลาในการประมวลผลก็จะมากขึ้นตามจำนวนกฎอีกด้วย

### แนวทางในการพัฒนา

1. ความละเอียดของสัญญาณที่ควบคุมขึ้นอยู่กับความละเอียดของการเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก ซึ่งช่วงของสัญญาณควบคุมมอเตอร์(กระแสอาร์เมเจอร์) นี้สามารถควบคุมได้นั้นอยู่ในย่านแคบๆ การพัฒนาการส่งข้อมูลให้ละเอียดยิ่งขึ้น(เช่นจาก 8 บิตที่ใช้ในการทดลองนี้ ให้เป็น 10, 12 หรือ 16 บิต เป็นต้น) จะช่วยให้ได้ผลการตอบสนองที่ได้นั้นละเอียดและถูกต้องมากขึ้น
2. โปรแกรมตัวควบคุมพีซีซี ที่ใช้ในการทดลองนี้สามารถใช้ในการสร้างและพัฒนาระบบพีซีซีขึ้นมาได้อย่างสะดวก แต่การใช้งานในการควบคุมกระบวนการจริงยังจำกัดอยู่เฉพาะการเชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ เท่านั้น ในการพัฒนาขั้นตอนต่อไปจึงควรจะให้สามารถนำระบบพีซีซีที่สร้างขึ้น ไปยังชิป Microcontroller เพื่อให้ขอบเขตการใช้งานในการควบคุมจริงนั้นกว้างขึ้น

## บรรณานุกรม

1. รัชชชัย เกื้อนจวี และ อนรรักษ์ เกื้อนศิริ, “ดิจิทัลเทคนิค( เล่ม 1 )”, ห้างหุ้นส่วนจำกัด ภาพพิมพ์, 2532, 207 หน้า.
2. นิกร โต้ะลงรง, “ฟัซซี่ลอจิก พลิกเทคโนโลยีการควบคุม”, เซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์, ฉบับที่ 151 ประจำเดือน สิงหาคม-กันยายน 2538, หน้า 59-64.
3. ชื่น กุสุวรรณ , “เทคโนโลยี ฮาร์ดแวร์ IBM PC”, บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, 2533.
4. สาริต อินทจักร์, “การหาขอบภาพโดยใช้แบบจำลองฟัซซี่และนิเวรอลเน็ตเวิร์ค”, วิทยานิพนธ์, 2538, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 187 หน้า.
5. Berenji Hamid R. , Fuzzy Logic Controllers , Nasa Ames Research Center , 1990.
6. Earl Cox, “The Fuzzy Systems Handbook – A practitioner’s Guide to Building, Using, and Maintaining Fuzzy System”, Acedemic Press, Inc, 1994, 615 pp.
7. Ogata Katsuhiko , Modern Control Engineering , Prentice-Hall , Inc. 1990.
8. Reisdorph K , Henderson K , Teach Yourself Borland C++ Builder in 21 Days , Sams Publishing , 1997.
9. Schildt Herbert , Turbo C/C++ The Complete Reference , McGraw-Hill , 1992.

## ภาคผนวก ก.

## โปรแกรมตัวควบคุมฟัซซี่

## วัตถุประสงค์

1. สามารถสร้างหรือแก้ไขฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุท, เอาพุท และกฎฟัซซี่ได้อย่างรวดเร็ว
2. สามารถแสดงผลตอบสนองของมอเตอร์ โดยการเลือกใช้ระบบควบคุมพีไอดี หรือฟัซซี่ได้
3. สามารถจัดเก็บข้อมูลของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก และกฎฟัซซี่เป็นไฟล์ เพื่อสะดวกในการเรียกใช้ระบบที่มีข้อกำหนดต่างๆ กันได้
4. สามารถจัดเก็บภาพผลตอบสนองของมอเตอร์เป็นไฟล์ได้ เพื่อความสะดวกในการเปรียบเทียบผลตอบสนองในการทดลองต่างๆ กัน

## อัลกอริทึมของระบบควบคุมฟัซซี่

1. รับค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุท, เอาพุท และกฎฟัซซี่ มาจากไฟล์นามสกุล .fzy หรือที่สร้างขึ้นมาใหม่ จากนั้นก็พร้อมที่จะแก้ไขปรับเปลี่ยนและ Run ได้
2. รับค่าอินพุทจากตัวถอดรหัส (Encoder) ของมอเตอร์ผ่านทางตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลได้ค่า 0-FFFF ซึ่งในช่วงความเร็วรอบ 0-2500 rpm จากนั้นนำผลต่างของความเร็วรอบที่ได้จากค่าเป้าหมายและค่าความเร็วรอบที่อ่านได้จากตัวเข้ารหัสให้เป็นอินพุท1 (Error) ของ ระบบควบคุมฟัซซี่
3. ผลต่างที่ได้จากค่าผิดพลาด ปัจจุบัน ( $E_{(t)}$ ) และ ค่าผิดพลาดครั้งก่อน ( $E_{(t-1)}$ ) นำไปใช้เป็นอินพุท2 ( $\Delta Error$ ) ของ ระบบควบคุมฟัซซี่
4. ทำการ Fuzzify และ Defuzzify โดยใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก และกฎฟัซซี่ที่ออกแบบหรือโหลดจากไฟล์ และส่งค่าเอาพุทที่ได้จากการรวมค่าสัญญาณเอาพุทท่อนหน้ากับค่าที่ได้จากการ Defuzzify ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ ดังสมการ

$$MV_{(t)} = MV_{(t-1)} + \text{Compensate Value}_{(t)}$$

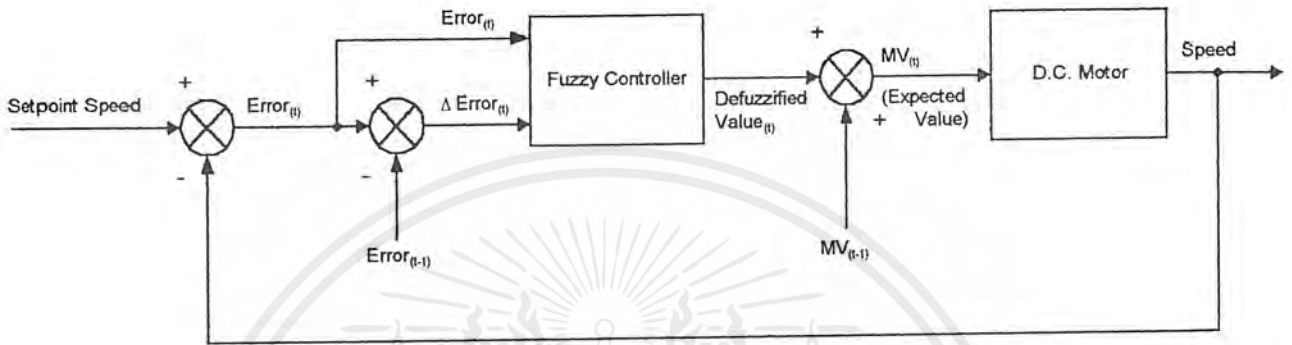
เมื่อ  $MV_{(t)}$  = สัญญาณเอาพุท (output) ของกระแสมอเตอร์ที่เวลา t (A)

$MV_{(t-1)}$  = สัญญาณเอาพุท (output) ของกระแสมอเตอร์ที่เวลา t-1 (A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Compensate Value<sub>(t)</sub> = ค่าชดเชย กระแสอาร์เมเจอร์ที่ได้จากการ  
Defuzzify ที่เวลา t (A)

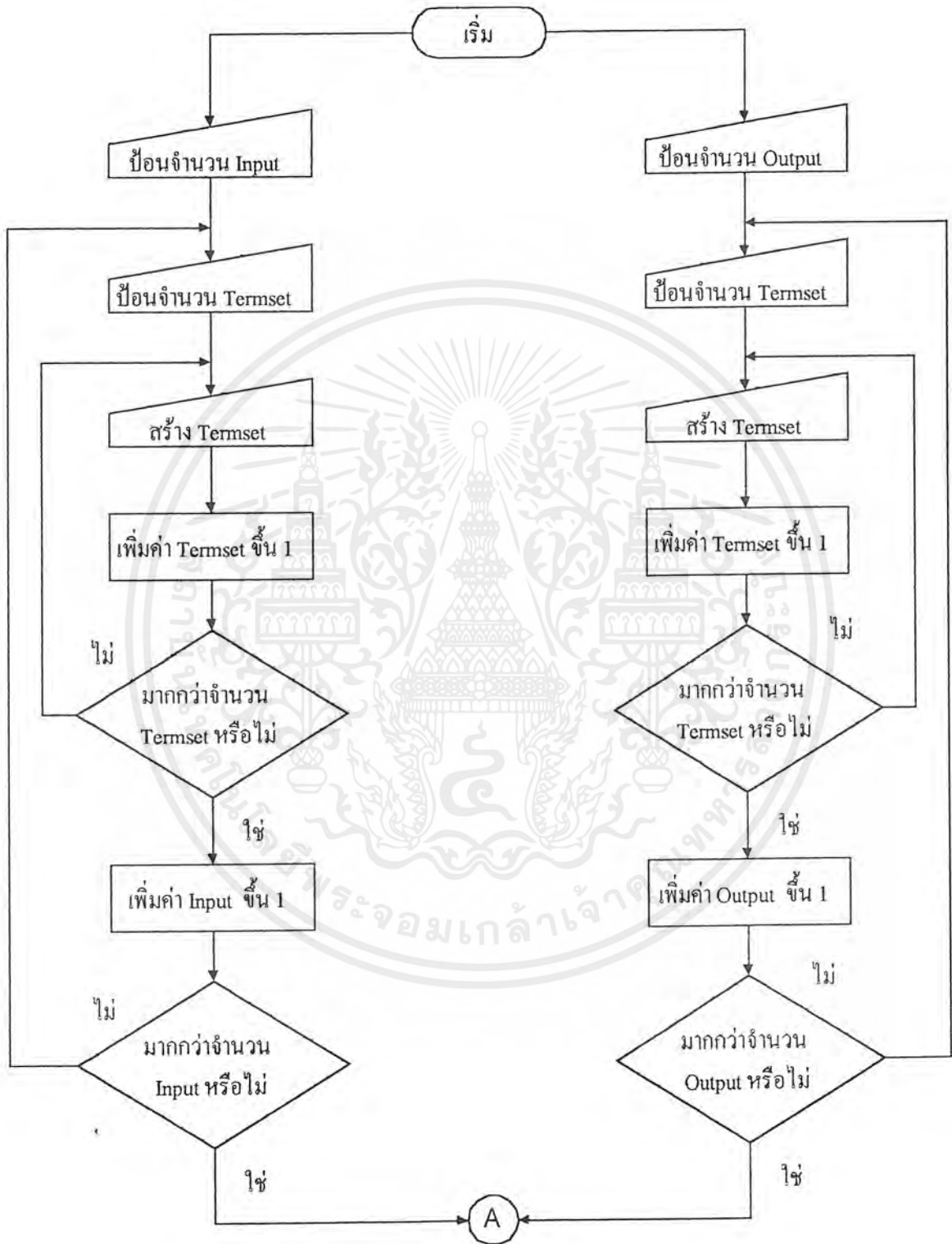
บล็อกไดอะแกรมแสดงการควบคุมมอเตอร์ด้วยตัวควบคุมฟัซซี่



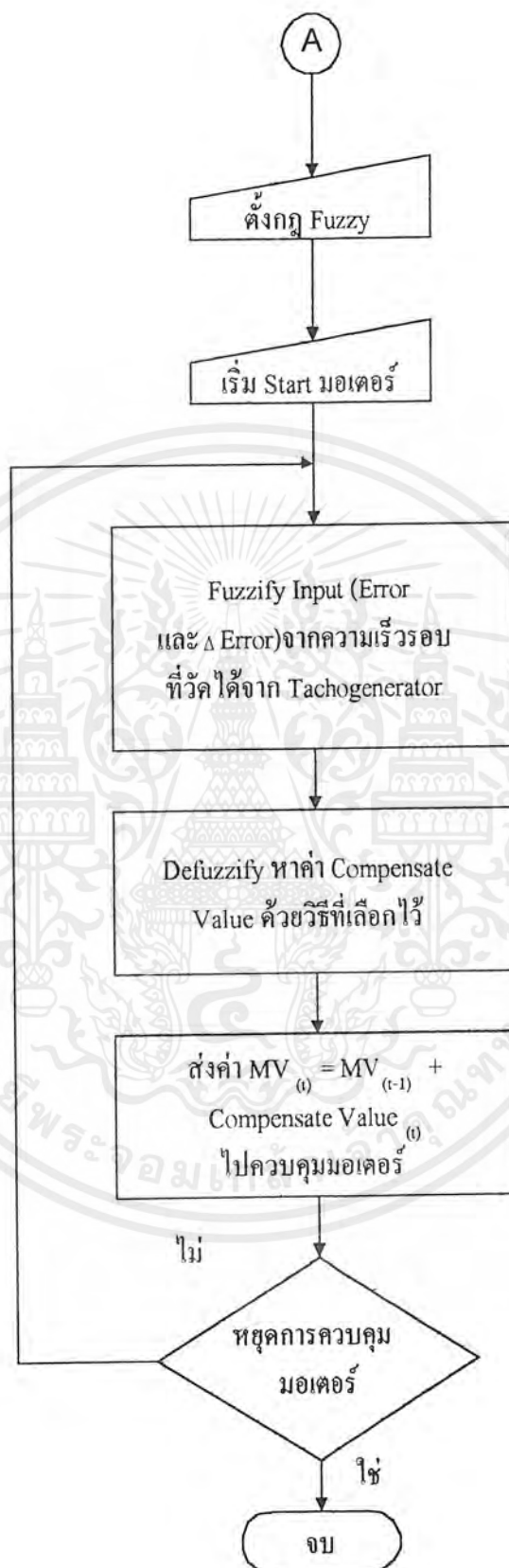
รูป บล็อกไดอะแกรมแสดงการควบคุมมอเตอร์ด้วยระบบควบคุมฟัซซี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมตัวควบคุมด้วยพีซี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

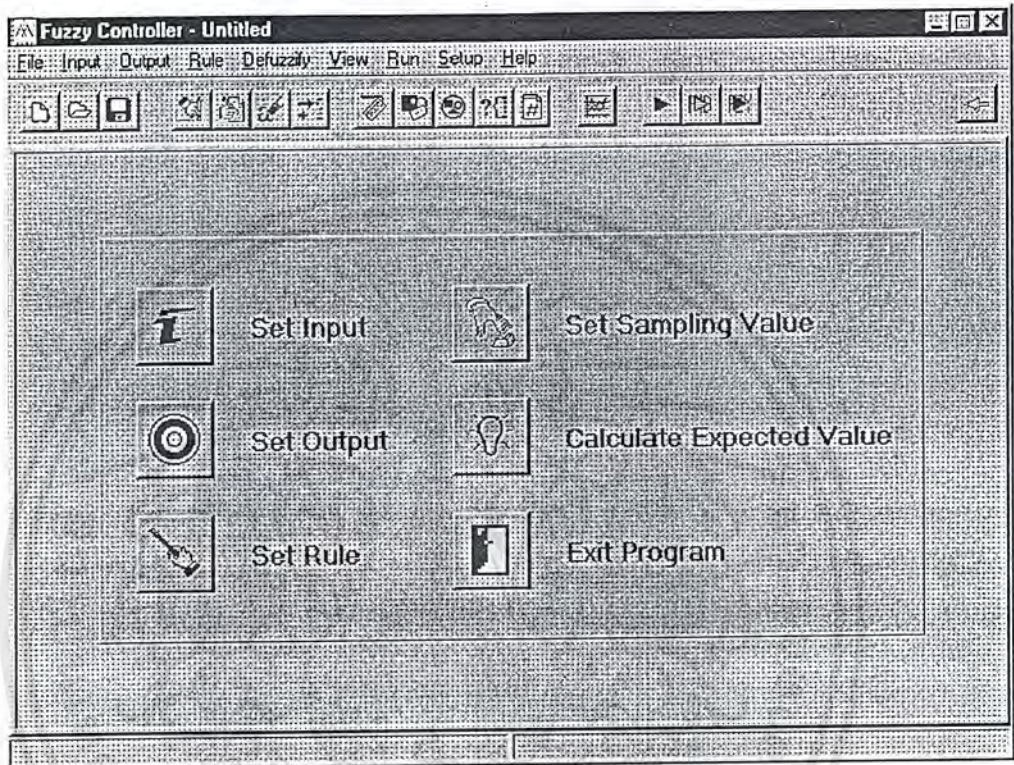


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

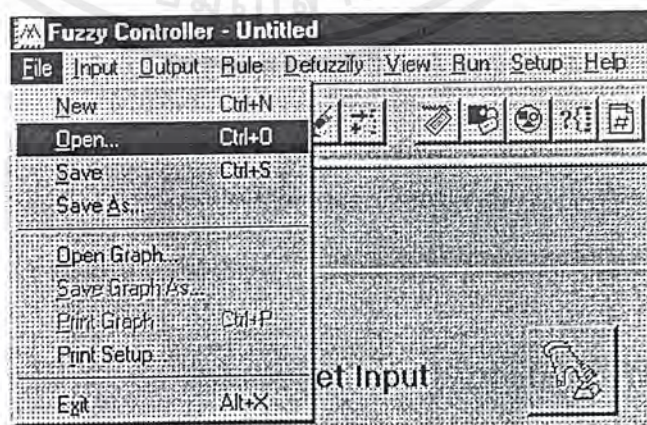
ภาคผนวก ข.

