ระบบควบคุมระดับของแผ่นรักษาความเสถียร

CONTROL SYSTEM FOR A STABILIZED PLATE

วิชชา อุปภัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2554
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ระบบควบคุมระดับของแผ่นรักษาความเสถียร

วิชชา อุปภัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ระบบควบคุมระดับของแผ่นรักษาความเสถียร
ชื่อ - นามสกุล นายวิชชา อุปภัย
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. พิพัฒน์ ปราโมทย์
ปีการศึกษา 2554

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการควบคุมแผ่นรักษาความเสถียร โดยระบบควบคุมแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ ระบบควบคุมการทำงานแบบพีไอดี (PID - controller) และระบบควบคุมการทำงานแบบฟัซซี ลอจิก (FUZZY Logic - controller) โดยมีการสร้างรูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์โดยใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink เป็นแบบจำลองการเคลื่อนที่ของแผ่นรักษาความเสถียรในแกน x และแกน y และทดลองทำจริงโดยใช้โมดูลวัดความเร่งในการวัดมุมเอียงของแผ่นรักษาความเสถียร และใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink ควบคุมระดับของแผ่นระนาบ

การทดลองแบ่งเป็น 2 ส่วน คือการทดลองโดยใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink ในการจำลองการทำงาน และการทดลองระบบจริงโดยใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink ในการควบคุมโดยการทดลองทั้ง 2 ส่วนจะตั้งค่าระบบควบคุมแบบพีไอดีโดยมีค่าพีที่ 600 และค่าไอที่ 1 ส่วนการตั้งค่าระบบควบคุมแบบ ฟัซซี ลอจิก ได้ทำการปรับค่าช่วงของกราฟอินพุทเป็น [-0.27,0.27] และ [-50,50] และกราฟเอาท์พุทเป็น [-20,20]

ผลการทดลองในส่วนการทำแบบจำลองพบว่า ระบบควบคุมแบบ ฟัซซี ลอจิก มีประสิทธิภาพกว่าระบบควบคุมแบบ พีไอดี แต่ระบบควบคุมแบบ พีไอดีมีความแม่นยำมากกว่าระบบควบคุมแบบฟัซซี ลอจิก และ ในส่วนของการทดลองงานจริงพบว่า ระบบควบคุมแบบ ฟัซซี ลอจิก มีการตอบสนองกับคลื่นความถี่รบกวน (Noise) มากเกินไป จนทำให้ระบบเสียสมดุล และลักษณะในการกลับมายังแนวระนาบไม่เป็นดังที่คาดหวังไว้ ขณะที่ระบบควบคุมแบบพีไอดีมีความราบเรียบกว่า และมีการตอบสนองในมุมที่แตกต่างกันในเวลาที่คงที่กว่า

คำสำคัญ: ระบบควบคุมการทำงานแบบพีไอดี ระบบควบคุมการทำงานแบบฟัซซี-ลอจิก แผ่นรักษาความเสถียร

Thesis Title	Control System for A Stabilized Plate
Name - Surname	Mr. Witcha Upaphai
Program	Mechanical Engineering
Thesis Advisor	Dr. Pipat Pramot
Academic Year	2011

ABSTRACT

This thesis presents control system for a stabilized plate which is divided into 2 parts; PID controls and FUZZY-logic controls. Arithmetical equations using MATLAB/Simulink to simulate the movement of the plate on x and y axis were applied. Experimental test which the accelerating modules for a bevel angle sensing and MATLAB/Simulink for controlling the plate level were also conducted.

The experiment is consisted of two parts: the application of MATLAB/Simulink to simulate stabilized plate and the application of MATLAB/Simulink to experiment the system. For the experiments on both parts, the PID control was setup with P=600 and I= 1. Moreover, the Fuzzy-logic control was setup with the input-graph ranges about [-0.27,0.27] and [-50,50], and the output-graph range about [-20,20]

As the resulting simulation, the FUZZY – logic control system is more effective than PID-control system, however, the PID-control system is more accurate. From the experiments, the FUZZY - logic system is sensitive to noise which leads to the instability. Moreover, the returning motion is unsatisfied while the PID control system yields smoother response and the response for the different angles command is more stable.

Keywords: PID-control system, FUZZY- logic control system, stabilized plate

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ดร.พิพัฒน์ ปราโมทย์ ดร.มนูศักดิ์ จานทอง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูง ที่ได้ให้คำปรึกษา ให้ข้อเสนอแนะและให้แนวทางในการแก้ปัญหา ตลอดจนให้ข้อคิดต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการทำวิจัย รวมทั้งให้อุปกรณ์จำเป็นสำหรับ ใช้ประกอบการวิจัย และที่สำคัญคือให้ความดูแลและสอบถามถึงความก้าวหน้าของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ตลอดมา จนทำให้ผู้เขียนมีกำลังใจทำงานจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้เขียนรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ดร.พิพัฒน์ ปราโมทย์ ดร.ปรัชญา เปรมปราณีรัชต์ ดร.มนูศักดิ์ จานทอง และอาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิจากมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บรรยงค์ รุ่งเรืองด้วยบุญ ที่ได้ให้คำแนะนำเพิ่มเติม พร้อมทั้งข้อเสนอแนะ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและบุคลากรที่เกี่ยวข้องทุกท่าน ที่ได้เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือในการทำวิจัย พร้อมทั้งยังอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้วิจัยให้สามารถทำวิจัยได้อย่างราบรื่น รวมถึงมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่สนับสนุนทุนในการวิจัย

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ ปู่ ย่า พ่อ แม่ และอาทุกคน ที่ให้การสนับสนุนในการศึกษาและให้กำลังใจ พร้อมทั้งกระตุ้นให้การทำวิจัยสำเร็จลงได้ด้วยดี และขอขอบคุณคณะอาจารย์ เพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่าน ที่คอยให้คำปรึกษาและเป็นกำลังใจ ให้การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสร็จสมบูรณ์

วิชชา อุปภัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ซ

สารบัญภาพ ..... ฌ

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา 2

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3

2.2 ระบบการปรับมุมของแผ่นรักษาความเสถียร 4

2.3 การหาสมการโมเมนต์ที่จุดหมุน 5

2.4 หลักการทำงานของซิมมูลิ้งโดยใช้สมการแมทแลบ 6

2.5 ตัววัดความเร่ง 8

2.6 การทำงานของแด็คการ์ด 9

2.7 หลักการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์แบบมีเอนโคดเดอร์ 10

2.8 ฟัซซี่ลอจิก 11

2.9 ตัวควบคุมพีไอดี 14

3 ขั้นตอนการทดลอง 18

3.1 การจำลองการเคลื่อนที่ของระบบ 18

3.2 การจำลองการเคลื่อนที่ด้วย MATLAB/Simulink 22

3.3 การสร้างแผ่นระนาบในส่วนงานจริง 28

3.4 ระบบส่งสัญญาณการควบคุมระบบของแผ่นรักษาความเสถียร 31

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

3.5 การเขียนโปรแกรมเพื่อใช้ในส่วนงานจริง 32

3.6 ระบบที่ใช้ในการควบคุมแผ่นรักษาความเสถียร 33

4 ผลการทดลอง 35

4.1 การทดลองศึกษาผลตอบสนองของระบบในแบบ Simulation 35

4.2 การทดลองการทำงานของระบบควบคุมแผ่นรักษาความเสถียร 39

4.3 ผลการทดลองในแต่ละแนวระนาบ 41

5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 50

5.1 สรุปผลการทดลอง 50

5.2 ปัญหาที่พบในการทำวิจัยและแนวทางในการแก้ปัญหา 51

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา 51

รายการอ้างอิง 53

ภาคผนวก 55

ภาคผนวก ก รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 56

ภาคผนวก ข โปรแกรมที่ใช้ในการทดลอง 63

ภาคผนวก ค ผลกรทดลองของแผ่นรักษาความเสถียรก่อนการปรับปรุง 67

ภาคผนวก ง ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่ 93

ประวัติผู้เขียน 106

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ขาสัญญาณต่างของตัววัดความเร่ง.... 8

2.2 ผลตอบสนองของตัวแปร 17

3.1 ตารางค่าของมอเตอร์ 20

3.2 การสร้างเงื่อนไขของฟังชันความเป็นสมาชิก.... 27

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2.1 มุมองศาของแผ่นระนาบเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นระดับ 5
2.2 การเกิดโมเมนต์ที่จุดหมุน 5
2.3 ระบบ Simulink 7
2.4 ระบบ Simulink ให้อยู่ในรูป Subsystem 7
2.5 ผลที่ได้จากการทำ Simulink 8
2.6 โครงสร้างและตำแหน่งของขาต่อใช้งาน 9
2.7 ตำแหน่งและทิศทางของตัววัดความเร่ง 9
2.8 แค็ดการ์ด 10
2.9 ส่วนประกอบของเอนโคเดอร์ 11
2.10 ฟังก์ชันของความเป็นสมาชิกของมุม 13
2.11 ฟังก์ชันของความเป็นสมาชิกของผลต่างเชิงมุมเทียบกับเวลา 13
2.12 ฟังก์ชันของความเป็นสมาชิกของเอาพุตท์ 14
2.13 การควบคุมแบบพีไอดี 15
2.14 การควบคุมแบบป้อนกลับ 15
3.1 รูปของแผ่นระนาบเมื่อมองในรูปแบบสองมิติ 18
3.2 ส่วนประกอบของตัวแปรในการสร้าสมการการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ 20
3.3 การแปรงสมการการเคลื่อนที่ให้อยู่ในรูปของซิมมูลิงค์ 22
3.4 การใส่มุมที่ต้องการ 23
3.5 การทำสมการที่อยู่ในรูปซิมมูลิ้งค์ให้อยู่ในรูปสับซิสเทม 23
3.6 การควบคุมสมการการเคลื่อนที่แบบ พีไอดี 24
3.7 หน้าต่างปรับค่า Kp,Ki,Kd 24
3.8 ฟังชันความเป็นสมาชิกในส่วนอินพุต Error และ Error 25
3.9 ฟังชันความเป็นสมาชิกในส่วนของอินพุทต์ 25
3.10 การเปลี่ยนค่าความถี่ของกราฟ (Range) เท่ากับ [-50 50] 26
3.11 การเปลี่ยนค่าความถี่ของกราฟ (Range) เท่ากับ [-20 20] 26
3.12 การควบคุมสมการการเคลื่อนที่แบบ ฟัซซี ลอจิก 27
3.13 รุ่น ET MMA7331L ตัววัดความเร่งที่ 28

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

3.14 แหล่งจ่ายภายนอก 28

3.15 ทิศทางกับการตอบสนองค่าเอาพุตท์ 29

3.16 มอเตอร์ไดรว์ 29

3.17 มอเตอร์ 30

3.18 โมเดลของแผ่นรักษาความเสถียรอัตราส่วน 1:1 30

3.19 แผ่นรักษาความเสถียรที่ใช้ในการทดลอง 31

3.20 ระบบส่งสัญญาณการควบคุมระบบของแผ่นรักษาความเสถียร 31

3.21 การทำสมการเชิงเส้นของตัววัดความเร่งของแกน X 32

3.22 การทำสมการเชิงเส้นของตัววัดความเร่งของแกน Y 33

3.23 รูป Tool Box PID ที่อยู่ในโปรแกรมใช้งาน 34

3.24 รูป Tool Box FUZZY Logic-control ที่อยู่ในโปรแกรมใช้งาน 34

4.1 ผลการทดลองที่มุม -20 35

4.2 ผลการทดลองที่มุม -15 องศา 36

4.3 ผลการทดลองที่มุม -10 องศา 36

4.4 ผลการทดลองที่มุม -5 องศา 37

4.5 ผลการทดลองที่มุม 5 องศา 37

4.6 ผลการทดลองที่มุม 10 องศา 38

4.7 ผลการทดลองที่มุม 15 องศา 38

4.8 ผลการทดลองที่มุม 20 องศา 39

4.9 ฐานของแผ่นระราบที่ใช้ในการทดลอง 40

4.10 แนวระนาบที่ทำการทดลอง 40

4.11 เปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของแผ่นรักษาความเสถียรของระบบควบคุม PID และ FUZZY Logic-control ที่มุม 0 องศา 41

4.12 เปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของแผ่นรักษาความเสถียรของระบบควบคุม PID และ FUZZY Logic-control ที่มุม -20 องศา 41

4.13 เปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของแผ่นรักษาความเสถียรของระบบควบคุม PID และ FUZZY Logic-control ที่มุม 20 องศา 42

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4.14 เปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของแผ่นรักษาความเสถียรของระบบควบคุม PID และ FUZZY Logic-control ที่มุม -20 องศา 43
4.15 เปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของแผ่นรักษาความเสถียรของระบบควบคุม PID และ FUZZY Logic-control ที่มุม 20 องศา 43
4.16 เปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของแผ่นรักษาความเสถียรของระบบควบคุม PID และ FUZZY Logic-control ที่มุม -20 องศา ของมอเตอร์ด้านแกน X 44
4.17 เปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของแผ่นรักษาความเสถียรของระบบควบคุม PID และ FUZZY Logic-control ที่มุม 20 องศา ของมอเตอร์ด้านแกน Y 45
4.18 เปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของแผ่นรักษาความเสถียรของระบบควบคุม PID และ FUZZY Logic-control ที่มุม -20 องศา ของมอเตอร์ด้านแกน X 45
4.19 เปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของแผ่นรักษาความเสถียรของระบบควบคุม PID และ FUZZY Logic-control ที่มุม 20 องศา ของมอเตอร์ด้านแกน Y 46
4.20 เปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของแผ่นรักษาความเสถียรของระบบควบคุม PID และ FUZZY Logic-control ที่มุม -20 องศา ของมอเตอร์ด้านแกน X 47
4.21 เปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของแผ่นรักษาความเสถียรของระบบควบคุม PID และ FUZZY Logic-control ที่มุม -20 องศา ของมอเตอร์ด้านแกน Y 47
4.22 เปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของแผ่นรักษาความเสถียรของระบบควบคุม PID และ FUZZY Logic-control ที่มุม 20 องศา ของมอเตอร์ด้านแกน X 48
4.23 เปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของแผ่นรักษาความเสถียรของระบบควบคุม PID และ FUZZY Logic-control ที่มุม 20 องศา ของมอเตอร์ด้านแกน Y 48

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันมีการสัญจรโดยใช้ยวดยานพาหนะต่าง ๆ กันอย่างแพร่หลาย อย่างไรก็ตามถึงแม้การสัญจรดังกล่าวจะมีความสำคัญและจำเป็นต่อการดำเนินชีวิตในยุคปัจจุบันก็ตาม แต่ถ้าพิจารณาในแง่ของความปลอดภัยแล้ว จะเห็นได้ว่ายิ่งมีการสัญจรมากเท่าใดก็ยิ่งเพิ่มโอกาสให้เกิดอุบัติเหตุตามมามากขึ้นเท่านั้น โดยในแต่ละครั้งที่เกิดอุบัติเหตุก็มักมีผู้เคราะห์ร้ายได้รับบาดเจ็บหรือล้มตายเป็นจำนวนไม่มากก็น้อย สำหรับในรายของผู้บาดเจ็บ โดยเฉพาะผู้ที่มีอาการสาหัสจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องได้รับการนำส่งโรงพยาบาลอย่างเร่งด่วนที่สุดเท่าที่จะทำได้เพื่อทางโรงพยาบาลจะได้หาทางช่วยชีวิตผู้บาดเจ็บสาหัสเหล่านั้นให้รอดชีวิตได้อย่างทันท่วงที

ในการนำส่งผู้ได้รับบาดเจ็บสาหัสสู่โรงพยาบาลมักคำนึงถึงความรวดเร็วในการขนย้ายเป็นอันดับแรก อย่างไรก็ตามในระหว่างการขนย้ายผู้ที่ได้รับบาดเจ็บส่งโรงพยาบาลนั้น การละเลยความปลอดภัยในแง่ของความกระทบกระเทือนร่างกายอันเนื่องมาจากสภาพถนนที่ไม่ราบเรียบอาจทำให้เกิดผลกระทบที่เป็นอันตรายต่อร่างกายของผู้ได้รับบาดเจ็บอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ และอาจกลายเป็นการเพิ่มอาการบาดเจ็บให้กับผู้ได้รับบาดเจ็บดังกล่าวนอกเหนือจากอาการที่ได้รับจากอุบัติเหตุ จนทำให้การรักษาพยาบาลเป็นไปอย่างยากลำบากมากยิ่งขึ้น และทำให้โอกาสในการรอดชีวิตลดน้อยลงไป

ผู้จัดทำวิทยานิพนธ์จึงเกิดแนวคิดที่จะหาทางควบคุมแผ่นรักษาความเสถียรในเตียงขนย้ายผู้ป่วยให้ปรับสภาพอยู่ในแนวระนาบขนานกับผิวโลกตลอดเวลาโดยอัตโนมัติไม่ว่าสภาพของเส้นทางการขนย้ายผู้ป่วยจะเป็นเช่นใด เพื่อป้องกันไม่ให้ผู้ป่วยได้รับความกระทบกระเทือนในขณะเคลื่อนย้ายอันเนื่องมาจากสภาพเส้นทางที่ขรุขระ เป็นหลุมเป็นบ่อ มีความลาดเอียงซ้าย/ขวา หรือลาดเอียงขึ้น/ลง

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการออกแบบระบบควบคุมแผ่นรักษาความเสถียรโดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี และตัวควบคุมแบบ ฟัซซี่ ลอจิก เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของตัวควบคุมทั้ง 2 แบบ และนำข้อมูลที่ได้จากระบบควบคุมแผ่นรักษาความเสถียรดังกล่าวมาพัฒนาระบบควบคุมแผ่นรักษาความเสถียรในเตียงขนย้ายผู้ป่วยให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นต่อไป

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 ศึกษาความเป็นไปได้ในการทำงานของระบบควบคุมแผ่นรักษาความเสถียรให้ทรงตัวได้ตามแนวระนาบขนานกับพื้นผิวโลก

1.2.2 ออกแบบระบบควบคุมแผ่นรักษาความเสถียรให้ทรงตัวได้ตามแนวระนาบขนานกับพื้นผิวโลก

1.2.3 เปรียบเทียบการควบคุมระบบระหว่าง PID controller และ FUZZY Logic- controller

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 ออกแบบระบบควบคุมแผ่นรักษาความเสถียรในส่วนของ Model ให้มีมุมเอียงไม่เกิน 20 องศา

1.3.2 ใช้ Accelerometer เป็นตัววัดมุมในการเอียงของแผ่นรักษาความเสถียร

1.3.3 ใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink ในการจำลอง และเขียนระบบควบคุม

1.3.4 ใช้ระบบควบคุมแผ่นรักษาความเสถียร 2 ระบบ คือ PID controller และ FUZZY Logic -controller

1.3.5 ใช้ DC SERVO เป็นตัวขับเคลื่อนแผ่นรักษาความเสถียร

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าได้รับ

1.4.1 เป็นฐานความรู้ในการนำระบบควบคุมแผ่นรักษาความเสถียรมาใช้งาน

1.4.2 เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการใช้ระบบควบคุมแผ่นรักษาความเสถียร

1.4.3 สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาระบบควบคุมแผ่นรักษาความเสถียรโดยใช้คอมพิวเตอร์

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบการควบคุมของแผ่นรักษาความเสถียร ระบบการปรับมุมของแผ่นรักษาความเสถียร วิธีการหาสมการโมเมนต์ที่จุดหมุน หลักการทำงานของซิมมูลิ้งโดยใช้โปรแกรมแมทแลบ ตัววัดความเร่ง การทำงานของแด็คการ์ด หลักการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ แบบมีเอนโคดเดอร์ การออกแบบตัวควบคุมแบบฟัซซี่ และการออกแบบตัวควบคุมแบบพีไอดี

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบการควบคุมของแผ่นรักษาความเสถียร

Peter Wellstead [1] จาก princeples.co.uk ได้ทำการวิจัยเรื่อง Ball and Beam Basic โดยวิธีการใช้วิทีการหาสมการแบบ Mathematical Model โดยการมองชิ้นงานเข้าไปในแบบสองมิติเพื่อทำการหาแรงและองค์ประกอบต่างๆที่มากระทำกับชิ้นงาน และทำการทดลองทำแบบจำลองโดยใช้ตัวควบคุมต่างมาทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานเช่น แอล คิว อา (Linear Quadratic Regulator) แอล คิว จี (Linear Quadratic Guassian) ระบบควบคุมแบบคงทน (Robust Control) พีไอดี (PID control) ฟัซซี่ ลอจิก (FUZZY Logic-control control) ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการดำเนินงานวิจัยนี้ในด้านการใช้สมการ Mathematical Model และการนำระบบควบคุม พีไอดี และ ฟัซซี่ ลอจิก มาใช้งานในรูปแบบการทำแบบจำลอง

David Evanko,ArendDorsett,Chu Choi [2] จาก Department of Electrical Engineering University of NortFiorida ได้ทำการวิจัยเรื่อง Ball on beam system with an embadded controller ซึ่งเป็นการทำวิจัยโดยใช้เซนเซอร์แบบ GP2D12 Interface distance sensor ซึ่งจะส่งสัญญาณออกมาในรูปแบบแรงดันทางไฟฟ้า (Voltage) และส่งสัญญาณไปยังชุดไมโครคอนโทรเลอร์ แบบ MC9S12C32ในการสร้างสัญญาณขาออก (Out put) ของระบบโดยใช้ระบบควบคุม พีไอดี ซึ่งเกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ในด้านของการใช้ Sensor เพื่อส่งสัญญาณในรูปแบบแรงดันไฟฟ้าและการใช้ระบบควบคุม พีไอดีในการควมคุม

Wiliam Wamjohi จาก [3] Swarthmore College ได้ทำการวิจัยเรื่อง Ball and beam control demontstrater ซึ่งเป็นการควบคุมลูกบอลโดยการหารูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์โดยการมองชิ้นงานเข้าไปในแบบสองมิติเพื่อทำการหาแรงและองค์ประกอบต่างๆที่มากระทำกับชิ้นงานและการ

เขียนโปรแกรมด้วย ซิมมูลิ้งค์ (Simulink) ด้วยแมทแลบ (MATLAB) โดยการทำควบคุมแบบ พีไอดี ซึ่งเป็นตัวอย่างที่ดีในด้วนของการเขียนโปรแกรมด้วยซิมมูลิ้งค์ ด้วย แมทแลบ ซึ่งตรงกับงานวิจัยนี้

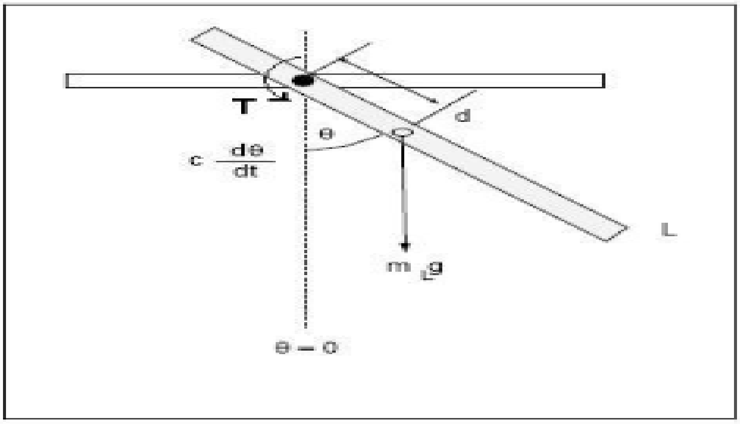
เป็นเอก เพ็งวัน, สุริยัน โชตะศรี [4] ได้ทำการวิจัยเรื่อง ระบบควบคุมตำแหน่งของลูกบอลบนคาน เป็นการทำวิจัยโดยใช้วงจรซีโรแสปน วงจรแปรงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอก และการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยใช้ภาษาวิชวลซี พลัสพลัสโดยจุดมุ่งหมายคือบังคับลูกบอลให้ไปยังตำแหน่งที่ต้องการตามที่กำหนดบนคานและรักษาตำแหน่งของบอลนั้น โดยการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ต่อกับคานผ่านทางพูลเล่ และสายพาน และใช้ระบบควบคุมแบบ พีไอดีได้ทำการปรับด้วยวิธีลองผิดลองถูกจนได้ค่าที่เหมาะสม

Mark Readman [5] จาก princeples.co.uk ได้ทำการวิจัยเรื่อง Robust control เป็นการวิจัยโดยใช้การควบคุมแบบโรบัสและทำการซิมมูเลชั่น โดยใช้โปรแกรมแมทแลบ

Ismail H.Altas [6] จาก KaradinisThecnical University ได้ทำการวิจัยเรื่อง Ball and beam เป็นการหาสมการการเคลื่อนที่และบ่งบอกถึงแนวคิดในการมองโมเดลในรูปแบบสองมิติและแสดงวิธีการเขียนสมการการเคลื่อนที่ให้อยู่ในรูปฟังชันถ่ายโอน (Transfer function) และนำมาทำวิธีเสตรท สเปทซ์ (State space equation) โดยกำหนดตำแหน่งจุดหมุนของคานอยู่ที่ปลายสุดและรักษาสมดุลของคานให้ได้ตามแนวระนาบ ซึ่งวิธีการหารูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์นี้เป็นแนวทางเดียวกันกับงานวิจัยในเล่มนี้จึงควรที่จะศึกษาแนวคิดในการสร้างรูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์

2.2 ระบบการปรับมุมของแผ่นรักษาความเสถียร

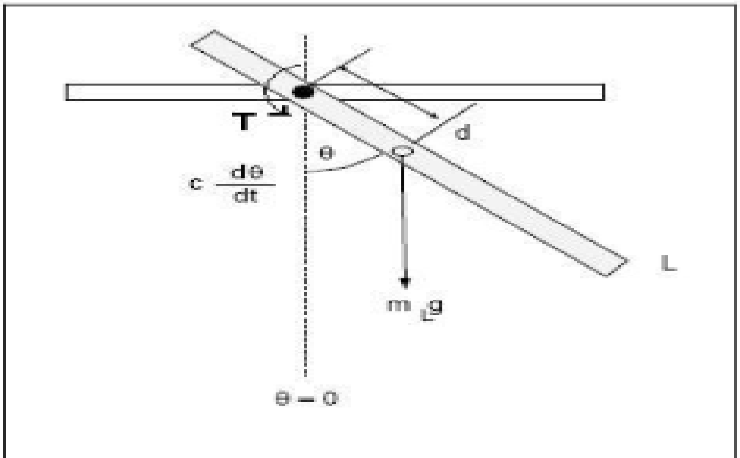
หลักการเคลื่อนที่ของแผ่นรักษาความเสถียรในการปรับมุมองศาให้กลับคืนสู่สภาวะปรกติ (มีองศาการเอียงเป็น 0) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วระบบจะอยู่ในสภาวะที่ไม่มีเสถียรภาพเมื่อมีอินพุตจากภายนอกมากระทำในระบบโดยในการคำนวณจะมีองค์ประกอบที่ต้องนำมาพิจารณาอย่างคร่าวๆเช่น ความกว้างของแผ่นรักษาความเสถียร ความยาวของแผ่นระนาบ มุมองศาที่เกิดขึ้น ค่าแรงดึงของแขนดึงที่กระทำลงบนแผ่นรักษาความเสถียร จุดศูนย์กลางมวลที่อยู่ในแผ่นระนาบ ระยะของจุดยึดคานและมุมของคานที่เปลี่ยนแปลงไป ดังภาพ



ภาพที่ 2.1 มุมองศาของแผ่นรักษาความเสถียรเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นระดับ[7]

2.3 การหาสมการโมเมนต์ที่จุดหมุน

การหาค่าที่จุดหมุนรอบแกน X และแกน Y ของภาพที่ 2.2 ในหน้าถัดไป จะเห็นได้ว่ามีแผ่นรักษาความเสถียรที่ประกอบอยู่กับจุดหมุนที่เรียกว่าโมเมนต์ที่จุดหมุนซึ่งโมเมนต์ที่จุดหมุนนี้หมายถึงปริมาณที่ต่อต้านการหมุนของวัตถุ นั่นคือ ถ้าโมเมนต์ความเฉื่อยมากก็ต้องใช้ทอร์คมากเพื่อทำให้วัตถุหมุนมีขนาดเท่ากับผลคูณของมวลกับระยะทางกำลังสองจากจุดหมุนถึงมวล จาก [7] (HEM 351 DYNAMIC SYSTEM LAB 16/8/2010) ได้กล่าวถึงการหาค่า Moment of inertia ของแผ่นระนาบไว้ ดังนี้



ภาพที่ 2.2 การเกิดโมเมนต์ที่จุดหมุน[8]

จากภาพที่ 2.2 เรารู้ค่าต่อไปนี้

L = ความยาวของแผ่นรักษาความเสถียร = 0.495 m

D = ค่า CG ของคาน = 0.023 m

M = มวลของคาน = 0.43 kg

จากทฤษฎีการทำแผ่นรักษาความเสถียรให้ขนานกับแกน (Parallel) ดังกล่าวจึงต้องใช้ทฤษฎีการหมุน (Moment of inertia)

$$J = J_c + m_t d^2 = \frac{1}{12} m_t l^2 + m_t d^2 = m_t \left(\frac{1}{12} l^2 + d^2\right) \tag{2.1}$$

$$J = 0.43 \left(\frac{0.495^2}{12} + 0.023^2\right) = 0.009\ kg.m^2 \tag{2.2}$$

จากภาพที่ 2.2 เราจะได้ค่า Moment of inertia คือ 0.009 $kg.m^2$ ซึ่งค่าโมเมนต์ที่จุดหมุนนี้คือส่วนประกอบหนึ่งของสมการการเคลื่อนที่ทางคณิตศาสตร์

ในกรณีเดียวกันจากภาพที่ 2.1 เมื่อนำมาเขียนเป็นสมการการเคลื่อนของระบบจะได้สมการ ต่อไปนี้

$$\Sigma m = J\ddot{\theta} \tag{2.3}$$

$$Fr - c\dot{\theta} = J\ddot{\theta} \tag{2.4}$$

$$\frac{J}{r}\ddot{\theta} + \frac{c}{r}\dot{\theta} = F \tag{2.5}$$

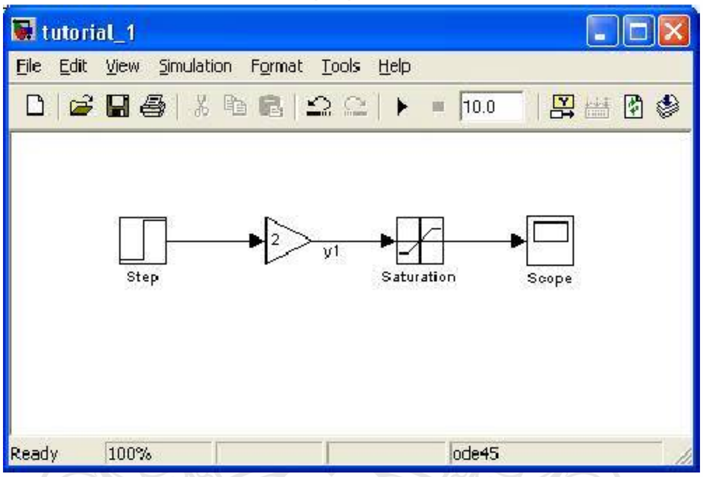
เมื่อพิจารณาสมการที่ (2.5) จะเห็นได้ว่ามีค่า j ประกอบอยู่ด้วยซึ่งค่า j นี้คือค่า Moment of inertia นั้นเอง

2.4 หลักการทำงานของซิมมูลิ้งโดยใช้สมการแมทแลบ (MATLAB/Simulink)[9]

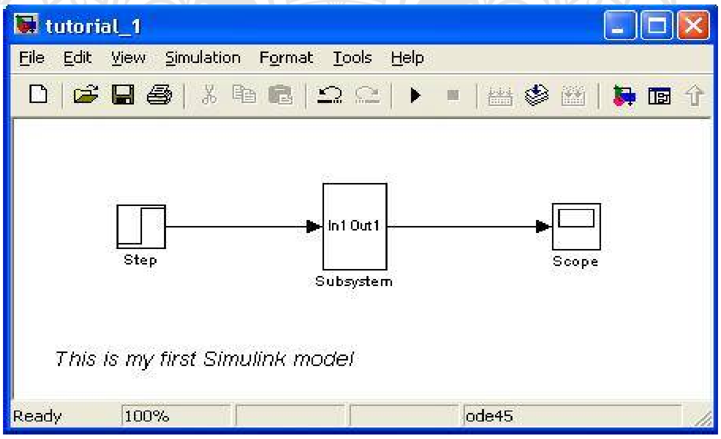
Simnulink มาจากคำ 2 คำ คือ Simulation และ Link ซึ่งหมายถึงเครื่องมือ (Toolbox) ที่อยู่ในโปรแกรม MATLAB ใช้สำหรับการจำลอง และทดสอบ ตลอดจนวิเคราะห์การทำงานของระบบพลศาสตร์ในเชิงเวลาไม่ว่าจะเป็นระบบเชิงเส้น (Linear system) หรือไม่เชิงเส้น (None-linear system) รวมถึงระบบแบบเวลาต่อเนื่องและเวลาไม่ต่อเนื่อง โดยในการจำลองระบบSIMULINK จะเป็นการติดต่อกับผู้ใช้แบบกร๊าฟฟิกโดยอาศัยการคลิกและการลากเม้าส์

เมื่อต้องการวิเคราะห์สมการโดยใช้ Simulink จะต้องมีการวิเคราะห์และตั้งค่า รวมทั้งยังต้องมี Block library ของ Continuous , Discrete , Function and Table, Math, Nonlinear, Signals and System, Sink, Sources และ Subsystem ด้วย

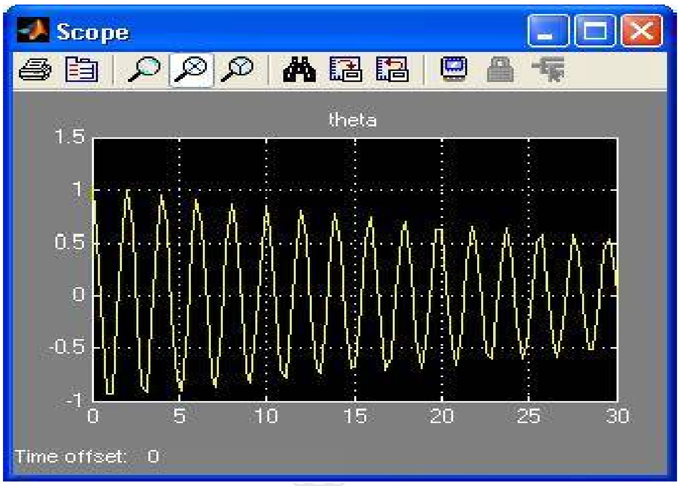
Simulink จะทำงานภายใต้หน้าต่างที่เป็นการเชื่อมต่อรูปภาพ (GUI) ของ SIMULINK เท่านั้น การเชื่อมโยงรูปภาพเป็นการนำเอาอุปกรณ์ใน Library มาเชื่อมต่อกัน โดยอาศัยการวิเคราะห์จากสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งถ้าการเชื่อมต่ออุปกรณ์ดังกล่าวถูกต้องก็จะได้ผลการทดลองในรูปแบบที่ต้องการ



ภาพที่ 2.3 ระบบ Simulink



ภาพที่ 2.4 ระบบ Simulink ให้อยู่ในรูป Subsystem



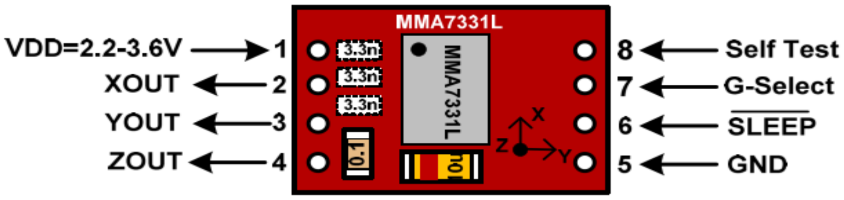
ภาพที่ 2.5 ผลที่ได้จากการทำ Simulink

2.5 ตัววัดความเร่ง [10]

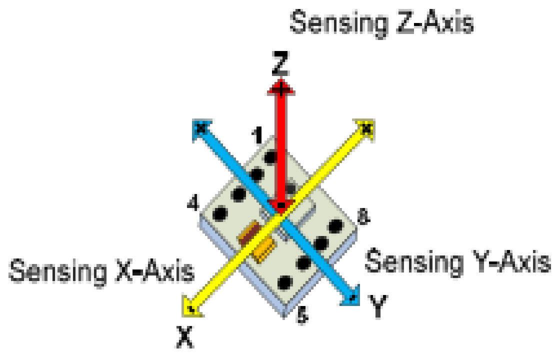
เมื่อวัตถุมีการสั่นสะเทือนหรือเคลื่อนที่ ตัววัดความเร่งจะวัดการเปลี่ยนแปลงของค่า G โดยเมื่อนำตัววัดความเร่งไปยึดติดกับอุปกรณ์ที่ต้องการวัด จะได้สัญญาณเอาท์พุตออกมาจากขาของตัววัดความเร่งในรูปของสัญญาณอะนาลอก ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ซึ่งสามารถวัดค่าได้ทั้งสามแกน คือ แกน X แกน Y และแกน Z ดังแสดงในภาพที่ 2.7 และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ ได้ต่อไป

ตารางที่ 2.1 ขาสัญญาณต่างของตัววัดความเร่ง [10]

PIN No.	Pin Name	Description	Pin Status
1	VDD	ขาจ่ายไฟเลี้ยง Module 2.2V - 3.6V	Input
2	XOUT	ขาสัญญาณแรงดัน Output ในแนวแกน X (Analog)	Output
3	YOUT	ขาสัญญาณแรงดัน Output ในแนวแกน Y (Analog)	Output
4	ZOUT	ขาสัญญาณแรงดัน Output ในแนวแกน Z (Analog)	Output
5	VSS	ขาสัญญาณ Ground	Input
6	$\overline{\text{SLEEP}}$	ขาสัญญาณ เลือก Sleep Mode ทำงานที่ logic ‘0’	Input
7	g-Select	ขาสัญญาณ สำหรับเลือกย่านการวัด ‘0’ = Rang 4-g ; ‘1’ = Rang 12-g	Input
8	Self Test	ขาสัญญาณสำหรับเลือก Self Test Mode ทำงานที่ logic ‘1’	Input



ภาพที่ 2.6 โครงสร้างและตำแหน่งของขาต่อใช้งาน [10]



ภาพที่ 2.7 ตำแหน่งและทิศทางของตัววัดความเร่ง [10]

2.6 การทำงานของแด็คการ์ด (DAQ Card) [11]

การทำงานของแด็คการ์ดคือกระบวนการอ่านค่าสัญญาณทางไฟฟ้าแล้วนำมาเก็บในคอมพิวเตอร์เพื่อการวัด การวิเคราะห์ การจัดเก็บ และการแสดงผลด้วยซอฟต์แวร์

สัญญาณทางไฟฟ้ามี 2 ประเภทคือ 1) สัญญาณอนาล็อก ที่ออกมาในรูปแบบของแรงดันไฟฟ้า (Voltage) ซึ่งถ้าสัญญาณมีการเปลี่ยนแปรงอย่างรวดเร็วจะเรียกว่าสัญญาณแบบมีความถี่ (AC) และถ้าสัญญาณมีระดับคงที่หรือเปลี่ยนแปลงช้าจะเรียกว่าสัญญาณแบบไม่มีความถี่ (DC) 2) สัญญาณแบบดิจิตอลซึ่งเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่มี 2 ระดับ คือระดับต่ำ (0V) กับระดับสูง (5V) โดยสัญญาณดิจิตอลแบบลอจิกส่วนใหญ่จะใช้แรงดันสูง

อุปกรณ์ DAQ มีหน้าที่หลัก 4 อย่าง โดยสามารถทำงานได้หลายหน้าที่ในเวลาเดียวกัน

- Analog Input สำหรับสัญญาณอนาล็อก ซึ่ง DAQ สามารถรับได้หลายช่องสัญญาณ โดยวัดค่าสัญญาณแรงดันจากเซนเซอร์ต่างๆ โดยปกติจะวัดได้ตั้งแต่ -10V จนถึง +10V

- Analog Output สำหรับสร้างสัญญาณอนาล็อกทั้งแบบ DC และ AC ที่เป็น Waveform

- Digital I/O สำหรับสร้างสัญญาณดิจิตอล เพื่อทำงานร่วมกับอุปกรณ์ภายนอกเช่น Switch relay LED

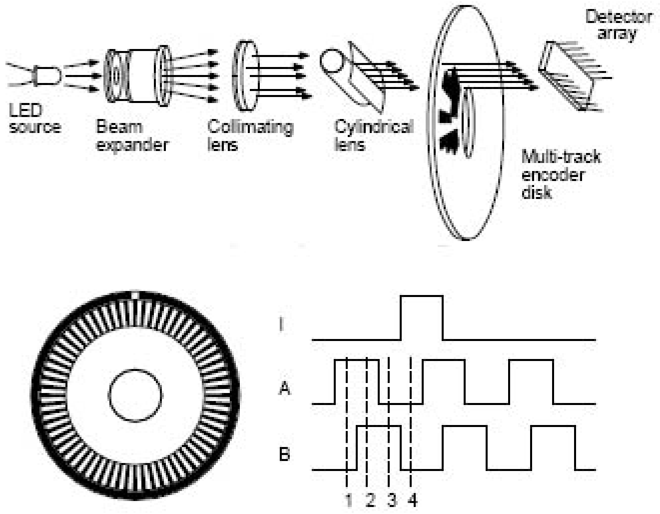
- Counter I/O ทำหน้าที่วัดสัญญาณจาก Encoder หรือสร้างสัญญาณ Pulse

ภาพที่ 2.8 แด็คการ์ด (DAQ Card NI PC 6221) [12]

2.7 หลักการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์แบบมีเอนโคดเดอร์[13]

เซอร์โวมอเตอร์ คือ มอเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องจักรที่มีความละเอียดมากกว่าเครื่องจักรทั่วไป กล่าวคือ เซอร์โวมอเตอร์มีความแม่นยำสูงแม้จะสั่งให้ทำงานเคลื่อนที่ด้วยหน่วยที่เป็นมิลลิเมตรก็สามารถทำงานได้

Encoder คือ เซ็นเซอร์วัดมุมที่มีหลักในการทำงานดังนี้คือ ให้แสงผ่านจานที่หมุนได้เนื่องจากจานดังกล่าวติดกับแกนของมอเตอร์ โดยจานที่หมุนได้นี้จะมีรูเป็นจำนวนมากน้อยขึ้นอยู่กับความละเอียดในการวัดของ Encoder เมื่อแสงผ่านรูเหล่านี้แล้วจะเกิดเป็นสัญญาณพัลส์เนื่องจากการวางตำแหน่งของรูที่เหลื่อมกัน โดยจะทำให้สัญญาณพัลส์ต่างกัน 90 องศาเพื่อใช้ในการเขียนโปรแกรมตรวจสอบทิศทางการหมุนของมอเตอร์ว่าหมุนทวนเข็มหรือตามเข็มนาฬิกา ดังภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 ส่วนประกอบของเอนโคเดอร์[13]

2.8 ฟัซซี่ลอจิก (FUZZY Logic) [14]

ฟัซซี่ลอจิก (FUZZY Logic) คือรูปแบบหนึ่งของตรรกศาสตร์ที่นำเอาบูลีนลอจิก (Boolean logic) มาใช้ในการนิยามเหตุการณ์หรือสถานการณ์ที่ไม่สามารถอธิบายได้อย่างชัดเจน ความสำคัญของการใช้ฟัซซี่ลอจิกอยู่ที่การให้เหตุผลหรือการระบุค่าโดยอาศัยเหตุผลตามสามัญสำนึกของคนเราส่วนใหญ่ซึ่งโดยธรรมชาติมักจะเป็นไปในลักษณะของการประมาณค่า

ที่มาของแนวคิดแบบฟัซซี่ ลอจิกเกิดจากปัญหาที่มีความซับซ้อนมากขึ้น จนทำให้กฎเกณฑ์และสมการต่าง ๆ มีเพิ่มขึ้น เป็นผลให้การวิเคราะห์เกิดความยุ่งยากและเกิดความผิดพลาดมากขึ้นเป็นสาเหตุให้ต้องมีการเปลี่ยนแนวคิดในการพิจารณาตัดสินจากเดิมที่ตัดสินแบบตรรกศาสตร์ชนิดที่เลือกไม่อย่างใดก็อย่างหนึ่ง เช่น ไม่ขาวก็ดำ มาเป็นการตัดสินรูปแบบผสม เช่น ถ้าเป็นสีก็เหมือนกับเฉดสีเทาที่ผสมกันระหว่างสีดำและสีขาว การตัดสินรูปแบบดังกล่าวเป็นที่มาของแนวคิดแบบฟัซซี่ลอจิก

ยกตัวอย่างเช่น เมื่อเวลาที่เราเปิดก๊อกน้ำแล้วทำการตรวจสอบว่าอุณหภูมิของน้ำเป็นอย่างไร ถ้าน้ำร้อนมากเราก็จะหมุนลูกบิดมากเพื่อทำให้น้ำเย็นลง แต่ถ้าน้ำร้อนไม่มากนักเราก็หมุนลูกบิดเล็กน้อย แต่ถ้าน้ำร้อนกำลังพอดีเราก็ไม่จำเป็นต้องปรับลูกบิดแต่อย่างใด จะเห็นได้ว่าเราไม่เคยนิยาม ร้อนมาก ร้อนน้อย หรือร้อนพอดี ว่าต้องมีค่าเป็นเท่าไหร่ สิ่งเหล่านี้เรียนรู้ได้จากประสบการณ์และค่อนข้างจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับความรู้สึกของแต่ละบุคคล

2.8.1 การควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก (FUZZY Logic)

ขั้นแรกของการควบคุมแบบฟัซซี่ก็คือ ขั้นที่เรียกว่า Fuzzification ซึ่งในขั้นนี้เป็นการแปลงข้อมูลที่รับเข้ามาจากระบบควบคุมให้เป็นอินพุทของระบบควบคุมแบบฟัซซี่คือ มีความหมายเดียวกับระบบฟัซซี่ ซึ่งจะอยู่ในรูปแบบของค่าความเป็นสมาชิก (Grade of membership) ในรูปของฟัซซี่เซต ขั้นตอนนี้ก็คล้ายกับตัวอย่างก่อนหน้านี้ เช่นน้ำร้อนน้อย คิดเป็น 40% และน้ำร้อนมากคิดเป็น 60%

