

การควบคุมตำแหน่งของโต๊ะงานเคลื่อนที่แบบ 1 แกน

POSITION CONTROL OF ONE-AXIS MOVING TABLE



อัฐพล กาญจนเทพ
ATTAPOL KANCHANATHEP

2546
๑๕ ๖๖
๒๕ ๖๖

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 44975
วัน, เดือน, ปี..... 16 ส.ค. 2546

.b..... 11262400
.i..... 1222652x

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2545

POSITION CONTROL OF ONE-AXIS MOVING TABLE



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

2002

ISBN 974-324-111-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2002

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การควบคุมตำแหน่งของโตะงานเคลื่อนที่แบบ 1 แกน
นักศึกษา	นายอัฐพล กาญจนเทพ
รหัสประจำตัว	42061125
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2545
อาจารย์ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร. จงกล งามวิวิทย์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการออกแบบตัวควบคุมฟuzzyลอจิกร่วมกับตัวเปลี่ยนความเร่ง เพื่อใช้ควบคุมตำแหน่งของโตะงานเคลื่อนที่แบบ 1 แกน อัลกอริทึมของการควบคุมที่นำเสนอนี้ใช้โปรแกรมแมทแล็บ ออกแบบตัวควบคุมฟuzzyลอจิกและตัวเปลี่ยนความเร่ง และใช้ร่วมกับโปรแกรมวิซวลเบสิก เพื่อควบคุมตามเวลาจริงผ่านบอร์ดควบคุมการเคลื่อนที่ ผลที่ได้จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า ตัวควบคุมสามารถควบคุมตำแหน่งของโตะงานเคลื่อนที่แบบ 1 แกนได้อย่างแม่นยำ และมีประสิทธิภาพทั้งในกรณีที่มีและไม่มีภาระ

Thesis Title	Position Control of One-Axis Moving Table
Student	Mr. Attapol Kanchanathep
Student ID.	42061125
Degree	Master of Engineering
Programme	Electrical Engineering
Year	2002
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Jongkol Ngamwiwit

ABSTRACT

This thesis proposes a fuzzy logic controller incorporating acceleration converter to control the position of one-axis moving table. The proposed control algorithm is implemented on personal computer by using MATLAB for designing the fuzzy logic controller with acceleration converter and together with Visual Basic for a real time control via a motion control board. The experimental results show that the proposed controller can be effectively used for controlling the position of the one-axis moving table accurately, with and without mass load.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้จัดทำสำเร็จลุล่วงด้วยดีตามวัตถุประสงค์ เพราะได้รับความช่วยเหลือจาก รองศาสตราจารย์ ดร. จงกล งามวิวิทย์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำ แก้ไขข้อบกพร่องและให้กำลังใจในการเขียนบทความและเขียนวิทยานิพนธ์ ด้วยคืออย่างต่อเนื่องมาตลอด ผู้เขียน ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณ โครงการร่วมมือ ไทย-ญี่ปุ่น(JICA) เพื่อพัฒนาการเรียนการสอนระดับปริญญาตรีสาขาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ สำหรับสถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านเครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับงานวิจัย ตลอดจนการให้คำปรึกษาจาก Professor Ristu KAGAWA ผู้เชี่ยวชาญด้านระบบควบคุมดิจิทัล ที่ได้ให้คำปรึกษาและเสียสละเวลาส่วนตัวของท่านเพื่องานวิจัยนี้ ขอขอบพระคุณ

ขอขอบคุณ อาจารย์เสถียร รัชญุศรีรัตน์ ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน ที่ได้ให้คำแนะนำช่วยเหลือระหว่างการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ อาจารย์ถาวร เบญจนราษฎร์ ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ และปรึกษาข้อสงสัยต่างๆเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม ที่ได้เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือในการทำวิจัย ตลอดจนอำนวยความสะดวก ให้แก่ผู้เขียนจนสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสิ้น

ขอขอบคุณ โครงการสำนักวิจัยการสื่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศ (ReCCIT) และ Japan International Cooperation Agency (JICA) ที่ได้ให้การสนับสนุนอุปกรณ์และเครื่องมือในการทำวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ได้ให้กำเนิด เลี้ยงดู อบรมสั่งสอนให้ความรู้กับผู้เขียน จนเติบโตมาจนถึงวันนี้ ตลอดจนญาติพี่น้องทุกคนที่คอยเป็นกำลังใจให้ผู้เขียนเสมอมา

อัฐพล กาญจนเทพ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป.....	VII
สารบัญตาราง.....	IX
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 สมมุติฐานการศึกษา.....	2
1.3 แนะนำตัวควบคุมพืชจีเอ็มและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	2
1.4 วัตถุประสงค์และขอบเขตวิทยานิพนธ์.....	4
1.5 ขั้นตอนของการศึกษา.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีพืชจีเอ็ม	
2.1 ทฤษฎีเขตกิ่งเค็มและพืชจีเอ็ม.....	6
2.1.1 ทฤษฎีเขตกิ่งเค็ม.....	6
2.1.2 ข้อจำกัดของเขตกิ่งเค็ม.....	8
2.1.3 พืชจีเอ็ม.....	9
2.2 การปฏิบัติการพืชจีเอ็ม.....	11
2.3 ฟังก์ชันสมาชิก.....	12
2.3.1 ฟังก์ชันแบบสามเหลี่ยม.....	12
2.3.2 ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกแบบสี่เหลี่ยมคางหมู.....	13
2.3.3 ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกแบบระฆังคว่ำ.....	14
2.3.4 ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกแบบเกาส์เซียน.....	14
2.4 ตัวแปรทางภาษา.....	15
2.5 ตัวควบคุมพืชจีเอ็ม.....	16
2.5.1 พืชจีเอ็ม.....	16
2.5.2 ฐานความรู้พืชจีเอ็ม.....	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5.3	กลไกอนุমান.....	17
2.5.4	พีชชีพีเคชัน.....	19
2.6	แนวทางการออกแบบกฎ.....	21
2:5.4	วิธีเซอร์สติก.....	21
2.5.5	วิธีคิเทอร์มินติก.....	23
บทที่ 3 โครงสร้างของโต๊ะงานเคลื่อนที่แบบ 1 แกน		
3.1	ส่วนประกอบของระบบควบคุมตำแหน่งโต๊ะงานเคลื่อนที่แบบ 1 แกน.....	24
3.2	แบบจำลองของโต๊ะงานเคลื่อนที่.....	25
บทที่ 4 การออกแบบตัวควบคุมพีชชีลอจิกและตัวเปลี่ยนความเร่ง		
4.1	ระบบควบคุมตำแหน่ง.....	29
4.2	การออกแบบตัวควบคุมพีชชีลอจิก.....	30
4.3	การออกแบบตัวเปลี่ยนความเร่ง.....	32
บทที่ 5 การทดลองการควบคุมตำแหน่งของโต๊ะงาน		
5.1	การหาพารามิเตอร์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโต๊ะงานเคลื่อนที่.....	33
5.2	การจำลองการควบคุมโต๊ะงานเคลื่อนที่.....	37
5.2.1	การจำลองการควบคุมด้วยตัวควบคุมพีชชีลอจิกร่วมกับตัวเปลี่ยนความเร่ง.....	37
5.2.2	การจำลองการควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอดีร่วมกับตัวเปลี่ยนความเร่ง.....	38
5.3	การควบคุมโต๊ะงานเคลื่อนที่จริง.....	40
5.3.1	การควบคุมโต๊ะงานเคลื่อนที่ในสภาวะไม่มีภาระ.....	44
5.3.2	การควบคุมโต๊ะงานเคลื่อนที่ในสภาวะมีภาระ.....	44
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ		
6.1	สรุปผลการทดลอง.....	48
6.2	ข้อเสนอแนะในการวิจัย.....	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
6.3 ปัญหาที่พบในการวิจัยและแนวทางแก้ไข.....	49
6.4 แนวทางในการพัฒนาต่อไป.....	49
เอกสารอ้างอิง.....	50
ภาคผนวก ก การใช้แอปทีฟเอกซ์	52
ภาคผนวก ข รายละเอียดของการอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	55
ภาคผนวก ค ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์.....	57
ประวัติผู้เขียน.....	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.8 แสดงผลการตอบสนองของผลการจำลองการควบคุมตำแหน่งที่มีด้วยตัวควบคุม พีชชีลอจิกร่วมกับตัวเปลี่ยนความเร่ง.....	37
5.9 แสดงการควบคุมตำแหน่งโต๊ะงานเคลื่อนที่ด้วยตัวควบคุมแบบพีไอดีร่วมกับตัวเปลี่ยน ความเร่ง.....	38
5.10 แสดงผลการตอบสนองของการจำลองระบบควบคุมพีไอดีร่วมกับตัวเปลี่ยนความเร่ง.....	38
5.11 แสดงผลตอบสนองการจำลองของระบบควบคุมด้วยตัวควบคุมพีชชีลอจิกร่วมกับ ตัวเปลี่ยนความเร่ง.....	39
5.12 แสดงผลการตอบสนองการจำลองระบบควบคุมของตัวควบคุมพีไอดีร่วมกับ ตัวเปลี่ยนความเร่ง.....	40
5.13 แสดงระบบควบคุมตำแหน่งโต๊ะงานเคลื่อนที่แบบ 1 แกน.....	41
5.14 แสดงผลตอบสนองการควบคุมจริงของระบบควบคุมที่มีตัวควบคุมพีชชีลอจิก ร่วมกับตัวเปลี่ยนความเร่ง ในสภาวะไม่มีภาระ.....	41
5.15 แสดงผลตอบสนองการควบคุมจริงของระบบควบคุมที่มีตัวควบคุมพีไอดีร่วมกับ ตัวเปลี่ยนความเร่ง ในสภาวะไม่มีภาระ.....	42
5.16 แสดงผลการตอบสนองการจำลองของระบบควบคุมด้วยตัวควบคุมพีชชีลอจิก ร่วมกับตัวเปลี่ยนความเร่ง ในสภาวะไม่มีภาระ.....	43
5.17 แสดงผลการตอบสนองการจำลองของระบบควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอดีร่วมกับ ตัวเปลี่ยนความเร่ง ในสภาวะไม่มีภาระ.....	43
5.18 แสดงผลตอบสนองการควบคุมจริงของระบบควบคุมที่มีตัวควบคุมพีชชีลอจิกร่วมกับ ตัวเปลี่ยนความเร่ง ในสภาวะมีภาระ 3 กิโลกรัม.....	44
5.19 แสดงผลตอบสนองการควบคุมจริงของระบบควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอดีร่วมกับ เปลี่ยนความเร่ง ในสภาวะมีภาระ 3 กิโลกรัม.....	45
5.20 แสดงผลตอบสนองการควบคุมจริงของระบบควบคุมด้วยตัวควบคุมพีชชีที่ร่วมกับ ตัวเปลี่ยนความเร่งที่สัญญาณอ้างอิงเป็นขั้นบันได ในสภาวะมีภาระ 3 กิโลกรัม.....	46
5.21 แสดงผลตอบสนองการควบคุมจริงของระบบควบคุมที่มีตัวควบคุมพีไอดีร่วมกับ ตัวเปลี่ยนความเร่งที่สัญญาณอ้างอิงเป็นขั้นบันได ในสภาวะมีภาระ 3 กิโลกรัม.....	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 กฎการควบคุมของตัวแปรอินพุทและเอาต์พุต.....	31
5.1 ผลเปรียบเทียบการจำลองการควบคุมที่ตำแหน่ง 200 มิลลิเมตร.....	39
5.2 ผลเปรียบเทียบสมรรถนะของการควบคุมจริงที่ตำแหน่ง 200 มิลลิเมตร ในสภาวะไม่มีภาระ..	42
5.3 ผลเปรียบเทียบการควบคุมจริง ในสภาวะมีภาระ 3 กิโลกรัม.....	45



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

1.1.1 ความเป็นมา

การควบคุมการเคลื่อนที่ (motion control) ในทางอุตสาหกรรมที่ใช้ในงานต่างๆ ประกอบด้วย การควบคุมแรงบิด (torque control) การควบคุมความเร็ว (speed control) และการควบคุมตำแหน่ง (position control) การควบคุมตำแหน่งให้ได้ความแม่นยำสูงนั้นเป็นงานที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง เพราะว่าเป็นตัวช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต ตัวควบคุมที่นิยมใช้เพื่อควบคุมตำแหน่งนั้นมี ตัวควบคุมพีไอ (proportional-integral controller) ตัวควบคุมพีดี (proportional-derivative controller) และตัวควบคุมพีไอดี (proportional-integral-derivative controller) ซึ่งมีข้อจำกัดเมื่อนำไปควบคุมระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้น ระบบที่ไม่รู้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ระบบอันดับสูง (high order system) และระบบที่มีความไม่แน่นอน (uncertain system) เป็นต้น

แนวความคิดในการนำเสนอวิชานี้ ก็เพื่อต้องการนำฐานความรู้ (knowledge base) และความเชี่ยวชาญจากผู้ปฏิบัติการมาใช้ในการออกแบบตัวควบคุมฟัซซีลอจิกร่วมกับตัวเปลี่ยนความเร่งมาควบคุมตำแหน่งโต๊ะงานเคลื่อนที่แบบ 1 แกนไปยังตำแหน่งที่ต้องการได้อย่างรวดเร็ว โดยปราศจากค่าพุงเกิน ตัวควบคุมฟัซซีลอจิกประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือส่วนที่เป็นฐานความรู้และอีกส่วนหนึ่งซึ่งทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ในการอนุมาน (inference engine) เพื่อคิดหาเหตุผลจากฐานความรู้ของผู้ปฏิบัติการมาสร้างเป็นกฎ (rules) ในรูปของประโยคเงื่อนไข ถ้า....แล้ว.... อันเป็นส่วนสำคัญในการรู้จักใช้ฐานความรู้นั้นมาแก้ปัญหาเพื่อให้ได้ผลการควบคุมตามต้องการ

ตัวควบคุมฟัซซีลอจิกได้เข้ามามีบทบาทในเรื่องการควบคุมกระบวนการทางอุตสาหกรรม เนื่องจากมีข้อดีที่เป็นจุดเด่นหลายประการ ดังนี้

- สามารถออกแบบตัวควบคุมได้โดยไม่รู้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการที่แน่นอน เนื่องจากการออกแบบตัวควบคุมใช้วิธีการแปลงความรู้หรือประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญให้เป็นกฎการควบคุมในรูปเงื่อนไข
- สามารถควบคุมกระบวนการที่ไม่เป็นเชิงเส้นได้ เนื่องจากตัวควบคุมฟัซซีลอจิกมีคุณสมบัติของความไม่เป็นเชิงเส้นอยู่ในตัว โดยสามารถกำหนดความสัมพันธ์ของกฎการควบคุมให้เป็นแบบไม่เป็นเชิงเส้น
- สามารถควบคุมกระบวนการที่มีความไม่แน่นอนได้ เนื่องจากตัวควบคุมฟัซซีลอจิกมีความคงทน (robust) ต่อการเปลี่ยนแปลง อีกทั้งฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (membership function)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถกำหนดเป็นรูปฟังก์ชันที่มีลักษณะต่างๆได้ เช่น กำหนดให้เป็นฟังก์ชันสามเหลี่ยม (triangular function) ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมู (trapezoidal function) ฟังก์ชันเกาส์เซียน (Gaussain function) และฟังก์ชันรูประฆังคว่ำ (bell function) เป็นต้น

1. 1.2 ความสำคัญของปัญหา

เมื่อนำตัวควบคุมพีไอดีมาใช้ควบคุมกระบวนการ พบว่าหลังจากออกแบบตัวควบคุมแล้ว จะต้องมีการปรับแต่งพารามิเตอร์ของตัวควบคุมเพื่อให้ได้ผลตอบสนองการควบคุมตามที่ต้องการ [1,2] ในกรณีที่ใช้ตัวควบคุมพีไอดีมาควบคุมตำแหน่งของโต๊ะงานเคลื่อนที่แบบ 1 แกนนั้น ก็ต้องมีการปรับแต่งพารามิเตอร์ของตัวควบคุมเพื่อให้โต๊ะงานเคลื่อนที่เข้าสู่เป้าหมายได้เร็วปราศจากค่าพุ่งเกิน และเมื่อเพิ่มภาระบนโต๊ะงานจะทำให้ผลตอบสนองของการเคลื่อนที่ของโต๊ะงานเกิดการแกว่ง ดังนั้น การนำข้อดีของตัวควบคุมฟัซซีลอจิกที่สามารถปรับกฎการควบคุมได้ มาทำงานร่วมกับตัวเปลี่ยนความเร่ง จะสามารถควบคุมตำแหน่งของโต๊ะงานให้เคลื่อนที่เข้าสู่ตำแหน่งเป้าหมายได้รวดเร็วปราศจากค่าพุ่งเกินทั้งในสภาวะที่มีภาระและไม่มีภาระ

1.2 สมมุติฐานการศึกษา

คาดว่าสามารถใช้ตัวควบคุมฟัซซีลอจิกร่วมกับตัวเปลี่ยนความเร่ง เพื่อควบคุมตำแหน่งของโต๊ะงานเคลื่อนที่แบบ 1 แกน ให้เข้าสู่เป้าหมายได้รวดเร็ว และไม่มีค่าพุ่งเกินทั้งในสภาวะที่มีภาระและไม่มีภาระ

1.3 แนะนำตัวควบคุมฟัซซีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในกระบวนการควบคุมอัตโนมัติที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมการผลิตต่างๆ เช่น กระบวนการควบคุมการผลิตรถยนต์ กระบวนการควบคุมปฏิกริยาทางเคมี และกระบวนการควบคุมสายงานผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น ส่วนใหญ่เป็นกระบวนการที่มีคุณสมบัติไม่เป็นเชิงเส้นอันเนื่องมาจากความซับซ้อน การไม่ทราบค่าพารามิเตอร์บางตัวของระบบเป็นการยากที่จะหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อที่จะออกแบบตัวควบคุมแบบดั้งเดิม[3] ตามปกติแล้ว ประสบการณ์และความรู้จากการควบคุมของกระบวนการที่มีความซับซ้อนมักจะถูกอยู่ในรูปของภาษามนุษย์ที่ง่ายต่อการทำความเข้าใจและปฏิบัติตาม ในปี ค.ศ. 1965 Professor Lotfi Zadeh แห่งมหาวิทยาลัย Berkeley ได้นำเสนอฟัซซีเซต (fuzzy set) [4] และฟัซซีลอจิก (fuzzy logic) เพื่อใช้หาข้อสรุปตามหลักการเหตุผลแบบประมาณ (approximate reasoning) เมื่อตัวแปรของระบบถูกนิยามในรูปเชิงคุณสมบัติ และมีความคลุมเครือ [5] ต่อมาในปี ค.ศ. 1974 Professor E.H. Mamdani ได้นำหลักการฟัซซีลอจิกมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบตัวควบคุมฟัซซี (fuzzy controller) [6,7] โดยแปลงความรู้ที่ได้จากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวอนไวส์สำหรับงานเพื่อการศึกษาค้นคว้า เมื่ออนุญาตเห็นเป็นประโยชน์ในการค้าไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสบการณ์การควบคุมของผู้ปฏิบัติการให้อยู่ในรูปเงื่อนไข ถ้า...แล้ว... ให้เป็นกฎการควบคุมที่มีตัวแปรเป็นพีชชีเซต จากนั้น ได้มีผู้นำตัวควบคุมพีชชีลอจิกไปประยุกต์ใช้งานต่าง ๆ มากมาย [8]

งานวิจัยที่ผ่านมาที่ได้นำตัวควบคุมพีชชีลอจิกไปประยุกต์ใช้ควบคุมการเคลื่อนที่มีดังนี้

Y.F.Li and C.C. Lau [9] นำเสนอการประยุกต์ใช้พีชชีลอจิกควบคุมตำแหน่งของเซอร์โวมอเตอร์ให้มีความแม่นยำโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยได้กล่าวถึงการนำเซอร์โวมอเตอร์ไปใช้ในระบบควบคุมอัตโนมัติต่างๆ เช่น เครื่องเล่นเทป เครื่องพิมพ์ และหุ่นยนต์ เป็นต้น นอกจากนั้นได้กล่าวถึงข้อได้เปรียบของตัวควบคุมแบบพีชชีลอจิกเมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมแบบพีไอดีในเรื่องการรบกวนที่มีต่อกระบวนการที่ไม่เป็นเชิงเส้นและการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของระบบ นอกจากนั้นยังได้ชี้ให้เห็นว่า การโอเวอร์แล็ปของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในพีชชีเซตมาก จะทำให้การประมวลผลนานขึ้น ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าตัวควบคุมพีชชีลอจิกให้ประสิทธิภาพในการควบคุมตำแหน่งดีกว่าตัวควบคุมแบบพีไอดี

Hong le-Hey and Mather Hamdi [10] ได้เสนองานวิจัยที่นำตัวควบคุมพีชชีลอจิกมาควบคุมการขับเคลื่อนมอเตอร์โดยตรงของแขนหุ่นยนต์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ 68HC11 ผู้วิจัยได้กล่าวถึงข้อได้เปรียบของตัวควบคุมพีชชีลอจิกที่ไม่ต้องนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการมาพิจารณา เพียงแต่อาศัยฐานความรู้ของผู้เชี่ยวชาญหรือวิศวกรควบคุมเท่านั้น และถ้าต้องการให้ได้ประสิทธิภาพของตัวควบคุมพีชชีลอจิกสูงก็ต้องใช้ความชำนาญในการปรับแต่งกฎการควบคุม โดยจุดประสงค์ของงานวิจัยนี้คือต้องการแก้ปัญหาการขับเคลื่อนมอเตอร์โดยตรงเพื่อควบคุมตำแหน่งการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ในแนวระนาบ เป็นกระบวนการที่ไม่เป็นเชิงเส้น และเมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดีมาควบคุมแล้วไม่สามารถให้ประสิทธิภาพที่เหมาะสมโดยไม่ต้องปรับแต่งพารามิเตอร์ของตัวควบคุม ซึ่งการควบคุมกระบวนการที่ไม่เป็นเชิงเส้นจำเป็นต้องอาศัยความซับซ้อนของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และการวิเคราะห์อย่างละเอียด ผลการทดลองพบว่าตัวควบคุมพีชชีลอจิกที่ออกแบบมีความคงทนเมื่อมีการเปลี่ยนภาระจาก 0.1 กิโลกรัม เป็น 0.3 กิโลกรัม อีกทั้งไม่ปรากฏค่าพุ่งเกินเมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมแบบพีดี

Pual-I-Hailin, Sentai Hwang and Chou J [11] ได้ประยุกต์ใช้ตัวควบคุมพีชชีลอจิกเปรียบเทียบกับตัวควบคุมพีไอดีเพื่อใช้ควบคุมตำแหน่งของคีมมอเตอร์ ผู้วิจัยได้กล่าวถึงงานวิจัยต่างๆ ที่สนับสนุนว่า ตัวควบคุมพีชชีลอจิกช่วยลดค่าพุ่งเกิน ผลสรุปของงานวิจัยนี้คือตัวควบคุมพีชชีลอจิกที่นำไปควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์มีค่าเวลาเข้าที่ (settling time) น้อยกว่าตัวควบคุมแบบพีไอดีซึ่งทำได้โดยปรับฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรเอาต์พุต และในกรณีที่ไมทราบรายละเอียดของกระบวนการก็สามารถควบคุมกระบวนการนั้นได้โดยใช้ประสบการณ์จากผู้เชี่ยวชาญปรับกฎสำหรับตัวแปรที่ใช้เป็นอินพุตและเอาต์พุตของตัวควบคุมพีชชี

1.4 วัตถุประสงค์และขอบเขตของวิทยานิพนธ์

วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1. ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะนำเสนอการออกแบบตัวควบคุมฟัซซีลอจิกร่วมกับตัวเปลี่ยนความเร่ง (acceleration converter) เพื่อควบคุมตำแหน่งของโต๊ะงานเคลื่อนแบบ 1 แกนให้เข้าสู่เป้าหมายได้รวดเร็วปราศจากค่าฟุ้งเกิน
2. เปรียบเทียบผลการควบคุมของตัวควบคุมฟัซซีลอจิกร่วมกับตัวเปลี่ยนความเร่งกับผลการควบคุมของตัวควบคุมที่ไอดี เมื่อสัญญาณอ้างอิงเป็นขั้น (step) และเป็นขั้นบันได (stair) ทั้งในสถานะที่มีภาระและไม่มีภาระ

ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ประกอบด้วยเนื้อหาทั้งหมด 6 บท ดังนี้

บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงปัญหาการนำตัวควบคุมแบบดั้งเดิมมาใช้ควบคุมกระบวนการที่มีความซับซ้อน แนะนำการใช้ตัวควบคุมฟัซซีลอจิก งานวิจัยที่ผ่านมา วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ และขอบเขตของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 ทฤษฎีฟัซซีลอจิก กล่าวถึงหลักการและทฤษฎีทางคณิตศาสตร์ที่เป็นพื้นฐานสำหรับนำมาประยุกต์เพื่อออกแบบตัวควบคุมฟัซซีลอจิก ซึ่งประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

- ทฤษฎีทางคณิตศาสตร์ของเซตดั้งเดิม(classical sets) และข้อจำกัดของเซตดั้งเดิม
- ทฤษฎีทางคณิตศาสตร์ของฟัซซีลอจิกเซต เช่น ฟัซซีเซต การปฏิบัติการฟัซซีลอจิก (fuzzy logic operation) ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกกฎ ตัวแปรภาษา ตัวควบคุมฟัซซีลอจิกที่ประกอบด้วย ฟัซซีฟิเคชัน ฐานความรู้ กลไกอนุมาน การดีฟัซซีฟิเคชัน (defuzzification) และแนวทางการออกแบบกฎการควบคุมฟัซซีลอจิก

บทที่ 3 โครงสร้างของโต๊ะงานเคลื่อนที่แบบ 1 แกน กล่าวถึงลักษณะโครงสร้างและแบบจำลองของโต๊ะงานเคลื่อนที่ หลักการควบคุมตำแหน่งของโต๊ะงานโดยใช้ความเร่ง และหลักการของตัวเปลี่ยนความเร่ง

บทที่ 4 การออกแบบตัวควบคุม กล่าวถึงการออกแบบตัวควบคุมฟัซซีลอจิกที่ใช้ควบคุมตำแหน่งของโต๊ะงานเคลื่อนที่แบบ 1 แกน และการออกแบบตัวเปลี่ยนความเร่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 การทดลองการควบคุมตำแหน่งของโต๊ะงาน กล่าวถึงผลการจำลองการควบคุม และผลการทดลองจริง เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของตัวควบคุมที่นำเสนอ โดยการจำลองระบบ ควบคุมด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (simulation) เพื่อตรวจสอบความถูกต้องในการทำงานของตัว ควบคุม ก่อนนำตัวควบคุมที่ได้ออกแบบไปใช้ควบคุมโต๊ะงาน โดยได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. การใช้ตัวควบคุมพีชชีลอจิกและตัวเปลี่ยนความเร่งควบคุมตำแหน่งของโต๊ะงาน เคลื่อนที่เปรียบเทียบผลการตอบสนองกับตัวควบคุมพีไอดีในสถานะไม่มีภาระ
2. การใช้ตัวควบคุมพีชชีลอจิกและตัวเปลี่ยนความเร่งควบคุมตำแหน่งของโต๊ะงาน เคลื่อนที่เปรียบเทียบผลการตอบสนองกับตัวควบคุมพีไอดีในสถานะมีภาระ

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ กล่าวถึงสรุปผลของการทดลอง ปัญหาที่พบ ใน การวิจัย ข้อเสนอแนะ และแนวทางในการพัฒนาต่อไป

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

ศึกษาและค้นคว้าคุณลักษณะการทำงานของระบบควบคุมการเคลื่อนที่ที่ใช้เอชซีเซอร์โวเป็น ตัวขับเคลื่อน ซึ่งได้พิจารณาการควบคุมตำแหน่งโดยใช้ความเร่งเป็นหลักสำคัญ ศึกษาแบบจำลอง ทางคณิตศาสตร์ของโต๊ะงานเพื่อออกแบบตัวควบคุม โดยเลือกตัวควบคุมพีชชีลอจิกร่วมกับตัว เปลี่ยนความเร่งสำหรับเป็นตัวควบคุมตำแหน่งของโต๊ะงานเคลื่อนที่เพื่อให้เข้าสู่ตำแหน่งเป้าหมาย ได้รวดเร็วและปราศจากค่าพุ่งเกิน ทดสอบผลตอบสนองของตัวควบคุมที่ได้ออกแบบเปรียบเทียบกับตัวควบคุมพีไอดีทั้งในสถานะมีภาระและไม่มีภาระ สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ภาคผนวก ก. กล่าวถึง การใช้เอกซีพีเอ็กซ์ (ActiveX)

ภาคผนวก ข. กล่าวถึง รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ภาคผนวก ค. กล่าวถึง ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

บทที่ 2

ทฤษฎีฟัซซีลอจิก

ในการออกแบบตัวควบคุมฟัซซีลอจิกเพื่อนำไปควบคุมกระบวนการต่างๆ ต้องนำความรู้พื้นฐานคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับทฤษฎีฟัซซีเซต ไปกำหนดโครงสร้างและวิธีการออกแบบให้เหมาะสม โดยสามารถอธิบายตัวปฏิบัติการและกฎการควบคุมของระบบในเชิงภาษา (linguistic) ได้ชัดเจนมากขึ้น ดังนั้น เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึง ทฤษฎีเซตดั้งเดิม ข้อจำกัดของเซตดั้งเดิมซึ่งจะนำไปสู่ทฤษฎีฟัซซีเซต การปฏิบัติการฟัซซีเซต ฟัซซีฟังก์ชัน ฐานความรู้ กลไกอนุมาน ดีฟัซซีฟิเคชัน และแนวทางการออกแบบกฎการควบคุมแบบฟัซซีลอจิก