## คู่มือการใช้โปรแกรมตัวควบคุมฟuzzy

1. เมื่อเริ่มต้นเข้าสู่โปรแกรมจะแสดงหน้าต่างหลักดังรูป ถ้าไม่ได้ทำการเปิดไฟล์โปรแกรมจะแสดงชื่อไฟล์เป็น Untitled ที่ Title Bar

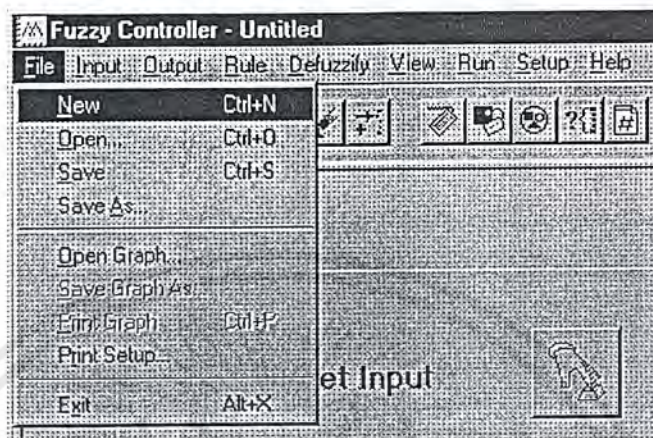


2. ถ้ามีไฟล์ที่สร้างขึ้นไว้ก่อนแล้ว สามารถเปิดขึ้นมาใช้งานได้ทันที โดยเลือกที่เมนู File/Open จากนั้นเลือกชื่อไฟล์ที่ใช้งาน (ชื่อไฟล์.fzy) แล้วคลิกปุ่ม OK ดังรูป

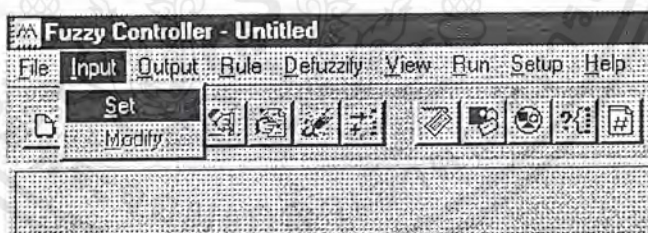


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ถ้าต้องการสร้างฟังก์ชันความเป็นสมาชิก และกฎพีซีใหม่ ให้เลือกที่เมนู File/New ดังรูป



4. เมื่อเลือกเมนู File/New แล้ว จากนั้นสร้าง อินพุตหรือเอาต์พุต ขึ้นมาก่อน ถ้าสร้างอินพุตก่อน ให้เลือกที่เมนู Input/Set ดังรูป



5. จากนั้นให้ป้อนจำนวนอินพุตตามต้องการ (ในการควบคุมความเร็วมอเตอร์นั้นใช้อินพุต 2 ตัวเท่านั้น) จากนั้นเลือก Next ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

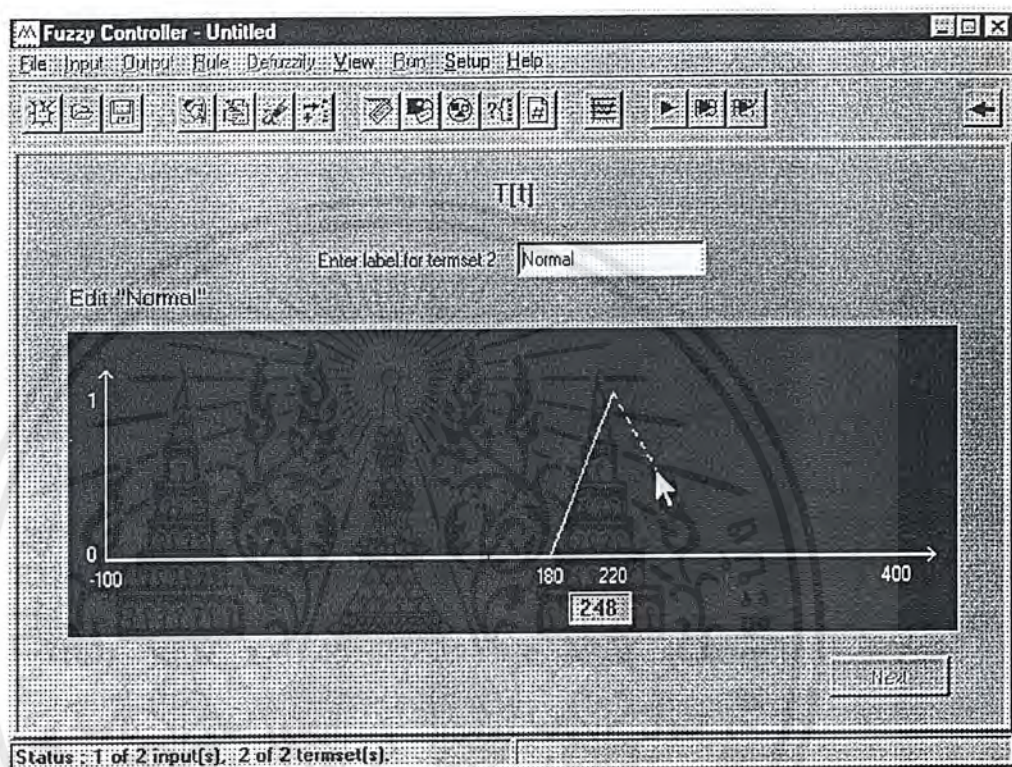
The screenshot shows the 'Fuzzy Controller - Untitled' window. The menu bar includes 'File', 'Input', 'Output', 'Rule', 'Defuzzify', 'View', 'Run', 'Setup', and 'Help'. The toolbar contains various icons for file operations and execution. The main workspace displays a dialog box with the text 'How many inputs?' and a text input field containing the number '2'. Below the input field is a 'Next' button. At the bottom of the window, the status bar reads 'Status : 2 input(s)'.

ป้อนชื่ออินพุต , จำนวนเทอมเซต และกำหนดขอบเขตของเทอมเซตของอินพุตนั้น จากนั้นเลือก Next ดังรูป

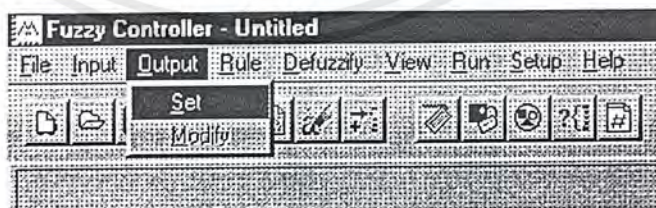
The screenshot shows the 'Fuzzy Controller - Untitled' window. The menu bar and toolbar are the same as in the previous screenshot. The main workspace displays a dialog box with the text 'Enter label for input 1' and a text input field containing 'input1'. Below this is another dialog box with the text 'How many termsets?' and a text input field containing '5'. Below that is a third dialog box with the text 'Range of termset is from' and two text input fields containing '-2500' and '2500', with the word 'to' between them. At the bottom of the dialog boxes is a 'Next' button. At the bottom of the window, the status bar reads 'Status : 1 of 2 input(s)'.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. โปรแกรมจะเข้าสู่หน้าต่าง Edit สำหรับวาดกราฟเทอมเซตซึ่งในปริภูมิพิกัดนี้จะใช้ฟังก์ชันรูปสามเหลี่ยม และสี่เหลี่ยมคางหมู ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันมากที่สุด โดยการวาดกราฟจะใช้เมาส์ในการ Drag และ Drop ภายในกรอบสี่เหลี่ยมที่กำหนดไว้ เมื่อวาดแต่ละเทอมเซตเสร็จก็ให้ป้อนชื่อของ เทอมเซตแล้วเลือก Next โปรแกรมจะให้วาด เทอมเซต ต่อไปจนครบจำนวนเทอมเซตที่ป้อนไว้ จากนั้นก็จะกลับเข้าสู่หน้าต่างหลักในข้อ 1



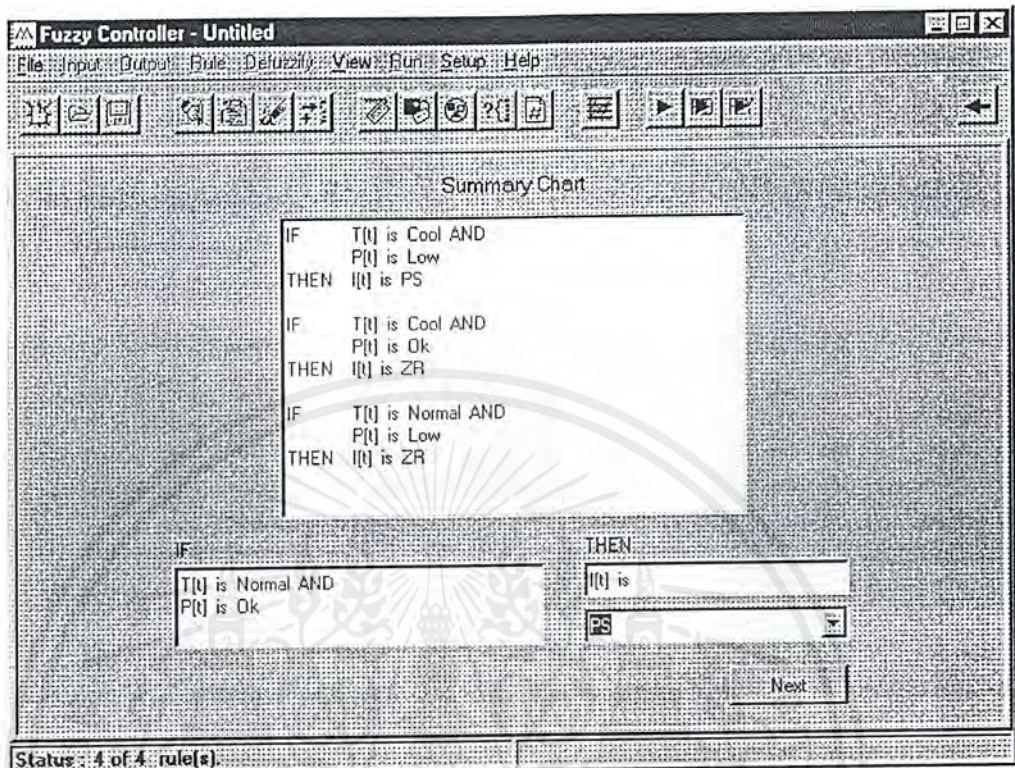
7. สร้าง เอาต์พุต ด้วยวิธีเดียวกับการสร้างอินพุต ดังที่กล่าวมาแล้วในข้อ 5-7 โดยเลือกเมนู Output/Set ดังรูป



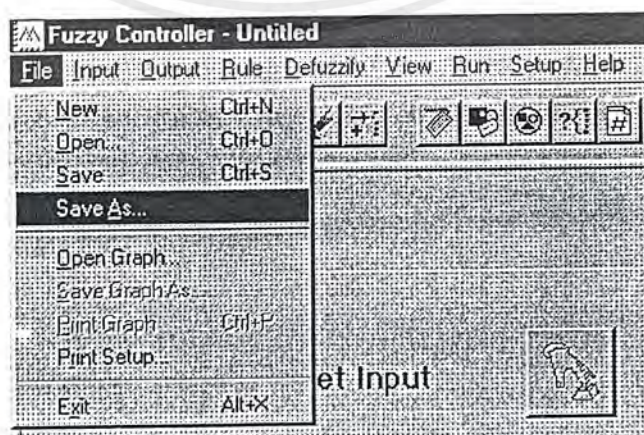
8. สร้างกฎฟัซซี่ ซึ่งจำนวนของกฎฟัซซี่นี้จะเท่ากับจำนวนของเทอมเซตทั้งหมดของอินพุต คุณก้น (จะแสดงไว้ที่ Status Bar) ที่กรอบด้านซ้ายล่างจะแสดงเงื่อนไข IF เอาไว้ ให้ป้อนเงื่อนไข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THEN ทางด้านกรอบขวาด่าง แล้วคลิก Next ซึ่งกฎที่ป้อนเข้าไปจะแสดงที่ Result Chart ด้านบน

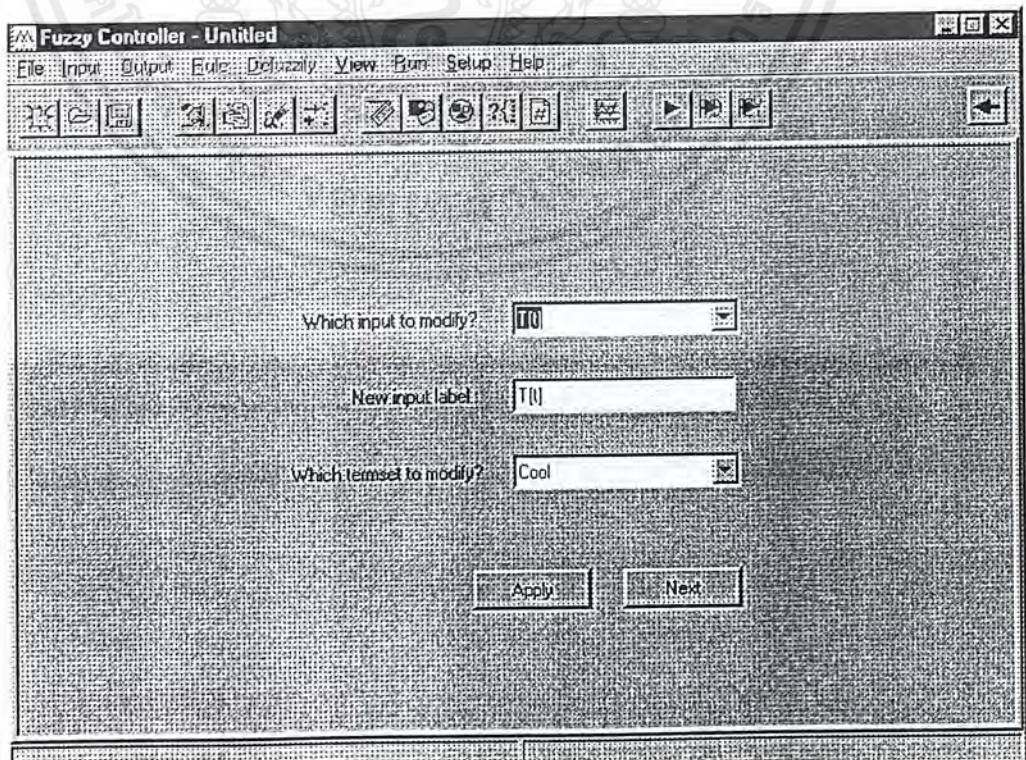
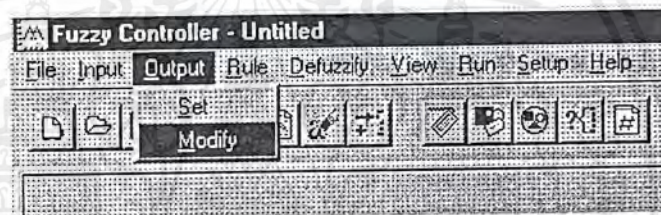
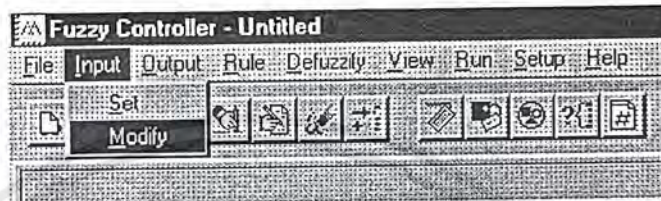