ขั้นตอนต่อไปก็คือการตีความและวิเคราะห์อินพุทตามเงื่อนไขที่ได้มีการกำหนดไว้หรือเข้ากฎพื้นฐานของฟัซซี่ (Knowledge base) แล้วจึงได้ผลลัพธ์ออกมา เช่นการหาว่าถ้าน้ำร้อนน้อยคิดเป็น 100% ก็จะปรับลูกบิดเพื่อให้เย็นลงเล็กน้อย (“A Littele Bit” cooler) แต่ถ้าน้ำร้อนมากคิดเป็น 100% ก็จะปรับลูกบิดเพื่อให้เย็นลงมาก ๆ (“A Lot” cooler) โดยที่คำว่า “A Little Bit” และ “A Lot” เป็นส่วนหนึ่งที่มีการนิยามเอาไว้ในส่วนของกฎพื้นฐานของฟัซซี่

ขั้นตอนถัดไปเป็นขั้นที่เรียกว่า “Defuzzify” โดยผลของการเข้ากฎพื้นฐานฟัซซี่จะถูกแปลงกลับไปเป็นค่าเอาท์พุทจริงผลลัพธ์ทั้งหมดที่ได้จะถูกประมวลเข้าด้วยกัน ยกตัวอย่างเช่นเราจะคำนวณว่าคำที่บอกว่าเล็กน้อย 40% (40% of a little bit) หรือจำนวนมาก 60% (60% of a lot) หมายความว่าอย่างไรผลที่ได้นั้นจะเป็นเอาท์พุท

2.8.2 ตัวอย่างการควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก (FUZZY Logic)

ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดคือ Inverted pendulum balancer ซึ่งเป็นกลไกที่คอยทำให้ด้ามของวัตถุสมดุลอยู่เสมอโดยการเคลื่อนที่เฉพาะที่ฐานซึ่งต่ออยู่กับสายพาน และมอเตอร์มุมของด้ามวัตถุจะใช้โพเทนชิโอมิเตอร์ (Potentiometer) หรือใช้ Optical encoder disk โดยต้องเก็บข้อมูลของมุมของค่ากระแสและค่าผลต่างเชิงมุมเทียบกับเวลา และใช้ข้อมูลดังกล่าวในการกำหนดว่าจะต้องจ่ายกระแสให้กับมอเตอร์มากน้อยเพียงใด และจ่ายในทิศทางใด และเมื่อเรานำข้อมูล 2 ตัวนี้มารวมกันก็จะทำให้ได้ฟังก์ชันของความเป็นสมาชิกทั้งหมด 7 ฟังก์ชันได้แก่ Negative_Large, Negative_Medium, Negative_Small, Zero, Positive_Small, Positive_Medium, และ Positive_Large

ค่าอนาลอกหนึ่งสามารถจัดเป็น 2 สถานะขึ้นอยู่กับค่าความเป็นสมาชิก ยกตัวอย่างเช่น ถ้ามุมอยู่ในช่วง –12° ถึง 12° ก็จะอยู่ในสถานะศูนย์ (“Zero” State) และถ้ามีมุม 0° ถึง 36° ก็จะอยู่ในสถานะบวกเล็กน้อย (“Positive_Small”) ดังนั้น มุม 10° ก็จะมีสถานะทั้งสองสถานะข้างต้น

ก่อนที่จะทำการตีความค่าอนาลอกในตารางฟังก์ชันความเป็นสมาชิกจะต้องทำการนอร์มัลไลซ์โดยใช้สมการที่ 2.15 ต่อไปนี้

$$x_{norm} = \frac{(2^n - 1)(x_{analog} - ofset)}{span} \qquad (2.15)$$

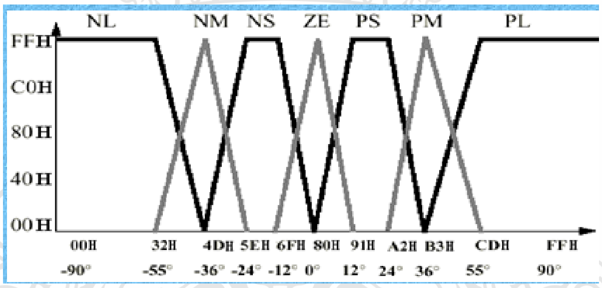
โดยที่ n คือจำนวนบิต ค่าแสปนคือ 90 องศา และค่าออฟเซทคือ -90 องศา

$$x_{norm} = \frac{255(x_{analog} + 90)}{180} \qquad (2.16)$$

สำหรับค่ากระแสของมอเตอร์นั้นจะมีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง –18 มิลลิแอมป์ถึง 18 มิลลิแอมป์ ตามสมการที่ (2.17)

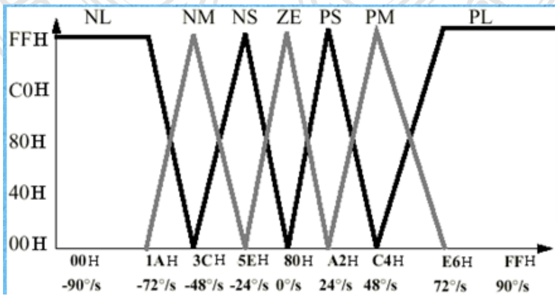
$$x_{norm} = \frac{255(x_{analog} + 18mA)}{36mA} \qquad (2.17)$$

ฟังก์ชันของความเป็นสมาชิกหรือความสัมพันธ์ของสมาชิก (Membership functions) สามารถนิยามโดยใช้ภาพหรือกราฟและระบุเป็นตัวเลขฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของมุมดังภาพที่ 2.10



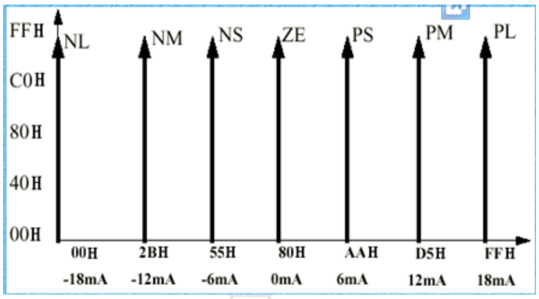
ภาพที่ 2.10 ฟังก์ชันของความเป็นสมาชิกของมุม [14]

ฟังก์ชันของความเป็นสมาชิกของผลต่างเชิงมุมเทียบกับเวลา (Angle derivative) แสดงไว้ดังภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 ฟังก์ชันของความเป็นสมาชิกของผลต่างเชิงมุมเทียบกับเวลา [14]

ฟังก์ชันของความเป็นสมาชิกของเอาพุตที่มีลักษณะเป็นแบบ “Singletons” ดังภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12 ฟังก์ชันของความเป็นสมาชิกของเอาพุตท์ [14]

ในการกำหนดว่าค่าใด ๆ มีความเป็นสมาชิกของฟังก์ชันทั้งสองที่ใกล้กันมากน้อยแค่ใด นั้นจำเป็นต้องคำนวณความชันของด้านต่าง ๆ ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership functions) ซึ่งคำนวณได้ดังสมการที่ (2.18)

$$slope = \frac{255}{(x_2 - x_1)} \tag{2.18}$$

เมื่อทราบค่าความชันแล้วจะสามารถคำนวณหาค่าความเป็นสมาชิก (Membership function grade)ได้ ดังเงื่อนไขต่อไปนี้คือ

If Point1<Input<Point2

Grade=(Input-Point1)(Slope1)

If Input>Point2:

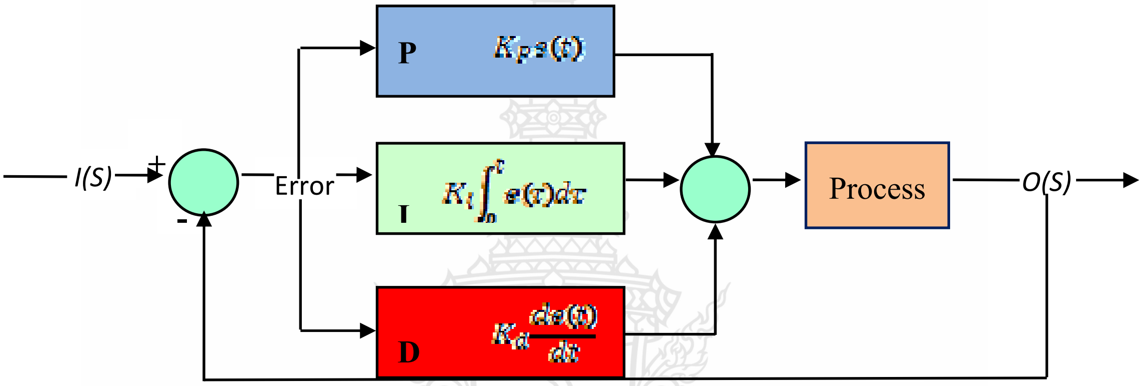
Grade=FFH-((Input-Point2)(Slope2))

ถ้าต้องการหามุมที่มีค่า 10° และผลต่างเชิงมุมเทียบกับเวลามีค่าเท่ากับ -10° /s ให้ทำการคำนวณหาค่าความเป็นสมาชิก จากนั้นทำการตีความและค้นหาผลลัพธ์จากกฎเกณฑ์พื้นฐานที่มีอยู่ เช่นกฎหนึ่งระบุว่า ถ้ามุมมีค่าเป็นลบเล็กน้อย (Negative_small) และผลต่างเชิงมุมเทียบกับเวลา (Delta_angle) เป็นศูนย์ (Zero) กระแสของมอเตอร์จะมีค่าเป็นบวกเล็กน้อย (Positive_small)

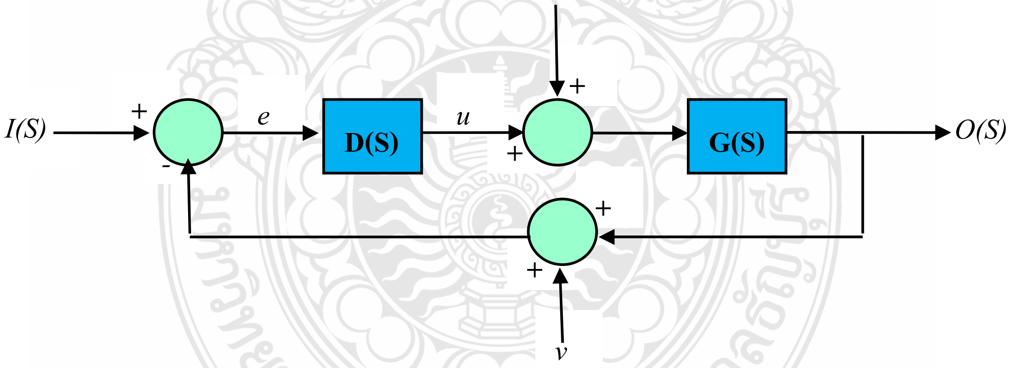
2.9 ตัวควบคุมพีไอดี (PID controller)

ระบบควบคุมพีไอดี คือการควบคุมสัดส่วนป้อนกลับ เป็นระบบการควบคุมรูปแบบหนึ่ง ซึ่งใช้การควบคุมในระบบวงปิด หรือระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Closed–loop control system,

Feedback control) เพื่อลดความผิดพลาดจากสัญญาณรบกวน อย่างไรก็ตาม ความผิดพลาดสถานะคงตัวก็ยังไม่หมดไป และเมื่อเพิ่มสัดส่วนป้อนกลับการตอบสนองความเร็วจะมีโอเวอร์ชูตเพิ่มขึ้น การรวมการควบคุมสัดส่วนและการควบคุมปริพันธ์เข้าด้วยกันจะสามารถกำจัดความผิดพลาดสถานะคงตัวได้ แต่จะทำให้การตอบสนองการเคลื่อนที่ไม่ดี ดังนั้น จึงต้องมีการควบคุมอนุพันธ์ เพื่อทำให้การตอบสนองของระบบดีขึ้น เมื่อรวมทั้งสามเทอมเข้าด้วยกันจะได้รูปแบบการควบคุมแบบพีไอดี (PID controller) ดังภาพที่ 2.13 และ ภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.13 การควบคุมแบบพีไอดี [15]



ภาพที่ 2.14 การควบคุมแบบป้อนกลับ [16]

ตัวควบคุมพีไอดี ประกอบด้วย

2.9.1 Proportional Feedback Control (P)

การควบคุมสัดส่วน คือ การควบคุมสัญญาณป้อนกลับที่เป็นสัดส่วนของค่าความผิดพลาดเพื่อลดความผิดพลาดของสัญญาณขาออก สามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$P = Ke \tag{2.6}$$

ดังนั้น จากการควบคุมแบบป้อนกลับในภาพที่ 2.9 จะได้สมการต่อไปนี้

$$D(s) = K \tag{2.7}$$

เมื่อ P คือสัญญาณขาออก

K คือฟังชั่นถ่ายโอน (Transfer function)

e คือค่าความผิดพลาด

2.9.2 Proportional–Integral (PI) Feedback Control

การควบคุมปริพันธ์ (Integral) เพื่อลดหรือกำจัดความผิดพลาดสถานะคงตัว แต่จะทำให้การตอบสนองชั่วขณะมีประสิทธิภาพลดลง โดยการคูณด้วยอัตราขยายปริพันธ์ สามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$I(t) = \frac{K}{T_I}\int_{t0}^{t} e\,dt \tag{2.8}$$

จากการควบคุมแบบป้อนกลับในภาพที่ 2.9 จะได้สมการต่อไปนี้

$$\frac{U(s)}{E(s)} = D(s) = \frac{K}{T_I s} \tag{2.9}$$

เมื่อ $I(t)$ คือสัญญาณขาออก

T คือ เวลา

D คือ ตัวแปรปริพันธ์

E คือ ฟังชั่นของค่าความผิดพลาด

2.9.3 Derivative Feedback Control (D)

การควบคุมอนุพันธ์หรืออนุพันธ์ป้อนกลับ คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาดเพื่อลดโอเวอร์ชูตและลดเวลาสู่สมดุล สามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$D(t) = KT_D\dot{e} \tag{2.11}$$

จากการควบคุมแบบป้อนกลับในภาพที่ 2.9จะได้ว่า

$$D(s) = KT_D s \tag{2.12}$$

เมื่อ $D(t)$ คือ สัญญาณขาออก

K คือ อัตราขยายอนุพันธ์

T_D คือ อนุพันธ์เวลา (Derivative time)

$\dot{e}$ คือ อนุพันธ์อันดับหนึ่งของความผิดพลาด

2.9.4 Proportional–Integral–Derivative Control (PID)

สำหรับการควบคุมความผิดพลาดสถานะคงตัวและความผิดพลาดชั่วขณะ (Transient error) สามารถควบคุมโดยการรวมทั้งสามเทอมเข้าด้วนกัน ได้แก่การควบคุมสัดส่วนการควบคุมปริพันธ์และการควบคุมอนุพันธ์ ซึ่งเรียกว่า การควบคุมแบบพีไอดี สามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$Output = P + I(t) + D(t) = Ke + \frac{K}{T_I}\int_{-\infty}^{t} e\,dt + KT_D\dot{e} \tag{2.13}$$

จากการควบคุมแบบป้อนกลับในภาพที่ 2.9 จะได้สมการต่อไปนี้

$$D(s) = K\left(1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s\right) \tag{2.14}$$

ตารางที่ 2.2 ผลตอบสนองของตัวแปร

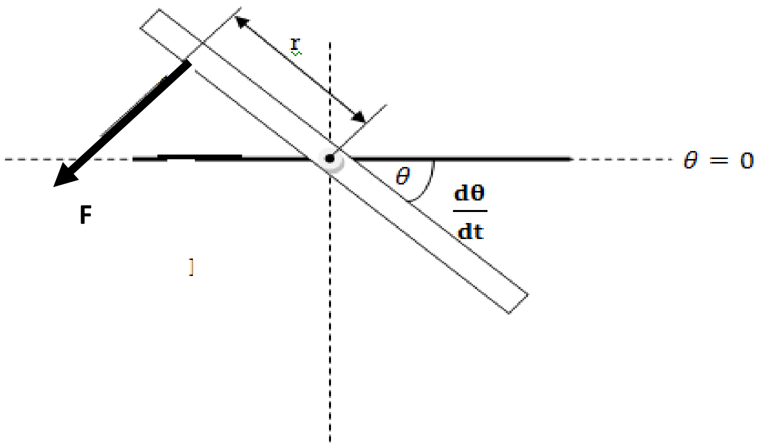
ตัวแปร	ช่วงเวลาขึ้น (Rise time)	โอเวอร์ชูต (Overshoot)	เวลาสู่สมดุล (Settling time)	ความผิดพลาดสถานะคงตัว (Steady – state error)
K_p	ลด	เพิ่ม	เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย	ลด
K_i	ลด	เพิ่ม	เพิ่ม	ลด,กำจัด
K_d	เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย	ลด	ลด	เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

บทที่ 3
ขั้นตอนการทดลอง

ในการทดลองมีขั้นตอนการดำเนินการ โดยเริ่มจากการสร้างสมการการเคลื่อนที่ของแผ่นรักษาความเสถียร (Mathematical model) และจำลองการเคลื่อนที่ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink ในส่วนของการควบคุมแผ่นรักษาความเสถียรใช้ระบบ PID controller และระบบ FUZZY Logic-control controller เป็นตัวควบคุม แล้วจำลองการเคลื่อนที่โดยใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำงานของทั้ง 2 ระบบ รวมทั้งศึกษาความเป็นไปได้ในการทำงานจริง จากนั้นจึงออกแบบสร้างแผ่นระนาบและต่ออุปกรณ์เซนเซอร์ รวมทั้งชุดขับเคลื่อนแผ่นรักษาความเสถียรเข้าด้วยกัน แล้วเขียนโปรแกรม MATLAB/Simulink ของการทำงานจริงเพื่อเปรียบเทียบความเสถียรภาพของแผ่นรักษาความเสถียรจากการควบคุมระบบโดยใช้ PID controller และ FUZZY Logic-control controller

3.1 การจำลองการเคลื่อนที่ของระบบ

3.1.1 การสร้างสมการการเคลื่อนที่ของแผ่นรักษาความเสถียร



ภาพที่ 3.1 รูปของแผ่นรักษาความเสถียรเมื่อมองในรูปแบบสองมิติ

การพิจารณาแผ่นรักษาความเสถียรในภาพที่ 3.1 จะต้องพิจารณาแบบสองมิติและจะต้องพิจารณาสองครั้งคือพิจารณาแผ่นรักษาความเสถียรด้าน X และแผ่นรักษาความเสถียรด้าน Y อย่างละครั้ง โดยพิจารณาตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของแผ่นรักษาความเสถียร ดังต่อไปนี้

L = ความยาวของแผ่นรักษาความเสถียร

c = ค่าความฝืดของจุดหมุน

r = ระยะจากแรงที่กระทำกับแผ่นระนาบถึงจุดหมุน

F = แรงผลักที่กระทำกับแผ่นรักษาความเสถียร(Mathematical model of motor)

จากทฤษฎีของการทำแผ่นรักษาความเสถียรให้ขนานกับแกน (Parallel) ซึ่งต้องใช้ทฤษฎีของการหมุน (Moment of inertia) ดังสมการที่ 3.1

$$J = J_c + m_L d^2 \tag{3.1}$$

$$J = \frac{1}{12} m_L L^2 \tag{3.2}$$

ค่า J เป็นส่วนหนึ่งของสมการการเคลื่อนที่ ซึ่งในที่นี้จะใช้ค่า J ของสมการที่ 3.2 และเมื่อพิจารณาจากภาพที่ 3.1 แล้วนำมาเขียนเป็นสมการการเคลื่อนที่ของระบบจะได้สมการที่ 3.3 ดังนี้

$$\sum M = J\ddot{\theta} \tag{3.3}$$

$$Fr - c\dot{\theta} = J\ddot{\theta} \tag{3.4}$$

$$\frac{J}{r}\ddot{\theta} + \frac{c}{r}\dot{\theta} = F \tag{3.5}$$

ทำการย้ายข้างสมการที่ 3.5 เพื่อหาค่า $\ddot{\theta}$ จะได้สมการที่ 3.6

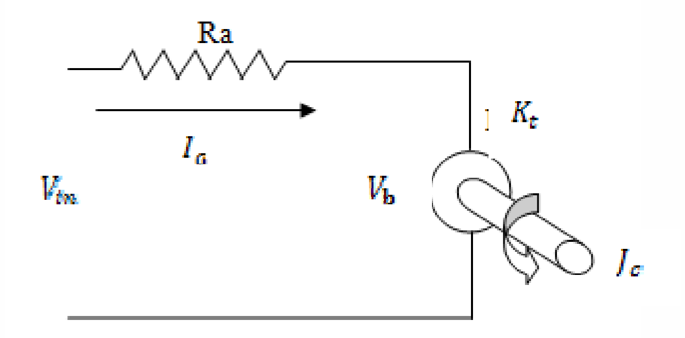
$$\ddot{\theta} = \left(\frac{F - \frac{c}{r}\dot{\theta}}{J}\right) r \tag{3.6}$$

$$\ddot{\theta} = \frac{r}{J}F - \frac{c}{J}\dot{\theta} \tag{3.7}$$

ดังนั้น จะได้สมการที่ 3.7 ซึ่งเป็นสมการการเคลื่อนที่ของแผ่นระนาบที่ใช้สำหรับแกน X และในทำนองเดียวกันเมื่อต้องการหาสมการการเคลื่อนที่ของแผ่นรักษาความเสถียรที่ใช้สำหรับแกน Y ก็สามารถทำได้โดยใช้สมการเดียวกับที่ใช้สำหรับแกน X แต่ต้องเปลี่ยน $\ddot{\theta}$ ให้เป็น α ดังนี้

$$\ddot{\alpha} = \frac{r}{J}F - \frac{c}{J}\dot{\alpha} \qquad (3.8)$$

3.1.2 การสร้างสมการการเคลื่อนที่ของเซอร์โวมอร์เตอร์



ภาพที่ 3.2 ส่วนประกอบของตัวแปรในการสร้าสมการการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ [17]

ตารางที่ 3.1 ตารางค่าของมอเตอร์ [17]

■RATINGS AND SPECIFICATIONS

Item	Motor Type UGFMED-	B5T20E	B5S20E	B5M20E	B5L20E
Rated Output	W	6.2	8.2	12.3	17.4
Rated Torque	N·m (oz·in)	0.029(4.2)	0.039(5.6)	0.059(8.3)	0.083(11.8)
Rated Speed	r/min	2000	2000	2000	2000
Rated Voltage	V	16.1	26.0	30.0	19.4
Rated Current	A	1.0	0.66	0.76	1.66
Rated Power Rate	kW/s	0.29	0.35	0.57	0.90
Rated Angular Acceleration	rad/s²	10000	8880	9670	10760
Instantaneous Peak Torque	N·m (oz·in)	0.157(22.2)	0.186(26.4)	0.275(38.9)	0.392(55.6)
Instantaneous Max. Speed	r/min	4000	4000	4000	4000
Moment of Inertia (with Encoder) J_M (=$GD^2_M/4$)	kg·m² (oz·in·s²)	2.9×10^{-6} (4.2×10^{-4})	4.4×10^{-6} (6.3×10^{-4})	6.1×10^{-6} (8.6×10^{-4})	7.7×10^{-6} (11×10^{-4})
Armature Winding Resistance	Ω	6.2	12.5	11.2	3.1
Armature Inductance	mH	2.4	6.0	6.2	1.9
Induced Voltage Constant	V/1000 (r/min)	3.8	7.6	9.7	6.2
Torque Constant	N·m/A (oz·in/A)	0.036(5.1)	0.073(10.3)	0.092(13.1)	0.059(8.38)
Friction Torque	N·m (oz·in)	0.0039 (0.56)	0.0048 (0.70)	0.0059 (0.83)	0.0069 (0.97)
Viscous Damping Coefficient	N·m/ (r/min) (oz·in/ (r/min))	0.39×10^{-6} (5.6×10^{-5})	0.59×10^{-6} (8.3×10^{-5})	0.88×10^{-6} (12.5×10^{-5})	0.98×10^{-6} (14×10^{-5})
Inertia Time Constant	ms	14	10.5	8.4	6.9
Inductive Time Constant	ms	0.39	0.48	0.55	0.61
Approx. Mass	g (oz)	280(9.88)	330(11.6)	390(13.8)	450(15.9)

จากภาพที่ 3.2 และตารางที่ 3.1 ทำให้เห็นค่าตัวแปรต่างๆของตัวมอเตอร์ เมื่อทราบค่าที่ต้องใช้ในการคำนวณ ได้แก่

V_{in} = Motor input voltage

R_a = Resister of motor

I_a = กระแสไฟที่วิ่งผ่านขดลวด

K_t = Torque constant

V_b = กระแสไฟที่ตัวมอเตอร์ผลิตออกมา

K_e = ค่าคงที่ของback emf

ω = ความเร็วของเชิงมุมของมอเตอร์

เมื่อทราบตัวแปรต่างๆแล้ว จึงนำค่าตัวแปรเหล่านั้นมาประกอบกันเพื่อหาค่า F ที่ต้องการ โดยใช้กฎของ เคอร์ชอฟร์ (Kirhhoff's voltage law) ซึ่งจะได้รูปแบบสมการดังนี้ [17]

$$V_{in} - I_a R_a - V_b = 0 \qquad (3.9)$$

และเมื่อ

$$I_a R_a = -K_e \omega + V_{in} \qquad (3.10)$$

ค่า V_b (กระแสไฟที่ตัวมอเตอร์ผลิตออกมา) หาได้จากสมการที่ 3.11

$$V_b = K_e \omega \qquad (3.11)$$

และเมื่อ

$$T = K_t I_a \qquad (3.12)$$

และเมื่อพิจารณาสมการที่ 3.10 จะได้

$$I_a = \left(\frac{V_{in} - K_e \omega}{R_a}\right) \qquad (3.13)$$

นำสมการที่ 3.14 แทนลงในสมการที่ 3.13 จะได้

$$T = \left(\frac{V_{in} - K_e \omega}{R_a}\right) K_t \qquad (3.14)$$

โดยที่ V_{in} มิใช่ค่าคงที่ แต่จะมีค่าแปรผันตามค่า volt ที่จ่ายเข้าระบบ

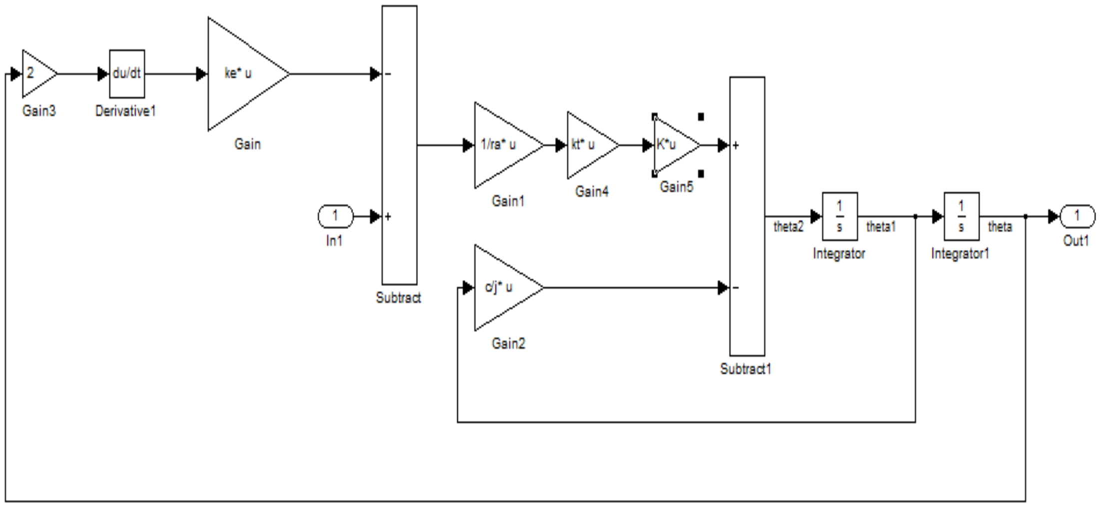
จากนั้นนำค่าต่าง ๆ ที่ได้มาประกอบกับสมการข้างต้นจะได้เป็นค่า F ซึ่งเป็นค่า Mathematical model ของตัวมอเตอร์ จากนั้นจึงนำไปประกอบกับค่า Mathematical model ของแผ่นรักษาความเสถียรตามสมการที่ 3.7 และ 3.8

3.2 การจำลองการเคลื่อนที่ด้วย MATLAB/Simulink

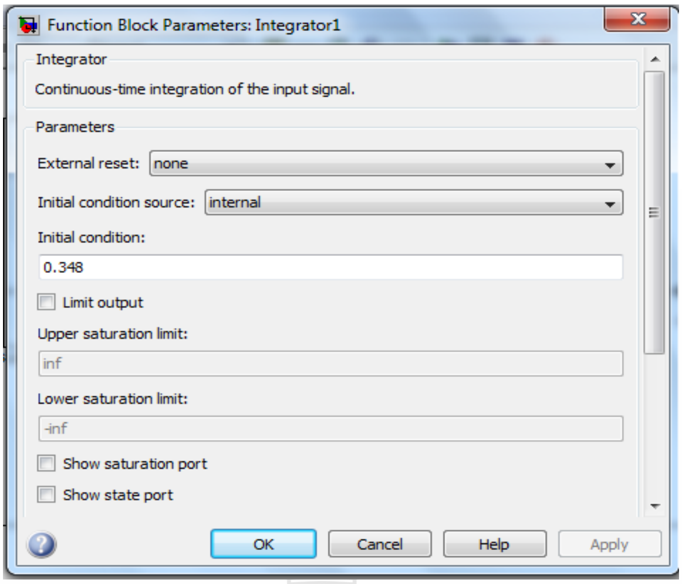
ในการจำลองการเคลื่อนที่นั้นแบ่งออกได้เป็น2 ส่วนหลัก คือส่วนของระบบควบคุมแบบพีไอดี (PID control) และส่วนของระบบควบคุมแบบ ฟัซซี่ ลอจิก (FUZZY Logic-control control) เพื่อทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของทั้งสองระบบ

3.2.1 การจำลองการเคลื่อนที่ในโปรแกรมแมทแลบ (MATLAB)

การจำลองการเคลื่อนที่เป็นการนำสมการเคลื่อนที่ (Mathematical model) มาเขียนในโปรแกรม MATLAB/Simulink โดยการนำสมการที่ 3.7 และ 3.15 มาแปลงให้อยู่ในรูปของไอคอนเครื่องมือ (Toolbox) ในส่วนของซิมมูลิงค์ ดังแสดงในภาพที่ 3.3 โดยมีการกำหนดมุมที่ต้องการทดลองไว้ในไอคอนเครื่องมือ (Toolbox) ที่ชื่อว่า อินทีเกรเตอร์1 (Integrator1) ดังแสดงในภาพที่ 3.4

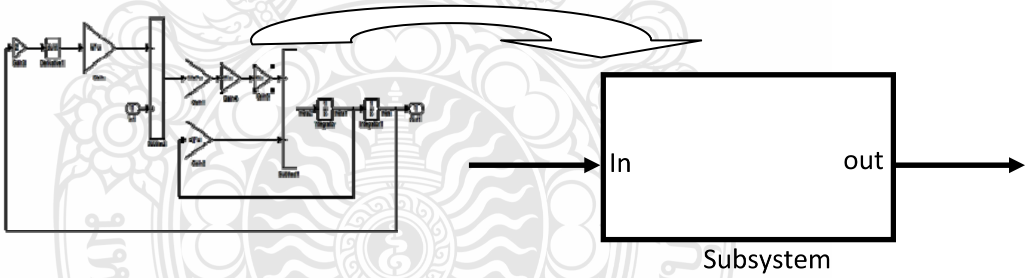


ภาพที่ 3.3 การแปรงสมการการเคลื่อนที่ให้อยู่ในรูปของซิมมูลิงค์



ภาพที่ 3.4 การใส่มุมที่ต้องการ

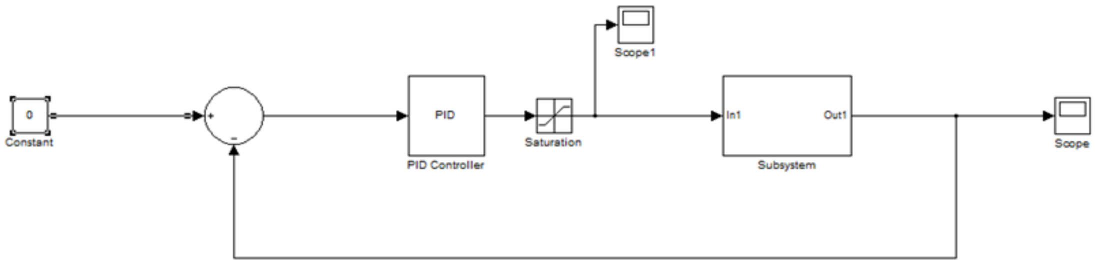
เมื่อได้สมการการเคลื่อนที่ที่อยู่ในรูปของซิมมูลิงค์แล้วจึงนำสมการการเคลื่อนที่นั้นมาทำให้อยู่ในรูปสับซิสเทมเพื่อรองรับระบบของการควบคุมที่จะนำมาใช้งานต่อไป ตามภาพที่ 3.5



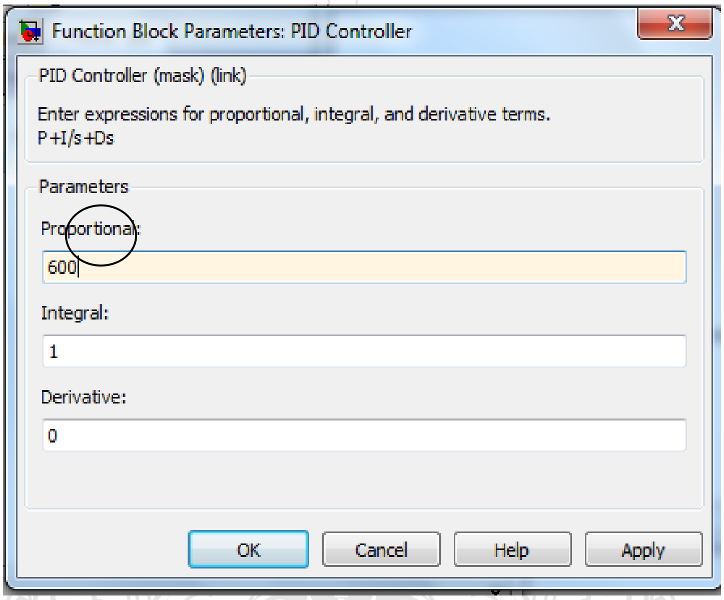
ภาพที่ 3.5 การทำสมการที่อยู่ในรูปซิมมูลิ้งค์ให้อยู่ในรูปสับซิสเทม

3.2.2 ระบบควบคุมแบบ พีไอดี (PID control)

ระบบควบคุมแบบ พีไอดี (PID control) ในโปรแกรมแมทแลบ (MATLAB) เป็นการควบคุมระบบให้อยู่ในค่าที่ยอมรับได้โดยเลือกไอคอนเครื่องมือ (Toolbox) พีไอดีมาเชื่อมต่อกับสับซิสเทมในภาพที่ 3.5 และใส่ค่าคงที่ (ค่ามุมที่ต้องการให้แผ่นรักษาความเสถียรรักษาระดับ) แล้วทำการป้อนสัญญาณกลับมายังเครื่องมือ (Toolbox) พีไอดี ตามภาพที่ 3.6 และปรับค่า Kp, Ki, Kd ตามลำดับโดยวิธีการสุ่มเพื่อให้ได้ค่าที่ดีที่สุดตามภาพที่ 3.7



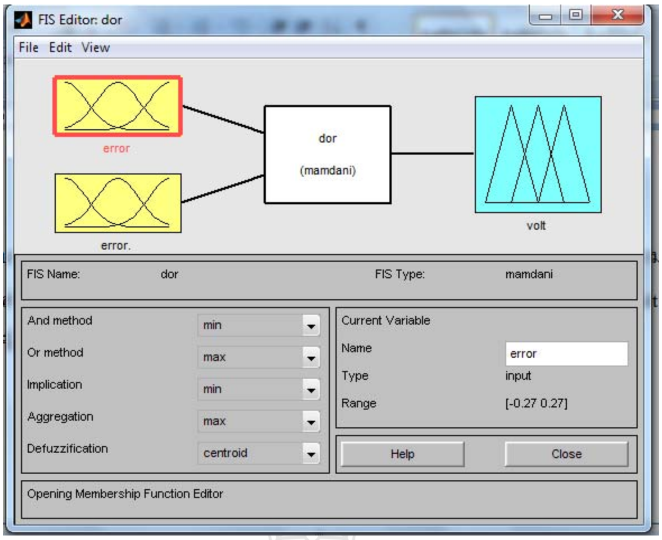
ภาพที่ 3.6 การควบคุมสมการการเคลื่อนที่แบบ พีไอดี



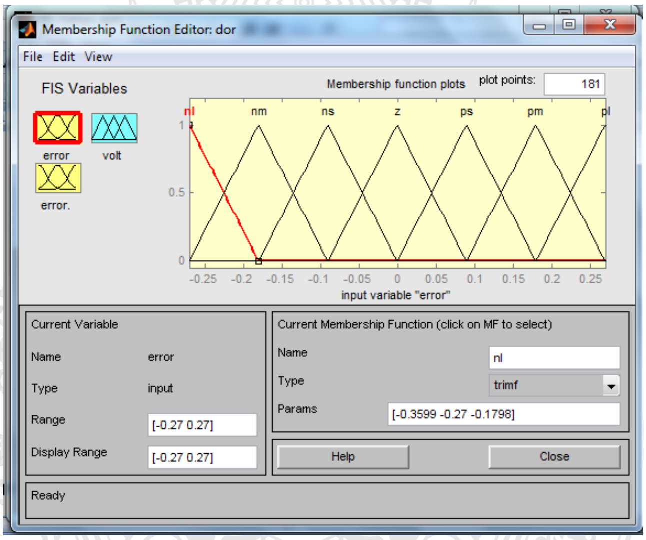
ภาพที่ 3.7 หน้าต่างปรับค่า Kp,Ki,Kd

3.2.3 ระบบควบคุมแบบ ฟัซซี่ ลอจิก (FUZZY Logic-control control)

ระบบควบคุมแบบ ฟัซซี่ ลอจิก (FUZZY Logic-control control) สำหรับงานวิจัยนี้ได้ออกแบบฟังชันความเป็นสมาชิก (Membership function) ในส่วนอินพุตไว้ 2 ค่าคือ Error และ Error. อีกทั้งในส่วนเอาท์พุทต์กำหนดให้เป็น Volt ดังแสดงในภาพที่ 3.8

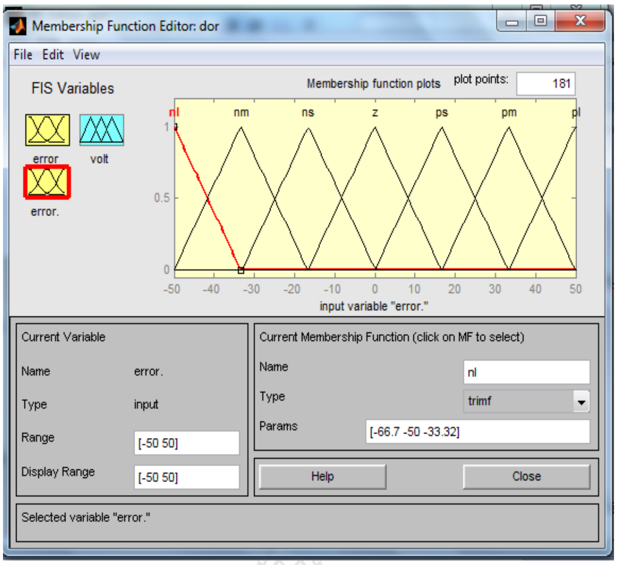


ภาพที่ 3.8 ฟังชันความเป็นสมาชิกในส่วนอินพุต Error และ Error



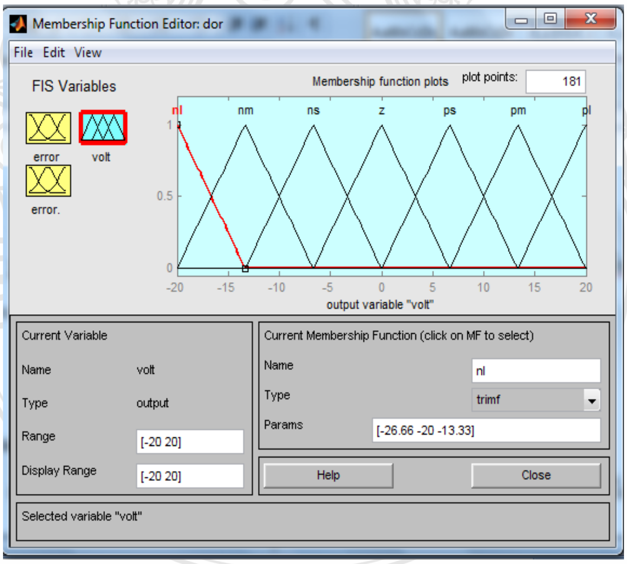
ภาพที่ 3.9 ฟังชันความเป็นสมาชิกในส่วนของอินพุทต์

ภาพที่ 3.9 เป็นรูปฟังชันความเป็นสมาชิกในส่วนของอินพุทต์ที่ชื่อว่า Error ซึ่งจะมีค่าความถี่ของกราฟ (Range) เท่ากับ [-0.27 0.27]



ภาพที่ 3.10 การเปลี่ยนค่าความถี่ของกราฟ (Range) เท่ากับ [-50 50]

ภาพที่ 3.10 เป็นรูปฟังชันความเป็นสมาชิกในส่วนของอินพุทต์ที่ชื่อว่า Error. ซึ่งจะมีค่าความถี่ของกราฟเท่ากับ [-50 50]



ภาพที่ 3.11 การเปลี่ยนค่าความถี่ของกราฟ (Range) เท่ากับ [-20 20]

ภาพที่ 3.11 เป็นรูปฟังชันความเป็นสมาชิกในส่วนของเอาพุทต์ที่ชื่อว่าVolt ซึ่งจะมีค่าความถี่ของกราฟเท่ากับ [-20 20]

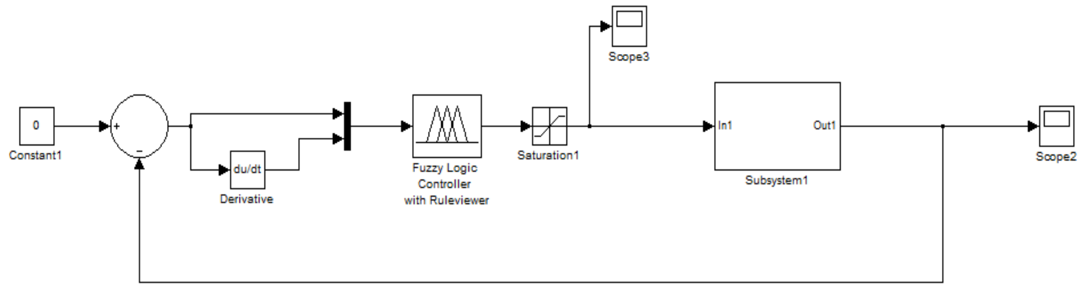
เมื่อได้ฟังชันความเป็นสมาชิกแล้วจึงทำการสร้างเงื่อนไขของฟังชันความเป็นสมาชิกโดยนำตารางที่ 3.2 มาเป็นต้นแบบในการสร้างเงื่อนไขของฟังชันความเป็นสมาชิก

ตารางที่ 3.2 ตารางการสร้างเงื่อนไขของฟังชันความเป็นสมาชิก [18]

TABLE I. FUZZY RULE BASE

e \ $\dot{e}$	PL	PM	PS	Z	NS	NM	NL
NL	Z	NS	NM	NL	NL	NL	NL
NM	PS	Z	NS	NM	NL	NL	NL
NS	PM	PS	Z	NS	NM	NL	NL
Z	PL	PM	PS	Z	NS	NM	NL
PS	PL	PL	PM	PS	Z	NS	NM
PM	PL	PL	PL	PM	PS	Z	NS
PL	PL	PL	PL	PL	PM	PS	Z

เมื่อกำหนดเงื่อนไขของฟังชันความเป็นสมาชิกแล้วจึงทำการเรียกค่า (Import) ฟังชันความเป็นสมาชิกมาควบคุมแทนระบบควบคุมแบบ พีไอดีดังภาพที่ 3.12

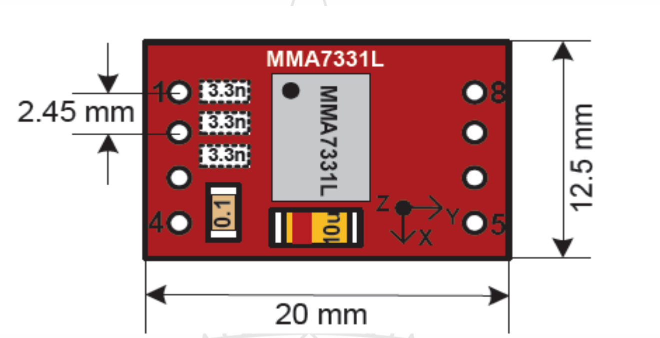


ภาพที่ 3.12 การควบคุมสมการการเคลื่อนที่แบบ ฟัซซี่ ลอจิก

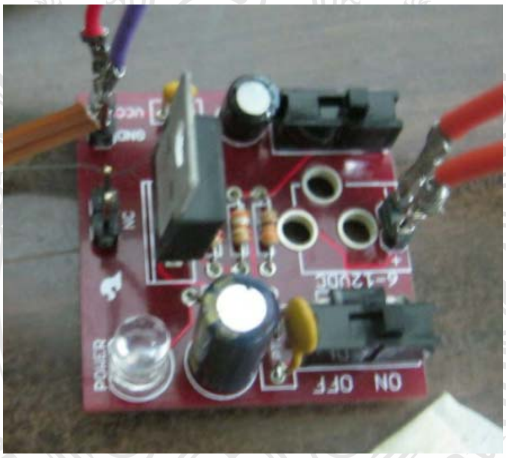
3.3 การสร้างแผ่นระนาบในส่วนงานจริง

3.3.1 ตัววัดความเร่ง

การควบคุมแผ่นรักษาความเสถียรในส่วนงานจริง ตัววัดความเร่งสำหรับงานวิจัยนี้ใช้รุ่น ET MMA7331L ดังภาพที่ 3.13 ซึ่งจะต้องใช้กระแสไฟจากแหล่งจ่ายภายนอก (Power supply) ขนาด 3.3V-3.6V ดังภาพที่ 3.14 และให้สัญญาณเอาพุตท์เป็นแบบอนาลอก