2.1 ทฤษฎีเซตดั้งเดิมและฟัซซีเซต

2.1.1 ทฤษฎีเซตดั้งเดิม

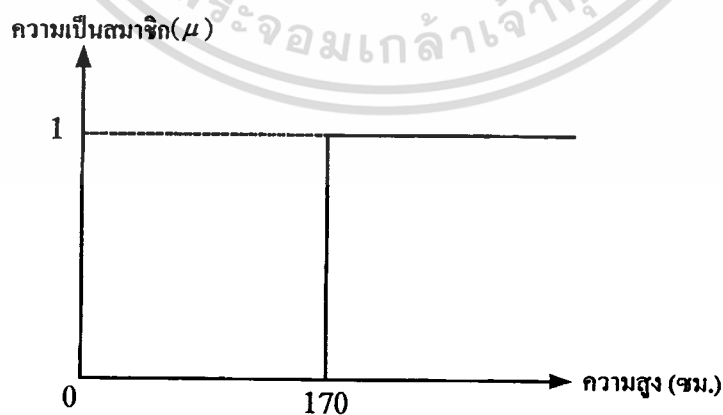
นิยามที่ 1 เอกภพสัมพัทธ์

เอกภพสัมพัทธ์ (universe of discourse: U) คือเซตที่มีสมาชิกเป็นสมาชิกทั้งหมดของขอบเขตที่ทำการพิจารณา

กำหนดให้ x เป็นสมาชิกใดๆ ขอบ U เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $x \in U$

นิยามที่ 2 คริสป์เซต

คริสป์เซต (crisp set) คือ กลุ่มของสมาชิกที่มีคุณสมบัติตามข้อกำหนด ซึ่งอาจมีจำนวนจำกัดหรือไม่ก็ได้จำกัดก็ได้



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างคริสป์เซตที่แสดงระดับความเป็นสมาชิกของความสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิยามที่ 3 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของ เซต เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ (μ) โดยถูกนิยาม ดังนี้

$\mu_A(x): x \rightarrow [0,1]$ เป็นฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเซต A

มีหมายความว่า ระดับความเป็นสมาชิกของ x ในฟัซซีเซต A อยู่ในช่วงปิดจาก 0 ถึง 1 โดย 0 แสดงความไม่เป็นสมาชิก และ 1 แสดงความเป็นสมาชิกอย่างสมบูรณ์ หรือสามารถเขียนแทนด้วย

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1; & x \in A \\ 0; & x \notin A \end{cases} \quad (2.1)$$

นิยามที่ 4 การเท่ากันของเซต

เซต A จะเท่ากับเซต B ก็ต่อเมื่อ สมาชิกทุกตัวของเซต A เป็นสมาชิกของเซต B และ สมาชิกทุกตัวของเซต B เป็นสมาชิกของเซต A เขียนแทนด้วย $A=B$

$$(A=B) \leftrightarrow ((\forall a \in B) \wedge (\forall b \in A); a \in A, b \in B) \quad (2.2)$$

นิยามที่ 5 การเป็นสับเซต

เซต A จะเป็นสับเซต (subset) ของเซต B ก็ต่อเมื่อสมาชิกทุกตัวของเซต A เป็นสมาชิกทุกตัวของเซต B และ เซต A ไม่เท่ากับเซต B เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $A \subseteq B$

$$A \subseteq B \leftrightarrow (\forall a \in B; a \in A) \quad (2.3)$$

เซต A จะเป็นสับเซตแท้ของเซต B ก็ต่อเมื่อสมาชิกทุกตัวของเซต A เป็นสมาชิกของเซต B และเซต A ไม่เท่ากับเซต B เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $A \subset B$

$$A \subset B \leftrightarrow (\forall a \in B) \wedge (A \neq B); a \in A \quad (2.4)$$

นิยามที่ 6 การปฏิบัติการของเซต

คอมพลีเมนต์ (complement) คือ ตัวปฏิบัติการในการสร้างเซตใหม่จากเดิม โดยที่สมาชิกของเซตใหม่คือสมาชิกในเอกภพสัมพัทธ์ U ที่ไม่เป็นสมาชิกของเซตเดิม เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ ดังนี้

$$A' = \{x | (x \in U) \wedge (x \notin A)\} \quad (2.5)$$

ยูเนียน(union) คือ ตัวปฏิบัติการในการสร้างเซตใหม่จากเซตเดิม 2 เซต โดยที่สมาชิกเซตใหม่ได้จากการรวมสมาชิกทั้งหมดที่เป็นสมาชิกของเซตใดเซตหนึ่ง เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ ดังนี้

$$A \cup B = \{x | (x \in A) \vee (x \in B)\} \quad (2.6)$$

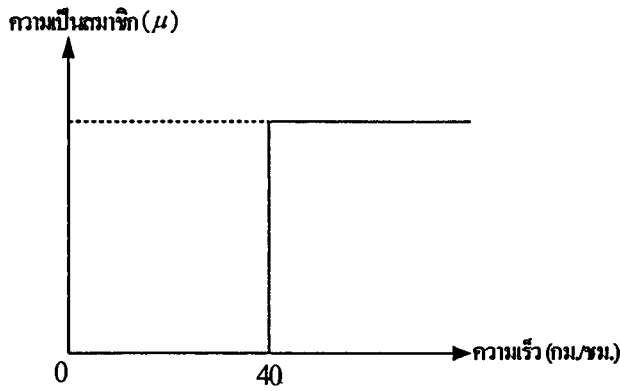
อินเตอร์เซกชัน (intersection) คือ ตัวปฏิบัติการในการสร้างเซตใหม่จากเซตเดิม 2 เซต เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ ดังนี้

$$A \cap B = \{x | (x \in A) \wedge (x \in B)\} \quad (2.7)$$

2.1.2 ข้อจำกัดของเซตดั้งเดิม

จากที่ได้กล่าวถึงลักษณะของเซตดั้งเดิม จะเห็นว่าค่าความเป็นสมาชิกของเซตนั้นจะมีค่าไม่เป็น (ศูนย์) 0 ก็เป็น (หนึ่ง) 1 ซึ่งหมายถึงเป็นการบ่งชี้ความไม่เป็นสมาชิกของเซตเลยหรือเป็นการบ่งชี้ความเป็นสมาชิกของเซตอย่างสมบูรณ์ ความสัมพันธ์ของเซตดั้งเดิมใช้ได้กับสมาชิกที่มีความแตกต่างชัดเจน เช่น การบอกความแตกต่างของสีขาวและสีดำ เป็นต้น แต่ในชีวิตประจำวันนั้นมีความเกี่ยวข้องกับความคลุมเครือมากมาย โดยเฉพาะในการสื่อสารของมนุษย์ที่จะบ่งบอกค่าของคำว่า “เร็ว” ซึ่งเป็นความคลุมเครือที่เกิดขึ้น จะนำความรู้สักอย่างไรมาวัดว่า การเคลื่อนที่ขนาดไหนคือ “เร็ว” หรือ “ไม่เร็ว”

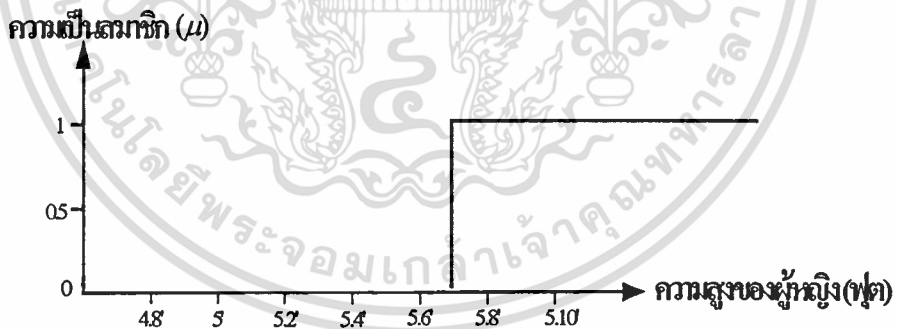
จากรูปที่ 2.2 แสดงถึงการบ่งชี้ว่า การเคลื่อนที่ในระดับ 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมงซึ่งเป็นการเคลื่อนที่มีความเร็วนั้นเป็นการบ่งชี้ที่ไม่สมเหตุผล เพราะการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใดของสมาชิกจาก 0 ไปเป็น 1 ที่ความเร็วดังกล่าว ทำให้เกิดคำถามว่า ทำไมที่ความเร็ว 39.9 กิโลเมตรต่อชั่วโมงเป็นช่วงที่ไม่มีความเร็วหรืออย่างไร ในความรู้สักของมนุษย์เองแล้วไม่สามารถบอกความแตกต่างระหว่างความเร็วทั้งสองได้ จากข้อจำกัดในความคลุมเครือนี้ จึงนำไปสู่การศึกษาฟัซซีเซต



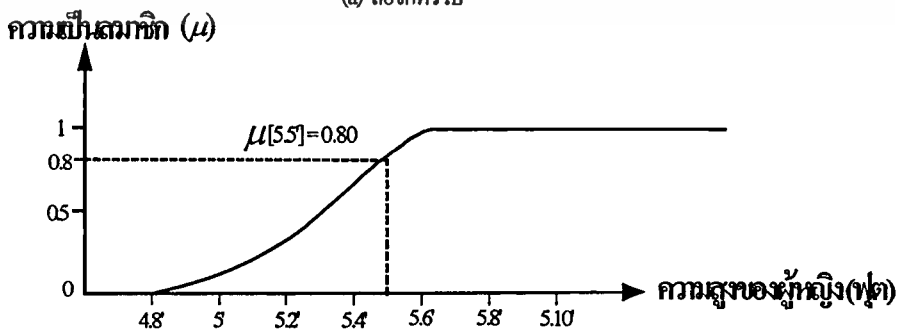
รูปที่ 2.2 แสดงเซตดั้งเดิมของคำว่า “เร็ว”

2.1.3 ฟัซซีเซต

ทฤษฎีฟัซซีเซตเป็นการรวมสมาชิกของหลายๆเซตดั้งเดิมที่มีอยู่จริงและพอมีลักษณะที่รวมกลุ่มกันได้ โดยฟัซซีเซตยอมรับความเป็นสมาชิกเพียงบางส่วน ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงทีละน้อยระหว่างการมีคุณสมบัติความเป็นสมาชิกครบถ้วนกับไม่มีคุณสมบัติของความเป็นสมาชิกเลย ระบบฟัซซีลอจิกสามารถทำงานได้หากมีส่วนของสมาชิกที่มีลักษณะที่ถูกเพียงบางส่วน และผิดเพียงบางส่วนโดยมีค่าความเป็นสมาชิกต่างกัน อยู่ระหว่าง 0 และ 1 ดังรูปที่ 2.3 แสดงความแตกต่างของเซตดั้งเดิมดั้งเดิมหรือลอจิกทั่วไป (a) กับ ฟัซซีเซตหรือฟัซซีลอจิก (b) ที่ต่างก็แสดงความเป็นสมาชิกความสูงของผู้หญิง



(a) ลอจิกทั่วไป



(b) ฟัซซีลอจิก

รูปที่ 2.3 กราฟแสดงความเป็นสมาชิกของเซตดั้งเดิม (a) กับ ฟัซซีเซต (b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.3(a) เป็นการแสดงชี้ให้เห็นชัดว่า ผู้หญิงที่สูงมากกว่า หรือสูงเท่ากับ 5.6 ฟุต เป็นคนสูง (ลอจิก 1) แต่ถ้าน้อยกว่า 5.6 ฟุต เป็นคนเตี้ย (ลอจิก 0) ส่วนรูปที่ 2.3(b) แสดงความต่อเนื่องของความเป็นสมาชิกความสูงของผู้หญิง โดยที่ระดับความสูง 4.8 ฟุต บอกได้ชัดเจนว่าไม่ใช่ผู้หญิงสูง แต่ถ้าวเธอสูง 5.8 ฟุตตอบได้ว่าเธอเป็นคนสูง และถ้าวเธอสูง 5.5 ฟุต ถือว่าเธอมีความสูง 80 % หรือมีค่าความเป็นสมาชิกของความสูงเท่ากับ 0.80 และที่ความสูง 5.3 ฟุต มีค่าความเป็นสมาชิกของความสูงเท่ากับ 0.50 ส่วนเส้นโค้งในรูปเรียกว่า ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต “ความสูงของผู้หญิง” นั่นคือ ทุกค่าจะมีความเป็นสมาชิกของความสูงที่แตกต่างกัน ช่วงความสูงที่เป็นไปได้ตั้งแต่ 0 ถึง 8 ฟุต เรียกว่า เอกภพสัมพัทธ์

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้พจน์ชณะตัวใหญ่ (เช่น A) แทนฟัซซีเซต สมาชิกของเอกภพสัมพัทธ์ เขียนแทนด้วย $x \in U$ เมื่อ x คือ สมาชิกของเอกภพสัมพัทธ์ และ U คือเอกภพสัมพัทธ์ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของ A เขียนแทนด้วย $\mu_A(x)$

คำจำกัดความของฟัซซีเซตมีดังนี้

ฟัซซีเซต

ฟัซซีเซต คือ เซตคู่ลำดับของสมาชิกในเอกภพสัมพัทธ์ที่สนใจและระดับความเป็นสมาชิก เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ดังนี้

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in U\} \quad (2.8)$$

ถ้า U เป็นค่าต่อเนื่อง ฟัซซีเซต A สามารถเขียนแทนด้วยสมการ (2.9)

$$A = \int_U \mu_A(x) / x \quad (2.9)$$

เครื่องหมาย “ \int_U ” หมายถึง การทำยูเนียนตามทฤษฎีเซต และเครื่องหมาย “/” ไม่ได้หมายถึงการหาร แต่เป็นการแทนความสัมพันธ์ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่อยู่ในเอกภพสัมพัทธ์ที่กล่าวถึง

ถ้า A เป็นความไม่ต่อเนื่อง มีขอบเขต สามารถกำหนดฟัซซีเซตได้ดังนี้

$$A = \sum_U \mu_A(x) / x \quad (2.10)$$

ซัพพอร์ตของฟัซซีเซต

ซัพพอร์ตของฟัซซีเซต (support of fuzzy set) A ในเอกภพสัมพัทธ์ U คือฟัซซีเซตที่มีสมาชิกทั้งหมดในเอกภพสัมพัทธ์ ที่มีค่าระดับความเป็นสมาชิกในฟัซซีเซต A มากกว่าศูนย์ เขียนแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\text{sup } p(A) = \{x \in U \mid \mu_A(x) > 0\} \quad (2.11)$$

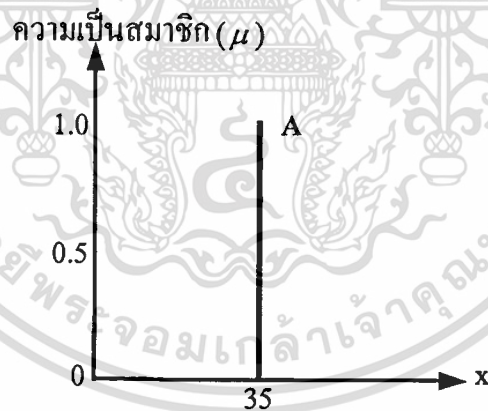
ศูนย์กลางของฟัซซีเซต คือ ค่ากึ่งกลางของฟัซซีเซต หรือค่าสูงสุดของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

จุดแบ่งของฟัซซีเซต คือจุดใดๆในเอกภพสัมพัทธ์ ที่มีความเป็นสมาชิกเท่ากับ 0.5

ความสูงของฟัซซีเซต คือ ค่าสูงสุดของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

ซิงเกิลตันฟัซซีเซต

ฟัซซีซิงเกิลตันเซตคือ ฟัซซีเซตที่มีค่าความเป็นสมาชิกของเอกภพสัมพัทธ์เพียงหนึ่งสมาชิกจากรูปที่ 2.4 แสดงซิงเกิลตันฟัซซีเซต ที่มีค่าความเป็นสมาชิกเท่ากับศูนย์ทุกตำแหน่งยกเว้นที่ $x = 30$



รูปที่ 2.4 แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของซิงเกิลตันฟัซซีเซต

2.2 การปฏิบัติการฟัซซีลอจิก

ปฏิบัติการทางฟัซซีลอจิกมีพื้นฐานปฏิบัติการต่างๆเช่นเดียวกับการปฏิบัติการของเซตแบบดั้งเดิมที่ประกอบไปด้วย อินเตอร์เซกชัน ยูเนียน และคอมพลิเมนต์

อินเตอร์เซกชันเป็นตัวปฏิบัติการที่แทนการกระทำทางลอจิก AND มีสัญลักษณ์ \cap แทนการปฏิบัติการ สามารถกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของ $A \cap B$ หรือ $A \text{ AND } B$ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x)) = \mu_A(x) \wedge \mu_B(x) \quad (2.12)$$

เมื่อ \wedge แทนการกระทำ \min

ยูเนียนเป็นตัวปฏิบัติการที่แทนการกระทำทางลอจิก OR มีสัญลักษณ์ \cup แทนการปฏิบัติการ สามารถกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของ $A \cup B$ หรือ $A OR B$ ดังนี้

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x)) = \mu_A(x) \vee \mu_B(x) \quad (2.13)$$

คอมพลิเมนต์ของฟัซซีเซต A เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $\bar{A}(-A, NOT A)$ สามารถกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกดังนี้

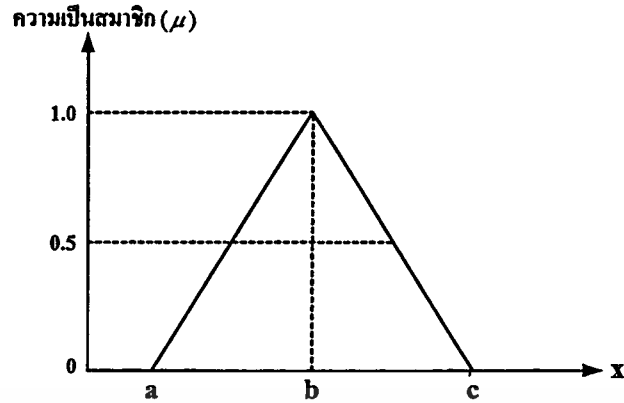
$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (2.14)$$

2.3 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

กำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกได้แบ่งออกเป็นสองอย่างคือ การกำหนดเป็นตัวเลขและการกำหนดเป็นฟังก์ชัน การนิยามเชิงตัวเลขแสดงขีดสูงสุดของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซตนั้นเป็นเวกเตอร์ของจำนวนซึ่งขนาดขึ้นอยู่กับระดับของการแบ่งย่อย การนิยามฟังก์ชันเป็นการกำหนดสมาชิกของฟัซซีเซตสำหรับแสดงให้เห็นเชิงวิเคราะห์ ซึ่งแบ่งสมาชิก (membership grade) ขององค์ประกอบแต่ละตัวในเอกภพสัมพัทธ์ที่กำหนดไว้ ลักษณะการกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซตที่นิยมใช้ ในทางปฏิบัติมีดังนี้

2.3.1 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบสามเหลี่ยม (Δ หรือ T - function) กำหนดนิยามให้ดังต่อไปนี้

$$T(x; a, b, c) = \begin{cases} 0 & \text{เมื่อ } x \leq a, \\ \frac{(x-a)}{(b-a)} & \text{เมื่อ } a \leq x \leq b \\ \frac{(c-x)}{(c-b)} & \text{เมื่อ } b \leq x \leq c, \\ 0 & \text{เมื่อ } x > c \end{cases} \quad (2.15)$$



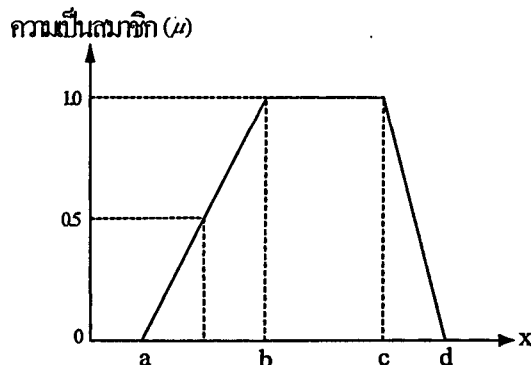
รูปที่ 2.5 แสดงพารามิเตอร์และรูปทรงของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบสามเหลี่ยม

ฟังก์ชันรูปสามเหลี่ยม หรือแบบ T เป็นฟังก์ชันที่มีลักษณะรูปร่างแน่นอน ซึ่งถูกพิจารณาถึงคุณสมบัติโดยการเลือกพารามิเตอร์ a, b, c ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบนี้ปกติใช้กำหนดคุณสมบัติสมาชิกไม่เป็น 0 ทั้งค่า x มากและ x น้อย

2.3.2 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบสี่เหลี่ยมคางหมู กำหนดพารามิเตอร์ได้ 4 พารามิเตอร์ดังนี้

$$(x; a, b, c, d) = \begin{cases} 0; & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ 1; & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}; & c \leq x \leq d \\ 0; & d \leq x \end{cases} \quad (2.16)$$

เมื่อ $a < b < c < d$ พารามิเตอร์ (a, b, c, d) เป็นตัวตัดสินใจค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของ $c-u$

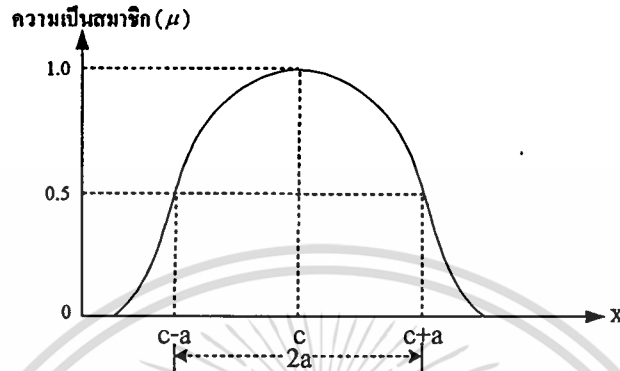


เอกสารรูปที่ 2.6 พารามิเตอร์และรูปทรงของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบสี่เหลี่ยมคางหมู

ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.6 เป็นฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบสี่เหลี่ยมคางหมูที่ใช้กันอย่างกว้างขวางแต่มีข้อด้อยของการเป็นเส้นตรงที่ไม่มี ความราบเรียบของจุดที่เป็นมุมของเส้นตรง

2.3.3 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบระฆังคว่ำ



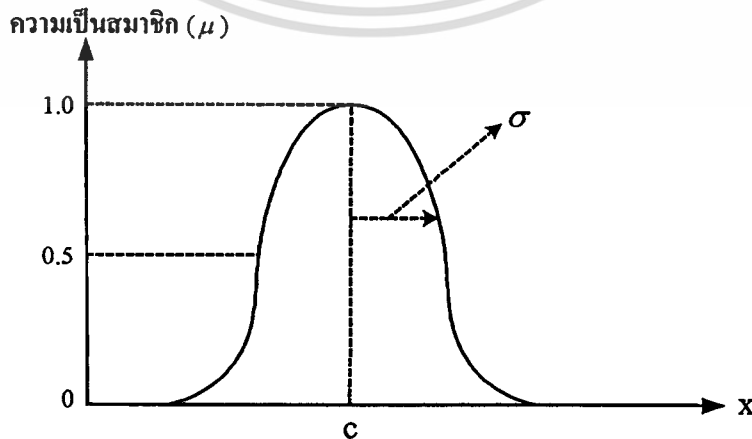
รูปที่ 2.7 พารามิเตอร์และรูปทรงของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบระฆังคว่ำ

จากรูปที่ 2.7 เป็นฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบระฆังคว่ำโดยมี 3 พารามิเตอร์คือ (a, b, c)

$$bell(x; a, b, c) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^{2b}} \quad (2.17)$$

เมื่อ b เป็นค่าจำนวนเต็มบวก

2.3.4 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบเกาส์เซียน



รูปที่ 2.8 รูปทรงของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบเกาส์เซียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.8 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบเกาส์เซียนถูกกำหนดโดยพารามิเตอร์ 2 ตัว คือ (c, σ)

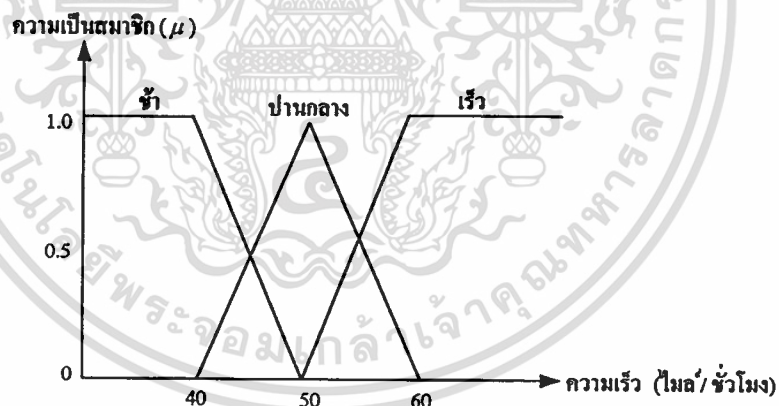
$$Gaussian(x; c, \sigma) = \exp \left[-\left(\frac{x-c}{\sigma} \right)^2 \right] \quad (2.18)$$

เมื่อ c เป็นศูนย์กลางและ σ เป็นความกว้างของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกตามลำดับ

2.4 ตัวแปรทางภาษา

ตัวแปรทางภาษา (linguistic variables) คือ คำพูดหรือประโยคทางธรรมชาติที่สามารถเข้าใจได้ทั่วไป ในการให้ความหมายเพื่อความสะดวกสำหรับการวิเคราะห์ระบบ การประมาณการสรุปข้อมูลและตีความจำนวนของเซตดั้งเดิมในเทอมของฟัซซีเซต

ตัวอย่างของตัวแปรภาษาในส่วนของความเร็ว เช่น ช้า ปานกลาง และเร็ว โดยนำตัวแปรภาษาดังกล่าวไปกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต



รูปที่ 2.9 แสดงตัวแปรภาษากำหนดย่านความเร็วรถ

จากรูปที่ 2.9 ประกอบด้วยฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซตของความเร็ว 3 ฟังก์ชัน คือ ช้า ปานกลาง และเร็ว

ตัวแปรทางภาษาถูกนิยามด้วยฟังก์ชัน 4 เทอม คือ $(x, T(x), U, M)$ โดยที่

x คือ ชื่อตัวแปร หรือปริมาณทางฟิสิกส์ที่ใช้แทน เช่น ความเร็ว เป็นต้น

$T(x)$ คือ เซตตัวแปรทั้งหมดของตัวแปร x เช่น {ช้า, ปานกลาง, เร็ว}

U คือ เอกภพสัมพัทธ์ของ x เช่น $(0, V_{\max})$

เอกสารนี้เป็น M สารที่คือ ความสัมพันธ์ของ x แต่ละค่า ก็ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

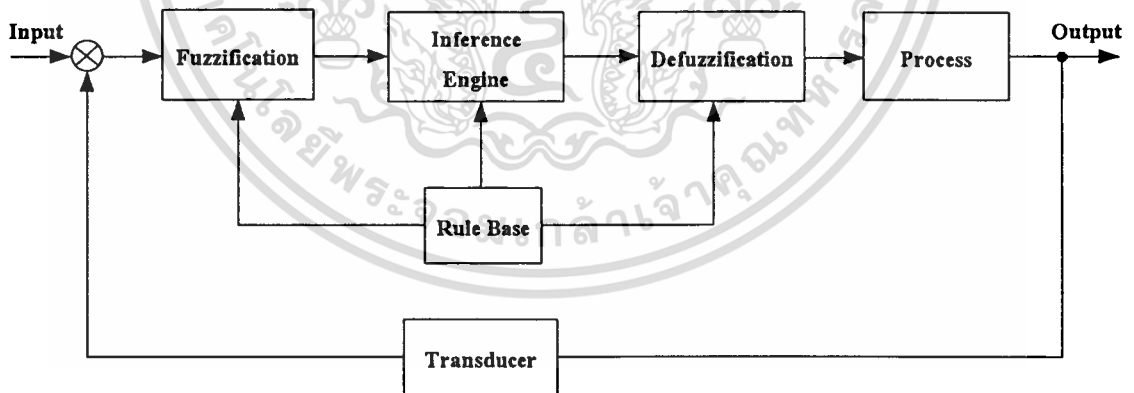
2.5 ตัวควบคุมฟัซซีลอจิก

ตัวควบคุมฟัซซีลอจิก (fuzzy logic controller) สามารถแบ่งได้ 2 ชนิด คือ ชนิดแมมดานิ (Mamdani type) และชนิดทาากาจิ-ซุกะโน (Takagi-Sugeno type) หรือเรียกชื่อย่อว่า ชนิดทีเอส (TS type) [12] โดยเรียกตัวควบคุมฟัซซีลอจิกที่ใช้กฎทีเอสว่า ตัวควบคุมทีเอสฟัซซีลอจิก และเรียกตัวควบคุมที่ใช้กฎแมมดานิฟัซซีลอจิกว่า ตัวควบคุมแมมดานิฟัซซีลอจิก หรือในบางครั้งเมื่อกล่าวถึงตัวควบคุมฟัซซีลอจิกทั่วไปก็จะหมายถึงตัวควบคุมแมมดานิฟัซซีลอจิก

ตัวควบคุมฟัซซีลอจิกหรือเรียกชื่อย่อโดยทั่วไปว่า FLC มีองค์ประกอบหลัก 4 ส่วนได้แก่ ฟัซซีฟิเคชัน ฐานความรู้ กลไกอนุมาน และดีฟัซซีฟิเคชัน

2.5.1 ฟัซซีฟิเคชัน

การฟัซซีฟิเคชัน ทำหน้าที่แปลงข้อมูลแบบธรรมดาให้ไปอยู่ในรูปของตัวแปรทางภาษา หรือตัวแปรฟัซซีลอจิก การแปลงข้อมูลทางด้านอินพุตที่ประกอบด้วยเซตของค่าผิดพลาด (*error:e*) และเซตของอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าผิดพลาด (*change of error:ce*) ของค่าเป้าหมายและค่าที่วัดได้ตามลำดับ จากรูปที่ 2.10 แสดงระบบควบคุมฟัซซีที่มีตัวควบคุมฟัซซีลอจิกที่ประกอบด้วย ฟัซซีฟิเคชัน ฐานความรู้ กลไกอนุมาน ดีฟัซซีฟิเคชัน กระบวนการ และทรานสดิวเซอร์