9. เมื่อสร้าง อินพุต, เอาต์พุต และกฎฟัซซี่ เสร็จแล้วจะสามารถเก็บเป็นไฟล์ฟัซซี่ (\*.fzy) ได้ โดยเลือกที่เมนู File/Save As จากนั้นป้อนชื่อไฟล์ที่ต้องการจัดเก็บแล้วเลือก OK

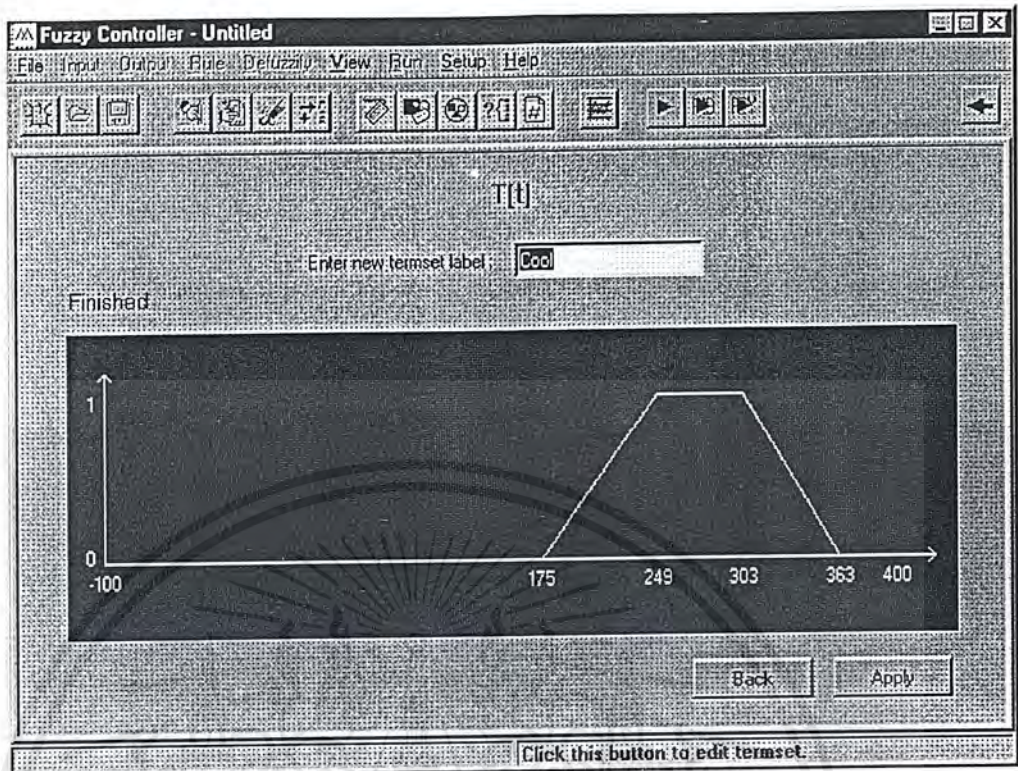


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

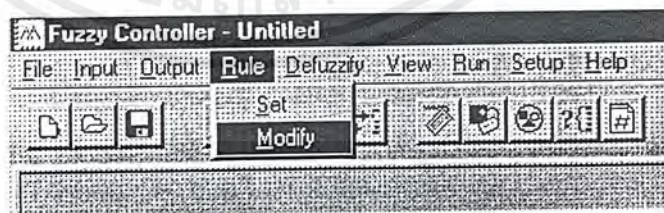
10. เมื่ออินพุตหรือเอาต์พุตถูกสร้างขึ้นแล้ว สามารถทำการแก้ไขได้โดยเลือกที่เมนู Input/Modify หรือ Output/Modify ในการแก้ไขอินพุต หรือแก้ไขเอาต์พุตนั้น สามารถที่จะเปลี่ยนชื่ออินพุต, ชื่อเอาต์พุต, ชื่อเทอมเซต และฟังก์ชันความเป็นสมาชิกได้อย่างสะดวก เมื่อมีการแก้ไขแล้วให้เลือก Apply ดังรูป



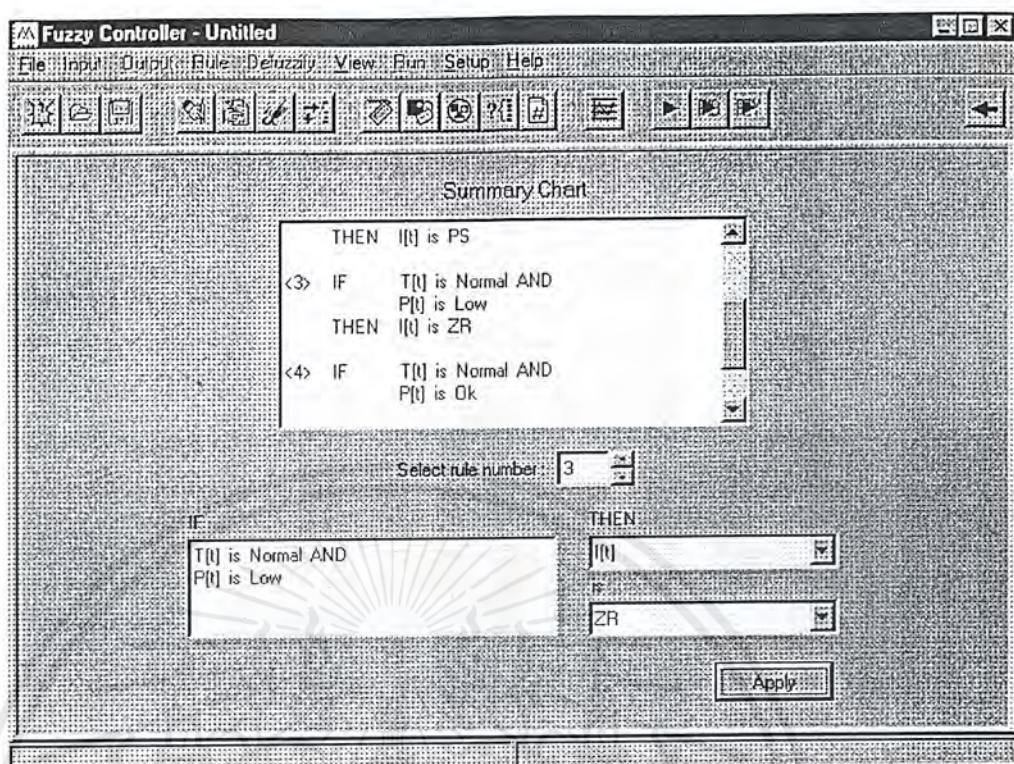
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



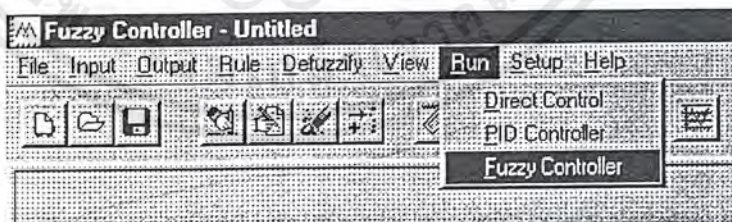
11. เมื่อกฎฟัซซี่ ถูกสร้างขึ้นแล้ว สามารถแก้ไขได้โดยเลือกที่เมนู Rule/Modify ซึ่งในการแก้ไขกฎฟัซซี่ นั้นให้ดูหมายเลขที่ปรากฏหน้ากฎที่ต้องการแก้ไขใน Result Chart แล้วเลือกหมายเลขกฎที่ต้องการแก้ไขโดยการคลิกเลื่อนขึ้น-ลง หรือป้อนเข้าไปโดยตรง จากนั้นกรอบด้านล่างซ้ายจะแสดงเงื่อนไข IF ของกฎที่เลือก จากนั้นเลือกเงื่อนไข THEN ที่กรอบด้านล่างขวา แล้วเลือก Apply กฎที่แก้ไขแล้วจะถูกแสดงใน Result Chart ทันที



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



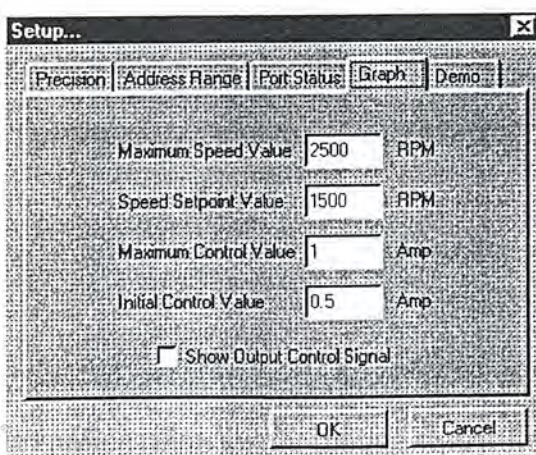
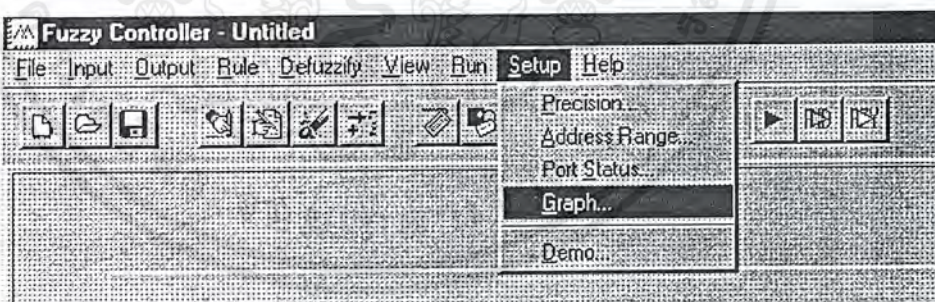
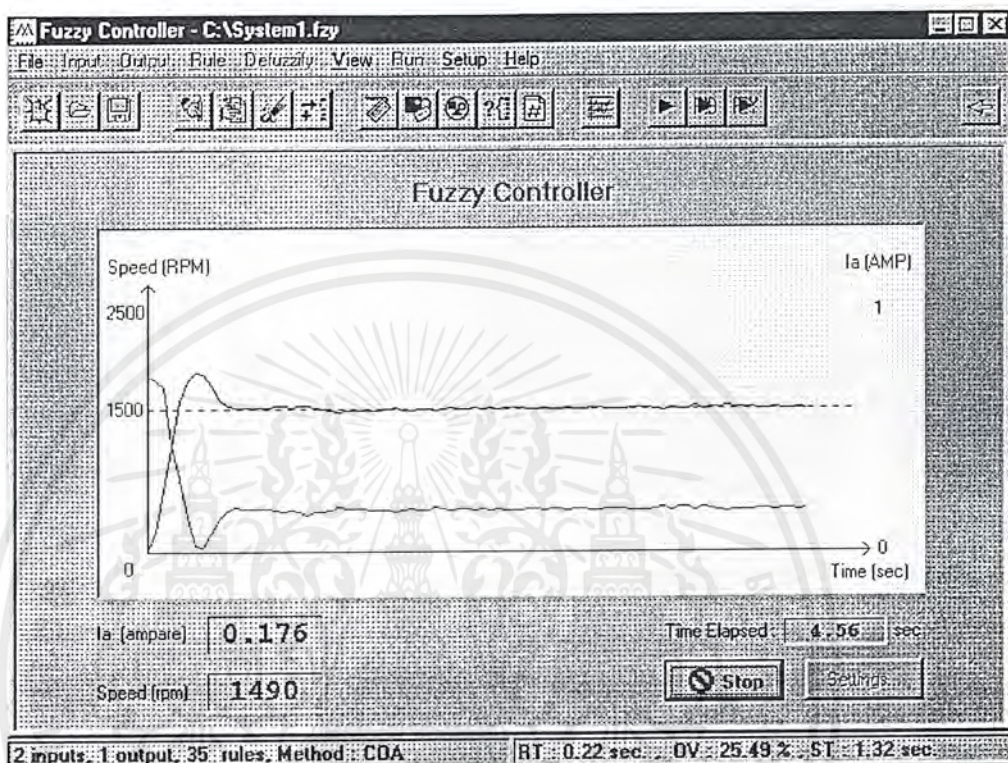
12. เมื่อสร้างอินพุต, เอาต์พุต และกฎฟัซซี่เสร็จเรียบร้อยแล้ว หรือมีไฟล์ \*.fzy สามารถทำการ Run ได้ โดยเลือกที่เมนู Run/Fuzzy Controller (ถ้าเลือก Direct Control หรือ PID Controller สามารถ Run ได้เลย) ซึ่งในการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ด้วย Fuzzy Controller นั้นจะต้องใช้ Input 2 ตัว และ Output 1 ตัว



13. หน้าต่างของการ Run Motor จะแสดงดังรูป โดยจะแสดงเป็นกราฟการตอบสนองต่อของความเร็วรอบมอเตอร์ พร้อมทั้งเส้นประแสดงความเร็วอ้างอิง(Setpoint Speed) เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบการควบคุมความเร็วรอบให้ได้ตามค่าเป้าหมายที่ตั้งไว้ค่าเป้าหมายนี้สามารถเปลี่ยนได้ โดยเลือกที่เมนู Setup/Graph เพื่อใช้ในการดูผลตอบสนองที่ค่าเป้าหมายต่างๆ กัน ในการเริ่ม

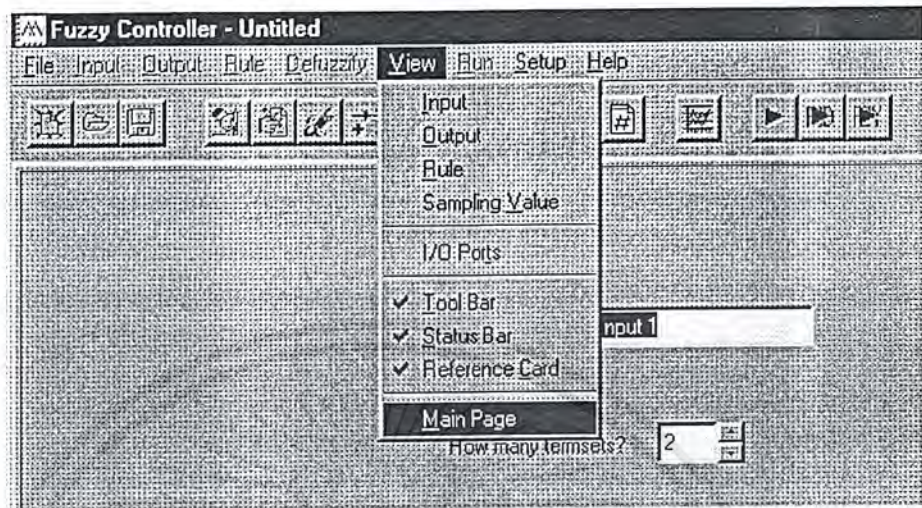
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Run Motor ให้กดปุ่ม Start จากนั้นที่ Status Bar ด้านขวาจะแสดงค่า Rise Time(Sec.), Over Shoot(% of Setpoint) และ Steady State Time(Sec.) ซึ่งเป็นรายละเอียดที่ได้จากกราฟ Response นอกจากกราฟ Response แล้วสามารถแสดงค่า Output MV ในเวลาเดียวกันได้โดยเลือกที่เมนู Setup/Graph เช่นกัน

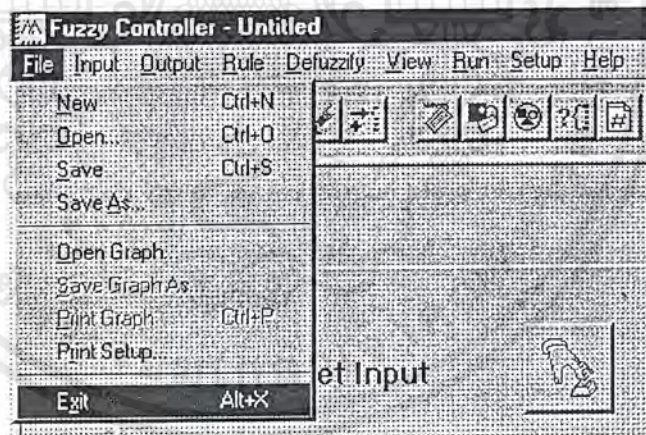


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14. การกลับสู่หน้าต่างหลักของโปรแกรม ทำได้โดยเลือกที่เมนู View/Main Page ดังรูป



15. การออกจากโปรแกรมระบบควบคุมฟัซซี่(Fuzzy Controller)ให้เลือกที่เมนู File/Exit ดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก.