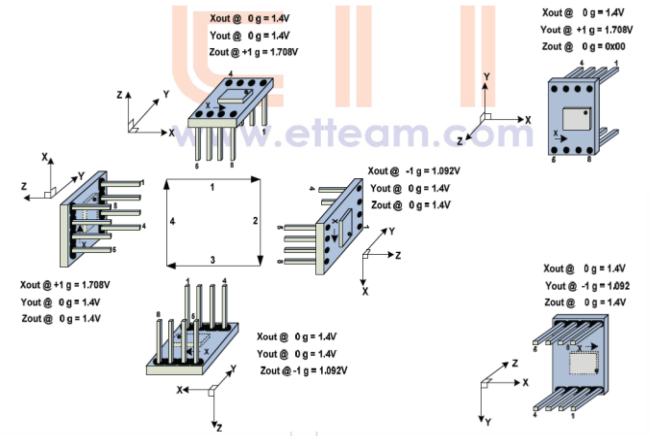


ภาพที่ 3.13 รุ่น ET MMA7331L ตัววัดความเร่งที่ [10]



ภาพที่ 3.14 แหล่งจ่ายภายนอก (Power Supply)

ในงานวิจัยนี้ใช้ตัววัดความเร่งหนึ่งตัวต่อหนึ่งแกนโดยตำแหน่งทิศทางของตัววัดความเร่งกับค่าเอาพุตท์จะเป็นไปตามภาพที่ 3.15 และเลือกใช้สัญญาณเอาพุตท์ของแกน X เนื่องจากมีค่าโวลต์ที่แตกต่างอย่างเห็นได้ชัด



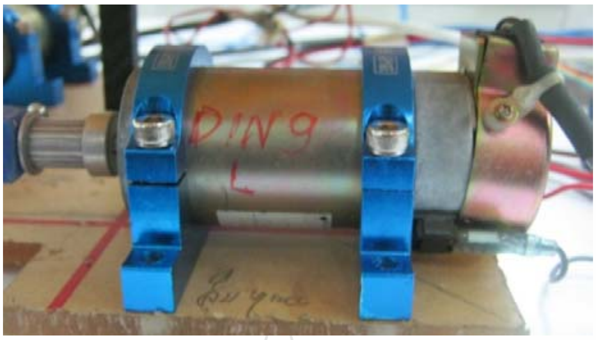
ภาพที่ 3.15 ทิศทางกับการตอบสนองค่าเอาพุตท์ [10]

3.3.2 มอเตอร์ไดรว์[17]

มอเตอร์ไดรว์ ผลิตโดย Copley controls corp. รุ่น ASP–090–09 ใช้ในการควบคุมการทำงานของมอเตอร์ โดยจะรับสัญญาณการควบคุมมาจากคอมพิวเตอร์ และจะควบคุมการจ่ายสัญญาณไฟฟ้าเข้าสู่มอเตอร์ ดังภาพที่3.16

ภาพที่ 3.16 มอเตอร์ไดรว์

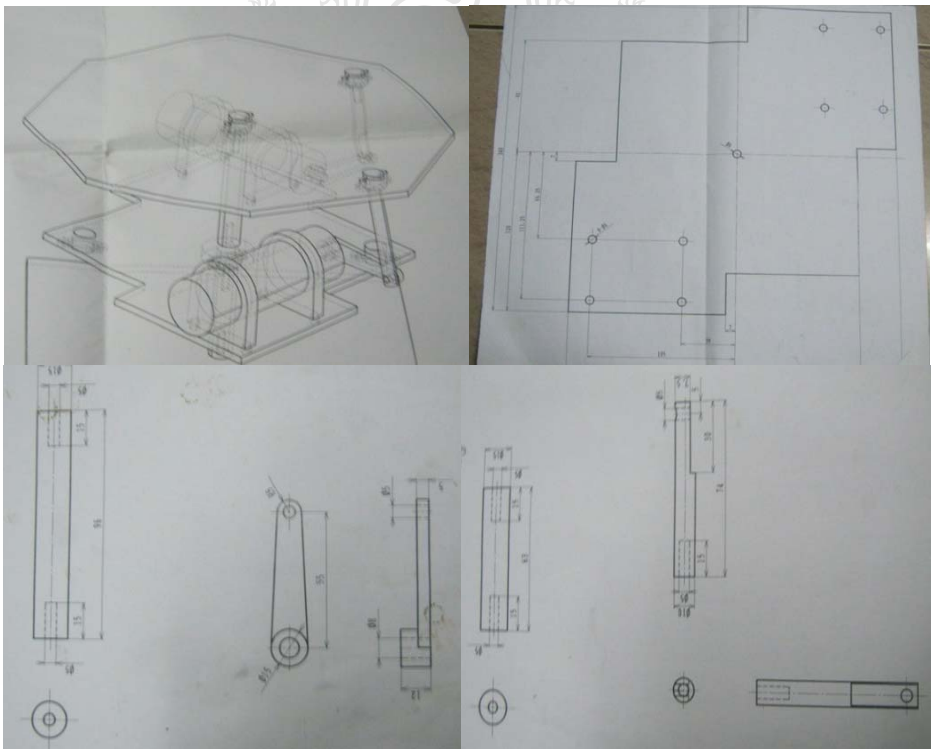
ในการทดลองจะใช้มอเตอร์แบบ ดีซีเซอร์โวมอเตอร์ (DC Servo motor) 24 โวลท์ ผลิตโดย Yaskawa electric corporation รุ่น UGFMED–B5L20E ใช้ขับเคลื่อนโครงสร้างผ่านทางแขนต่อสองท่อนโดยแขนต่อท่อนแรกมีความยาว 74 mm และมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 mm แขนต่อท่อนที่สองมีความยาว 55 mm และมีความหนา 5 mm โดยมีเอ็นโคเดอร์ต่อกับมอเตอร์เพื่อใช้ในการวัดตำแหน่งการหมุนของมอเตอร์ ดังภาพที่ 3.17



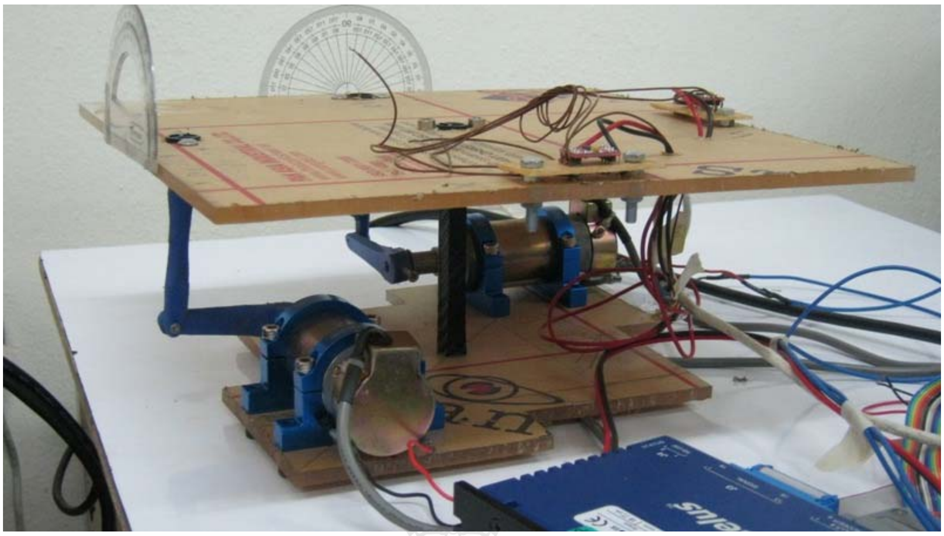
ภาพที่ 3.17 มอเตอร์

3.3.3 การสร้างโมเดลของแผ่นรักษาความเสถียร

โมเดลของแผ่นรักษาความเสถียรที่สร้างขึ้นนี้เริ่มจากการเขียนแบบในโปรแกรม CAM TOOL โดยมีอัตราส่วน 1:1 ตามภาพที่ 3.18 แล้วนำมาทาบลงในแผ่นอะคริริค (Acrilic) หนา 5 mm แล้วตัดตามแบบที่เขียนไว้ จากนั้นนำแท่งซุบพรีลีนมาเจียรแต่งให้ได้ขนาดตามแบบและประกอบมอร์เตอร์เข้าด้วยกันตามภาพที่ 3.19



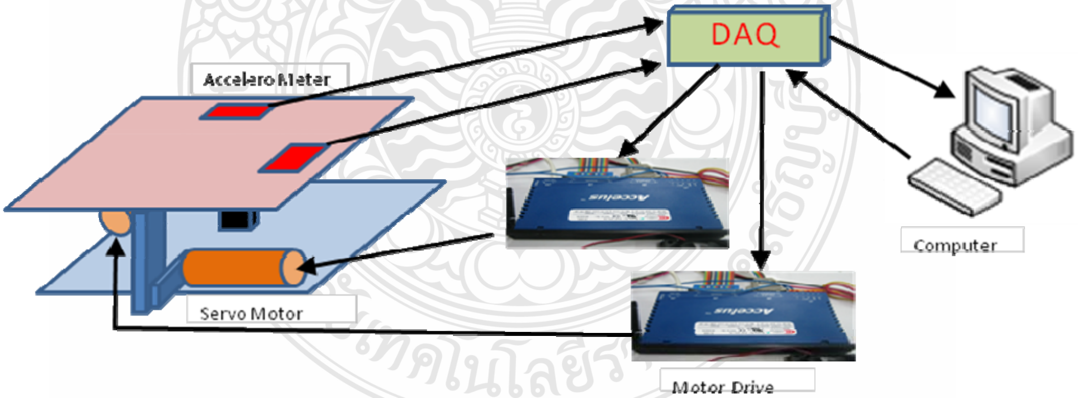
ภาพที่ 3.18 โมเดลของแผ่นรักษาความเสถียรอัตราส่วน 1:1



ภาพที่ 3.19 แผ่นรักษาความเสถียรที่ใช้ในการทดลอง

3.4 ระบบส่งสัญญาณควบคุมระบบของแผ่นรักษาความเสถียร

ระบบส่งสัญญาณควบคุมระบบของแผ่นรักษาความเสถียรเริ่มต้นโดยตัววัดความเร่งได้รับค่าสัญญาณจากเอาพุตท์ภายนอก (มุมที่เปลี่ยนแปลงไป) จากนั้นตัววัดความเร่งจะส่งสัญญาณอนาล็อกออกไปยัง DAQ และทำการประมวลผลในโปรแกรม MATLAB แล้วส่งสัญญาณกลับมายัง DAQ เพื่อทำการส่งสัญญาณไปยังชุดมอเตอร์ไดรว์ที่ทำหน้าที่ควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ให้ได้มุมที่ต้องการดังภาพที่ 3.20

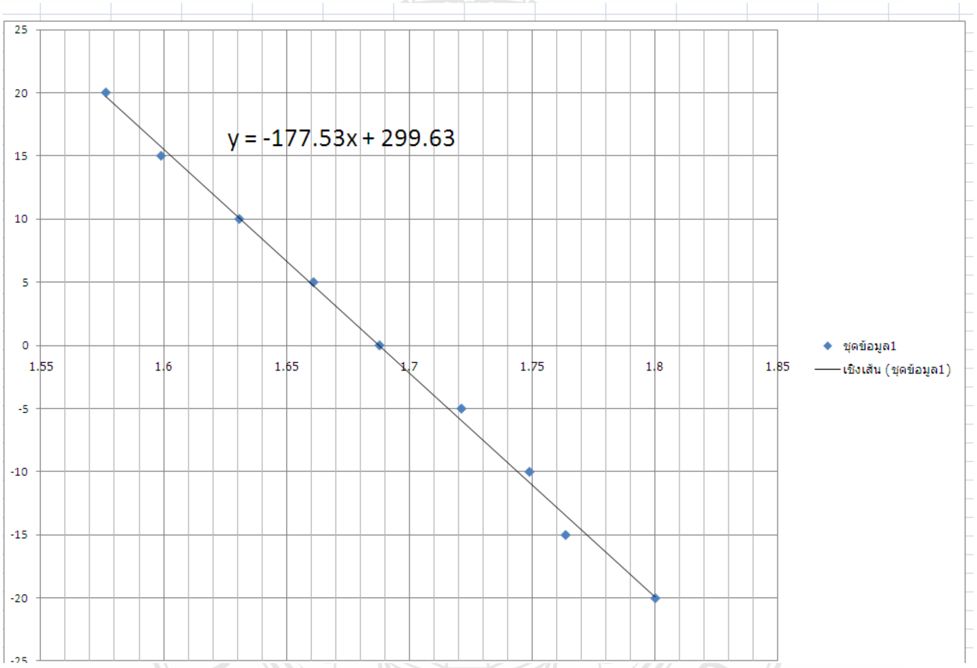


ภาพที่ 3.20 ระบบส่งสัญญาณการควบคุมระบบของแผ่นรักษาความเสถียร

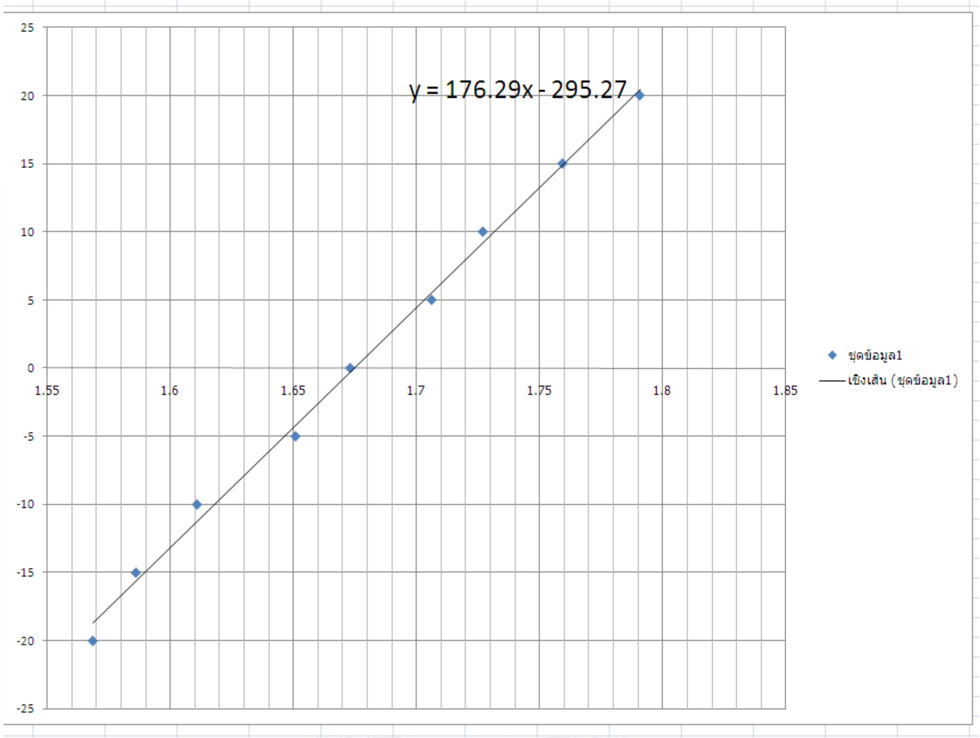
3.5 การเขียนโปรแกรมเพื่อใช้ในส่วนงานจริง

การเขียนโปรแกรมเพื่อใช้ในส่วนงานจริงจะใช้โปรแกรม MATLAB ที่เรียกว่า Real-Time Window Target ในการสร้าง Analog Input และ Analog OutPut เพื่อทำให้ตัวโปรแกรมส่งสัญญาณกับ DAQ Cards ได้ โดยในส่วนของอินพุตนั้นจะทำการเก็บค่าของตัววัดความเร่งที่มีความต่างขององศาที่ทดลองครั้งละห้าองศา เพื่อหาค่ากลางของกระแสไฟที่ตัววัดความเร่งจ่ายออกมาในมุมองศาที่เปลี่ยนแปลงไป แล้วนำค่าที่ได้มาทำกา Curve fitting ในโปรแกรม Excel เพื่อหาค่าสมการเส้นตรง ดังสมการที่ 3.16 และภาพที่ 3.21 ภาพที่ 3.22 และนำไปแปลงค่าของตัววัดความเร่งในโปรแกรม MATLAB ต่อไป

$$y = mx + c \qquad (3.15)$$



ภาพที่ 3.21 การทำสมการเชิงเส้นของตัววัดความเร่งของแกน X



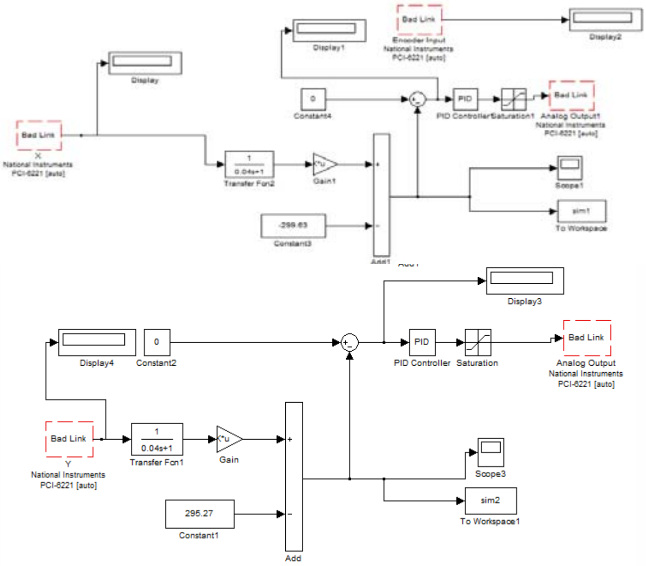
ภาพที่ 3.22 การทำสมการเชิงเส้นของตัววัดความเร่งของแกน Y

3.6 ระบบที่ใช้ในการควบคุมแผ่นรักษาความเสถียร

ระบบที่ใช้ในการควบคุมแผ่นรักษาความเสถียรสำหรับการทำวิจัยครั้งนี้มี 2 ส่วนคือ ระบบควบคุมแบบ PID controller และระบบควบคุมแบบ FUZZY Logic-control controller ซึ่งในการทดลองจะนำค่าของระบบที่กล่าวมาแล้วในส่วนของการจำลองการเคลื่อนที่ มาปรับแต่งและใช้ในการควบคุม

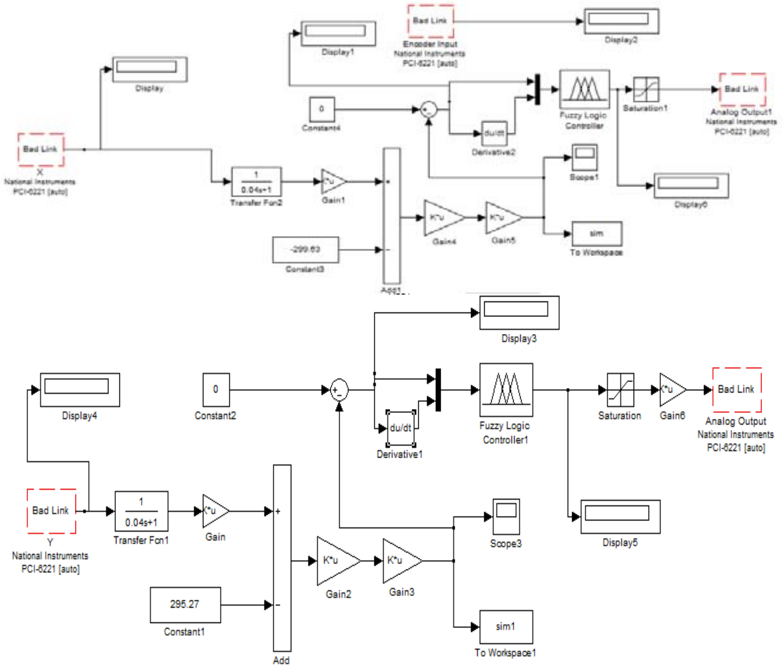
3.6.1 การนำระบบควบคุมมาใช้ในส่วนงานจริง

1) ระบบ PID controller เป็นการนำ Tool Box ของ PID มาใส่ไว้ในโปรแกรม Simulink ส่วนควบคุมตามหัวข้อที่ 3.5 โดยรับค่าสัญญาณป้อนกลับมาจากสมการของตัววัดความเร่งดังภาพที่ 3.23 และส่งสัญญาณเอาพุตท์ออกไปยัง DAQ Cards ต่อไป



ภาพที่ 3.23 รูป Tool Box PID ที่อยู่ในโปรแกรมใช้งาน

2) ระบบ FUZZY Logic-controller เป็นการนำ Toolbox ของ FUZZY Logic-control มาใส่ไว้ในโปรแกรม Simulink ส่วนควบคุมตามหัวข้อที่ 3.5 โดยรับค่าสัญญาณป้อนกลับมาจากสมการของตัววัดความเร่งดังภาพที่ 3.24 และส่งสัญญาณเอาพุตท์ออกไปยัง DAQ Cards ต่อไป



ภาพที่ 3.24 รูป Tool Box FUZZY Logic-control ที่อยู่ในโปรแกรมใช้งาน

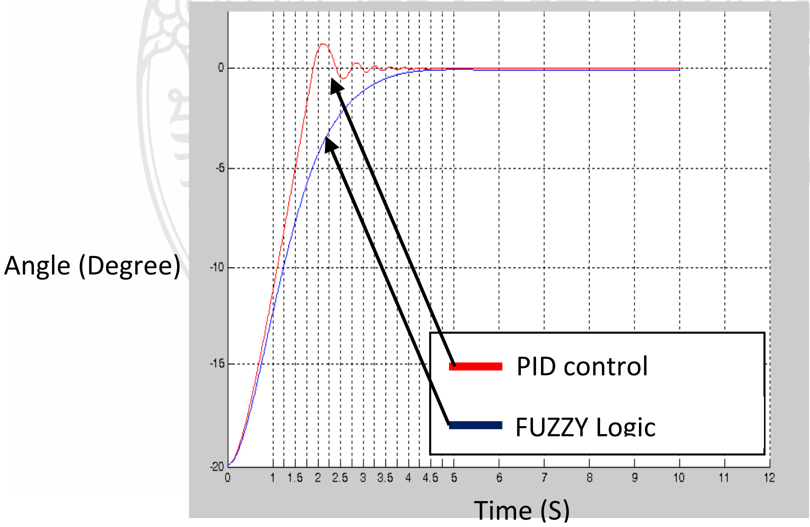
บทที่ 4

ผลการทดลอง

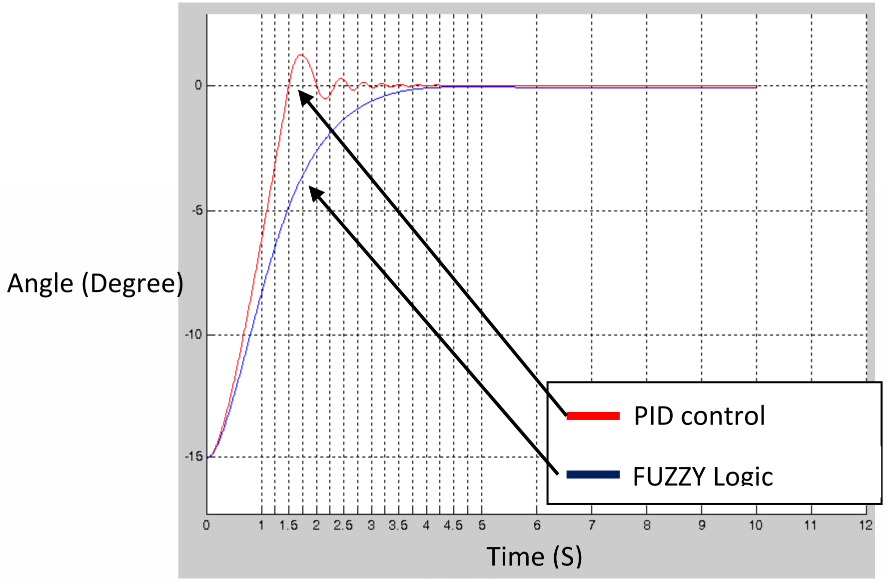
บทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองการทำงานของระบบควบคุมแผ่นรักษาความเสถียรโดยแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ 1) การทดลองศึกษาผลตอบสนองของระบบในแบบ Simulation และ 2) การทดลองการทำงานจริงโดยในการทดลองใช้ระบบควบคุม 2 ระบบคือ PID และ FUZZY Logic-control สำหรับจุดมุ่งหมายของการจำลองการทำงานของระบบควบคุมแผ่นรักษาความเสถียรในส่วนที่หนึ่งก็เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการทำงานของทั้ง 2 ระบบและเปรียบเทียบระยะเวลาและลักษณะการปรับมุมของแผ่นรักษาความเสถียรของทั้ง 2 ระบบ ส่วนจุดมุ่งหมายของการทดลองการทำงานจริงก็เพื่อทดสอบและเปรียบเทียบการทำงานของระบบควบคุมแผ่นรักษาความเสถียรที่ได้สร้างขึ้นจากการควบคุมทั้ง 2 ระบบ

4.1 การทดลองศึกษาผลตอบสนองของระบบในแบบ Simulation

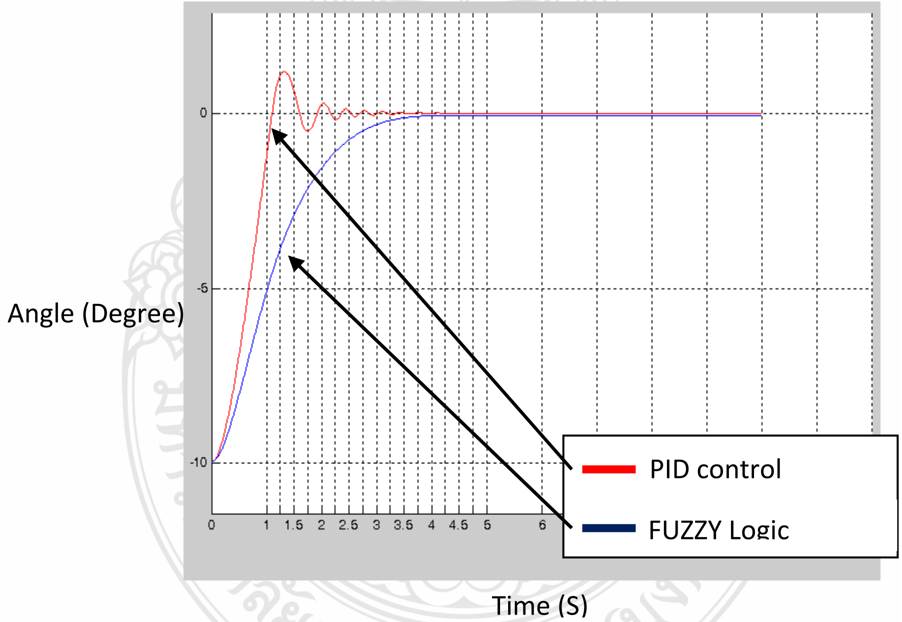
การทดลองนี้เป็นการจำลองการเคลื่อนที่ของแผ่นรักษาความเสถียรโดยแสดงผลในรูปแบบของกราฟมุมซึ่งมีหน่วยเป็น องศา เทียบ กับเวลาซึ่งมีหน่วยเป็นวินาที โดยทดลองที่ความต่างของมุมครั้งละ 5 องศา และจะเริ่มทำการทดลองตั้งแต่ -20 องศาจนถึง 20 องศา ซึ่งผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.1 ถึง ภาพที่ 4.8



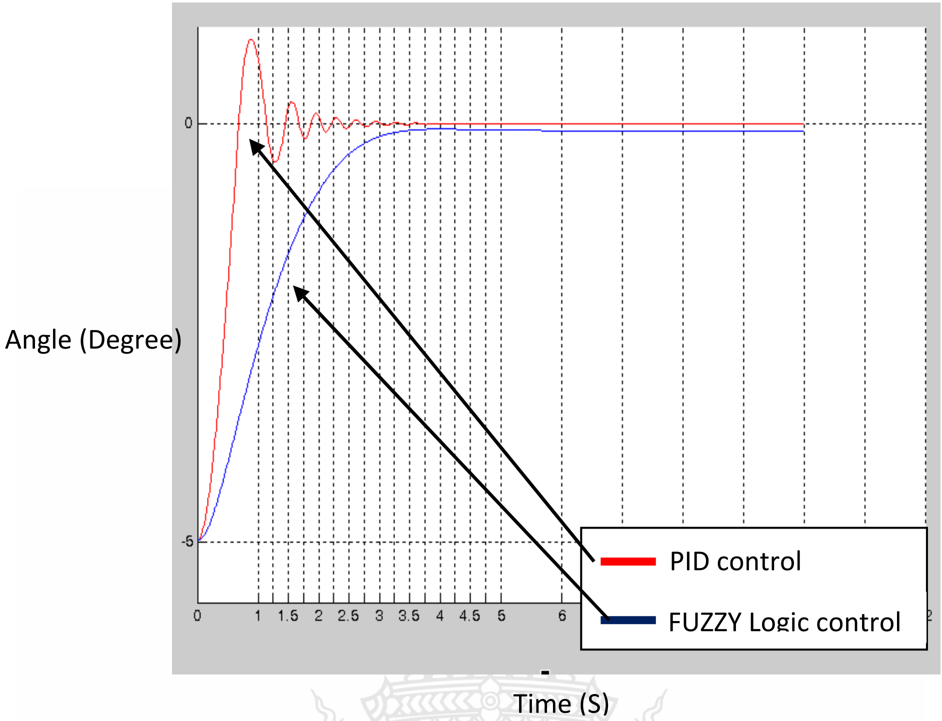
ภาพที่ 4.1 ผลการทดลองที่มุม -20 องศา



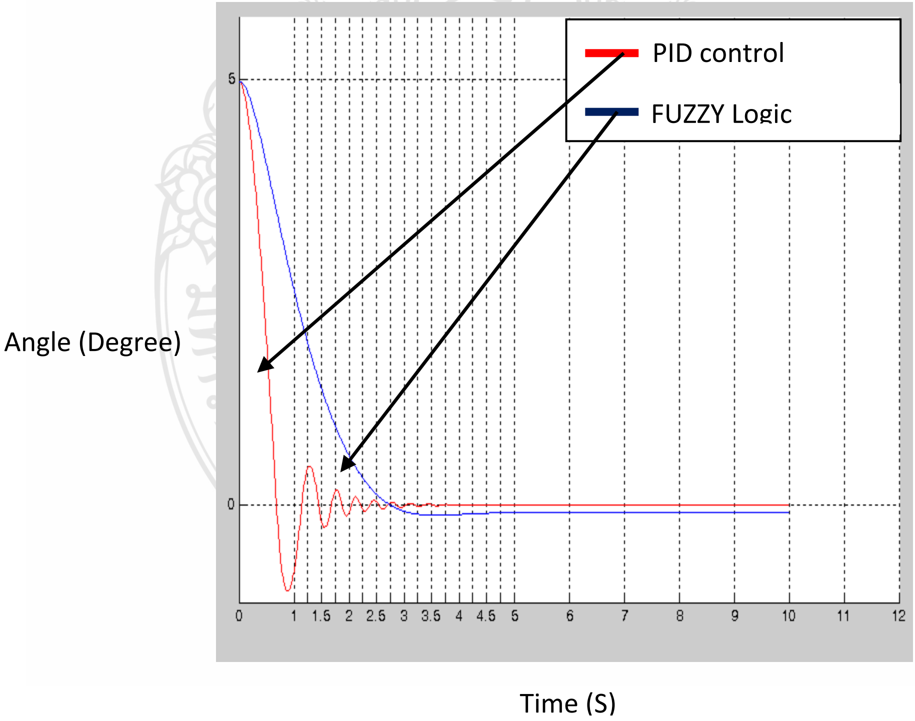
ภาพที่ 4.2 ผลการทดลองที่มุม -15 องศา



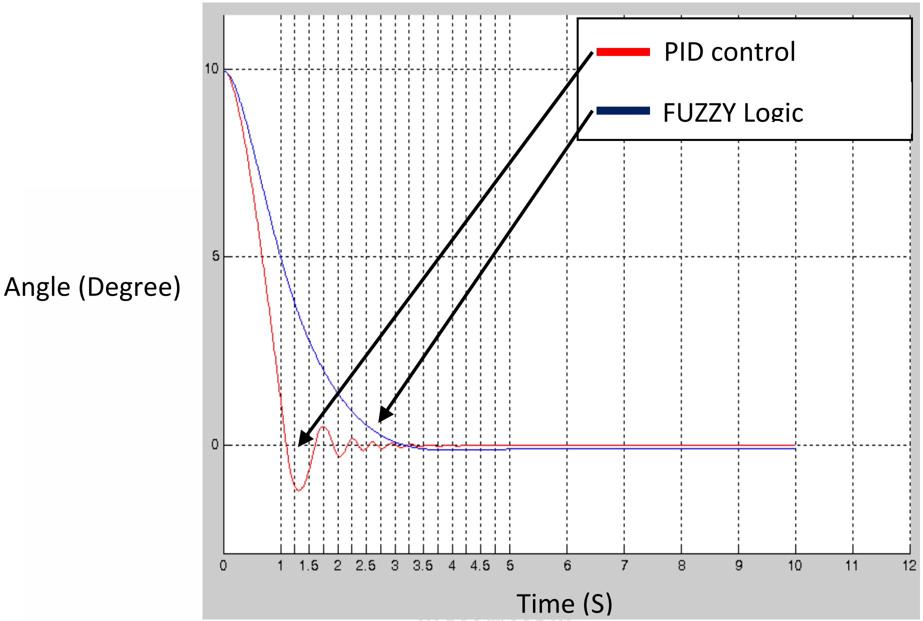
ภาพที่ 4.3 ผลการทดลองที่มุม -10 องศา



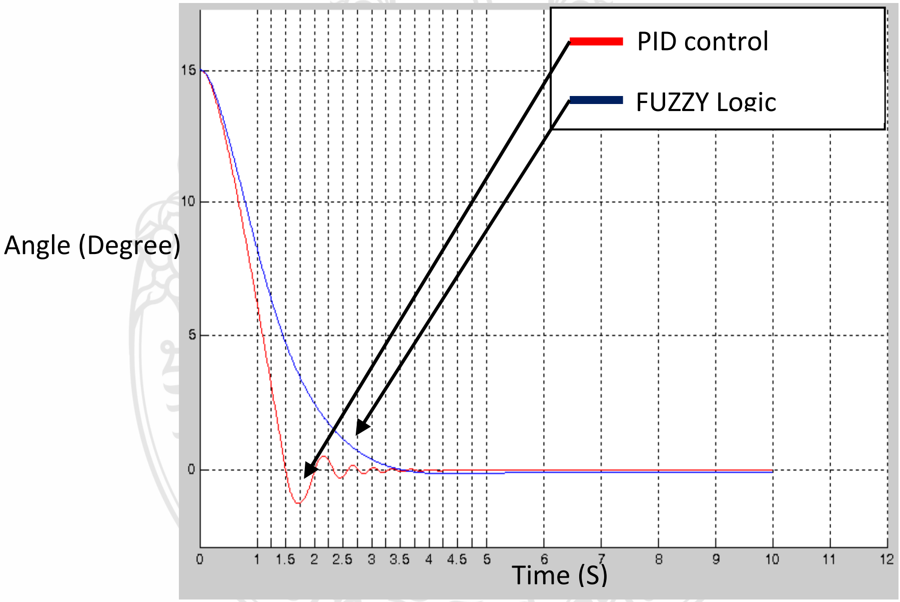
ภาพที่ 4.4 ผลการทดลองที่มุม -5 องศา



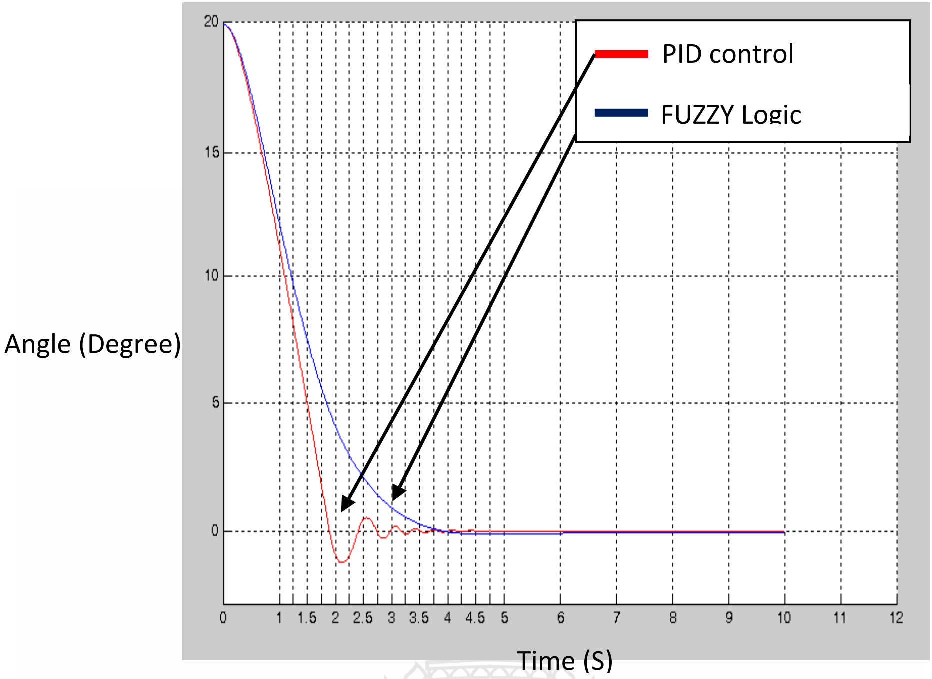
ภาพที่ 4.5 ผลการทดลองที่มุม 5 องศา



ภาพที่ 4.6 ผลการทดลองที่มุม 10 องศา



ภาพที่ 4.7 ผลการทดลองที่มุม 15 องศา

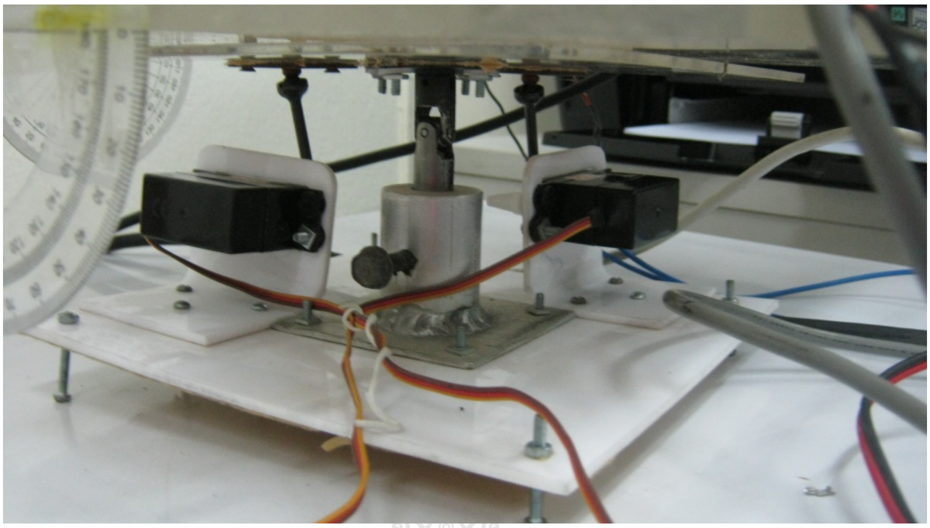


ภาพที่ 4.8 ผลการทดลองที่มุม 20 องศา

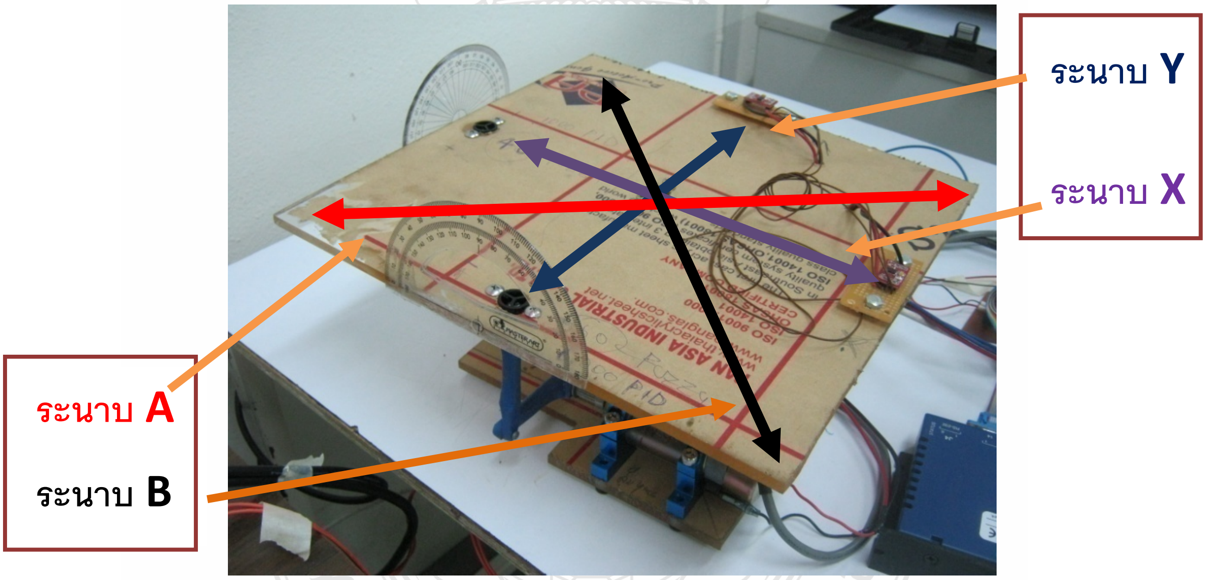
กราฟลักษณะการตอบสนองของระบบเมื่อนำมาเปรียบเทียบกัน เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมที่ทำการทดลองกับเวลาที่แผ่นรักษาความเสถียรเคลื่อนที่ จากกราฟพบว่า ระบบควบคุมทั้ง 2 ระบบมีระยะเวลาการเข้าสู่สภาวะคงตัวที่ใกล้เคียงกัน โดยจะมีระยะเวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัวได้เร็วขึ้นเมื่อใช้มุมในการทดลองที่น้อยลง และพบว่าแผ่นรักษาความเสถียรที่มีระบบควบคุมแบบ PID จะเคลื่อนตัวมาถึงมุม 0 องศา ได้ในเวลา 1.75 วินาที ต่อจากนั้นแผ่นรักษาความเสถียรจะแกว่งและค่อย ๆ ลดระดับความรุนแรงในการแกว่งลงจนเข้าสู่สภาวะสมดุลได้เมื่อเวลาผ่านไป 4 วินาที ในส่วนของการควบคุมแบบ FUZZY Logic-control นั้น เมื่อดูจากลักษณะกราฟแล้ว พบว่าแผ่นรักษาความเสถียรจะค่อย ๆ ปรับมุมตัวเองจนเข้าสู่สภาวะสมดุลได้เมื่อเวลาผ่านไป 4 วินาทีโดยไม่มีการแกว่งของแผ่นรักษาความเสถียรอย่างไรก็ตาม ระบบจะมีค่าความผิดพลาดของมุม 0 องศา ที่ -1องศา

4.2 การทดลองการทำงานของระบบควบคุมแผ่นรักษาความเสถียร

ในการทดลองการทำงานของระบบควบคุมแผ่นรักษาความเสถียรจะใช้ฐานเป็นอุปกรณ์ในการเอียงแผ่นรักษาความเสถียร และใช้ RC Servo จำนวน 2 ตัวเป็นตัวขับเคลื่อนแผ่นฐานให้เอียงไปตามมุมที่ต้องการโดยตัวควบคุม RC Servo ใช้ของบริษัท ETT รุ่น ET-RS Servo 1.0 ดังภาพที่ 4.9 สำหรับการทดลองครั้งนี้จะดำเนินการทั้งสิ้น 4 ครั้ง คือที่ระนาบ X ระนาบ Y ระนาบ A และระนาบ B ดังภาพที่ 4.10



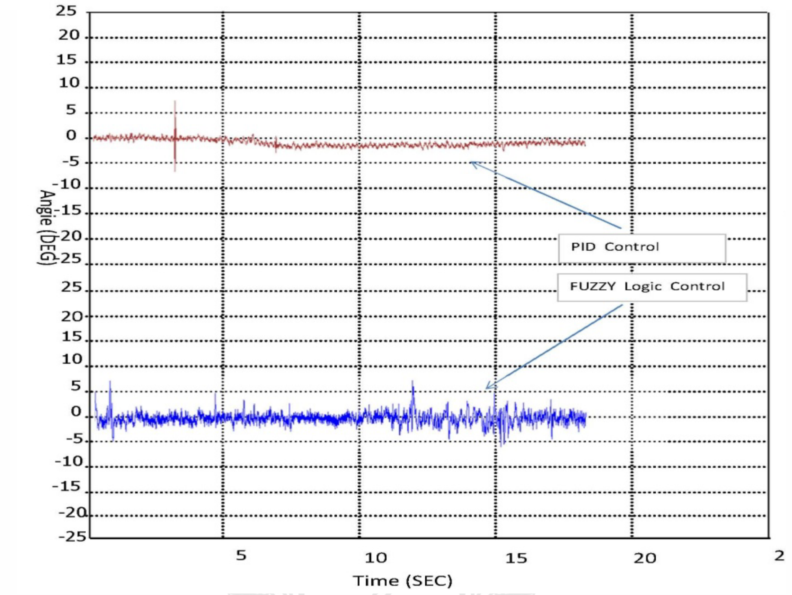
ภาพที่ 4.9 ฐานของแผ่นรักษาความเสถียรที่ใช้ในการทดลอง