รูปที่ 2.10 ระบบควบคุมที่ใช้ตัวควบคุมฟัซซี

การเลือกจำนวนและลักษณะรูปร่างของฟัซซีเซต คือพารามิเตอร์หนึ่งในการออกแบบตัวควบคุมฟัซซีลอจิก ซึ่งขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ออกแบบโดยอาศัยหลักเกณฑ์ต่างๆ เช่น ความรู้และประสบการณ์ที่มีต่อกระบวนการที่จะควบคุม เพราะไม่มีหลักการและขั้นตอนทางคณิตศาสตร์

ในการเลือกอินพุตฟัซซีเซต โดยทั่วไปจำนวนฟัซซีเซตสำหรับแต่ละตัวแปรอินพุตอาจจะเท่ากันหรือไม่เท่ากันก็ได้ แต่อยู่ในช่วง 2 ถึง 13 ฟัซซีเซต(ไม่ควรมากกว่านี้)

2.5.2 ฐานความรู้ฟัซซีลอจิก

ฐานความรู้ฟัซซีลอจิกประกอบด้วยส่วนสำคัญสองส่วน คือ ฐานข้อมูล (data base) เป็นส่วนที่เก็บฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซตและสเกลต่างๆที่ใช้ในการนอร์มอลไลเซชัน (normalization) และฐานกฎ (rule base) เป็นส่วนที่เก็บกฎที่ใช้ในการควบคุมระบบ ซึ่งอยู่ในรูปของ IF-THEN คือ IF (process state) THEN (control output) เมื่อ process state เป็นอินพุตฟัซซีเซต และ control output เป็นเอาต์พุตฟัซซีเซต

จำนวนกฎฟัซซีลอจิกจะสัมพันธ์กับจำนวนอินพุตฟัซซีเซต นั่นคือ ถ้า e เป็นอินพุตฟัซซีเซตของค่าผิดพลาด และ ce ซึ่งเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าผิดพลาดที่มีจำนวนอินพุตฟัซซีเซตเท่ากับ N_1 และ N_2 แล้ว กฎฟัซซีลอจิกสามารถมีได้มากที่สุด $N_1 \times N_2$ กฎ ในทางปฏิบัติอาจมีน้อยกว่าได้ และในการออกแบบกฎฟัซซีลอจิกนั้นอาศัยหลักการเกี่ยวกับการออกแบบอินพุตฟัซซีเซตคือ ใช้ความรู้และประสบการณ์ที่มีต่อกระบวนการที่ถูกควบคุม โดยอยู่บนพื้นฐานของการลงมือทดลองจนได้ผลตอบสนองเป็นที่พอใจ

2.5.3 กลไกอนุมาน

หน่วยกลไกอนุมานทำหน้าที่หาผลลัพธ์ของกฎการควบคุมจากค่าตัวแปรอินพุตฟัซซีเซตค่าความเป็นสมาชิกที่ได้จากปฏิบัติการฟัซซีลอจิกในส่วนมูลเหตุ (antecedent) และเงื่อนไขโดยทั่วไปการเชื่อมโยงของเหตุผลจะมี 2 ชนิดคือ [14,15]

- Generalized modus ponens (GMP) คือการสรุปจากเหตุไปหาผล
- Generalized modus tollens (GMT) คือการสรุปจากผลไปหาเหตุ

รูปแบบของทั้ง 2 วิธีมีดังนี้

GMP :

- Premise : x is A'
- Implication : if x is A then y is B
- Consequence : y is B'

GMT:

- Premise : y is B'
- Implication : if x is A then y is B
- Consequence : x is A'

โดย

A, A', B, B'	คือ ฟัซซีเซต
x, y	คือ ตัวแปรทางภาษา
$\mu_R(x, y)$	คือ ค่าความเป็นสมาชิกของความสัมพันธ์ของ A และ B
$\mu_A(x), \mu_B(y)$	คือ ค่าความเป็นสมาชิกของตัวแปร x และ y
f_{imp}	คือ ฟังก์ชันการอิมพลีเคชัน (implication) หรือฟังก์ชันการเชื่อมโยงค่าความเป็นสมาชิกของความสัมพันธ์ฟัซซีลอจิก

$$\mu_R(x, y) = f_{imp}(\mu_A(x), \mu_B(y)) ; x \in U, y \in V \quad (2.19)$$

โดยทั่วไป ในการสร้างตัวควบคุมฟัซซีลอจิกจะนิยมใช้การเชื่อมโยงแบบ GMP และใช้ f_{imp} ด้วยวิธีแมมดานี โดยสร้างเป็นกฎได้ดังนี้

R_1 : IF X IS A_1 AND Y IS B_1 THEN Z IS C_1

R_2 : IF X IS A_2 AND Y IS B_2 THEN Z IS C_2

โดยที่

A_1, B_1, A_2, B_2	คือ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุต
C_1, C_2	คือ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเอาต์พุต
R_1, R_2	คือ กฎความสัมพันธ์ฟัซซีลอจิก
Z	คือ ตัวแปรทางภาษาในเอกภพสัมพัทธ์ U, V และ W ตามลำดับ
α_1, α_2	คือ ระดับความเป็นสมาชิกของ 2 อินพุต (fire strength)

จะได้ค่าความเป็นสมาชิกของผลสรุป (μ_c)

$$\alpha_1 = \min(\mu_{A_1}(x_0), \mu_{B_1}(y_0))$$

$$\alpha_2 = \min(\mu_{A_2}(x_0), \mu_{B_2}(y_0))$$

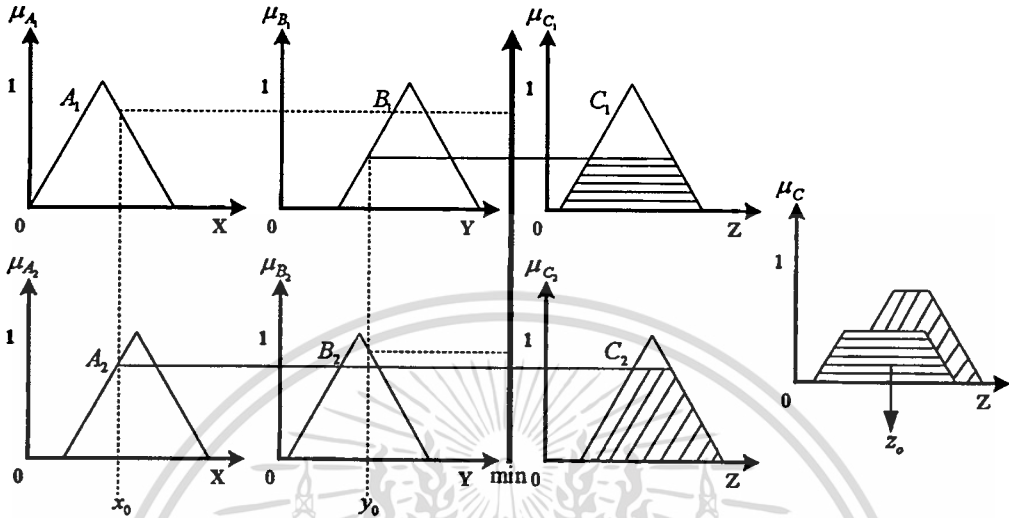
$$\mu_{c_i}(z) = \min(\alpha_i, \mu_c(z))$$

$$\mu_c(z) = \max(\mu_{c_1}, \mu_{c_2})$$

(2.20)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลของการหาค่าระดับความเป็นสมาชิกสามารถทำการอนุมานในแบบของแมมดานิ ได้ดังในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 การอนุมานโดยวิธีของแมมดานิ

2.5.4 คีพีซซีพีเคชัน

หน่วยคีพีซซีพีเคชัน ทำหน้าที่แปลงผลลัพธ์กฎการควบคุมที่อยู่ในรูปตัวแปรฟัซซีลอจิกให้เป็นคริสป์เซต และทำการสเกลกลับมาให้อยู่ในเอกภพสัมพัทธ์เดิมที่จะเป็นฟัซซีพีเคชัน วิธีการคีพีซซีพีเคอร์ นั้นมีหลายวิธี แต่ในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงวิธีที่นิยมใช้เพียง 2 วิธี ดังนี้

2.5.4.1 การเลือกค่าสูงสุด (mean of maximum: MOM) เป็นวิธีการที่ง่ายสุดในการเลือกข้อมูลเอาต์พุต (Z_0) เป็นการนำค่าสูงสุดของค่าระดับการเป็นสมาชิกจากการกระทำหลายๆแบบแล้วเลือกกระทำเพียงหนึ่งรูปแบบ

$$Z_0 = \max_{x \in U} \mu_A(x) \quad (2.21)$$

ถ้าหากเกิดการกระทำที่มีค่า μ สูงสุดเท่ากันมากกว่าสองค่าจะต้องใช้รูปแบบการแก้ปัญหาอีกลักษณะหนึ่งคือ ใช้ค่าเฉลี่ยของข้อมูลอินพุต

$$Z_0 = \sum_{j=1}^i \frac{V_j}{J} \quad (2.22)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ V_j คือค่าเอาต์พุตแต่ละค่าที่มีค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเท่ากัน
 J คือจำนวนเอาต์พุตที่มีค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกสูงสุดเท่ากัน
 $V_i = \max \mu_v(V)$

และ $j = |\{V\}|$ เป็นจำนวนของความเป็นสมาชิก

ตัวอย่างระบบควบคุมฟัซซีลอจิกเพื่อควบคุมการเปิดปิดของลิ้นบังคับน้ำมันเครื่องยนต์ ถ้าผลการกระทำของตัวแปรเอาต์พุตมีค่าความเป็นสมาชิก (μ) ของลิ้นบังคับน้ำมันคือ $\mu_{\text{very slow}}$ เท่ากับ 0.75 μ_{slow} เท่ากับ 0.20 และ μ_{normal} เท่ากับ 0.40 ดังนั้น การกระทำของลิ้นบังคับน้ำมันจะให้ค่า μ_{normal} เท่ากับ 0.75 เพราะว่า 0.75 เป็นค่าสูงสุด ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดสำหรับดิฟฟัซซีเคชัน

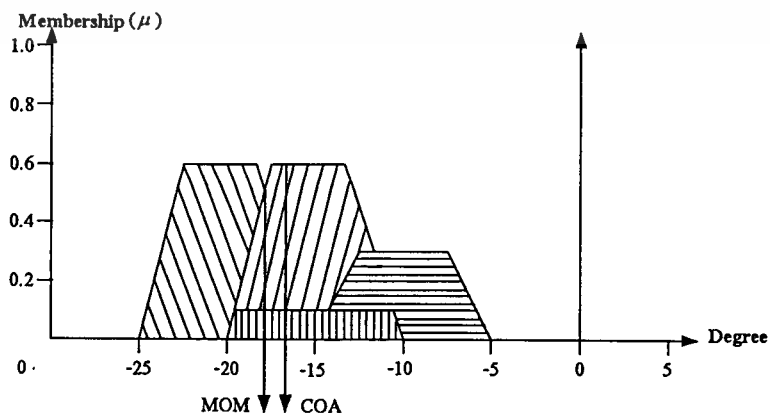
2.5.4.2 กรรมวิธีค่าศูนย์กลาง (center of area: COA) เป็นการแบ่งจุดศูนย์กลางของพื้นที่ค่าความเป็นสมาชิกออกเป็นสองส่วนเพื่อหาจุดศูนย์กลางถ่วงของน้ำหนัก ค่าของเอาต์พุตแสดงได้ดังนี้

$$Z_0 = \frac{\int v \mu_B(v) dv}{\int \mu_B(v) dv} \tag{2.23}$$

สำหรับเอกพหุสัมพัทธ์ที่มีสมาชิกเป็นค่าไม่ต่อเนื่อง (discrete) ที่แบ่งระดับข้อมูลเอาต์พุตออกเป็น m ระดับ แสดงได้ดังสมการ (2.24)

$$Z_0 = \frac{\sum_{k=1}^m v_k \mu_{v(v_k)}}{\sum_{k=1}^m \mu_{v(v_k)}} \tag{2.24}$$

เมื่อ v_k คือค่าเอาต์พุตแต่ละส่วน
 μ_{v_k} คือค่าความเป็นสมาชิกของเอาต์พุตแต่ละส่วน



เอกสรูปที่ 2.12 แสดงผลจากการดิฟฟัซซีฟิเคชันแบบ MOM และ COA มอนูญูตให้หน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.12 ถ้ากราฟแสดงความเป็นสมาชิกของการเปิดปิดวาล์วน้ำมันสำหรับหัวฉีด มีค่าแสดงความไม่ต่อเนื่องของฟังก์ชันเป็นดังนี้

$$\frac{0.6}{-20} + \frac{0.6}{-15} + \frac{0.32}{-10} + \frac{0.1}{-5} + \frac{0}{0}$$

ใช้ MOM คีฟฟังก์ชันเคชัน ด้วยสมการ (2.21)

$$Z_0 = \frac{-20}{1} + \frac{-15}{2}$$

เมื่อ Z_0 คือข้อมูลเอาต์พุตแทนการปรับวาล์ว ดังนั้น จะได้มุมที่ต้องปรับวาล์ว = -17.5 องศา

ใช้ COA คีฟฟังก์ชันเคชันด้วยสมการ (2.23)

$$Z_0 = \frac{[(-20 \times 0.6) + (-15 \times 0.6) + (-10 \times 0.32) + (-15 \times 0.1)]}{(0.6 + 0.6 + 0.32 + 0.1)}$$

จะได้มุมที่ต้องปรับวาล์ว = -15.86 องศา

2.6 แนวทางการออกแบบกฎ

แนวทางการออกแบบกฎแบ่งได้เป็น 2 วิธี [15] คือ วิธีเฮอริสติก (Heuristic approach) และ วิธีดีเทอร์มินติก (deterministic approach)

2.6.1 วิธีเฮอริสติก

วิธีเฮอริสติก เป็นการออกแบบกฎจากพฤติกรรมตอบสนองของระบบที่ได้จากการทดลอง หรือประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญ โดยพิจารณาจากความสัมพันธ์ของอินพุตและผลตอบสนอง

พิจารณาระบบควบคุมฟังก์ชันลอจิกแบบปิดแสดงในรูปที่ 2.13 มีค่าอินพุต 2 ตัวคือ ค่าผิดพลาด (e) และอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าผิดพลาด (ce) โดยมีค่าเอาต์พุต (u) จากระบบควบคุมฟังก์ชันลอจิกเป็นสัญญาณควบคุมกระบวนการ แสดงการตอบสนองของการเปลี่ยนแปลงระดับ ดังรูปที่ 2.14 สามารถสร้างระบบฟังก์ชันที่มีเฟสเพลน (phase plane) ระหว่าง ค่าอินพุตทั้งสองดังรูปที่ 2.15 สมรรถนะที่ต้องการคือค่าเวลาการไต่ขึ้นของผลตอบสนอง (rise time) และเปอร์เซ็นต์ค่าพุ่งเกินต่ำ

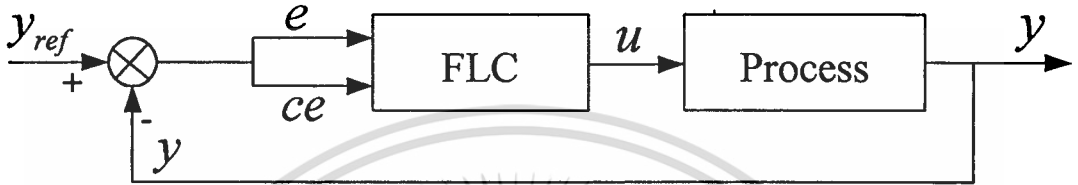
ซึ่งสามารถแบ่งช่วงผลตอบสนองออกเป็นช่วงๆ และกำหนดเพื่อให้ได้ผลตอบสนองตามที่ต้องการได้ เช่น

- ถ้าต้องการค่าเวลาการเข้าที่สั้น สามารถออกแบบกฎได้เป็น

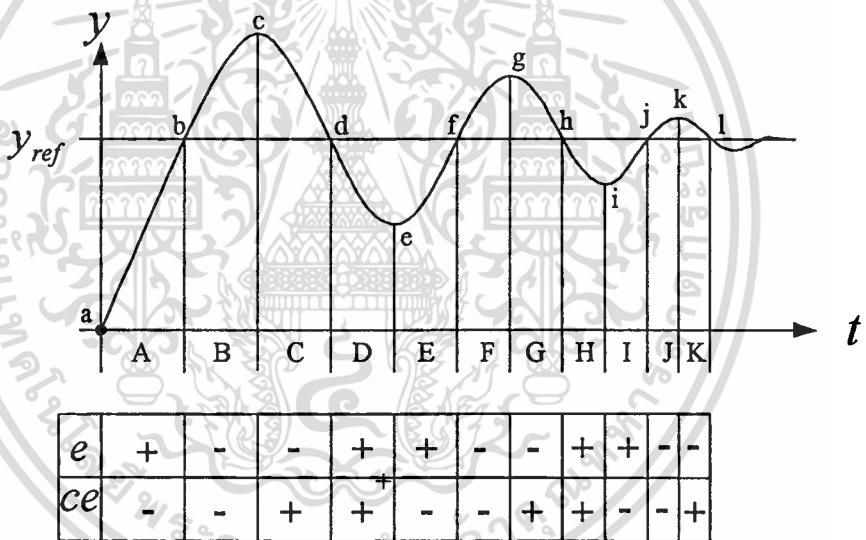
IF (e) is positive AND (ce) is negative THEN u is positive

- ถ้าต้องการลดค่าเปอร์เซ็นต์การพุ่งเกิน

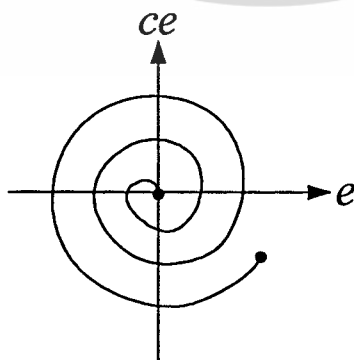
IF (e) is negative AND (ce) is negative THEN u is negative



รูปที่ 2.13 ระบบควบคุมฟัซซีแบบรูปปิด



รูปที่ 2.14 ผลการตอบสนองแบบขึ้นและการแบ่งช่วงความสัมพันธ์ของ e และ ce



รูปที่ 2.15 เฟสเพลนของ e และ ce

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ความสัมพันธ์ของตัวแปรอินพุตและเอาต์พุตของการออกแบบกฎ

Rule no.	<i>e</i>	<i>ce</i>	Output	Reference
1	P	Z	P	points a, e, I
2	Z	N	N	points b, f, j
3	N	Z	N	Points c, g, k
4	Z	P	P	Points d, h, l
5	Z	N	Z	Set points
6	P	N	P	Range A, E

จากหลักเกณฑ์ดังกล่าว สามารถสร้างเป็นตารางความสัมพันธ์อินพุตและเอาต์พุตได้ดังตารางที่ 3.1 โดย N Z และ P เป็นตัวแปรภาษาที่แทนความหมายของ Negative Zero และ Positive ตามลำดับ ซึ่งจะใช้เป็นแนวทางในการสร้างกฎฟัซซี่ลอจิกต่อไป

2.6.2 วิธี ดีเทอร์มินติก

เป็นวิธีสร้างแบบจำลองอ้างอิงและนำไปออกแบบกฎการควบคุม ซึ่งจะไม่มีขอล่าในนี้ รายละเอียดดูจาก [15]

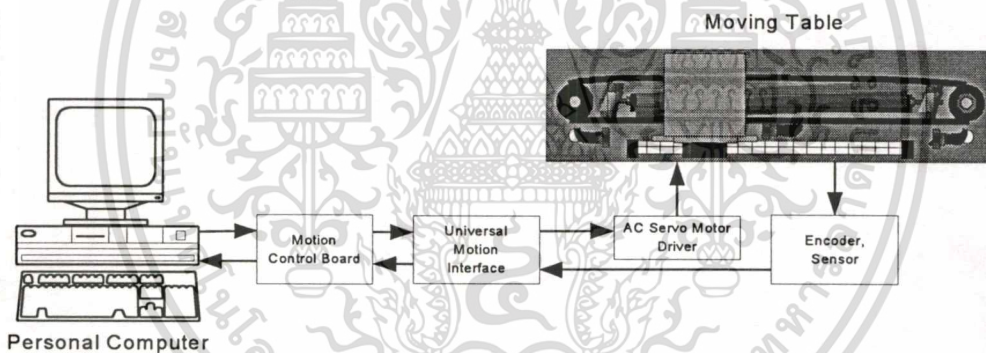
จากหลักการทฤษฎีการควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกที่กล่าวมา จะนำไปออกแบบตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิกร่วมกับตัวเปลี่ยนความเร่ง เพื่อควบคุมตำแหน่งของโต๊ะงานเคลื่อนที่แบบ 1 แกนซึ่งจะได้กล่าวรายละเอียดต่อไปในบทที่ 4

บทที่ 3

โครงสร้างของโต๊ะงานเคลื่อนที่แบบ 1 แกน

จากทฤษฎีฟัซซีลอจิกที่ผ่านมาจะเห็นว่า ตัวควบคุมฟัซซีลอจิกที่ใช้เป็นตัวควบคุมกระบวนการต่าง ๆ นั้น จะต้องกำหนดตัวแปรที่นำมาใช้เป็นตัวแปรอินพุตและเอาต์พุต การรู้โครงสร้างของกระบวนการที่จะควบคุมจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการทำความเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตของระบบควบคุม ในกรณีที่นำตัวควบคุมฟัซซีลอจิกไปใช้ควบคุมตำแหน่งของโต๊ะงานเคลื่อนที่แบบ 1 แกน ก็มีความจำเป็นต้องทราบถึงโครงสร้างของโต๊ะงานเคลื่อนที่ เพื่อกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆที่จะนำมาพิจารณาหาความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตซึ่งจะเป็นค่าตัวแปรเพื่อการออกแบบกฎการควบคุมต่อไป

3.1 ส่วนประกอบของระบบควบคุมตำแหน่งโต๊ะงานเคลื่อนที่แบบ 1 แกน

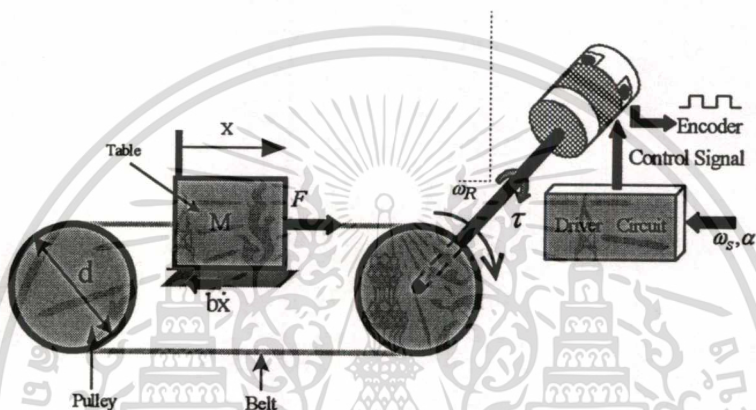


รูปที่ 3.1 แสดงส่วนประกอบของระบบควบคุมตำแหน่งโต๊ะงานเคลื่อนที่แบบ 1 แกน

รูปที่ 3.1 แสดงส่วนประกอบของระบบควบคุมตำแหน่งโต๊ะงานเคลื่อนที่แบบ 1 แกน (ซึ่งต่อไปจะเรียกว่า โต๊ะงานเคลื่อนที่) ประกอบด้วย คอมพิวเตอร์ทำงานด้วยสัญญาณนาฬิกาขนาด 330 MHz เพื่อควบคุมตำแหน่งของโต๊ะงานโดยใช้โปรแกรมวิซวลเบสิกเป็นตัวเรียกตัวควบคุมฟัซซีลอจิกที่ออกแบบโดยทูลบ็อกซ์ฟัซซีลอจิก (fuzzy logic toolbox) ในโปรแกรมเมทแลปผ่านทางแอกตีฟเอ็กซ์ (รายละเอียดในภาคผนวก ก) โดยบอร์ดเชื่อมต่อมาตรฐาน (universal motion interface: UMI) เป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างบอร์ดควบคุม (PC-Servo-4A) กับชุดจ่ายกำลังขับเคลื่อนเซอร์โวมอเตอร์ (MR-J2-10A1) โดยมีมอเตอร์มีพิทช์กำลังขนาด 50 วัตต์ (3000 รอบต่อนาที) ส่วนประกอบของโต๊ะงานเคลื่อนที่ประกอบด้วย เอซีเซอร์โวมอเตอร์ โรตารีเอ็นโค้ดเดอร์ โฟโด้สเทลเลนเซอร์ พูลเลย์ สายพาน และรางเลื่อน (linear guide) การเคลื่อนที่ของโต๊ะงานที่ต้องการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควบคุมถูกต้องอยู่กับสายพานผ่านพูลเลย์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง d เท่ากับ 31 มิลลิเมตร ที่เชื่อมต่อกับแกนของเอซีเซอร์โวมอเตอร์ สำหรับโฟโตสเกลเซนเซอร์ทำหน้าที่ตรวจจับตำแหน่งปัจจุบันของการเคลื่อนที่ด้วยความละเอียดเท่ากับ 0.1 มิลลิเมตร ระยะการเคลื่อนที่ตลอดแนวระนาบของโต๊ะงานจะเคลื่อนที่เป็นระยะทาง 320 มิลลิเมตร โดยมีระยะทางต่อการหมุน 1 รอบของเอซีเซอร์โวมอเตอร์เท่ากับ 917.4 มิลลิเมตร

3.2 แบบจำลองของโต๊ะงานเคลื่อนที่



รูปที่ 3.2 แสดงแบบจำลองของโต๊ะงานเคลื่อนที่แบบ 1 แกน

แบบจำลองโต๊ะงานเคลื่อนที่แบบ 1 แกนที่แสดงในรูปที่ 3.2 นั้นได้ใช้เอซีเซอร์โวมอเตอร์ (ต่อไปจะเรียกว่า มอเตอร์) เป็นตัวขับเคลื่อน โดยมีพารามิเตอร์ดังนี้

- M คือ น้ำหนักของโต๊ะงานเคลื่อนที่ (kg)
- d คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของพูลเลย์ (m)
- F คือ แรงกระทำที่ทำให้โต๊ะงานเคลื่อนที่ (N)
- b คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทาน ($N - s / m^2$)
- x คือ ระยะทางการเคลื่อนที่ของโต๊ะงาน (m)
- τ คือ ทอร์กของมอเตอร์ (Nm)
- ω_R คือ ความเร็วจริงของมอเตอร์ (rpm)
- ω_s คือ ความเร็วที่กำหนดของมอเตอร์ (rpm)
- α คือ ความเร่งเชิงมุมที่กำหนดของมอเตอร์ (rev / s^2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการหาแบบจำลองของโตะงานเคลื่อนที่นั้นได้กำหนดเงื่อนไขเบื้องต้นในการพิจารณาดังต่อไปนี้

- ค่าเหลื่อมเวลา (delay time) ระหว่างวงจรขับสัญญาณ (driver circuit) และมอเตอร์มีค่าน้อยมาก
- ไม่มีค่าสลิป (slip) เกิดขึ้นระหว่างพูลเลย์และสายพาน
- สายพานไม่มีความหย่อนยาน
- ไม่เกิดความสูญเสียทางกลระหว่างมอเตอร์และโรตารีเอ็นโค้ดเดอร์ และระหว่างตัวโตะงานกับรางเลื่อน

ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของสมการอนุพันธ์ของแรงที่กระทำทำให้โตะงานเคลื่อนที่ จะมีความสัมพันธ์ดังนี้

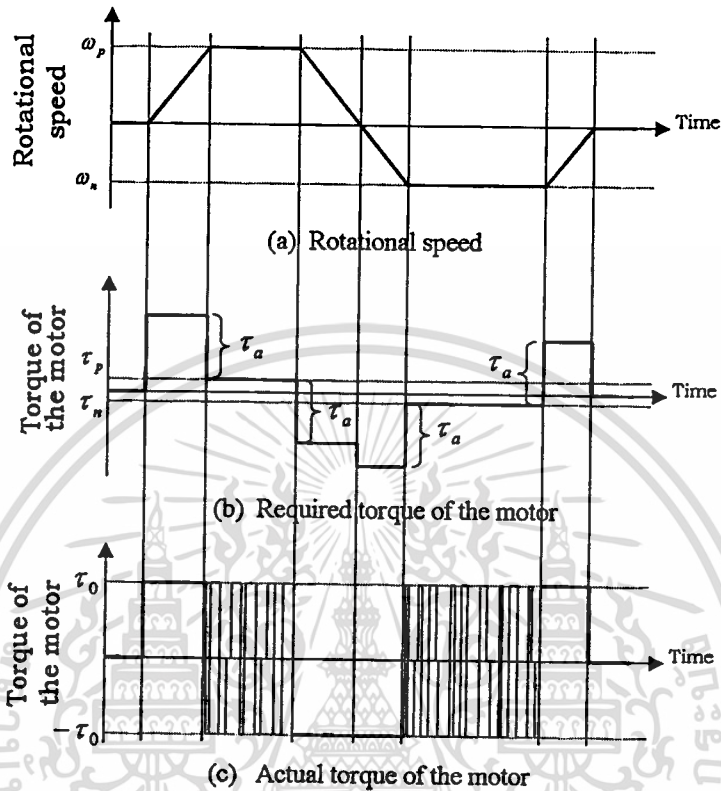
$$\begin{aligned} M\ddot{x} &= F - b\dot{x} \\ F &= M\ddot{x} + b\dot{x} \end{aligned} \quad (3.1)$$