## PID Controller

เครื่องควบคุมแบบ Proportional-Integral-Derivative (PID) ประกอบไปด้วยเครื่องควบคุมแบบสัดส่วน(Proportional) ซึ่งมีพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับแต่งอัตราขยาย แต่จะมีข้อเสียคือจะเกิด offset แก่ตัวแปรที่ควบคุม การจะทำให้กระบวนการเข้าสู่เป้าหมายโดยไม่เกิด offset นั้นจะต้องมีเทอมบางเทอมที่มากระทำร่วมกับการทำงานแบบสัดส่วน ซึ่งเทอมนั้นก็คือกริยาอินทิกรัล(Integral) โดยมีพารามิเตอร์คือเวลาในการอินทิเกรตและจะต้องถูกปรับแต่งให้การควบคุมนั้นเหมาะสมที่สุด ค่าเวลา  $T_i$  คือเวลาที่จะทำให้เครื่องควบคุมกระทำกริยาแบบสัดส่วนที่ซ้ำกัน ค่าเวลาที่เล็กของ  $T_i$  จะทำให้ผลตอบสนองนั้นชันมาก ซึ่งหมายความว่าผลตอบสนองนั้นเร็ว ส่วนกริยาอีกอย่างหนึ่งก็คือ เดอริเวทีฟ (Derivative) หรืออาจเรียกว่า กริยาอัตราการเปลี่ยนแปลง จุดประสงค์ก็เพื่อที่จะเป็นการคาดการณ์ล่วงหน้าเมื่อกระบวนการทำงาน โดยมองที่อัตราการเปลี่ยนแปลงต่อเวลาของความผิดพลาด ซึ่งเป็นค่าอนุพันธ์ สมการของเครื่องควบคุมแบบ PID จะได้ว่า

$$m(t) = \bar{m} + K_c \cdot e(t) + \frac{K_c}{T_i} \int e(t) dt + K_c \cdot T_d \frac{de(t)}{dt}$$

- เมื่อ
- $m(t)$  = Output ของเครื่องควบคุม
  - $e(t)$  = สัญญาณผิดพลาด เป็นความแตกต่างระหว่างค่าเป้าหมายกับค่าตัวแปรที่ควบคุม
  - $K_c$  = อัตราการขยายของเครื่องควบคุม
  - $\bar{m}$  = ค่าไบอัส เป็นค่า Output ของเครื่องควบคุมเมื่อสัญญาณผิดพลาดเป็นศูนย์ ค่านี้ปกติจะถูกตั้งอยู่ที่กึ่งกลางสเกล
  - $T_i$  = ค่าเวลาอินทิกรัล
  - $T_d$  = ค่าเวลาเดอริเวทีฟ

เครื่องควบคุมที่ใช้กริยาเดอริเวทีฟ จะถูกใช้ในกระบวนการที่มีค่าเวลาคงที่(Time Constant) ที่ยาวนาน เช่น การควบคุมอุณหภูมิและความเข้มข้น ส่วนกระบวนการที่มีค่าเวลาคงที่ที่สั้นจะเร็วและอ่อนไหวต่อสัญญาณรบกวนในกระบวนการมาก เช่น การควบคุมมอเตอร์, การควบคุมอัตราการไหล เป็นต้น

## ผลของ PID ต่อผลตอบสนองของระบบ

ในระบบควบคุมแบบป้อนกลับซึ่งใช้ระบบควบคุมที่ไอดีนั้น ถ้าลองแปรค่า  $K_p$ ,  $T_i$  และ  $T_d$  จะมีผลต่อผลตอบสนองของระบบควบคุมดังนี้

### 1. ผลของ P Action

เมื่อเพิ่มค่า  $K_p$  หรืออัตราขยายให้สูงขึ้นจะมีผลทำให้

- offset ลดลง
- period ของการแกว่งเล็กน้อย
- อัตราส่วนของช่วงกว้างของการแกว่งเพิ่มขึ้น ระบบขาดเสถียรภาพมากขึ้น

### 2. ผลของ I Action

เมื่อให้ P และ D Action คงที่ แล้วทำการลดขนาด  $T_i$  (Reset Time) จะมีผลทำให้

- offset หายไป
- ผลตอบสนองเร็วขึ้น
- อัตราส่วนช่วงกว้างของการแกว่งเพิ่มขึ้น ระบบขาดเสถียรภาพมากขึ้น

### 3. ผลของ D Action

เมื่อให้ P และ I Action คงที่แล้วทำการเพิ่มเวลา  $T_d$  (Derivative Time) จะมีผลทำให้

- อัตราส่วนช่วงกว้างของการแกว่งลดลง ระบบมีเสถียรภาพมากขึ้น
- period ของการแกว่งสั้นลง
- ผลตอบสนองต่อระบบไวเกินไป ถ้าระบบมี noise หรือ disturbance

## Ziegler-Nichols Rules สำหรับหาค่าพารามิเตอร์ปรับแต่งของตัวควบคุม PID

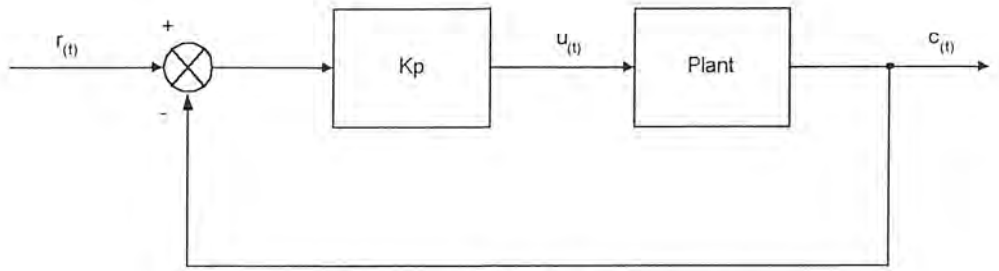
Ziegler และ Nichols ได้เสนอกฎสำหรับการหาค่า proportional gain ( $K_p$ ), integral time ( $T_i$ ) และ derivative time ( $T_d$ ) ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของผลตอบสนอง Transient ของระบบที่ต้องการหา

ในการหาค่าพารามิเตอร์นั้นจะมีวิธีการหาที่เรียกว่า Ziegler-Nichols tuning rules โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะให้เกิด Maximum Overshoot 25% ใน step response วิธีการนี้อาจเรียกว่า Ultimate sensitivity method โดยมีวิธีการหาดังต่อไปนี้

1. ให้ระบบควบคุมเป็นแบบวงรอบปิด (close loop)
2. ตั้งค่า  $T_i$  สูงสุด ( $T_i = \infty$ ) และ  $T_d$  ต่ำสุด ( $T_d = 0$ ) ใช้ P Action ในการควบคุมอย่างเดียวดัง

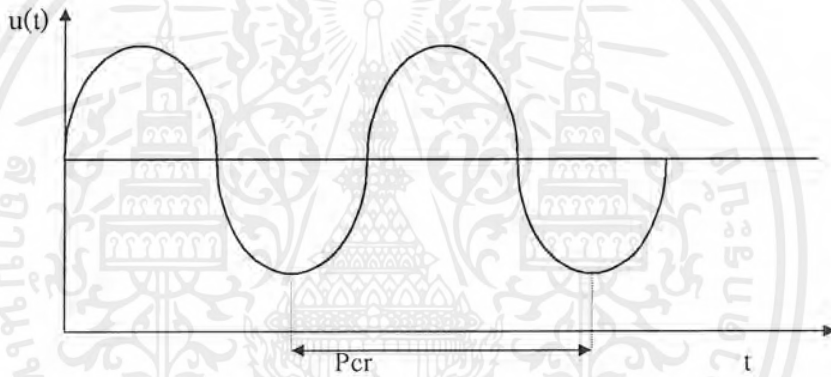
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป



รูประบบควบคุมแบบปิดโดยใช้ Proportional Controller

- ปรับค่า  $K_p$  จากศูนย์เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงค่าวิกฤต( $K_{cr}$ ) เมื่อเปลี่ยนค่าเป้าหมายไปเล็กน้อยแล้วทำให้ Output เกิดการแกว่งต่อเนื่องไปตลอด ดังรูป



รูปการแกว่งอย่างต่อเนืองที่คาบเวลา  $P_{cr}$

- หาคาบเวลาในการแกว่ง เท่ากับ  $P_{cr}$
- นำค่า  $K_{cr}$  และ  $P_{cr}$  ที่หาได้ไปใช้ในการคำนวณหาค่า  $K_p$ ,  $T_i$  และ  $T_d$  จากตาราง

Ziegler-Nichols Tuning Rules Table

ชนิดของ Controller	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$0.5 K_{cr}$	$\infty$	0
PI	$0.45 K_{cr}$	$\frac{1}{1.2} P_{cr}$	0
PID	$0.6 K_{cr}$	$0.5 P_{cr}$	$0.125 P_{cr}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ง.

## มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (D.C. Motor)

มอเตอร์ (Motor) ที่ใช้ในโรงงานนี้จะเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current Motor)

## หลักการของมอเตอร์กระแสตรง

มอเตอร์ คือ ตัวเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล เพื่อนำพลังงานกลที่ไปขับเคลื่อน สิ่งต่าง ๆ ตามที่ต้องการ อาการทางกลที่เกิดขึ้น ก็อาศัยหลักการที่ว่า เมื่อมีกระแสไหลในค้ำวนำ ซึ่งอยู่ในสนามแม่เหล็กนั้นย่อมทำให้เกิดแรงขึ้นในทิศทางที่หาได้จากกฎมือซ้ายของเฟลมมิ่งขนาดของแรงที่เกิดขึ้น หาได้จาก

$$F = Bil$$

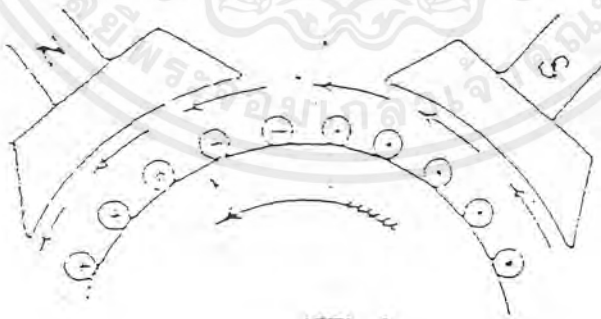
เมื่อ  $F$  = แรงที่เกิดขึ้นบนค้ำวนำหนึ่งตัว (นิวตัน)

$B$  = ความหนาแน่นของสนามไฟฟ้า (เวเบอร์)

$l$  = ความยาวของค้ำวนำ (เมตร)

แรง  $F$  เกิดขึ้นจะอยู่ในแนวที่ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กและกระแสที่ไหลผ่านในค้ำวนำนั้น ๆ เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงนี้ โดยหลักการพื้นฐาน โครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟและมอเตอร์นั้นมีความแตกต่างในโครงสร้างเดยนั้นก็คือ เครื่องกลกระแสตรงเครื่องเดียวกันนี้สามารถนำไปใช้งานสลับกันได้

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงก็คล้ายกับเครื่องกำเนิดไฟกระแสตรงนั้นก็คือ มีเครื่องแบบ Shunt - Wound หรือ Series - wound หรือ Compound - Wound เช่นกัน



รูปที่ 3.1 หลักการของมอเตอร์

จากรูปแสดงส่วนหนึ่งของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่มีหลายขั้วแม่เหล็ก เมื่อใส่เข้าไปในสนามกระสุน ย่อมทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็ก และเมื่อป้อนกระแสให้ไหลผ่านค้ำวนำที่อาร์มาเจอร์ ก็จะทำให้เกิดแรงขึ้นบนค้ำที่อยู่ในสนามแม่เหล็กนั้นคือ ทำให้อาร์มาเจอร์หมุน ในที่นี้ได้กำหนดให้กระแสที่ไหล

ในตัวนำของอาร์มาเจอร์ที่อยู่ภายใต้ขั้วเหนือ  $n$  มีทิศทางของกระแสพุ่งเข้าไปข้างในคังทางถูกศรที่เป็นกา  
กะบาท ส่วนตัวนำที่อยู่ภายใต้ขั้วใต้นั้น ให้กระแสพุ่งออกมาข้างนอกคังหัวถูกศรที่เป็นจุด เมื่อเป็นเช่นนี้จึง  
หาทิศทางของการเคลื่อนที่ของตัวนำทุก ๆ ตัวที่อยู่ภายใต้ขั้วแม่เหล็กทั้ง  $n$  และ  $s$  ได้โดยใช้กฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง  
มีง วิธีหาที่คือ กางมือซ้ายออกโดยให้นิ้วหัวแม่มือ นิ้วชี้และนิ้วกลาง ตั้งฉากซึ่งกันและกันจากนั้น ให้นิ้วชี้ ชี้  
ไปตามทิศทางของสนามแม่เหล็กคือชี้จากขั้ว  $n$  ไป  $s$  ให้นิ้วกลางชี้ไปตามทิศทางกศน ไหลทางการไหลของ  
กระแสไหล ณ ที่ตัวนำที่ต้องการหาทิศทางที่เคลื่อนที่นั้น ๆ นั่นคือ นิ้วหัวแม่มือจะชี้ทิศทางเคลื่อนที่ของ  
ตัวนำนั้น ๆ จะพบว่าแรงที่เกิดขึ้นบนตัวนำทุก ๆ ตัว ภายใต้ขั้วแม่เหล็กเดียวกัน จะมีทิศทางเดียวกัน และจะ  
อยู่ในแนวสัมผัสกับเส้นรอบวงของอาร์มาเจอร์นั้น ๆ และพบว่าแรงที่เกิดขึ้นภายใต้ขั้วแม่เหล็กทุก ๆ ขั้ว  
ที่สลับกัน ไปนั้น จะมีทิศทาง ไปในทางเดียวกันทั้งสิ้น โดยแต่ละแรง จะอยู่ในแนวสัมผัสกับเส้นรอบวงของ  
อาร์มาเจอร์นั้นคือ ภายใต้ขั้วแม่เหล็กแต่ละขั้วก็เกิดแรงลัพธ์ขึ้นแรงหนึ่ง ฉะนั้นเมื่อมีหลายขั้วก็มีหลาย  
แรง และทุก ๆ แรงต่างก็รวมกันเป็นแรงบิดขึ้นมาแรงบิดขึ้นมาแรงหนึ่ง ฉะนั้นเมื่อมีหลายขั้วก็มีหลายแรง  
และทุก ๆ แรงต่างก็รวมกันเป็นแรงหนึ่ง ดังนั้นจึงทำให้มอเตอร์หมุนไปได้จากแรงที่เกิดขึ้น