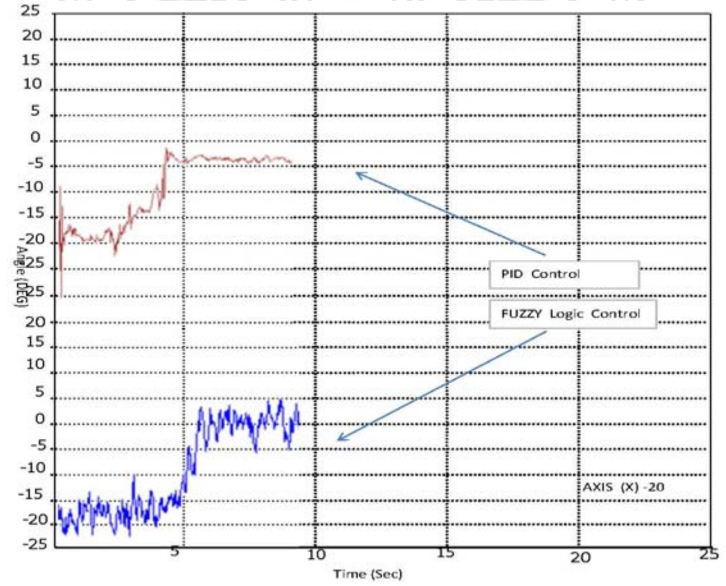
ภาพที่ 4.10 แนวระนาบที่ทำการทดลอง

4.3 ผลการทดลองในแต่ละแนวระนาบ

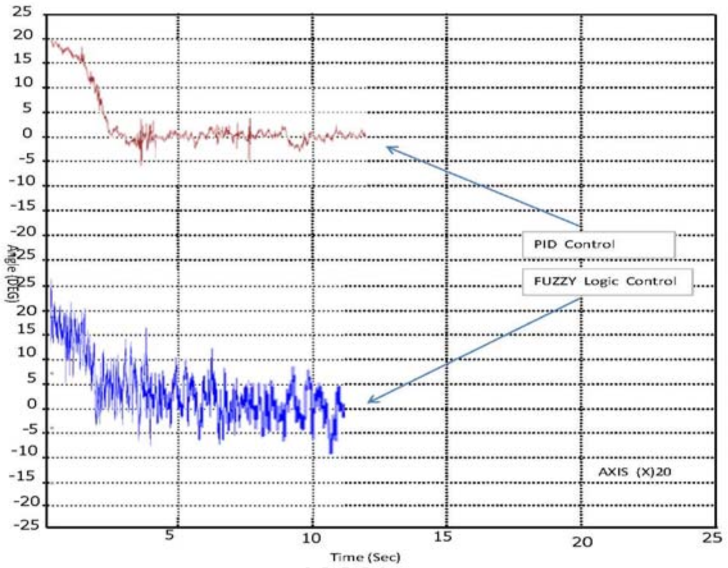
4.3.1 ผลการทดลองในแนวระนาบ X



ภาพที่ 4.11 เปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของแผ่นรักษาความเสถียรของระบบควบคุม PID และ FUZZY Logic-control ที่มุม 0 องศา



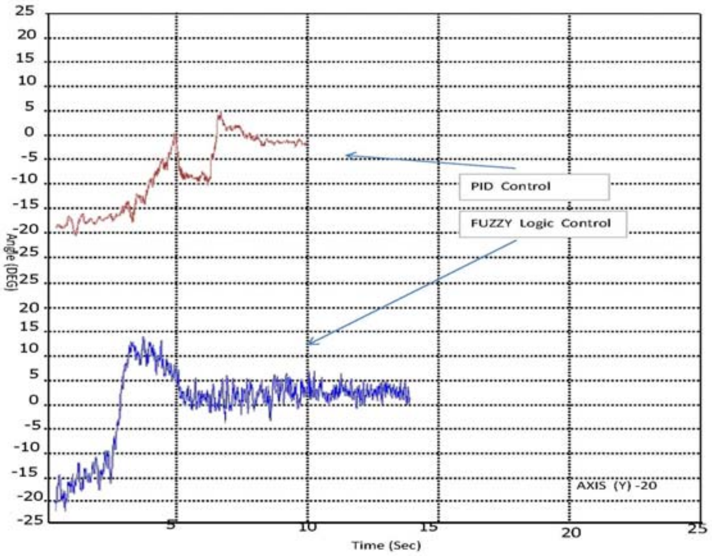
ภาพที่ 4.12 เปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของแผ่นรักษาความเสถียรของระบบควบคุม PID และ FUZZY Logic-control ที่มุม -20 องศา



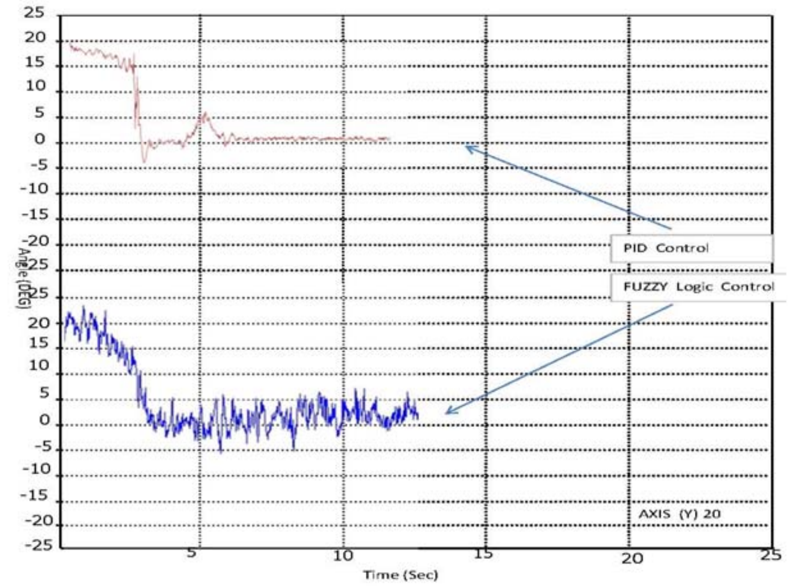
ภาพที่ 4.13 เปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของแผ่นรักษาความเสถียรของระบบควบคุม PID และ FUZZY Logic-control ที่มุม 20 องศา

จากภาพที่ 4.12 ถึง 4.13 เป็นรูปกราฟผลการทดลองที่มีการปรับค่าของมอเตอร์ไดรว์ครั้งที่ดีที่สุด และแสดงการเคลื่อนที่ของกราฟของแผ่นรักษาความเสถียรที่มีมุมเอียงมากที่สุดของแผ่นรักษาความเสถียรที่มุม –20 องศา และมุม 20 องศา ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมของแผ่นรักษาความเสถียรกับเวลา พบว่า ลักษณะการปรับมุมของแผ่นรักษาความเสถียรจะมีลักษณะแปรผันตรงกับเวลา โดยที่เมื่อทำการเอียงแผ่นรักษาความเสถียรในมุมที่ไม่มากแผ่นรักษาความเสถียรก็จะใช้ระยะเวลาในการปรับมุมเข้าสู่สถานะเสถียรภาพได้ในเวลาที่ไม่มากและเมื่อทำการเอียงแผ่นรักษาความเสถียรในมุมที่มากขึ้นแผ่นรักษาความเสถียรก็จะใช้ระยะเวลาในการปรับมุมเข้าสู่สถานะเสถียรภาพได้ในเวลาที่มากขึ้นทั้งในระบบควบคุมแบบ ฟัซซี่ ลอจิก และ พีไอดี และจากการทดลองเอียงแผ่นรักษาความเสถียรเพื่อเปรียบเทียบระบบควบคุมทั้งสองระบบในแนวแกน X แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถรักษาระดับที่ 0 องศาไว้ได้ โดยพบว่าระบบควบคุม พีไอดี และ ฟัซซี่ ลอจิกใช้เวลาในการกลับคืนสู่แนวระนาบได้ในเวลา ที่ใกล้เคียงกันโดยพบว่าระบบควบคุมพีไอดีมีลักษณะการกลับคืนสู่แนวระนาบที่ราบเรียบกว่าระบบควบคุมแบบ ฟัซซี่ ลอจิกซึ่งมีคลื่นความถี่รบกวน (Noise) เกิดขึ้นมากจนทำให้ระบบเสียสมดุลระหว่างการทำงาน

4.3.2 ผลการทดลองในแนวระนาบ Y



ภาพที่ 4.14 เปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของแผ่นรักษาความเสถียรของระบบควบคุม PID และ FUZZY Logic-control ที่มุม -20 องศา

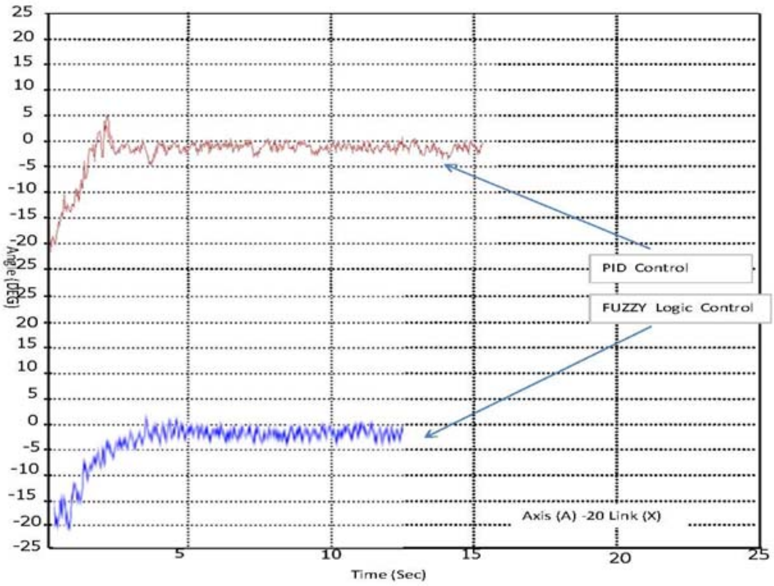


ภาพที่ 4.15 เปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของแผ่นรักษาความเสถียรของระบบควบคุม PID และ FUZZY Logic-control ที่มุม 20 องศา

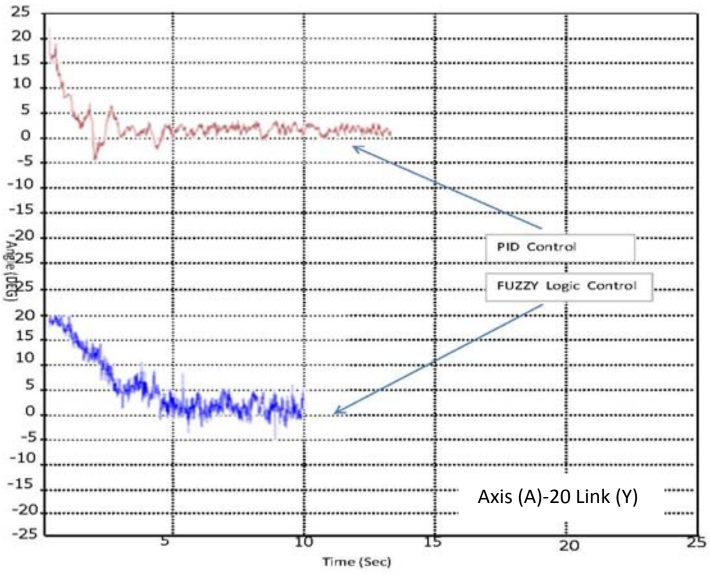
จากภาพที่ 4.14 ถึง 4.15 เป็นรูปกราฟผลการทดลองที่มีการปรับค่าของมอเตอร์ไดรว์ครั้งที่ดีที่สุด และแสดงการเคลื่อนที่ของกราฟของแผ่นรักษาความเสถียรที่มีมุมเอียงมากที่สุดของแผ่นรักษาความเสถียรที่มุม –20 องศา และมุม 20 องศา ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมของแผ่นรักษาความ

เสถียรกับเวลา พบว่า ลักษณะการปรับมุมของแผ่นรักษาความเสถียรจะมีลักษณะแปรผันตรงกับเวลา โดยที่เมื่อทำการเอียงแผ่นรักษาความเสถียรในมุมที่ไม่มากแผ่นรักษาความเสถียรก็จะใช้ระยะเวลาในการปรับมุมเข้าสู่สถานะเสถียรภาพได้ในเวลาที่ไม่มากและเมื่อทำการเอียงแผ่นรักษาความเสถียรในมุมที่มากขึ้นแผ่นรักษาความเสถียรก็จะใช้ระยะเวลาในการปรับมุมเข้าสู่สถานะเสถียรภาพได้ในเวลาที่มากขึ้นทั้งในระบบควบคุมแบบ ฟัซซี่ ลอจิก และ พีไอดี และจากการทดลองเอียงแผ่นรักษาความเสถียรเพื่อเปรียบเทียบระบบควบคุมทั้งสองระบบในแนวแกน Y แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถรักษาระดับที่ 0 องศาไว้ได้ โดยพบว่าระบบควบคุม พีไอดี และ ฟัซซี่ ลอจิกใช้เวลาในการกลับคืนสู่แนวระนาบได้ในเวลา ที่ใกล้เคียงกันโดยพบว่าระบบควบคุมพีไอดีมีลักษะณะการกลับคืนสู่แนวระนาบที่ราบเรียบกว่าระบบควบคุมแบบ ฟัซซี่ ลอจิกซึ่งมีคลื่นความถี่รบกวน (Noise) เกิดขึ้นมากจนทำให้ระบบเสียสมดุลระหว่างการทำงาน

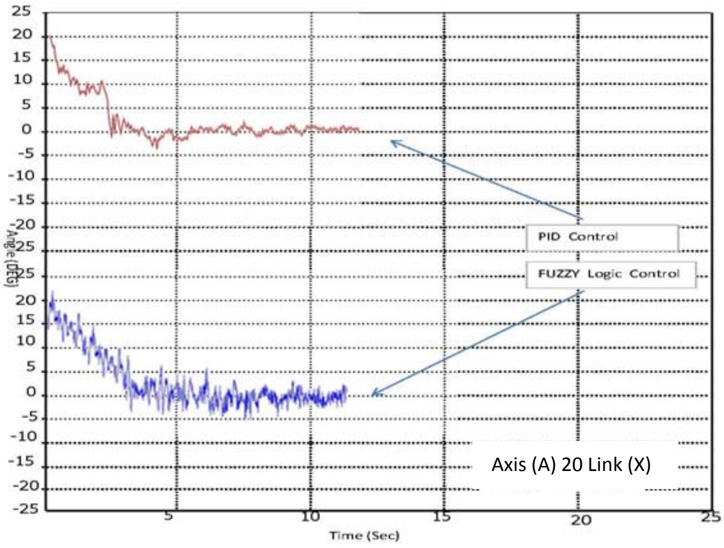
4.3.3 ผลการทดลองในแนวระนาบ A



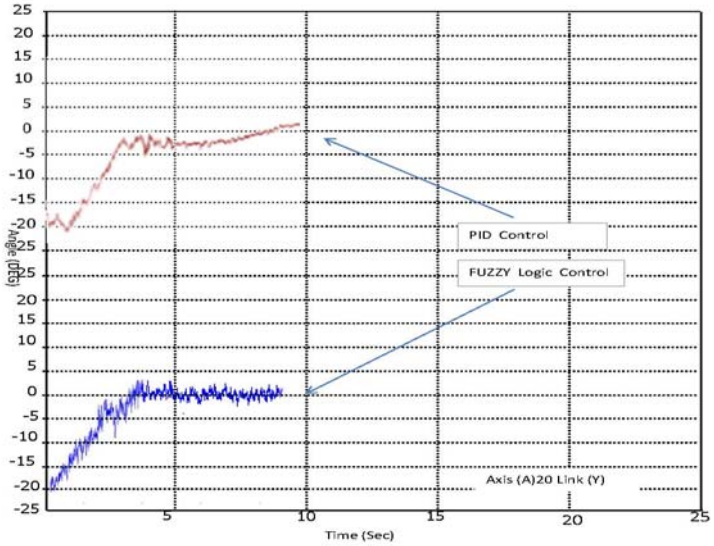
ภาพที่ 4.16 เปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของแผ่นรักษาความเสถียรของระบบควบคุม PID และ FUZZY Logic-control ที่มุม -20 องศา ของมอเตอร์ด้านแกน X



ภาพที่ 4.17 เปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของแผ่นรักษาความเสถียรของระบบควบคุม PID และ FUZZY Logic-control ที่มุม -20 องศา ของมอเตอร์ด้านแกน Y



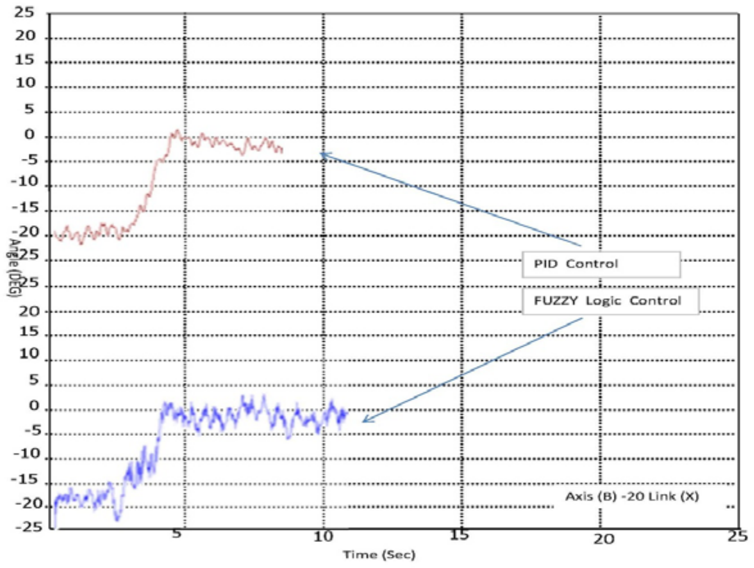
ภาพที่ 4.18 เปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของแผ่นรักษาความเสถียรของระบบควบคุม PID และ FUZZY Logic-control ที่มุม 20 องศา ของมอเตอร์ด้านแกน X



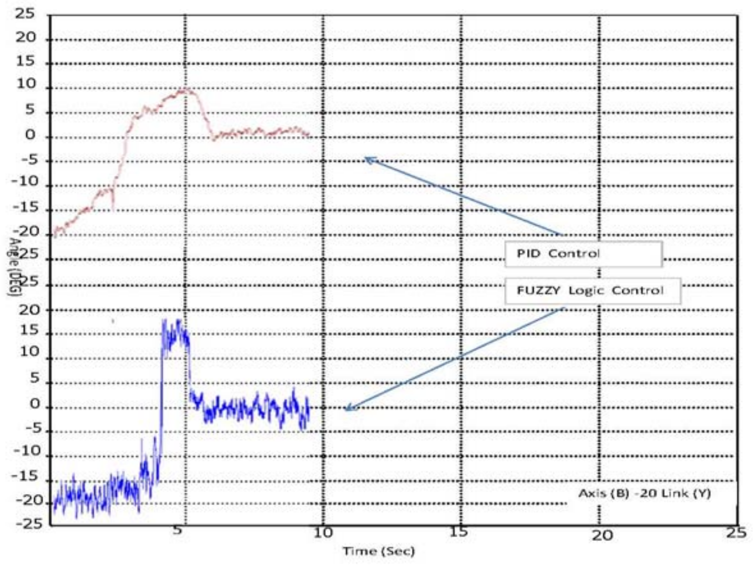
ภาพที่ 4.19 เปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของแผ่นรักษาความเสถียรของระบบควบคุม PID และ FUZZY Logic-control ที่มุม 20 องศา ของมอเตอร์ด้านแกน Y

จากภาพที่ 4.16 ถึง 4.19 เป็นรูปกราฟผลการทดลองที่มีการปรับค่าของมอเตอร์ไดรว์ครั้งที่ดีที่สุด และแสดงการเคลื่อนที่ของกราฟของแผ่นรักษาความเสถียรที่มีมุมเอียงมากที่สุดของแผ่นรักษาความเสถียรที่มุม –20 องศา และมุม 20 องศา ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมของแผ่นรักษาความเสถียรกับเวลา พบว่า ลักษณะการปรับมุมของแผ่นรักษาความเสถียรจะมีลักษณะแปรผันตรงกับเวลา โดยที่เมื่อทำการเอียงแผ่นรักษาความเสถียรในมุมที่ไม่มากแผ่นรักษาความเสถียรก็จะใช้ระยะเวลาในการปรับมุมเข้าสู่สถานะเสถียรภาพได้ในเวลาที่ไม่มากและเมื่อทำการเอียงแผ่นรักษาความเสถียรในมุมที่มากขึ้นแผ่นรักษาความเสถียรก็จะใช้ระยะเวลาในการปรับมุมเข้าสู่สถานะเสถียรภาพได้ในเวลาที่มากขึ้นทั้งในระบบควบคุมแบบ ฟัซซี่ ลอจิก และ พีไอดี และจากการทดลองเอียงแผ่นรักษาความเสถียรเพื่อเปรียบเทียบระบบควบคุมทั้งสองระบบในแนวแกน A แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถรักษาระดับที่ 0 องศาไว้ได้ โดยพบว่าระบบควบคุม พีไอดี และ ฟัซซี่ ลอจิกใช้เวลาในการกลับคืนสู่แนวระนาบได้ในเวลา ที่ใกล้เคียงกันโดยพบว่าระบบควบคุมพีไอดีมีลักษะณะการกลับคืนสู่แนวระนาบที่ราบเรียบกว่าระบบควบคุมแบบ ฟัซซี่ ลอจิกซึ่งมีคลื่นความถี่รบกวน (Noise) เกิดขึ้นมากจนทำให้ระบบเสียสมดุลระหว่างการทำงาน (เนื่องจากตัววัดความเร่งทางด้านแกน Y อยู่ตรงข้ามกับมุมของระนาบ A จึงทำให้กราฟผลการทดลองอยู่ตรงข้ามกับมุมที่ทดลอง)

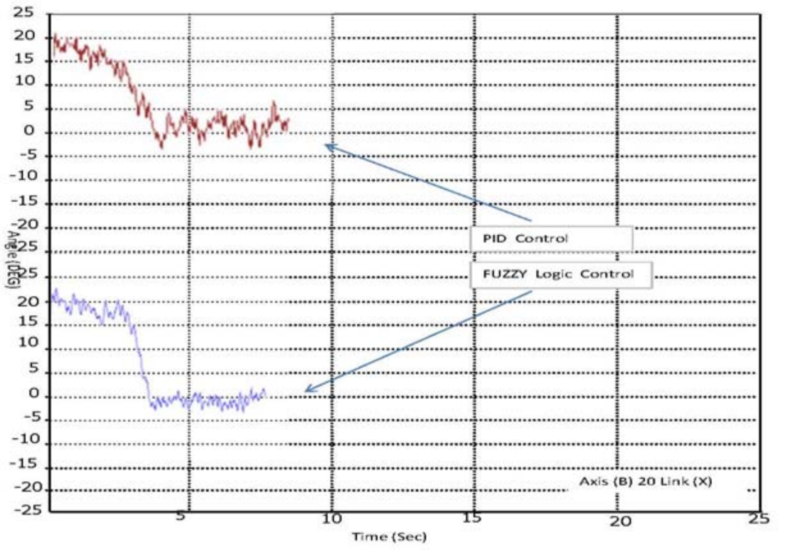
4.3.4 ผลการทดลองในแนวระนาบ B



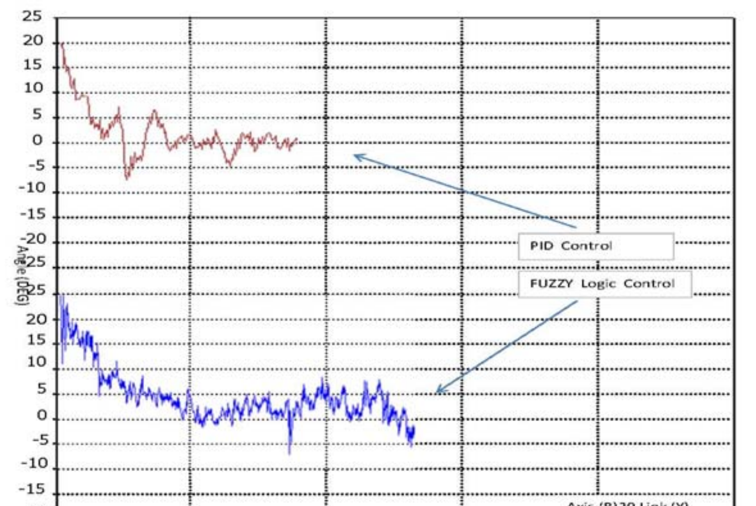
ภาพที่ 4.20 เปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของแผ่นรักษาความเสถียรของระบบควบคุม PID และ FUZZY Logic-control ที่มุม -20 องศา ของมอเตอร์ด้านแกน X



ภาพที่ 4.21 เปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของแผ่นรักษาความเสถียรของระบบควบคุม PID และ FUZZY Logic-control -20 องศา ของมอเตอร์ด้านแกน Y



ภาพที่ 4.22 เปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของแผ่นรักษาความเสถียรของระบบควบคุม PID และ FUZZY Logic-control ที่มุม 20 องศา ของมอเตอร์ด้านแกน X



ภาพที่ 4.23 เปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของแผ่นรักษาความเสถียรของระบบควบคุม PID และ FUZZY Logic-control ที่มุม 20 องศาของมอเตอร์ด้านแกน Y

จากภาพที่ 4.20 ถึง 4.23 เป็นรูปกราฟผลการทดลองที่มีการปรับค่าของมอเตอร์ไดรว์ครั้งที่ดีที่สุด และแสดงการเคลื่อนที่ของกราฟของแผ่นรักษาความเสถียรที่มีมุมเอียงมากที่สุดของแผ่นรักษา

ความเสถียรที่มุม –20 องศา และมุม 20 องศา ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมของแผ่นรักษาความเสถียรกับเวลา พบว่า ลักษณะการปรับมุมของแผ่นรักษาความเสถียรจะมีลักษณะแปรผันตรงกับเวลา โดยที่เมื่อทำการเอียงแผ่นรักษาความเสถียรในมุมที่ไม่มากแผ่นรักษาความเสถียรก็จะใช้ระยะเวลาในการปรับมุมเข้าสู่สถานะเสถียรภาพได้ในเวลาที่ไม่มากและเมื่อทำการเอียงแผ่นรักษาความเสถียรในมุมที่มากขึ้นแผ่นรักษาความเสถียรก็จะใช้ระยะเวลาในการปรับมุมเข้าสู่สถานะเสถียรภาพได้ในเวลาที่มากขึ้นทั้งในระบบควบคุมแบบ ฟัซซี่ ลอจิก และ พีไอดี และจากการทดลองเอียงแผ่นรักษาความเสถียรเพื่อเปรียบเทียบระบบควบคุมทั้งสองระบบในแนวแกน B แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถรักษาระดับที่ 0 องศาไว้ได้ โดยพบว่าระบบควบคุม พีไอดี และ ฟัซซี่ ลอจิกใช้เวลาในการกลับคืนสู่แนวระนาบได้ในเวลา ที่ใกล้เคียงกันโดยพบว่าระบบควบคุมพีไอดีมีลักษณะการกลับคืนสู่แนวระนาบที่ราบเรียบกว่าระบบควบคุมแบบ ฟัซซี่ ลอจิกซึ่งมีคลื่นความถี่รบกวน (Noise) เกิดขึ้นมากจนทำให้ระบบเสียสมดุลระหว่างการทำงาน

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

วิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้นำเสนอระบบควบคุมแผ่นรักษาความเสถียรโดยใช้ตัววัดความเร่งในการวัดมุมที่เปลี่ยนแปลงไปของแผ่นรักษาความเสถียร สำหรับระบบควบคุมใช้การควบคุมแบบพีไอดี และฟัซซี่ ลอจิก โดยมีจุดประสงค์เพื่อควบคุมการหมุนของเซอร์โวมอร์เตอร์ให้รักษาระดับของแผ่นรักษาความเสถียรที่ต้องการ คือ 0 องศา นอกจากนี้ ยังหาระยะเวลาในการเคลื่อนตัวของแผ่นรักษาความเสถียรจากความชันในระดับต่าง ๆ ของมุมที่ทำการทดลอง โดยมีจุดประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำงานและผลตอบสนองของระบบควบคุม 2 ระบบที่ทำการศึกษาดังกล่าว

การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่ 1 เป็นการทดลองการทำงานของระบบควบคุมแผ่นรักษาความเสถียร ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วนย่อย คือการทดลองศึกษาความเป็นไปได้ของระบบควบคุมพีไอดี และระบบควบคุม ฟัซซี่ลอจิก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการตอบสนองของระบบและลักษณะของการเคลื่อนที่ตลอดจนเปรียบเทียบความแตกต่างในการทำงานของทั้ง 2 ระบบและเพื่อทดสอบระบบควบคุมแผ่นรักษาความเสถียรที่ผู้วิจัยทดลองสร้างขึ้นในโปรแกรม MATLAB/Simulink ว่าสามารถกลับคืนสู่แนวระนาบได้จริงหรือไม่ สำหรับส่วนที่ 2 เป็นการทดลองการทำงานจริงของระบบควบคุมแผ่นระนาบทั้ง 2 ระบบ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระบบควบคุมแผ่นรักษาความเสถียรที่สร้างขึ้นว่าสามารถทำงานได้จริงตามแบบจำลองหรือไม่ รวมทั้งเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำงานจริงของระบบควบคุมทั้ง 2 ระบบ

จากผลการทดลองการทำงานของระบบควบคุมแผ่นรักษาความเสถียรในหัวข้อที่ 4.1 พบว่า ระบบควบคุมแบบ พีไอดี ใช้ระยะเวลาในการเข้าสู่แนวระนาบเฉลี่ยที่ 4 วินาที ส่วนระบบควบคุมแบบ ฟัซซี่ ลอจิก ใช้ระยะเวลาในการเข้าสู่แนวระนาบเฉลี่ยที่ 4 วินาที ซึ่งเป็นระยะเวลาที่ใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาผลตอบสนองของระบบ พบว่า ระบบควบคุมแบบ พีไอดี จะเกิด Overshoot ก่อนเข้าสู่สภาวะคงตัว และระบบควบคุมแบบ ฟัซซี่ ลอจิก เมื่อทำงานในมุมที่มีความเอียงมากจะเกิดการคลาดเคลื่อนของมุมที่ -1 องศา จึงสรุปได้ว่าในการทดลองแบบ Simulation ระบบควบคุมแบบ ฟัซซี่ ลอจิก มีประสิทธิภาพดีกว่าระบบควบคุมแบบ พีไอดี ในขณะที่ระบบควบคุมแบบพีไอดีมีความแม่นยำกว่าระบบควบคุมแบบฟัซซี่ ลอจิก อย่างไรก็ตาม เมื่อทำการทดลองการทำงานจริง พบว่า ระบบควบคุมแบบ ฟัซซี่ ลอจิก มีคลื่นความถี่รบกวน (Noise) เป็นจำนวนมากจนทำให้ระบบเสีย

สมดุล และลักษณะของการกลับคืนสู่แนวระนาบไม่เป็นไปตามที่คาดหวังไว้ ในขณะที่ระบบควบคุมแบบ พีไอดี มีความราบเรียบกว่าและมีการตอบสนองในมุมที่แตกต่างกันในเวลาที่คงที่กว่า อย่างไรก็ตาม ทั้ง 2 ระบบสามารถทำงานได้จริงโดยดูได้จากผลการทดลองที่ 4.3

5.2 ปัญหาที่พบในการทำวิจัยและแนวทางในการแก้ปัญหา

5.2.1 ปัญหาด้านโครงสร้างของแผ่นรักษาความเสถียรที่เกี่ยวข้องกับการขัดตัวของลูกปืนตาเหลือกและตำแหน่งของจุดยึด ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อผลการทดลอง ดังนั้นจึงควรใช้ลูกปืนตาเหลือกที่มีคุณภาพสูง และกำหนดจุดยึดให้อยู่ในลักษณะที่ตรงศูนย์เพื่อลดการขัดตัวของแผ่นระนาบ

5.2.2 ปัญหาของเซอร์โวมอร์เตอร์ที่ที่มีแรงบิดน้อยและเกิดความร้อนสูงระหว่างทำการทดลอง จึงทำให้การทดลองทำได้ไม่ต่อเนื่อง และเซอร์โวมอร์เตอร์มีความเสี่ยงที่จะชำรุด ดังนั้น จึงควรออกแบบติดตั้งระบบระบายความร้อนให้กับเซอร์โวมอร์เตอร์

5.2.3 มีคลื่นความถี่จากภายนอกมารบกวนการทำงานของระบบควบคุมแผ่นรักษาความเสถียร ทำให้การควบคุมไม่สมบูรณ์เท่าที่ควร ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้สายไฟที่มีตัวป้องกันคลื่นความถี่จากภายนอก

5.2.4 ประสพปัญหาในเรื่องของการขาดช่วงของระยะเวลาในการทำงานเนื่องจากเกิดอุทกภัยน้ำท่วมใหญ่ ทำให้ไม่มีโอกาศในการทำวิจัยเป็นระยะเวลาสองเดือนและเมื่อกลับมาทำวิจัยก็จะต้องรื้อฟื้นความรู้และข้อมูลบางส่วนที่หายไป

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

5.3.1 เนื่องจากการวิจัยระบบควบคุมแผ่นรักษาความเสถียร มีการทดลองโดยการปรับจูนค่าของระบบควบคุมทั้งแบบ พีไอดี และแบบฟัซซี่ ลอจิก ตลอดจนการเขียนโปรแกรม ดังนั้นเพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของระบบ จึงควรพัฒนาโปรแกรม และการปรับตั้งค่าต่าง ๆ เพื่อให้ระบบมีการทำงานที่สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

5.3.2 เนื่องจากระบบควบคุมแผ่นรักษาความเสถียรจะทำงานได้ดีเมื่อทำงานควบคู่กับตัวแผ่นรักษาความเสถียรที่ดี ดังนั้นจึงควรให้ความสำคัญกับการพัฒนาและออกแบบแผ่นระนาบให้ดีและมีประสิทธิภาพด้วย

5.3.3 เนื่องจากระบบควบคุมแผ่นรักษาความเสถียรในงานวิจัยนี้ได้ใช้ตัวควบคุมสองชนิดนำมาเปรียบเทียบกันระหว่างตัวควบคุมแบบพีไอดี และ ตัวควบคุมแบบ ฟัซซี่ ลอจิก เพื่อดูลักษะการทำงาน

และ เพื่อเป็นการพัฒนาระบบควบคุมแผ่นรักษาความเสถียรให้สอดคล้องกับตัวควบคุมมากที่สุดจึงมีความเห็นว่าควรทำการนำตัวควบคุมชนิดต่างๆ เช่น Robust control มาทดลองทำการควบคุมแผ่นรักษาความเสถียรต่อไป

5.3.4. เนื่องจากในการสร้างแผ่นรักษาความเสถียรเพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิของการควบคุมแผ่นรักษาความเสถียรทางผู้จัดทำเห็นควรว่าจะต้องมีการวางแผนผังของอุปกรณ์ทุกชนิดเชื่อมต่อสายไฟและควรตระนักถึงสัญญาณคลื่นความถี่รบกวนโดยการทำฉนวนให้กับอุปกรณ์ทุกชนิดที่เชื่อมต่อกับสายสัญญาณ

5.3.5 ควรจะมีการพัฒนาการเขียนโปรแกรมในส่วนของ MATLAB/Simulink ให้มีการบอกสถานะของการทำงานได้โดยการนำเอาค่าแรงดันทางไฟฟ้าที่ได้ตัววัดความเร่งมาแปรงสัญญาณให้อยู่ในรูปของค่ามุมเพื่อบอกสถานะของการทำงานในรูปแบบตัวเลขและเป็นประโยชน์ในส่วนของการนำไปใช้งานจริงในด้านการบำรุงรักษา เช่น ถ้าตัววัดความเร่งเริ่มเสื่อมสภาพ ตัวโปรแกรมก็จะแสดงผลออกมาเป็นตัวเลขค่าความผิดพลาดไปจากมุมที่เราต้องการ

5.3.6 ในการสร้างระบบควบคุมแผ่นรักษาความเสถียรในรุ่นต่อไปจะต้องคำนึงถึงความหลากหลายในการใช้งานมากยิ่งขึ้นตัวอย่างเช่นการใช้งานไม่จำเป็นเสมอไปที่จะต้องรักษาระดับให้ได้ที่มุมเอียงเท่ากับศูนย์ โดยอาจจะพัฒนาโปรแกรม MATLAB/Simulink ให้มีการรักษาระดับมุมเอี่ยงของแผ่นรักษาความเสถียรที่ผู้ใช้งานต้องการ

5.3.7 ในด้านของแนวคิดในส่วนของการขับเคลื่อนแผ่นรักษาความเสถียรอาจจะเปลี่ยนจากใช้มอเตอร์ในการขับขับเคลื่อนแผ่นรักษาความเสถียรโดยตรงมาเป็นการปิดเปิดวาวล์นิวแมติกเพื่อใช้กระบอกสูบในการขับเคลื่อนแผ่นรักษาความเสถียรให้มีความนิ่มนวลยิ่งขึ้นหรือใช้ระบบไฮดรอลิกซ์สำหรับงานที่รับภาระมากๆและเป็นทางเลือกของแนวความคิดที่หลากหลายในการนำไปใช้งาน

รายการอ้างอิง

[1] Wellstead,.p., Ball and Beam 1-besic(online),2009.available:http://www.control-system-principle.co.uk/download.html(10NOV2011)

[2] Evanko.D., Dorrset,A. and Chu,U., Ball on beam system with embradded controller (online) ,2005. available:http://www.rp.feri.uni-mb.si/pred meti/skup_sem/projek1/shandor.pdf (5 DEC 2011)

[3] Wamjohi , W. and Cheever ,E., Ball and beam control theory demonstrater ,senior design ,swartmore college , 2005

[4] เป็นเอก เพ็งวัน และ สุริยัน โชตะศรี , ระบบควบคุมตำแหน่งของลูกบอลบนคาน , สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2548

[5] Goodwin , C ., Graebe ,F and Salgado M.E ., control system design . prentice hall , 2001.

[6] Ismaal , H , A ., Ball and beam ELK 5320 neuro FUZZY system , electrical and electronic engineering , factury of engineering , Karadiniz technical university , 2007

[7] Moment of inertia , mechanical model of bar (online),2008. . available:http://www.HEM 351 dynamicsystem/lab/mechanical model .co.uk (16 SEP 2010)

[8] www.rmutphysics.com /_ moment of inertia.html , (3 SEP 2010)

[9] วีระยุทธ บุญครอง , หลักการทำงานของซิมมูลิงค์ในแมทแลป , วิศวกรรมไฟฟ้า , คณะวิศวกรรมศาสตร์ , มหาวิทยาลัยศรีณคริณทรวิโรจน์ , ถนนรังสิต-นครนายก อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก 26120 (21/6/2547)

[10] โมดูลวัดตวามเร่ง MMA 7331L , "คุณสมบัติของโมดูลวัดตวามเร่ง MMA 7331L", คู่มือการทำงานร่วมกับโมดุลวัดความเร่ง , บริษัท อีทีที จำกัด , 2554 , หน้า2-4

[11] กิจไพรบูลชีวพันธุศรี , "การทำงานของ Data aquistion (DAQ card)", labview เบื่องต้น , se-edducation public company limited , หน้า 42-44

[12] National Isstruments NI PCI - 6221 Overview (Online), Available: http://sine.ni.com/nips/cds/print/p/lang/en/nid/202501 (10 มีนาคม 2554)

[13] www.fivedot.coe.psu.ac.th/ servo motor/ encoder. (9 ตุลาคม 2554)

[14] FUZZY logic (online), Available: http://guru.sanook.com/dichanary/dict_comp/fuzzy_logic/

[15] ระบบควบคุมพีไอดี(Online), Available: http//th.wikipedia.org/wiki (26 กุมภาพันธ์ 2554)

[16] Gene, F., and David, J., Feedback Control of Dynamic System. Third Edition. Pp.175

[17] มนูศักดิ์ จานทอง , “System Modeling – Electromechanical” หน้า 22

[18] Amjad,M and Adulah,S ,Ball and beam control (online),2008.

.available:http://www.aptronix.com/fide/wide.html.

[19] Ac**celus**™ **Panel** (online), Available:

http://www.copleycontrols.com/motion/pdf/Accelus_Panel.pdf (10 มีนาคม / 2554)

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ก.1 เครื่องคอมพิวเตอร์ (Computer)

เครื่องคอมพิวเตอร์ใช้ในการทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของระบบควบคุมแผ่นระนาบ โดยใช้โปรแกรม MATLABโดยใช้โปรแกรม MATLABแบบ Real time Window Targetพร้อมทั้งรับข้อมูลจากตัววัดความเร่งมาประมวลผลและส่งสัญญาณออกไปยังชุดควบคุมมอร์เตอร์

ก.2 มอเตอร์และไดรว์

เซอร์โวมอเตอร์รุ่น UGFMED – B5L20Eผลิตโดย Yaskawa electric corporationมีข้อมูลจำเพาะดังตารางที่ ก.2

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลจำเพาะของมอเตอร์

Rated input	Single phase 220 – 255 V. ~ 50/60 Hz
Rated speed	2000 rpm
Maximum speed	4000 rpm
Peak stall torque	0.059 Nm
Rated torque	0.083 Nm
Inertia (without brake)	0.00077 kg/cm^2
Output power	0.174 Kw

มอเตอร์ไดรว์รุ่น ASP – 090 – 09 ผลิตโดย Copley Controls Corp. มีข้อมูลจำเพาะดังตารางที่ ก.2

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลจำเพาะของมอเตอร์ไดรว์ [19]

Copley Controls

Accelus™ Panel

DIGITAL SERVOAMPLIFIER
for BRUSHLESS or BRUSH MOTORS

RoHS

GENERAL SPECIFICATIONS

Test conditions: Load = 3-phase Wye connected load, 2 mH line-line. Ambient temperature = 25 °C. +HV = HVmax

MODEL	ASP-055-18	ASP-090-09	ASP-090-18	ASP-090-36	ASP-180-09	ASP-180-18	
OUTPUT POWER							
Peak Current	18 (12.7)	9 (6.4)	18 (12.7)	36 (25.5)	9 (6.4)	18 (12.7)	Adc (Arms)
Peak time		1	1	1	1	1	1 s
Continuous current	6 (4.2)	3 (2.1)	6 (4.2)	12 (8.5)	3 (2.1)	6 (4.2)	Adc (Arms) per phase
Peak Output Power	0.92	0.79	1.55	2.95	1.59	3.15	kW
Continuous Output Power	0.32	0.27	0.53	1.0	0.53	1.06	kW
INPUT POWER							
HV_{min} to HV_{max}	+20 to +55	+20 to +90	+20 to +90	+20 to +90	+20 to +180	+20 to +180	Vdc, Transformer-isolated
Peak current	20	10	20	40	10	20	Adc (1 sec) peak
Continuous current	6.7	3.3	6.7	13.3	3.3	6.7	Adc continuous

PWM OUTPUTS		
Type	3-phase MOSFET inverter, 20 kHz center-weighted PWM, space-vector modulation	
PWM ripple frequency	40 kHz	
COMMUTATION & CONTROL		
Current loop	20 kHz (50 µs period) update rate	
Velocity & position loop	4 kHz (250 µs period) update rate	
Commutation	Sinusoidal, field-oriented control of DC brushless motor	
Phase Initialization	Amplifier initializes in trapezoidal commutation until a Hall transition occurs, then switches to sinusoidal commutation with phase-correction at each Hall signal transition	
BANDWIDTH		
Current loop, small signal	3 kHz typical, bandwidth will vary with tuning & load inductance	
HV Compensation	Changes in HV do not affect bandwidth	
Analog torque/velocity	±10Vdc, 12 bit resolution	Differential (J3-2,14)
Input impedance	66 kΩ	Between Ref(+), Ref(-)
Digital position reference	Pulse/Direction, CW/CCW	Stepper commands (2 MHz maximum rate)
	Quad A/B Encoder	20 Mcount/sec (after quadrature), 5 Mline/sec
Digital torque & velocity reference	PWM , Polarity	PWM = 0~100%, Polarity = 1/0
	PWM	PWM = 50% +/-50%, no polarity signal required
	PWM frequency range	1 kHz minimum, 100 kHz maximum
	PWM minimum pulse width	220 ns
All inputs	74HC14 Schmitt trigger operating from 5.0 Vdc with RC filter on input	
Logic levels	Vin-LO < +1.35 Vdc, Vin-HI > +3.65 Vdc, Input voltage range 0 to +24 Vdc	
Pull-up, pull-down control	[IN2,3,4] have group selectable connection of 10 kΩ input pull-up/down resistor to +5 Vdc or ground	
Enable [IN2]	Dedicated input with 330us RC filter for amplifier enable, active level programmable	
GP [IN1,2,3,4]	General Purpose inputs with 330us RC filter and active level select, [IN1,3,4] have programmable functions	
HS [IN5,6]	High-Speed Inputs inputs with 100ns RC filter, active level select, and programmable functions	
RS-232	RxD, TxD, Gnd in 6-position, 4-contact RJ-11 type modular connector, and on J3-24, 25, & 13 Full-duplex, serial communication port for amplifier setup and control, 9600 to 115200 baud Data protocol: binary	
Phase U, V, W	Amplifier outputs to 3-phase Wye or delta connected brushless motors with floating neutral	
Hall U, V, W	Digital Hall signals	
Encoder A, /A, B, /B, (X,/X)	Quadrature encoder signals, single-ended or differential (X or Index signal not required) 5 MHz maximum line frequency (20 Mcount/s) when driven from active differential outputs	
[IN1] Motemp	See Digital Inputs (above) for details (Note 1)	
Amp Status	Bicolor LED. Amplifier status indicated by color, and blinking or non-blinking condition	
Type [OUT1,2]	Current-sinking MOSFET open-drain output with 1kΩ pullup to +5 V through diode, 1 Adc sink max, +30 Vdc max. Programmable External flyback diode required with inductive loads	
HV Overvoltage	+HV > HV_{max}	Amplifier outputs turn off until +HV < HV_{max} (See Input Power for HV_{max})
HV Undervoltage	+HV < 20 Vdc	Amplifier outputs turn off until +HV > 20 Vdc
Amplifier over temperature	PC Board > 70 °C.	
Short circuits	Output to output, output to ground, internal PWM bridge faults	
I^2T Current limiting	Programmable: continuous current, peak current, peak time	
Motor over temperature	Digital inputs programmed for overtemp function will disable amplifier	
Size	6.58 in (167,1 mm) X 3.89 in (98,81 mm) X 1.17 in (29,72 mm)	
Weight	0.94 lb (0.43 kg) for amplifier without heatsink	
Ambient temperature	0 to +45 °C operating, -40 to +85 °C storage	
Humidity	0% to 95%, non-condensing	
Contaminants	Pollution degree 2	
Environment	IEC68-2: 1990	
Cooling	Heat sink and/or forced air cooling may be required for continuous power output (see pg. 8 & 9)	

1.Digital input & output functions are programmable. Default functions are shown here.