และความสัมพันธ์ระหว่างทอร์กของมอเตอร์และเส้นผ่าศูนย์กลางของพูลเลย์ d จะได้แรงกระทำ F ที่กระทำกับโตะงานเคลื่อนที่ดังสมการ

$$F = \frac{\tau}{d/2} \quad (3.2)$$

รูปที่ 3.3(a) แสดงความเร็วเชิงมุม (rotational speed) เมื่อมอเตอร์ถูกขับให้หมุนด้วยค่าความเร็วจาก 0 ถึงค่าความเร็วคงที่ (constant rotational speed) ω_p ทำให้เกิดทอร์ก τ_n และเมื่อมอเตอร์หมุนด้วยความเร็วคงที่แล้ว ค่าทอร์กมอเตอร์จะลดลงเป็น τ_p ดังแสดงในรูปที่ 3.3(b) เพื่อให้สามารถต้านแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างโตะงานและรางเลื่อน แต่เนื่องจากการควบคุมการหมุนของมอเตอร์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ เป็นการควบคุมกระแสไหลผ่านมอเตอร์ด้วยวงจรพัลส์วีดมอดูเลเตอร์ (Pulse Width Modulator: PWM) [17] จึงทำให้ทอร์กของมอเตอร์ที่เกิดขึ้นจริงเป็น τ_0 เมื่อความเร็วเชิงมุมเปลี่ยนจากค่า 0 ถึงค่าความเร็วคงที่ ω_p และกรณีการหมุนในทิศตรงกันข้ามความเร็วเชิงมุมจะเปลี่ยนจาก 0 เป็นค่าความเร็วคงที่ ω_n ทำให้เกิดทอร์กของมอเตอร์ที่เกิดขึ้นจริงเป็น $-\tau_0$ ดังแสดงในรูปที่ 3.3(c) ค่าความเร็วคงที่ทั้ง ω_p และ ω_n เป็นค่าความเร็วที่ได้มาจากความเร่งเชิงมุมที่กำหนดของมอเตอร์ (setting rotational acceleration) α การพิจารณาทอร์กทางไฟ

ฟ้าของเอชึมอเตอร์ที่แสดงในรูปที่ 3.3 จะพิจารณาเฉพาะในส่วนที่เป็น τ_0 และ $-\tau_0$ โดยกำหนดให้ $\tau_0 > \tau_p$ และ $-\tau_0 < \tau_n$



รูปที่ 3.3 แสดงทอร์กของมอเตอร์เพื่อขับเคลื่อนโ้ทำงาน [17]

ทอร์กทางไฟฟ้าของมอเตอร์ τ_0 จะเป็นสัดส่วนกับความเร่งเชิงมุมที่กำหนดของมอเตอร์ α โดยมีความสัมพันธ์ ดังนี้

$$\tau_0 = \begin{cases} K_1 \alpha & (\omega_R < \omega_S) \\ 0 & (\omega_R = \omega_S) \\ -K_1 \alpha & (\omega_R > \omega_S) \end{cases} \quad (3.3)$$

เมื่อ K_1 เป็นค่าคงที่ จากสมการ (3.2) และ (3.3) สามารถหาค่าแรง F ที่กระทำต่อโ้ทำงานเคลื่อนที่คือ

$$F = \begin{cases} \frac{2K_1}{d} \alpha & (\omega_R < \omega_S) \\ 0 & (\omega_R = \omega_S) \\ -\frac{2K_1}{d} \alpha & (\omega_R > \omega_S) \end{cases} \quad (3.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ d เป็นเส้นผ่าศูนย์กลางของพูลเลย์ ดังนั้น จากสมการ (3.1) ถึง (3.4) ค่าความเร่งเชิงเส้น a หาได้จาก

$$a = \pi d^* \begin{cases} \alpha & (\omega_R < \omega_S) \\ 0 & (\omega_R = \omega_S) \\ -\alpha & (\omega_R > \omega_S) \end{cases} \quad (3.5)$$

แรงกระทำ F ที่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าความเร็วเชิงเส้น a จะเขียนได้ดังนี้

$$F = K_2 a \quad (3.6)$$

เมื่อ K_2 เป็นค่าคงที่ แทนค่าสมการ (3.6) ในสมการ (3.1) จะได้ความสัมพันธ์ใหม่เป็น

$$\begin{aligned} a &= \frac{M}{K_2} \ddot{x} + \frac{b}{K_2} \dot{x} \\ &= r_1 \ddot{x} + r_2 \dot{x} \end{aligned} \quad (3.7)$$

ดังนั้น ฟังก์ชันถ่ายโอนของสมการ (3.7) ซึ่งจะเป็นระบบอันดับสองและระบบชนิด 1 (type 1 system) คือ

$$\frac{X(s)}{A(s)} = \frac{1}{s(r_1 s + r_2)} \quad (3.8)$$

เมื่อ r_1 และ r_2 เป็นสัมประสิทธิ์ของน้ำหนักและแรงเสียดทานของโตะงานเคลื่อนที่มีค่าเท่ากับ $\frac{M}{K_2}$ และ $\frac{b}{K_2}$ ตามลำดับ โดยมีอินพุตเป็นความเร่งและเอาต์พุตเป็นตำแหน่งเป้าหมายที่ต้องการควบคุม

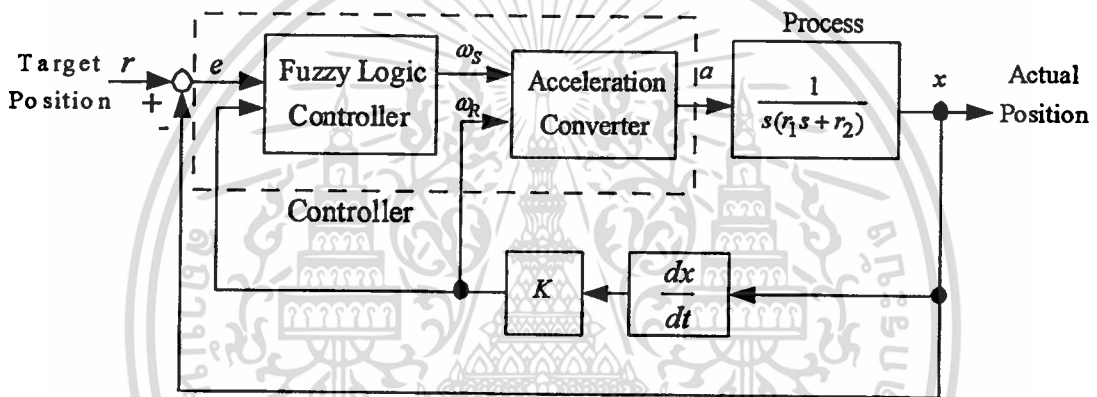
เมื่อทราบแบบจำลองของโตะงานเคลื่อนที่แล้ว ขั้นตอนต่อไปก็เป็นการเลือกตัวควบคุมที่มีข้อได้เปรียบและความเหมาะสมของแต่ละแบบเมื่อนำมาเป็นตัวควบคุม ในวิทยานิพนธ์นี้ได้เลือกตัวควบคุมพีซซีลอจิกร่วมกับตัวเปลี่ยนความเร่งเพื่อใช้เป็นตัวควบคุมโตะงานเคลื่อนที่ เพราะต้องการให้การเคลื่อนที่เข้าสู่ตำแหน่งเป้าหมายได้รวดเร็วปราศจากค่าพุ่งเกิน ดังนั้น ในบทต่อไปจะกล่าวถึงการออกแบบตัวควบคุมดังกล่าวโดยละเอียด สำหรับการหาพารามิเตอร์ r_1 และ r_2 จะได้กล่าวในบทที่ 5 ต่อไป

บทที่ 4

การออกแบบตัวควบคุมฟัซซีลอจิกและตัวเปลี่ยนความเร่ง

จากบทที่ 3 ได้ทราบถึงแบบจำลองของการควบคุมโตะงานเคลื่อนที่แบบ 1 แกน ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างเอาต์พุตและอินพุตเป็นตำแหน่งเป้าหมายและความเร่งของโตะงานตามลำดับแล้ว ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการออกแบบตัวควบคุมฟัซซีลอจิกและตัวเปลี่ยนความเร่งต่อไป

4.1 ระบบควบคุมตำแหน่ง

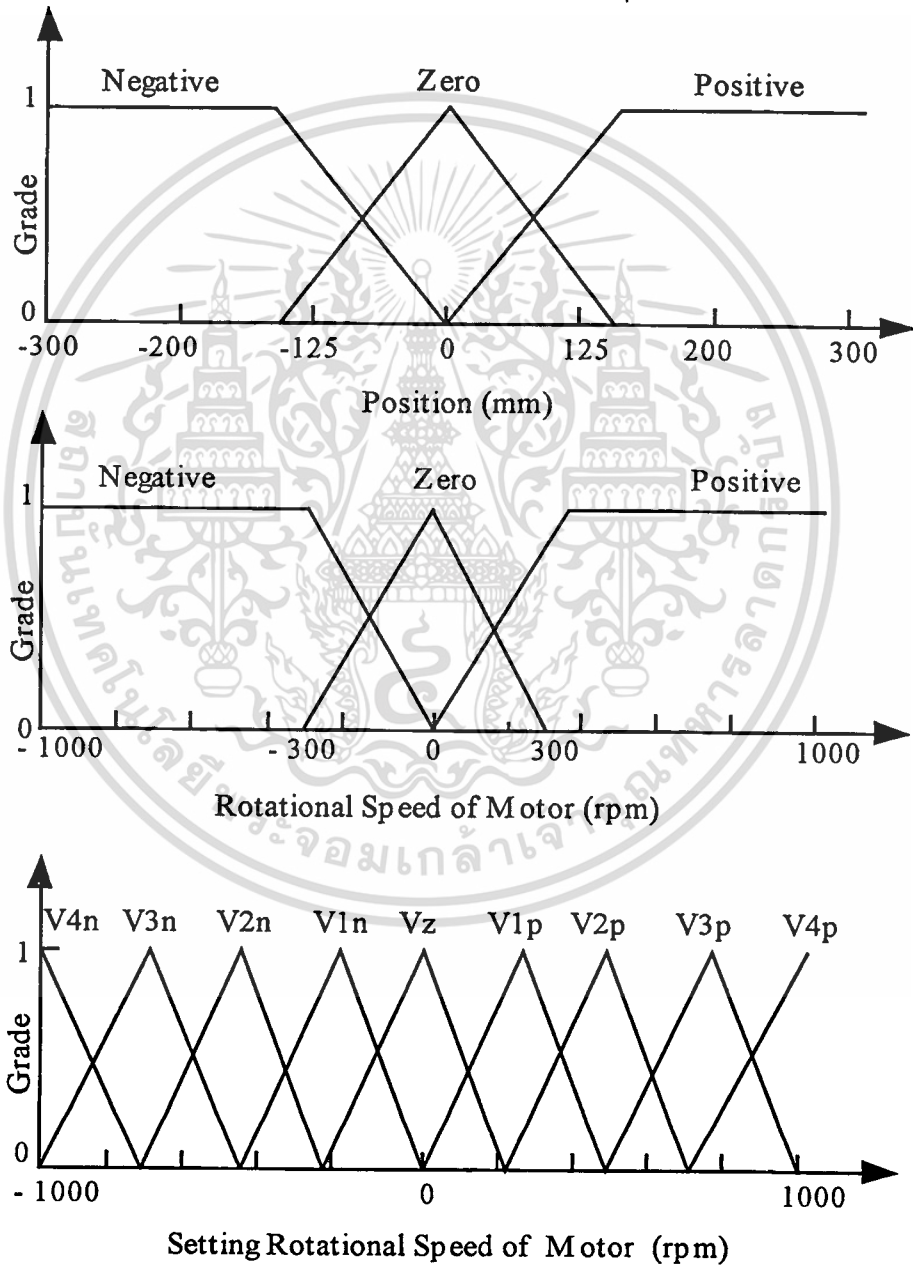


รูปที่ 4.1 แสดงระบบควบคุมตำแหน่งของโตะงานเคลื่อนที่แบบ 1 แกน

โครงสร้างของระบบควบคุมตำแหน่งที่แสดงในรูปที่ 4.1 ประกอบด้วยโตะงานเคลื่อนที่และตัวควบคุม มีตัวเปลี่ยนความเร็ว ($\frac{dx}{dt}$) และ K ทำหน้าที่เปลี่ยนตำแหน่งของโตะงานเป็นความเร็วจริงของมอเตอร์ ω_R โดย K มีค่าเท่ากับ $60/(\pi * d)$ ตัวควบคุมประกอบด้วยตัวควบคุมฟัซซีลอจิกและตัวเปลี่ยนความเร่ง ที่นำตำแหน่งการเคลื่อนที่จริง (actual position) x มาหาอนุพันธ์เพื่อให้ได้ความเร็วจริงของมอเตอร์ ω_R ป้อนเป็นอินพุตให้กับตัวควบคุมฟัซซีลอจิกและตัวเปลี่ยนความเร่ง ตัวแปรอินพุตของตัว ควบคุมฟัซซีลอจิกประกอบด้วยค่าผิดพลาดของตำแหน่ง (position error) ระหว่างตำแหน่งเป้าหมาย (target position) กับตำแหน่งการเคลื่อนที่จริงของโตะงาน x และความเร็วจริงของมอเตอร์ ω_R เอาต์พุตที่ได้จากตัวควบคุมฟัซซีลอจิกเป็นความเร็วที่กำหนดของมอเตอร์ ω_s ป้อนเป็นอินพุตให้กับตัวเปลี่ยนความเร่ง ซึ่งตัวเปลี่ยนความเร่งจะนำเอาความเร็วที่ได้จากเอาต์พุตของตัวควบคุมฟัซซีลอจิก ω_s และความเร็วจริงของมอเตอร์ ω_R มากระทำทางลอจิกเพื่อให้ได้เอาต์พุตเป็นความเร่งเชิงเส้น α ไปควบคุมโตะงานให้เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งเป้าหมาย x ตามที่ต้องการ

4.2 การออกแบบตัวควบคุมฟuzzyลอจิก

โครงสร้างของตัวควบคุมฟuzzyลอจิกจะประกอบด้วย ฟuzzyฟิเคชัน การอนุมาน และการดีฟuzzyฟิเคชัน ในวิทยานิพนธ์นี้ใช้โครงสร้างของตัวควบคุมฟuzzyลอจิกเป็นแบบแมมดานีที่มีตัวแปรอินพุตสองตัว คือ ค่าผิดพลาดของตำแหน่ง e และความเร็วจริงของมอเตอร์ ω_R โดยมีความเร็วที่กำหนดของมอเตอร์ ω_s เป็นตัวแปรเอาต์พุต ตัวแปรทั้งหมดถูกนำไปออกแบบกฎการควบคุมฟuzzyลอจิกโดยใช้ทูลบ็อกซ์ฟuzzyลอจิกในโปรแกรมแมทแลป ที่มีฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของแต่ละตัวแปรดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวแปรอินพุตและเอาต์พุตของตัวควบคุมฟuzzyลอจิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.2 ตัวแปรอินพุตของตัวควบคุมฟัซซีลอจิกประกอบด้วยค่าผิดพลาดตำแหน่งและความเร็วจริงของมอเตอร์ ω_R โดยกำหนดฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของแต่ละอินพุตเป็น 3 ระดับ คือ positive zero และ negative ในขณะที่ความเร็วที่กำหนดของมอเตอร์ ω_s เป็นตัวแปรเอาต์พุตที่มีฟังก์ชันการเป็นสมาชิกฟัซซีเซต 9 ระดับ และได้เลือกรูปแบบฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวแปรทั้งหมดเป็นรูปสามเหลี่ยม การกำหนดค่าในเอกภพสัมพัทธ์ของตัวแปรแต่ละตัวนั้น ผลต่างของตำแหน่งถูกกำหนดค่าระหว่าง -300 ถึง 300 มิลลิเมตร และความเร็วในการหมุนของมอเตอร์ถูกกำหนดค่าระหว่าง -1000 ถึง 1000 รอบต่อนาที ทั้งนี้เพราะข้อจำกัดของระยะทางการเคลื่อนที่ของไต้เจงาน ส่วนการอนุมานกฎการควบคุมของตัวแปรอินพุตและเอาต์พุตนั้น เลือกการอนุมานแบบ min ที่มีกฎการควบคุมจำนวน 9 กฎ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 กฎการควบคุมของตัวแปรอินพุตและเอาต์พุต

Pos. Vel.	Negative	Zero	Positive
Negative	$V4p$	$V1p$	$V1n$
Zero	$V3p$	Vz	$V3n$
Positive	$V4p$	$V2p$	$V4n$

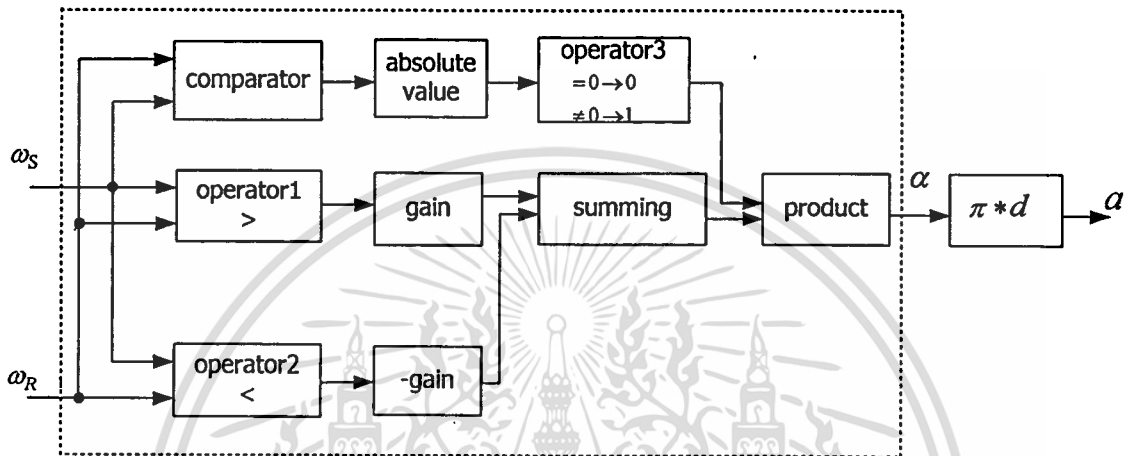
จกตารางที่ 4.1 เป็นกฎการควบคุมฟัซซีลอจิกสำหรับควบคุมไต้เจงานเคลื่อนที่ที่มีตัวแปรภาษาเป็นสื่อแทนความหมาย โดยตัวอย่างตัวแปรภาษาที่ใช้เป็นกฎควบคุมมีดังนี้

if (Pos.) is Neg AND (Vel.) is Neg THEN (Set.Vel.) is V4p

เมื่อตัวแปร *Pos. Vel.* และ *Set.Vel.* เป็นตัวแปรภาษาโดย *Pos.* และ *Vel.* เป็นตัวแปรอินพุตที่แทนค่าของผลต่างตำแหน่งเป้าหมายและความเร็วของมอเตอร์ ω_R ตามลำดับ สำหรับ *Set.Vel.* เป็นตัวแปรเอาต์พุตที่แทนค่าของความเร็วที่กำหนดของมอเตอร์ ω_s ส่วน *Neg. Neg.* และ $V4p$ เป็นค่าของตัวแปร *Pos. Vel.* และ *Set.Vel.* ตามลำดับ สำหรับการดิฟฟัซซีเซชันที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ เลือกวิธีเฉลี่ยแบบศูนย์กลาง เอาต์พุตที่ได้จากตัวควบคุมฟัซซีลอจิกซึ่งเป็นความเร็วที่กำหนดของมอเตอร์ถูกส่งไปเป็นอินพุตของตัวเปลี่ยนความเร่งเพื่อส่งไปควบคุมตำแหน่งของไต้เจงานต่อไป

4.3 การออกแบบตัวเปลี่ยนความเร่ง

อินพุตของตัวเปลี่ยนความเร่งมี 2 อินพุต โดยอินพุตตัวแรกได้มาจากเอาต์พุตของตัวควบคุมพีซีลอจิกซึ่งเป็นค่าความเร็วที่กำหนดของมอเตอร์ ω_s ส่วนอีกอินพุตหนึ่งเป็นความเร็วจริงของมอเตอร์ ω_R ที่ได้มาจากตัวเปลี่ยนความเร็ว โดยความเร็วทั้งสองจะถูกกระทำทางลอจิก ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.3 แผนภาพกรอบของตัวเปลี่ยนความเร่ง

จากรูปที่ 4.2 ตัวกระทำทางลอจิกที่อยู่ภายในเส้นประจะกระทำต่ออินพุตทั้งสอง คือความเร็วที่กำหนดของมอเตอร์ ω_s และความเร็วจริงของมอเตอร์ ω_R ภายใต้เงื่อนไขทางลอจิกของตัวกระทำที่ 1 ตัวกระทำที่ 2 และตัวเปรียบเทียบ ถ้าความเร็วทั้งสองมีค่าต่างกัน เกิดผลลัพธ์จากการเปรียบเทียบเป็นค่าสัมบูรณ์ ทำให้ผลการกระทำของตัวกระทำที่ 3 เป็น 1 ป้อนเป็นอินพุตให้กับตัวกระทำคุณเพื่อให้ได้เอาต์พุตที่เป็นความเร่งเชิงมุม α หลังจากนั้นจะถูกเปลี่ยนเป็นความเร็วเชิงเส้น a ที่ได้จากผลการคูณของ π และ d เพื่อควบคุมตำแหน่งของโต๊ะงานเคลื่อนที่แบบ 1 แกนต่อไป โดยที่ π คือ ค่าคงที่มีค่าเท่ากับ 3.14 และ d คือ ค่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเลย์ แต่ในกรณีที่ความเร็วทั้งสองมีค่าเท่ากัน จะทำให้ผลการเปรียบเทียบที่ได้จากตัวกระทำที่ 3 เป็นศูนย์ เมื่อนำไปกระทำการคูณแล้วจะได้เอาต์พุตเป็นค่าความเร่งเชิงมุม α ที่มีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้น ในสภาวะนี้จึงไม่มีความเร่งป้อนเป็นอินพุตให้กับโต๊ะงานเคลื่อนที่ กรณีนี้จะหมายถึงโต๊ะงานเข้าสู่ตำแหน่งเป้าหมายตามที่ต้องการแล้ว

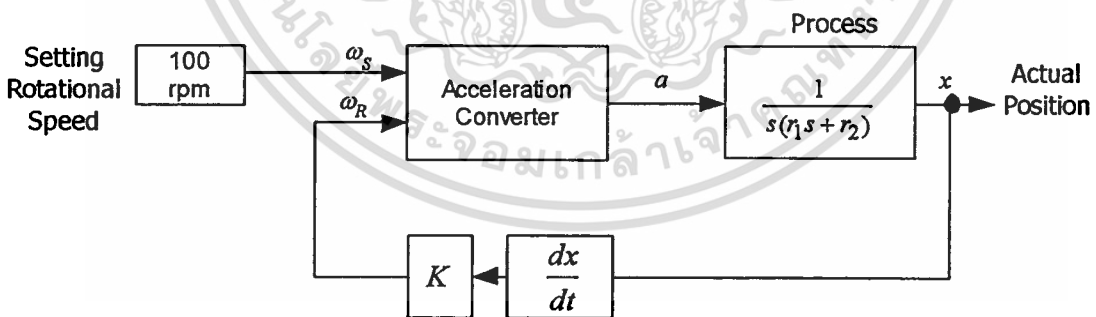
บทที่ 5

การทดลองการควบคุมตำแหน่งของโต๊ะงาน

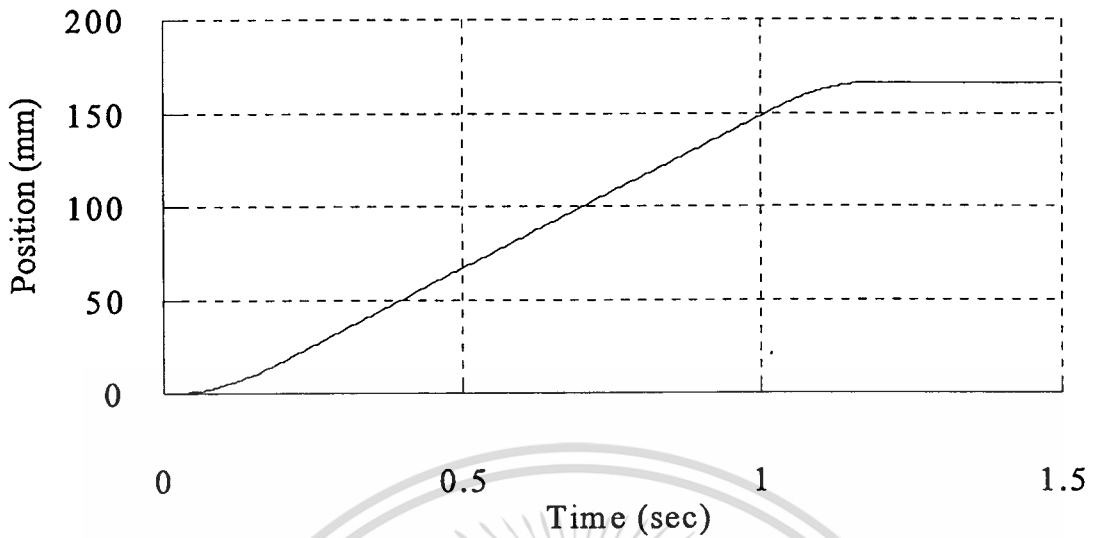
เมื่อได้ออกแบบตัวควบคุมพีชชีลอจิกและตัวเปลี่ยนความเร็วดังบทที่ 4 แล้ว ในบทนี้จะกล่าวถึงการหาพารามิเตอร์ของฟังก์ชันโต๊ะงานเคลื่อนที่ การจำลองการควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์และการทดลองควบคุมการเคลื่อนที่จริงของโต๊ะงานทั้งในสถานะที่มีภาระและไม่มีภาระ รวมทั้งผลการเปรียบเทียบการควบคุมจริงระหว่างตัวควบคุมพีชชีลอจิกร่วมกับตัวเปลี่ยนความเร็วดังตัวควบคุมแบบพีไอซีร่วมกับตัวเปลี่ยนความเร็วดัง

5.1 การหาพารามิเตอร์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโต๊ะงานเคลื่อนที่

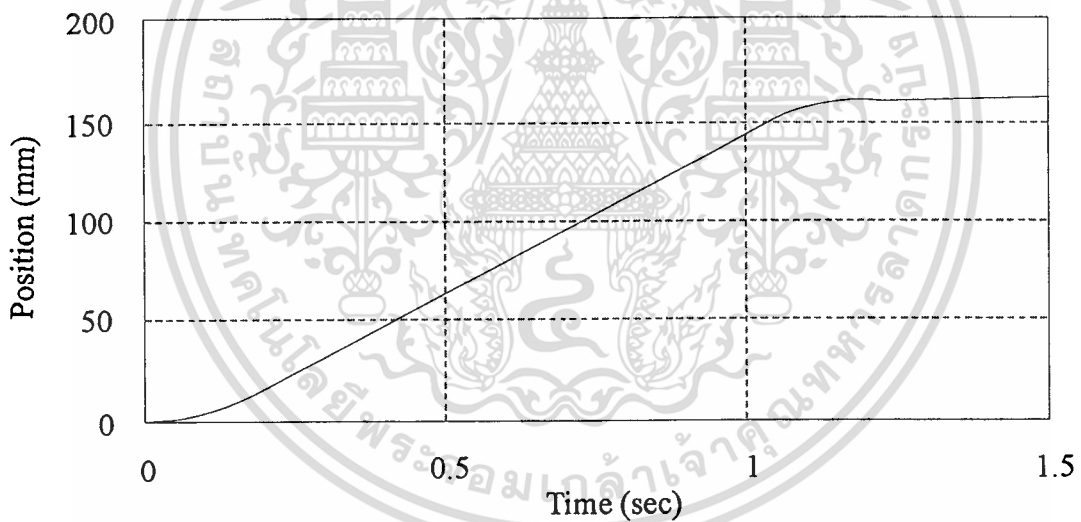
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโต๊ะงานเคลื่อนที่ดังสมการ (3.8) คือความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณอินพุตและสัญญาณเอาต์พุตของกระบวนการ การหาค่าพารามิเตอร์ของ r_1 และ r_2 ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์นำหน้าของโต๊ะงานเคลื่อนที่และแรงเสียดทานจากการเคลื่อนที่ตามลำดับนั้น จะทดลองหาได้ในปฏิบัติจริงตามรูปที่ 5.1 โดยวิธีป้อนความเร็วให้มอเตอร์หมุนที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที ใน 1 วินาทีแล้วหยุดและวัดสัญญาณเอาต์พุตที่ได้ไว้ หลังจากนั้นจึงทำการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อหาค่า r_1 และ r_2 ที่ให้สัญญาณเอาต์พุตใกล้เคียงเหมือนกับผลการทดลองจริง ก็จะได้ค่า r_1 และ r_2 ที่มีความถูกต้องใกล้เคียงกับค่าสัมประสิทธิ์นำหน้าของโต๊ะงานและแรงเสียดทานจากการเคลื่อนที่จริงของโต๊ะงาน



รูปที่ 5.1 บล็อกไดอะแกรมที่แสดงวิธีการทดลองหาค่าของพารามิเตอร์ r_1 และ r_2



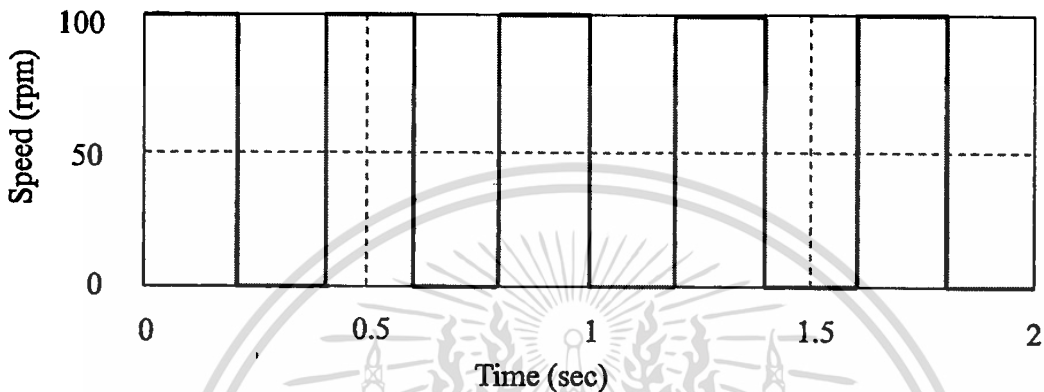
รูปที่ 5.2 กราฟแสดงควบคุมตำแหน่งได้จริงจากการทดลอง