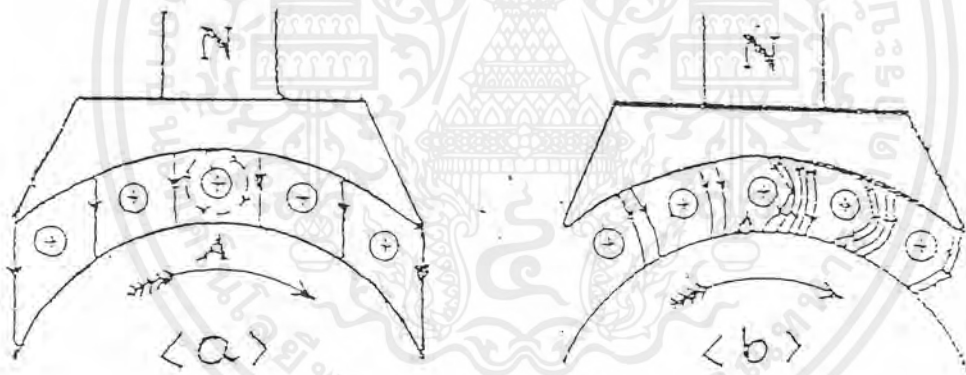
#### การเปรียบเทียบกับปฏิกิริยาของเครื่องกำเนิดและมอเตอร์ (comparision of Generator and motor action)

ดังได้กล่าวมาแล้วในตอนต้นว่า เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงกันนี้ สามารถใช้เป็นมอเตอร์ไฟฟ้า  
หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าก็ได้ นั่นคือ เมื่อทำงานเป็นมอเตอร์นั้น ก็จำเป็นต้องใส่พลังงานไฟฟ้าเข้าไปเพื่อให้  
พลังงานกลออกมาและเมื่อนำมาไขเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้านั้น ก็จำเป็นต้องใส่พลังงานกลเข้าไปขับให้ตัว  
หมุนเคลื่อนที่ เพื่อให้ได้พลังงานไฟฟ้าออกมาตามต้องการ จากที่กล่าวมาแล้วข้างบนนี้ เราลองมาทำการ  
พิจารณาการทำงานของเครื่องผลิตไฟฟ้าว่า ทำอย่างไรจึงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ ทั้งนี้เพื่อเปรียบเทียบ  
อาทิปฏิกิริยาของภายในอาร์มาเจอร์ที่เกิดขึ้น ตามรูปที่ 3.2 (a) แสดงให้เห็นเพียงส่วนหนึ่งของเครื่องกำเนิด  
ไฟฟ้าโดยการหมุนอาร์มาเจอร์ซึ่งมีตัวนำวิ่งผ่านสนามแม่เหล็กที่ขั้ว  $n$  หรือขั้ว  $s$  ก็ตามแต่ในที่นี้ได้ทำการ  
พิจารณาเฉพาะตัวนำ  $a$  ที่อยู่บนอาร์มาเจอร์วิ่งผ่านขั้ว  $n$  ในทิศทางตามเข็มนาฬิกาจากกฎมือขวาของเฟลมมิ่ง  
ก็พบว่า มีแรงเคลื่อนพุ่งเข้าไป

ดังแสดงในรูปที่ 3.2 (a) เมื่อเครื่องผลิตไฟจ่ายกระแสไฟออกไปให้กับภาระไฟฟ้า จะทำให้เกิด  
สนามแม่เหล็กขึ้นรอบ ๆ ตัวนำทุกตัว แต่ในที่นี้จะพิจารณาเฉพาะตัวนำ  $a$  เท่านั้น ฉะนั้นเมื่ออาร์มาเจอร์ซึ่งมี  
ตัววิ่งผ่านสนามแม่เหล็กหลักที่ขั้ว  $n$  หรือ  $s$  ก็ตาม แต่ในที่นี้ได้ทำการพิจารณาเฉพาะตัวนำ  $a$  ที่อยู่บนอาร์มา  
เจอร์วิ่งผ่านขั้ว  $N$  ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา จากกฎมือขวาของเฟลมมิ่ง ก็พบว่า มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าพุ่ง  
เข้าไป ฉะนั้นเมื่ออาร์มาเจอร์ยังถูกขับให้หมุนไปทางเดิม (ตามเข็มนาฬิกา) โดยพลังงานกลภายนอกอยู่ด้วย  
กันกำลังแรงเท่าเกิดอยู่ก็จะทำให้มีความรู้สึกลับคังไฟฟ้าเริ่มหมุนช้าลง ไปที่เป็นเช่นนี้เพราะมีแรงลากแม่  
เหล็กไฟฟ้า (magnetic drag) คอยต้านการเคลื่อนที่ของตัวขั้วนั่นเอง อาทิปฏิกิริยา หรือการที่เกิดขึ้นเช่นนี้  
นั้น สามารถมองให้เห็นชัดหรือเข้าใจได้ง่าย ดังรูปที่ 3.2 (b) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เส้นแรงทางค่านขวาของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวนำ  $a$  ที่อยู่ในทิศทางเคลื่อนที่ของอาร์มาเจอร์นั้น มีจำนวนแม่เหล็กมากกว่าทางด้านซ้าย ทั้งนี้เพราะเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นบนตัวนำ  $a$  ของทางขวามือ นั้น ไปอีกหรือรวมตัวกันกับเส้นแรงแม่เหล็กสำคัญ  $n$  ส่วนข้างซ้ายจะไปแยกตัวกับแม่เหล็กหลัก ฉะนั้นทางด้านซ้ายจะมีความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กน้อยกว่าการเกิดเส้นแรงแม่เหล็กบนตัวนำ  $a$  นี้ หาได้โดยใช้ cork s rule เพื่อให้ง่ายแก่การเข้าใจจึงอาจจะเปรียบเทียบได้ว่า เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในกริยาอาการต่างๆ เหล่านี้ ต่างก็เปรียบเสมือนเส้นยาง หรือหนังสติกที่ใช้ยิงนก โดยมี  $A$  ซึ่งเป็นตัวนั้นเปรียบเสมือนว่าเป็นนกหิน ฉะนั้นถ้ามีเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นทางขวาเท่าไร ก็จะทำให้เกิดแรงต้านที่อาร์มาเจอร์มากขึ้น หรืออาจพูดว่าเมื่อยิงคิงหนังสติกให้ยืดออกไปไกลเท่าไร ก็ย่อมจะมีแรงต้านในทิศทางตรงกันข้ามกับที่ยืดหนังสติกออกไปมากเท่านั้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเมื่อเครื่องผลิตกระแสออกไปมากเท่าไร ก็จะทำให้เครื่องหมุนช้าลงไปทุกที ถ้าหากว่าตัวที่หมุนอาร์มาเจอร์ยังมีแรงคูณเท่าเดิม ฉะนั้นถ้าจะให้เครื่องผลิตไฟฟ้าวิ่งด้วยความเร็วเท่าเดิมได้ จึงจำเป็นต้องเพิ่มพลังงานกลขึ้นเช่นเดียวกัน สำหรับตัวนำอื่นที่อาร์มาเจอร์ ก็จะมีอกกับกริยาเช่นเดียวกับตัวนำ  $A$  ไม่ว่าตัวนำนั้นจะอยู่ภายใต้ขั้ว  $N$  และ  $S$  นั่นคือแรงต้านจะเกิดขึ้นทุกๆ ตัวนำรวมกันตาม Vector ก็จะเป็นแรงลัพธ์แรงหนึ่งที่คอยต้านการหมุนของอาร์มาเจอร์ในทิศทางสวนเข็มนาฬิกา ตลอดเวลาที่เครื่องกำลังจ่ายโหลด

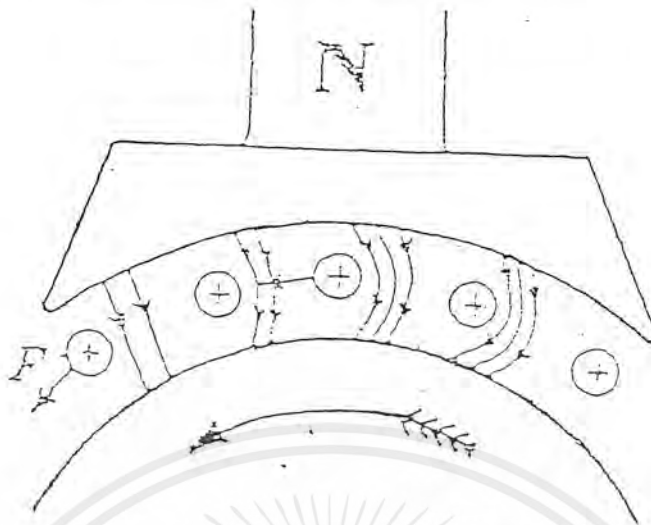


รูปที่ 3.2 อากัปกิริยาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อได้รับ Load

ตามมุคว่าเครื่องเดียวกันนี้ ถอดเอาตัวคั่นกำลัง (Primover) ที่ใช้หมุนเครื่องกำเนิดไฟออกจากนั้นก็ใส่ไฟเข้าไป โดยให้กระแสไหลผ่านเข้าไปภายใต้ขั้ว  $N$  ดังรูปที่ 3.2 เมื่อมีกระแสไหลผ่านตัวนำในอาร์มาเจอร์ ซึ่งอยู่ภายใต้สนามแม่เหล็กขั้ว  $N$  ก็ย่อมจะทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นในตัวนำต่างๆ บนอาร์มาเจอร์นั้นๆ นั่นก็คือ เกิดแรงบิด (Torque) ขึ้นบนอาร์มาเจอร์ในทิศทางเข็มนาฬิกา อากัปกิริยานี้เกิดขึ้นเช่นเดียวกับอากัปกิริยาที่เกิดขึ้นในเครื่องผลิตไฟเช่นกันแรงบิดที่เกิดขึ้นนี้หาทิศทางเคลื่อนที่ได้โดยใช้กฎมือซ้ายของเฟลมมิงนั่นคือ ขณะที่เครื่องได้ทำหน้าที่เป็นมอเตอร์ไปแล้วจะสังเกตเห็นว่า เมื่อกระแสที่ไหลในตัวนำยังอยู่ที่ทิศทางเดิม จะทำให้การเคลื่อนที่ไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาเช่นเดิม ซึ่งกันข้ามกับทิศของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คั่นกำลัง (primover) ที่ใช้ขับเคลื่อนกังนาคำเนิดไฟฟ้า เมื่อเครื่องทำหน้าที่เป็นตัวผลิตไฟ (generator)



รูปที่ 3.3 อากัปกริยาของมอเตอร์

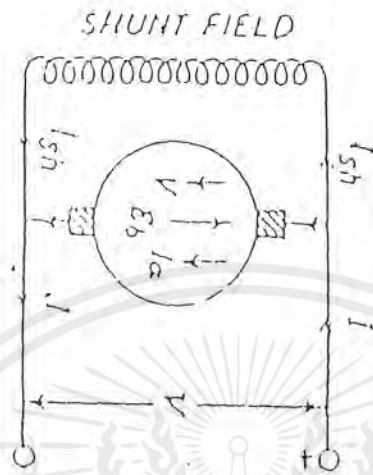
จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้นพบว่า ในการเปลี่ยนรูปพลังงานนั้น ย่อมมีแรงต้านเกิดขึ้น นั่นคือ สำหรับเครื่องผลิตไฟฟ้านั้นจะเกิดแรงต้านทางกล หรือแรงแม่เหล็กลาก (magnetic drag) ขึ้นในทิศทางตรงกันข้ามกับแรงที่ใส่เข้าไป ฉะนั้นจึงต้องใส่กำลังเข้าไปให้มากกว่าแรงลากที่เกิดขึ้นนี้ จึงจะได้กำลังไฟออกมาจ่ายให้กับภาระไฟฟ้าตามที่ต้องการ ฉะนั้นคือเครื่องผลิตไฟยังคงความเร็วที่ค่า ๆ หนึ่ง บางทีอาจจะให้หมุนที่ความเร็วเดิมหรือน้อยกว่าก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่า จะให้ voltage ที่ขั้วที่จ่ายไฟฟ้าภาระไฟฟ้า (load) นั้นมีค่าคงที่ หรือใกล้เคียงคงที่ไม่มีภาระไฟฟ้า ส่วนมอเตอร์นั้น ก็ ย่อมมีตัวต้านเกิดขึ้นเช่นกัน คือ แรงเคลื่อนไฟสวน (back e.m.f.)

ทั้งมอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ต่างก็เกิด อากัปกริยาของมอเตอร์ และการผลิตไฟที่เกิดขึ้นในเครื่องเดียวกัน นั่นคือ เมื่อเป็นมอเตอร์ก็เกิดอากัปกริยาของมอเตอร์ และการผลิตไฟที่เกิดขึ้นในเครื่องเดียวกัน นั่นคือ เมื่อเป็นมอเตอร์ก็เกิดอากัปกริยาของมอเตอร์ (motor action) ขึ้นก่อนแล้วจึงค่อยเกิดอาการของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (generator action)

จากที่กล่าวมาข้างบนนี้พบว่า เมื่อใส่กระแสเข้าไปในตัวนำ ย่อมทำให้เกิดการเคลื่อนที่นั่นคืออาร์มาเจอร์ของมอเตอร์ เมื่อใส่กระแสเข้าไปในตัวนำ ย่อมทำให้เกิดการเคลื่อนที่นั่นคืออาร์มาเจอร์ของมอเตอร์หมุน เมื่อตัวนำวิ่งตัดผ่านสนามแม่เหล็กย่อมทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นในตัวนำตามหลักการของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งหาได้โดยการใช้ มือขวาของเฟลมมิ่ง รูปที่ 3.4 ฉะนั้นจะเรียกแรงเคลื่อนที่ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนี้ว่า แรงเคลื่อนสวน = back e.m.f." แรงเคลื่อนสวน  $e_b$  นี้ขึ้นอยู่กับจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กต่อขั้ว จำนวนตัวนำทั้งหมดที่ค่อนุกรมกัน ความเร็วที่มอเตอร์หมุนไป จำนวนขั้วแม่เหล็กที่อยู่ภายในและจำนวนแฉก (Path) ที่ขนานกัน แรงเคลื่อนไฟนี้มีแรงเคลื่อนเช่นเดียวกับแรงเคลื่อนที่เกิดจากการหมุน (Motional e.m.f.)นั่นเองปกติแล้วค่าต่างๆที่ทำให้ขนาดแรงเคลื่อนเปลี่ยนไปนี้มีค่าคงที่ ยกเว้นค่าเส้นแรงเคลื่อนต่อขั้วและความเร็วที่มีค่าเปลี่ยนแปลงได้ ฉะนั้นเมื่อมีแรงเคลื่อนสวนเกิดขึ้นตามที่ได้กล่าวมาแล้ว ย่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะทำให้แรงเคลื่อนที่ไต่เข้าไปให้กับเครื่องนั้นเอาชนะแรงเคลื่อนสวนให้ได้ ทั้งเพราะต้องบังคับกระแสให้ไหลผ่านไปในทิศทางที่สวนกับแรงที่สวนกับแรงเคลื่อนไฟสวน (back e.m.f.) นั่นคือกำลังส่วนที่ไต่เข้าไปนี้สามารถเอาชนะกำลังไฟสวน ได้ฉะนั้นจึงได้กำลังทางกลออกมาจากมอเตอร์และเห็นได้ชัดเจนในว่าถ้าแรงเคลื่อนที่ไต่เข้าไปนี้ ไม่สามารถเอาชนะแรงเคลื่อนไฟสวนได้ ก็ไม่อาจที่จะมีกำลังทางกลออกมาได้