ก.3 การ์ด DAQ

การ์ด DAQ NI PCI – 6221ผลิตโดย National Instruments ทำหน้าที่เก็บข้อมูลและแปลงสัญญาณทั้ง Analog (I/O) Digital (I/O) Timing (I/O) และ Trigger โดยมีการแปลงสัญญาณจากดิจิตอลเป็นแอนาล็อกหรือแอนาล็อกเป็นดิจิตอล เก็บข้อมูลสัญญาณทางไฟฟ้าและเซนเซอร์ซึ่งรับสัญญาณจากอุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง และนำไปประมวลผล ดังภาพที่ ก.1มีข้อมูลจำเพาะดังตารางที่ ก.3 และ ก.4

ภาพที่ ก.1 การ์ด DAQ

ตารางที่ ก.3 ข้อมูลจำเพาะของการ์ด DAQ [12]

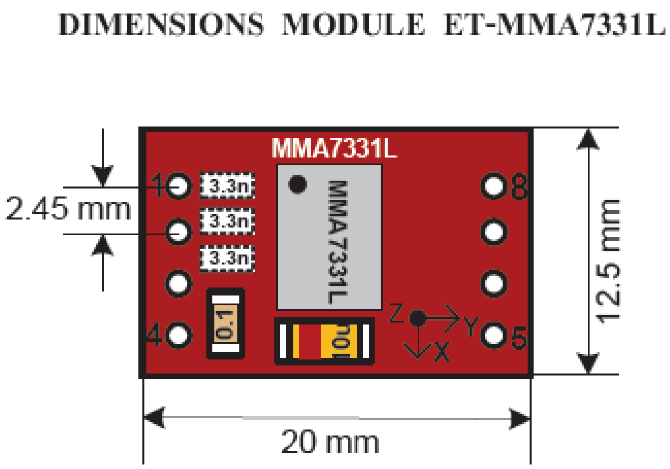
Product Name	PCI-6232
Product Family	Multifunction Data Acquisition
Form Factor	PCI
Part Number	779617-01
Operating System/Target	Windows , Real-Time
LabVIEW RT Support	Yes
DAQ Product Family	M Series
Measurement Type	Digital , Frequency , Quadrature encoder , Voltage
Isolation Type	Bank Isolation
RoHS Compliant	Yes
Analog Input	
Channels	16 , 8
Single-Ended Channels	16
Differential Channels	8
Resolution	16 bits
Sample Rate	250 kS/s
Max Voltage	10 V
Maximum Voltage Range	-10 V , 10 V
Maximum Voltage Range Accuracy	3.1 mV
Maximum Voltage Range Sensitivity	97.6 μV
Minimum Voltage Range	-0.2 V , 0.2 V
Minimum Voltage Range Accuracy	112 μV
Minimum Voltage Range Sensitivity	5.2 μV
Number of Ranges	4
Simultaneous Sampling	No
On-Board Memory	4095 samples
Analog Output	
Channels	2
Resolution	16 bits
Max Voltage	10 V
Maximum Voltage Range	-10 V , 10 V
Maximum Voltage Range Accuracy	3.23 μV
Minimum Voltage Range	-10 V , 10 V
Minimum Voltage Range Accuracy	3.23 μV
Update Rate	500 kS/s
Current Drive Single	5 mA
Current Drive All	10 mA
Digital I/O	

ตารางที่ ก.4 ข้อมูลจำเพาะของการ์ด DAQ [12]

Bidirectional Channels	0
Input-Only Channels	6
Output-Only Channels	4
Number of Channels	0 , 6 , 4
Timing	Software
Logic Levels	24 V
Input Current Flow	Sinking , Sourcing
Output Current Flow	Sourcing
Programmable Input Filters	Yes
Supports Programmable Power-Up States?	Yes
Current Drive Single	350 mA
Current Drive All	400 mA
Watchdog Timer	No
Supports Handshaking I/O?	No
Supports Pattern I/O?	No
Maximum Input Range	0 V , 30 V
Maximum Output Range	0 V , 30 V
Counter/Timers	
Counters	2
Number of DMA Channels	4
Buffered Operations	Yes
Debouncing/Glitch Removal	Yes
GPS Synchronization	No
Maximum Range	0 V , 30 V
Max Source Frequency	80 MHz
Minimum Input Pulse Width	12.5 ns
Pulse Generation	Yes
Resolution	32 bits
Timebase Stability	50 ppm
Logic Levels	24 V
Physical Specifications	
Length	15.5 cm
Width	9.7 cm
I/O Connector	37-pin D-Sub
Timing/Triggering/Synchronization	
Triggering	Digital
Synchronization Bus (RTSI)	Yes

ก.4 ตัววัดความเร่ง

ตัววัดความเร่งผลิตโด ET-MMA7331L ทำหน้าที่อ่านค่าความเอียงของมุมองศาแล้วส่งข้อมูลออกมาเป็นความต่างศักดิ์ทางไฟฟ้าดัง ภาพที่ก.2



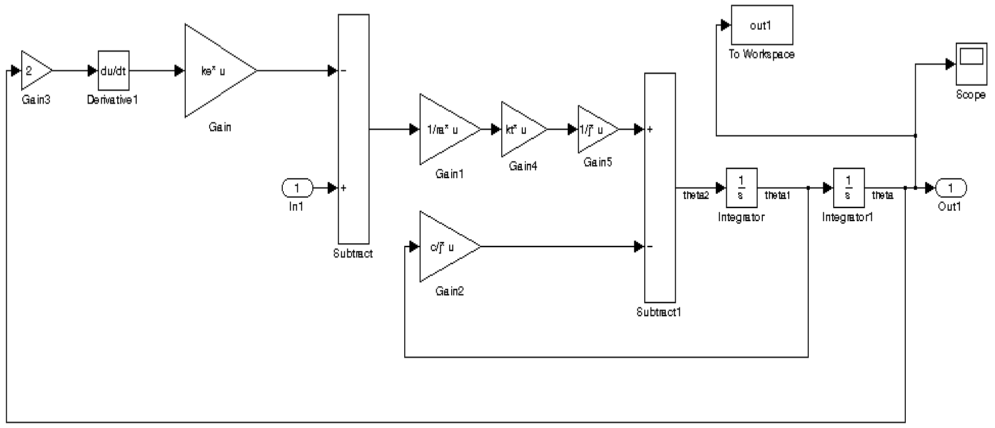
ภาพที่ ก.2 ตัววัดความเร่ง

ภาคผนวก ข
โปรแกรมที่ใช้ในการทดลอง

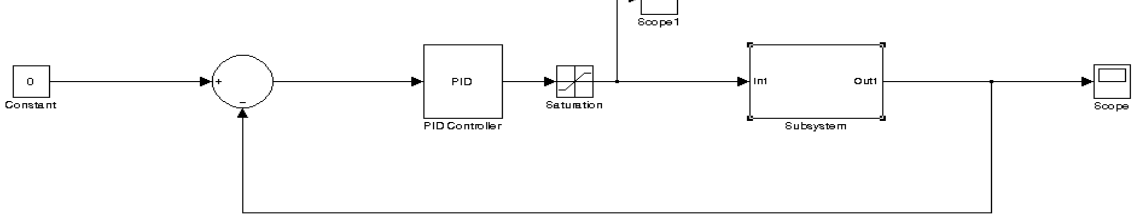
ในการทดลองระบบควบคุมแผ่นรักษาความเสถียรจะใช้โปรแกรม MATLABในการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงาน โดยจะแบ่งโปรแกรมออกเป็น 2ส่วนทั้งในส่วนของการจำลองการเคลื่อนที่และการทดลองงานจริงส่วนแรกจะเป็นโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบพีไอดี และ ส่วนที่สองจะเป็นโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบฟัซซี่ ลอจิก

ข.1 โปรแกรมที่ใช้ในการจำลองการเคลื่อนที่ของแผ่นระนาบ

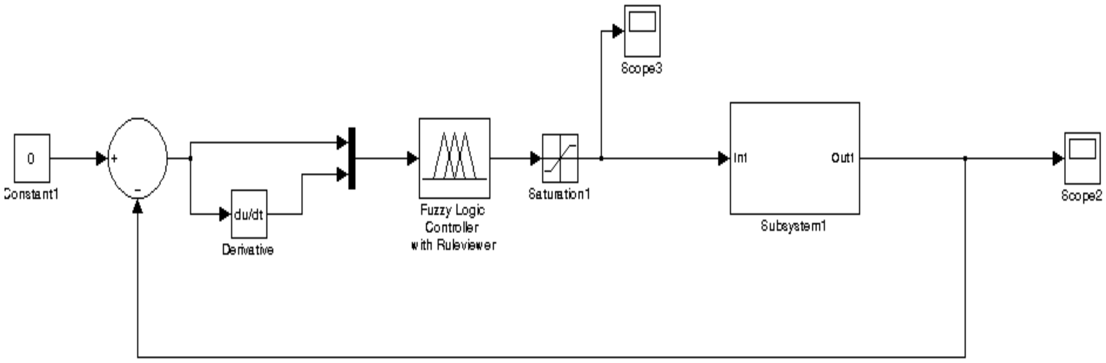
โปรแกรมควบคุมการทำงานของแผ่นรักษาความเสถียรสามารถแบ่งออกเป็นโปรแกรมย่อยได้สองโปรแกรม คือ โปรแกรมที่ใช้ควบคุมการทำงานแบบ พีไอดี และฟัซซี่ ลอจิก ดังภาพที่ ข.1, ข.2 และ ข.3



ภาพที่ ข.1 โปรแกรมประมวลผลของแผ่นรักษาความเสถียร



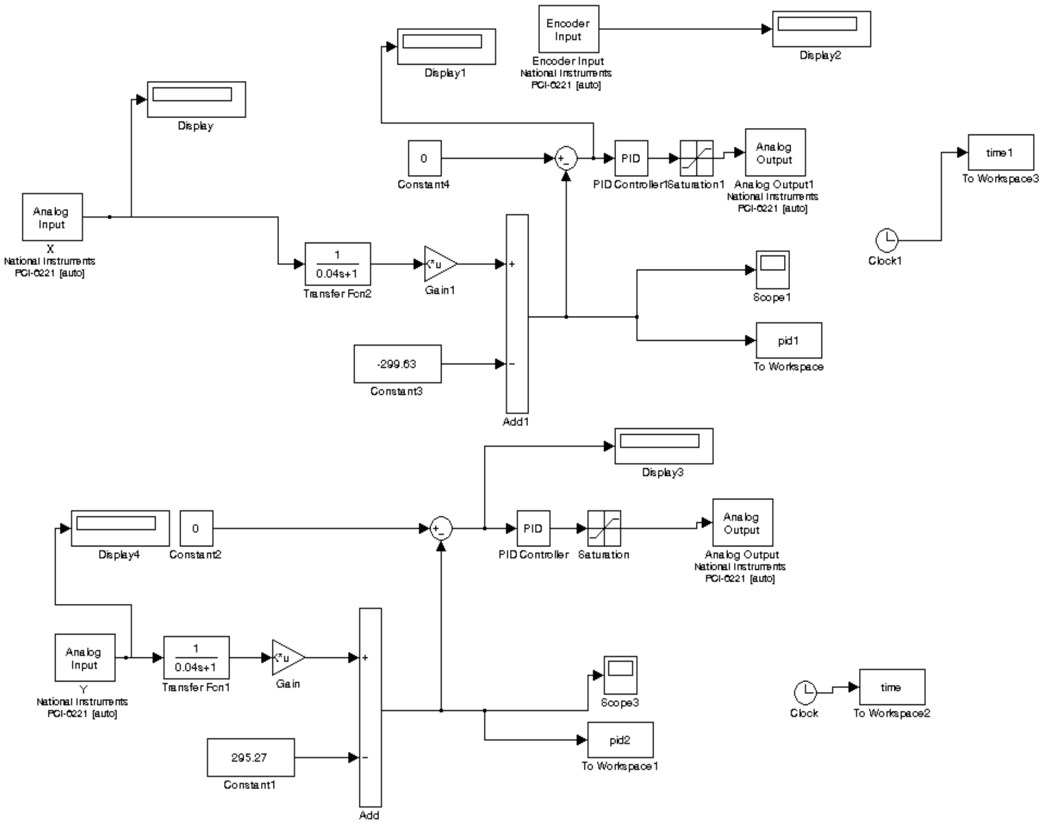
ภาพที่ ข.2 โปรแกรมตัวควบคุมการประมวลผลของแผ่นรักษาความเสถียรแบบพีไอดี



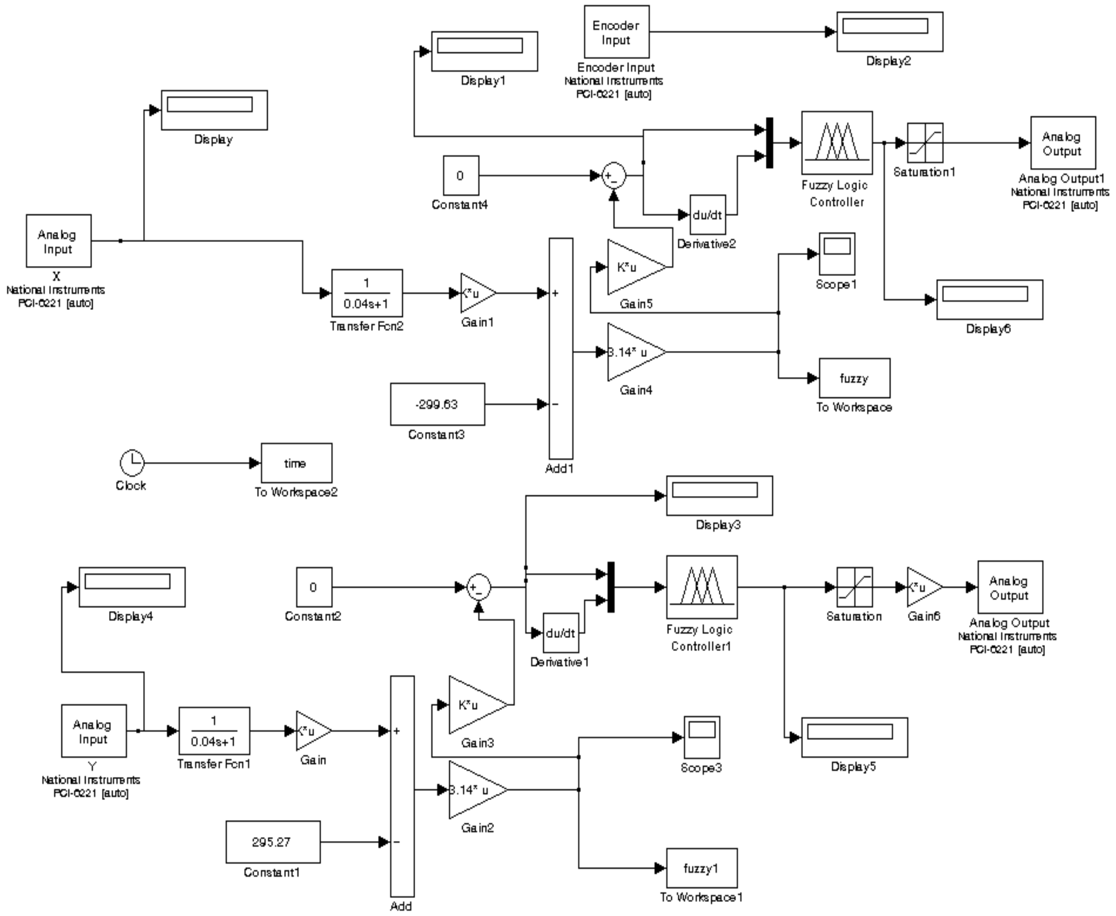
ภาพที่ ข.3 โปรแกรมตัวควบคุมการประมวลผลของแผ่นรักษาความเสถียรแบบฟัซซี่ ลอจิก

ข.2 โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมแผ่นรักษาความเสถียรในส่วนงานจริง

โปรแกรมควบคุมควบคุมแผ่นรักษาความเสถียรในส่วนงานจริง ดังภาพที่ ข.4,ข5



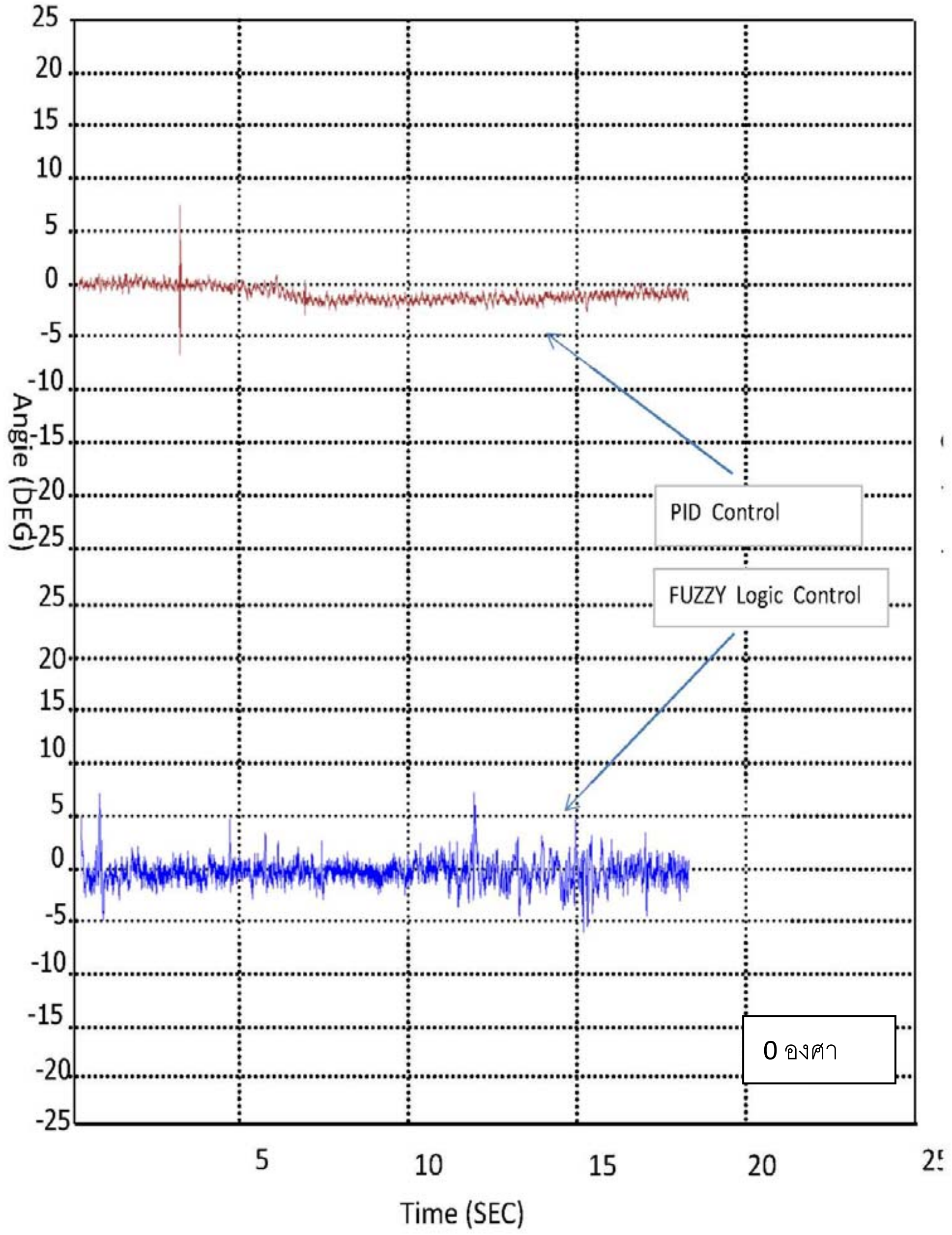
ภาพที่ ข.4 โปรแกรมควบคุมแบบ พีไอดี

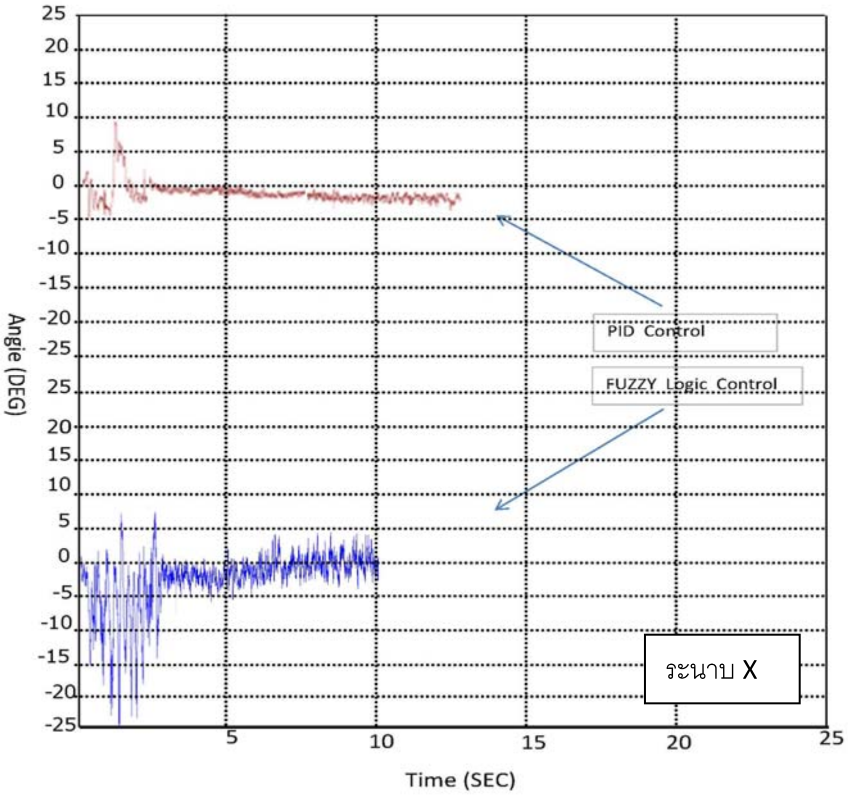


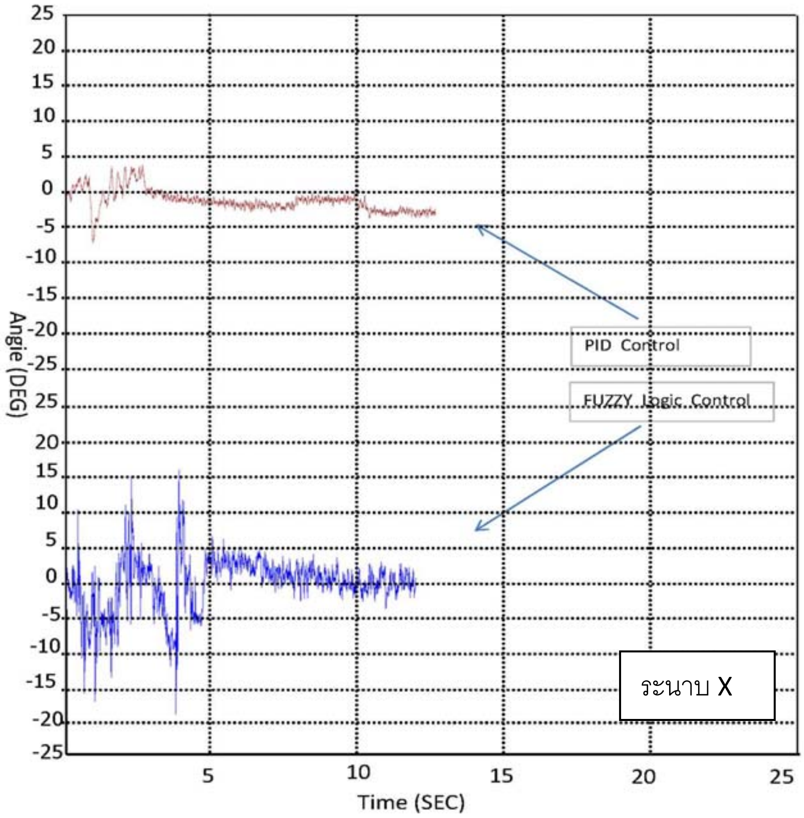
ภาพที่ ข.5 โปรแกรมควบคุมแบบ ฟัซซี่ ลอจิก

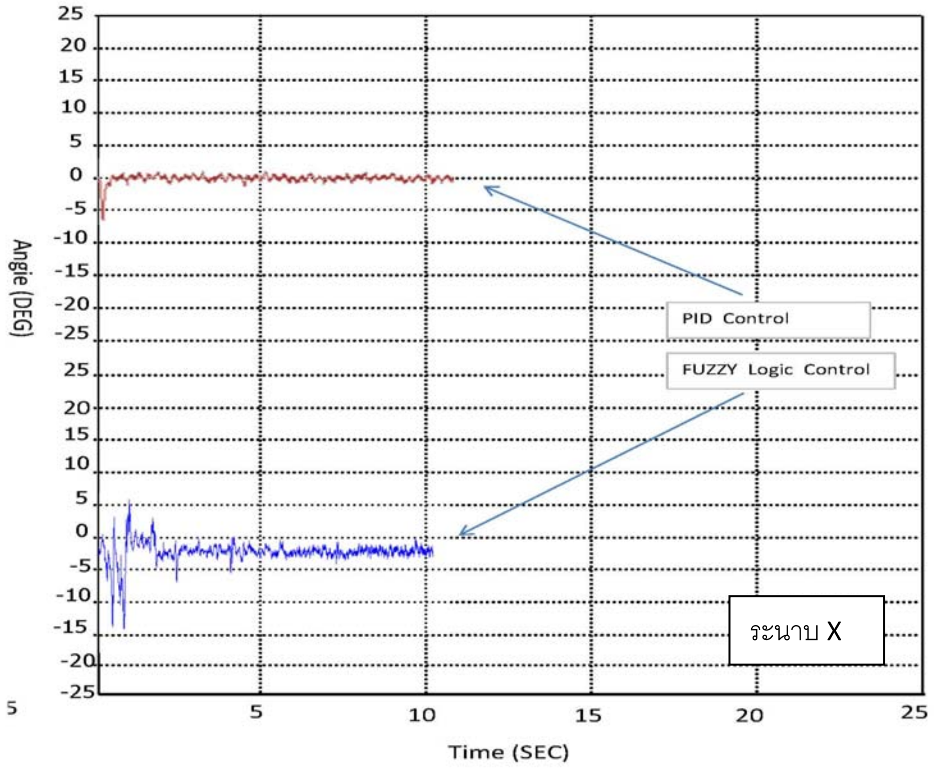
ภาคผนวก ค

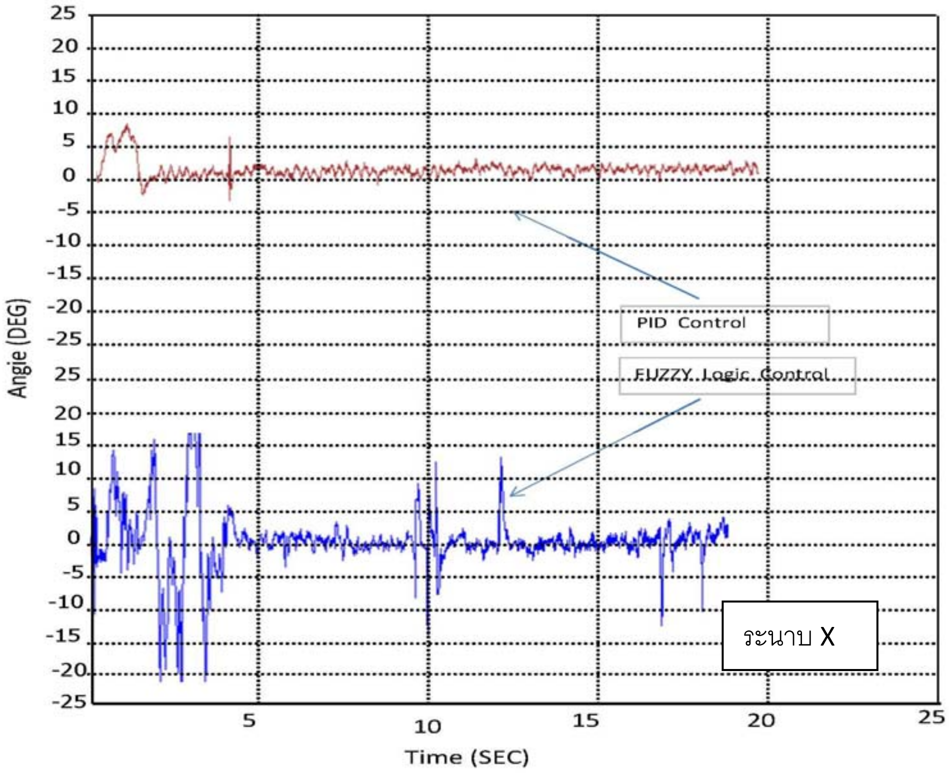
ผลการทดลองของแผ่นรักษาความเสถียร์ก่อนการปรับปรุง

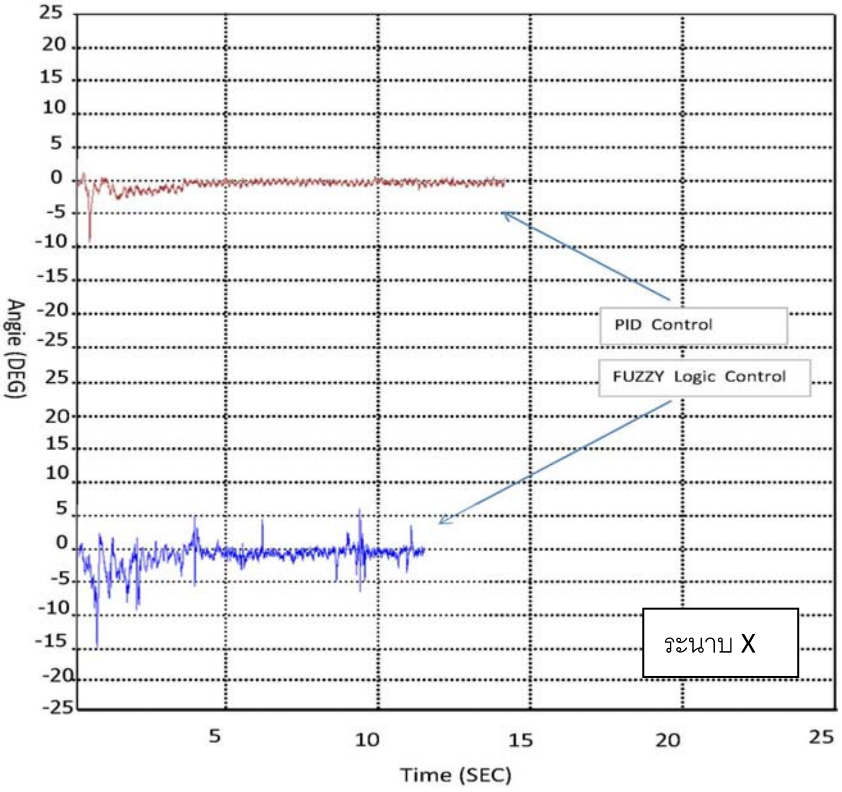

PID Control
FUZZY Logic Control
0 องศา
Angle (DEG)
Time (SEC)
25
20
15
10
5
0
-5
-10
-15
-20
-25
5
10
15
20

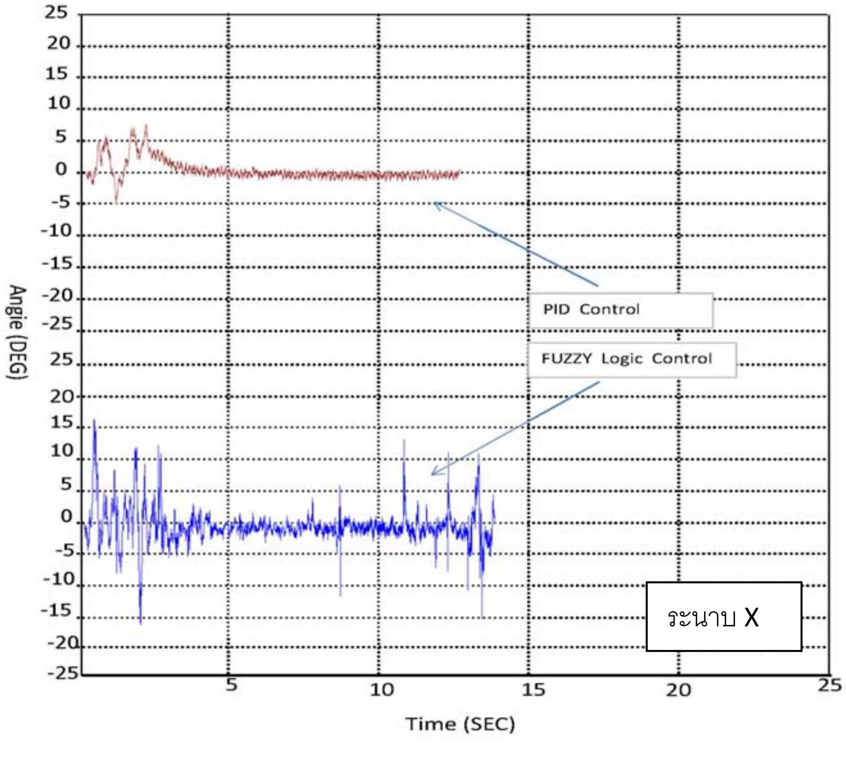

Angie (DEG)
PID Control
FUZZY Logic Control
ระนาบ X
Time (SEC)

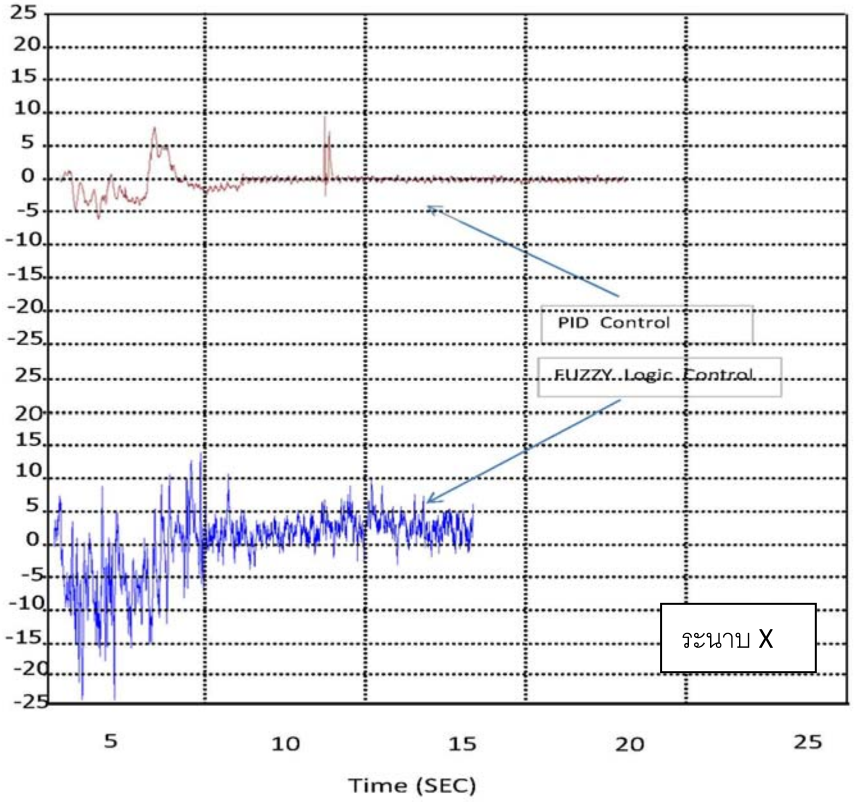

Angie (DEG)
PID Control
FUZZY Logic Control
ระนาบ X
Time (SEC)

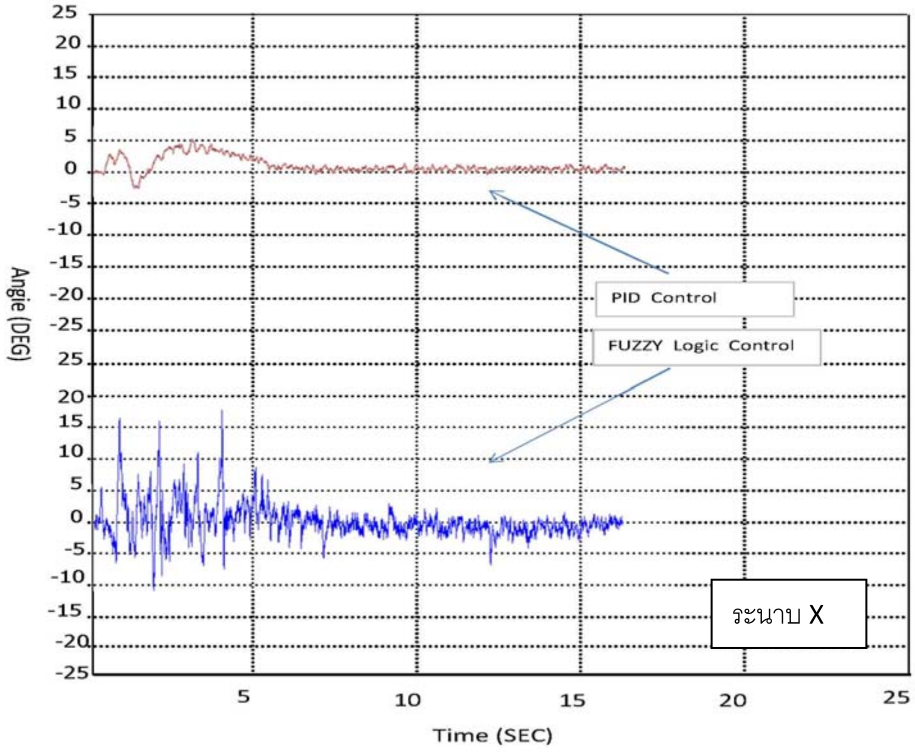

PID Control
FUZZY Logic Control
ระนาบ X
Angie (DEG)
Time (SEC)

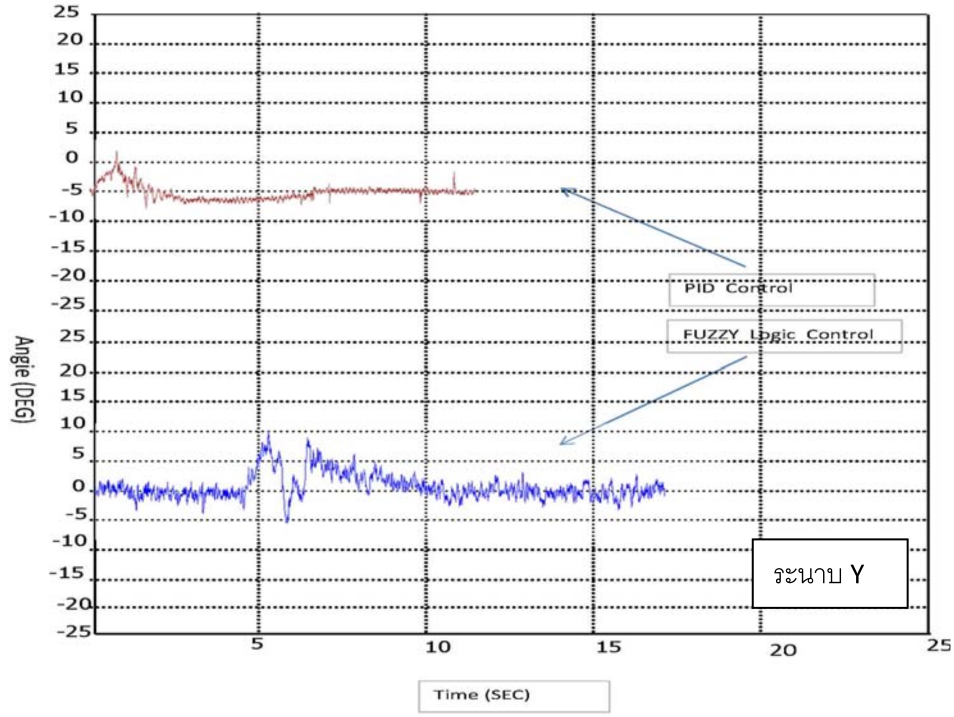

PID Control
FUZZY Logic Control
ระนาบ X
Angie (DEG)
Time (SEC)

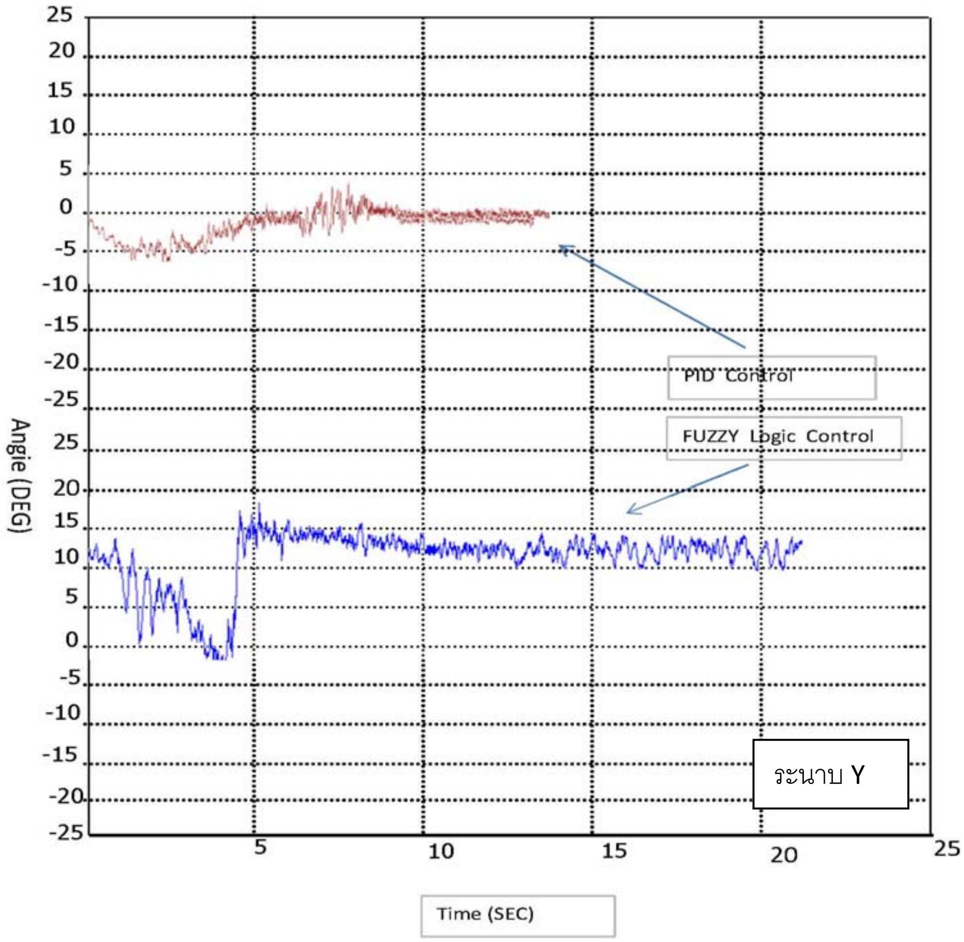

Angie (DEG)
Time (SEC)
PID Control
FUZZY Logic Control
ระนาบ X

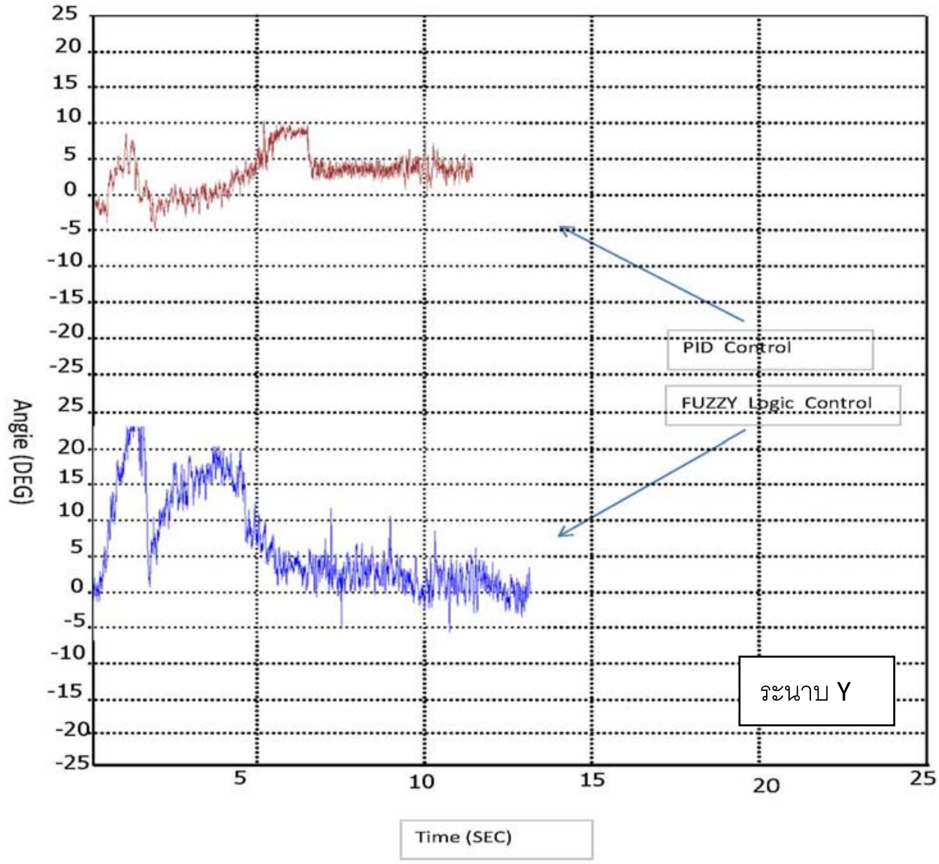

Angie (DEG)
Time (SEC)
PID Control
FUZZY Logic Control
ระนาบ X

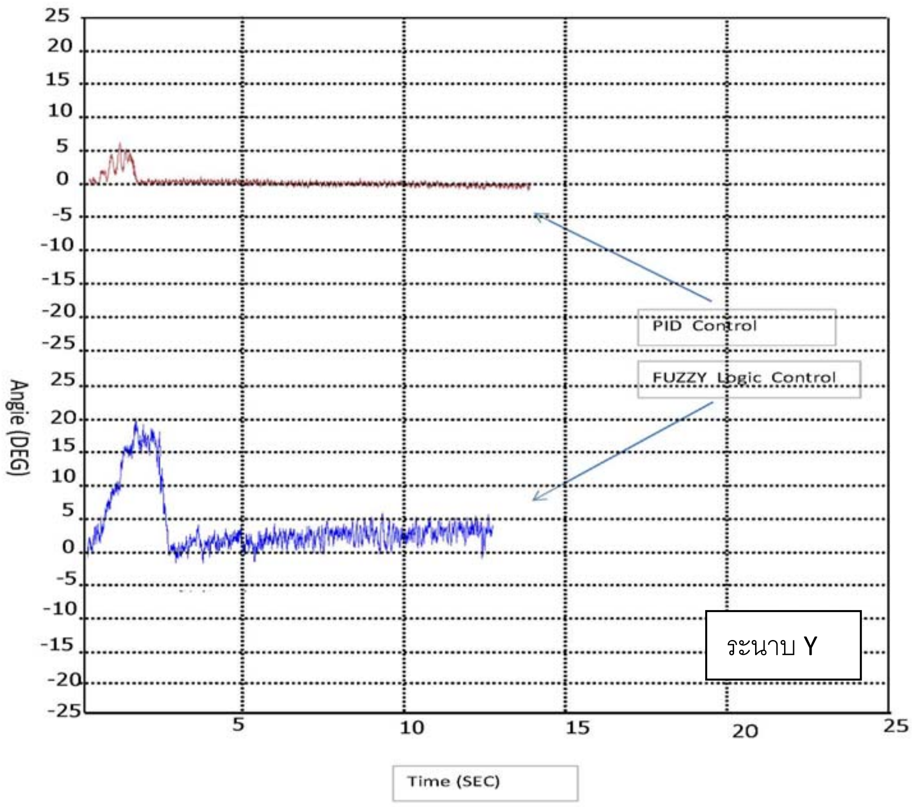

PID Control
FUZZY Logic Control
ระนาบ X
Time (SEC)