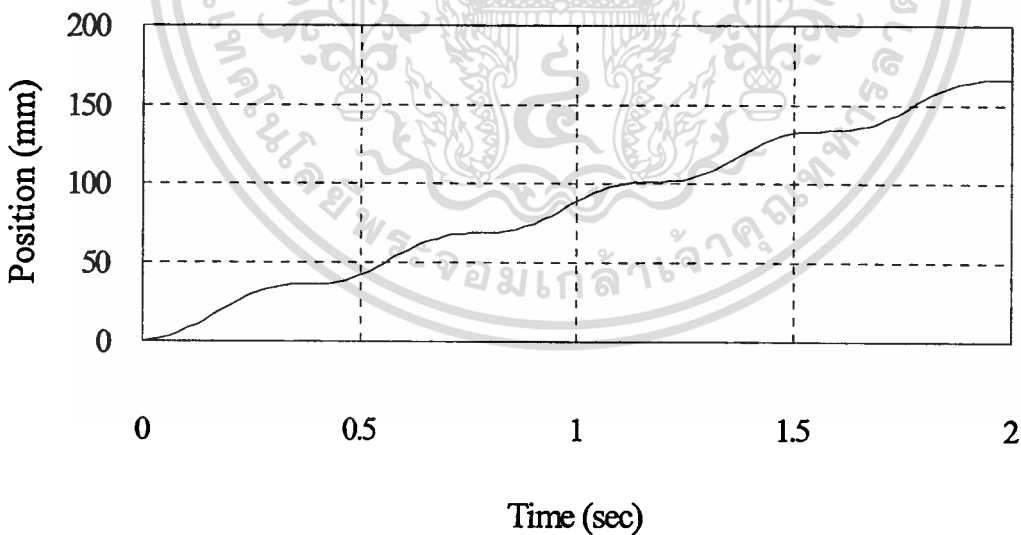
รูปที่ 5.3 กราฟแสดงควบคุมตำแหน่งได้จริงจากการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์

จากรูปที่ 5.1 เมื่อป้อนความเร็วให้มอเตอร์หมุน 100 rpm ในเวลา 1 วินาที แล้ววัตถุหลุดเป็นตำแหน่งการเคลื่อนที่จริงจะได้เท่ากับ 165 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 5.2 จากนั้นจำลองระบบรูปที่ 5.1 ด้วยโปรแกรมแมทแล็บ เพื่อหาค่าของ r_1 และ r_2 โดยจำลองหลายครั้งจนได้กราฟการควบคุมจริงและแสดงได้ในรูปที่ 5.3 ก็แสดงว่าค่า r_1 และ r_2 ที่หามาได้นั้นเป็นค่าที่เหมาะสม ซึ่งมีค่า r_1 และ r_2 เท่ากับ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 และ 0.3 ตามลำดับ และเพื่อให้แน่ใจว่าค่า r_1 และ r_2 ที่ได้จากการจำลองเป็นค่าที่เหมาะสมจริงของ โต้ะงานเคลื่อนที่ที่จะถูกควบคุม จึงได้ทดลองอีกครั้ง โดยกำหนดความเร็วที่ป้อนให้กับมอเตอร์เป็น 100 รอบต่อนาที และ 0 รอบต่อนาที ทุกคาบเวลา 0.2 วินาที ดังแสดงในรูปที่ 5.4 และมีผลตอบสนองของ ตำแหน่งโต้ะงานที่ได้จากการทดลองดังแสดงในรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.4 ความเร็วที่ป้อนให้มอเตอร์หมุน



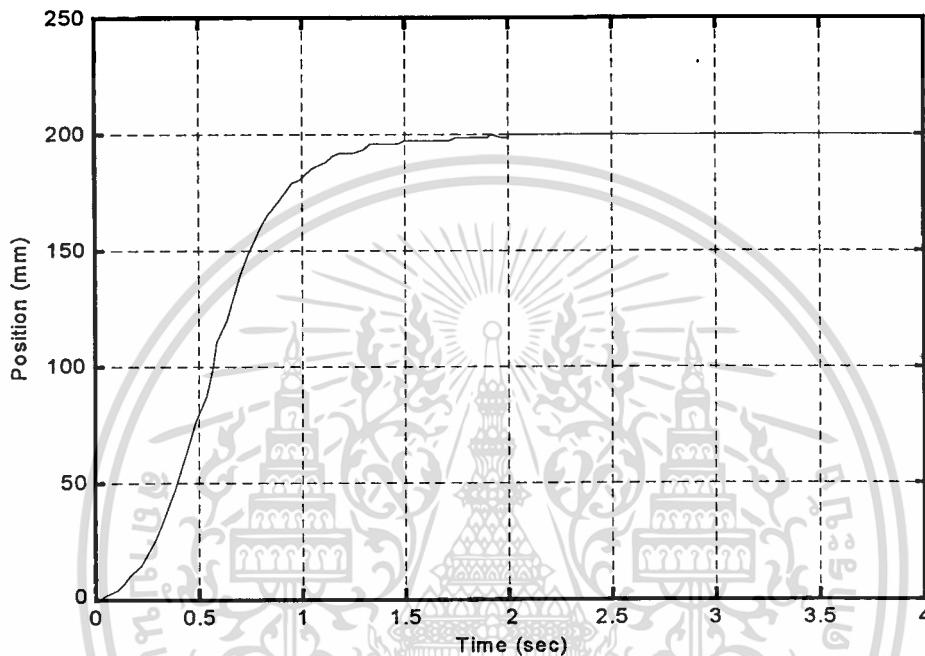
รูปที่ 5.5 ผลตอบสนองของตำแหน่งของโต้ะงานที่ได้จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 การจำลองการควบคุมโตะงานเคลื่อนที่

5.2.1 การจำลองการควบคุมด้วยตัวควบคุมพีซีซีลอจิกร่วมกับตัวเปลี่ยนความเร็ว

เมื่อได้พารามิเตอร์ของแบบจำลองของโตะงานที่จะควบคุมแล้ว ต่อไปจะจำลองระบบควบคุมด้วยตัวควบคุมพีซีซีลอจิกร่วมกับตัวเปลี่ยนความเร็วเพื่อควบคุมตำแหน่งของโตะงานให้เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่ง 200 มิลลิเมตร และผลตอบสนองของการจำลองการควบคุมแสดงได้ดังในรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.8 แสดงผลตอบสนองของการจำลองระบบการควบคุมที่มีตัวควบคุมพีซีซีลอจิกร่วมกับตัวเปลี่ยนความเร็ว

จากผลตอบสนองของการจำลองการควบคุมตำแหน่งในรูปที่ 5.8 พบว่า ตัวควบคุมพีซีซีลอจิกและตัวเปลี่ยนความเร็วสามารถควบคุมให้โตะงานเคลื่อนที่เข้าสู่เป้าหมายที่ต้องการได้โดยไม่เกิดการพุ่งเกินและค่าผิดพลาดที่สถานะอยู่ตัว (steady-state error) ซึ่งมีค่าเวลาไต่ขึ้นและค่าเวลาเข้าที่ ดังในตารางที่ 5.1

เมื่อได้ผลตอบสนองของการจำลองระบบควบคุมตำแหน่งด้วยตัวควบคุมพีซีซีลอจิกและตัวเปลี่ยนความเร็วแล้วแล้ว ต่อไปจะนำตัวควบคุมพีไอดีมาควบคุมตำแหน่งของโตะงานเคลื่อนที่เพื่อเปรียบเทียบผลการควบคุมกับตัวควบคุมพีซีซีลอจิกที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้

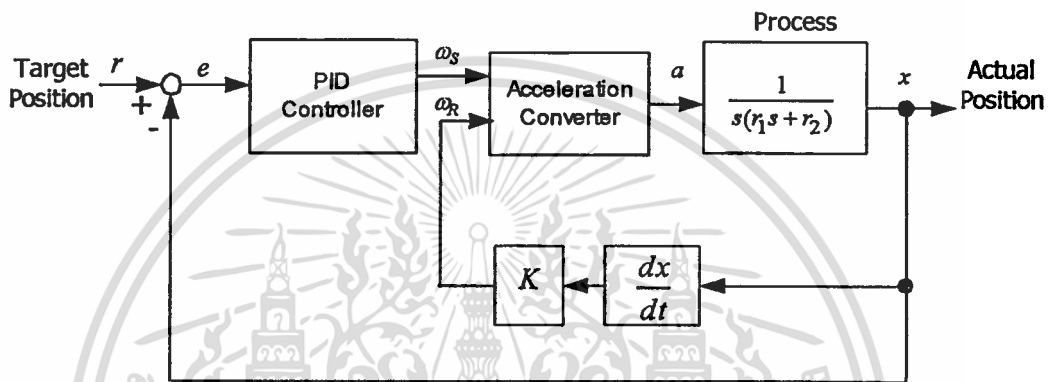
5.2.2 การจำลองการควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอดีร่วมกับตัวเปลี่ยนความเร็ว

ตัวควบคุมพีไอดีแสดงได้ดังสมการที่ (4.1) ซึ่งพารามิเตอร์ของตัวควบคุมนี้จะหาจากการนำฟังก์ชันถ่ายโอนของโตะงานเคลื่อนที่ในสมการที่ (3.8) มาหาผลตอบสนองวงปิดโดยวิธีที่สอง (second method) ของซีเกลอร์-นิโคลส์ [19]

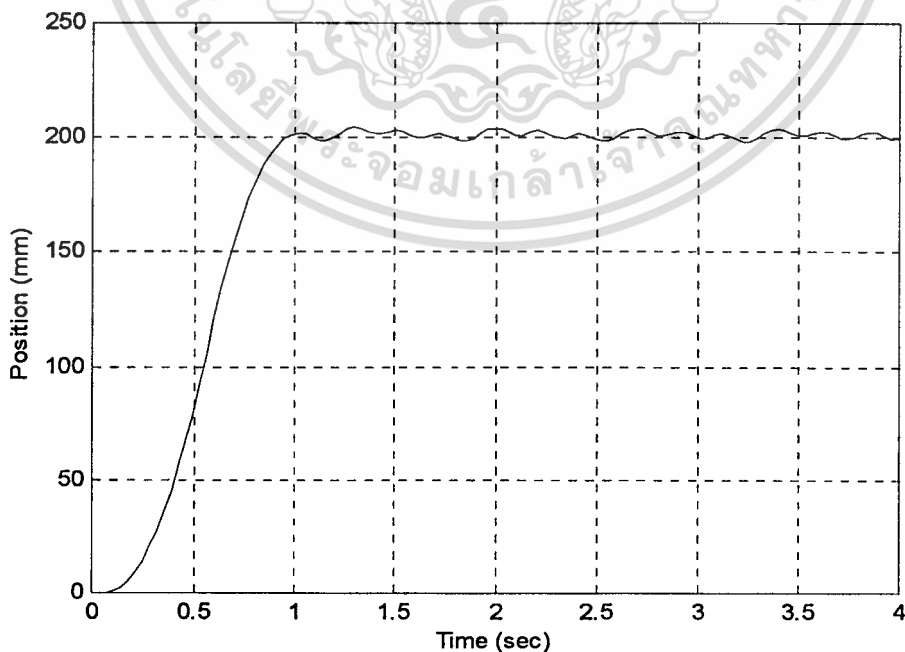
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{\omega_s(s)}{E(s)} = \left(K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \right) \quad 4.1$$

จากการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมด้วยวิธีดังกล่าว ได้ค่า K_p , K_i และ K_d เป็น 0.7 6.0 และ 0.009 ตามลำดับ จากนั้นนำตัวควบคุมพีไอดีที่ได้มาควบคุมตำแหน่งของโต๊ะงานเคลื่อนที่ร่วมกับตัวเปลี่ยนความเร็ว และได้ผลตอบสนองของการจำลองของระบบควบคุมตำแหน่งที่ตำแหน่ง 200 มิลลิเมตร แสดงได้ในรูปที่ 5.10



รูปที่ 5.9 แสดงการควบคุมตำแหน่งของโต๊ะงานเคลื่อนที่ด้วยตัวควบคุมพีไอดีร่วมกับตัวเปลี่ยนความเร็ว



รูปที่ 5.10 แสดงผลตอบสนองของการจำลองระบบควบคุมพีไอดีร่วมกับตัวเปลี่ยนความเร็ว

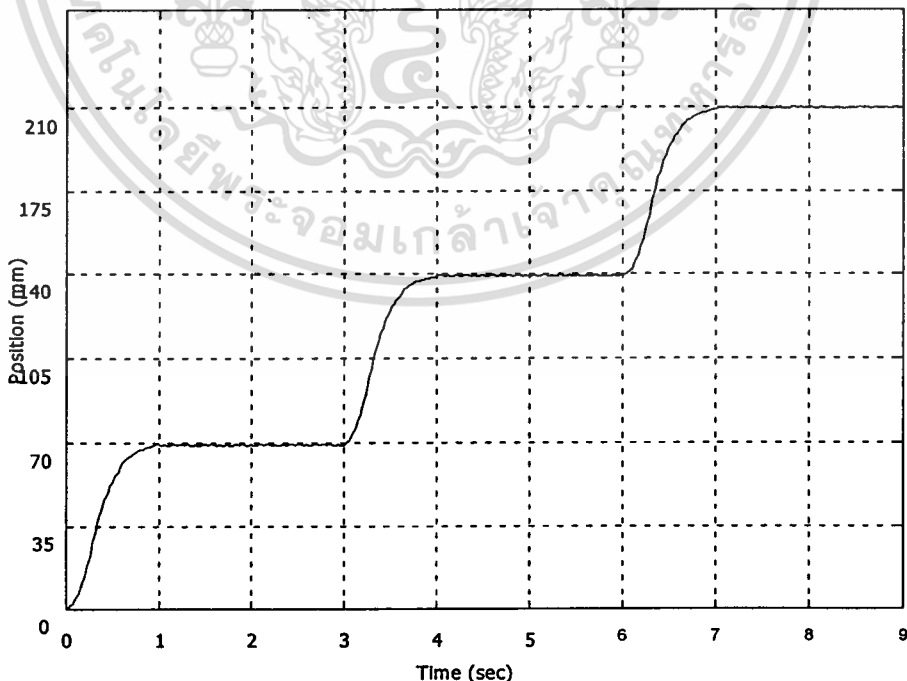
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 ผลเปรียบเทียบการจำลองการควบคุมที่ตำแหน่ง 200 มิลลิเมตร

Controller	t_r (sec)	P_o (%)	t_s (sec)
Fuzzy	0.74	0.00	1.36
PID	0.54	0.10	0.91

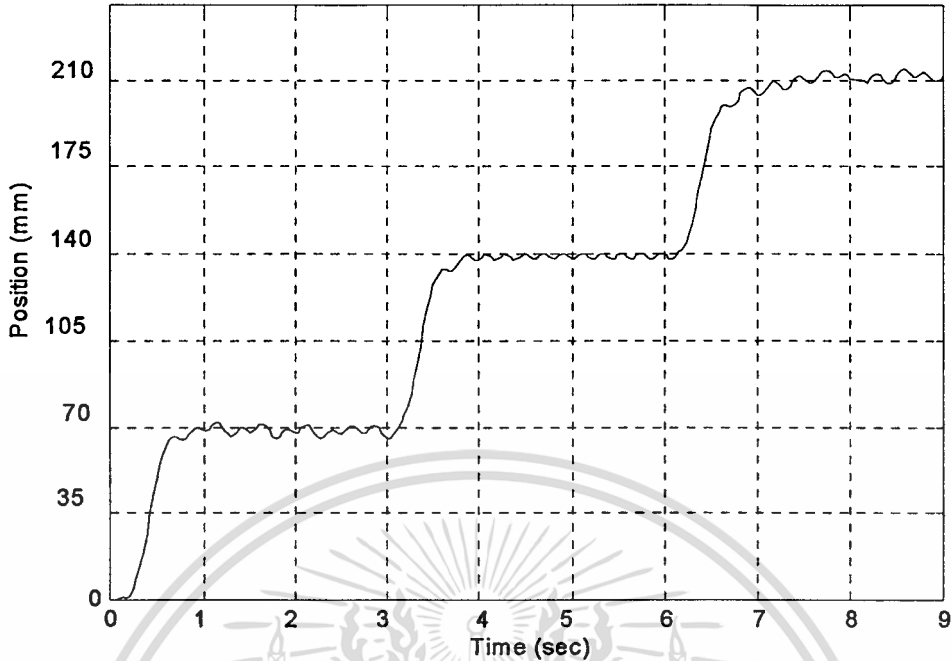
จากรูปผลตอบสนองของการควบคุมตำแหน่ง 200 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 5.8 และ 5.10 จะเห็นว่า ตัวควบคุมทั้งสองสามารถควบคุมให้ไต่ะงานเคลื่อนที่เข้าสู่ตำแหน่งที่ต้องการ และพบว่าผลตอบสนองของระบบควบคุมที่ใช้ตัวควบคุมฟัซซีลอจิกร่วมกับตัวเปลี่ยนความเร่งจะไม่เกิดค่าพุ่งเกินและค่าผิดพลาดที่สถานะอยู่ตัว ในขณะที่ผลตอบสนองของระบบควบคุมที่มีตัวควบคุมพีไอดีเป็นตัวควบคุม จะเกิดค่าพุ่งเกินเล็กน้อยและเกิดการแกว่งรอบๆสัญญาณอ้างอิงเล็กน้อยอยู่ในช่วง 1.01 มิลลิเมตร

ต่อไปจะศึกษาความสามารถของตัวควบคุมที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ในฉบับนี้ว่า เมื่อไปควบคุมกับระดับสัญญาณอ้างอิงอื่นจะยังสามารถควบคุมได้อยู่หรือไม่ จึงได้เปลี่ยนสัญญาณอีกเป็นสัญญาณขั้นบันไดที่มีการเปลี่ยนระดับ 3 ระดับทุกช่วงเวลา (interval time) 3 วินาที ที่ตำแหน่ง 70 140 และ 210 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยมีกฎการควบคุมของตัวควบคุมฟัซซีลอจิกเหมือนเดิม ในทำนองเดียวกันค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดีก็ไม่เปลี่ยนแปลง ผลการตอบสนองการจำลองของระบบควบคุมที่เปลี่ยนระดับสัญญาณอ้างอิงนี้แสดงดังในรูปที่ 5.11 และ 5.12



รูปที่ 5.11 แสดงผลตอบสนองการจำลองของระบบควบคุมด้วยตัวควบคุมฟัซซีลอจิกร่วมกับตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารเปลี่ยนความเร่ง หรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.12 แสดงผลตอบสนองการจำลองระบบควบคุมของตัวควบคุมพีไอดีร่วมกับตัวเปลี่ยนความเร่งต่อสัญญาณอ้างอิงที่เป็นขั้นบันได

จากรูปที่ 5.11 และ 5.12 พบว่า เมื่อเปลี่ยนระดับสัญญาณอ้างอิงของระบบควบคุมเป็นสัญญาณขั้นบันได ตัวควบคุมทั้งสองก็ยังสามารถควบคุมให้โตะงานเคลื่อนที่เข้าสู่ตำแหน่งอ้างอิงได้โดยปราศจากค่าพุ่งเกิน และพบว่าผลตอบสนองของระบบที่ตัวควบคุมพีซีซีแอลจิกจะไม่เกิดค่าผิดพลาดที่สถานะอยู่ตัวของตำแหน่งอ้างอิงแต่ละระดับ มีค่าเวลาของผลตอบสนองชั่วขณะของระดับสัญญาณอ้างอิงในระดับที่ 1 ระดับที่ 2 และระดับที่ 3 เท่ากับ 0.45 วินาที 0.45 วินาที และ 0.60 วินาที ตามลำดับ ในขณะที่ผลตอบสนองของระบบควบคุมที่มีตัวควบคุมพีไอดีมีค่าเวลาของผลตอบสนองชั่วขณะของระดับตำแหน่งอ้างอิงในระดับที่ 1 ระดับที่ 2 และระดับที่ 3 มีค่าเท่ากับ 0.34 วินาที 0.46 วินาที และ 0.56 วินาที ตามลำดับ และยังพบว่าผลตอบสนองต่อระบบควบคุมที่ใช้ตัวควบคุมพีไอดีจะเกิดการแกว่งที่ตำแหน่งที่ถูกควบคุมในทุกช่วงระดับ ดังแสดงในรูปที่ 5.12

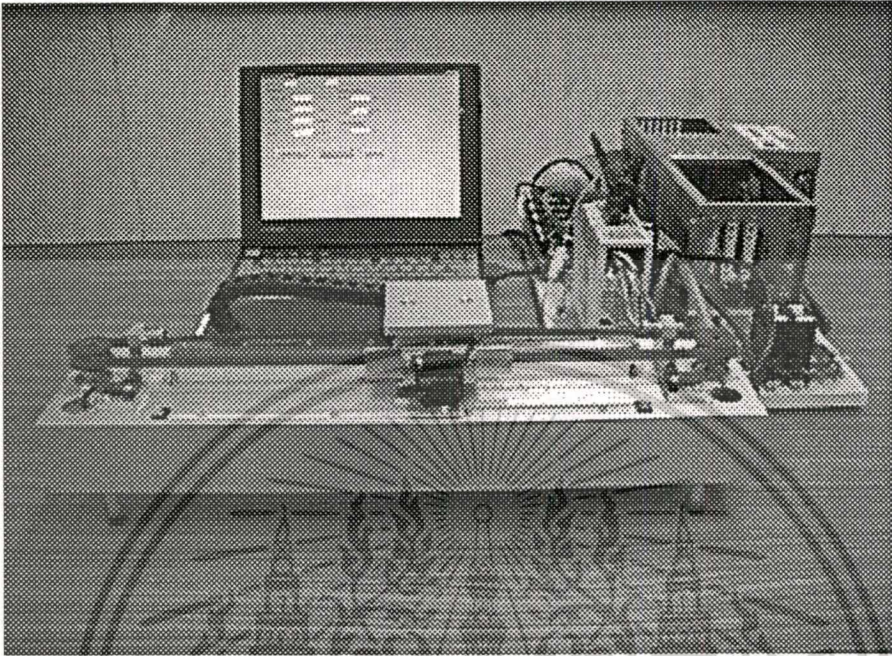
5.3 การควบคุมโตะงานเคลื่อนที่จริง

5.3.1 การควบคุมโตะงานเคลื่อนที่ในสถานะไม่มีภาระ

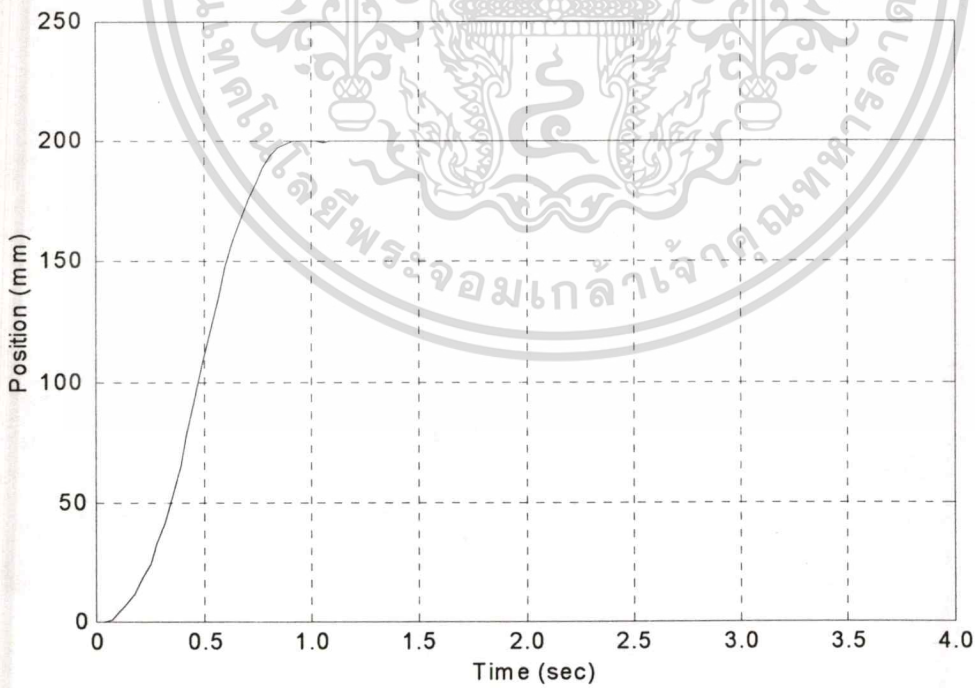
เมื่อได้ผลการจำลองการทำงานจากระบบควบคุมแล้ว อันดับต่อไปจะนำตัวควบคุมที่ได้ออกแบบมาทดลองควบคุมตำแหน่งของโตะงานเคลื่อนที่ดังแสดงในรูปที่ 5.13 โดยมีกฎการควบคุมและพารามิเตอร์ของโตะงานเหมือนกับการจำลอง แสดงผลตอบสนองของการควบคุมตำแหน่งที่ 200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มิลลิเมตรในสภาวะที่ไม่มีภาระได้ดังรูปที่ 5.14 สำหรับรูปที่ 5.15 เป็นผลตอบสนองของระบบควบคุมเมื่อใช้ตัวควบคุมพีไอดี

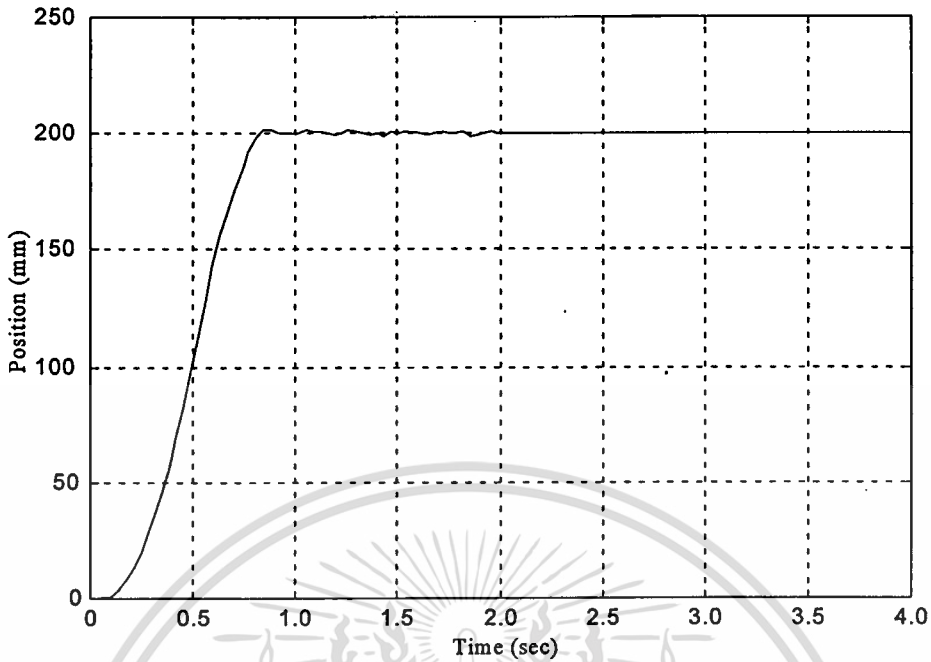


รูปที่ 5.13 แสดงระบบควบคุมตำแหน่งโต๊ะงานเคลื่อนที่แบบ 1 แกน



รูปที่ 5.14 แสดงผลตอบสนองการควบคุมจริงของระบบควบคุมที่มีตัวควบคุมพีซีลจกร่วมกับตัวเปลี่ยนความเร่ง ในสภาวะไม่มีภาระ

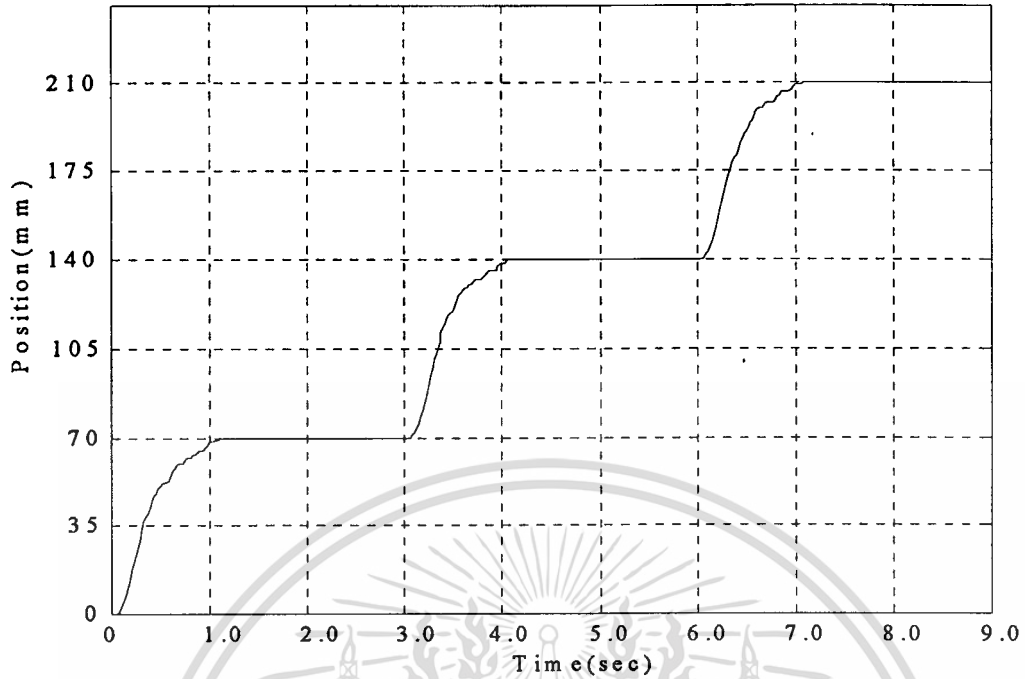
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