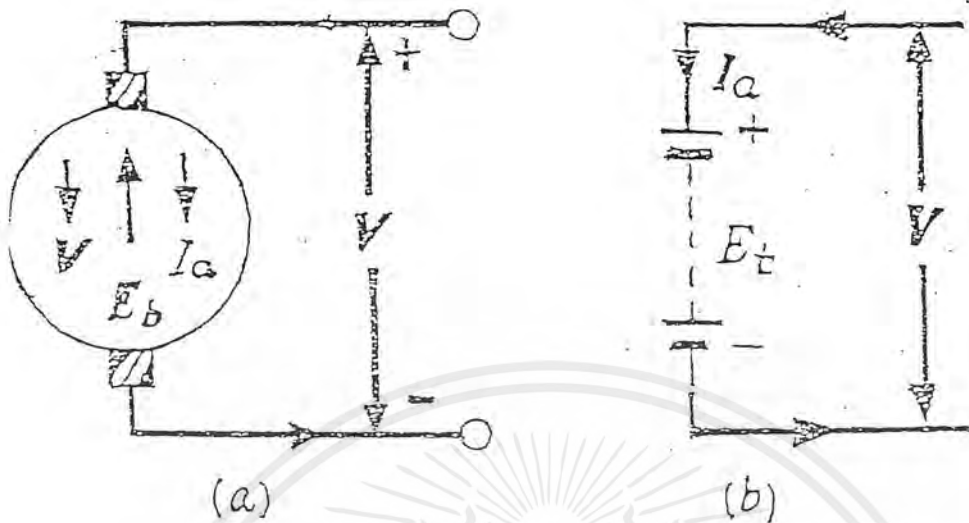


รูปที่ 3.4 แสดงทิศทางแรงเคลื่อนไฟ และกระแสที่เกิดขึ้นในมอเตอร์ซึ่งไหลไปในทางเดียวกันแต่ตรงข้ามกับแรงเคลื่อนไฟสวน

สรุป จะเห็นได้ว่าแรงต้านทานที่เกิดขึ้นนั้นๆ จะเป็นแรงชนิดเดียวกับแรงที่ไต่เข้าไป นั่นคือ ถ้าเป็นเครื่องกำเนิดก็จะเกิดแรงต้านทางกลเกิดขึ้น เพราะไต่แรงกลเข้าไป และถ้าเป็นมอเตอร์ก็จะเกิดแรงต้านทางไฟฟ้าขึ้นเพราะไต่แรงเคลื่อนเข้าไป

ความสำคัญของแรงเคลื่อนไฟสวน (Significance of the Back e.m.f.)

เมื่ออาร์มาเจอร์เริ่มหมุน จะทำให้ลวดนำที่อยู่ในค้วนำที่อยู่ในอาร์มาเจอร์ตัดเส้นแรงแม่เหล็กที่มาจากสนามแม่เหล็กหลัก หรือสนามแม่เหล็กถ่วงที่อยู่ในมอเตอร์นั้น นั่นคือ เกิดการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟบนค้วนำภายในอาร์มาเจอร์ ซึ่งขึ้นไปตามกฎการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้า แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนี้หาทิศทางของแรงเคลื่อนไฟฟ้าได้ โดยใช้กฎมือขวาของเฟลมมิ่งและพบว่าทิศทางสวนกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ไต่เข้าไปให้กับมอเตอร์ ดังนั้น จึงเรียกแรงเคลื่อนที่เกิดขึ้นนี้ว่า แรงเคลื่อนสวน (Back e.m.f. =  $E_b$ ) ดังรูปที่ 3.5 (a)



รูปที่ 3.5 (a) วงจรของมอเตอร์ไฟตรง (b) วงจรของมอเตอร์ที่เขียนแทนแรงเคลื่อนไฟสวนไว้ด้วย  
แบคเตอร์  $E_b$

จากที่เกิด  $E_b$  ขึ้นนี้จึงเขียนวงจรสมมูลย์ของมอเตอร์ได้ดังรูป 3.5 (b) ซึ่งเหมือนกับว่ามีแบคเตอร์  $E_b$  ต่อคร่อมอยู่ระหว่างแรงเคลื่อนไฟ  $V$  ที่จ่ายให้กับมอเตอร์นั้นคือในการที่จะให้ไหลได้ไหลได้ในอาร์มาเจอร์นั้นจะต้องมีกำลังไฟจำนวนหนึ่งที่เอาชนะการสวนนี้ กำลังไฟที่เอาชนะกำลังสวนนี้ได้ คือ  $E_b I_a$  ในกรณีที่เซลดหรือแบคเตอร์กำลังที่เอาชนะการสวนนี้ก็คือกำลังที่เปลี่ยนไปเป็นกำลังทางเคมีแค่ในมอเตอร์นั้นกำลังที่เอาชนะการสวนนี้ ก็คือ กำลังที่เปลี่ยนไปเป็นกำลังกลนั่นเอง

$$\begin{aligned} \text{นั่นคือ กระแส } I_a \text{ จะมีค่า} &= \text{แรงเคลื่อนไฟที่ได้ในวงจร} / \text{ค.ต.ท.ในวงจรของอาร์มาเจอร์} \\ &= \text{net voltage} / \text{armature circuit resistance} \\ &= (V - E_b) / R_a \end{aligned}$$

จากแรงเคลื่อนที่หมุนของตัวนำในสนามแม่เหล็กมีค่า  $E = \phi Z P S / 60 a$  ดังนั้นจะได้  $E_b = \phi Z P S / 60 a$  จะพบว่า  $E_b$  ขึ้นอยู่กับตัวประกอบต่าง ๆ เช่น  $\phi, Z, P$  และ  $a$  แต่เนื่องจากว่า  $Z, P/a$  เป็นค่าคงที่ในการพันอาร์มาเจอร์ของแต่ละเครื่องที่แตกต่างกันไปดังนั้นจึงได้

$$E_b = K_e \phi S$$

$$K_e = \text{ค่าคงที่ทางไฟฟ้า} = PZ / 60a$$

$$P = \text{Pole}$$

$$Z = \text{จำนวนตัวนำทั้งหมดของอาร์มาเจอร์}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- A = จำนวนแอมแปร์ที่ขานานกันในอาร์มาเจอร์
- S = จำนวนรอบค่อนาที
- $\phi$  = เส้นแรงแม่เหล็กต่อหนึ่งขั้ว (Weber)

### สมการแรงเคลื่อนไฟฟ้าของ MOTOR (Voltage Equation of Motor)

จากกฎของ Kirchoff ได้

$$V = E_b + I_a R_a = \text{Voltage Equation}$$

$E_b$  = แรงเคลื่อนไฟต้านหรือกลับหรือสวน (Back e.m.f.) โวลท์

V = แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ขั้วมอเตอร์ (Terminal Voltage) โวลท์

จากสมการข้างบนจะได้

$V I_a$  = ไฟที่จ่ายให้กับมอเตอร์ (Watt)

$E_b I_a$  = กำลังที่เกิดขึ้นในอาร์มาเจอร์ซึ่งสมมูลกับกำลังที่เกิดขึ้น  $P_m$  ในอาร์มาเจอร์ (Watt)

$I_a R_a$  = การสูญเสียกำลังอันเนื่องมาจากค่าความต้านทานในอาร์มาเจอร์ (Watt)



รูปที่ 3.6 แสดงวงจรของ Shunt motor

### ภาวะที่มีกำลังสูงสุด (Condition for Maximum Power= $P_{max}$ )

กำลังทางกลที่เกิดขึ้นในอาร์มาเจอร์

$$P_m = V I_a - I_a^2 R_a$$

$P_{max}$  จะเกิดขึ้นได้เมื่อ  $dP_m/dI_a = 0$

$$dP_m/dI_a = V - 2 I_a R_a = 0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_a R_a = V/2$$

ขณะที่  $V = E_b + I_a R_a$  และ  $I_a R_a = V/2$

$$V = E_b + V/2 \quad \text{นั่นคือ } E_b = V/2$$

ดังนั้น  $P_{max}$  เมื่อ  $E_b = V/2$  ในสภาวะเช่นนี้ไม่มีจริงในทางปฏิบัติ เพราะจะทำให้กระแสมีค่ามากเกินไปกว่ากระแสค่าปกติในมอเตอร์ ยิ่งกว่านั้นครึ่งหนึ่งของอินพุตที่ได้เข้าไป ก็จะทำให้เกิดการสูญเสียไปในรูปของความร้อนและยังรวมถึงการสูญเสียอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นด้วยซึ่งจะต้องนำมาพิจารณาด้วย ฉะนั้นประสิทธิภาพจะมีค่าน้อยกว่า 50%

## TORQUE (แรงบิด)

แรงบิดก็คือ การหมุนหรือเกิดการบิดของโมเมนต์ของแรง ๆ หนึ่งที่ทำรอบแกนอันหนึ่งวัดได้จากผลคูณของแรงกับรัศมี ณ ที่แรงไปกระทำ

พิจารณาที่รัศมี  $r$  มีแรง  $F$  นิวตันมากระทำบนวงล้อนี้ จึงทำให้เกิดการหมุนด้วยความเร็ว  $S$  รอบ/วินาที

แรงบิด  $= F * r$  นิวตัน - เมตร

งานที่ได้ใน 1 รอบจากแรงนี้  $= \text{แรง} * \text{ระยะทาง}$

$$= F * 2 * r \text{ จูลส์}$$

งานที่ทำต่อวินาที  $W = F * r * 2 * S$

แต่  $2 * S = \text{มุมเป็นเรเดียนต่อวินาที}$

$$F * r = \text{แรงบิด } T$$

งานที่ทำต่อวินาที  $= T * \theta \text{ จูลส์}$

กำลังที่เกิดขึ้น  $= T * \theta \text{ จูลส์}$

## แรงบิดที่เกิดขึ้นในอาร์มาเจอร์ (Armature Torque of a Motor)

ให้  $T_m$  เป็นแรงบิดที่เกิดขึ้นจากอาร์มาเจอร์ เมื่อมอเตอร์วิ่งด้วยความเร็ว  $S$  รอบ/วินาที

งานที่ทำต่อวินาที  $= T_m * 2 * S \text{ วัตต์}$

หรือกำลังที่เกิดขึ้น  $P_m = T_m * 2 * S \text{ วัตต์}$

เรารู้ว่ากำลังไฟฟ้าได้เปลี่ยนไปเป็นกำลังกลในอาร์มาเจอร์ คือ  $E_a I_a \text{ วัตต์}$

$$T_m * 2 * S = E_a I_a$$

$$T_m = 0.159 E_b I_a / S \text{ N-m}$$

$$= 0.162 E_b I_a / S \text{ Kg-m}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ S เป็นความเร็ว (r.p.s.)

แรงบิดที่แกน (Shaft Torque = Tsh)

แรงบิดที่เกิดขึ้นในอาร์มาเจอร์นั้น ไม่ได้นำไปใช้งานทีเดียว ทั้งนี้ต้องจ่ายให้กับการสูญเสียอันเนื่องมาจาก Iron และ Friction ใน Motor แรงบิดที่เอาไปใช้งานก็คือแรงบิดที่แกน (Tsh) กำลังม้าที่ได้จากการหมุนมอเตอร์ก็คือ B.H.P. นั่นเองซึ่งเป็นกำลังม้าที่ได้จากการ Brake motor

$$\text{B.H.P. (metric)} = \text{Tsh} * 2 \text{ S} / 735.5$$

$$\text{Tsh} = 735.5 * \text{B.H.P.} / 2 \text{ S metric}$$

## SPEED REGULATION

Speed Regulation เป็นค่าผลต่างของความเร็วระหว่างไม่มีโหลด (Load) กับเมื่อได้รับโหลด (Load) เต็มที่

$$\% \text{ Speed reg} = (\text{N.L Speed} - \text{F.L. Speed}) / \text{F.L. Speed} * 100$$

คุณลักษณะประจำของมอเตอร์

คุณลักษณะประจำของมอเตอร์แบบขนาน (Characteristics of Shunt Motor)

1. การ Start ของ Shunt Motor ไม่สามารถ Start ตอนมีโหลด (Load) ที่หนักได้ เพราะการกระทำเช่นนี้ย่อมทำให้มอเตอร์ต้องดึงกระแสจำนวนมากไปใช้ด้วย
2. เนื่องจากมอเตอร์แบบขนาน (Shunt Motor) นี้ไม่มีการเปลี่ยนหรือลดความเร็วไปมากนัก จากตอนมีภาระถึงตอนที่มีการเติมที่ ดังนั้นจึงต่อเข้าหรือตัดออก

นอกจากการระโดยทันทีทันใดได้ โดยไม่ต้องเกรงว่าจะมีความเร็วสูงมากเกินไปจนเป็นอันตรายอย่างไรก็ดี มอเตอร์แบบนี้ให้แรงบิดตอนเริ่มแรกต่ำ (Low Starting Torque) ฉะนั้นจึงไม่นิยมใช้กับโหลด (Load) ที่ต้องการแรงบิดเริ่มแรกสูง แต่เนื่องจากว่าเป็นมอเตอร์ที่มีความเร็วค่อนข้างคงที่ ดังนั้นจึงเหมาะที่จะนำไปใช้ขับเคลื่อนของเครื่องกลึงและเครื่องจักรชนิดต่าง ๆ ที่ต้องการความเร็วคงที่โดยประมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### คุณลักษณะประจำของมอเตอร์ชนิดอนุกรม (Characteristics of Series Motor)

1. มอเตอร์แบบอนุกรมนี้เหมาะสมสำหรับที่จะโหลด (Load) หนัก ๆ ได้ ดังนั้นจึงจะเหมาะสมกับโหลด (Load) หนักขณะเริ่มแรก เช่น ปั่นจั่น (Hoist) รถไฟฟ้า (Electric Trains) และอื่น ๆ
2. เมื่อโหลดมาก ๆ จะทำให้มอเตอร์ต้องใช้กระแส  $I_a$  มาก ๆ ด้วย ดังนั้นความเร็วของมอเตอร์จะลดลงอย่างรวดเร็ว แต่ถ้าหากว่ามอเตอร์มีโหลด (Load) น้อย ๆ จะทำให้ความเร็วมีค่าสูงขึ้นจะเป็นอันตรายต่อมอเตอร์ได้ นั่นคือ มอเตอร์อนุกรมต้องไม่ Start หรือให้เริ่มหมุนในขณะที่ไม่มีโหลด (Load) มิฉะนั้นจะทำให้มีความเร็วสูงมากเกินไปจนเป็นอันตรายกับมอเตอร์ได้ อันเนื่องมาจากแรงหนีศูนย์กลางที่เกิดขึ้น ในที่นี้ควรสังเกตว่า มอเตอร์แบบนี้เป็นมอเตอร์ที่มีความเร็วเปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของ load ที่มอเตอร์รับได้

### คุณลักษณะประจำตัวของมอเตอร์แบบผสม (Characteristics of Compound Motor)

ลักษณะประจำตัวของมอเตอร์ชนิดนี้ก็คือ การนำเอาคุณลักษณะของมอเตอร์ทั้ง 2 แบบมารวมกัน ทั้งนี้เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน มอเตอร์ผสมสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ โดยแบ่งตามลักษณะการต่อ Series field เพิ่มเข้าไปให้กับ Shunt Motor ดังนี้

1. มอเตอร์แบบผสมชนิดสะสมหรือเสริมสนามแม่เหล็กให้มากขึ้น (Cumulative of Compound Motor) มอเตอร์แบบนี้จะเกิดแรงบิดที่อาร์มาเจอร์สูงในขณะที่ได้รับโหลดทันทีทันใดและยังมีความเร็วที่ค่า ๆ หนึ่ง ในขณะที่มีภาระหรือโหลดนั้นก็คือ แม้ว่าจะไม่มีภาระ ก็ไม่ทำให้มอเตอร์มีความเร็วสูงเกินไปจนเกิดอันตรายได้ ในการนำมอเตอร์นี้ไปใช้งานกับการขับโหลดที่หนัก ๆ เช่น เครื่องโม่หิน เครื่องตัดเหล็ก หรือเครื่องอัดฆ่า ลิฟท์ เป็นต้น