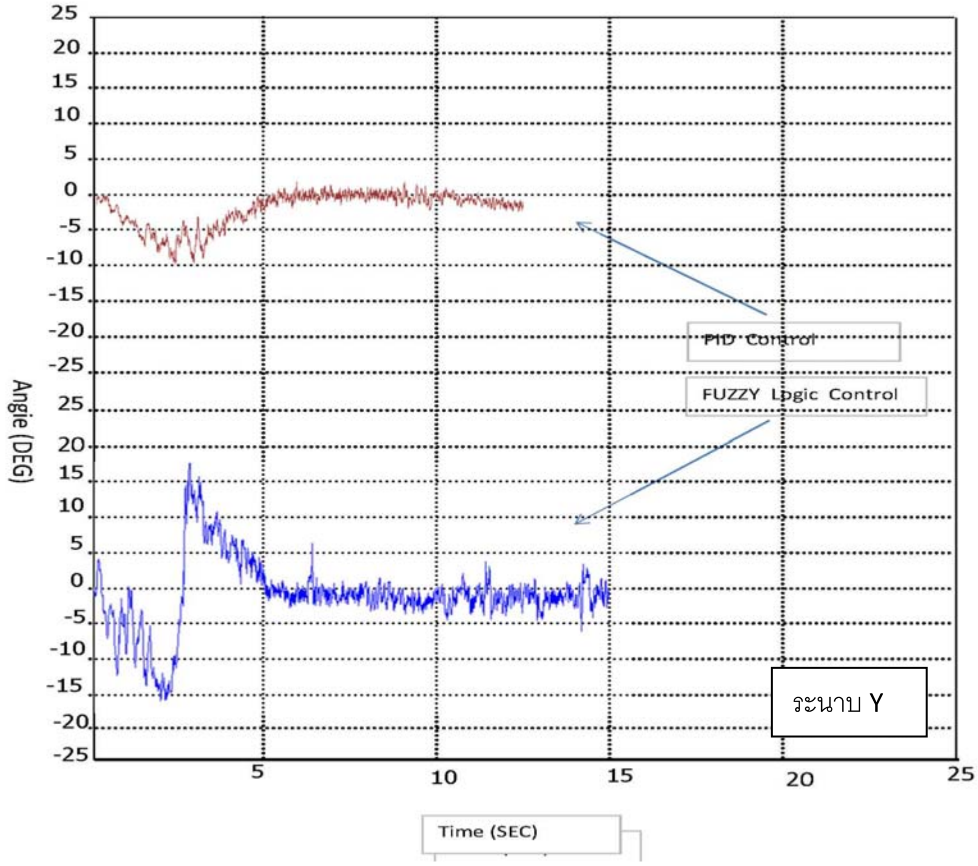

Angle (DEG)
PID Control
FUZZY Logic Control
ระนาบ X
Time (SEC)

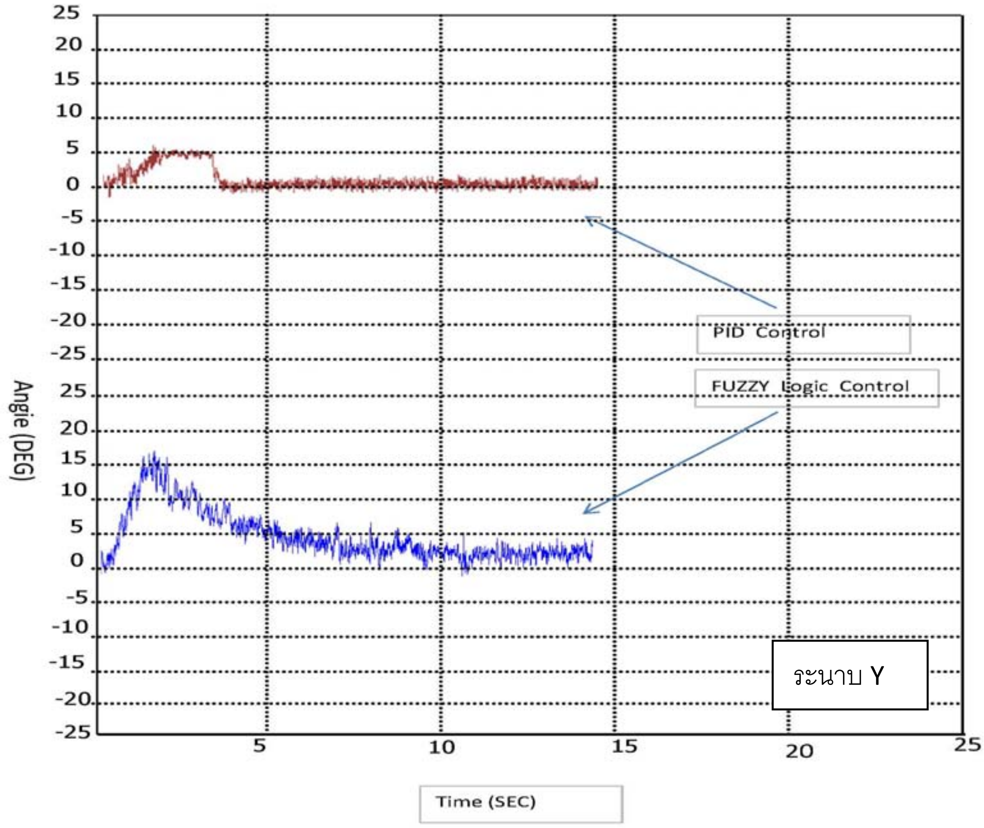

25
20
15
10
5
0
-5
-10
-15
-20
-25
25
20
15
10
5
0
-5
-10
-15
-20
-25
Angle (DEG)
PID Control
FUZZY Logic Control
ระนาบ Y
5
10
15
20
25
Time (SEC)

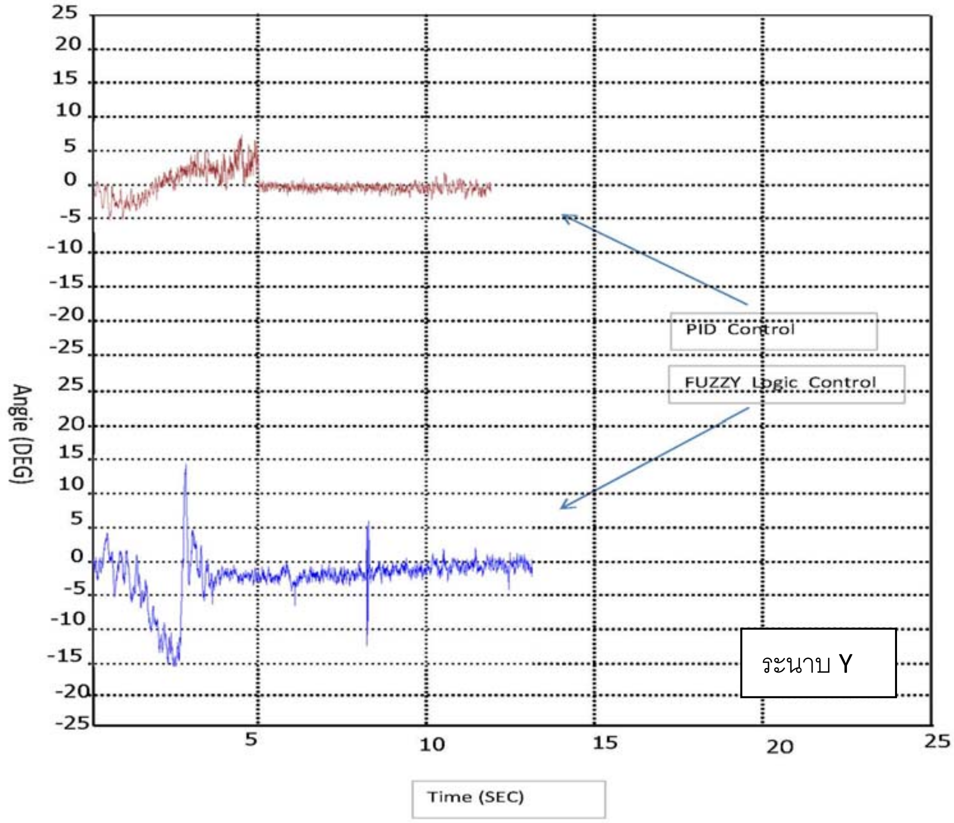

25
20
15
10
5
0
-5
-10
-15
-20
-25
25
20
15
10
5
0
-5
-10
-15
-20
-25
Angle (DEG)
PID Control
FUZZY Logic Control
ระนาบ Y
5
10
15
20
25
Time (SEC)


PID Control
FUZZY Logic Control
Angle (DEG)
Time (SEC)
ระนาบ Y

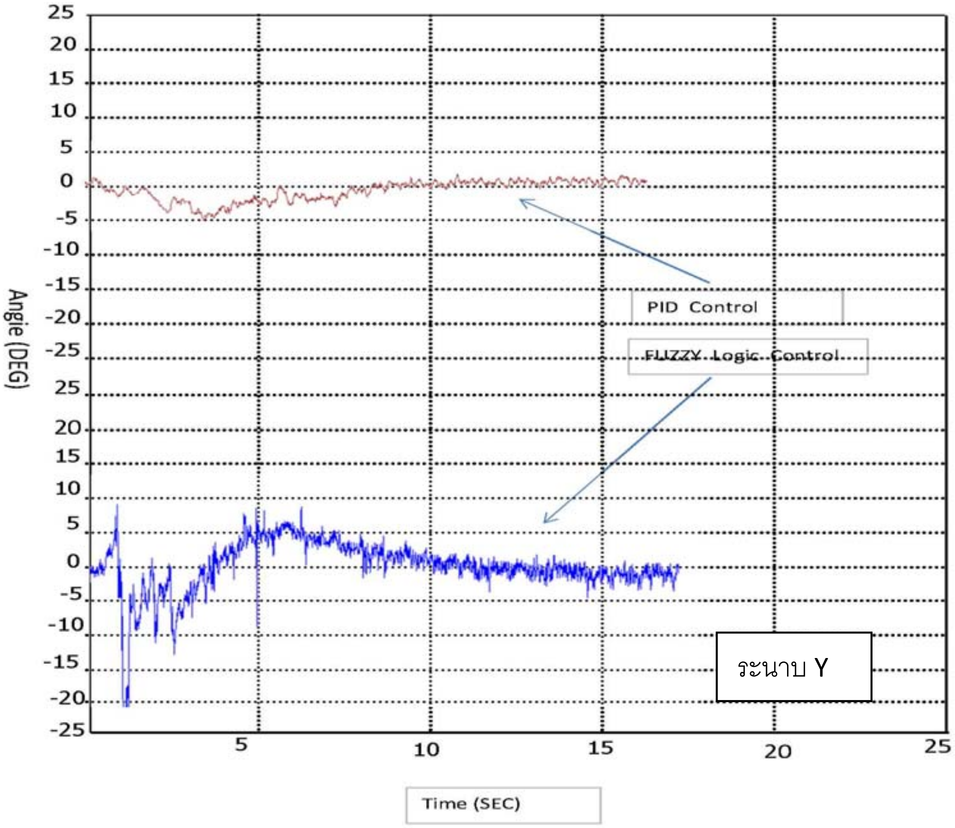

PID Control
FUZZY Logic Control
Angle (DEG)
Time (SEC)
ระนาบ Y


PID Control
FUZZY Logic Control
ระนาบ Y
Angie (DEG)
Time (SEC)

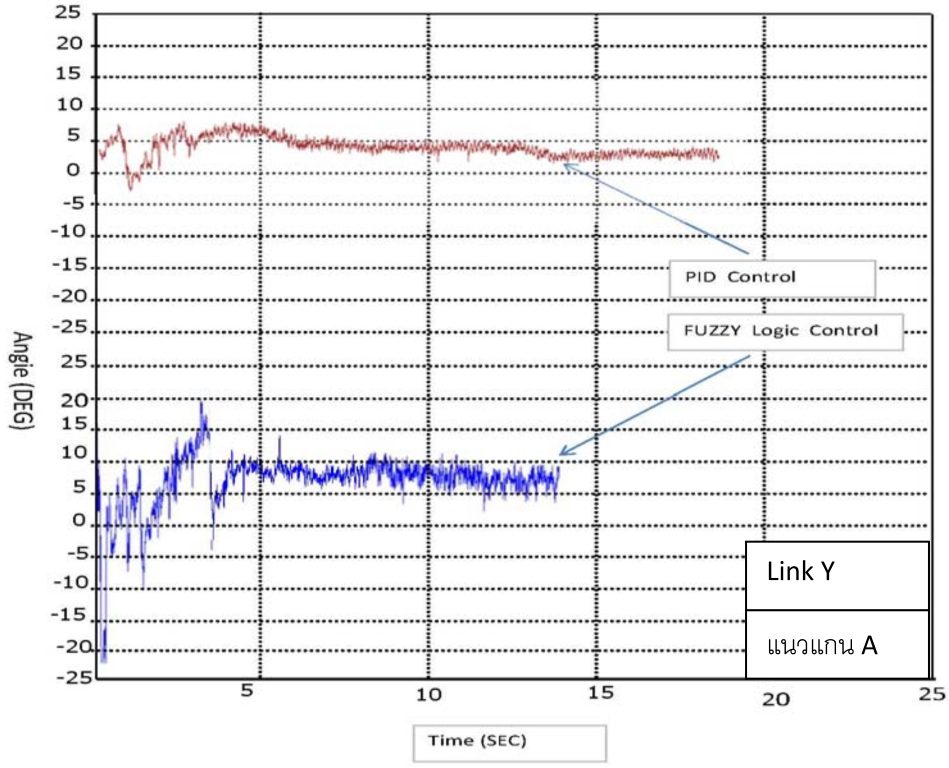

PID Control
FUZZY Logic Control
ระนาบ Y
Angie (DEG)
Time (SEC)

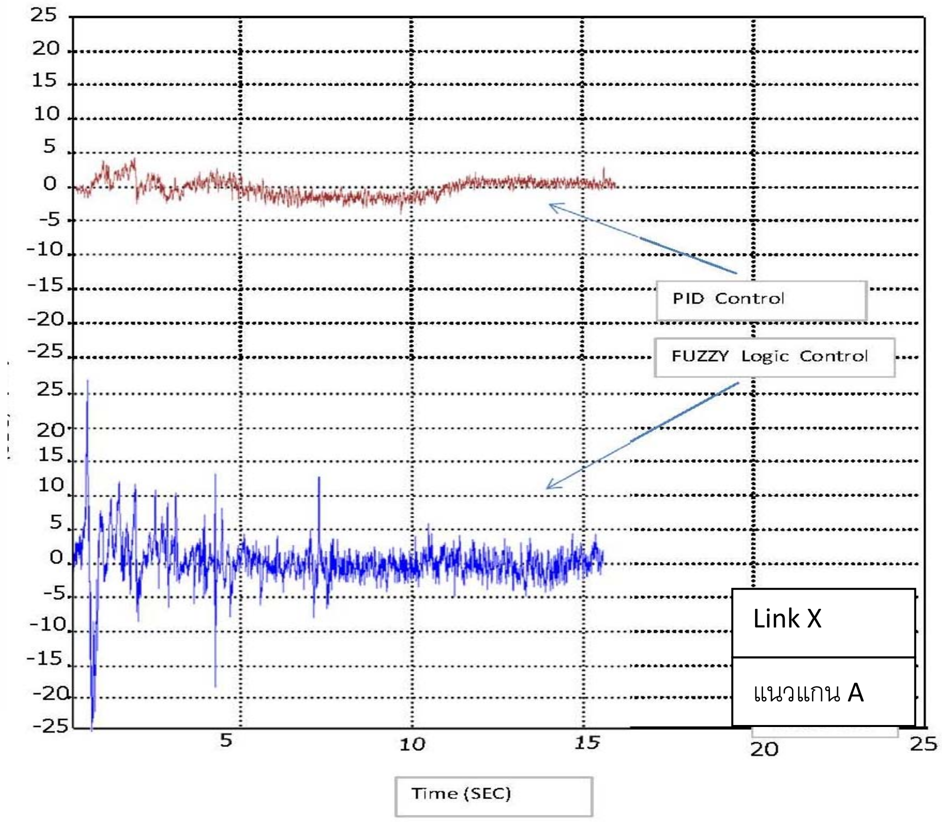


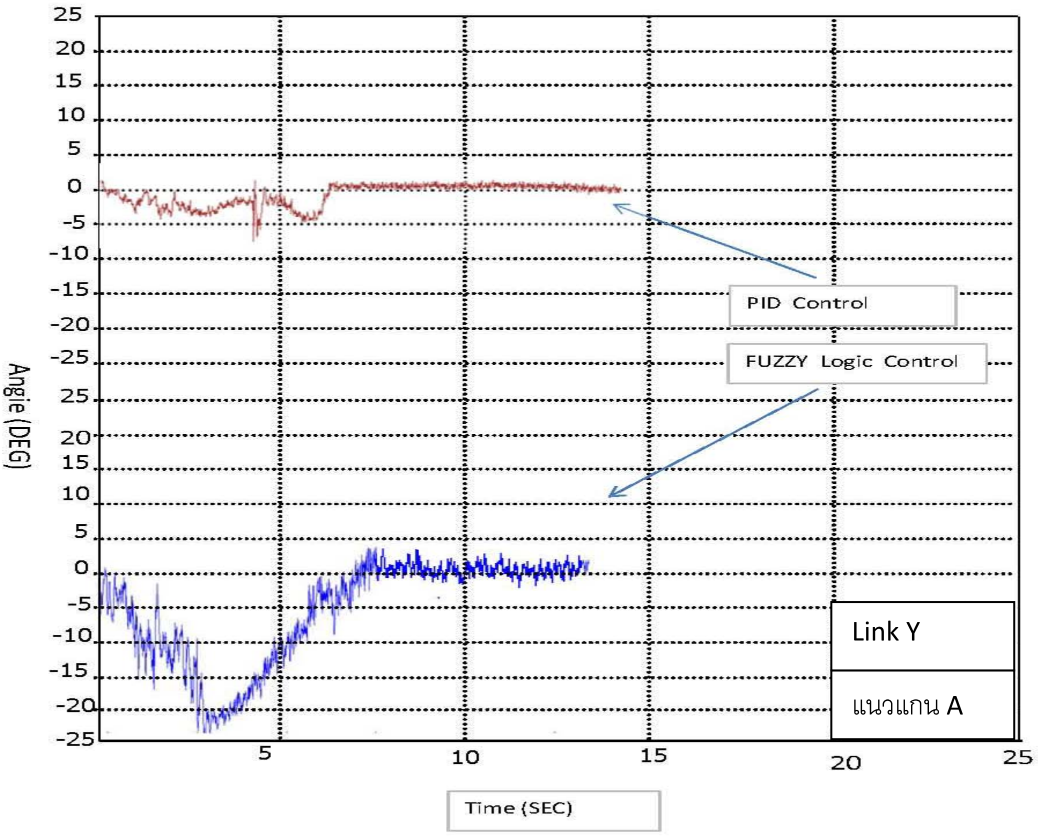
Angle (DEG)
PID Control
FUZZY Logic Control
ระนาบ Y
Time (SEC)



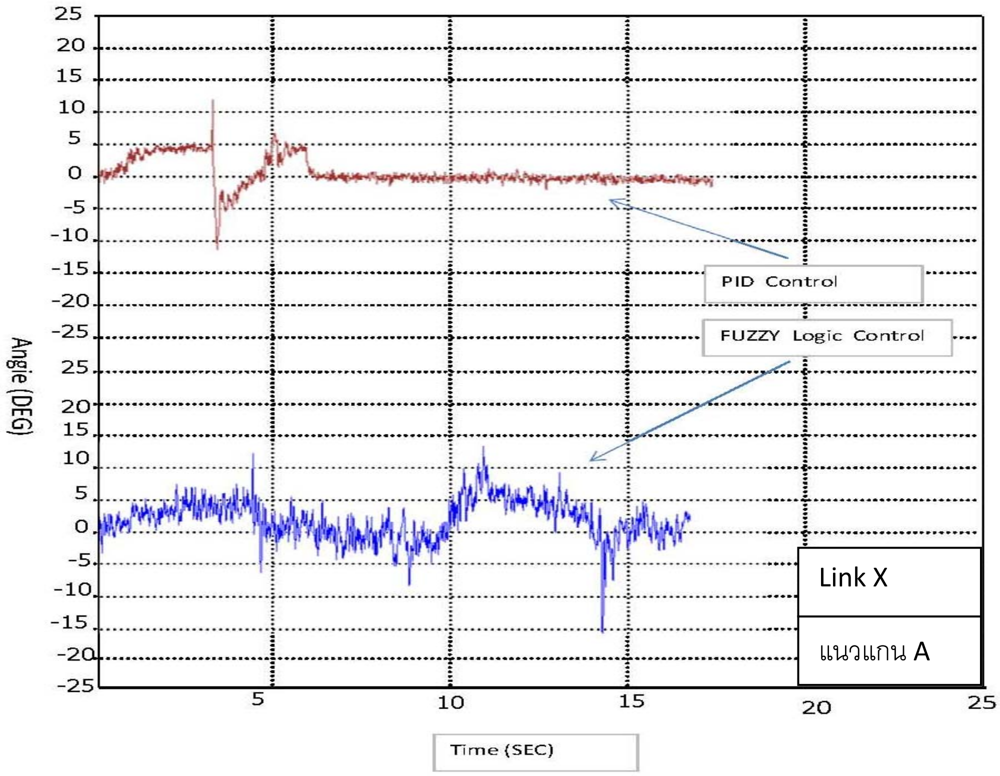
Angle (DEG)
PID Control
FUZZY Logic Control
ระนาบ Y
Time (SEC)


Angle (DEG)
PID Control
FUZZY Logic Control
Link Y
แนวแกน A
Time (SEC)

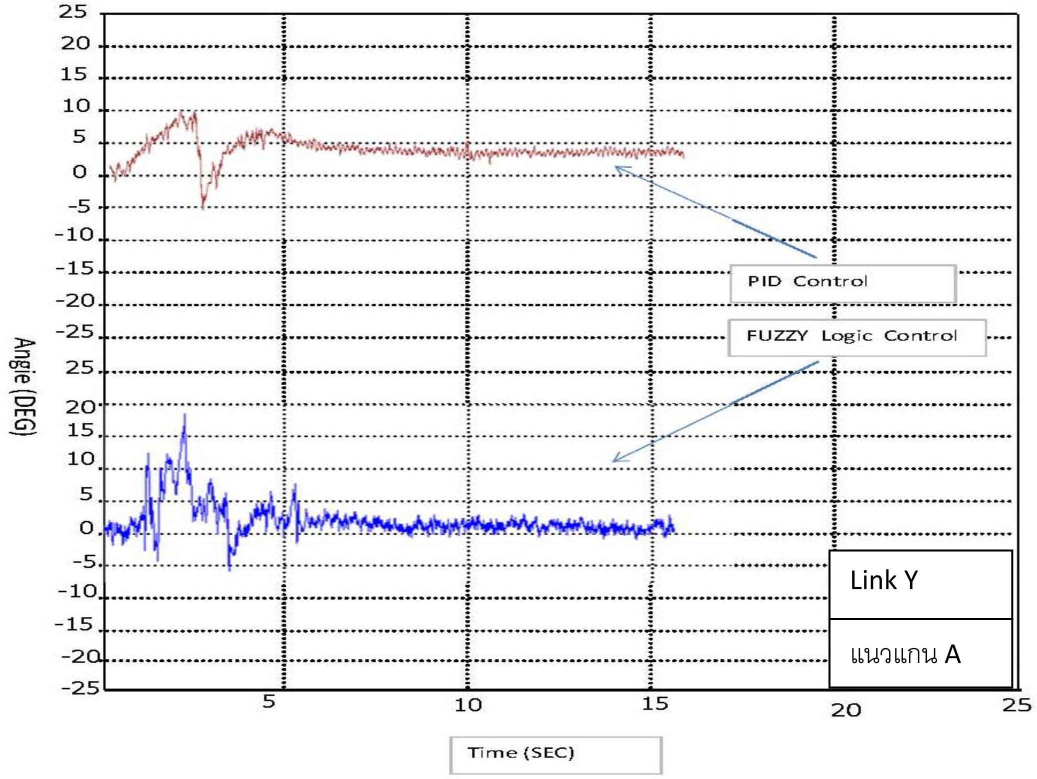

PID Control
FUZZY Logic Control
Link X
แนวแกน A
Time (SEC)

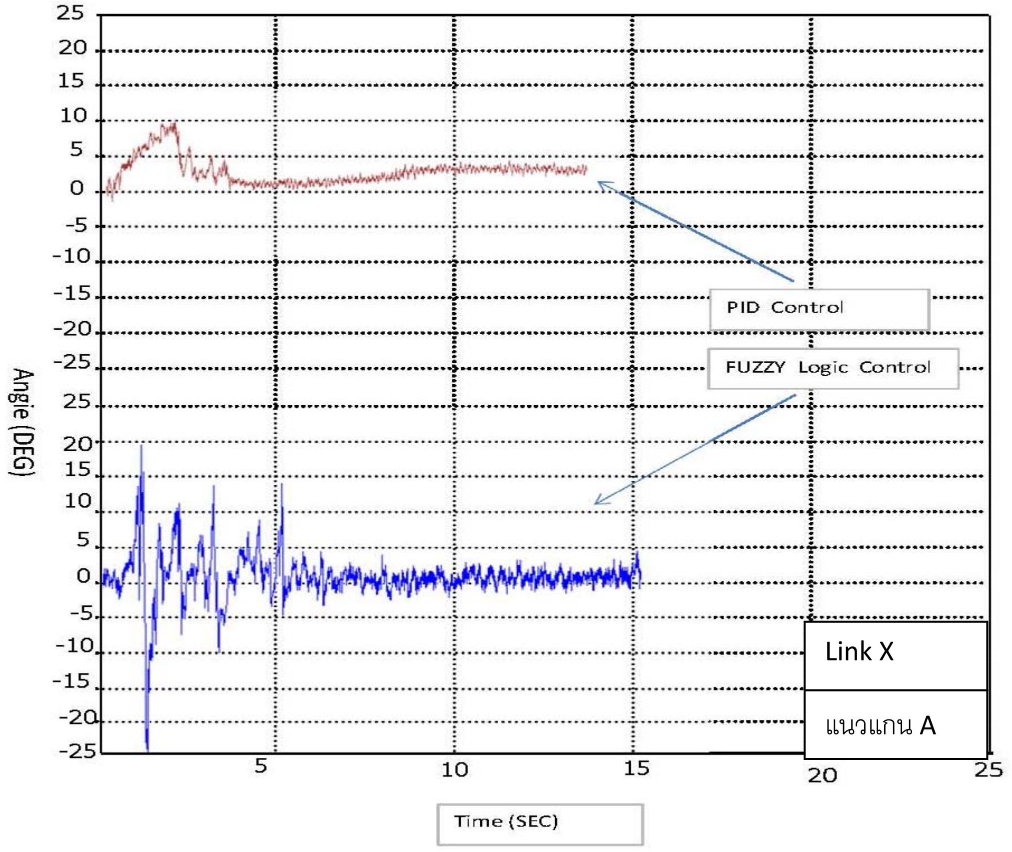


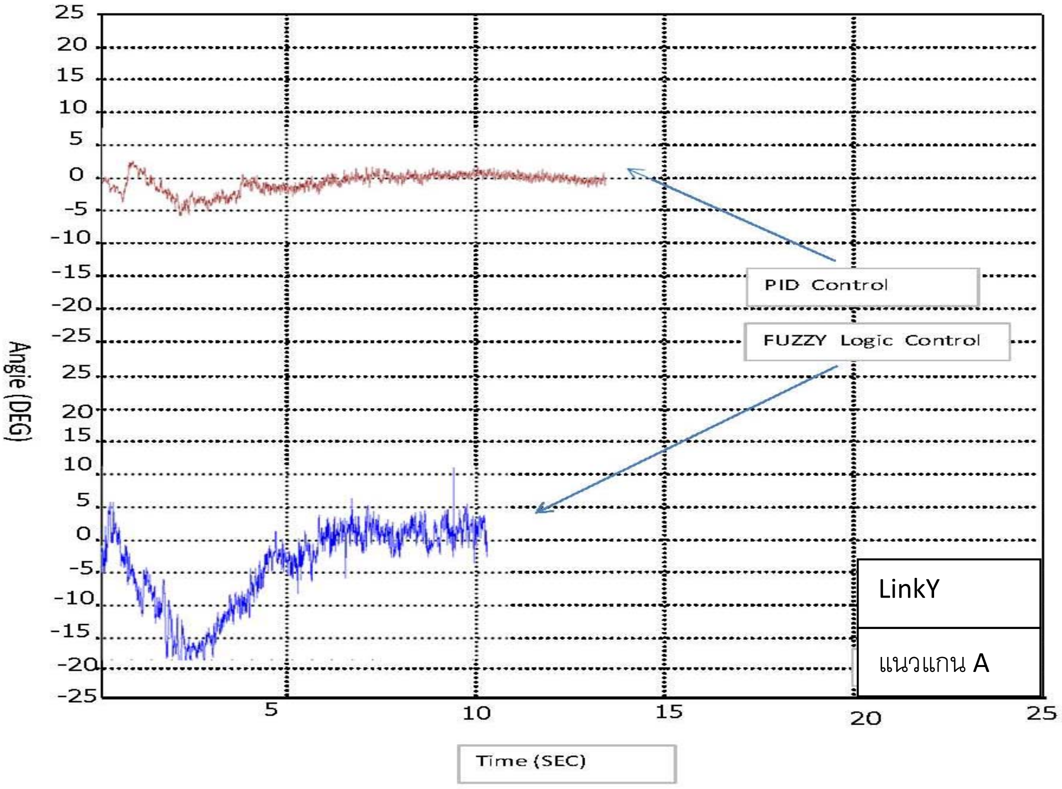
Angie (DEG)
PID Control
FUZZY Logic Control
Link Y
แนวแกน A
Time (SEC)

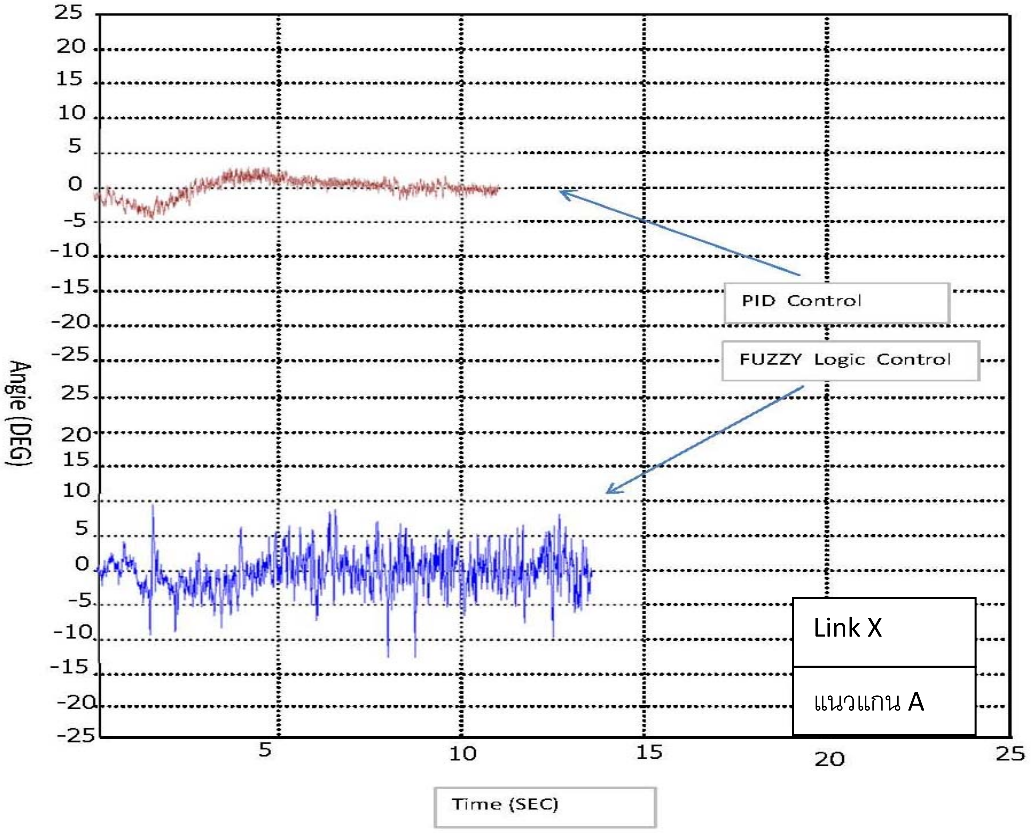


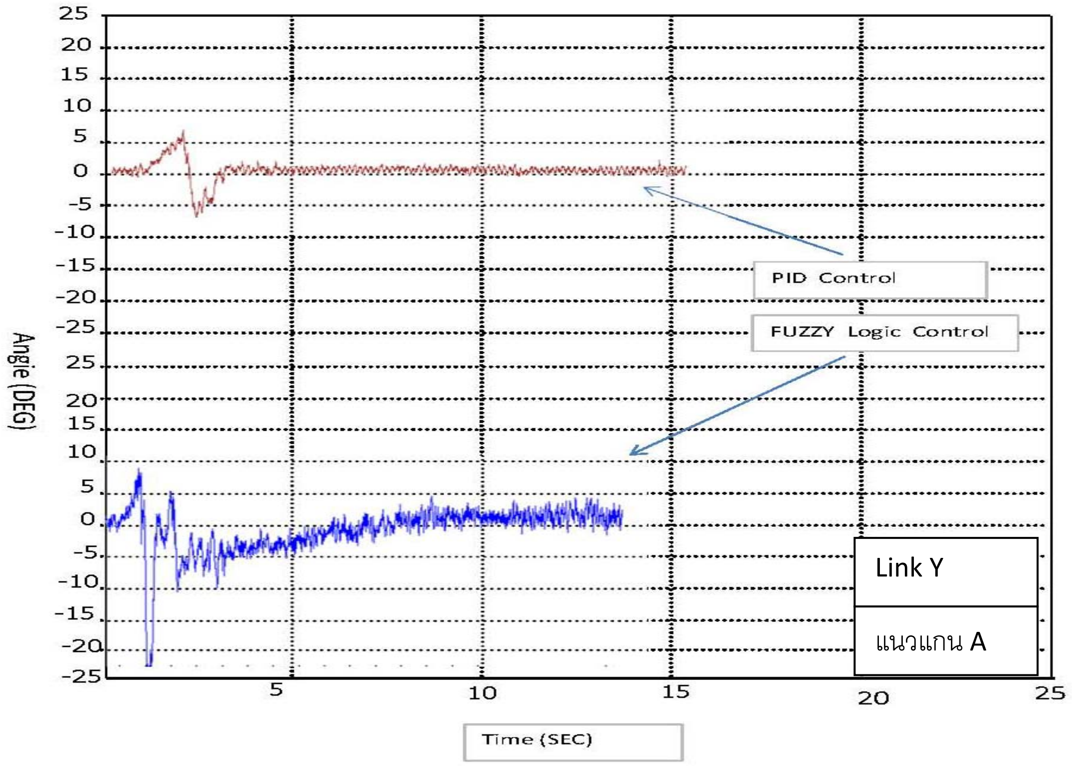
Angie (DEG)
PID Control
FUZZY Logic Control
Link X
แนวแกน A
Time (SEC)

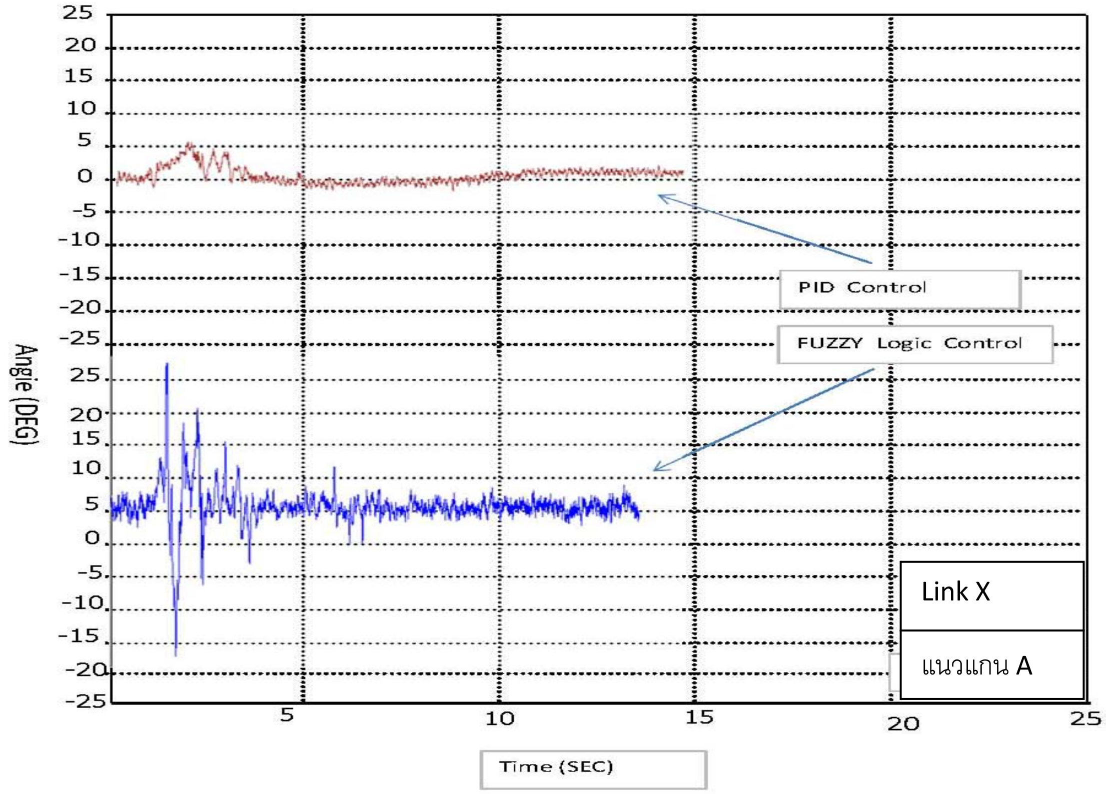

Angle (DEG)
PID Control
FUZZY Logic Control
Link Y
แนวแกน A
Time (SEC)

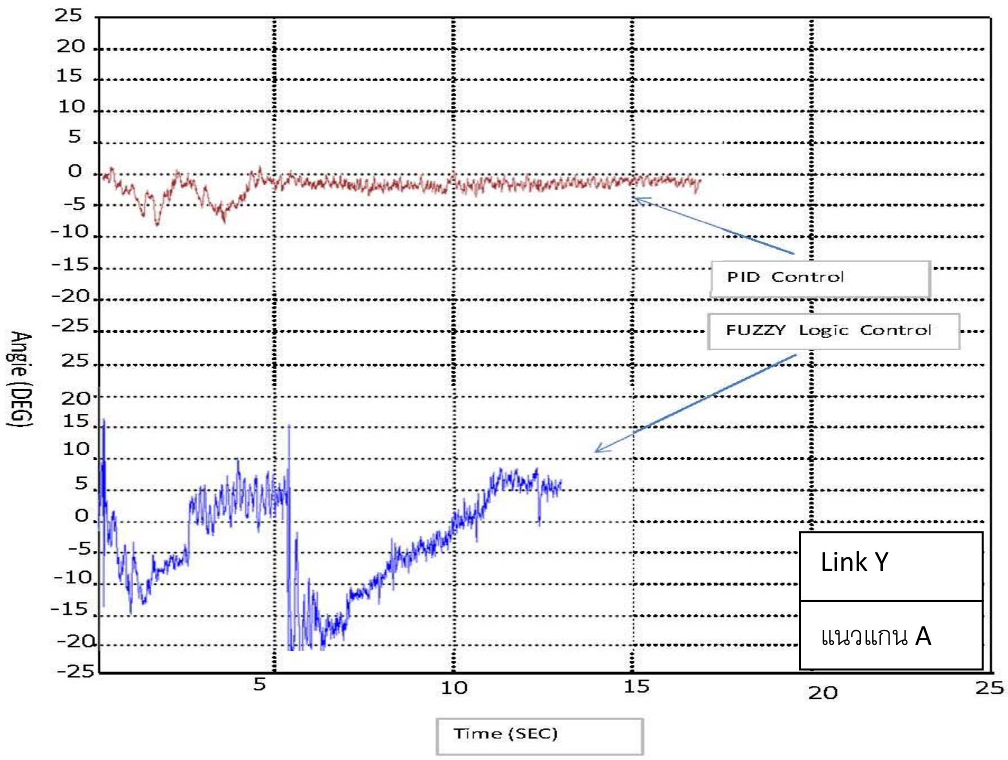

Angle (DEG)
PID Control
FUZZY Logic Control
Link X
แนวแกน A
Time (SEC)

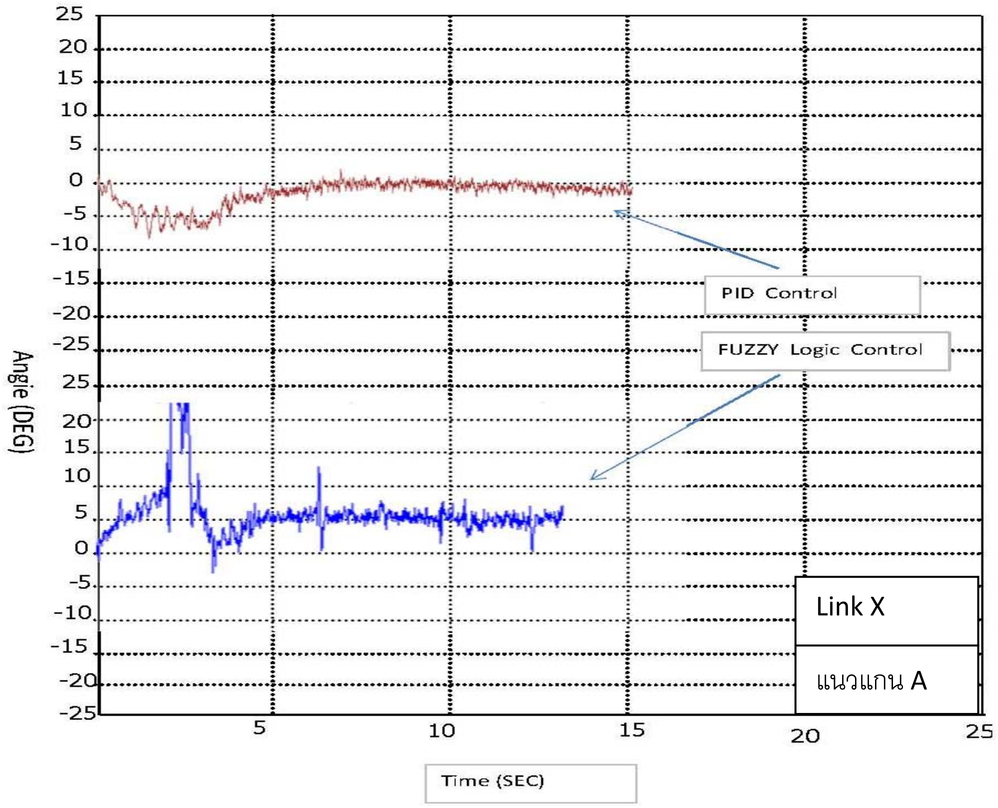

PID Control
FUZZY Logic Control
LinkY
แนวแกน A
Angie (DEG)
Time (SEC)