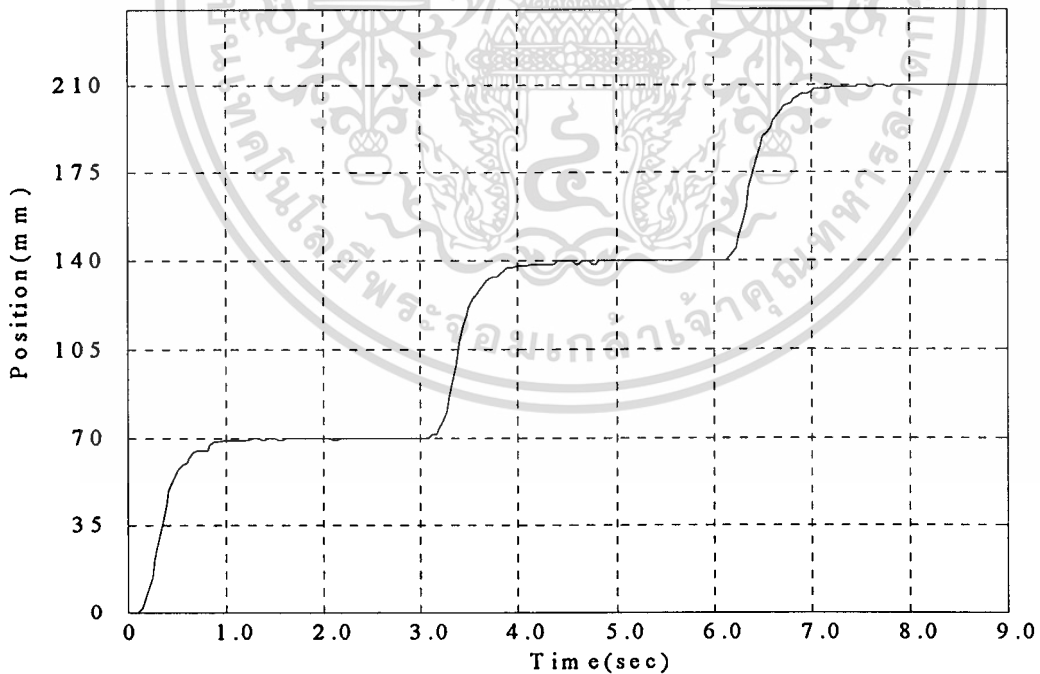
รูปที่ 5.15 แสดงผลตอบสนองการควบคุมจริงของระบบควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอดีร่วมกับตัวเปลี่ยนความเร่ง ในสภาวะไม่มีภาระ

จากรูปที่ 5.14 และ 5.15 จะเห็นว่าตัวควบคุมทั้งสองสามารถควบคุมให้โต๊ะงานเคลื่อนที่เข้าสู่ตำแหน่ง 200 มิลลิเมตรได้ตามที่ต้องการ และพบว่าผลตอบสนองของระบบควบคุมที่มีตัวควบคุมพีซีลอจิกเป็นตัวควบคุมจะไม่เกิดค่าพุ่งเกินและค่าผิดพลาดที่สถานะอยู่ตัว ส่วนเวลาเข้าที่ใกล้เคียงกัน แต่ในขณะที่ผลตอบสนองของระบบควบคุมที่มีตัวควบคุมพีไอดีเกิดค่าพุ่งเกินเล็กน้อยและเกิดการแกว่งไกวรอบตำแหน่งเป้าหมาย ผลการเปรียบเทียบต่อสมรรถนะของระบบควบคุมทั้งสองแสดงไว้ดังตารางที่ 5.2 จากตารางที่ 5.2 จะพบว่าค่าตอบสนองเวลาชั่วคราวกับค่าเวลาเข้าที่ของตัวควบคุมพีซีลอจิกและตัวเปลี่ยนความเร่งมีค่าใกล้เคียงกับผลการตอบสนองของระบบควบคุมที่มีตัวควบคุมพีไอดี โดยผลตอบสนองของระบบควบคุมที่มีตัวควบคุมพีซีลอจิกและตัวเปลี่ยนความเร่งไม่มีค่าพุ่งเกิน ในขณะที่ระบบควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอดีเกิดค่าพุ่งเกิน ต่อไปจะทำการควบคุม โต๊ะงานเคลื่อนที่ด้วยสัญญาณอ้างอิงเป็นสัญญาณขั้นบันได เพื่อทดสอบสมรรถนะของตัวควบคุม โดยลักษณะของตำแหน่งการควบคุมจะเหมือนกับตำแหน่งที่ใช้ในการจำลองผลตอบสนองของระบบควบคุม ผลการทดลองแสดงได้ในรูปที่ 5.15 และ 5.16 ตามลำดับ ตารางที่ 5.2 ผลเปรียบเทียบสมรรถนะของการควบคุมจริงที่ตำแหน่ง 200 มิลลิเมตร ในสภาวะไม่มีภาระ

Controller	t_r (sec)	P_o (%)	t_s (sec)
Fuzzy	0.48	0.00	0.82
PID	0.47	0.91	0.87



รูปที่ 5.16 แสดงผลตอบสนองการจำลองของระบบควบคุมด้วยตัวควบคุมพีซีลอจิกร่วมกับตัวเปลี่ยนความเร่ง ในสภาวะไม่มีภาระ



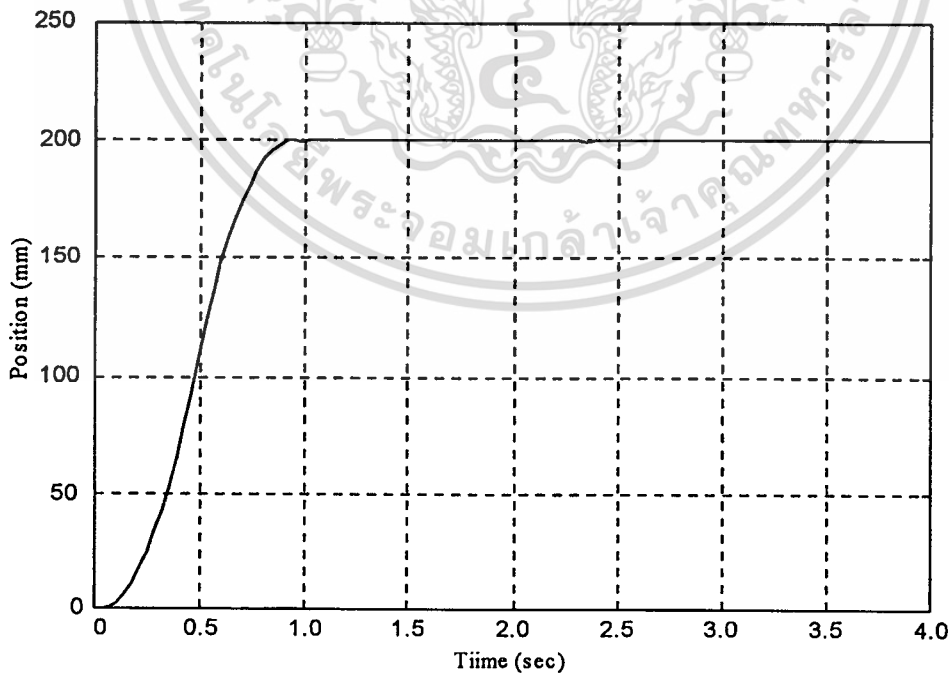
รูปที่ 5.17 แสดงผลตอบสนองการจำลองของระบบควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอดีร่วมกับตัวเปลี่ยนความเร่ง ในสภาวะไม่มีภาระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเปลี่ยนสัญญาณอ้างอิงเป็นขั้นบันได ตัวควบคุมพีชชีลอจิกและตัวเปลี่ยนความเร่งก็ยัง สามารถควบคุมตำแหน่งของโต๊ะงานเคลื่อนที่ให้เข้าสู่สัญญาณอ้างอิงที่ต้องการ ได้ดังแสดงในรูปที่ 5.16 ตัวควบคุมพีชชีลอจิกและตัวเปลี่ยนความเร่งสามารถควบคุมให้โต๊ะงานเคลื่อนที่เข้าสู่สัญญาณอ้างอิงที่ 70 140 และ 210 มิลลิเมตร ในเวลา 1.10 4.02 และ 7.05 วินาที ตามลำดับ และมีผลตอบสนองชั่วขณะ เท่ากับ 0.66 0.62 และ 0.62 วินาที ตามลำดับ ในขณะที่ตัวควบคุมพีไอดีสามารถควบคุมตามสัญญาณ อ้างอิงในเวลา 1.12 4.45 และ 7.40 วินาที และผลตอบสนองชั่วขณะเท่ากับ 0.51 0.54 และ 0.55 วินาที ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 5.17 และพบว่าที่สภาวะคงตัวของสัญญาณอ้างอิงแต่ละระดับ ผลตอบ สนองของระบบควบคุมที่มีตัวควบคุมพีชชีลอจิกและตัวเปลี่ยนความเร่งไม่เกิดค่าพุ่งเกิน ในขณะที่ผล ตอบสนองชั่วของระบบควบคุมพีไอเกิดการแกว่งเล็กน้อย

5.3.2 การควบคุมโต๊ะงานเคลื่อนที่ในสภาวะมีภาระ

เมื่อได้ทดลองการทำงานของระบบควบคุมโต๊ะงานเคลื่อนที่ในสภาวะมีภาระแล้ว ต่อไปจะนำ ตัวควบคุมที่ได้ออกแบบมาทดลองควบคุมตำแหน่งของโต๊ะงานเคลื่อนที่ในสภาวะมีภาระ ดังแสดง ในรูปที่ 5.18 โดยมีกฎการควบคุมและพารามิเตอร์ของโต๊ะงานเหมือนกับในสภาวะไม่มีภาระ แสดงผล ตอบสนองของการควบคุมตำแหน่งที่ 200 มิลลิเมตรในสภาวะที่มีภาระ ได้ดังรูปที่ 5.18 และสำหรับรูปที่ 5.19 เป็นผลตอบสนองของระบบควบคุมเมื่อใช้ตัวควบคุมพีไอดีร่วมกับตัวเปลี่ยนความเร่ง



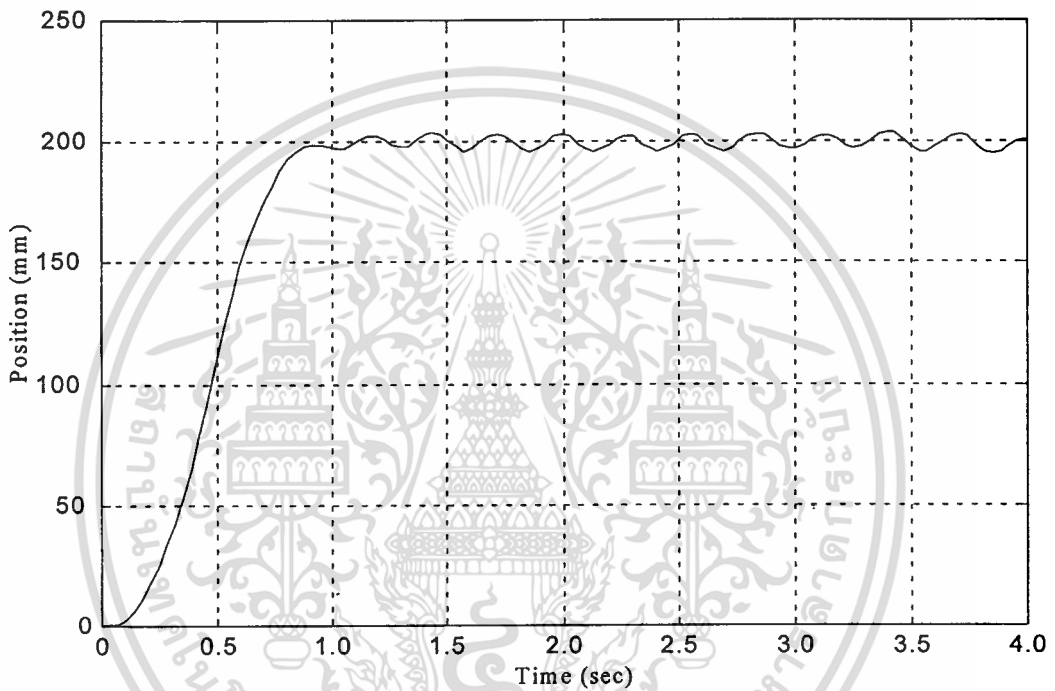
รูปที่ 5.18 แสดงผลตอบสนองการควบคุมจริงของระบบควบคุมที่มีตัวควบคุมพีชชีลอจิกร่วมกับ

ตัวเปลี่ยนความเร่ง ในสภาวะมีภาระ 3 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์กับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.18 และ 5.19 พบว่าตัวควบคุมฟัซซีลอจิกร่วมกับตัวเปลี่ยนความเร่ง สามารถควบคุมตำแหน่งของโต๊ะงานเคลื่อนที่ที่ระดับตำแหน่งเป้าหมาย 200 มิลลิเมตร ภายในเวลา 0.83 วินาที โดยไม่เกิดค่าพุ่งเกิน ในขณะที่ตัวควบคุมพีไอดีต้องใช้เวลา 0.85 วินาที และยังคงเกิดการแกว่งรอบตำแหน่งเป้าหมาย จากตารางที่ 5.3 จะพบว่าผลตอบสนองชั่วขณะกับค่าเวลาเข้าที่ของตัวควบคุมฟัซซีลอจิกร่วมกับตัวเปลี่ยนความเร่ง ให้สมรรถนะของการควบคุมดีกว่าระบบที่ใช้ตัวควบคุมพีไอดี ซึ่งผลตอบสนองที่มีต่อตำแหน่งเป้าหมายไม่มีค่าพุ่งเกิน ในขณะที่ระบบควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอดีเกิดการแกว่งที่รอบๆตำแหน่งเป้าหมาย ดังแสดงในรูปที่ 5.19

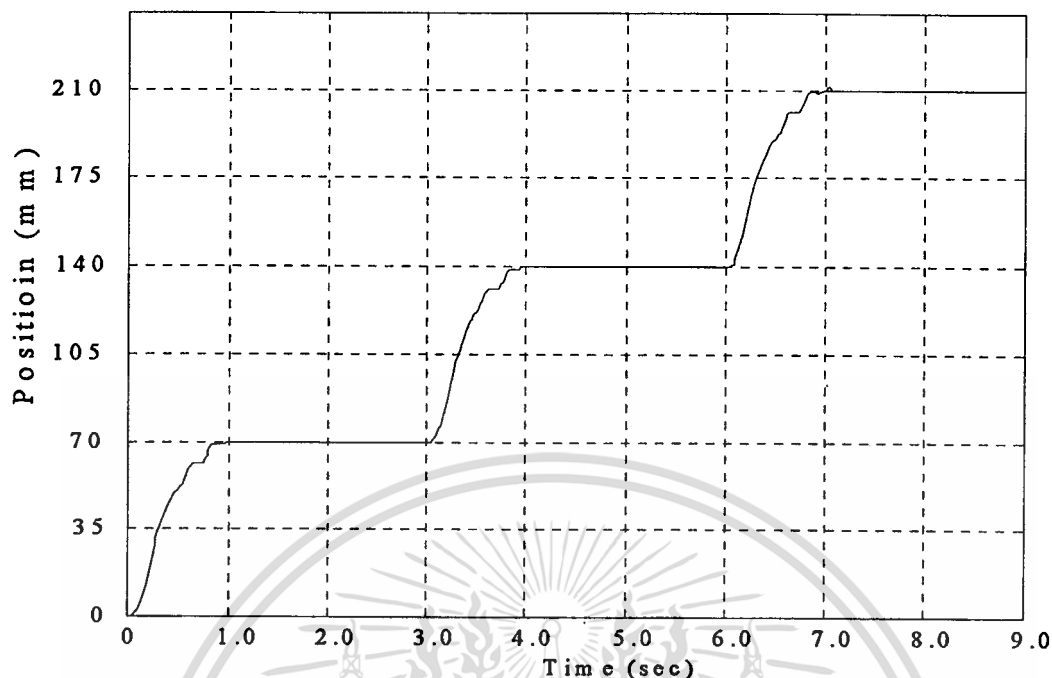


รูปที่ 5.19 แสดงผลตอบสนองการควบคุมจริงของระบบควบคุมด้วยตัวควบคุมฟัซซีร่วมกับตัวเปลี่ยนความเร่ง ในสภาวะมีภาระ 3 กิโลกรัม

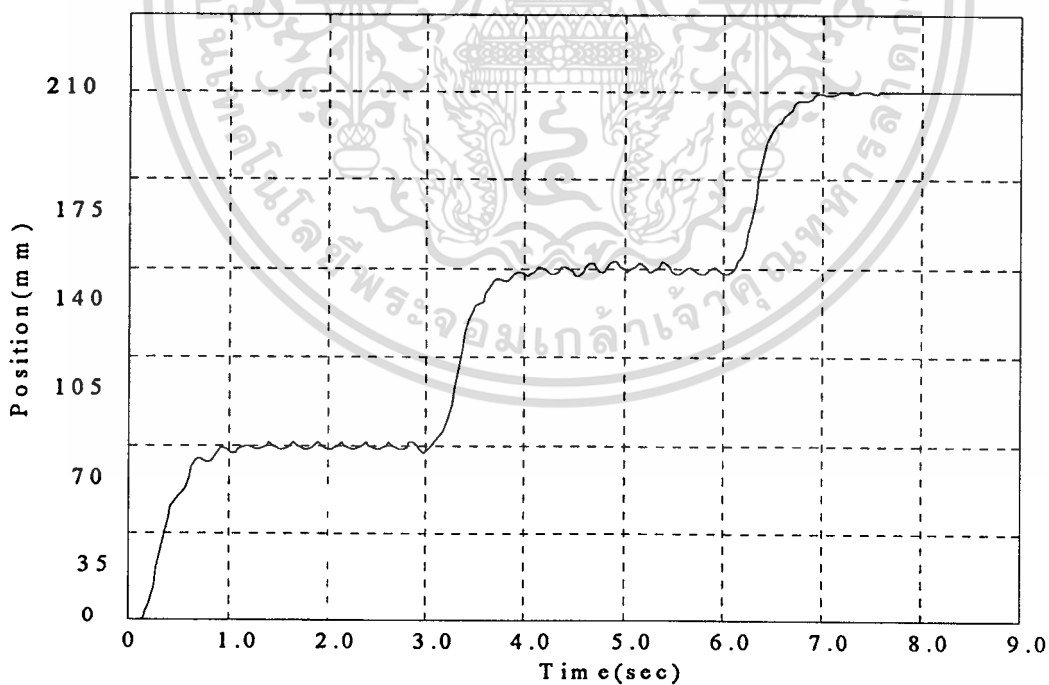
ตารางที่ 5.3 ผลเปรียบเทียบสมรรถนะของการควบคุมจริง ในสภาวะมีภาระ 3 กิโลกรัม

Controller	t_r (sec)	P_o (%)	t_s (sec)
Fuzzy	0.49	0.00	0.83
PID	0.50	0.00	0.85

ในลำดับต่อไปจะนำตัวควบคุมฟัซซีลอจิกและตัวเปลี่ยนความเร่งมาควบคุมตำแหน่งของโต๊ะงานเคลื่อนที่ ด้วยการเปลี่ยนระดับตำแหน่งเป้าหมาย เป็นขั้นบันไดที่ระดับ 70 140 และ 210 มิลลิเมตร เช่นเดียวกับการควบคุมในสภาวะไม่มีภาระ แสดงผลตอบสนองในรูปที่ 5.20 และผลตอบสนองการควบคุมด้วยตัวควบคุมฟัซซีแสดงในรูปที่ 5.21



รูปที่ 5.20 แสดงผลตอบสนองการควบคุมจริงด้วยตัวควบคุมพีซซีดีจกร่วมกับตัวเปลี่ยนความเร่งที่สัญญาณอ้างอิงเป็นขั้นบันได ในสภาวะมีภาระ 3 กิโลกรัม



รูปที่ 5.21 แสดงผลตอบสนองการควบคุมจริงด้วยระบบควบคุมพีไอดีร่วมกับตัวเปลี่ยนความเร่งที่สัญญาณอ้างอิงเป็นขั้นบันได ในสภาวะมีภาระ 3 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.20 และ 5.21 พบว่า ผลตอบสนองของระบบควบคุมที่มีตัวควบคุมพีชชีลอจิก ร่วมกับตัวเปลี่ยนความเร่งสามารถควบคุมตำแหน่งของโต๊ะงานเคลื่อนที่ให้เข้าสู่สัญญาณอ้างอิง ในสภาวะ ที่มีภาระบนโต๊ะงาน 3 กิโลกรัมได้เร็วกว่าตัวควบคุมพีไอดีร่วมกับตัวเปลี่ยนความเร่ง และไม่เกิดค่าพุ่งเกิน ในขณะที่ผลตอบสนองของระบบควบคุมที่มีตัวควบคุมพีไอดีเกิดการแกว่งทุกระดับของ ตำแหน่งเป้าหมายที่เปลี่ยนไปดังแสดงในรูปที่ 5.21



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยการควบคุมตำแหน่งของโตะงานเคลื่อนที่แบบ 1 แกนโดยใช้ตัวควบคุมฟuzzyลอจิก และตัวเปลี่ยนความเร่ง โดยเริ่มจากการหาพารามิเตอร์ของโตะงาน จำลองการทำงานเพื่อปรับกฎการควบคุมให้เหมาะสม แล้วทดลองจริงทั้งในสภาวะที่มีภาระและไม่มีภาระ และทดลองเปลี่ยนตำแหน่งเป้าหมายเพื่อทดสอบตัวควบคุมที่ออกแบบยังสามารถควบคุมให้โตะงานเคลื่อนที่เข้าสู่ตำแหน่งเป้าหมายใหม่ได้หรือไม่ นอกจากนี้ได้นำผลการจำลองและทดลองจริงมาเปรียบเทียบกับระบบควบคุมพีไอดี

6.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการจำลองการควบคุมตำแหน่งของโตะงานเคลื่อนที่แบบ 1 แกน พบว่า ระบบควบคุมฟuzzyลอจิกร่วมกับตัวเปลี่ยนความเร่งสามารถควบคุมตำแหน่งของโตะงานเคลื่อนที่ให้เข้าสู่ตำแหน่งเป้าหมายได้โดยไม่เกิดค่าผิดพลาดที่สถานะคงตัว และถึงแม้จะมีการเปลี่ยนระดับสัญญาณอ้างอิงไปโดยยังใช้ตัวควบคุมตัวเดิมก็ยังสามารถควบคุมตำแหน่งให้เข้าระดับสัญญาณอ้างอิงใหม่ได้ตามต้องการ โดยปราศจากค่าพุ่งเกิน สำหรับการควบคุมจริงในสภาวะไม่มีภาระ พบว่าตัวควบคุมฟuzzyลอจิกร่วมกับตัวเปลี่ยนความเร่งยังคงสามารถควบคุมให้โตะงานเคลื่อนที่เข้าสู่ตำแหน่งเป้าหมายได้เร็ว โดยปราศจากค่าพุ่งเกินและไม่เกิดค่าผิดพลาดที่สถานะคงตัวด้วยเช่นกัน ในกรณีที่มีการระบุนโตะงานเคลื่อนที่ 3 กิโลกรัม พบว่า ตัวควบคุมฟuzzyลอจิกร่วมกับตัวเปลี่ยนความเร่งยังคงสามารถควบคุมตำแหน่งของโตะงานเคลื่อนที่แบบ 1 แกนให้เข้าสู่ตำแหน่งเป้าหมายได้เร็วตามต้องการ โดยปราศจากค่าพุ่งเกิน ถึงแม้ว่าจะเปลี่ยนระดับตำแหน่งเป้าหมายไปก็ตาม

สำหรับการเปรียบเทียบผลตอบสนองระหว่างระบบควบคุมฟuzzyลอจิกและระบบควบคุมพีไอดี โดยได้ออกแบบระบบควบคุมทั้งสองภายใต้เงื่อนไขของกระบวนการที่มีพารามิเตอร์เดียวกันนั้น พบว่าตัวควบคุมฟuzzyลอจิกร่วมกับตัวเปลี่ยนความเร่งสามารถควบคุมตำแหน่งให้เข้าสู่เป้าหมายได้เร็วกว่าระบบควบคุมพีไอดี และไม่เกิดค่าพุ่งเกินที่สถานะอยู่ตัว ในขณะที่ผลตอบสนองของระบบควบคุมพีไอดีเกิดค่าพุ่งเกินและเกิดการแกว่งที่ตำแหน่งเป้าหมาย และเมื่อเปลี่ยนระดับตำแหน่งเป้าหมายเป็นขั้นบันได พบว่า สมรรถนะของระบบควบคุมฟuzzyลอจิกดีกว่าระบบควบคุมพีไอดี โดยผลตอบสนองระบบควบคุมฟuzzyลอจิกยังคงสามารถควบคุมตำแหน่งของโตะงานเคลื่อนที่ตามตำแหน่งเป้าหมายที่เปลี่ยนไปได้เร็วและแม่นยำกว่าระบบควบคุมพีไอดี และไม่เกิดค่าพุ่งเกินที่สถานะอยู่ตัวเช่นกัน ในขณะที่ผลตอบสนองการจำลองระบบควบคุมพีไอดีเกิดการแกว่งทุกช่วงของการเปลี่ยนระดับตำแหน่งเป้าหมาย

จากผลการทดลองดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่า ระบบควบคุมฟิชชีลอจิกที่ประกอบด้วยตัวควบคุมฟิชชีลอจิกร่วมกับตัวเปลี่ยนความเร่งสามารถควบคุมตำแหน่งของโตะงานเคลื่อนที่แบบ 1 แกนให้เข้าสู่ค่าเป้าหมายได้ดีและไม่เกิดค่าพุ่งเกินทั้งในสภาวะมีภาระและมีไม่ภาระ

6.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัย

การออกแบบตัวควบคุมฟิชชีลอจิกร่วมกับตัวเปลี่ยนความเร่งเพื่อควบคุมตำแหน่งของโตะงานเคลื่อนที่แบบ 1 แกน เป็นการออกแบบตัวควบคุมในลักษณะการควบคุมแบบเวลาจริงที่กระทำโดยออกแบบระบบควบคุมด้วยโปรแกรมแมทแลป ดังนั้นในการวิจัยโตะงานเคลื่อนที่ควรเลือกมอเตอร์และชุดขับให้มีความสัมพันธ์กับภาระงานและตัวตรวจรู้ควรมีความละเอียดเพียงพอ

6.3 ปัญหาที่พบในการวิจัยและแนวทางแก้ไข

1. ความยาวของโตะงานมีระยะการเคลื่อนที่สูงสุดเท่ากับ 320 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นระยะที่ค่อนข้างสั้นต่อการเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง ทำให้ต้องระมัดระวังในการควบคุมตำแหน่งของการเคลื่อนที่เป็นอย่างมาก ทั้งนี้เพื่อมิให้เกิดการชนกับตัวกันชน (stopper) ซึ่งจะก่อให้เกิดความเสียหายต่อเอซีเซอร์โวมอเตอร์ได้

2. ในการหาพารามิเตอร์ของกระบวนการจะใช้วิธีหาแบบลองผิดลองถูก (trial-error) ทำให้ต้องใช้เวลาพอสมควรกว่าจะได้ผลตอบสนองที่น่าพอใจ

6.4 แนวทางในการพัฒนาต่อไป

การพัฒนาการควบคุมตำแหน่งของโตะงานเคลื่อนที่แบบ 1 แกนในขั้นต่อไปคือ การใช้ จีเนติก อัลกอริทึม (Genetic algorithm) ช่วยในการปรับแต่งกฎการควบคุมฟิชชีลอจิกซึ่งจะช่วยลดเวลาในการทดสอบกฎก่อนนำไปควบคุมได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] J.G. Ziegler and N.B. Nichols, "Optimum Setting for Automatic Controller." ASME Trans. Vol.64, 1942, pp. 759-768.
- [2] W.K. Ho, C.C. Hang, and J.H. Zhou, "Performance and Gain and phase margins of well-know PT Tuning formulas." IEEE Trans. Contr. Syst. Technol., 1995.
- [3] Timothy J. Ross, "Fuzzy Logic with Engineering Application." New York NY:McGraw-Hill, 1995.
- [4] L.A. Zadeh, "Fuzzy sets." Information & Control, Vol.8, 1965, pp. 338-353.
- [5] L.A. Zadeh, "Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision process." IEEE Trans. SMC, Vol.3, 1973, pp. 28-44.
- [6] E.M. Mamdani, "Application of fuzzy algorithm for control of simple dynamic plant," Proc. IEEE, Vol.121, No. 12,1974, pp. 1585-1588.
- [7] P.J. King and E.M. Mamdani, "The application of fuzzy control systems to industrial process," Automatica, No. 13, 1977, pp. 235-242.
- [8] M. Jamshidi, N. Vadiie and T.J. Ross, "Fuzzy Logic and Control Software and Hardware Application," Prentice Hall, Vol.2, 1993.
- [9] Y.F.Li and C.C. Lau, "Application control of fuzzy control for servo systems," IEEE Contr. Mag., Vol.9, 1989, pp. 65-72.
- [10] Hong le-Hey and Mather Hamdi, "Control of a Direct-Drive DC Motor by Fuzzy Logic," Proc. IEEE, Vol.1, 1993, pp.732-738.
- [11] Pual-I-Hailin, Sentai Hwang and Chou J, "Comparision on Fuzzy Logic, and PID Control for a DC Motor Position Controller," Proc. IEEE, Vol.3, 1994, pp. 1930-1935.
- [12] Leonid Reznik, "Fuzzy Controllers," Newnes, 1997.
- [13] Chin -Teng Lin and C.S. George Lee, "Neural Fuzzy System," Prentice-Hall Inc., 1996.
- [14] Lee, C.C., "Fuzzy Logic in Control System: Fuzzy Logic Controller-Part I", IEEE Trans. On Systems., Man, and Cybernetics, vol. 20, 1990, pp. 404-418,
- [15] Jun Yan, Michael Ryan, and James Power, "Using Fuzzy Logic", Prentice Hall, 1994.
- [16] Mitsubishi Electric, "AC Servo Motor driver MELSERVO MR-J2-10A1: User's Manual", 1988.
- [17] National Instrument, "Motion Control: Reference Manual", 1998.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [18] Katsuhiko Ogata, “Modern Control Engineering”, Second Edition, Prentice-Hall Inc., 1990.
- [19] A. Kanchanathep, S. Tunyasirirut, R. Kagawa and J. Ngamwiwit, “Position Control of One-Axis Moving Table”, ICMT2001, Singapore, pp. 154-158, 2001.
- [20] นิमित บุญญาภิรมย์. “การควบคุมมอเตอร์ด้วยตัวควบคุมพีซีลอจิกแบบปรับแต่งพารามิเตอร์ด้วยตนเอง” วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2541
- [21] อรรถพล กัณหวก. “การออกแบบตัวควบคุมทากางิ-ซุกะโนฟิซซีพีไอ+ดี สำหรับระบบเชิงเส้นที่ไม่แน่นอน” วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2544.