มอเตอร์แบบนี้สามารถปรับความเร็วของมันเองให้ลดลงอัตโนมัติ ในขณะที่ได้รับโหลดทันทีทันใด ในการเพิ่มพลังงานกลสะสมของเครื่องแบบนี้ ทำได้โดยการต่อ pulley เข้าไป ซึ่งจะช่วยให้มีเสถียรภาพในการใช้งานดีขึ้น

2. มอเตอร์แบบชนิดที่มีสนามแตกต่าง (Differential- Compound) เมื่อมอเตอร์ได้รับโหลดมากขึ้น แทนที่จะมีความเร็วลดลงไปก็กลับกลายเป็นว่ามีความเร็วเพิ่มขึ้นมาเท่าเดิมตามที่โหลดเพิ่มขณะที่โหลดเพิ่มมากขึ้น แต่มอเตอร์ชนิดนี้มีข้อเสียตรงที่ว่า เมื่อได้รับโหลดมากเกินไป ย่อมทำให้สนามแม่เหล็กอ่อนลงไปมาก นั่นคือความเร็วของมอเตอร์ ก็จะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ๆ อย่างไม่เสถียรภาพ (Instability) และทำให้มอเตอร์วิ่งเกินเลยไป ซึ่งทำความเสียหายให้กับมอเตอร์ได้

## ประสิทธิภาพและการสูญเสียต่าง ๆ (Losses and efficiency)

การสูญเสียย่อมเกิดขึ้นกับเครื่องจักรทุกชนิด ในกรณีที่เป็นมอเตอร์นี้ก็มี การสูญเสียที่เกิดขึ้น เหมือน ๆ กันที่เกิดขึ้นกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ก. การสูญเสียกำลังไปในกับลวดทองแดง (Copper losses)

ข. การสูญเสียกำลังไปในทางแม่เหล็ก (Magnetic losses)

ค. การสูญเสียกำลังไปในทางกล (Mechanical losses)

สำหรับกรณีที่เกิดภาวะของกำลังสูงสุดขึ้นในมอเตอร์นั้น หาได้โดยหลักการที่กล่าวมาแล้วข้างต้น นั่นคือ

$$I_a R_a = V/2 = E_b$$

สำหรับการเกิดประสิทธิภาพสูงสุด (Maximum efficiency) นี้ เกิดขึ้นเมื่อการสูญเสียกำลังในขดลวดทองแดงที่อาร์เมเจอร์ (Armature copper losses) มีค่าเท่ากับการสูญเสียคงที่ (Constant losses)

## ภาคผนวก จ.

## การเชื่อมต่ออุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ต่างๆ (Hardware Interfaces)

## สัญญาณต่างๆบนสล็อตของคอมพิวเตอร์

การนำข้อมูลภายนอกจากตัวตรวจจับต่าง ๆ เข้า (Input) และออก (Output) จากคอมพิวเตอร์จะกระทำผ่านสล็อต (Slot) ของคอมพิวเตอร์ ในโครงการนี้เลือกใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ Pentium ทำงานที่สัญญาณนาฬิกา 133 เมกะเฮิร์ตซ์ สล็อตของเมนบอร์ด เบอร์นี้มีสัญญาณที่ต้องทราบ คือ หน้าทีของสัญญาณต่าง ๆ ในสล็อต 8 บิตของเครื่องไอบีเอ็ม และคอมแพคทิเบิลแสดงดังตารางที่ 5.1 ซึ่งมีสัญญาณที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์และน่าสนใจเป็นพิเศษ ดังนี้

OSC (ขา B30) เป็นสัญญาณนาฬิกาของบัสอินพุต เอาต์พุตซึ่งมีมาตรฐานที่ 4.77 เมกะเฮิร์ตซ์ ในรุ่น XT และ 14.138 เมกะเฮิร์ตซ์ ในรุ่น AT

CLK (ขา B20) เป็นสัญญาณนาฬิกาของระบบ ตามมาตรฐานของเครื่องไอบีเอ็มพีซี จะมีความถี่เท่ากับ 1/3 ของความถี่ออสซิลเลเตอร์เช่น 1.59 เมกะเฮิร์ตซ์ (เมื่อใช้ความถี่ออสซิลเลเตอร์ 4.77 เมกะเฮิร์ตซ์) แต่ในปัจจุบันเครื่องพีซีได้ถูกพัฒนาให้มีความเร็วในการทำงานสูงขึ้นมาก ดังนั้นมาตรฐานของความถี่ทั้ง OSC และ CLK จึงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

RESET (ขา B02) ใช้เมื่อต้องการเริ่มต้นการทำงานของระบบใหม่ เมื่อเปิดสวิตช์เครื่องหรือหลังจากเกิดการหยุดชะงัก หรือรีเซ็ตการทำงานของฮาร์ดแวร์

$\overline{\text{IOWR}}$  (ขา B13) เป็นสัญญาณจากบัสคอนโทรลเลอร์เช่นกัน ใช้เมื่อต้องการเขียนหรือส่งข้อมูลอินพุตและเอาต์พุต

$\overline{\text{IORD}}$  (ขา B14) เป็นสัญญาณจากบัสคอนโทรลเลอร์เช่นกัน ใช้เมื่อต้องการเขียนหรือส่งข้อมูลอินพุต, เอาต์พุต

$\overline{\text{MEMRD}}$  (ขา B12) เป็นสัญญาณแสดงการทำงานขณะที่โปรเซสเซอร์หรือ DMA คอนโทรลเลอร์กำลังอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำ

$\overline{\text{MEMWR}}$  (ขา B11) เป็นสัญญาณควบคุมการอ่านเขียนข้อมูลลงหน่วยความจำ ซึ่งกำหนดแอดเดรสด้วยสายสัญญาณ A0 ถึง A19

สิ่งแรกที่เราควรจะทำในการออกแบบวงจรที่จะสร้างบนบอร์ดทดลอง คือ วงจรถอดรหัสตำแหน่งแอดเดรส โดยเราสามารถเลือกใช้ในช่วงที่กำหนดไว้เท่านั้น การถอดรหัสอาจใช้ชิพลอจิกอย่างง่ายในการถอดรหัสเข้ากับ ไอซี 8255 ซึ่งแสดงวงจรไว้ดังรูปที่ 5.1

ค่าแอดเดรสกำหนดได้โดยการปรับตั้ง Jump Leads ให้ตรงกับแอดเดรสที่ต้องการ ดังตารางที่

5.2 เอาดี้ฟุตที่ได้คือสัญญาณ SELECT ซึ่งจะนำไปต่อเข้าขาซีพซีเลขที่ของไอซี 8255 เมื่อแอดเดรสจากเครื่องพีซีตรงกับแอดเดรสที่ตั้งไว้ในวงจรถอดรหัสสัญญาณ SELECT จะทำงาน และให้ข้อมูลเอาดีฟุต การทำงานในส่วนนี้ยังต้องนำสัญญาณ AEN, IOWR และ IORD มาควบคุมการทำงานของวงจรถอดรหัสอีกทีหนึ่ง เพราะสัญญาณเหล่านี้มีการทำงานที่มีความสัมพันธ์กัน และเป็นตัวบ่งชี้การทำงานของเครื่องพีซี เมื่อต้องการติดต่อกับอุปกรณ์อินพุต, เอาดีฟุต การถอดรหัสแอดเดรสของเครื่อง PC จะต้องไม่เกิดการทับซ้อนของแอดเดรสเพราะจะทำให้เครื่องพีซีเสียหายได้การจัดแอดเดรสของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่เป็นมาตรฐานแสดงดังตารางที่ 5.3

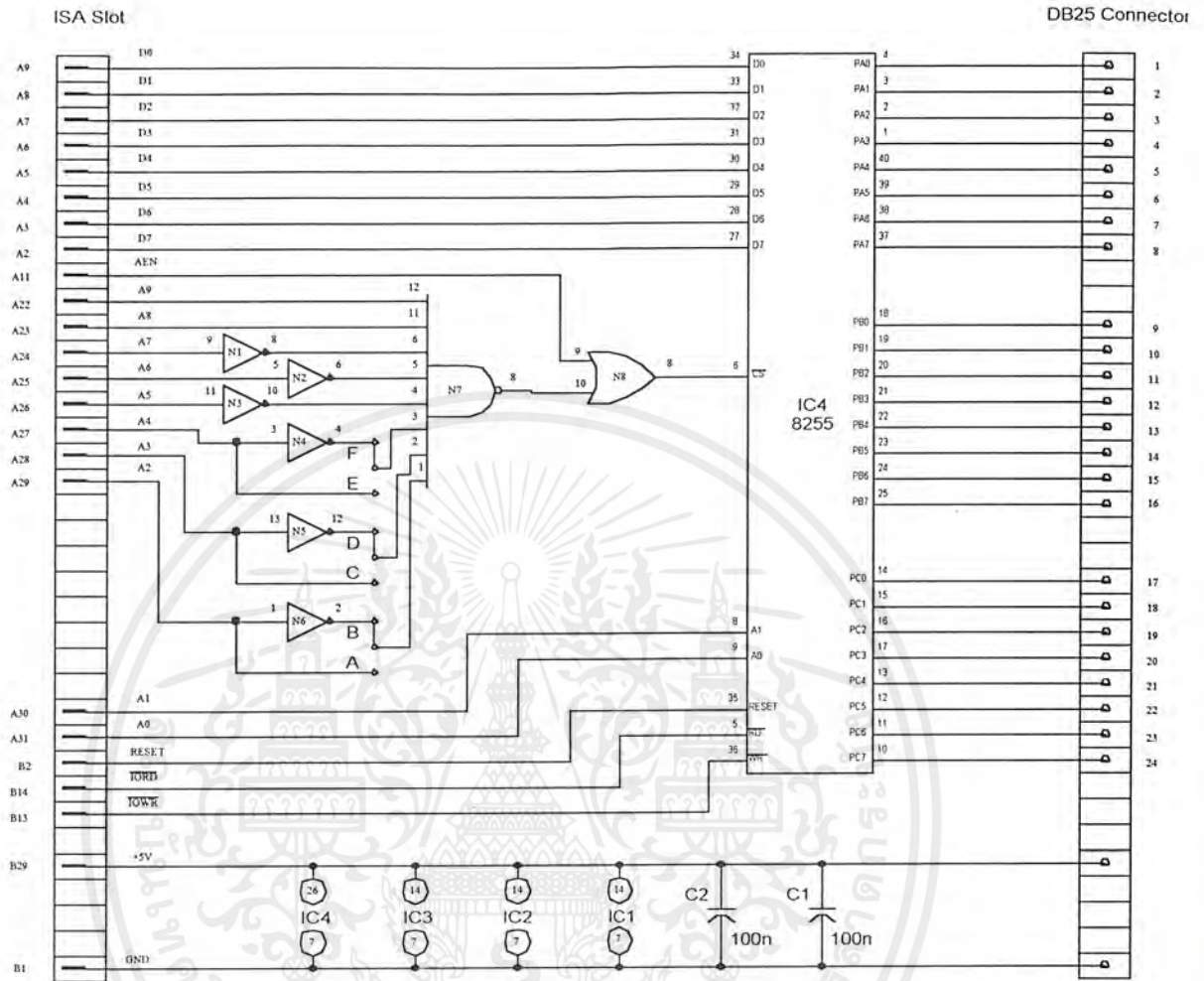
### การกำหนดพอร์ตใช้งานของไอซี 8255

ชิพ 8255 เป็นไอซีซึ่งประกอบด้วย พอร์ตใช้งาน 3 พอร์ตและอีก 1 พอร์ตทำหน้าที่เป็นพอร์ตควบคุม การใช้งานชิพ 8255 จะต้องทำการส่งข้อมูลไปยังพอร์ตควบคุมก่อนว่าจะให้พอร์ตทั้ง 3 พอร์ตของ 8255 ที่เหลือทำหน้าที่อะไร เป็นอินพุตหรือเอาดีฟุต ซึ่งเราจะต้องเป็นผู้กำหนดคำสั่งควบคุมเอง ข้อมูล Control Code ที่ส่งไปยังพอร์ตควบคุมแสดงไว้ดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 1 แสดงสัญญาณต่างๆ บนสล็อตของคอมพิวเตอร์

ชื่อสัญญาณ	ตำแหน่งขาบนสล็อต		ชื่อสัญญาณ
	ด้าน SLOT อุปกรณ์	ด้านติดตั้ง	
GND	B01	A01	I/O CHCK
RESET	B02	A02	D7
+5V	B03	A03	D6
IRQ 9	B04	A04	D5
-5V	B05	A05	D4
DREQ2	B06	A06	D3
-12V	B07	A07	D2
dws	B08	A08	D1
+12V	B09	A09	D0
GND	B10	A10	I/O CHRDY
MEMW	B11	A11	AEN
MEMR	B12	A12	A19
IOW	B13	A13	A18
IOR	B14	A14	A17
DACK3	B15	A15	A16
DREQ3	B16	A16	A15
DACK1	B17	A17	A14
DREQ1	B18	A18	A13
DACK0	B19	A19	A12
CLK	B20	A20	A11
IRQ7	B21	A21	A10
IRQ6	B22	A22	A9
IRQ5	B23	A23	A8
IRQ4	B24	A24	A7
IRQ3	B25	A25	A6
DACK2	B26	A26	A5
T/C	B27	A27	A4
BALE	B28	A28	A3
+5V	B29	A29	A2
OSC	B30	A30	A1
GND	B31	A31	A0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



N1-N6 = IC1 = 74HCT04, N7 = IC2 = 74HCT30, N8 = IC3 = 74HCT32

รูป 1 วงจร 8255 I/O Interface Card

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 การติดตั้ง Jump Leads เพื่อเลือกย่าน Address

Address Range (HEX)	Jump Leads
300-303	B,D,F
304-307	A,D,F
308-30B	B,C,F
30C-30F	A,C,F
310-313	B,D,E
314-317	A,D,E
318-31B	B,C,E
31C-31F	A,C,E



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 แสดงแอดเดรสและหน้าที่การทำงานของสล็อตพีซี

อินพุต เอาต์พุต แอดเดรส	หน้าที่การทำงาน
000H-00FH	ส่วนควบคุม DMA
020H-021H	ส่วนควบคุมการอินเตอร์รัพท์
040H-043H	ไทมเมอร์ / เคาน์เตอร์
060H-063H	รีจิสเตอร์ระบบ
080H-083H	รีจิสเตอร์ของ DMA
0A0H-0BFH	NMI รีจิสเตอร์อินเตอร์รัพท์
0C0H-0FFH	สงวนไว้
100H-1FFH	ส่วนควบคุมฟรอนต์พANEL
200H-20FH	สำหรับเกมคอมพิวเตอร์
210H-217H	ส่วนขยายเพิ่มเติม
220H-29FH	สงวนไว้
278H-27FH	เครื่องพิมพ์ที่ 2
2F8H-2FFH	ซีเรียลอินเตอร์เฟซที่ 2
300H-31FH	สำหรับพอร์ตทดลองเพิ่มเติม
320H-32FH	ส่วนควบคุมฮาร์ดดิสก์
378H-37FH	พริ้นเตอร์อินเตอร์เฟซ
380H-38FH	SDLC อินเตอร์เฟซ
3A0H-3AFH	สงวนไว้
3B0H-3BFH	สำหรับโมโนโครมอะแดปเตอร์
3C0H-3CFH	สงวนไว้
3D0H-3DFH	สำหรับการ์ดาคัดเลอ์กราฟฟิก
3E0H-3E7H	สงวนไว้
3F0H-3F7H	ส่วนควบคุมฟลอปปี้ดิสก์
3F8H-3FFH	ซีเรียลอินเตอร์เฟซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 Control Code ในการเลือก I/O Port ของ IC 8255

Port A	Port B	Port C0-C3	Port C4-C7	Control Code
Output	Output	Output	Output	80
Output	Output	Output	Input	88
Output	Output	Input	Output	81
Output	Output	Input	Input	89
Output	Input	Output	Output	82
Output	Input	Output	Input	8A
Output	Input	Input	Output	83
Output	Input	Input	Input	8B
Input	Output	Output	Output	90
Input	Output	Output	Input	98
Input	Output	Input	Output	91
Input	Output	Input	Input	99
Input	Input	Output	Output	92
Input	Input	Output	Input	9A
Input	Input	Input	Output	93
Input	Input	Input	Input	9B

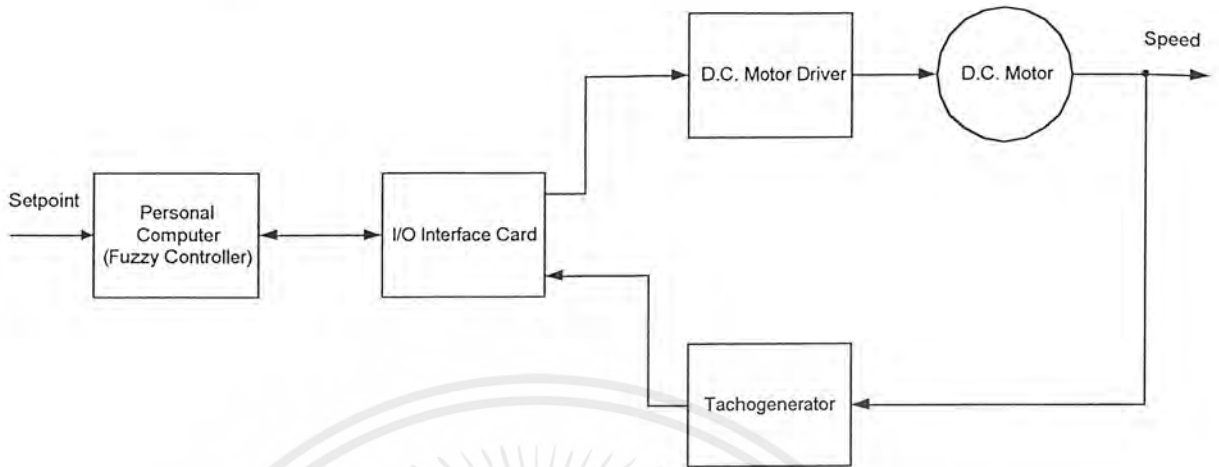
#### วงจรเชื่อมต่อกับสัญญาณอินพุต-เอาต์พุตภายนอก

วงจรที่ใช้เชื่อมต่อกับสัญญาณในโครงงานนี้จะมีอยู่ด้วยกันดังนี้คือ

1. วงจรที่ใช้เชื่อมต่อกับสัญญาณระหว่างคอมพิวเตอร์กับสัญญาณข้อมูลภายนอก ในการควบคุมมอเตอร์ ซึ่งจัดทำเป็นการมาตรฐานสล็อตแบบ ISA ซึ่งมีไอซี 8225 ตัวทำหน้าที่เป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุตติดต่อกับอุปกรณ์เชื่อมต่อภายนอก ซึ่งแสดงวงจรไว้แล้วในรูปที่ 5.1

2. วงจรที่ใช้ในการขับมอเตอร์กระแสตรง ซึ่งได้รวมวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อกไว้ในตัว ซึ่งมีชิพ MC 1408 ทำหน้าที่รับสัญญาณดิจิทัลจากคอมพิวเตอร์แล้วแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อกเพื่อใช้ในการขับมอเตอร์กระแสตรง แสดงไว้ดังรูปที่ 5.3

การเชื่อมต่ออุปกรณ์ทั้งหมดแสดงไว้เป็น Block Diagram ดังรูปที่ 2



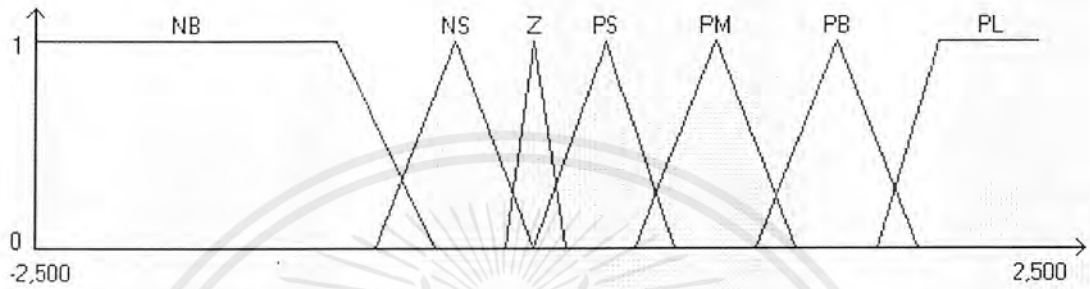
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ฉ.

## รายละเอียดของไฟล์ที่ใช้ในการทดลอง

-System2.fzy

1. อินพุตที่ 1 (Error) ของระบบฟัซซี่ ประกอบด้วยเทอมเซตทั้งหมด 7 เทอมเซตดังนี้



เมื่อ NB : -2500, -1000, -500

NS : -800, -400, 0

Z : -150, 0, 150

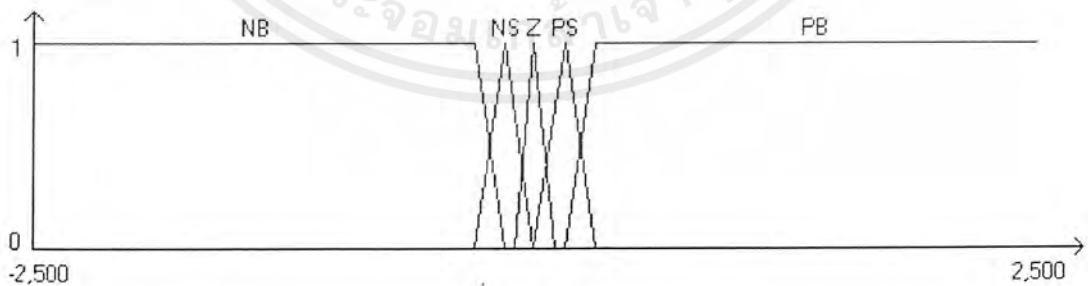
PS : 0, 350, 700

PM : 500, 900, 1300

PB : 1100, 1500, 1900

PL : 1700, 2000, 2500

1. อินพุตที่ 2 (DeltaError) ของระบบฟัซซี่ ประกอบด้วยเทอมเซตทั้งหมด 5 เทอมเซตดังนี้



เมื่อ NB : -2500, -300, -150

NS : -300, -150, 0

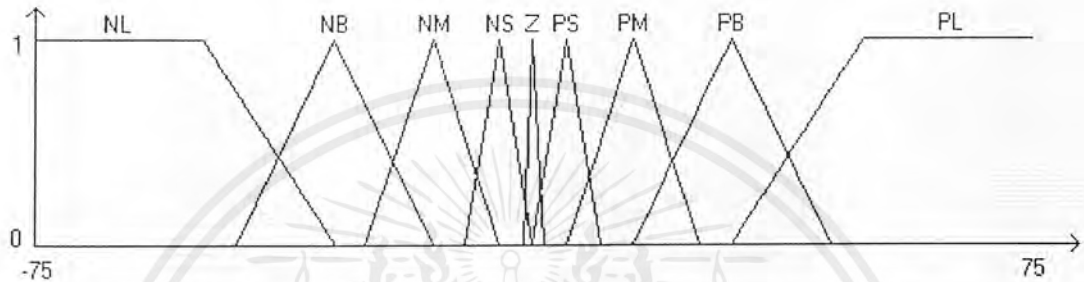
Z : -100, 0, 100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PS : 0, 150, 300

PB : 150, 300, 2500

2. เอาท์พุท (Compensate Value) ของระบบฟัซซี่ ประกอบด้วยเทอมเซตทั้งหมด 7 เทอมเซตดังนี้



เมื่อ NL : -75, -50, -30

NB : -45, -30, -15

NM : -25, -15, -5

NS : -10, -5, 0

Z : -1.5, 0, 1.5

PS : 0, 5, 10

PM : 5, 15, 25

PB : 15, 30, 45

PL : 30, 50, 75

ให้ NL : Negative Large

NB : Negative Big

NM : Negative Medium

NS : Negative Small

Z : Zero

PS : Positive Small

PM : Positive Medium

PB : Positive Big

PL : Positive Large

3. เมื่อออกแบบเทอมเซตของตัวแปรแต่ละตัวได้แล้ว นำเทอมเซตของตัวแปรแต่ละตัวมาเขียนเป็นกฎฟัซซี่ในรูปของเมตริก(FAM) ได้ดังนี้

Input	NB	NS	Z	PS	PM	PB	PL
NB	NL	NL	NL	NB	NM	NS	Z
NS	NL	NB	NS	NS	PS	PS	PS
Z	NB	NS	Z	PS	PS	PS	PS
PS	NS	PM	PM	PS	PM	PM	PB
PB	PM	PB	PB	PB	PB	PB	PL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

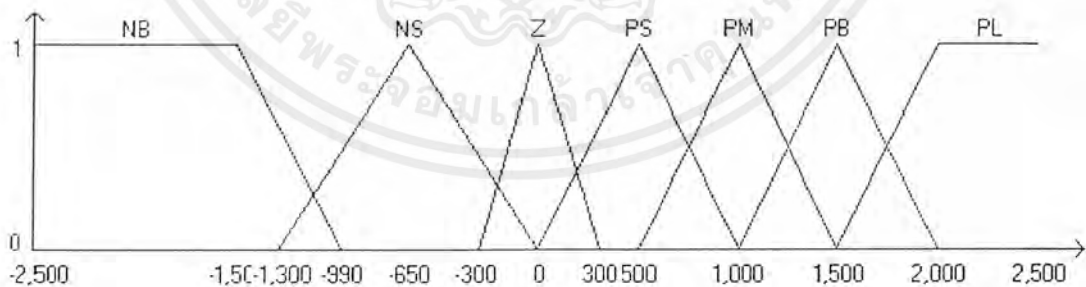
## -System3.fzy

1. อินพุตที่ 1(Error) , อินพุตที่ 2 (DeltaError) และเอาต์พุต(Compensate Value) ของระบบฟัซซี่ นั้นมีเทอมเซตเหมือนกับเทอมเซตของไฟล์ System2.fzy
2. กฎฟัซซี่ที่อยู่ในรูปของเมตริก(FAM) มีดังนี้

Input	NB	NS	Z	PS	PM	PB	PL
NB	NL	NL	NB	NB	NS	NS	NS
NS	NL	NB	NS	NS	PS	PS	PS
Z	NM	NS	Z	PS	PM	PB	PB
PS	NL	NB	PM	PM	PB	PB	PL
PB	NL	NL	PL	PL	PL	PL	PL

## -System4.fzy

1. อินพุตที่ 1(Error) ของระบบฟัซซี่ ประกอบด้วยเทอมเซตทั้งหมด 7 เทอมเซตดังนี้



2. อินพุตที่ 2 (DeltaError) และเอาต์พุตซึ่งเป็นค่าชดเชยของระบบฟัซซี่ จะมีเทอมเซตเหมือนกับไฟล์ System2.fzy

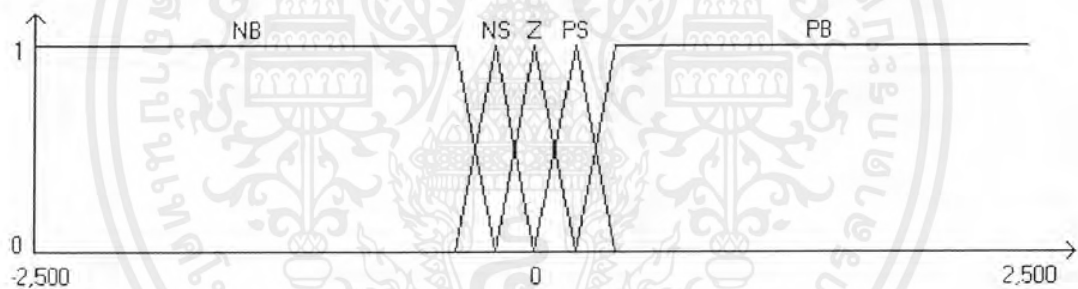
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำเทอมเซตของตัวแปรแต่ละตัวมาเขียนเป็นกฎฟัซซี่ในรูปแบบของเมตริก(FAM) ได้ดังนี้

Input	NB	NS	Z	PS	PM	PB	PL
NB	NL	NL	NB	NL	NS	NS	NS
NS	NL	NB	NS	NS	PS	NS	PS
Z	NM	NS	Z	PS	PM	PB	PB
PS	NL	PM	PM	PS	PB	PB	PL
PB	PB	PM	PL	PM	PL	PL	PL

-System5.fzy

1. อินพุตที่ 1(Error) ของระบบฟัซซี่ จะมีเทอมเซตเหมือนกับไฟล์ System4.fzy



2. อินพุตที่ 2 (DeltaError) ของระบบฟัซซี่ ประกอบด้วยเทอมเซตทั้งหมด 5 เทอมเซตดังนี้

เมื่อ NB : -2500, -400, -200

NS : -400, -200, 0

Z : -200, 0, 200

PS : 0, 200, 400

PB : 200, 400, 2500

3. เอาท์พุท(Compensate Value)ของระบบฟัซซี่ จะมีเทอมเซตเหมือนกับไฟล์ System4.fzy

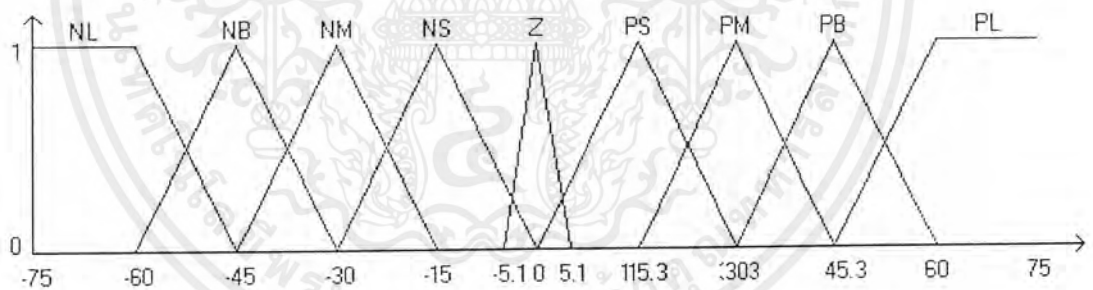
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. นำเทอมเซตของตัวแปรแต่ละตัวมาเขียนเป็นกฎฟัซซี่ในรูปของเมตริก(FAM) ได้ดังนี้

Input	NB	NS	Z	PS	PM	PB	PL
NB	NL	NL	NL	NB	NM	NS	Z
NS	NL	NB	NS	NS	PS	PS	PS
Z	NB	NS	Z	PS	PS	PS	PS
PS	NS	PM	PM	PS	PM	PM	PB
PB	PM	PB	PB	PB	PB	PB	PL

-System6.fzy

1. อินพุตที่ 1(Error) , อินพุตที่ 2 (DeltaError) ของระบบฟัซซี่ จะมีเทอมเซตเหมือนกับไฟล์ System5.fzy
2. เอาท์พุท (Compensate Value) ของฟัซซี่ลอจิก ประกอบด้วยเทอมเซตทั้งหมด 7 เทอมเซตดังนี้



3. นำเทอมเซตของตัวแปรแต่ละตัวมาเขียนเป็นกฎฟัซซี่ในรูปของเมตริก(FAM) ได้ดังนี้

Input	NB	NS	Z	PS	PM	PB	PL
NB	NL	NL	NL	NB	NM	NS	Z
NS	NL	NB	NS	NS	PS	PS	PS
Z	NB	NS	Z	PS	PS	PS	PS
PS	NS	PM	PM	PS	PM	PM	PB
PB	PM	PB	PB	PB	PB	PB	PL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้