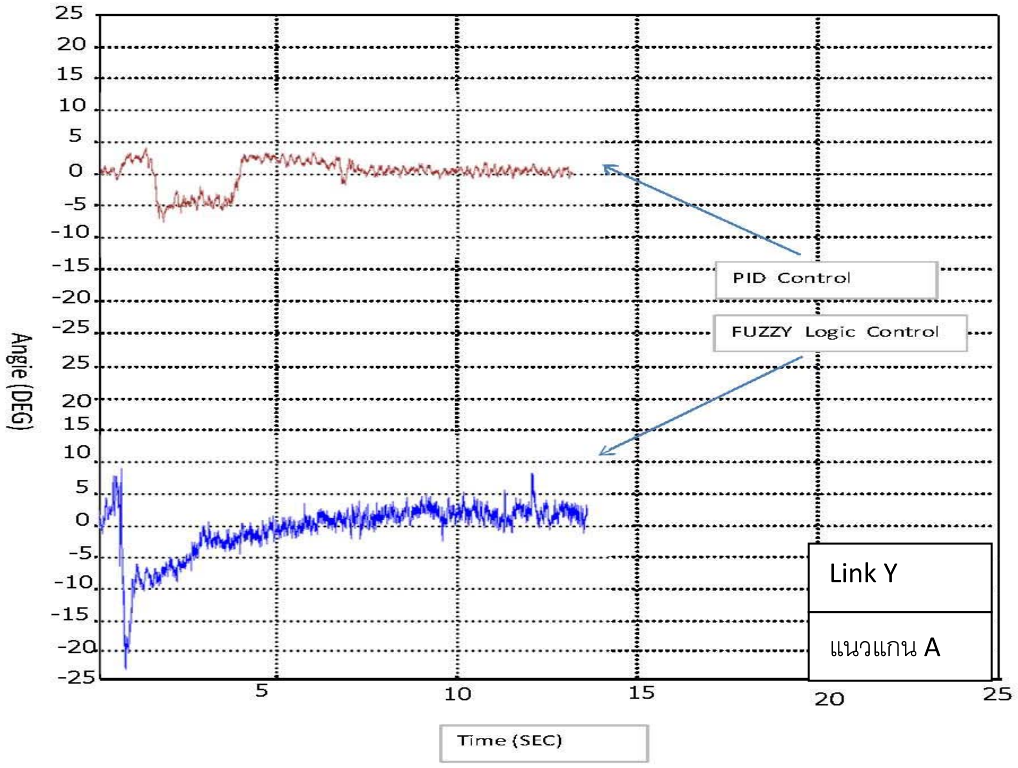

PID Control
FUZZY Logic Control
Link X
แนวแกน A
Angie (DEG)
Time (SEC)


Angle (DEG)
Time (SEC)
PID Control
FUZZY Logic Control
Link Y
แนวแกน A

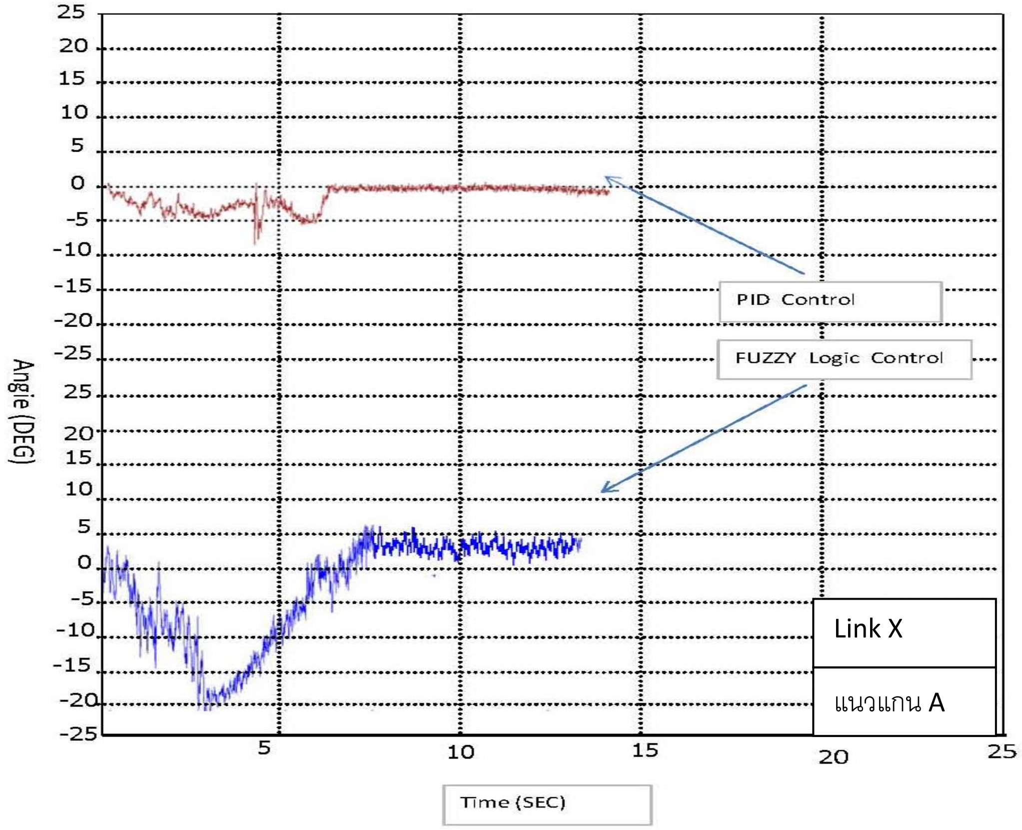

Angle (DEG)
Time (SEC)
PID Control
FUZZY Logic Control
Link X
แนวแกน A


PID Control
FUZZY Logic Control
Angie (DEG)
Link Y
แนวแกน A
Time (SEC)

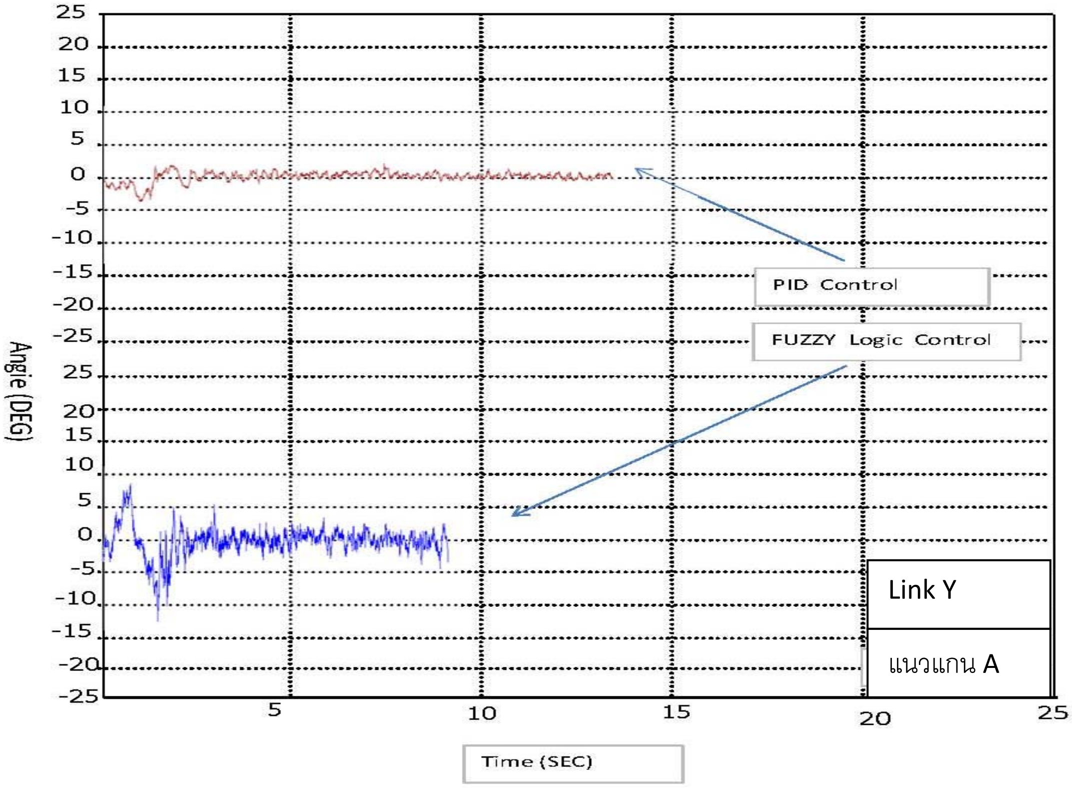

PID Control
FUZZY Logic Control
Angie (DEG)
Link X
แนวแกน A
Time (SEC)



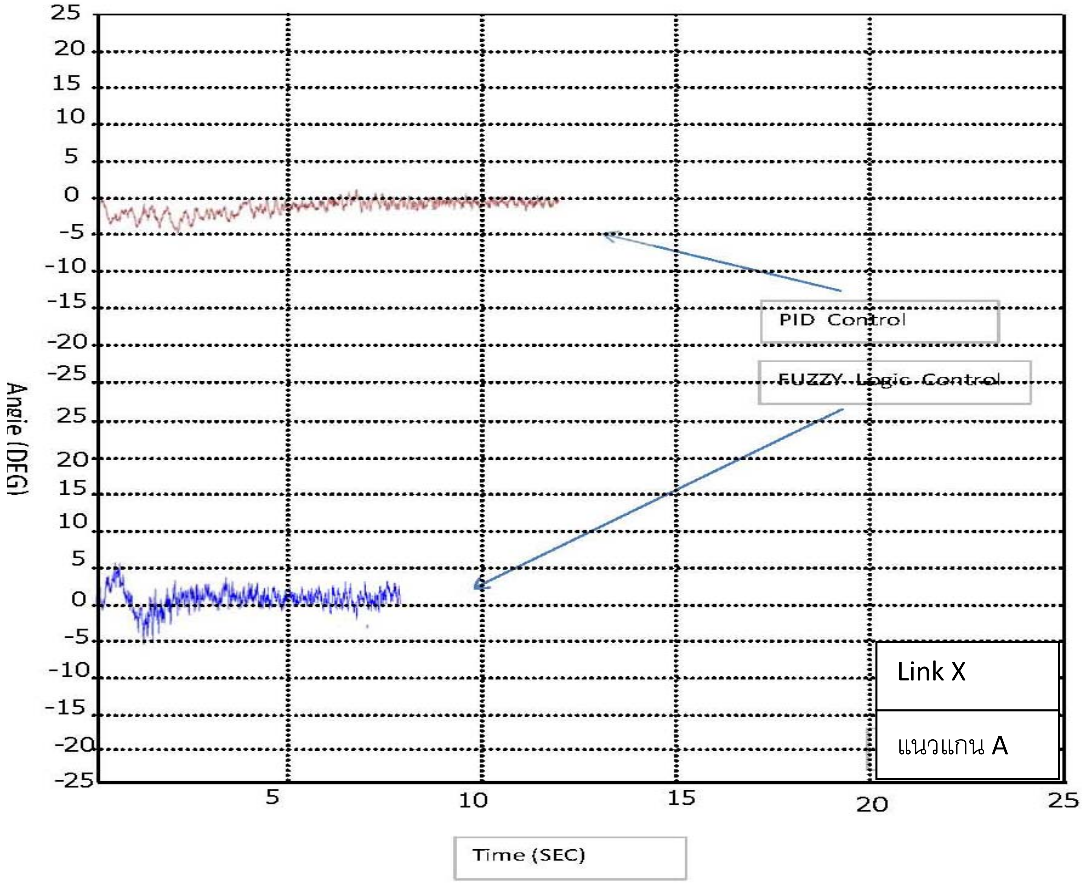
Angle (DEG)
PID Control
FUZZY Logic Control
Link Y
แนวแกน A
Time (SEC)



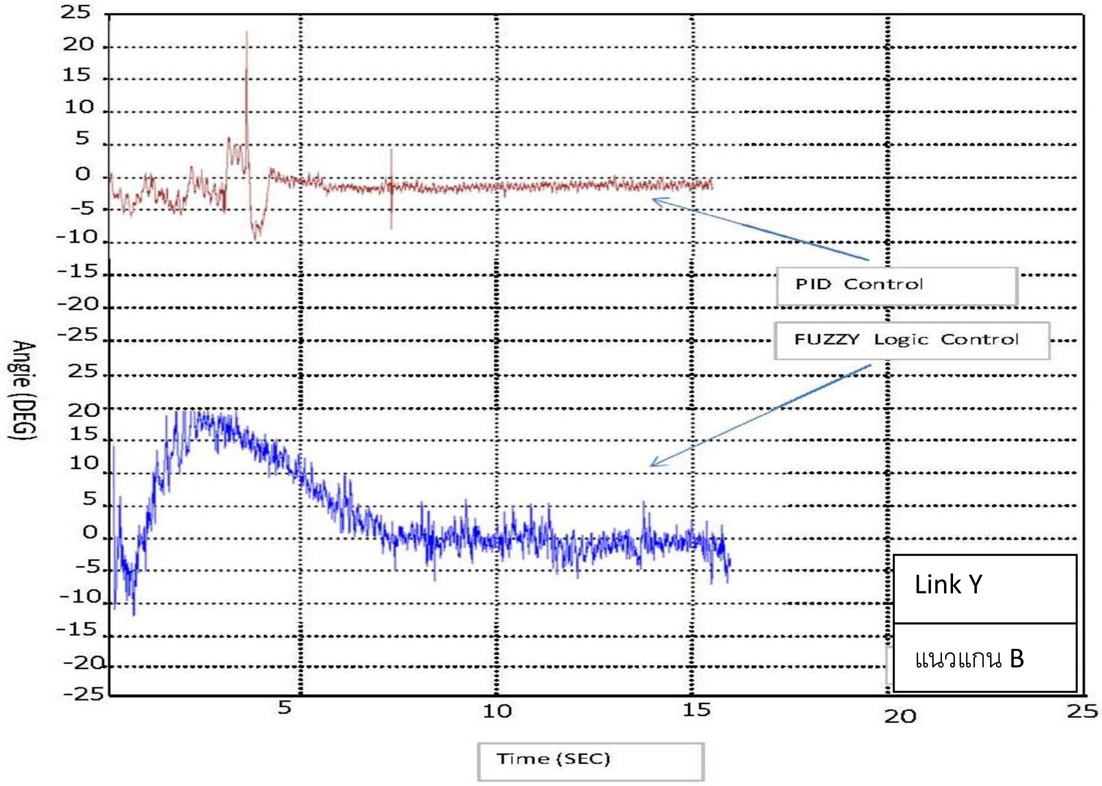
Angle (DEG)
PID Control
FUZZY Logic Control
Link X
แนวแกน A
Time (SEC)



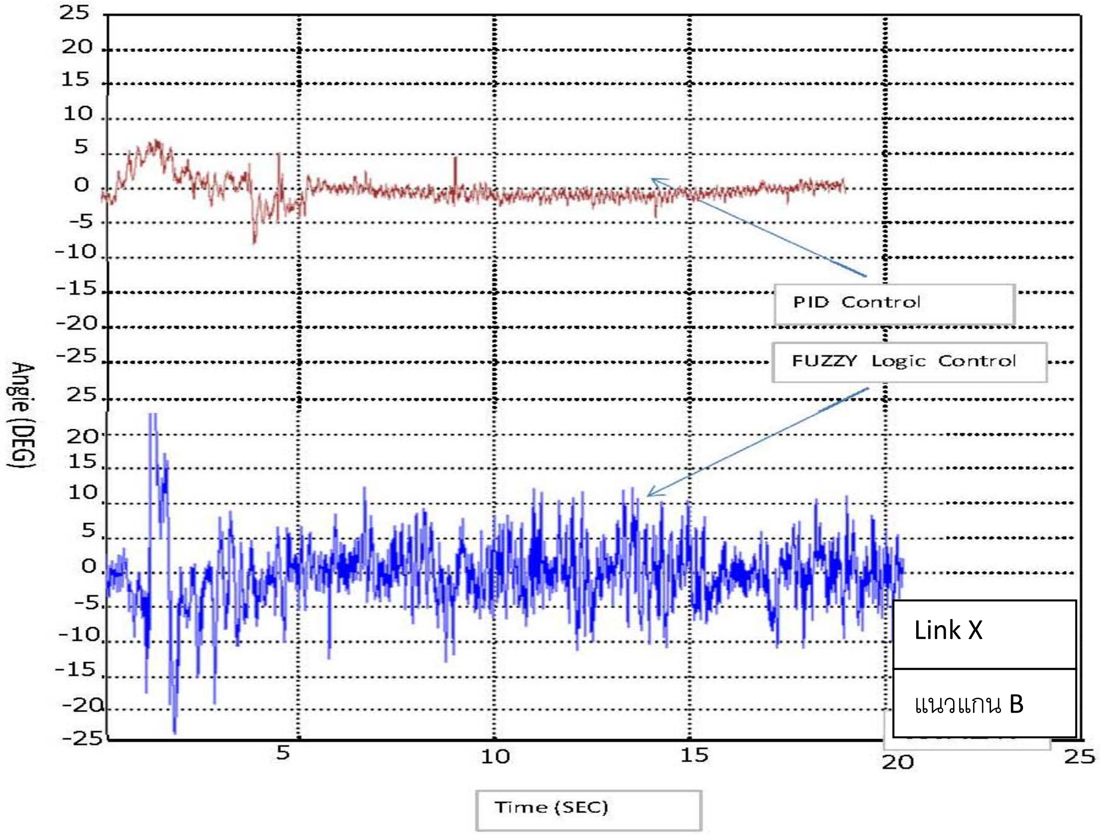
Angle (DEG)
PID Control
FUZZY Logic Control
Link Y
แนวแกน A
Time (SEC)



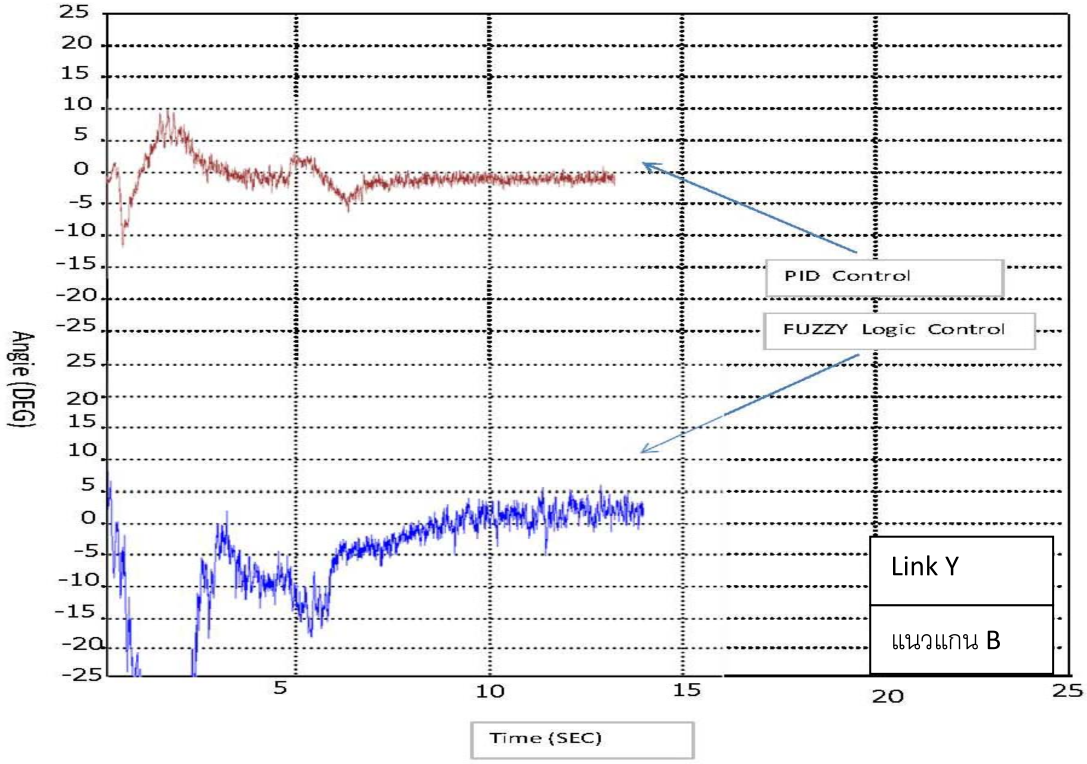
Angle (DEG)
PID Control
FUZZY Logic Control
Link X
แนวแกน A
Time (SEC)

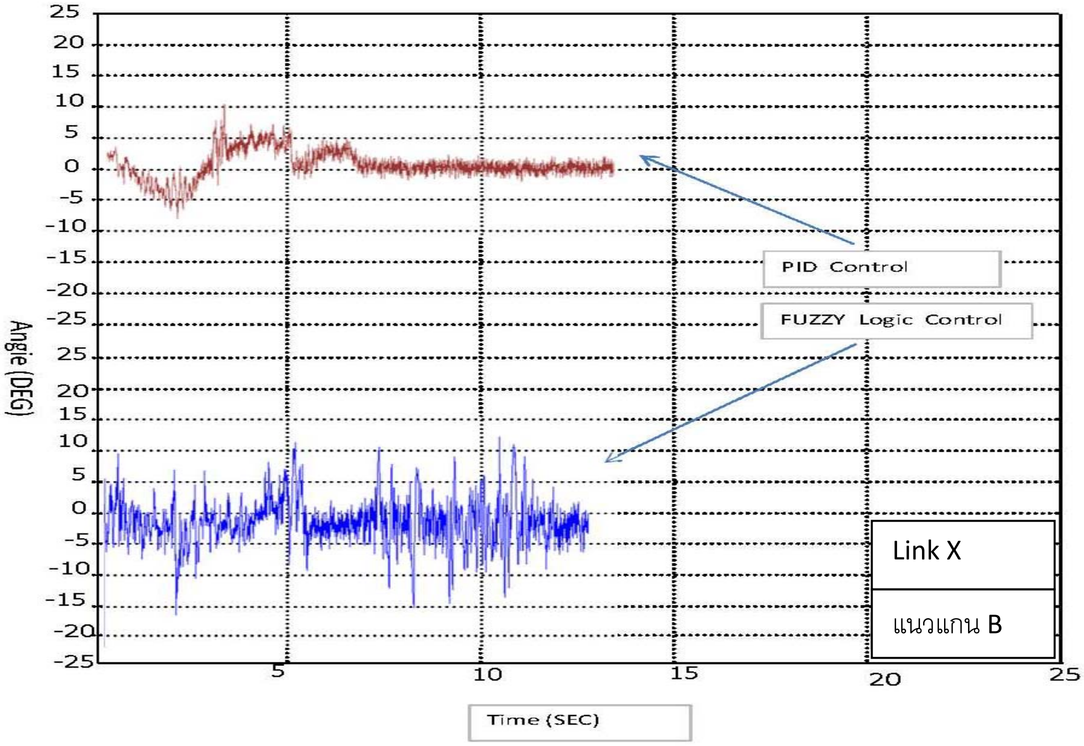


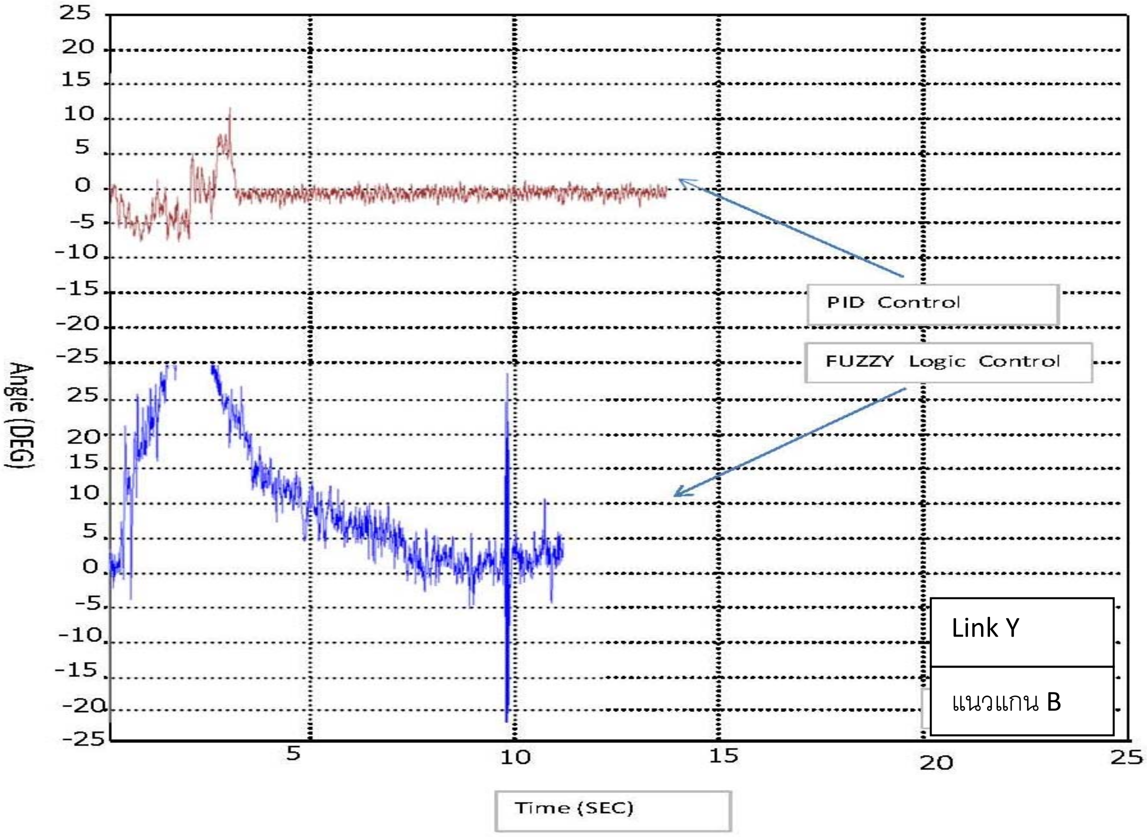
Angle (DEG)
PID Control
FUZZY Logic Control
Link Y
แนวแกน B
Time (SEC)



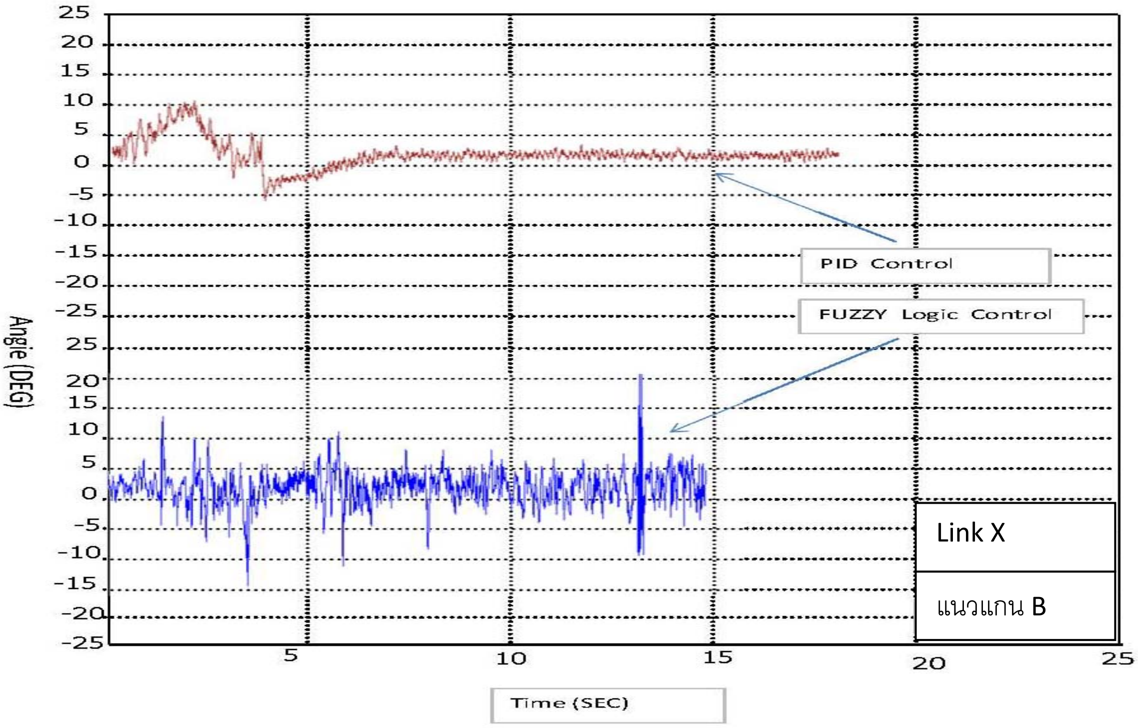
Angle (DEG)
PID Control
FUZZY Logic Control
Link X
แนวแกน B
Time (SEC)


PID Control
FUZZY Logic Control
Link Y
แนวแกน B
Angle (DEG)
Time (SEC)

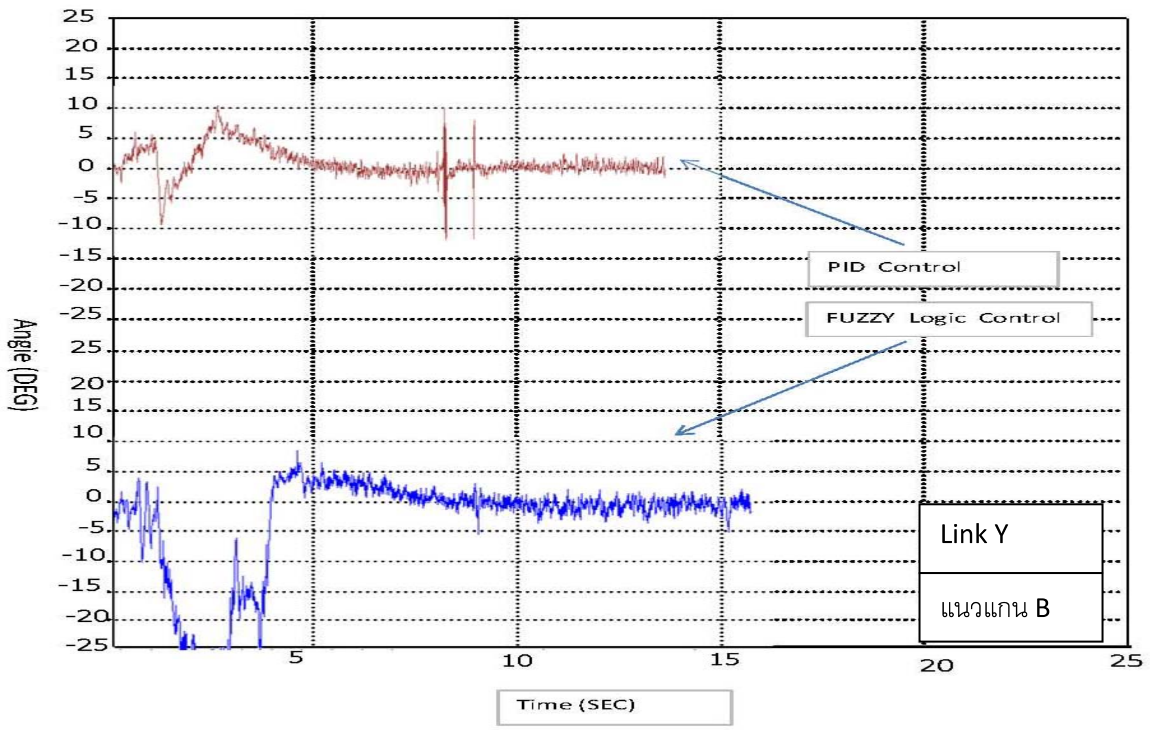

PID Control
FUZZY Logic Control
Link X
แนวแกน B
Angle (DEG)
Time (SEC)

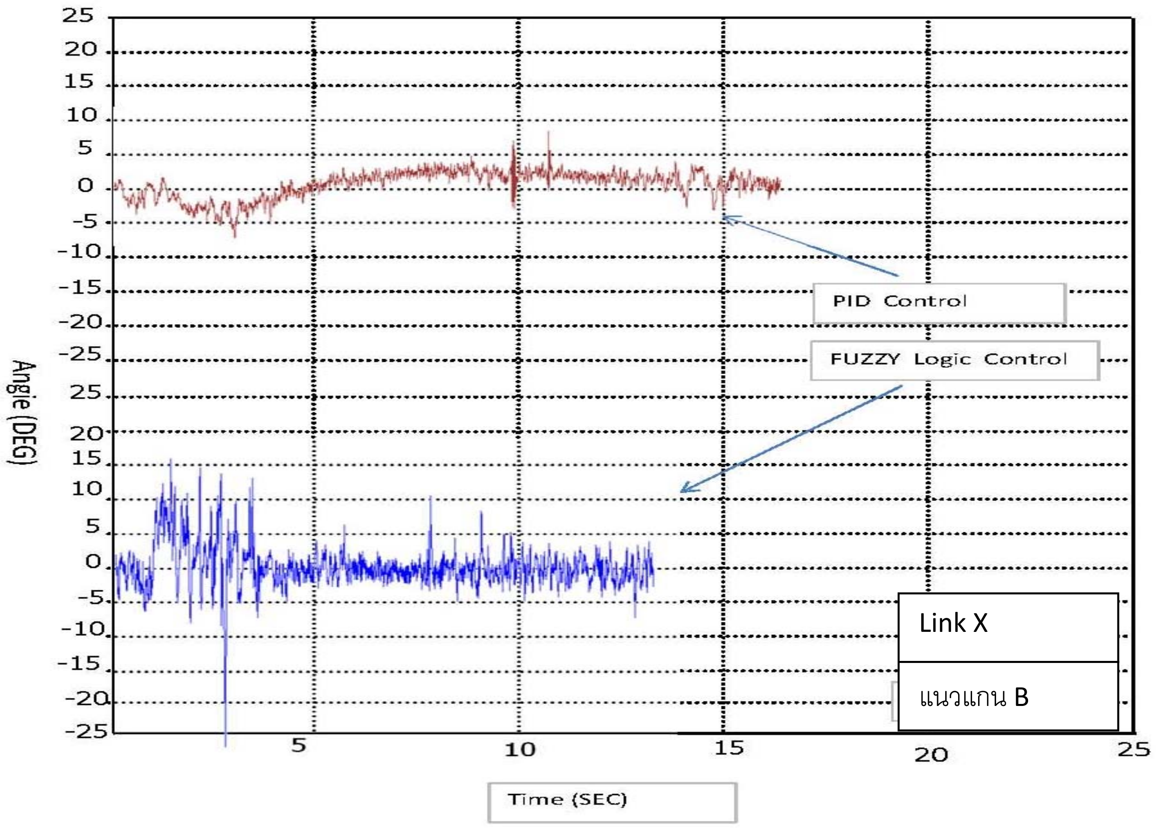


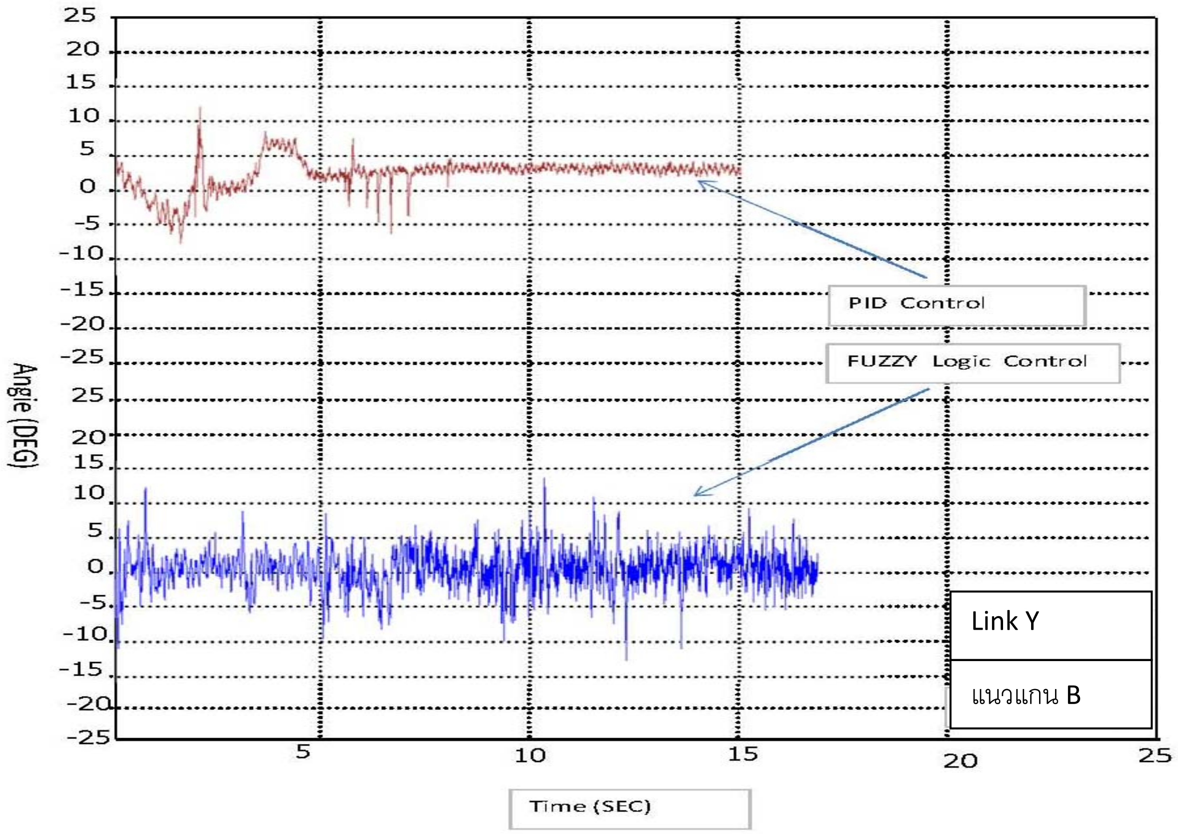
Angle (DEG)
PID Control
FUZZY Logic Control
Link Y
แนวแกน B
Time (SEC)

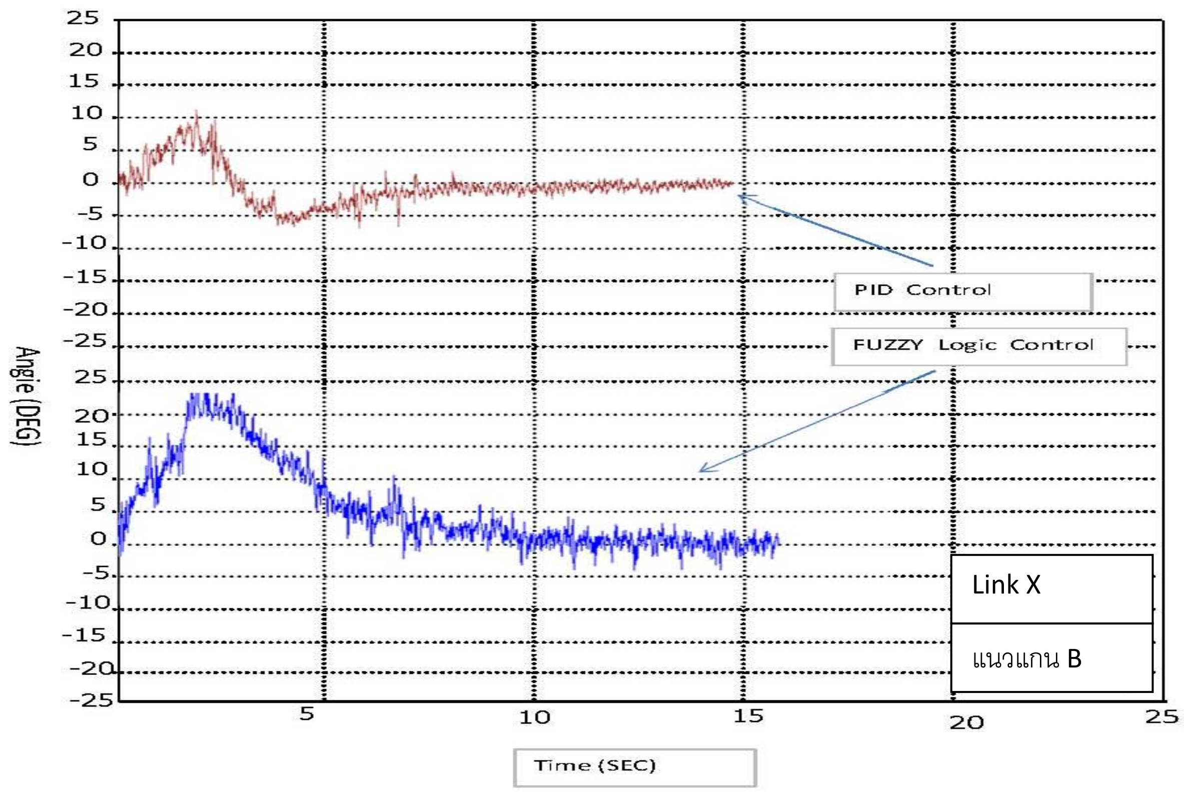


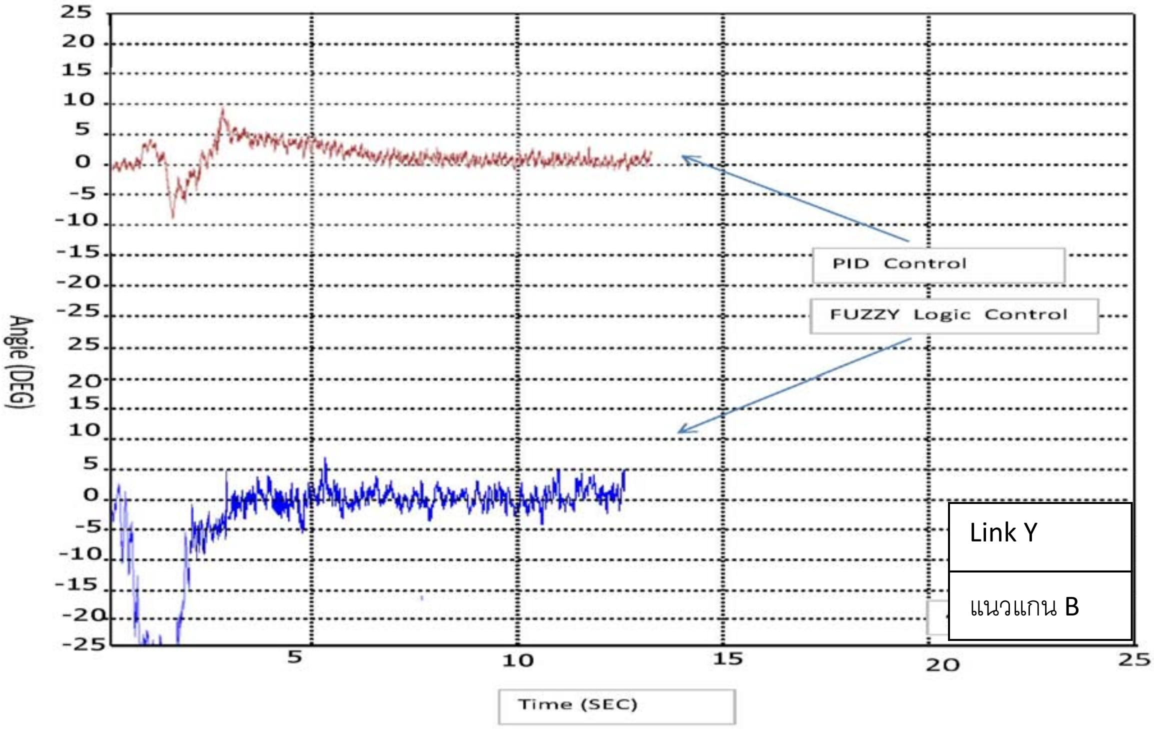
Angle (DEG)
PID Control
FUZZY Logic Control
Link X
แนวแกน B
Time (SEC)

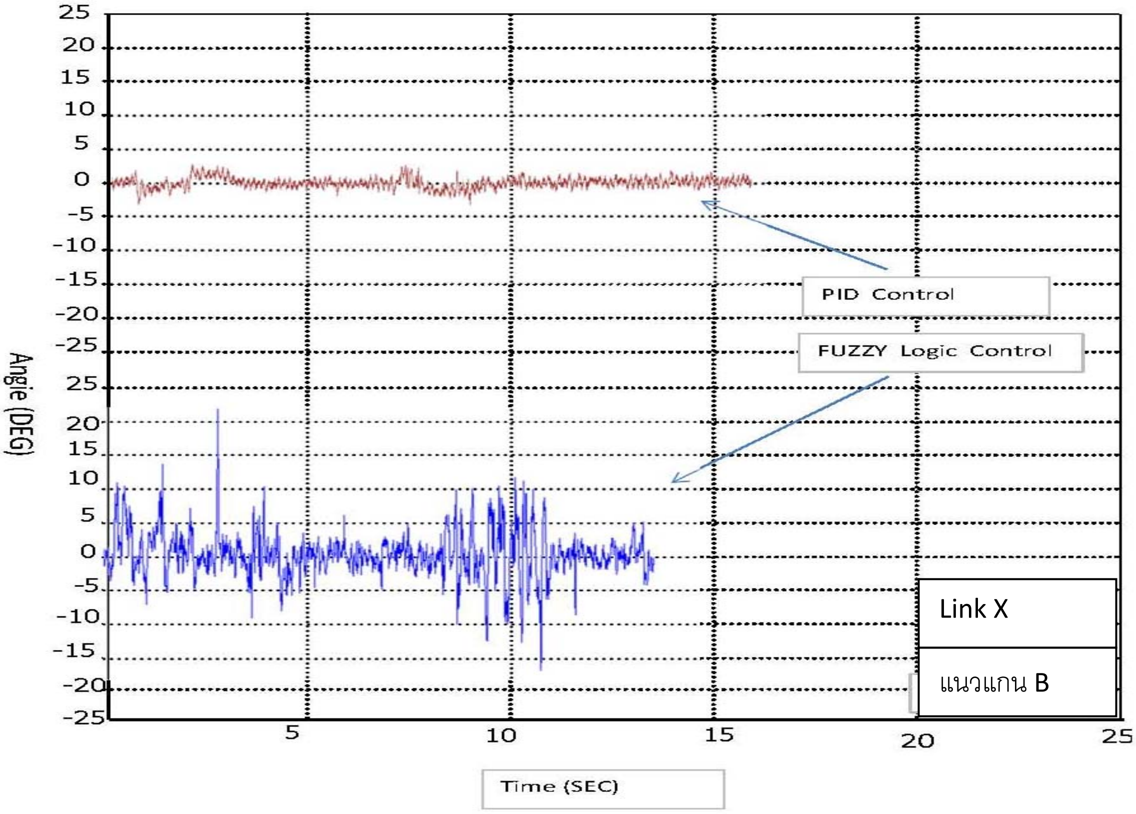

Angle (DEG)
PID Control
FUZZY Logic Control
Link Y
แนวแกน B
Time (SEC)