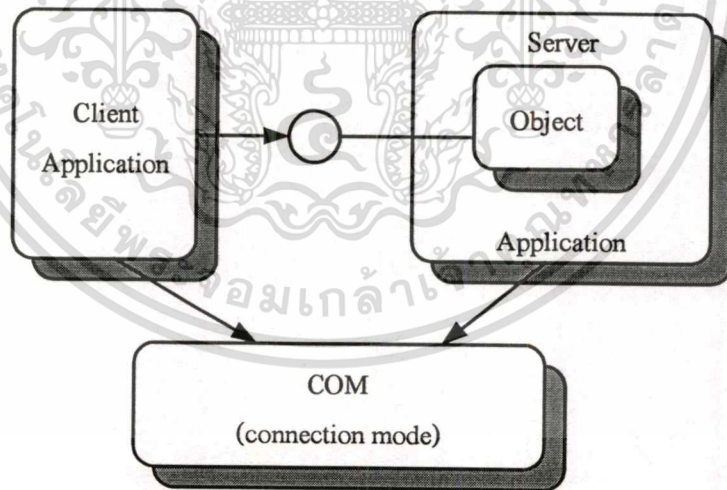
ภาคผนวก ก

การใช้แอกทีฟเอ็กซ์

ในภาคผนวก ก. จะกล่าวถึง แอกทีฟเอ็กซ์ การใช้ชื่อโดเมนด้วยโปรแกรมแมทแลป ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ก. แอกทีฟเอ็กซ์

แอกทีฟเอ็กซ์ (ActiveX) เป็นชื่อเรียกเทคโนโลยีที่บริษัทไมโครซอฟท์คิดค้นขึ้นมา โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อสร้างระบบซอฟต์แวร์ที่มุ่งเน้นการใช้งานและพัฒนาบนเครือข่าย เช่น โปรแกรมที่ทำงานอยู่บนอินเทอร์เน็ต เพื่อให้โปรแกรมที่อยู่ต่างแพลตฟอร์ม (platform) สามารถทำงานร่วมกันได้ และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้โดยง่าย ซึ่งเทคโนโลยีแอกทีฟเอ็กซ์นี้มีพื้นฐานมาจากแนวคิดของ COM (Component Object Model) ซึ่งเป็นโมเดลที่ถูกออกแบบภายใต้เงื่อนไขของการเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุ (object-based programming) เพื่อช่วยให้การติดต่อสื่อสารระหว่างแอปพลิเคชันเป็นไปโดยไม่ต้องมีการติดต่อผ่านตัวกลาง เพราะจะทำให้เกิดความล่าช้าในการทำงานหรือส่งผ่านข้อมูล



รูปที่ ก.1 แสดงการติดต่อระหว่างไคลเอนต์กับเซิร์ฟเวอร์ภายใต้โมเดล COM

โปรแกรมที่ใช้เทคโนโลยีแอกทีฟเอ็กซ์จะประกอบไปด้วยวัตถุ (object) ที่เรียกว่าแอกทีฟเอ็กซ์ออปเจกต์ (ActiveX object) ที่จะถูกจัดการโดยแอกทีฟเอ็กซ์ไคลเอนต์ (ActiveX Client) ด้วยเทคนิคออโตเมชัน (Automation) ซึ่งออโตเมชันนี้ก็เป็นเทคโนโลยีของบริษัทไมโครซอฟท์ที่ยอมให้ออปเจกต์สามารถให้บริการแก่กันโดยอัตโนมัติ เช่น โอแอลอี ออโตเมชัน (OLE Automation) ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอปพลิเคชันบนวินโดวส์ที่สนับสนุนเทคนิคของอโตเมชันอย่างเต็มรูปแบบจะ “เปิดเผย (expose)” ความสามารถของตนเองออกมาที่เรียกว่าเป็นแอปพลิเคชันออปเจ็กต์ (application object) หรือ เซิร์ฟเวอร์ (server) และแอปพลิเคชันที่เรียกใช้ความสามารถดังกล่าวจะถูกเรียกว่าเป็นแอปพลิเคชันที่ทำหน้าควบคุม (controlling) หรือไคลเอนต์ (client) สำหรับในวิทยานิพนธ์นี้ โปรแกรมวิซวลเบสิกทำหน้าที่เป็นแอปพลิเคชันควบคุม ส่วนโปรแกรมโปรแกรมแมทแลปเป็นเซิร์ฟเวอร์

ข. การใช้อโตเมชันด้วยโปรแกรมแมทแลป

1. ขั้นตอนการลงทะเบียนโปรแกรมแมทแลปเป็นเซิร์ฟเวอร์

การใช้งานแอกทีฟเอ็กซ์สามารถจะกระทำได้โดยการพิมพ์คำสั่งที่คอสพร้อมโดยพิมพ์ได้ดังนี้

```
matlab /Regserver
```

ชื่อที่ลงทะเบียนสามารถอ้างถึงได้

```
Matlab.Application
```

2. การประกาศออปเจ็กต์แอกทีฟเอ็กซ์เรียกใช้งานในโปรแกรมวิซวลเบสิก

ในการประกาศการใช้งานแอกทีฟเอ็กซ์ของโปรแกรมแมทแลปสามารถประกาศโดยเรียกใช้ฟังก์ชันการทำงานที่มีอยู่ในวิซวลเบสิกคือ CreateObject function

```
Dim MatLab As Object
```

```
Set MatLab = CreateObject ("Matlab.Application")
```

3. ฟังก์ชันในการเรียกใช้งานโปรแกรมวิซวลเบสิกติดต่อผ่านโปรแกรมแมทแลป

```
MatLab.Execute ("fuzzy")
```

เป็นฟังก์ชันเรียกใช้งานฟังก์ชันลอจิกทูลบ็อกซ์ของโปรแกรมแมทแลป

```
MatLab.Execute("X = evalfis([10 10],a)")
```

เป็นฟังก์ชันเรียกใช้งานคำนวณค่าของฟังก์ชันลอจิก

```
ansstr = MatLab.Execute("evalfis([10 10],a)")
```

เป็นฟังก์ชันเรียกใช้งานโดยรับค่ากลับ

```
ans = Val(Mid$(ansstr, 9))
```

จากโปรแกรมโปรแกรมเป็นตัวแปรสตริง เป็นฟังก์ชันเรียกใช้งานตัดสตริงพร้อมทั้งแปลงเป็นตัวเลข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นสรุปในการสร้างตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิกสามารถสร้างได้โดยการเขียนเป็นฟังก์ชันเรียกใช้งานผ่านโปรแกรมแมทแลปโดยใช้โปรแกรมวิซวลเบสิกได้ดังนี้

```
Private Function Fuzzy(a As Double, b As Double) As Double
```

```
Dim res As String
```

```
res = MatLab.Execute("evalfis([" + Str(a) + " " + Str(b) + "],a)")
```

```
Fuzzy = Val(Mid$(res, 9))
```

```
End Function
```

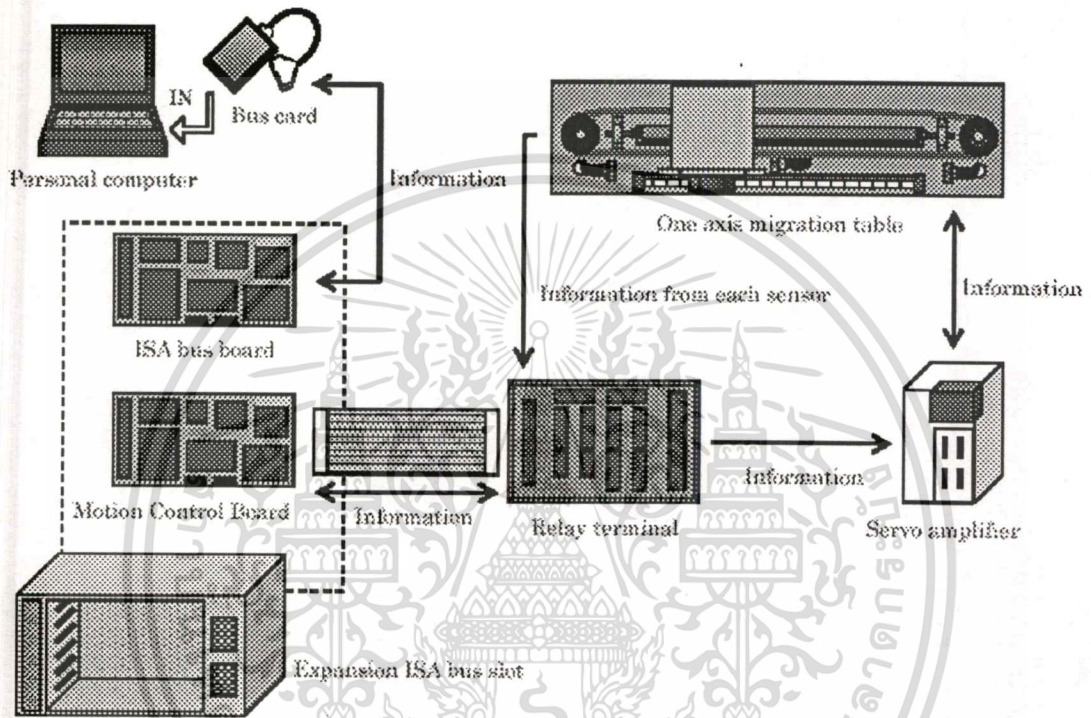


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

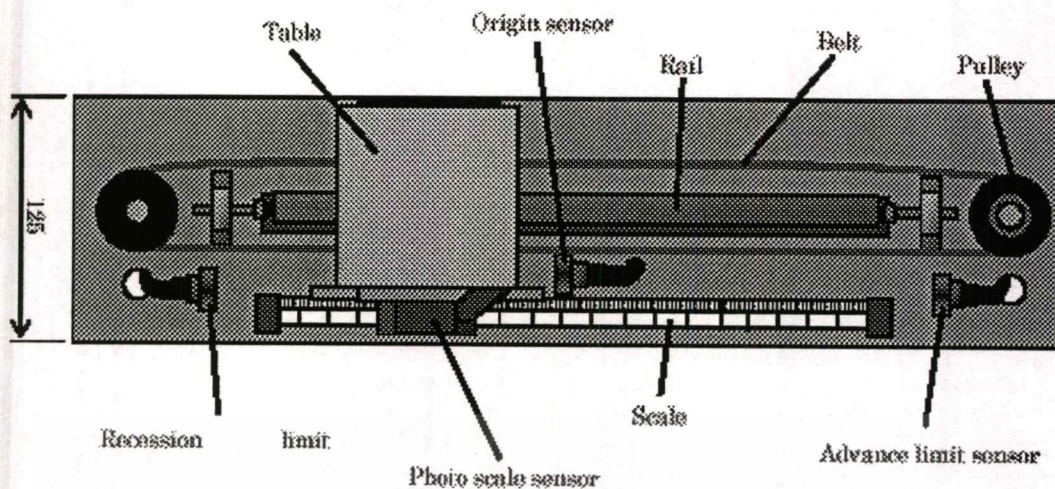
ในภาคผนวก ข. จะกล่าวถึงรายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้



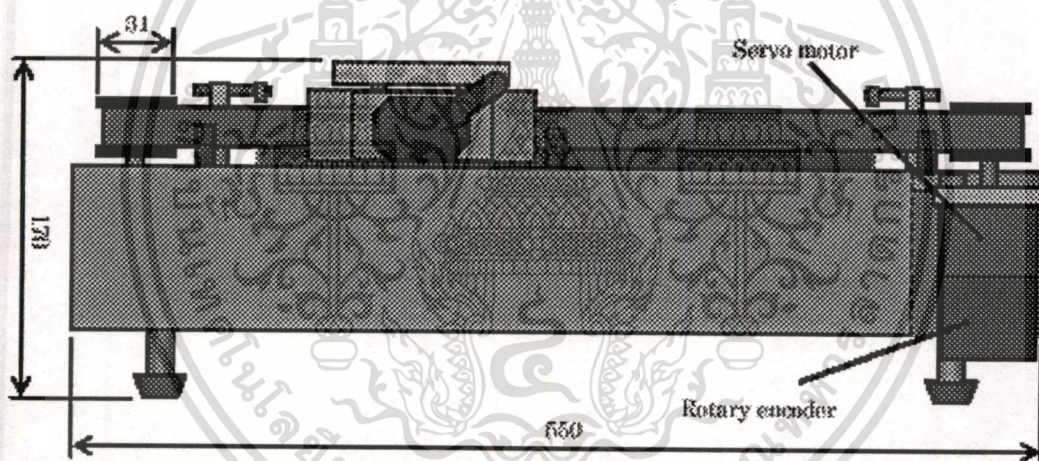
รูปที่ ข.1 แสดงอุปกรณ์ประกอบทั้งหมดที่ใช้ในงานวิจัย

รายการอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยมีดังนี้

1. คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล
2. การ์ดพีซีเอ็มอินเตอร์เฟซขยายบัสไอเอสเอ
3. ชุดขยายสล็อตแบบไอเอสเอ
4. บอร์ดควบคุมการเคลื่อนที่
5. เทอร์มินัลรีเลย์บอร์ด
6. ชุดขยายกำลังขับเอซีเซอร์โวมอเตอร์
7. โต๊ะงานเคลื่อนที่



รูปที่ ข.2 แสดงโต๊ะงานเคลื่อนมุมมองด้านบน



รูปที่ ข.3 แสดงโต๊ะงานเคลื่อนมุมมองด้านข้าง

ภาคผนวก ค

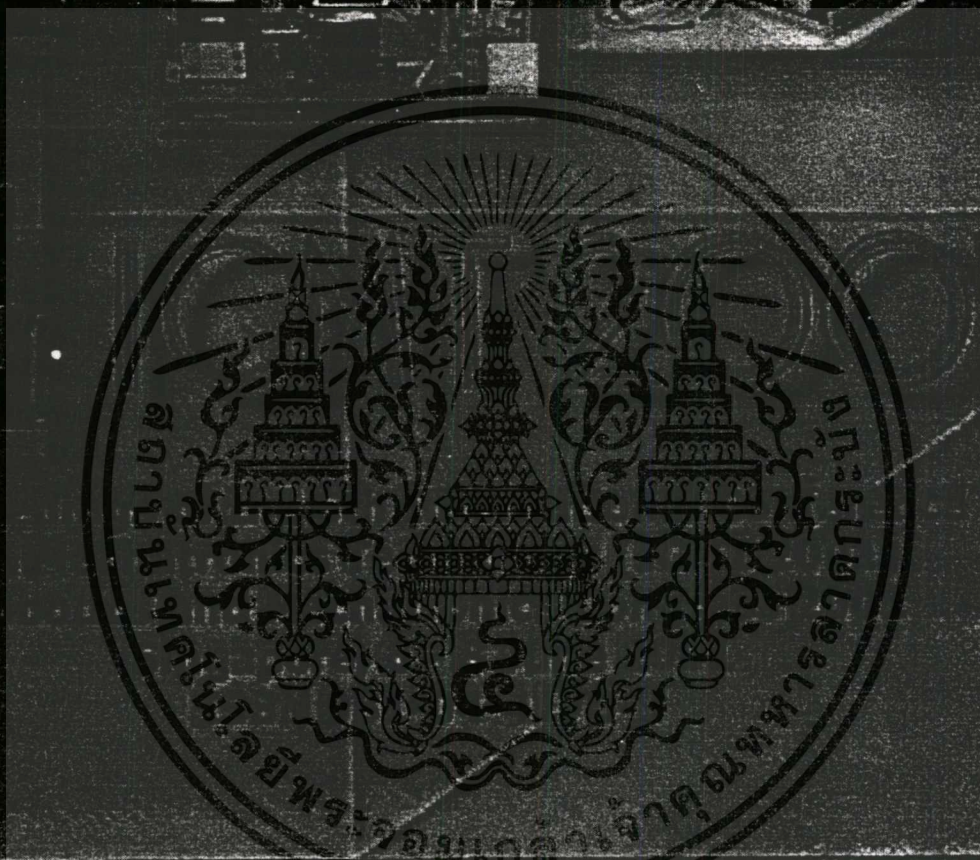
ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

บทความที่ 1 ได้รับการตีพิมพ์ในงาน Internation Conference on Mechatronics Technology (ICMT 2001) ณ ประเทศสิงคโปร์ ระหว่างวันที่ 6-8 มิถุนายน 2543 ในหัวข้อเรื่อง
Position Control of One-Axis Moving Table

บทความที่ 2 ได้รับการตีพิมพ์ในงาน Internation Conference on Control Automation and Systems (ICCAS) ณ ประเทศเกาหลี ระหว่างวันที่ 17-21 ตุลาคม 2544 ในหัวข้อเรื่อง
Position Control by Fuzzy Logic Controller with Acceleration Converter



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Organised by:



Gintic

Institute of Manufacturing Technology



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Position Control of One-Axis Moving Table

Attapol Kanchanathep*

Ritsu Kagawa***

Satean Tunyasrirut**

Jongkol Ngamwiwit*

*Faculty of Engineering and Research Center for Communications and Information Technology, King Mongkut's Institute of Technology, Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand.

knjongko@kmitl.ac.th

**Faculty of Engineering, Pathumwan Institute of Technology, Rama1 Rd., Pathumwan, Bangkok 10330, Thailand.

***Yonago National College of Technology 4448, Hikona, Yonago Tottori, 683-8502, Japan.

kagawa@yonago-k.ac.jp

Abstract

This paper proposes the improvement on the dynamic characteristic through the fuzzy logic controller with the acceleration converter to control the position of a one-axis moving table. The proposed control algorithm is implemented on a personal computer by using MATLAB and Visual Basic for a real time control via a motion control board. The experimental results show that the proposed controller can be effectively used for controlling the position of the one-axis moving table accurately.

Keywords

Position control, motion control, fuzzy logic controller, moving table, Universal Motion Interface

1 Introduction

Recently, The Flexible Manufacturing Systemization of the production system is spreading rapidly to make a wide variety of short-run products and models [1],[2]. The autonomous robot is one of the base element that supports this FMS, furthermore, maintenance of the atomic power station and various kinds of investigation work in outer space, deep sea and in place where the human is not able to work directly or in limit condition. The autonomous robot is a kind of intelligent robot that works based on the external environment information from various kinds of sensors. Generally, two kinds of information are indispensable to control the robot. One of them is the internal information like actual posture, speed and acceleration inside of the robot, another one is the external information of outside the machine such as the surroundings.

In this paper, we implement the environment of integration for the proposed fuzzy logic controller with the acceleration converter to improve the dynamic characteristic of the autonomous robot. The proposed controller is designed to control the

position of the one-axis moving table. By using Active X, the Visual Basic calls the fuzzy control rules created by MATLAB fuzzy toolbox. The output of this fuzzy logic controller is then converted to be acceleration by the acceleration converter and sent to a motion control board [3] to generate the control signal for controlling the position of the moving table. The responses of the controlled system show that the position of the moving table can be accurately controlled to the designated position without or with a load mass added to the moving table.

2 Experimental Apparatus

The simplified block diagram of the position control system is shown in Fig.1. It consists of a personal computer, motion control board, universal motion interface, AC servo motor driver and one-axis moving table. The personal computer with Intel Pentium processor II operates at 330 MHz controls the position of the table by using the fuzzy controller in MATLAB via ActiveX from Visual Basic. The motion control board (PC-Servo-4A) is used to receive the position voltage signal from the table to the computer. The Universal Motion Interface (UMI) [3] is used to interface the motion control board and AC servo motor driver (MR-J2-10A1) which will drive AC servo motor (rated power: 50 W, rated speed: 3000 rpm) of the table. The one-axis moving table composes of AC servo motor, rotary encoder, photo scale sensor, pulley, belt and linear guide. The movement of the table is controlled by the belt coupling to the pulley (31mm diameter) driven by AC servo motor. The rotary encoder detects the rotational speed of the servo motor. The photo scale sensor detects the actual position of the table with the resolution of 0.1mm. The maximum stroke of the moving table is about 320 mm with the migration distance resolution of 97.4 mm/rev.

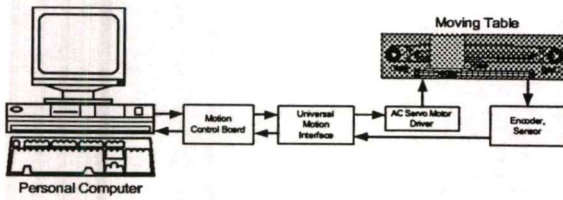


Fig.1 One-axis moving table control structure

2.1 Moving Table Modeling

Fig. 2 is the moving table structure with the AC servo motor, where M is the mass of the table [kg], d is the diameter of the pulley [mm], F is the force that pushes to the table [N], b is the viscosity friction coefficient [kg/s], x is the displacement of the table [mm], τ is the torque of motor [Nm], ω_R is the actual rotational speed of motor [rpm], ω_S is the setting rotational speed of motor [rpm] and α is the setting rotational acceleration of motor [rev/s²].

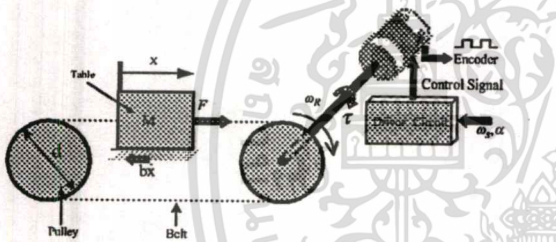


Fig. 2 Moving table structure with the AC servo motor

In order to find the model of the moving table, the following conditions are assumed first. The electric delay between of driver circuit and servo motor is very small, there is no slip between the pulley and the belt, no flexibility in the belt and no mechanical loss from servo motor and rotary encoder and from the table and the rail. Hence, the kinetic equation of the table can be found as

$$F = M\ddot{x} + bx \quad (1)$$

From the relation between the torque of motor τ and the diameter of pulley d , the force F can be expressed by

$$F = \tau / (d/2) \quad (2)$$

The model of the moving table can be found by the control torque of the servo motor as shown in Fig.3 [4]. Fig.3 (b) shows the mechanical torque τ of the AC servo motor when the motor is driven by the operation pattern as shown in Fig.3 (a). The setting

rotational acceleration α will change the actual rotational speed ω_R from 0 to its constant rotational speed ω_p . The torque occurred in this transition is called τ_a . At the moment of constant rotational speed ω_p is reached, the torque reduces to be τ_p in order to overcome the loss from the friction occurred between the table and the rail. The same action will occur for the opposite direction as shown in Fig. 3 (a) and (b). The electrical torque τ_0 and $-\tau_0$ are generated by AC servo driver by using the pulse width modulator (PWM) to rotate the motor with the rotational speed of ω_p and ω_n respectively as shown in Fig.3 (c). Therefore, the torque of the motor that takes only the value of τ_0 , 0, and $-\tau_0$ are assumed for $\tau_0 > \tau_p$ and $-\tau_0 < -\tau_n$.

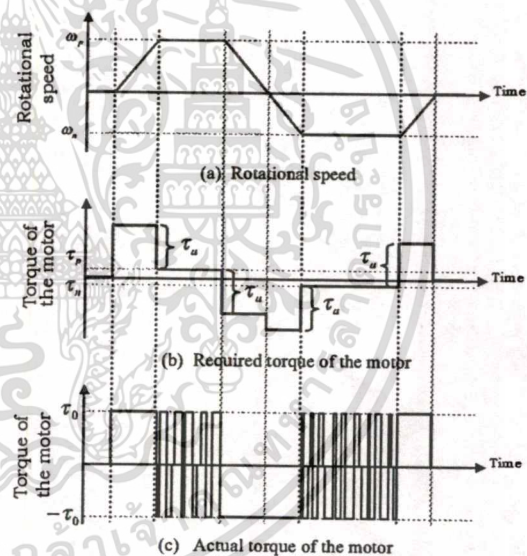


Fig. 3 Control torque of the servo motor

The electrical torque τ_0 is proportional to the setting rotational acceleration α of motor and can be expressed as follows:

$$\tau_0 = \begin{cases} K_1\alpha & (\omega_R < \omega_S) \\ 0 & (\omega_R = \omega_S) \\ -K_1\alpha & (\omega_R > \omega_S) \end{cases} \quad (3)$$

where K_1 is a constant. From equation (2) and (3), the force F that pushes the table can be found as

$$F = \begin{cases} \frac{2K_1}{d}\alpha & (\omega_R < \omega_S) \\ 0 & (\omega_R = \omega_S) \\ -\frac{2K_1}{d}\alpha & (\omega_R > \omega_S) \end{cases} \quad (4)$$

Hence from equation (1) to (4), the linear acceleration a can be expressed as

$$a = \pi d \times \begin{cases} \alpha & (\omega_R < \omega_S) \\ 0 & (\omega_R = \omega_S) \\ -\alpha & (\omega_R > \omega_S) \end{cases} \quad (5)$$

Since F is proportional to the linear acceleration a then

$$F = K_2 a \quad (6)$$

where K_2 is a constant. By substituting equation (6) into equation (1), it is found that

$$a = \frac{M}{K_2} \ddot{x} + \frac{b}{K_2} \dot{x} = r_1 \ddot{x} + r_2 \dot{x} \quad (7)$$

Therefore the transfer function of equation (7) becomes

$$\frac{X(s)}{A(s)} = \frac{1}{s(\tau_1 s + \tau_2)} \quad (8)$$

where τ_1 and τ_2 are the coefficient and equal to $\frac{M}{K_2}$ and $\frac{b}{K_2}$ respectively. Equation (8) is the model of the moving table to be used to control by the designed fuzzy logic controller with acceleration converter. This model is a second-order system and the type of the system is type one. The input and the output of the model are acceleration and position respectively.

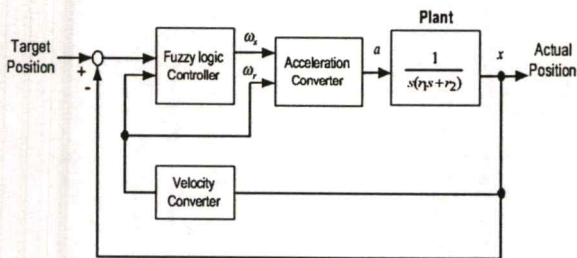


Fig. 4 The proposed position control system

3. Fuzzy Logic Controller Design

The structure of the proposed position control system is shown in Fig.4. The inputs of fuzzy logic controller are the position error between the actual position and target position of the moving table and the rotational speed of moving table. The rotational speed is obtained from the velocity converter that converts the position of the moving table to be velocity. The output of fuzzy logic controller is the setting rotational speed ω_s of motor to be compared with the actual rotational speed ω_R of motor. If the absolute value of the difference is bigger than 1, it outputs positive or negative constant for setting the rotational acceleration of motor to be an input for the moving table.

The fuzzy logic controller consists of fuzzification, control rule evaluation and defuzzification stages. To create the membership function, Membership Function Editor is used for expressing input and output variables. The input variables are the position error and rotational speed. The number of membership functions for each input variable is designated in three ranges and the names of membership functions are positive/zero/negative. The setting rotational speed ω_s of motor is defined as the fuzzy controller output, which has 9 membership functions. The forms of all input and output membership functions are selected to be triangle-shaped functions for simplicity. In fuzzification stages, the input variables, the position and rotational speed, are converted into fuzzy variables using the membership function shown in Fig. 5.

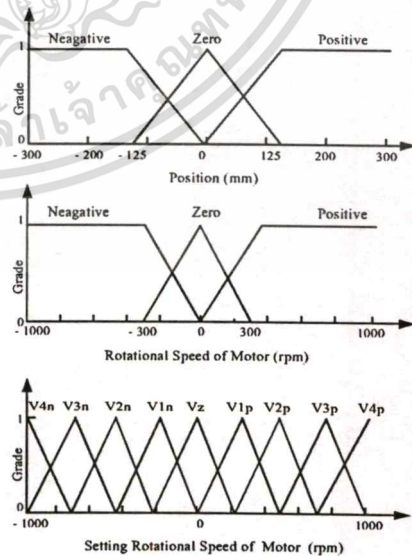


Fig.5 Membership function of input and output variables for the moving table

The input fuzzy variables, the position error and rotational speed, are applied to a set of fuzzy logic control rules as shown in Table 1. These rules map the input variables to the universe of discourse of the control variable representing the rotational speed to be applied to acceleration converter. The fuzzy logic control rules are expressed under the following form:

If (Pos.) is Neg AND (Vel.) is Neg THEN (Set. Vel.) is $V4p$

where Pos. and Vel. are the fuzzy subsets in the universe of discourse of position error and setting rotational speed of the motor respectively. The Neg and $V4p$ are linguistic values of the fuzzy rule, which is based on the min compositional inference. The linguistic rules are shown in Table 1.

Table.1 Control rules for input and output variables

Pos. Vel.	Negative	Zero	Positive
Negative	$V4p$	$V1p$	$V1n$
Zero	$V3p$	Vz	$V3n$
Positive	$V4p$	$V2p$	$V4n$

The defuzzification operation, in this paper, uses the centroid defuzzification method because of its implementation simplicity.

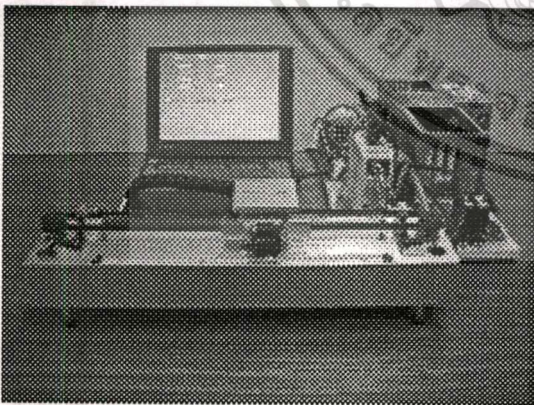


Fig.6 Photograph of the position control system

4 Experimental Results

The experimental system is shown Fig.6. In this paper, the distance of migration of the moving table is 300 mm. Thus the maximum position can be controlled is 300 mm. The rotational speed of motor

is set to be 1000 rpm. because of the short length of the table. The optimal values for r_1 and r_2 of the model shown in equation (8) are given to be 1.5 and 0.3 respectively.

4.1 Position control without a load mass on the table

The responses of the position control system for the position of 150 mm and 300 mm are shown in Fig. 7 and Fig. 8 respectively. It is found that the proposed controller can control the table to the positions of 150 mm and 300 mm within 1.4 seconds and 1.7 seconds respectively, while the rise times t_r are 0.52 seconds and 0.59 seconds respectively. This implies that the speeds of the two responses are almost same.

4.2 Position control with a load mass on the table

When the load mass of 2 kgs is added to the moving table, the responses of the positions of 150 mm and 300 mm are shown in Fig. 9 and Fig. 10, respectively. It is seen from the two figures that the fast responses can be obtained. These two responses are almost same as the responses without load mass. In the same manner, when the load mass of 6 kgs is added to the moving table, the responses are also shown in Fig. 11 and Fig. 12. It also can observe that the fast responses can also be obtained. However, when the load mass is 6 kgs the transient responses of both responses are not quite smooth.

5 Conclusion

The position control of one-axis moving table using the proposed fuzzy logic controller with the acceleration converter has been proposed. The experimental responses of the position control system at the position of 150 mm and 300 mm without and with a load mass on the table are fast. Hence, it can be concluded that the proposed control method can be effectively applied for controlling the position of the moving table accurately.

6 References

- [1] Seong Jin Yim, Doo Yong Lee, "Scheduling Method with the Consideration of Machine Setup in Flexible Manufacturing Systems", Proc. of the International Conference on Robotics and Automation, 1997.
- [2] David D. Bedworth, Mark R. Henderson and Philip M. Wolfe, "Computer-Integrated Design and Manufacturing", McGraw-Hill, Inc, 1991.
- [3] National Instrument, "Motion Control: Reference Manual", 1998.
- [4] Mitsubishi Electric, "AC Servo Motor driver MELSERVO MR-J2-10A1: User's Manual", 1998.

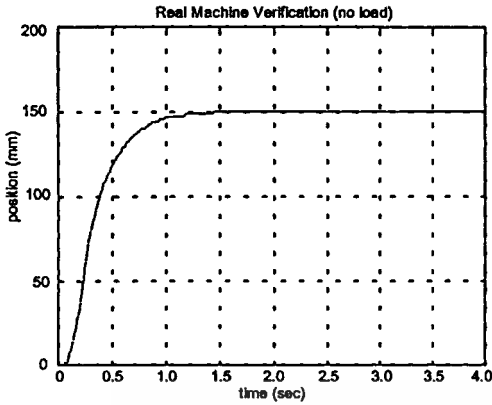


Fig.7 The motion for 150 mm with no load
(Rise time: 0.52 sec, Overshoot: 0 %)

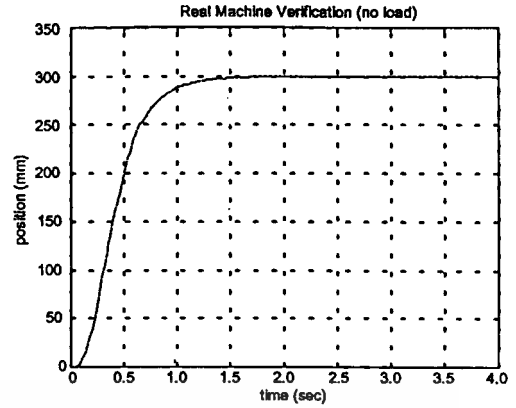


Fig.8 The motion for 300 mm with no load
(Rise time: 0.59 sec, Overshoot: 0 %)

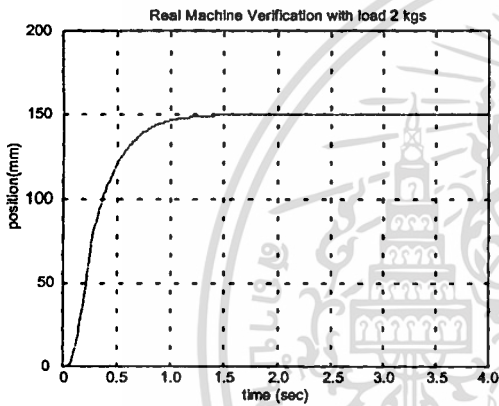


Fig.9 The motion for 150 mm with load mass 2 kgs
(Rise time: 0.53 sec, Overshoot: 0 %)

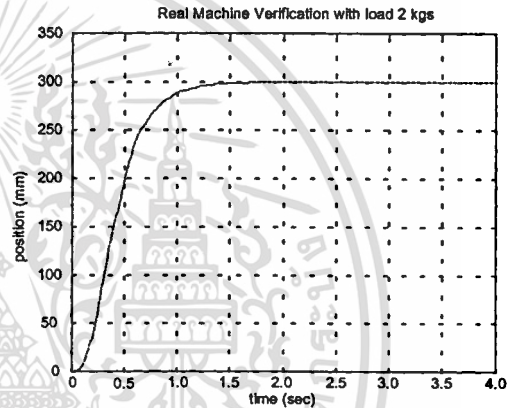


Fig.10 The motion for 300 mm with load mass 2 kgs
(Rise time: 0.57 sec, Overshoot: 0 %)

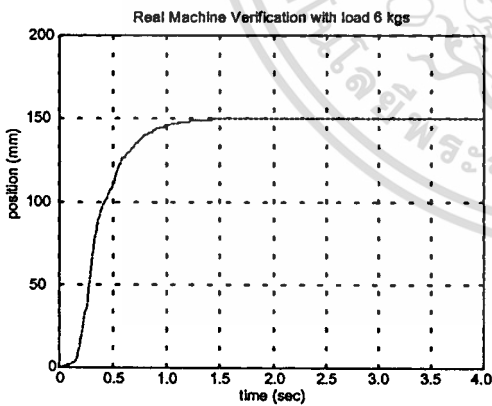


Fig.11 The motion for 150 mm with load mass 6 kgs
(Rise time: 0.52 sec, Overshoot: 0 %)

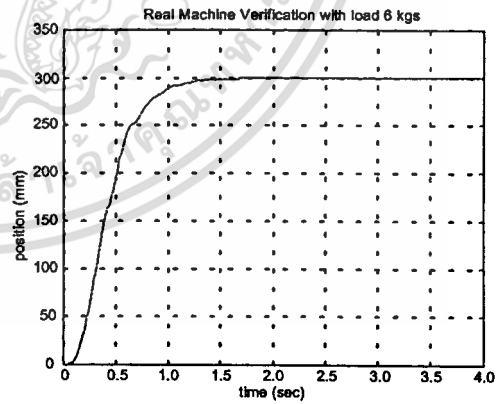


Fig.12 The motion for 300 mm with load mass 6 kgs
(Rise time: 0.59 sec, Overshoot: 0 %)

International Conference
on Control, Automation and Systems

ICCAS 2001

October, 17~21, 2001

Cheju National University, Jeju Island, Korea



<http://www.iccas.org>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Position Control by Fuzzy Logic Controller with Acceleration Converter

A. Kanchanathep*, S. Tunyasrirut**, R. Kagawa*** and J. Ngamwiwit*

*Department of Control Engineering, Faculty of Engineering and Research Center for Communication and Information Technology King Mongkut's Institute of Technology, Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand.
(Tel : 66-2-326-9989; Fax : 66-2-326-9989; E-mail: knjongko@kmitl.ac.th)

**Department of Instrumentation Engineering, Faculty of Engineering, Pathumwan Institute of Technology 833 Ramal Rd., Pathumwan, Bangkok 10330, Thailand
(Tel : 66-2-219-3861; Fax : 66-2-219-3861; E-mail: sateantun@emisc.moe.go.th)

***Yonago National College of Technology 4448, Hikona, Yonago, Tottori, 683-8502, Japan
(Tel : 81-859-24-5134; Fax : 81-859-24-5134; E-mail: kagawa@yonago-k.ac.jp)

Abstract: The integrated environment for the fuzzy logic controller with the acceleration converter to improve the dynamic characteristic of a one-axis moving table is proposed in this paper. The two inputs of the fuzzy logic controller are position error and velocity. The two inputs of the acceleration converter used to produce the acceleration input for the one-axis moving table are actual and setting rotational speeds. The proposed controller is implemented on a personal computer by using MATLAB and Visual Basic for a real time control via a motion control board. The position control results when the stair input is applied to control the position of the one-axis moving table, are shown. The experimental results of the proposed position control system are compared to the conventional PID position control system for load mass and no load mass applied to the table. The results show that the fuzzy logic controller with the acceleration converter can control the position of the table more effective than the conventional PID controller.

Keywords: Position control, fuzzy logic controller, PID controller, motion control, acceleration converter, moving table

1. Introduction

In the industrial automation, the position control is a type of control method for common motion systems. The position of any motion system must be controlled by the proper controller. The objective of the controller in the position control is to maintain a position set point at a given value and be able to accept new set point values dynamically. The conventional proportional-integral (PI) and proportional-integral-derivative (PID) are commonly utilized in controlling the position, but the parameter of those controllers must be tuned by tuning method either in time response or frequency response to meet their required performances [1-2]. On the other hand, the fuzzy controllers are also popularly implemented in many practical industrial automation applications.

In this paper, we implement the integrated environment for the proposed fuzzy logic controller with the acceleration converter to improve the dynamic characteristic of the one-axis moving table. The objective of the proposed controller is to investigate the possibility of position control of one-axis moving table. By using ActiveX automation, the Visual Basic calls the fuzzy control rules created by MATLAB fuzzy toolbox. The output of fuzzy logic controller is then converted to be acceleration by the acceleration converter and sent to a motion control board [3] to generate the control signal for controlling the position of the moving table.

First, the specifications of the experimental apparatus for controlling the position of one-axis moving table are presented. The modeling of the moving table is presented to obtain the relation between the position of the moving table and its acceleration. Fuzzy logic control principle is also described and applied to be a fuzzy logic controller. Finally, the experimental results of the proposed controller are compared with the PID controller.

2. The Specifications of the Experimental Apparatus

The simplified block diagram of the position control system is shown in Fig.1. In order to construct the real machine of the position control system, the fuzzy logic controller with acceleration converter and the PID controller controllers are constructed based on the following hardware elements [4]: a

personal computer, a motion control board, a universal motion interface, AC servo motor driver and one-axis moving table. The personal computer with Intel Pentium processor II operates at 330 MHz controls the position of the table by using the fuzzy controller in MATLAB via ActiveX from Visual Basic. The motion control board (PC-Servo-4A) is used to receive the position voltage signal from the table to the computer. The Universal Motion Interface (UMI) is used to interface the motion control board and AC servo motor driver (MR-J2-10A1) [5] which will drive AC servo motor (rated power: 50 W, rated speed: 3000 rpm) of the table. The one-axis moving table composes of AC servo motor, rotary encoder, photo scale sensor, pulley, belt and linear guide. The movement of the table is controlled by the belt coupling to the pulley (31mm diameter) driven by AC servo motor. The rotary encoder detects the rotational speed of the servo motor. The photo scale sensor detects the actual position of the table with the resolution of 0.1mm. The maximum stroke of the moving table is about 320 mm with the migration distance resolution of 97.4 mm/rev.

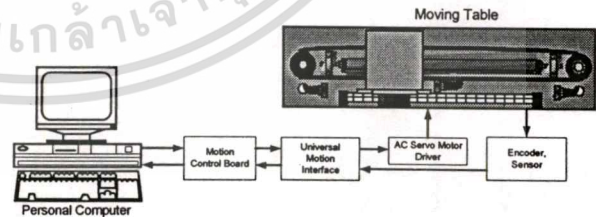


Fig.1. One-axis moving table control structure.

3. Moving Table Modeling

Figure 2 illustrates the moving table structure with the AC servo motor, where M is the mass of the table [kg], d is the diameter of the pulley [mm], F is the force that pushes to the table [N], b is the viscosity friction coefficient [kg/s], x is the displacement of the table [mm], τ is the torque of motor [Nm], ω_R is the actual rotational speed of motor [rpm], ω_S is the setting rotational speed of motor [rpm] and α is the setting rotational acceleration of motor [rev/s²]. The differential equation of the moving table is given as

$$F = M\ddot{x} + b\dot{x} \tag{1}$$

From the relation between the torque of motor τ and the diameter of pulley d , the force F can be expressed by

$$F = \tau / (d/2) \tag{2}$$

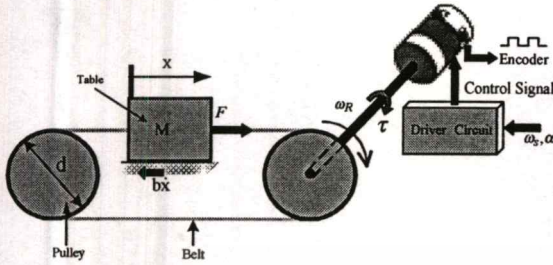


Fig. 2. Moving table structure with the AC servo motor.

The model of the moving table can be found by the control torque of the servo motor as shown in Fig.3 [5].

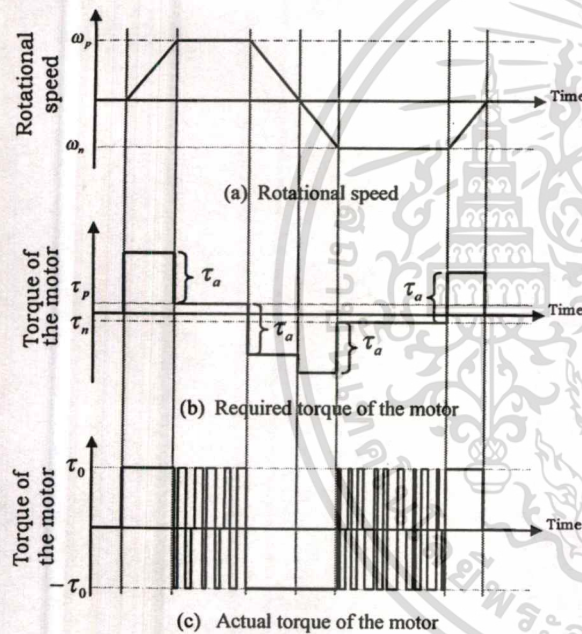


Fig. 3. Control torque of the servo motor.

Figure 3 (b) shows the mechanical torque τ of the AC servo motor when the motor is driven by the operation pattern as shown in Fig.3 (a). The electrical torque τ_0 and $-\tau_0$ are generated by AC servo driver by using the pulse width modulator (PWM) to rotate the motor with the rotational speed of ω_p and ω_n respectively as shown in Fig.3 (c). Therefore, the torque of the motor that takes only the value of τ_0 , 0, and $-\tau_0$ are assumed for $\tau_0 > \tau_p$ and $-\tau_0 < \tau_n$. The electrical torque τ_0 is proportional to the setting rotational acceleration α of motor and can be expressed as follows:

$$\tau_0 = \begin{cases} K_1\alpha & (\omega_R < \omega_S) \\ 0 & (\omega_R = \omega_S) \\ -K_1\alpha & (\omega_R > \omega_S) \end{cases} \tag{3}$$

where K_1 is a constant. From equation (2) and (3), the force F that pushes the table can be found as

$$F = \begin{cases} \frac{2K_1}{d}\alpha & (\omega_R < \omega_S) \\ 0 & (\omega_R = \omega_S) \\ -\frac{2K_1}{d}\alpha & (\omega_R > \omega_S) \end{cases} \tag{4}$$

Hence from equation (1) to (4), the linear acceleration a can be expressed as

$$a = \pi d \alpha \begin{cases} \alpha & (\omega_R < \omega_S) \\ 0 & (\omega_R = \omega_S) \\ -\alpha & (\omega_R > \omega_S) \end{cases} \tag{5}$$

Since F is proportional to the linear acceleration a then

$$F = K_2 a \tag{6}$$

where K_2 is a constant. By substituting equation (6) into equation (1), it is found that

$$a = \frac{M}{K_2} \ddot{x} + \frac{b}{K_2} \dot{x} = r_1 \ddot{x} + r_2 \dot{x} \tag{7}$$

Therefore the transfer function of equation (7) becomes

$$\frac{X(s)}{A(s)} = \frac{1}{s(\eta s + r_2)} \tag{8}$$

where the constant η and r_2 are the mass and friction of the moving table equal to $\frac{M}{K_2}$ and $\frac{b}{K_2}$ respectively. Equation (8)

is the model of the one-axis moving table to be controlled by the designed fuzzy logic controller with acceleration converter. This model is a second-order system and the type of the system is type one. The input and the output of the model are acceleration and position respectively.

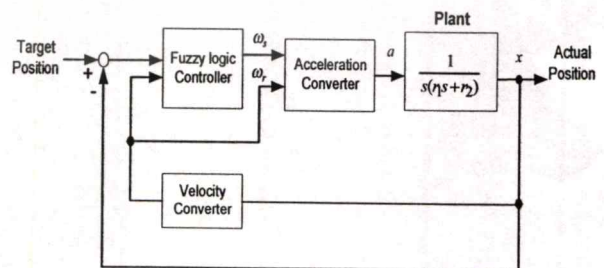


Fig. 4. The proposed position control system.

4. Fuzzy Logic Controller Design

The structure of the proposed position control system is shown in Fig.4. The inputs of fuzzy logic controller are the position

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของสถาบันวิจัยระบบบริหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี สำหรับการนำมาใช้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

error between the actual position and target position of the moving table and the rotational speed of moving table. The rotational speed is obtained from the velocity converter that converts the position of the moving table to be velocity. The output of fuzzy logic controller is the setting rotational speed ω_s of motor to be compared with the actual rotational speed

ω_R of motor. If the absolute value of the difference is bigger than 1, it output positive or negative constant for setting the rotational acceleration of motor to be an input for the moving table.

The dynamic behavior of a fuzzy system is characterized by a set of linguistic description rule based on expert knowledge. The expert knowledge is usually of the form:

IF (a set of conditions are satisfied) THEN (a set of consequence is inferred).

Since the antecedents and the consequences of these IF-THEN rules are associated with linguistic term [6]. The fuzzy logic controller consists of three main stages, namely, fuzzification, control rule and defuzzification. To create the membership function, Membership Function Editor is used for expressing input and output variables. The input fuzzy variables are the position error and rotational speed in order to be applied to a set of fuzzy logic control rules as shown in Table 1. The output of fuzzy logic control rules are determined by min-inference and the rule base of the fuzzy logic controller contains twenty-five rules. These rules map the input variables to the universe of discourse of the control variable representing the rotational speed to be applied to acceleration converter. The setting rotational speed ω_s of motor is defined as the fuzzy controller output. The universe of discourse of position error, rotational speed and setting rotational speed are partitioned into five fuzzy sets as Negative Big (NB), Negative Small (NS), Zero (ZE), Positive Small (PS) and Positive Big (PB). Each fuzzy set is presented by a triangular-shaped membership function for simplicity. In fuzzification stages, the input variables, the position and rotational speed are converted into fuzzy variables using the membership function shown in Fig. 5. The fuzzy logic control rules are expressed under the following form:

If (Pos.) is NB AND (Vel.) is NS THEN (Set. Vel.) is PB.

where Pos., Vel. and Set. Vel. are linguistic variables representing two processes state variables and one control variable. The NB, NS and PB are linguistic values of the linguistic variables of position error, rotational speed of motor and setting rotational speed of motor respectively. The defuzzification operation, in this paper, uses the centroid defuzzification method because of its implementation simplicity.

Table.1 Control rules for input and output variables.

Pos. Vel.	NB	NS	ZE	PS	PB
NB	PB	PB	PB	PS	ZE
NS	PB	PB	PS	ZE	NS
ZE	PB	PS	ZE	NS	NB
PS	PS	ZE	NS	NB	NB
PB	ZE	NS	NB	NB	NB

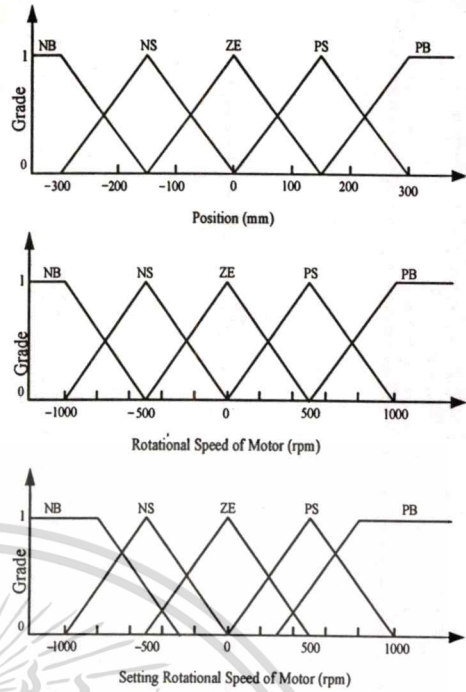


Fig.5. Membership function of input and output variables for the moving table.

5. Experimental Results

The experimental system is shown in Fig.6. In this paper, the distances of migration of the moving table are tested in case of stair input. There are three time intervals for one stair input. Each time interval is 3 seconds for the displacement of 70mm. The maximum position of the moving table can be controlled in 300 mm. The rotational speed of motor is set to be within 1000 rpm. because of the short length of the table.

The experimental results of position control system using the proposed controller are compared with the system using the PID controller. The appropriate parameters of the PID controller in this scheme for K_p , K_i and K_d are set to be 0.7, 6.0 and 0.009 respectively. The sampling time for both experiments is 35 milliseconds.

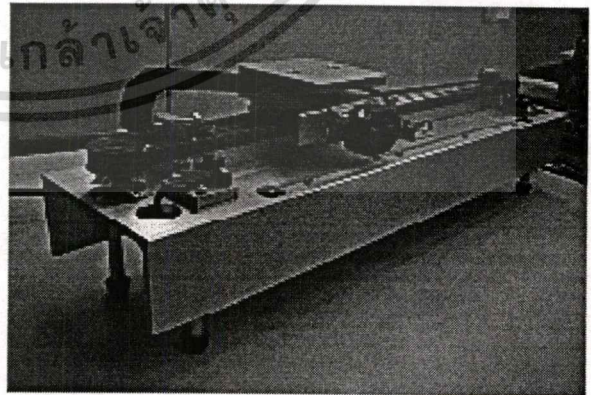


Fig.6. Photograph of the proposed position control system.

5.1. Position Control without a Load Mass

The responses of the position control system of the proposed controller and the PID controller are shown in Fig. 7 and 8 respectively. It is found from Fig.7 that the proposed controller can control the table to the positions of 70, 140 and 210 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

within 1.10, 4.02 and 7.05 seconds, while the results of the PID controller are 1.12, 4.45 and 7.40 seconds respectively, this means that both control systems can track the step change of the input. However, it can be observed that there are some small oscillations at the desired positions of the conventional PID control system.

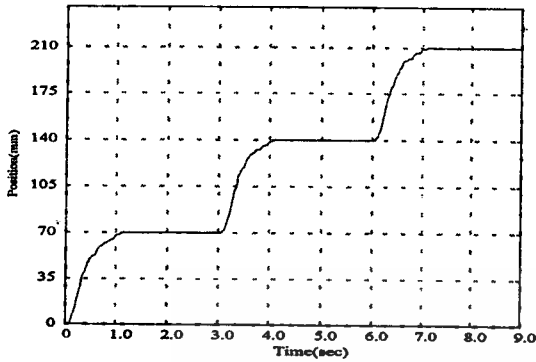


Fig.7. Experimental result using the proposed controller (without load mass).

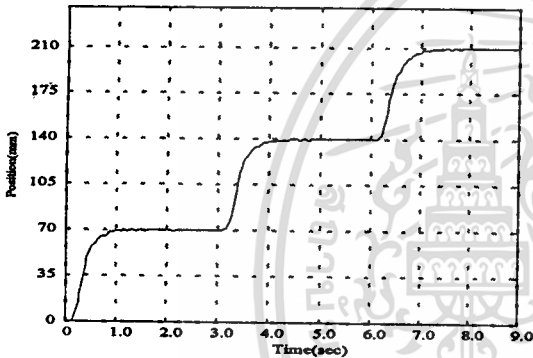


Fig.8. Experimental result using the PID controller (without load mass).

5.2. Position Control with a Load Mass

When the load mass of 3 kgs is added to the moving table, the responses of both control system are shown in Fig. 9 and Fig. 10. It is seen from the two figures that there is no steady-state error and overshoot at each time interval, while there are many oscillations occurred at the desired position for the conventional PID control system (see Fig. 10). Although the transient responses of the desired position are not quite smooth but it can be observed that the fast responses and robustness for the position control system of the proposed controller can also be obtained.

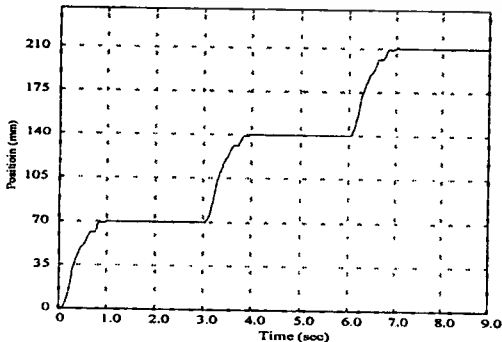


Fig.9. Experimental result using the proposed controller (with load mass 3 kgs).

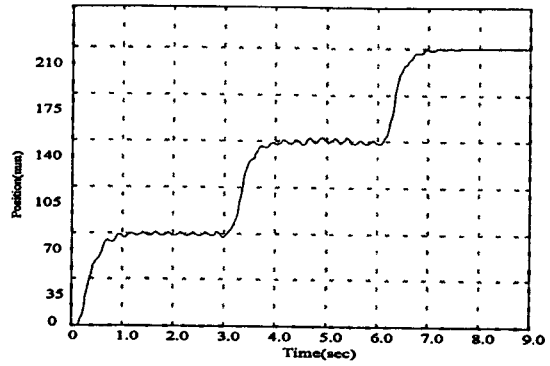


Fig.10. Experimental result using stair input with load mass 3 kgs for the PID controller.

6. Conclusions

The position control of one-axis moving table using the proposed fuzzy logic controller with the acceleration converter has been proposed. Details of the specifications of experimental apparatus and design have been presented. The experimental results using the proposed controller have also been compared with the conventional PID controller. When there is a step change of the reference position, it is found that the output of both control systems can track the reference position properly. In case of the load mass applied or not applied to the table, the speed of responses are fast and there is also no oscillation at the steady state for the proposed control system. This implies that the travelling motion of the table is smooth. Hence it can be concluded that the proposed control method can be effectively applied for controlling the position of the one-axis moving table.

References

- [1]J.G. Ziegler and N.B. Nichols, "Optimal Setting for Automatic Controller" *ASME Trans.* vol. 64. pp. 759-768, 1942
- [2]W.K. Ho, C.C. Hang and J. H. Zhou, "Performance and gain and phase margins of well-known PI Tuning formulas" *IEEE Trans. Contr. Syst. Technol.*, vol. 20, pp. 273-277, 1996
- [3]National Instrument, "Motion Control: Reference Manual", 1998
- [4]A. Kanchanathep, S. Tunyasirirut, R. Kagawa and J. Ngamwiwit, "Position Control of One-Axis Moving Table" *ICMT2001, Singapore*, pp. 154-158, 2001
- [5]Mitsubishi Electric, "AC Servo Motor driver MELSERVO MR-J2-10A1: User's Manual", 1988
- [6]Lee, C.C., "Fuzzy Logic in Control System: Fuzzy Logic Controller-Part I" *IEEE Trans. On Systems., Man, and Cybernetic*, vol. 20, pp. 494-418, 1990

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นายอัฐรุพล กาญจนเทพ เกิดวันที่ 13 มกราคม พ.ศ. 2508 ที่ อ.ปะนาเระ จ.ปัตตานี สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนต้นจากโรงเรียนวุฒิชัยวิทยา อ.ปะนาเระ จ.ปัตตานี ในปี พ.ศ. 2523 หลังจากนั้น และสำเร็จการศึกษาในระดับประกาศนียบัตรประโยควิชาชีพ(ปวช.) และประกาศนียบัตรประโยควิชาชีพชั้นสูง(ปวส.) จากวิทยาลัยเทคนิคยะลา ในปี พ.ศ. 2526 และ 2530 ตามลำดับ และได้สอบบรรจุเข้ารับราชการครูสังกัดกรมอาชีวศึกษา ในปีพ.ศ. 2530 ปฏิบัติการสอนที่วิทยาลัยเทคนิคกาญจนบุรี ต่อมาได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาตรี หลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร ที่สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล หลังจากนั้นย้ายไปปฏิบัติราชการที่วิทยาลัยช่างกลปทุมวัน ในปีพ.ศ. 2537 และในปีเดียวกันได้รับทุนร่วมมือระหว่างรัฐบาลไทย-ญี่ปุ่น(ใจกล้า) ไปอบรมหลักสูตรไมโครคอมพิวเตอร์ ณ ประเทศญี่ปุ่น เป็นเวลา 6 เดือน และได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท ที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปี พ.ศ.2542 และสำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2545