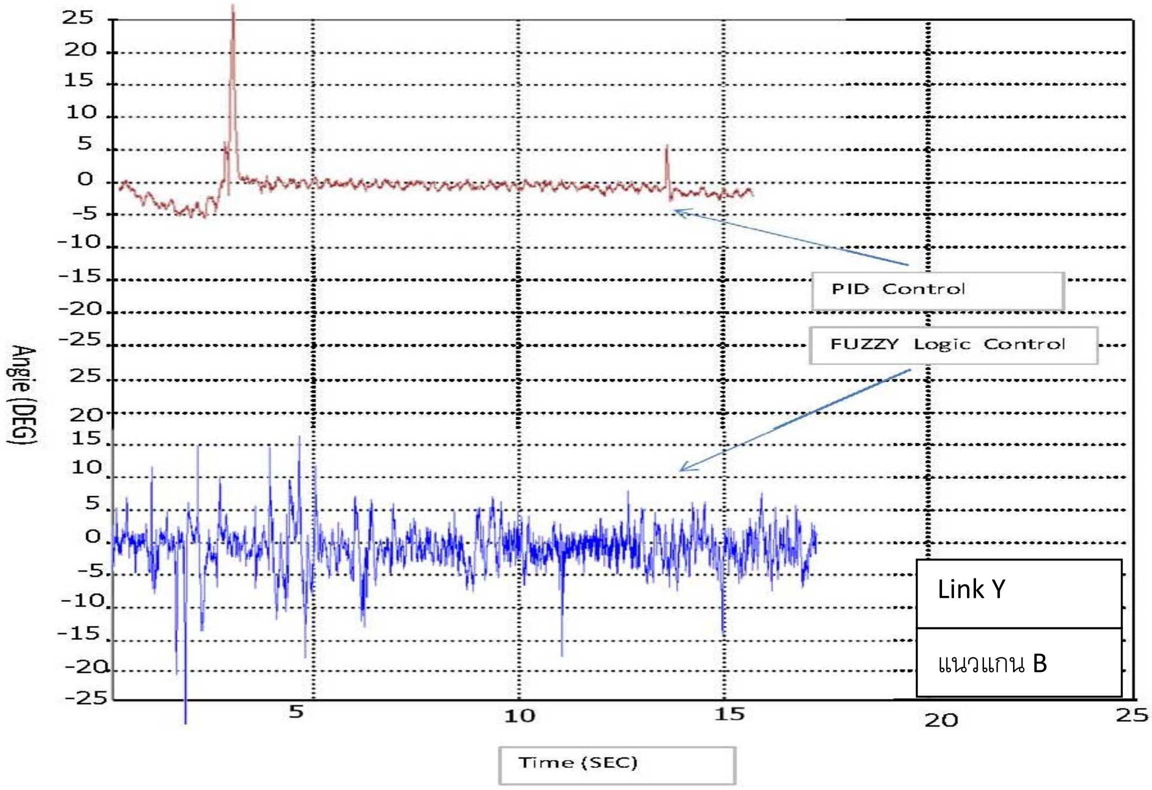

Angle (DEG)
PID Control
FUZZY Logic Control
Link X
แนวแกน B
Time (SEC)


PID Control
FUZZY Logic Control
Link Y
แนวแกน B
Angle (DEG)
Time (SEC)

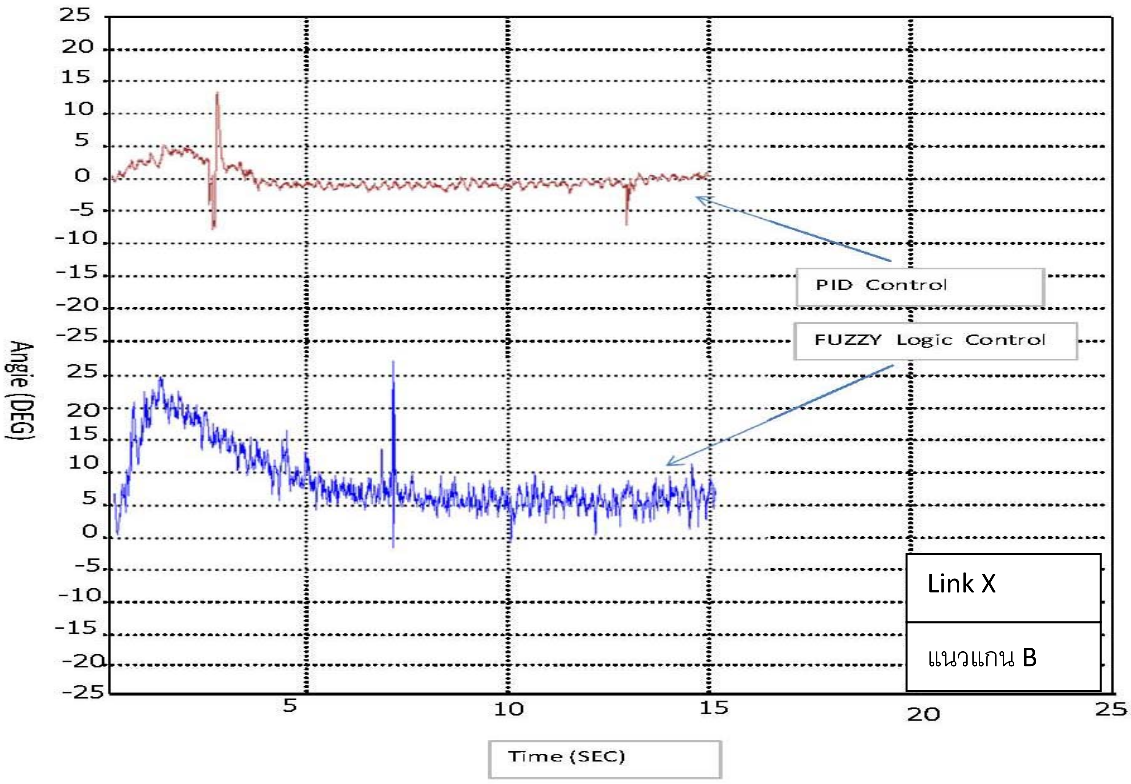

PID Control
FUZZY Logic Control
Link X
แนวแกน B
Angle (DEG)
Time (SEC)


PID Control
FUZZY Logic Control
Link Y
แนวแกน B
Angle (DEG)
Time (SEC)

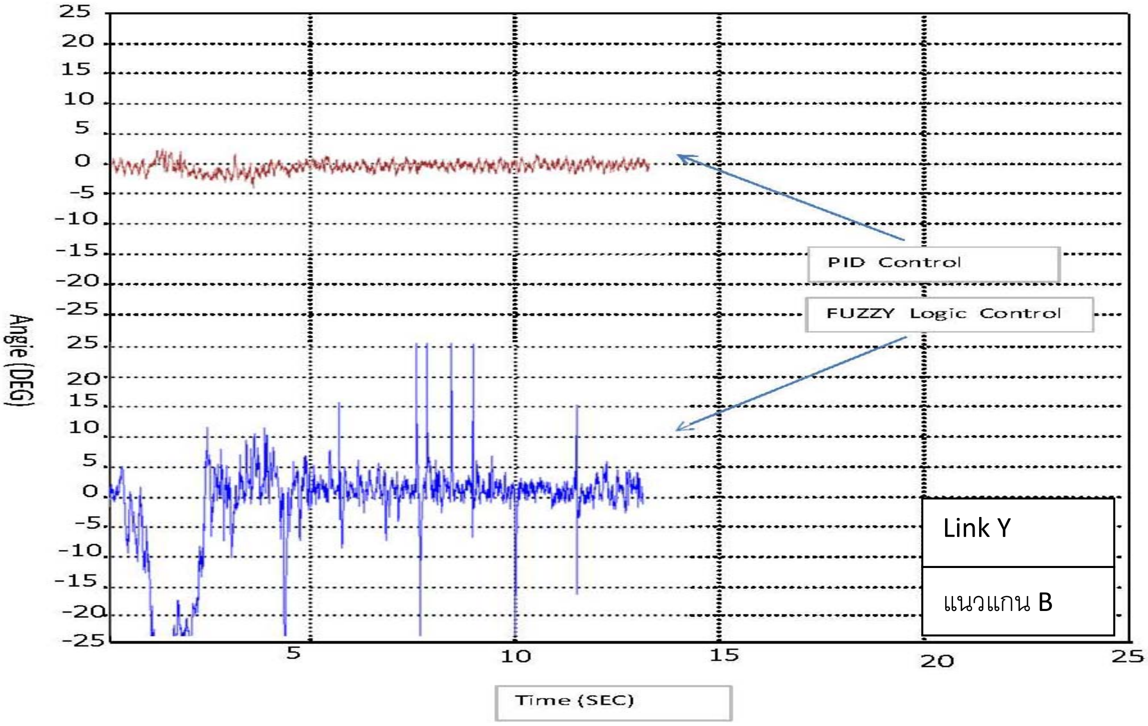

PID Control
FUZZY Logic Control
Link X
แนวแกน B
Angle (DEG)
Time (SEC)

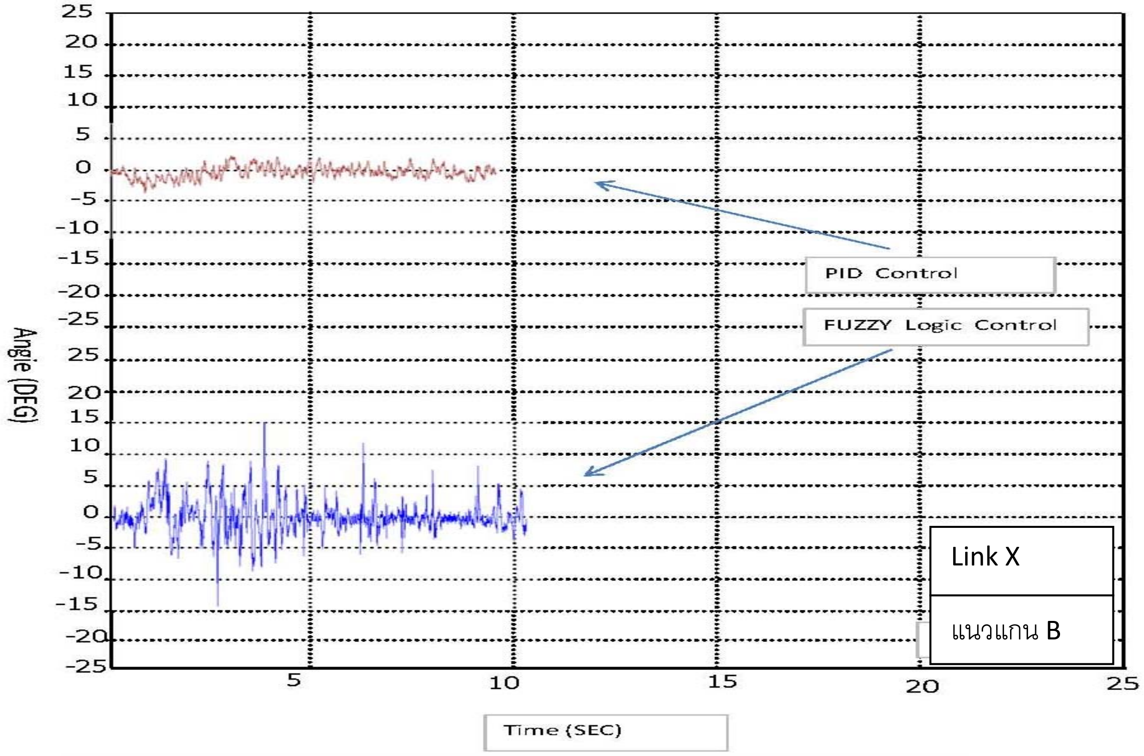


Angle (DEG)
PID Control
FUZZY Logic Control
Link Y
แนวแกน B
Time (SEC)



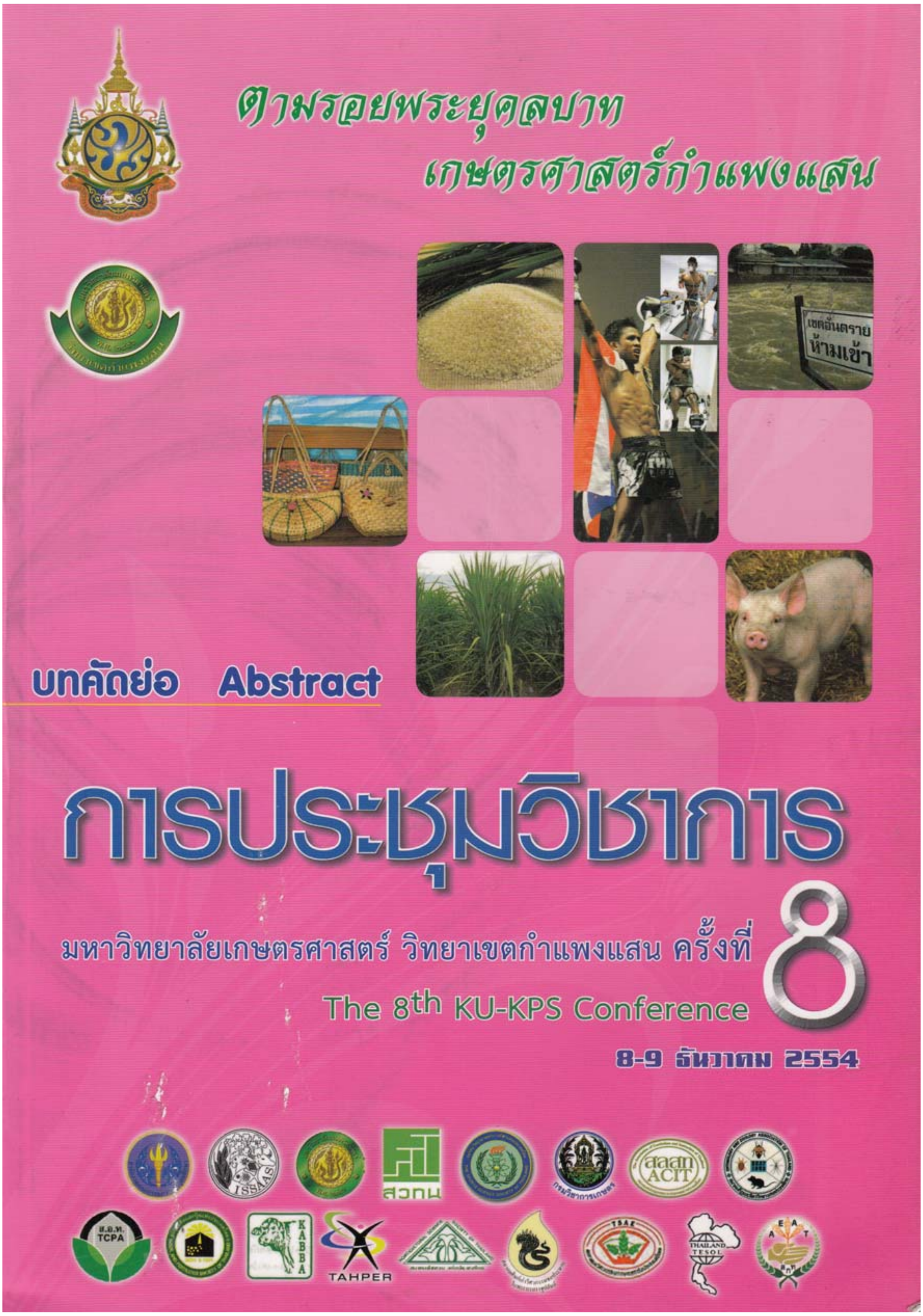
Angle (DEG)
PID Control
FUZZY Logic Control
Link X
แนวแกน B
Time (SEC)


Angle (DEG)
PID Control
FUZZY Logic Control
Link Y
แนวแกน B
Time (SEC)


Angle (DEG)
PID Control
FUZZY Logic Control
Link X
แนวแกน B
Time (SEC)

ภาคผนวก ง

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่


ตามรอยพระยุคลบาท
เกษตรศาสตร์กำแพงแสน
เขตอันตราย
ห้ามเข้า
บทคัดย่อ Abstract
การประชุมวิชาการ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 8
The 8th KU-KPS Conference
8-9 ธันวาคม 2554
ISSAAS
สวทน
ACIT
TCPA
KABBA
TAHPER
THAILAND TESOL

คณะกรรมการจัดสัมมนาวิชาการและจัดประชุมวิชาการ

คณะกรรมการอำนวยการจัดประชุมวิชาการ

ที่ปรึกษา เลขาธิการคณะกรรมการการอุดมศึกษา
เลขาธิการสำนักงานคณะกรรมการนโยบาย วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรมแห่งชาติ
คณบดีวิทยาลัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการกีฬา มหาวิทยาลัยมหิดล
นายกสมาคมสุขศึกษา พลศึกษาและสันทนาการแห่งประเทศไทย
นายกสมาคมอารักขาพืชไทย
นายกสมาคมดินและปุ๋ย แห่งประเทศไทย
นายกสมาคมกีฏและสัตววิทยาแห่งประเทศไทย
นายกสมาคมพืชสวนแห่งประเทศไทย
นายกสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย
นายกสมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทานในพระบรมราชูปถัมภ์
นายกสมาคมส่งเสริมการเกษตรแห่งประเทศไทย
นายกสมาคมโคเนื้อแห่งประเทศไทย
นายกสมาคมโคเนื้อพันธุ์กำแพงแสน
นายกสมาคมหลักสูตรและการสอนแห่งประเทศไทย
นายกสมาคมครูผู้สอนภาษาอังกฤษแห่งประเทศไทย

ประธานกรรมการ รองอธิการบดีวิทยาเขตกำแพงแสน

รองประธานกรรมการ ผู้ช่วยอธิการบดีฝ่ายการศึกษาและวิเทศสัมพันธ์

กรรมการและเลขานุการ ผู้อำนวยการกองบริการการศึกษา (กำแพงแสน)

กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ หัวหน้างานบริการการศึกษา กองบริการการศึกษา (กำแพงแสน)

กรรมการ ผู้ช่วยอธิการบดีฝ่ายกิจการพิเศษ
ผู้ช่วยอธิการบดีฝ่ายบริการวิชาการ
ผู้ช่วยรองอธิการบดีฝ่ายบริหารและประกันคุณภาพ
ผู้ช่วยรองอธิการบดีฝ่ายกิจการนิสิต กีฬา และศิลปวัฒนธรรม
คณบดีคณะเกษตร กำแพงแสน
คณบดีคณะศึกษาศาสตร์และพัฒนศาสตร์
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน
คณบดีคณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์
รองคณบดีคณะสัตวแพทยศาสตร์ กำแพงแสน
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา
คณบดีคณะประมง
รองคณบดีบัณฑิตวิทยาลัยวิทยาเขตกำแพงแสน
ผู้อำนวยการสำนักส่งเสริมและฝึกอบรม กำแพงแสน

ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา กำแพงแสน
ผู้อำนวยการสถาบันสุวรรณวาจกกสิกิจเพื่อการค้นคว้า
และพัฒนาปศุสัตว์และผลิตภัณฑ์สัตว์
ผู้อำนวยการศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพเกษตร
ผู้อำนวยการศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศ มก. กพส.

คณะอนุกรรรมการจัดประชุมวิชาการ สาขาพืชและเทคโนโลยีชีวภาพ

ประธานอนุกรรมการ นายนรุณ วรามิตร
รองประธานอนุกรรมการ นางสาวอัญมณี อาวุชานนท์
อนุกรรมการและเลขานุการ นางสาวจุฑามาศ ร่มแก้ว
อนุกรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ นางชุติกาญจน์ ฤกษ์ประทานชัย
นางสาวสารภี ตั้งเจริญ
นางสาวจิดาภา จิตรักษา
นางสาวเบญจมาศ ยศศักดิ์ศรี
นางสาวศุภธิดา ศิริสวัสดิ์
นางสาวสุจินต์ ภัทรภูวดล
นางจินตนา อันอาตม์งาม
นายนันทศักดิ์ ปิ่นแก้ว
นางอุไรวรรณ นิลเพ็ชร์
นางสาวเกวลิน ศรีจันทร์
นางนภาพร พันธุ์กมลศิลป์
นางพรศิริ เลี้ยงสกุล
นายอนุรักษ์ อรัญญนาค
นางสาวอัญธิชา พรหมเมืองคุก
นางสาววชิรญา อิ่มสบาย

คณะอนุกรรมการจัดประชุมวิชาการ สาขาสัตว์และสัตวแพทย์

ที่ปรึกษา คณบดีคณะเกษตร กำแพงแสน
รองคณบดีคณะสัตวแพทยศาสตร์ กำแพงแสน
ผู้อำนวยการสถาบันสุวรรณวาจกกสิกิจฯ
หัวหน้าภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร กำแพงแสน
ประธานอนุกรรมการ นายทวีศักดิ์ ส่งเสริม
รองประธานอนุกรรมการ นายเลอชาติ บุญเอก
อนุกรรมการและเลขานุการ นางสาววราพร พิมพ์ประไพ
อนุกรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ นางรพีพรรณ มีสง่า

	นางขวัญตา พัฒนธารา
	นางภคอร อัครมธุรากุล
	นายจักรกฤษณ์ ชำนาญกิจ
อนุกรรมการ	นางวิไลลักษณ์ ชาวอุทัย
	นางสุกัญญา จัดตุพรพงษ์
	นายปริวรรต พูลเพิ่ม
	นายสุริยะ สะวานนท์
	นางจันทร์จิรา ภวภูตานนท์
	นางยุวเรศ เรืองพานิช
	นางสาวสิรินทร์พร สินธุวณิชย์

คณะอนุกรรมการจัดประชุมวิชาการ สาขาวิศวกรรมศาสตร์

ที่ปรึกษา	นายบัญชา ขวัญยืน
	นายเชาว์ อินทร์ประสิทธิ์
	นายเสกสรร สีหวงษ์
	นายวราวุธ วุฒิวณิชย์
	นายประเทือง อุษาบริสุทธิ์
	นางสาวง่ายงาม ประจวบวัน
ประธานอนุกรรมการ	นายศิริศักดิ์ เชิดเกียรติพล
รองประธานอนุกรรมการ	นายหทัยเทพ วงศ์สุวรรณ
อนุกรรมการและเลขานุการ	นางสาวหิรัญญกานต์ กล่ำทอง
อนุกรรมกรรมการ	นายวัชรพล ชยประเสริฐ
	นายวิษุวัฒก์ แต้สมบัติ
	นายวรศักดิ์ สมตน
	นายวิชัย กิจวัทวรเวทย์
	นายปรีดา ปรางมาก
	นายรังสรรค์ ชัยศรีเจริญ
	นายสมบัติ ขาวประทีป
	นายสุทธิพร เนียมหอม
	นายอรรถวุฒิ รื่นเริงใจ

คณะอนุกรรมการจัดประชุมวิชาการ สาขาศึกษาศาสตร์และพัฒนศาสตร์

ประธานอนุกรรมการ	คณบดีคณะศึกษาศาสตร์และพัฒนศาสตร์
อนุกรรมการและเลขานุการ	ว่าที่ร้อยตรีศิริชัย ศรีพรหม
อนุกรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ	นางจันทิมา จำนงค์นารถ

การอบแห้งว่านหางจระเข้ด้วยกระแสไฟฟ้าแรงดันสูงร่วมกับลมร้อน 45
การวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในน้ำหมัก ด้วยเทคนิคเฮดสเปซ-แก๊สโครมาโทกราฟี
โดยใช้สารมาตรฐานภายใน 47
การวัดความเร็วการไหลในคลองชลประทานโดยเทคนิคการถ่ายภาพอนุภาคขนาดใหญ่ 49
การกำจัดโครเมียมโดยระบบบึงประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง 51
การศึกษาผลกระทบของความลาดชันของคลองชลประทานต่อค่าสัมประสิทธิ์
ความขรุขระแมนนิ่ง: การทดลองในห้องทดลอง 53
พฤติกรรมการส่งผ่านและการกระจายคลื่นเมื่อผ่านโครงสร้างเขื่อนกันคลื่นใต้น้ำแบบหินทิ้ง 55
ประสิทธิภาพในการรักษาความชื้นในดินของใบหญ้าแฝก 57
ประสิทธิภาพการให้น้ำของสายยางน้ำซึม 59
การประเมินประสิทธิภาพการให้น้ำของหัวสปริงเกอร์ที่ผลิตไม่ได้มาตรฐาน 61
คอนกรีตมวลเบาจากกากดินตะกอนเบื้องหลังคาเซรามิค 63
การใช้ตะกอนดินเซรามิคเป็นส่วนผสมในการผลิตกระเบื้องบิสกิต 65
การจัดลำดับการทำงานประสานสัมพันธ์ของรีเลย์ป้องกันกระแสเกินแบบมีทิศทาง
อย่างเหมาะสมในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบวงรอบ 67
อิทธิพลของตัวแปร EDM ที่มีต่อคุณสมบัติของวัสดุชิ้นงานเหล็กกล้าผสม (AISI 5115) 69
การพัฒนาระบบเฝ้าระวังตัวชี้วัดเพื่อการตัดสินใจสำหรับการรับสมัครคัดเลือกบุคลากร
เข้าศึกษาในสถาบันอุดมศึกษาในระบบออนไลน์ 71
ระบบแลกเปลี่ยนความรู้ : กรณีศึกษา สำนักหอสมุดมหาวิทยาลัยทักษิณ 73
การศึกษาสำหรับการออกแบบวงจรกรองผ่านแถบความถี่ที่มีย่านหยุดแถบความถี่กว้าง
กับการใช้ฮาโมนิกส์หลายโหมดลดความถี่ปลอมเทียมโดยใช้เรโซเนเตอร์แบบขั้น 75
การสืบค้นข้อมูลภายในโทรศัพท์เคลื่อนที่สำหรับใช้ในการระบุตำแหน่งเพื่อนำไปใช้ในการที่จะค้นหา
หลักฐานทางโทรศัพท์เคลื่อนที่ 77
ตู้เย็นควบคุมอุณหภูมิโดยแผ่นเพลเทียร์และไมโครคอนโทรลเลอร์ 79
การลดจำนวนงานล่าช้าสำหรับโรงงานฉีดขึ้นรูปพลาสติก 81
การวิเคราะห์ไฟฟ้าพลังงานลมสำหรับใช้ในโครงการหลวงพื้นที่จังหวัดน่าน (ภาคต้นกำลัง).................. 83
ระบบควบคุมตำแหน่งของแผ่นระนาบตามแนวระนาบ 85
การเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนของท่อความร้อนชนิดคอยล์ลูป สำหรับระบบปรับอากาศ
โดยใช้ของไหลนาโนเป็นสารทำงาน 87
อิทธิพลของพารามิเตอร์การเชื่อมต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของการเชื่อมโลหะต่างชนิด
ระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ (AISI 2205) กับเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติค (AISI 304) 89
ผลกระทบต่อสมบัติทางกลของการตัดเจือนเหล็กแม่พิมพ์ AISI M2
ที่ผ่านการอบชุบด้วยกรรมวิธี EDM 91
การศึกษาและการออกแบบกระบวนการสลัดแห้งพลาสติกเพื่อนำกลับมาผลิตใช้ใหม่ 93

ระบบควบคุมตำแหน่งของแผ่นระนาบตามแนวระนาบ

Plate control system

นาย วิชชา อุปภัย[1], ดร.พิพัฒน์ ปราโมทย์ [2] คณะวิศวกรรมศาสตร์

Mr. Witcha Upaphai [1], Dr. Pipat Pramot [2] Faculty of engineering

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อควบคุมแผ่นระนาบของเตียงที่ใช้ในการขนย้ายผู้ป่วยให้อยู่ในแนวที่ขนานกับพื้นตลอดเวลาโดยอัตโนมัติ การดำเนินการวิจัยได้จากการสร้างรูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์โดยใช้โปรแกรม Matlab/ Simulink เป็นแบบจำลองการเคลื่อนที่ของเตียงในแกน x และแกน y ใช้โมดูลวัดความเร่งในการวัดมุมเอียงของเตียง และใช้โปรแกรม Labview ควบคุมระดับของแผ่นระนาบ โดยคำนวณหาค่าที่ดีที่สุดในการปรับระดับแผ่นระนาบให้อยู่ในแนวที่ขนานกับพื้นโดยอัตโนมัติ

ผลการทดลองพบว่า เมื่อเตียงขนย้ายผู้ป่วยเกิดการเปลี่ยนมุมไปทางแกน x หรือแกน y หรือทั้งสองแกนพร้อมกันเตียงจะสามารถปรับระนาบกลับคืนจากมุม 20 องศา เป็น 0 องศาโดยอัตโนมัติ ในเวลา 0.75 วินาที

Abstract

This research aims to control stretcher's plate in order to adjust itself in the stable state automatically pararelled to earth surface. Arithemetical mathematical model using Matlab/ Simulink programme was applied to simulate the locomotion of stretcher on x and y axsys. Module for acceler (ความเร่ง) measurement was also applied to measure angle of stretcher. Level of plate was controlled by Labveiw programme. The best value for adjustment of plate level pararelled to earth surface was calculated.

The experiment result was that when stretcher change degree according to x or y or both axsys, its plate was able to adjust itself by returning from 20 degree to 0 degree, automatically within 0.75 seconds.

Key words : Lab view program, Matlab,Simulink, mathematical model, Plate control

e-mail address : kra_dinglug_o@hotmail.com

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

RMUTT, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

คำนำ

ในแต่ละครั้งที่เกิดอุบัติเหตุนั้นถ้าเกิดมีผู้เคราะห์ร้ายได้รับบาดเจ็บจากอุบัติเหตุและจะต้องมีการนำผู้เคราะห์ร้ายเหล่านั้นส่งโรงพยาบาลอย่างรวดเร็วที่สุดซึ่งผู้จัดทำได้เห็นแล้วว่าในปัจจุบันได้มีการคำนึงถึงในด้านความเร็วและระยะเวลาในการขนย้ายผู้ป่วยแต่ยังมิได้มีการคำนึงถึงในด้านความปลอดภัยของผู้ป่วยจากการกระทบกระเทือนของร่างกายโดยในระหว่างการขนย้ายผู้ป่วยซึ่งอาจเกิดจากสภาพของถนนอาจไม่ราบเรียบหรือมีสะพานและอาจทำให้ผู้ป่วยเกิดการกระทบกระเทือนจากสิ่งแวดล้อมเหล่านั้นและอาจเกิดอันตรายต่อร่างกายในระหว่างการขนย้ายได้

โดยผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดในการดำเนินงานวิจัยเพื่อปรับสภาพของผู้ป่วยให้สมดุลไม่ว่าสภาวะการเดินทางจะเป็นอย่างไรมุมองศาของผู้ป่วยนั้นจะต้องได้ระดับเดิมที่ขนานกับพื้นโลกโดยอัตโนมัติ โดยการใช้แผ่นระนาบเป็นตัวปรับมุมองศาของผู้ป่วย

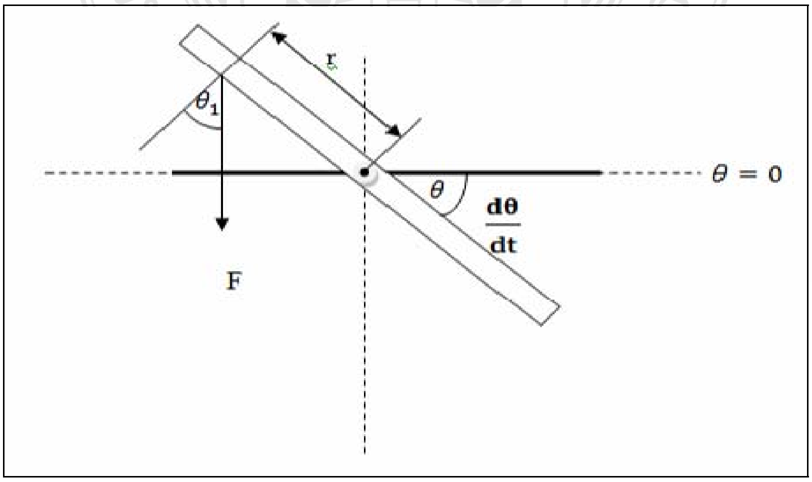
อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. โมดูลวัดความเร่ง (Accelerometer Sensor)
2. เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor)
3. คอมพิวเตอร์ (Computer)
4. Data Acquisition (DAQ CARD)
5. ชุดควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ (Motor driver)

วิธีดำเนินงานวิจัย

1. สร้างสมการ Mathematical Model ของแผ่นระนาบ



ภาพที่ 1 รูปของแผ่นระนาบเมื่อมองในรูป 2 มิติ [1]

จากทฤษฎีของการทำแผ่นระนาบให้ขนานกับแกน (Parallel) จึงต้องใช้ทฤษฎีของการหมุน (Moment of Inertia) [2]

$$J = J_c + m_L d^2 \tag{2.1}$$

$$J = \frac{1}{12} m_L L^2 \tag{2.2}$$

ค่า J จะเป็นส่วนหนึ่งของสมการการเคลื่อนที่โดยจะใช้ค่า J ของสมการที่ (2.2) เมื่อดูจากภาพที่ 1 แล้วนำมาเขียนเป็นสมการการเคลื่อนของระบบที่จะได้ว่า

$$\sum M = J\ddot{\theta} \tag{2.3}$$

$$Fr - c\dot{\theta} = j\ddot{\theta} \tag{2.4}$$

$$\frac{J}{r}\ddot{\theta} + \frac{c}{r}\dot{\theta} = F \tag{2.5}$$

ทำการย้ายข้างสมการที่ (2.5) เพื่อหาค่า $\ddot{\theta}$ ดังนั้นสมการจะอยู่ในรูป

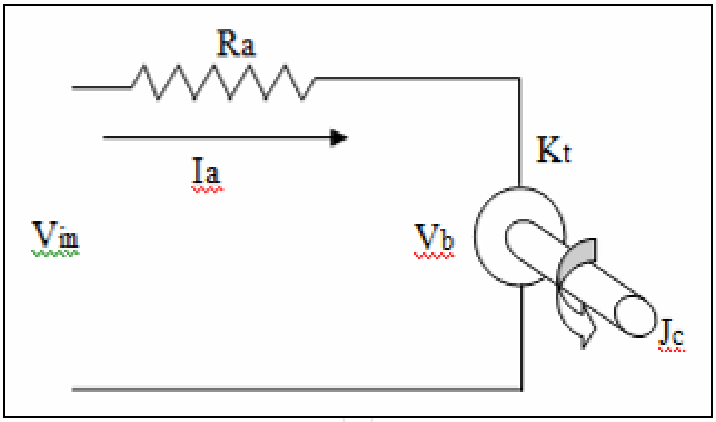
$$\ddot{\theta} = \left(\frac{F - \frac{c}{r}\dot{\theta}}{J}\right) r \tag{2.6}$$

$$\ddot{\theta} = \frac{r}{J}F - \frac{c}{J}\dot{\theta} \tag{2.7}$$

ดังนั้นจะได้สมการที่ (2.7) ซึ่งเป็นสมการการเคลื่อนที่ของแผ่นระนาบที่พิจารณาสำหรับแกน X และในทำนองเดียวกันเมื่อต้องการหาค่าทางด้านแกน Y ก็จะใช้สมการเดียวกันแต่จะเปลี่ยนจาก θ เป็น β แทน

$$\ddot{\beta} = \frac{r}{J}F - \frac{c}{J}\dot{\beta} \tag{2.8}$$

2. การสร้างสมการ Mathematical Model ของ Servo Motor เพื่อหาค่าแรงที่กระทำกับแผ่นระนาบ



ภาพที่ 2

RATINGS AND SPECIFICATIONS

Item	Motor Type UGFMED-	B5T20E	B5S20E	B5M20E	B5L20E
Rated Output	W	6.2	8.2	12.3	17.4
Rated Torque	N·m (oz·in)	0.029(4.2)	0.039(5.6)	0.059(8.3)	0.083(11.8)
Rated Speed	r/min	2000	2000	2000	2000
Rated Voltage	V	16.1	26.0	30.0	19.4
Rated Current	A	1.0	0.66	0.76	1.66
Rated Power Rate	kW/s	0.29	0.35	0.57	0.90
Rated Angular Acceleration	rad/s^2	10000	8880	9670	10760
Instantaneous Peak Torque	N·m (oz·in)	0.157(22.2)	0.186(26.4)	0.275(38.9)	0.392(55.6)
Instantaneous Max. Speed	r/min	4000	4000	4000	4000
Moment of Inertia (with Encoder) J_M (=$GD^2_M/4$)	$kg{\cdot}m^2$ ($oz{\cdot}in{\cdot}s^2$)	2.9×10^{-6} (4.2×10^{-4})	4.4×10^{-6} (6.3×10^{-4})	6.1×10^{-6} (8.6×10^{-4})	7.7×10^{-6} (11×10^{-4})
Armature Winding Resistance	Ω	6.2	12.5	11.2	3.1
Armature Inductance	mH	2.4	6.0	6.2	1.9
Induced Voltage Constant	V/1000 (r/min)	3.8	7.6	9.7	6.2
Torque Constant	N·m/A (oz·in/A)	0.036(5.1)	0.073(10.3)	0.092(13.1)	0.059(8.38)
Friction Torque	N·m (oz·in)	0.0039 (0.56)	0.0048 (0.70)	0.0059 (0.83)	0.0069 (0.97)
Viscous Damping Coefficient	N·m/ (r/min) (oz·in/ (r/min))	0.39×10^{-6} (5.6×10^{-5})	0.59×10^{-6} (8.3×10^{-5})	0.88×10^{-6} (12.5×10^{-5})	0.98×10^{-6} (14×10^{-5})
Inertia Time Constant	ms	14	10.5	8.4	6.9
Inductive Time Constant	ms	0.39	0.48	0.55	0.61
Approx. Mass	g (oz)	280(9.88)	330(11.6)	390(13.8)	450(15.9)

ภาพที่ 3 [3]

นำค่าจากรูปที่ 3 มาพิจารณาเพื่อนำมาหาค่า F ที่ต้องการโดยจะใช้กฎของ เคอร์ชอฟร์ (Kirhhoff's Voltage Law) [4] ซึ่งจะได้รูปแบบสมการดังนี้

$$V_{in} - I_a R_a - V_b = 0 \qquad (2.9)$$

และเมื่อ

$$I_a R_a = -K_e \omega + V_{in} \qquad (2.10)$$

และค่า V_b (กระแสไฟที่ตัวมอเตอร์ผลิตออกมา) นั้นหาได้จาก

$$V_b = K_e \omega \qquad (2.11)$$

และเมื่อนำมาย้ายข้างจะได้

$$K_e = \frac{V_b}{\omega} \quad (2.12)$$

เมื่อ

$$F = K_t I_a \quad (2.13)$$

และเมื่อพิจารณาสมการที่ (2.10) จะได้

$$I_a = \left(\frac{V_{in} - K_e\omega}{R_a}\right)$$

(2.14)

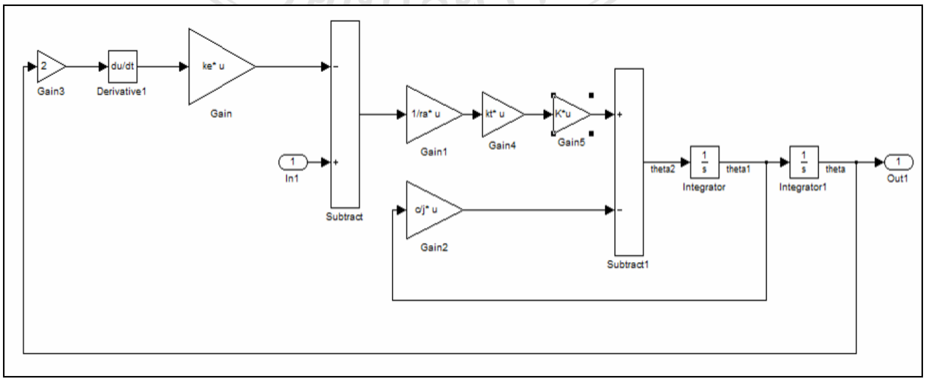
นำสมการที่ (2.14) แทนลงในสมการที่ (2.13) จะได้

$$F = \left(\frac{V_{in} - K_e\omega}{R_a}\right) K_t \quad (2.15)$$

โดยที่ V_{in} นั้นจะไม่ใช่ค่าคงที่แต่จะมีค่าแปรผันซึ่งขึ้นอยู่กับ Volt ที่เราจ่ายเข้าไปในระบบจากนั้นนำค่าต่างที่ได้จากตาราง Rating And Specifications มาประกอบกับสมการข้างต้นนั้นแล้วจะได้เป็นค่า *F* ซึ่งจะเป็นค่า Mathematical Model ของตัวมอเตอร์แล้วจึงนำไปประกอบกับค่า Mathematical Model ของแผ่นระนาบตามสมการที่ (2.7) และ (2.8) เพื่อนำไปประกอบการทำแบบจำลอง

3. การจำลอง Matlab/ Simulink ของแผ่นระนาบ

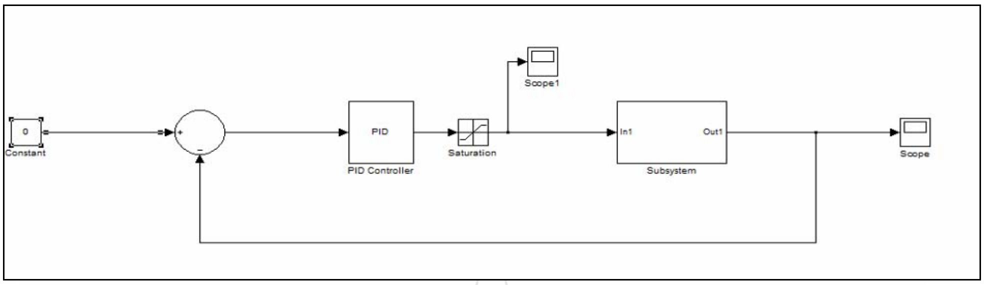
หาผลตอบสนองของแผ่นระนาบที่ทำมุมเอียง20องศาให้กลับมาเป็น0องศาใน Matlab/ Simulink เพื่อทำการวิเคราะห์ระยะเวลาในการกลับคืนสภาวะของแผ่นระนาบ



ภาพที่ 4

ภาพที่ 4 เป็นการนำ Mathematical Model มาทำการเขียน Simulink

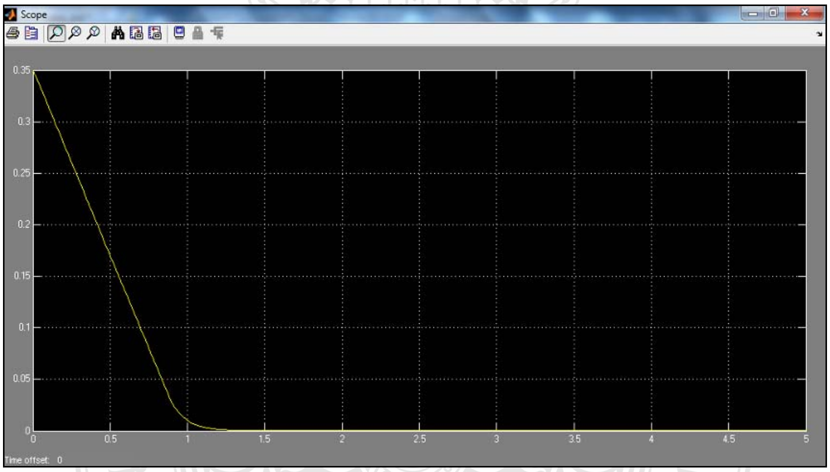
4. ทำในส่วนควบคุมระบบให้อยู่ในค่าที่ยอมรับได้ (PID)



ภาพที่ 5

ภาพที่ 5 เป็นการนำ Mathematical Model มาควบคุมด้วย PID Control

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง



ภาพที่ 6

จากภาพที่ 6 แสดงให้เห็นว่าแผ่นระนาบจะเคลื่อนตัวกลับมาจาก 20 องศาถึง 0 องศาในเวลา 1.25 วินาทีโดยที่จะยังไม่เกิดการสั่นของกราฟและกราฟจะยังคงนิ่งต่อไป

สรุป

การทำสมการ Mathematical model ของแผ่นระนาบและ Servo Motor เพื่อที่จะนำมาทำการจำลองระบบใน Matlab/ Simulink โดยใช้การควบคุมแบบ PID Control เมื่อพิจารณาจากกราฟแผ่นระนาบจะเคลื่อนตัวกลับมาจาก 20 องศาถึง 0 องศาในเวลา 1.25 วินาทีและจะใช้เวลาในการกลับคืนลดลงมา ตามองศาที่น้อยลงตามภาพที่7

องศา	5	10	15	20
เวลา/วินาที	0.05	0.75	1	1.25

ภาพที่7

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์ ดร.มณูศักดิ์ จานทอง ที่ให้คำปรึกษาตลอดการทำวิทยานิพนธ์นี้และขอขอบคุณอาจารย์ ดร.พิพัฒน์ ปราโมทย์ ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

เอกสารอ้างอิง

[1] Khalil sultan is currently persuing industrial electronic at the instate of industrial electronic engineering (iiee),(pcsir),(netduet) Karachi, Pakistan

[2] (HEM 351 DYNAMIC SYSTEM LAB 16/8/2010)

[3] วรวัต มีชัย 14/9/2553 75/1 ม.7 ต.หัวนา อ.เดิมบางนางบวช จ.สุพรรณบุรี 72120 อาสาสมัคร องค์การพิพิธภัณฑ์วิทยาศาสตร์แห่งชาติ

[4] www.fivedot.coe.psu.ac.th

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายวิชชา อุปภัย
วัน เดือน ปีเกิด	31 ธันวาคม 2527
ที่อยู่	232 หมู่ 2 ซอยเยาวพรรณ แขวงบางระมาด เขตตลิ่งชัน กรุงเทพมหานคร
การศึกษา	สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปี พ.ศ. 2550
ประสบการณ์การทำงาน	บริษัท Gold Press Industry Co., ltd (Thai Summit Group) แผนก Maintenance and automation Divition ตำแหน่ง Engineer

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี