

ระบบควบคุมไฮดรอลิกใบมีดดันดินให้อยู่ในแนวระดับโดยอัตโนมัติ

HYDRAULIC CONTROL SYSTEM FOR AUTOMATIC LEVELING

DOZER BLADE

พงษ์พันธ์ คำป๋อก

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2562

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ระบบควบคุมไฮดรอลิกใบมีดดันดินให้อยู่ในแนวระดับโดยอัตโนมัติ

พงษ์พันธ์ คำปอก

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

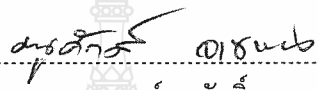
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี


ปีการศึกษา 2562


ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี


หัวข้อวิทยานิพนธ์ ระบบควบคุมไฮดรอลิกใบมีดดันดินให้อยู่ในแนวระดับโดยอัตโนมัติ
Hydraulic Control System for Automatic-Leveling Bulldozer Blade
ชื่อ - นามสกุล นายพงษ์พันธ์ คำป็อก
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิพัฒน์ ปราโมทย์, Ph.D.
ปีการศึกษา 2562

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

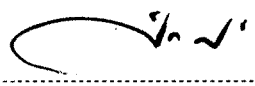

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์มนูศักดิ์ จานทอง, Dr.-Ing.)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปรัชญา เปรมปราณีรัชต์, Ph.D.)


..... กรรมการ
(อาจารย์มานพ แยมแพง, פר.ด.)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิพัฒน์ ปราโมทย์, Ph.D.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวกร อ่างทอง, Ph.D.)
วันที่ 17 เดือน เมษายน พ.ศ. 2563

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ระบบควบคุมไฮดรอลิกใบมีดต้นดินให้อยู่ในแนวระดับโดยอัตโนมัติ
ชื่อ – นามสกุล	นายพงษ์พันธ์ คำป็อก
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิพัฒน์ ปราโมทย์, Ph.D.
ปีการศึกษา	2562

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอการออกแบบระบบควบคุมไฮดรอลิกและระบบกลไกสำหรับปรับใบมีดต้นดินของรถแทรกเตอร์การเกษตรให้อยู่แนวระดับอย่างต่อเนื่องในสภาพแวดล้อมการทำงานที่มีความลาดเอียงซ้ายขวาและพื้นผิวไม่สม่ำเสมอโดยอัตโนมัติเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของแทรกเตอร์การเกษตร

การออกแบบระบบควบคุมแบบพีไอดีในอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมเซอร์โววาล์ว ใช้ข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์วัดความเร็วเชิงมุมและมุมเอียงที่ติดตั้งไว้กับตัวรถแทรกเตอร์ไปควบคุมกระบอกลไฮดรอลิกให้ใบมีดต้นดินอยู่ในแนวระดับขนานกับพื้นดินอย่างสม่ำเสมอ มีการกำหนดการทดสอบตัวรถให้มีมุมเอียงไม่เกิน 20 องศา

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบควบคุมแบบพีไอดีสามารถควบคุมใบมีดต้นดินให้อยู่แนวระดับโดยอัตโนมัติ สามารถลดค่าโอเวอร์ชูต ค่าแกว่งของระบบ และลดเวลาเข้าที่ให้เป็นตามที่ต้องการ การปรับจูนพารามิเตอร์ของระบบควบคุมแบบพีไอดีที่เหมาะสมที่สุด ทำให้ระบบสมดุลและได้ผลลัพธ์ตรงตามต้องการมากที่สุด คือ วิธีวงปิดในโหมดการควบคุมอัตโนมัติ ค่าทดสอบที่ดีที่สุดคือ $K_p = 12$ $K_i = 2$ และ $K_d = 2$ เมื่อพิจารณาจากองศาของใบมีดต้นดินที่อยู่ในช่วง ± 2 องศา และมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ : ไฮดรอลิก ใบมีดต้นดิน ระบบควบคุมแบบพีไอดี เซอร์โววาล์ว

Thesis Title Hydraulic Control System for Automatic-Leveling Bulldozer Blade
Name - Surname Mr. Pongpun komepork
Program Mechanical Engineering
Thesis Advisor Assistant Professor Pipat Pramot, Ph.D.
Academic Year 2019

ABSTRACT

This research aimed to present a design of a hydraulic control system and mechanical system for automatically leveling the bulldozer blade when the bulldozer was operated on uneven ground and slopes. This would enable the bulldozer to perform more efficiently.

Based on the data receiving from the angular velocity sensors installed in the bulldozer, the designed PID control system in the microcontroller directed hydraulic servo valve systems to continuously align the bulldozer blade. In the experiment, the bulldozer was set on slopes less than 20 degrees.

The study revealed that the designed PID control system could automatically align the bulldozer blade. Moreover, it could reduce the overshoot, the oscillations, and the setting time as expected. The optimal tuning parameters of the PID controller for a stable system and the required results were the closed-loop control function in an automatic control mode ($K_p = 12$ $K_i = 2$ and $K_d = 2$) when the angle of the bulldozer blade was ± 2 degrees with the mean percentage error of less than ten percent.

Keywords: hydraulic, bulldozer blade, PID control system, servo valve

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิพัฒน์ ปราโมทย์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์มนูศักดิ์ จานทอง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูง ที่ได้ให้คำปรึกษา ให้ข้อเสนอแนะและให้แนวทางในการแก้ปัญหา ตลอดจนให้ข้อคิดต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการทำวิจัย รวมทั้งให้อุปกรณ์จำเป็นสำหรับ ใช้ประกอบการวิจัย และที่สำคัญคือให้ความดูแลและสอบถามถึงความก้าวหน้าของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ตลอดมา จนทำให้ผู้เขียนมีกำลังใจทำงานจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้เขียนรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิพัฒน์ ปราโมทย์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปรัชญา เปรมปราณีรัชต์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์มนูศักดิ์ จานทอง และ อาจารย์มานพ แยมแพง ที่ได้ให้คำแนะนำเพิ่มเติม พร้อมทั้งข้อเสนอแนะ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและบุคลากรที่เกี่ยวข้องทุกท่าน ที่ได้เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือในการทำวิจัย พร้อมทั้งยังอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้วิจัยให้สามารถทำวิจัยได้อย่างราบรื่น รวมถึงมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่สนับสนุนสถานที่ในการสอบ

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

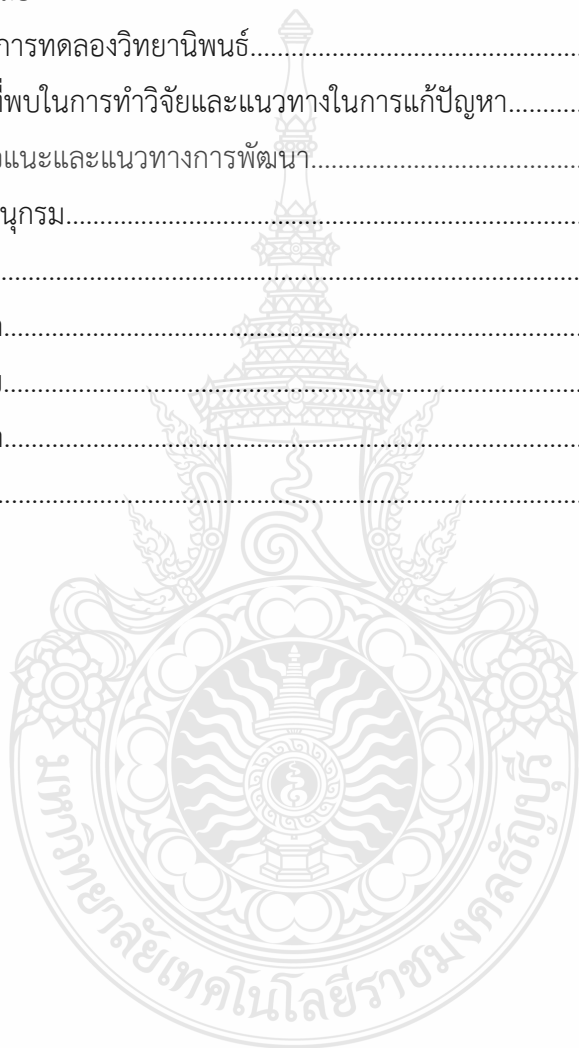
พงษ์พันธ์ คำปือก

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	3
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	4
กิตติกรรมประกาศ.....	5
สารบัญ.....	6
สารบัญตาราง.....	8
สารบัญรูป.....	9
บทที่ 1 บทนำ.....	11
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	11
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	11
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย.....	12
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	12
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	13
2.1 ภัยที่เกี่ยวข้องกับระบบควบคุมไฮดรอลิกสำหรับใบมีดต้นดินอัตโนมัติ.....	13
2.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	14
2.3 หลักการทำงานของซอฟต์แวร์แลบวิว.....	20
2.4 ตัววัดความเร่ง [10].....	22
2.5 หลักการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ NI myRIO [11].....	23
2.6 ตัวควบคุมพีไอดี.....	24
2.7 หลักการทำงานของวาล์วควบคุมแบบสัดส่วน.....	27
2.8 การจูนตัวควบคุมแบบ พีไอดี โดยวิธีของซีกเกเลอร์-นิโคลส์.....	30
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	30
3.1 การออกแบบโครงสร้างกลไกใบมีดต้นดิน.....	35
3.2 อุปกรณ์และเซนเซอร์ที่ใช้ในการทดสอบ.....	35
3.3 เซอร์โววาล์ว.....	36
3.4 เซนเซอร์วัดมุมเอียง.....	37
3.5 กระจบอสูบไฮดรอลิก.....	37
3.6 วาล์วจำกัดความดัน.....	37
3.7 ระบบส่งสัญญาณควบคุมระบบไฮดรอลิกสำหรับใบมีดต้นดินอัตโนมัติ.....	37

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.8.การจำลอง LabVIEW ของระบบไฮดรอลิกสำหรับใบมีดดันดินอัตโนมัติ.....	39
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	40
4.1 การทดลองการทำงานของระบบใบมีดดันดินอัตโนมัติ.....	40
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	47
5.1 สรุปผลการทดลองวิทยานิพนธ์.....	47
5.2 ปัญหาที่พบในการทำวิจัยและแนวทางในการแก้ปัญหา.....	48
5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา.....	49
5.4 บรรณานุกรม.....	50
ภาคผนวก.....	52
ภาคผนวก ก.....	53
ภาคผนวก ข.....	69
ภาคผนวก ค.....	74
ประวัติผู้เขียน.....	78



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ผลตอบสนองของตัวแปร.....	28
ตารางที่ 2.2 ค่าอัตราขยายของตัวควบคุม.....	31
ตารางที่ 2.3 ค่าเกนของตัวควบคุมแบบวิธีการวิฤจักรสุดท้าย.....	33
ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย.....	34
ตารางที่ 5.1 ผลการทดสอบพารามิเตอร์ $K_p= 12$ $K_i= 2$ และ $K_d= 2$	48
ตารางที่ 5.2 ผลการทดสอบพารามิเตอร์ $K_p= 18$ $K_i= 0.008$ และ $K_d= 0.01$	48



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 กลไกตัวเลื่อน-ข้อเหวี่ยง	14
รูปที่ 2.2 เครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน	15
รูปที่ 2.3 การเคลื่อนที่ของกลไกก้านต่อ 4 ชั้นที่มีการเคลื่อนที่ในลักษณะต่างๆ.....	16
รูปที่ 2.4 ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของกลไกก้านต่อ 4 ชั้น.....	18
รูปที่ 2.5 ตำแหน่งการเคลื่อนที่อีกตำแหน่งหนึ่งที่เป็นไปได้ ของกลไกก้านต่อ 4 ชั้นในรูป2.4.....	19
รูปที่ 2.6 ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของกลไกก้านต่อ 4 ชั้น ที่เกิดจุดตาย.....	19
รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง มุมตาม (θ_3 และ θ_4) และมุมส่งผ่าน (γ) กับมุมขับ (θ_2).....	20
รูปที่ 2.8 Front panel ของโปรแกรม LabVIEW.....	21
รูปที่ 2.9 บล็อกไดอะแกรม ของโปรแกรม LabVIEW	22
รูปที่ 2.10 โครงสร้างและตำแหน่งของขาต่อใช้งาน	22
รูปที่ 2.11 ตำแหน่งและทิศทางของตัววัดความเร่ง	23
รูปที่ 2.12 ไมโครคอนโทรลเลอร์ NI myRIO	24
รูปที่ 2.13 การควบคุมแบบพีไอดี	24
รูปที่ 2.14 การควบคุมแบบป้อนกลับ [16].....	25
รูปที่ 2.15 วาล์วควบคุมแบบสัดส่วน [17].....	27
รูปที่ 2.16 โครงสร้างวาล์วชนิดไม่มีอิเล็กทรอนิกส์การ์ด [17].....	28
รูปที่ 2.17 โครงสร้างวาล์วชนิดมีอิเล็กทรอนิกส์การ์ด [17].....	29
รูปที่ 2.18 โครงสร้างวาล์วชนิดมีอิเล็กทรอนิกส์การ์ด [17].....	29
รูปที่ 2.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงและระยะการเคลื่อนที่แกนอาเมเจอร์ [17].....	30
รูปที่ 2.20 การตอบสนองของระบบโดยวิธีการปฏิบัติการของกระบวนการ.....	31
รูปที่ 2.21 การตอบสนองของระบบโดยวิธีวัฏจักรสุดท้าย	32
รูปที่ 2.22 ลักษณะสัญญาณเมื่อเกิดการแกว่ง หรือเสถียรภาพแบบขอบ	32
รูปที่ 3.1 การออกแบบใบมีดต้นดินอัตโนมัติ	35
รูปที่ 3.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ NI myRIO.....	35
รูปที่ 3.3 เซอร์โววาล์ว	36
รูปที่ 3.4 ระบบไฮดรอลิกสำหรับใบมีดต้นดินอัตโนมัติ.....	38
รูปที่ 3.5 การเชื่อมต่อชุดใบมีดต้นดินกับไมโครคอนโทรลเลอร์	38
รูปที่ 3.6 Double Rocker Diagram ของชุดใบมีดต้นดินอัตโนมัติ	39

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.7 การเขียนโปรแกรม LabVIEW ใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี	39
รูปที่ 4.1 ระบบควบคุมสำหรับใบมีดต้นดินอัตโนมัติด้วยระบบไฮดรอลิกและระบบมอเตอร์ไฟฟ้า	40
รูปที่ 4.2 ผลการทดลองที่มุม -20 องศาของระบบไฮดรอลิก $K_p= 18$ $K_i= 0.008$ และ $K_d= 0.01$	41
รูปที่ 4.3 ผลการทดลองที่มุม -20 องศาของระบบไฮดรอลิก $K_p= 12$ $K_i= 2$ และ $K_d= 2$	41
รูปที่ 4.4 ผลการทดลองที่มุม -20 องศาของระบบมอเตอร์ไฟฟ้า.....	42
รูปที่ 4.5 ผลการทดลองที่มุม -10 องศาของระบบไฮดรอลิก $K_p= 18$ $K_i= 0.008$ และ $K_d= 0.01$	42
รูปที่ 4.6 ผลการทดลองที่มุม -10 องศาของระบบไฮดรอลิก $K_p= 12$ $K_i= 2$ และ $K_d= 2$	43
รูปที่ 4.7 ผลการทดลองที่มุม -10 องศาของระบบมอเตอร์ไฟฟ้า.....	43
รูปที่ 4.8 ผลการทดลองที่มุม 10 องศาของระบบไฮดรอลิก $K_p= 18$ $K_i= 0.008$ และ $K_d= 0.01$	44
รูปที่ 4.9 ผลการทดลองที่มุม 10 องศาของระบบไฮดรอลิก $K_p= 12$ $K_i= 2$ และ $K_d= 2$	44
รูปที่ 4.10 ผลการทดลองที่มุม 10 องศาของระบบมอเตอร์ไฟฟ้า	45
รูปที่ 4.11 ผลการทดลองที่มุม 20 องศาของระบบไฮดรอลิก $K_p= 18$ $K_i= 0.008$ และ $K_d= 0.01$	45
รูปที่ 4.12 ผลการทดลองที่มุม 20 องศาของระบบไฮดรอลิก $K_p= 12$ $K_i= 2$ และ $K_d= 2$	46
รูปที่ 4.13 ผลการทดลองที่มุม 20 องศาของระบบมอเตอร์ไฟฟ้า	46



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เครื่องจักรกลหนักเป็นปัจจัยที่สำคัญที่จะเสริมสร้างความมั่นคงให้แก่ อุตสาหกรรมพื้นฐานหลักของประเทศ ปัจจุบันมีการใช้งานรถแทรกเตอร์การเกษตรเพื่อปรับพื้นผิวดินให้เรียบสำหรับงานการเกษตรและงานการก่อสร้างต่างๆรถแทรกเตอร์จึงเข้ามามีบทบาทที่สำคัญและมีส่วนช่วยในการเป็นเครื่องจักรต้นกำลัง ในการทำงานแล้วทำให้เรามีแนวความคิดที่ในการพัฒนาระบบควบคุมใบมีดคันดินรถแทรกเตอร์ให้เหมาะสมกับการใช้งานในพื้นที่ต่างๆและยังต้องพัฒนาเทคโนโลยีใบมีดคันดินให้มีความเหมาะสมในการทำงานร่วมกับรถแทรกเตอร์ ทำให้การทำงานสะดวกรวดเร็วขึ้น ทำให้เครื่องจักรประเภทนี้มีความสำคัญและจำเป็นต่อการดำเนินงานในยุคปัจจุบัน

ดังนั้นจึงมีแนวความคิดออกแบบระบบควบคุมไฮดรอลิกสำหรับใบมีดคันดินอัตโนมัติเพื่อนำมาติดตั้งและทำงานร่วมกับรถแทรกเตอร์ ซึ่งจะมีส่วนช่วยในการลดปัญหาผู้ควบคุมการทำงาน of เครื่องจักรประเภทนี้ ต้องมีทักษะและความชำนาญสูงลงได้ และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรให้สูงขึ้น วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นกระบวนการออกแบบระบบควบคุมไฮดรอลิกสำหรับใบมีดคันดินอัตโนมัติให้อยู่แนวระดับโดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดีและนำข้อมูลที่ได้จากระบบควบคุมไฮดรอลิกสำหรับใบมีดคันดินอัตโนมัติให้อยู่แนวระดับดังกล่าวเพื่อใช้ได้กับงานจริงให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นต่อไป

ในการออกแบบระบบควบคุมใบมีดคันดินให้อยู่ในแนวระดับมีการกำหนดการทดสอบให้มีมุมเอียงไม่เกิน 20 องศา ออกแบบและทดสอบกลไกใบคันดินด้วยแบบจำลองทางจุลศาสตร์ เพื่อหาหลักการของการปรับองศาของใบคันดินเพื่อให้เกิดความแม่นยำในการทำงาน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบควบคุมแบบพีไอดีสามารถควบคุมใบมีดคันดินอัตโนมัติให้อยู่แนวระดับได้โดยลดการโอเวอร์ชูลง 20 เปอร์เซ็นต์ และลดเวลาเข้าสู่จุดหมายให้เป็นตามที่ต้องการ ค่าความแม่นยำในการควบคุมของใบมีดคันดินจะพิจารณาจากองศาของใบคันดินที่อยู่ในช่วง ± 2 องศา และมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่น้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาและออกแบบระบบควบคุมไฮดรอลิกสำหรับใบมีดคันดินอัตโนมัติให้อยู่ในแนวระดับอัตโนมัติ

1.2.2 เพื่อศึกษาการใช้ข้อมูลจากเซ็นเซอร์วัดความเร็วเชิงมุมและมุมเอียงมาประยุกต์ใช้ในระบบ

ควบคุมแบบป้อนกลับเพื่อควบคุมเซอร์โววาล์ว

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

- 1.3.1 ออกแบบระบบควบคุมใบพัดดินให้อยู่ในแนวระดับให้มีมุมเอียงไม่เกิน 20 องศา
- 1.3.2 ใช้ระบบ PID Controller ในการควบคุมระบบไฮดรอลิกให้ใบพัดดินให้อยู่ในแนวระดับ
- 1.3.3 ใช้เซอร์โววาล์ว เป็นตัวควบคุมกระบอกลูกไฮดรอลิกให้ใบพัดดินอยู่ในแนวระดับ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 เป็นฐานความรู้ในการนำระบบควบคุมใบพัดดินอัตโนมัติให้อยู่ในแนวระดับมาใช้งาน
- 1.4.2 เป็นทางเลือกในการใช้ระบบควบคุมไฮดรอลิกสำหรับใบพัดดินอัตโนมัติให้อยู่แนวระดับ
- 1.4.3 ได้ทราบถึงวิธีการหลักการควบคุมและการแก้ปัญหาในระบบควบคุมไฮดรอลิกสำหรับใบพัดดินอัตโนมัติ



บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับระบบควบคุมไฮดรอลิกสำหรับใบมีดต้นดินอัตโนมัติให้อยู่แนวระดับ การทำงานของวาล์วควบคุมแบบสัดส่วน วิธีการหาสมการโมเมนต์ที่จุดหมุน การทำงานของอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ เช่น เซอร์วัตความเร็วเชิงมุมและมุมเอียง การออกแบบตัวควบคุมแบบพีไอดี และหลักการทำงานของโปรแกรม LabView

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบควบคุมไฮดรอลิกสำหรับใบต้นดินอัตโนมัติ

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

David Evanko, ArendDorsett, Chu Choi [2] จาก Department of Electrical Engineering University of North Florida ได้ทำการวิจัยเรื่อง Ball on beam system with an embadded controller ซึ่งเป็นการทำวิจัยโดยใช้เซนเซอร์แบบ GP2D12 Interface distance sensor ซึ่งจะส่งสัญญาณออกมาในรูปแบบแรงดันทางไฟฟ้า (Voltage) และส่งสัญญาณไปยังชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ แบบ MC9S12C32 ในการสร้างสัญญาณขาออก (Out put) ของระบบโดยใช้ระบบควบคุม พีไอดี ซึ่งเกี่ยวข้องกับงานวิจัยในด้านของการใช้ Sensor เพื่อส่งสัญญาณในรูปแบบแรงดันไฟฟ้าและการใช้ระบบควบคุม พีไอดีในการควบคุม

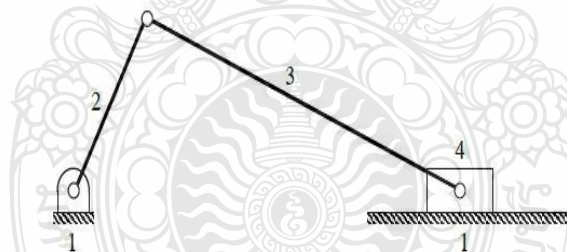
William Wamjohi [3] จาก Swarthmore College ได้ทำการวิจัยเรื่อง Ball and beam control demont strater ซึ่งเป็นการควบคุมลูกบอลโดยการหารูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์โดยการมองชิ้นงานเข้าไปในแบบสองมิติเพื่อทำการหาแรงและองค์ประกอบต่างๆที่มากกระทำกับชิ้นงานและการเขียนโปรแกรมด้วยโปรแกรม Simulink ด้วย MATLAB โดยการทำให้ควบคุมแบบ พีไอดี ซึ่งเป็นตัวอย่างที่ดีในด้านของการเขียนโปรแกรม Simulink ด้วย MATLAB ซึ่งตรงกับงานวิจัยนี้ เป็นเอก เฟ็งวัน และ สุรียัน โชตตะศรี [4] ได้ทำการวิจัยเรื่อง ระบบควบคุมตำแหน่ง

แห่งของลูกบอลบนคาน เป็นการทําวิจัยโดยใช้วงจรรีโอสเปซน วงจรแปรงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอก และการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยใช้ภาษาวิซวลซี พลัสพลัสโดยจุดมุ่งหมายคือบังคับลูกบอลให้ไปยังตำแหน่งที่ต้องการตามที่กำหนดบนคานและรักษาตำแหน่งของบอลนั้นโดยการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสตรงที่ต่อกับคานผ่านทางพูลเล่และสายพาน และใช้ระบบควบคุมแบบ พีไอดีได้ทำการปรับด้วยวิธีลองผิดลองถูกจนได้ค่าที่เหมาะสม

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

Ismail H.Altas [6] จาก KaradinisThecnical University ได้ทำการวิจัยเรื่อง Ball and beam เป็นการหาสมการการเคลื่อนที่และบ่งบอกถึงแนวคิดในการมองโมเดลในรูปแบบสองมิติและแสดงวิธีการเขียนสมการการเคลื่อนที่ให้อยู่ในรูปฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer function) และนำมาทําวีเสตรท สเปซ (State space equation) โดยกำหนดตำแหน่งจุดหมุนของคานอยู่ที่ปลายสุดและรักษาสมดุลของคานให้ได้ตามแนวระนาบซึ่งวิธีการหารูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์นี้เป็นแนวทางเดียวกันกับงานวิจัยในเล่มนี้จึงควรที่จะศึกษาแนวคิดในการสร้างรูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์

2.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์



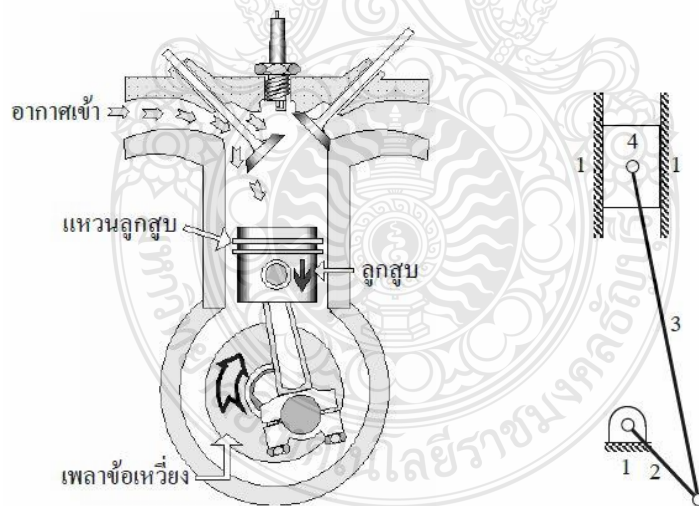
รูปที่ 2.1 กลไกตัวเลื่อน-ข้อเหวี่ยง (Slider-Crank) [6]

กลไก (Mechanism) และเครื่องจักรกล (Machine) เกิดจากการต่อรวมกันของวัตถุแข็งเกร็ง (Rigid Body) หลายๆชิ้น โดยที่วัตถุเหล่านั้นถูกต่อกันไว้และมีลักษณะการเคลื่อนที่เฉพาะตัว ทั้งนี้การเคลื่อนที่ของวัตถุแข็งเกร็งชิ้นหนึ่งจะส่งผลให้วัตถุแข็งเกร็งชิ้นอื่นๆเคลื่อนที่ตามไปด้วย หรืออาจกล่าวได้ว่าขั้นตอนโยงลูกโซ่แบบบังคับ (Constrained Chain) คือกลไกพื้นฐานได้แก่กลไกก้านต่อ (Linkage) เครื่องจักรกล (Machinery) อาจเป็นกลไกชิ้นเดียวหรือหลายชิ้นต่อกัน โดยจะมีการส่งผ่านแรงจาก

แหล่งกำเนิดไปตามกลไกแต่ละชิ้นเพื่อถ่ายทอดแรงดังกล่าว ไปยังวัตถุแข็งเกร็งขึ้นที่เป็นเป้าหมายกลไก ตัวเลื่อน-ข้อเหวี่ยง (Slider-Crank) ในรูปที่ 2.1 ประกอบด้วยข้อเหวี่ยง (Crank) หมายเลข 2, ก้านต่อ (Connecting Rod) หมายเลข 3 และตัวเลื่อน (Slider) หมายเลข 4 โดยกลไกนี้สามารถนำมาประยุกต์เป็นเครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน (Internal Combustion Engine) ได้ ซึ่งจะทำหน้าที่ส่งผ่านแรงจากการเผาไหม้ (Combustion) ผ่านลูกสูบ (Piston) ซึ่งก็คือ ตัวเลื่อนไปยังก้านสูบ ซึ่งก็คือ ก้านต่อและไปยังข้อเหวี่ยงเพื่อหมุนเพลาเครื่องยนต์

2.2.1 แผนภาพจลนศาสตร์ (Kinematic Diagram)

ในการศึกษากลศาสตร์เครื่องจักรกล การใช้ภาพถ่ายหรือภาพเขียนของกลไกจริงมาพิจารณา จะยากกว่าการใช้แผนภาพจลนศาสตร์ ซึ่งเป็นการเขียนรูปแทนกลไกซึ่งโดยปกติจะประกอบด้วยชิ้นส่วนต่างๆมากมาย ทำให้ยุ่งยากที่จะเขียนรูปเหมือน ดังนั้น จึงเลือกเขียนเฉพาะชิ้นต่อโยงที่มีความสำคัญต่อการพิจารณาเท่านั้น โดยใช้เส้นตรงหรือเส้นโค้งแทนชิ้นต่อโยง ดังในรูปที่ 2.2 (ก) ซึ่งแสดงภาพเขียนของเครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน ซึ่งจะยากต่อการพิจารณา ดังนั้น จึงใช้แผนภาพจลนศาสตร์ ดังในรูปที่ 2.2 (ข) ช่วยในการพิจารณา ซึ่งจะทำให้พิจารณาได้ง่ายขึ้น โดยที่ไม่ทำให้การวิเคราะห์ผิดพลาดไป แต่อย่างไร



(ก) ภาพเขียน

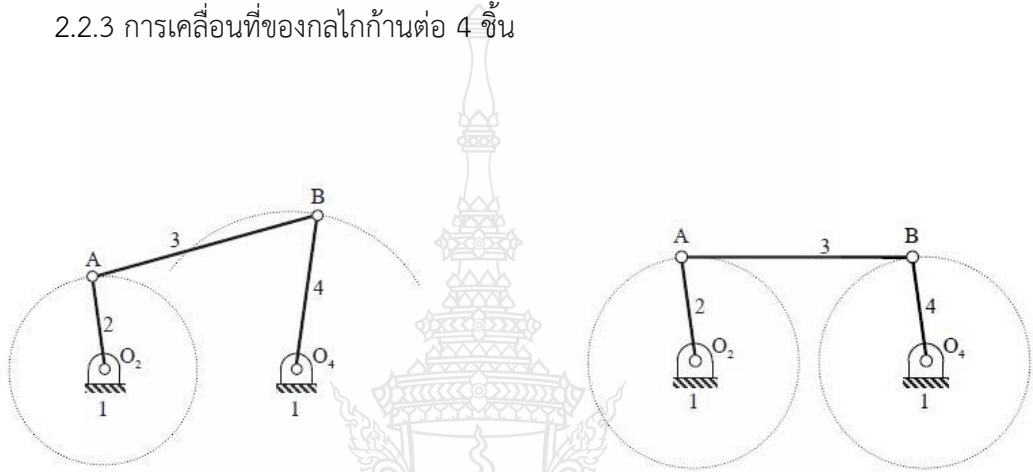
(ข) แผนภาพจลนศาสตร์

รูปที่ 2.2 เครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน (Internal Combustion Engine) [6]

2.2.2 กลไกและกลไกก้านต่อ (Mechanism and Linkage)

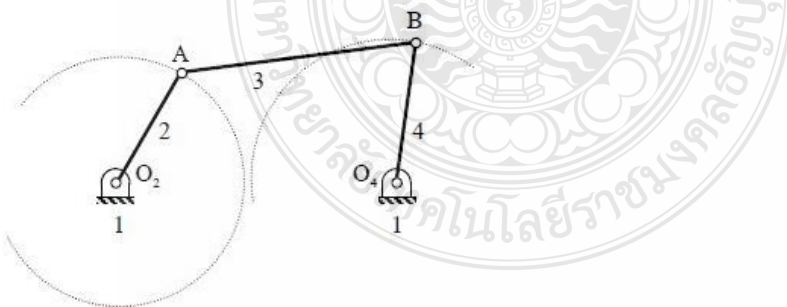
กลไก (Mechanism) เกิดจากการต่อรวมกันของวัตถุแข็งเกร็งหลายๆชิ้น โดยที่วัตถุเหล่านั้นถูกต่อกันไว้และมีลักษณะการเคลื่อนที่เฉพาะตัวกลไกก้านต่อเป็นกลไกที่เกิดจากการต่อรวมกันของชิ้นต่อโยงโดยกลไกก้านต่อจะทำหน้าที่ส่งผ่านการเคลื่อนที่จากชิ้นต่อโยงหนึ่ง ไปยังชิ้นต่อโยงอื่นๆที่ต้องการ ดังนั้น สิ่งสำคัญที่จะต้องศึกษาเป็นอันดับแรกเกี่ยวกับกลไกก้านต่อ ก็คือ ลักษณะการเคลื่อนที่ของกลไกก้านต่อ รวมไปถึงการวิเคราะห์ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของกลไกก้านต่อนั้นเอง

2.2.3 การเคลื่อนที่ของกลไกก้านต่อ 4 ชิ้น



ก. กลไกแบบข้อเหวี่ยง

ข. กลไกแบบข้อเหวี่ยง 2 ชิ้น



ค. กลไกตัวโยก 2 ชิ้น

รูปที่ 2.3 การเคลื่อนที่ของกลไกก้านต่อ 4 ชิ้นที่มีการเคลื่อนที่ในลักษณะต่างๆ [6]

กลไกก้านต่อ 4 ชั้น อาจจะมีการเคลื่อนที่ได้หลายลักษณะ ดังแสดงในรูปที่ 2.3 (ก-ค) โดยกลไกก้านต่อในรูปที่ 2.3 (ก) จะมีลักษณะการเคลื่อนที่แบบข้อเหวี่ยงและตัวโยก (Rocker) กลไกในรูปที่ 2.3 (ข) จะมีลักษณะการเคลื่อนที่แบบข้อเหวี่ยง 2 ชั้น (Double Crank) และกลไกในรูปที่ 2.3 (ค) จะมีลักษณะ การเคลื่อนที่แบบตัวโยก 2 ชั้นในการอธิบายลักษณะการเคลื่อนที่ของกลไกก้านต่อ 4 ชั้น ที่ระบุขนาดของชั้นต่อโยงแต่ละชั้นแล้วนั้น จะอาศัยกฎของแกรชอฟฟ์ (Grashoff's Law) ซึ่งได้จากการพิจารณาขนาดของชั้นต่อโยงแต่ละชั้น เมื่อผลบวกของความยาวของชั้นต่อโยงที่สั้นที่สุดกับความยาวของชั้นต่อโยงที่ยาวที่สุด มีค่า น้อยกว่าผลบวกของความยาวของชั้นต่อโยง 2 ชั้นที่เหลือ จะแยกการพิจารณาออกเป็น 3 กรณี ดังต่อไปนี้

- เมื่อชั้นต่อโยงที่สั้นที่สุดเป็นข้อเหวี่ยง และชั้นต่อโยงที่อยู่ใกล้กับชั้นต่อโยงที่สั้นที่สุดเป็นชั้นต่อโยงตรึง (Fixed Link) กลไกก้านต่อ 4 ชั้นจะมีลักษณะการเคลื่อนที่เป็นข้อเหวี่ยงและตัวโยก

- เมื่อชั้นต่อโยงที่สั้นที่สุดเป็นชั้นต่อโยงตรึงกลไกก้านต่อ 4 ชั้นจะมีลักษณะ การเคลื่อนที่เป็นข้อเหวี่ยง 2 ชั้น

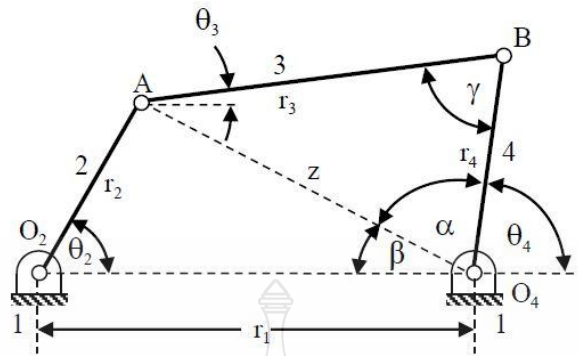
- เมื่อชั้นต่อโยงที่อยู่ตรงกันข้ามกับชั้นต่อโยงที่สั้นที่สุดเป็นชั้นต่อโยงตรึงกลไกก้านต่อ 4 ชั้นจะมีลักษณะการเคลื่อนที่เป็น ตัวโยก 2 ชั้นเมื่อผลบวกของความยาวของชั้นต่อโยงที่สั้นที่สุดกับความยาวของชั้นต่อโยงที่ยาวที่สุด มีค่ามากกว่าผลบวกของความยาวของชั้นต่อโยง 2 ชั้นที่เหลือกลไกก้านต่อ 4 ชั้นจะมีลักษณะ การเคลื่อนที่แบบตัวโยก 2 ชั้นเท่านั้น

2.2.4 เมื่อผลบวกของความยาวของชั้นต่อโยงที่สั้นที่สุดกับความยาวของชั้นต่อโยงที่ยาวที่สุด มีค่าเท่ากับผลบวกของความยาวของชั้นต่อโยง 2 ชั้นที่เหลือ กลไกก้านต่อ 4 ชั้นจะมีลักษณะการเคลื่อนที่เป็นไปได้ทั้ง 3 รูปแบบ คือ ข้อเหวี่ยงและตัวโยกหรือข้อเหวี่ยง 2 ชั้นหรือตัวโยก 2 ชั้น

2.2.5 การวิเคราะห์ตำแหน่งของกลไกก้านต่อ 4 ชั้น (Position Analysis of the Four-Bar Linkage) จากหัวข้อที่ผ่านมา จะสามารถใช้กฎของแกรชอฟฟ์ ระบุลักษณะการเคลื่อนที่ของกลไกก้านต่อ 4 ชั้นได้ แต่ถ้าต้องการที่จะหาว่า เมื่อชั้นต่อโยงข้ออยู่ ณ ตำแหน่งหนึ่ง แล้วชั้นต่อโยงที่เหลือจะอยู่ ณ ตำแหน่งใด จะต้องอาศัยการวิเคราะห์ตำแหน่ง (Position Analysis) ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธีดังต่อไปนี้

2.2.6 วิธีทางเรขาคณิต (Method of Geometry) รูปที่ 2.4 แสดงกลไกก้านต่อ 4 ชั้น (Four-Bar Linkages) ซึ่งประกอบไปด้วยชั้นต่อโยงตรึง หมายเลข 1 ชั้นต่อโยงรับกำลังเข้า (Input Link) หมายเลข 2 ชั้นต่อโยงระหว่างกลาง (Intermediate Link) หมายเลข 3 และชั้นต่อโยงส่งกำลังออก (Output Link) หมายเลข 4 และจากรูปที่ 2.4 นั้น การวิเคราะห์ตำแหน่ง (Position- Analysis) คือ การหาฟังก์ชันที่อธิบายค่าตัวแปรของชั้นต่อโยง ส่งกำลังออกซึ่งจากรูปที่ 2.4 คือ θ_4 โดยอาศัยค่าตัวแปรของชั้นต่อโยงรับกำลังเข้าซึ่งจากรูปที่ 2.4 คือ θ_2 ซึ่งถ้าอธิบายโดยการเขียนเป็นสมการ ก็คือ $\theta_4=f(\theta_2)$

นั่นเอง จากรูปที่ 2.4 สามารถใช้วิธีทางเรขาคณิตในการวิเคราะห์ตำแหน่งได้ดังนี้



รูปที่ 2.4 ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของกลไกก้านต่อ 4 ชิ้น [6]

พิจารณา $\Delta AO_2 O_4$ และ ΔABO_4 โดยใช้กฎของโคไซน์ (Cosine Law) จะได้

$$z^2 = r_1^2 + r_2^2 - 2r_1 r_2 \cos \theta_2 \quad (2.1)$$

$$z^2 = r_3^2 + r_4^2 - 2r_3 r_4 \cos \gamma \quad (2.2)$$

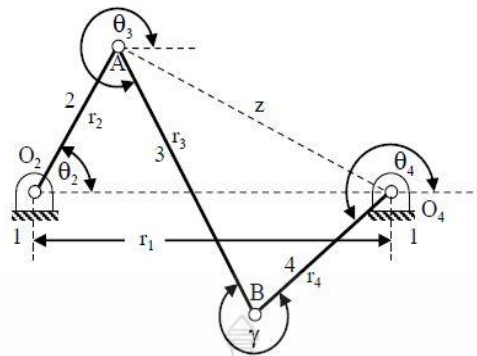
ค่า z ในสมการที่ (2.1) เท่ากับ z ในสมการที่ (2.2) เพราะฉะนั้น จะได้

$$r_1^2 + r_2^2 - 2r_1 r_2 \cos \theta_2 = r_3^2 + r_4^2 - 2r_3 r_4 \cos \gamma \quad (2.3)$$

$$\gamma = \cos^{-1} \left[\frac{r_1^2 + r_2^2 - r_3^2 - r_4^2 - 2r_1 r_2 \cos \theta_2}{-2r_3 r_4} \right] \quad (2.4)$$

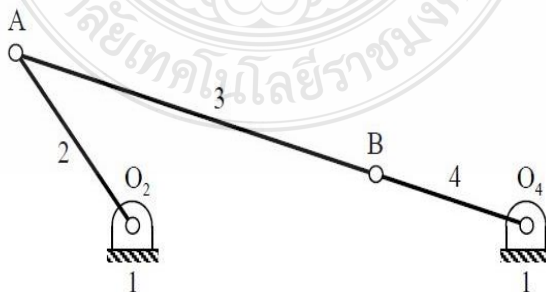
$$\gamma = \cos^{-1} \left[\frac{z^2 - r_3^2 - r_4^2}{-2r_3 r_4} \right] \quad (2.5)$$

จากสมการที่ (2.4) จะพบว่า ถ้า r_1 , r_2 , r_3 และ r_4 มีค่าคงที่ แล้วจะได้ $\gamma = f(\theta_2)$ โดยจาก θ_2 ค่าหนึ่ง จะได้ γ ซึ่งคำนวณจากสมการที่ (2.4) ออกมา 2 ค่า ซึ่ง γ ค่าหนึ่ง จะแสดงลักษณะการเคลื่อนที่ของกลไกก้านต่อ 4 ชิ้น ดังรูปที่ 2.4 ส่วน γ อีกค่าหนึ่ง จะแสดงลักษณะการเคลื่อนที่ของกลไกก้านต่อ 4 ชิ้น อีกลักษณะหนึ่ง ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ตำแหน่งการเคลื่อนที่อีกตำแหน่งหนึ่งที่เป็นไปได้ของกลไกก้านต่อ 4 ชั้นในรูปที่ 2.4[6]

โดยปกติแล้ว การส่งผ่านการเคลื่อนที่หรือการส่งผ่านแรงจะได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดก็ต่อเมื่อขึ้นต่อโยงหมายเลข 3 และขึ้นต่อโยงหมายเลข 4 ตั้งฉากกัน ซึ่งก็คือตำแหน่งที่มีมุมส่งผ่าน (Transmission Angle γ) ซึ่งเป็นมุมระหว่างขึ้นต่อโยงระหว่างกลางและขึ้นต่อโยงส่งกำลังออก เท่ากับ 90° นั้นเอง นอกจากนี้ ไม่ควรให้เกิด จุดตาย (Dead Point) ในกลไกซึ่งเป็นตำแหน่งที่ขึ้นต่อโยงระหว่างกลางอยู่ในแนวเดียวกับขึ้นต่อโยงส่งกำลังออกแต่เนื่องจากกลไกในรูปที่ 2.2 และ 2.3 มีลักษณะการเคลื่อนที่เป็นแบบข้อเหวี่ยงและตัวโยก ดังนั้นจะไม่เกิดจุดตาย แต่ถ้าขึ้นต่อโยงรับกำลังเข้าในกลไกก้านต่อ 4 ชั้น มีลักษณะเป็นตัวโยก กลไกดังกล่าวจะมีโอกาสเกิดจุดตายดังแสดงในรูปที่ 2.4 ซึ่งขึ้นต่อโยงรับกำลังเข้าหมายเลข 2 และขึ้นต่อโยงส่งกำลังออกหมายเลข 4 เป็นตัวโยกนอกจากนี้ถ้าขึ้นต่อโยงทั้ง 4 ชั้นของกลไกก้านต่อ 4 ชั้น อยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกันขึ้นต่อโยงส่งกำลังออกอาจจะเคลื่อนที่กลับจากทิศทางเดิมได้ดังนั้นเพื่อให้ขึ้นต่อโยงส่งกำลังออกเคลื่อนที่ต่อไปในทิศทางเดิมจะต้องอาศัยความเฉื่อย (Inertia) เช่น การใช้ล้อช่วยแรง (Flywheel) เป็นต้น



รูปที่ 2.6 ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของกลไกก้านต่อ 4 ชั้น ที่เกิดจุดตาย[6]

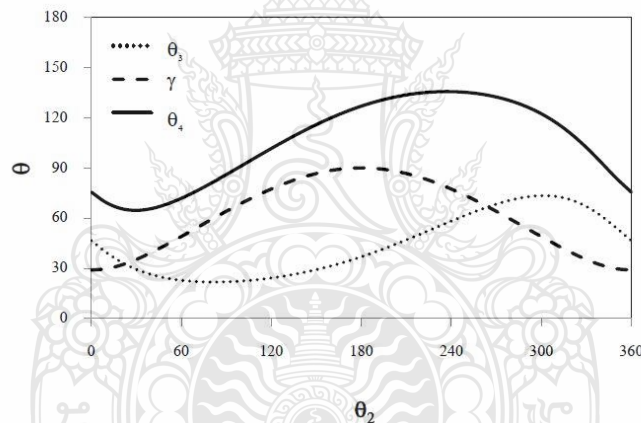
ส่วนมุมส่งกำลังออก (Output Angle θ_4) ของกลไกก้านต่อ 4 ชั้น ในรูปที่ 2.4 และ 2.5 คำนวณได้ดังนี้

$$\alpha = \cos^{-1} \frac{z^2 - r_3^2 + r_4^2}{2zr_4} \quad (2.6)$$

$$\beta = \cos^{-1} \left[\frac{z^2 - r_1^2 + r_2^2}{2zr_1} \right] \quad (2.7)$$

$$\theta_4 = 180^\circ - (\alpha + \beta) \quad (2.8)$$

สมการที่ (2.8) เป็นสมการที่แสดงให้เห็นว่ามุมส่งกำลังออก (Output Angle θ_4) เป็นฟังก์ชันของมุมรับกำลังเข้า (Input Angle θ_2) เนื่องจากมุม α และ β เป็นฟังก์ชันของ θ_2 นั้นเอง

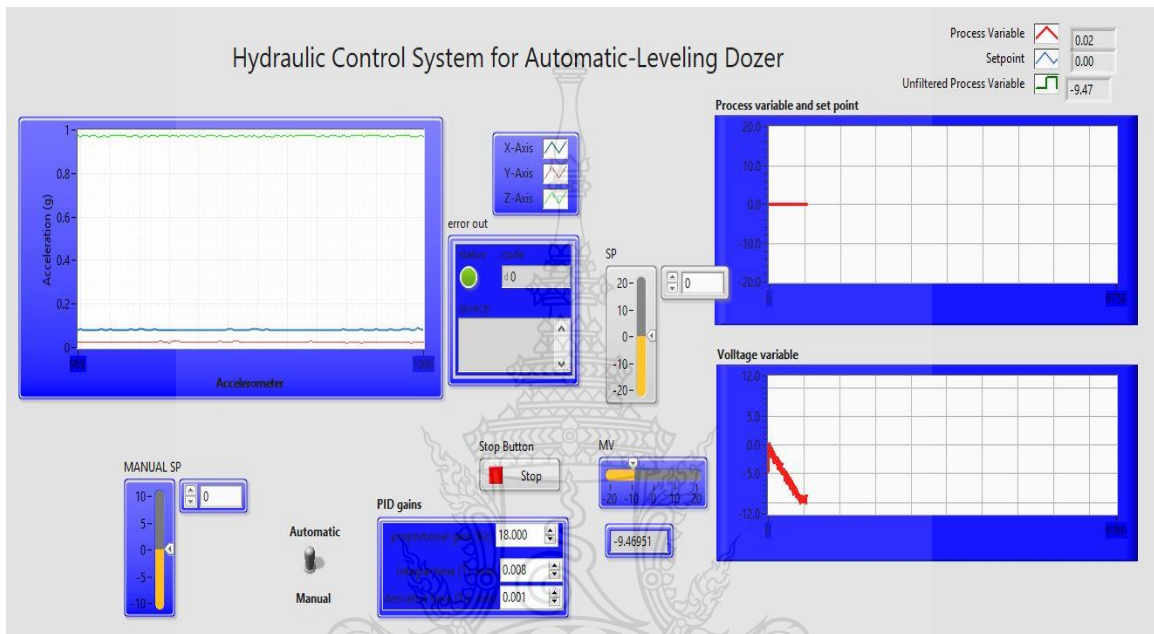


รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง มุมตาม (θ_3 และ θ_4) และมุมส่งผ่าน (γ) กับมุมขับ (θ_2) [6]

2.3 หลักการทำงานของซอฟต์แวร์แลบวิว

ซอฟต์แวร์แลบวิว (LabVIEW) [9] เป็นโปรแกรมที่ใช้ติดต่อสื่อสารกับเครื่องมือต่างๆ ที่อยู่ภายนอกผ่านบอร์ด Data Acquisition ใช้งานเป็น Monitoring หรือในการควบคุมการวัดค่าต่างๆ เช่น strain อุณหภูมิ หรือสัญญาณอื่นๆ โดยมีตัวเซนเซอร์รับสัญญาณเข้ามา โดยเอาต์พุตที่ได้จากเซนเซอร์เหล่านี้จะมีค่าเป็นแรงดันหรือกระแส ซึ่งสามารถอ่านค่าที่ผ่านเข้ามาทาง DAQ Card แล้วบันทึกค่าเป็นไฟล์ข้อมูลได้ ดังนั้นการนำไปใช้จะต้องพิจารณาถึงวัตถุประสงค์และ Application ที่จะใช้ก่อนว่ามี Input เป็นอะไร และต้องการ Output อะไรจากนั้นจึงทำการเลือกอุปกรณ์ให้ตรงตามการใช้งานผู้ใช้

ควรมีพื้นฐานด้านการเขียนโปรแกรมพอสมควร เนื่องจากการติดต่อสื่อสารระหว่างโปรแกรมกับเครื่องมือต่างๆที่อยู่ภายนอกนั้น ผู้ใช้ต้องเขียนโปรแกรมคำสั่งการทำงานเพื่อเรียกข้อมูลการวัดแล้วนำมาดำเนินการและตรวจสอบ หรือการเขียนคำสั่งเพื่อการควบคุมระบบเช่น ให้โปรแกรมสามารถตรวจสอบค่า Strain ที่อ่านได้ว่าถ้ามีค่าไม่เกินกว่าที่กำหนดแล้วจึงค่อยส่งคำสั่งไปควบคุมให้อุปกรณ์อื่นๆทำงานต่อไปได้ โปรแกรม Labview มีองค์ประกอบสำคัญ 3 ส่วน



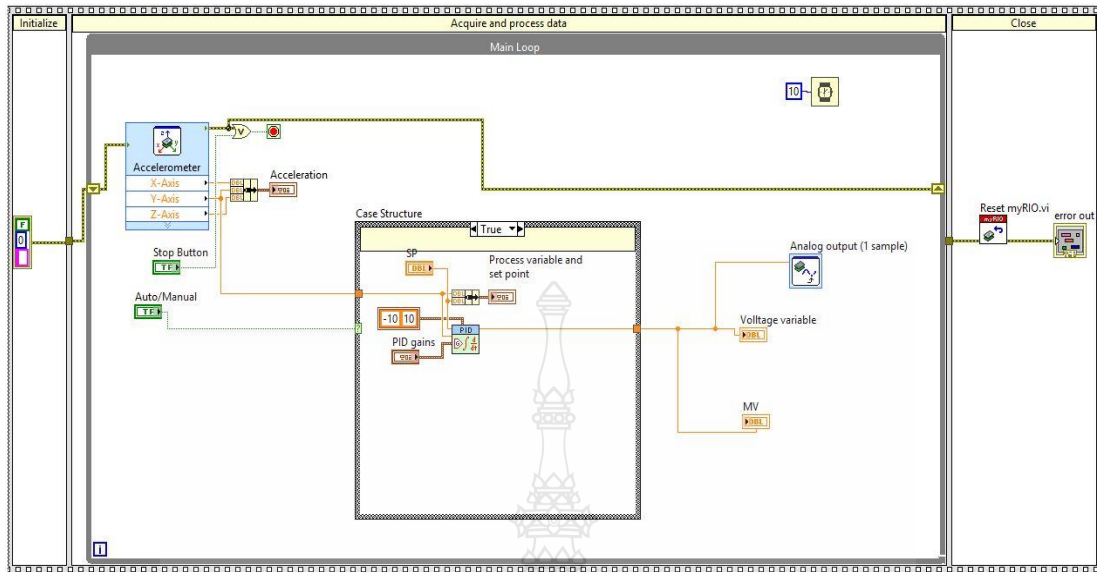
รูปที่ 2.8 Front panel ของโปรแกรม LabVIEW [6]

2.3.1. Front panel เป็นส่วนตั้งค่าการวัดและอ่านค่าตัวเลขหรือกราฟที่ออกมาจาก block diagram จึงทำหน้าที่เสมือนเครื่องมือวัดจริงโดย input ที่ป้อนเข้าไปจะเป็นตัวควบคุม ส่วน output ที่ออกมาจะเป็นตัวแสดงผล

2.3.2. Block diagram ทำหน้าที่เสมือนเป็น Source code โดยใช้โปรแกรมภาษากาฟฟิกองค์ประกอบของ block diagram นี้จะแทนโปรแกรม Node เช่น for loop, case structure และฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ เป็นต้น

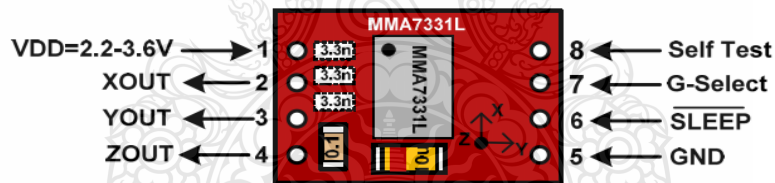
2.3.3. Icon/Connector ภายใน Front panel จะประกอบด้วย icon ต่างๆและมีสายเชื่อมต่อถึงกันในแต่ละ icon ซึ่งเมื่อเชื่อมต่อกันแล้ว จะสามารถเปลี่ยน Virtual instrument (VI) นี้ให้เป็น Sub VI หรือ Object ที่นำกลับมาใช้ใน block diagram ได้อีกการใช้ โปรแกรมเพื่อเชื่อมต่อกับฮาร์ดแวร์ภายนอกทำได้โดยผ่านทางการ์ด DAQ (data acquisition) การเชื่อมต่อสามารถเชื่อมต่อกับ

พอร์ตได้หลายชนิด เช่น พอร์ตขนาน พอร์ตอนุกรม และ HPIB เป็นต้น



รูปที่ 2.9 บล็อกไดอะแกรมของโปรแกรม LabVIEW [10]

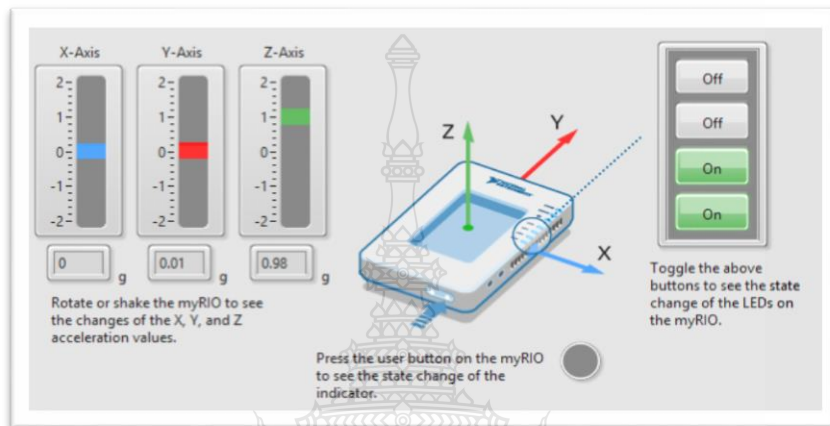
2.4 ตัววัดความเร่ง [10]



รูปที่ 2.10 โครงสร้างและตำแหน่งของขาต่อใช้งาน [10]

ตัววัดความเร่งคืออุปกรณ์ไฟฟ้าเชิงกลที่ใช้เพื่อวัดแรงในการเร่ง แรงนี้อาจเป็นแรงคงที่ เช่น แรงโน้มถ่วงที่ดึงเราไว้ หรืออาจเป็นแรงพลวัตที่เกิดจากการเคลื่อนที่หรือการสั่นสะเทือนตัววัด ความเร่งบางชนิดจะใช้เอฟเฟกต์เพียโซอิเล็กทริกซึ่งอยู่ในโครงสร้างผลึกขนาดเล็กพิเศษที่ได้รับแรงเครียดจากแรงในการเร่ง ซึ่งทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้น วิธีในการวัดอีกอย่างหนึ่งคือการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของความจุไฟฟ้า หากมีโครงสร้างขนาดเล็กสองชุดอยู่ใกล้กัน ก็จะมี ความจุไฟฟ้า หากแรงในการเร่งเคลื่อนโครงสร้างชุดหนึ่ง ความจุไฟฟ้าจะเปลี่ยนไป เมื่อเพิ่มวงจรลงเพื่อเปลี่ยนความจุไฟฟ้าเป็นแรงดัน ก็จะได้ตัววัดความเร่ง ตัววัดความเร่งอาจทำเป็นแบบอะนาล็อกหรือดิจิตอลก็ได้ ตัววัดความเร่งแบบอะนาล็อกจะเอาต์พุตแรงดันต่อเนื่องตามความเร่ง เช่น 2.5V สำหรับ 0g 2.6V สำหรับ 0.5g 2.7V สำหรับ 1g ตัววัดความเร่งดิจิตอลจะการใช้การมอดูเลตความกว้างพัลส์ (PWM) สำหรับ

เอาต์พุต ทำให้ความถี่บางช่วงมีรูปคลื่นสี่เหลี่ยม และจำนวนครั้งที่มีความถี่สูงจะเป็นไปตามปริมาณความถี่ ความถี่ความถี่มีสองชนิด ได้แก่ ชนิดไซน์มิกแมส และเพียโซอิเล็กทริก ตัววัดความถี่ชนิดไซน์มิกแมสมีพื้นฐานบนความเคลื่อนไหวที่สัมพันธ์กันระหว่างมวลและโครงสร้างรองรับ ความถี่ตามธรรมชาติของมวลไซน์มิกจะจำกัดการใช้งานสำหรับความถี่ต่ำและความถี่ปานกลางเท่านั้น ส่วนตัววัดความถี่เพียโซอิเล็กทริกจะมีขนาดที่เล็กและเหมาะกับการใช้งานในความถี่สูง



รูปที่ 2.11 ตำแหน่งและทิศทางของตัววัดความถี่ [10]

2.5 หลักการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ NI myRIO [11]

อุปกรณ์รุ่นล่าสุดที่สถาปัตยกรรม RIO ย่อมาจาก Reconfigurable I/O มีช่องสัญญาณอินพุต Output หลายช่องสัญญาณและสามารถประยุกต์ใช้เพื่อการพัฒนาแอปพลิเคชันได้หลากหลายแขนงทั้งแอปพลิเคชันด้านวิทยาศาสตร์อาทิด้านโครงงานวิศวกรรม ด้านอิเล็กทรอนิกส์เชิงกล ด้านระบบไฟฟ้าควบคุม ด้านหุ่นยนต์อัตโนมัติหรือระบบ ควบคุมแบบสมองกลฝังตัว โดยมีคุณสมบัติรองรับกับการเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอก อาทิเซนเซอร์และแอคทูเอเตอร์ สามารถสร้างโปรแกรมการใช้งานร่วมกับ LabVIEW NI myRIO เป็นฮาร์ดแวร์แบบฝังตัวซึ่งประกอบด้วยตัวประมวลผลระบบปฏิบัติการแบบเรียลไทม์ และชิป FPGA ที่สามารถโปรแกรมช่วยให้สามารถออกแบบระบบที่ซับซ้อนและฝังโปรแกรมเข้าไปยังฮาร์ดแวร์ได้อย่างรวดเร็ว การทำงานของอุปกรณ์คือกระบวนการอ่านค่าสัญญาณทางไฟฟ้าแล้วนำมาเก็บในคอมพิวเตอร์เพื่อการวัด การวิเคราะห์ การจัดเก็บ และการแสดงผลด้วยซอฟต์แวร์

- Analog Input สำหรับสัญญาณอนาล็อก ซึ่งสามารถรับได้หลายช่องสัญญาณ โดยวัดค่าสัญญาณแรงดันจากเซนเซอร์ต่างๆ โดยปกติจะวัดได้ตั้งแต่ -10V จนถึง +10V
- Analog Output สำหรับสร้างสัญญาณอนาล็อกทั้งแบบ DC และ AC ที่เป็น Waveform
- Digital I/O สำหรับสร้างสัญญาณดิจิทัล เพื่อทำงานร่วมกับอุปกรณ์ภายนอกเช่น Switch

relay LED

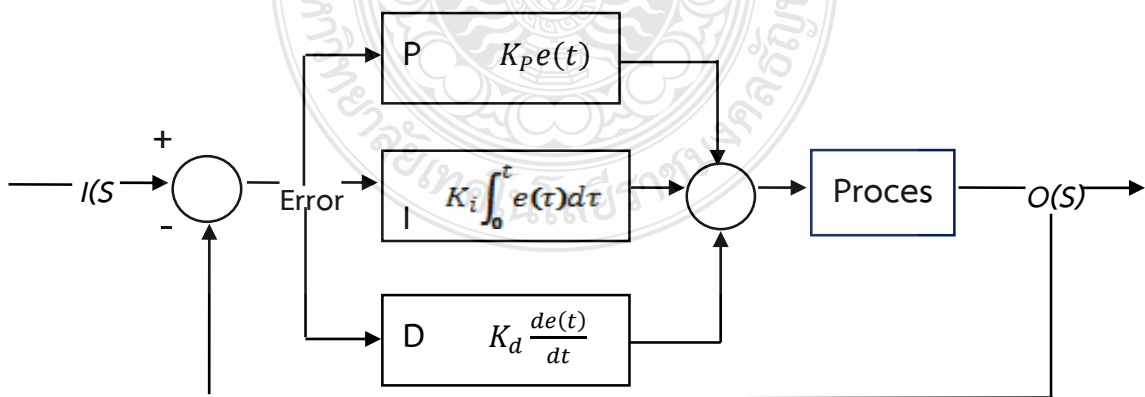
- Counter I/O ทำหน้าที่วัดสัญญาณจาก Encoder หรือสร้างสัญญาณ Pulse



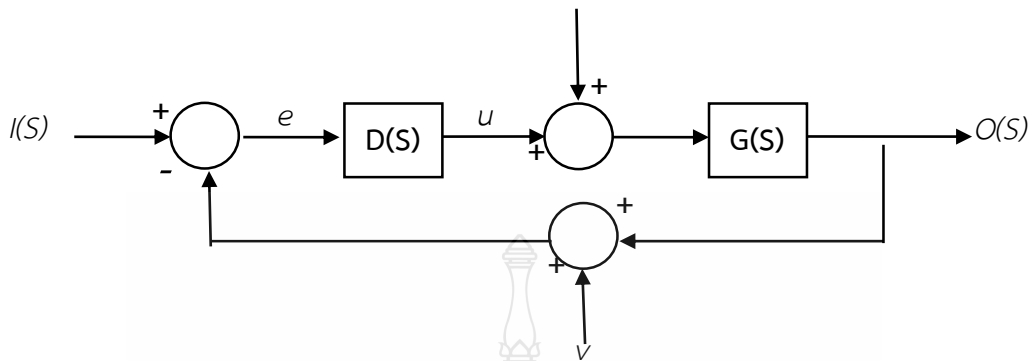
รูปที่ 2.12 ไมโครคอนโทรลเลอร์ NI myRIO [11]

2.6 ตัวควบคุมพีไอดี

ระบบควบคุมพีไอดี คือการควบคุมสัดส่วนป้อนกลับเป็นระบบการควบคุมรูปแบบหนึ่ง ซึ่งใช้การควบคุมในระบบวงปิด หรือระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Closed-loop control system, Feedback control) เพื่อลดความผิดพลาดจากสัญญาณรบกวน อย่างไรก็ตาม ความผิดพลาดสถานะคงตัวก็ยังไม่หมดไป และเมื่อเพิ่มสัดส่วนป้อนกลับการตอบสนองความเร็วจะมีโอเวอร์ชูตเพิ่มขึ้น การรวมการควบคุมสัดส่วนและการควบคุมปริพันธ์เข้าด้วยกันจะสามารถกำจัดความผิดพลาดสถานะคงตัวได้ แต่จะทำให้การตอบสนองการเคลื่อนที่ไม่ดี ดังนั้น จึงต้องมีการควบคุมอนุพันธ์ เพื่อทำให้การตอบสนองของระบบดีขึ้น เมื่อรวมทั้งสามเทอมเข้าด้วยกันจะได้รูปแบบการควบคุมแบบพีไอดี (PID controller) ดังรูปที่ 2.13 และ รูปที่ 2.14



รูปที่ 2.13 การควบคุมแบบพีไอดี [15]



รูปที่ 2.14 การควบคุมแบบป้อนกลับ [16]

ตัวควบคุมพีไอดี ประกอบด้วย

2.6.1 Proportional Feedback Control (P)

การควบคุมสัดส่วน คือ การควบคุมสัญญาณป้อนกลับที่เป็นสัดส่วนของค่าความผิดพลาด เพื่อลดความผิดพลาดของสัญญาณขาออก สามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$P = Ke \quad (2.9)$$

ดังนั้น จากการควบคุมแบบป้อนกลับในรูปที่ 2.9 จะได้สมการต่อไปนี้

$$D(s) = K \quad (2.10)$$

เมื่อ P คือ สัญญาณขาออก

K คือ ฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer function)

e คือ ค่าความผิดพลาด

2.6.2 Proportional-Integral (PI) Feedback Control

การควบคุมปริพันธ์ (Integral) เพื่อลดหรือกำจัดความผิดพลาดสถานะคงตัว แต่จะทำให้การตอบสนองชั่วขณะมีประสิทธิภาพลดลง โดยการคูณด้วยอัตราขยายปริพันธ์ สามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$I(t) = \frac{K}{T_I} \int_{t_0}^t e dt \quad (2.11)$$

จากการควบคุมแบบป้อนกลับในรูปที่ 2.9 จะได้สมการต่อไปนี้

$$\frac{U(s)}{E(s)} = D(S) = \frac{K}{T_I s} \quad (2.12)$$

- เมื่อ $I(t)$ คือ สัญญาณขาออก
 T คือ เวลา
 D คือ ตัวแปรปริพันธ์
 E คือ ฟังก์ชันของค่าความผิดพลาด

2.6.3 Derivative Feedback Control (D)

การควบคุมอนุพันธ์หรืออนุพันธ์ป้อนกลับ คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาด เพื่อลดโอเวอร์ชูตและลดเวลาสู่สมดุล สามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$D(t) = K T_D s \quad (2.13)$$

จากการควบคุมแบบป้อนกลับในรูปที่ 2.9 จะได้ว่า

$$D(s) = K T_D s \quad (2.14)$$

- เมื่อ $D(t)$ คือ สัญญาณขาออก
 K คือ อัตราขยายอนุพันธ์
 T_D คือ อนุพันธ์เวลา (Derivative time)
 \dot{e} คือ อนุพันธ์อันดับหนึ่งของความผิดพลาด

2.6.4 Proportional–Integral–Derivative Control (PID)

สำหรับการควบคุมความผิดพลาดสถานะคงตัวและความผิดพลาดชั่วขณะ (Transient error) สามารถควบคุมโดยการรวมทั้งสามเทอมเข้าด้วยกัน ได้แก่ การควบคุมสัดส่วนการควบคุมปริพันธ์และการควบคุมอนุพันธ์ ซึ่งเรียกว่า การควบคุมแบบพีไอดี สามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$Output = P + I(t) + D(t) = K e + \frac{K}{T_I} \int_{t_0}^t e dt + K T_D \dot{e} \quad (2.15)$$

จากการควบคุมแบบป้อนกลับในรูปที่ 2.9 จะได้สมการต่อไปนี้

$$D(s) = K \left(1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s \right) \quad (2.16)$$

ตารางที่ 2.1 ผลตอบสนองของตัวแปร

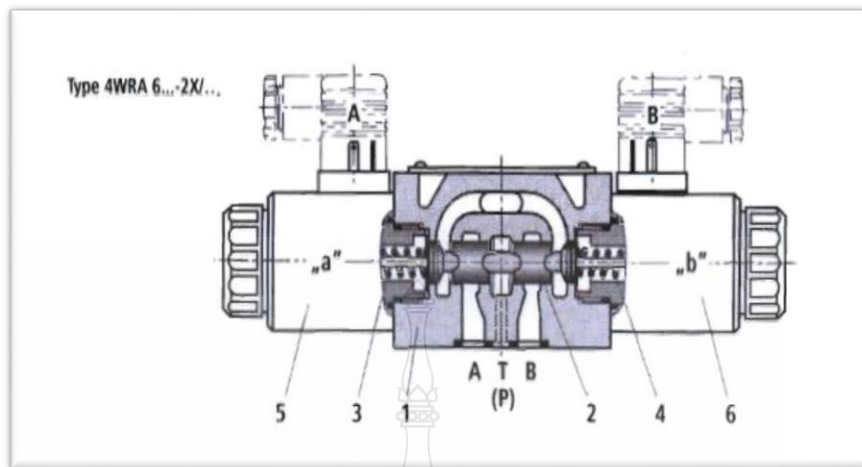
ตัวแปร	ช่วงเวลาขึ้น (Rise time)	โอเวอร์ชูต (Overshoot)	เวลาสู่สมดุล (Settling time)	ความผิดพลาดสถานะคงตัว (Steady – state error)
K_p	ลด	เพิ่ม	เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย	ลด
K_i	ลด	เพิ่ม	เพิ่ม	ลด, กำจัด
K_d	เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย	ลด	ลด	เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

2.7 หลักการทำงานของวาล์วควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional Directional valve)

วาล์วควบคุมแบบสัดส่วน คือวาล์วที่ควบคุมด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งการทำงานจะคล้ายกับ Solenoid valve จึงสามารถควบคุมทิศทางและปริมาณการไหลเป็นสัดส่วนตามสัญญาณคำสั่งทางไฟฟ้าสามารถนำไปใช้ในระบบ Close Loop Control ได้เช่น Position Control ของกระบอกลูกสูบ Speed Control ของกระบอกลูกสูบและมอเตอร์ไฮดรอลิก ลักษณะการทำงานของวาล์วควบคุมแบบสัดส่วนคือ เมื่อจ่ายกระแสไฟเข้าระบบมากกว่าวาล์วก็จะเปิดมาก เมื่อจ่ายกระแสไฟเข้าระบบน้อย วาล์วก็จะเปิดน้อย กล่าวคือลักษณะการเลื่อนเปิดหรือปิดวาล์วจะแปรผันตรงกับกระแสไฟฟ้าที่จ่ายเข้าระบบ วาล์วชนิดนี้จึงเหมาะสำหรับเครื่องจักรที่ต้องการความละเอียด และควบคุมการทำงานของระบบไฮดรอลิกวาล์วควบคุมแบบสัดส่วนประกอบด้วยส่วนสำคัญดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.15 วาล์วควบคุมแบบสัดส่วน [17]



รูปที่ 2.16 โครงสร้างวาล์วชนิดไม่มีอิเล็กทรอนิกส์การ์ด [17]

2.7.1 (Housing)

ชิ้นส่วนโครงสร้างหลักสำหรับเป็นช่องทางการไหลของน้ำมันและเป็นจุดจับยึด สำหรับประกอบของวาล์วโดยรูปบริเวณฐานวาล์วใช้มาตรฐานเดียวกับ Switching Directional

2.7.2 Control Spool with Decompression Spring

ชิ้นส่วนบังคับทิศทางการไหลของน้ำมัน เมื่อไม่มีการจ่ายกระแสไฟฟ้า Decompression Spring จะผลัก Control Spool อยู่ตำแหน่งปกติปิด

2.7.3 Force Controlled Solenoid

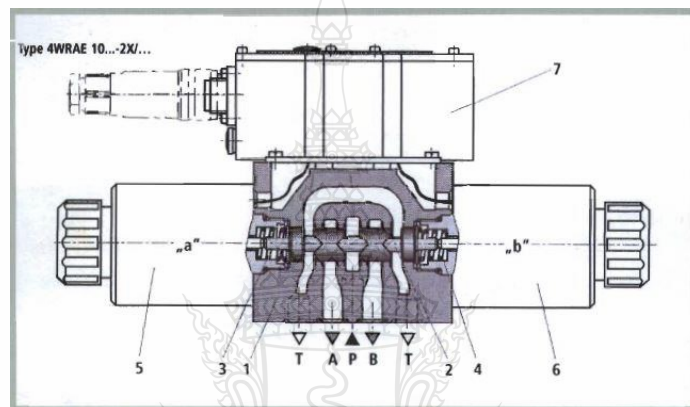
เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่คอยล์ของโซลินอยด์ ทำให้สนามแม่เหล็กเกิดแรงผลักแกนอานาเมเจอร์ภายในโซลินอยด์ให้เคลื่อนที่ออกไปดัน Control Spool ในระยะการเคลื่อนที่แกนอานาเมเจอร์ 1.5 มิลลิเมตร การเคลื่อนที่ของ Control Spool เป็นสัดส่วนกับกระแสที่ป้อนเข้าสู่คอยล์

2.7.4 Electronics Card

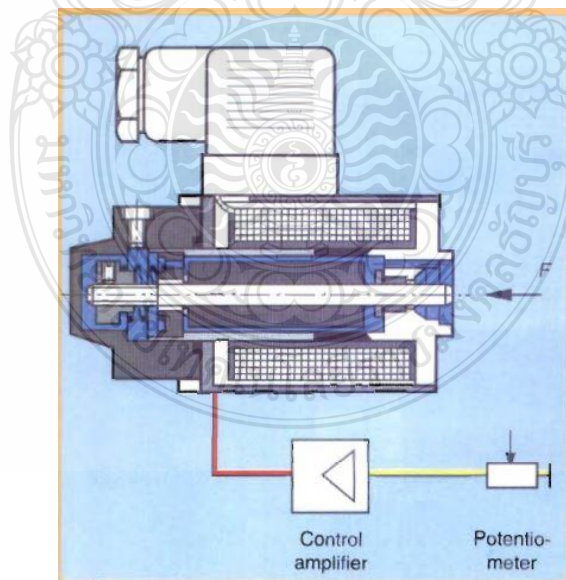
เป็น Board ควบคุมทางไฟฟ้าทำหน้าที่รับสัญญาณคำสั่ง Command Signal 0 to ± 10 Vdc 4-20 mA จากระบบควบคุมเช่น PLC Potentiometer และแปลงสัญญาณเป็นรูปกระแสไฟฟ้าเพื่อควบคุม Force-Control Solenoid โดยปกติแล้ว Electronics card จะมี 2 ประเภทหลักคือ

External Electronics Card ส่วนของการ์ดแยกออกจากตัววาล์ว ทำให้ไม่มีจำกัดเรื่องขนาดของการ์ด ส่งผลให้การ์ดมีฟังก์ชันเพิ่มเติมจากฟังก์ชันหลัก Internal Electronics Card ส่วนของ

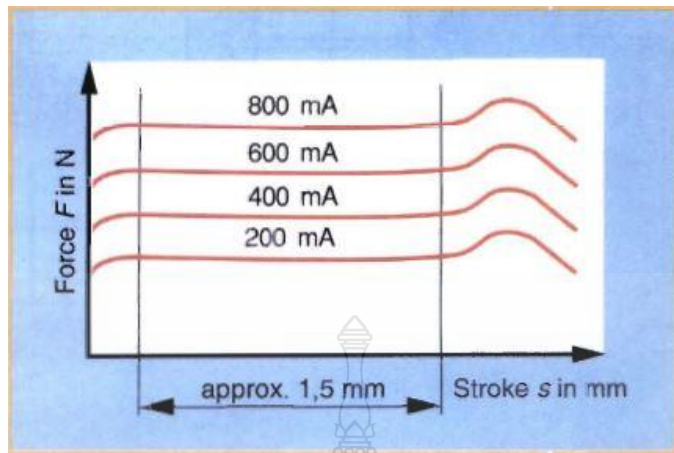
การ์ดที่อยู่ภายในตัววาล์วมีข้อจำกัดเรื่องอุณหภูมิใช้งานโดยทั่วไปไม่เกิน 50 องศาเซลเซียสและพื้นที่ของการ์ดส่งผลให้การ์ดมีเฉพาะฟังก์ชันหลัก หลักการทำงาน Proportional Directional Valve สัญญาณแรงดันไฟฟ้า [0 to 10 Vdc หรือ 4-20 mA] ถูกแปลงให้อยู่ในรูปของกระแสไฟฟ้าภายใน Electronics Card สัดส่วนของกระแสซึ่งแปรผันตามสัญญาณ Command ส่งผลให้ Control Spool จะถูกแสดงในรูปของอัตราการไหลและทิศทาง สำหรับตัวทำงานแสดงให้เห็นในรูปของทิศทางและความเร็ว สำหรับอัตราเร่ง อัตราหน่วงสามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลซึ่งจะต้องสอดคล้องกับในการเคลื่อนที่ของ Control Spool



รูปที่ 2.17 โครงสร้างวาล์วชนิดมีอิเล็กทรอนิกส์การ์ด [17]



รูปที่ 2.18 โครงสร้างวาล์วชนิดมีอิเล็กทรอนิกส์การ์ด [17]



รูปที่ 2.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงและระยะการเลื่อนที่แกนอาเมเจอร์ [17]

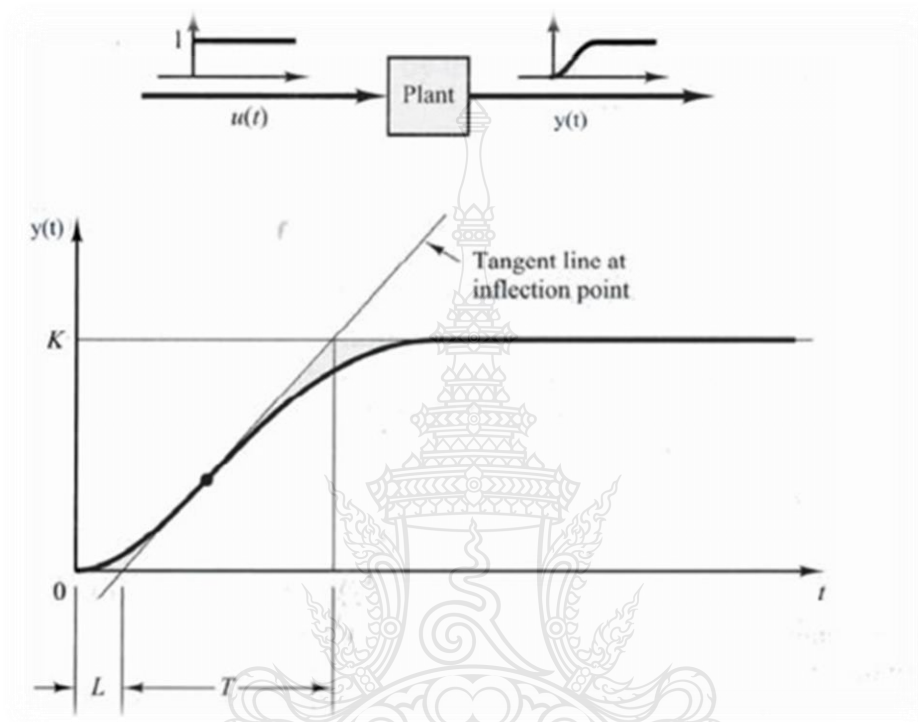
2.8 การจูนตัวควบคุมแบบ พีไอดี โดยวิธีการของซีกเกลอร์-นิโคลส์

ปัญหาของการออกแบบตัวควบคุมแบบ พีไอดี ก็คือค่าเกนของตัวควบคุมซึ่งมีอยู่ด้วยกันถึง 3 ตัว คือ K_p , K_i และ K_d ในการตัดสินใจว่าค่าเป็นเท่าใดจึงจะเหมาะสมกับกระบวนการนั้น แต่ในทางปฏิบัติการทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการในอุตสาหกรรมไม่ใช่เรื่องง่าย อีกทั้งยังมีค่าใช้จ่ายสูง เนื่องจากตัวแปรต่าง ๆ ใน กระบวนการมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา และ เซนเซอร์ที่ จะต้องนำมาวัดตัวแปรต่าง ๆ ก็มีราคาแพง จากปัญหาดังกล่าว ซีกเกลอร์และนิโคลส์ได้พัฒนาวิธีการปรับค่าเกนของตัวควบคุมแบบ พีไอดี ขึ้นโดยอาศัยการ ทดลองและวิเคราะห์ผลโดยเปรียบเทียบกับ กระบวนการต่าง ๆ ในอุตสาหกรรม และ ใช้เกณฑ์ IAE กับผลการตอบสนองของ ระบบโดยมีสัญญาณ อินพุตเป็นฟังก์ชันขั้นหนึ่งหน่วย (Unit-step Input) การปรับค่าเกนของตัวควบคุมด้วยวิธีการของซีกเกลอร์-นิโคลส์มีด้วยกันสองวิธีคือ วิธีการปฏิกริยาของกระบวนการ (Process Reaction Method) และ วิธีการวัฏจักรท้ายสุด (Ultimate Cycle Method) สมการตัวควบคุมแบบ พีไอดี ที่จะใช้กับวิธีการของซีกเกลอร์-นิโคลส์ (Ziegler-Nichols) หรือ การนำค่าเกนของตัว ควบคุมตามตารางที่ 2.2 และ 2.3 ไปใช้งานนั้นจะต้องอ้างอิงกับสมการที่ 2.17 ดังนี้

$$G_C(s) = K_P \left(1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s \right) \quad 2.17$$

วิธีการปฏิกริยาของกระบวนการ (Process Reaction Method) การปรับค่าเกนของตัวควบคุมด้วยวิธีการนี้จะใช้ระบบเปิด (Open-loop System) โดยเริ่มจากป้อนอินพุตเป็นฟังก์ชันขั้นขึ้นไปยัง

กระบวนการดังรูปที่ 1 หลังจากป้อนอินพุตเป็นฟังก์ชันขั้นขึ้นไปยังกระบวนการแล้วให้ทำการวัดตัวแปรต่างๆ จากผล การตอบสนองของกระบวนการดังแสดงในรูปเดียวกัน เส้นสัมผัสกราฟสัญญาณเอาต์พุต นั้น ให้เลือกเส้นสัมผัสกราฟที่มีความชันสูงสุด และจากนั้นก็คำนวณหาค่าอัตราขยายต่างๆ ดังแสดงในสมการที่ 2.17 ของตัวควบคุมได้จากตารางที่ 2.2

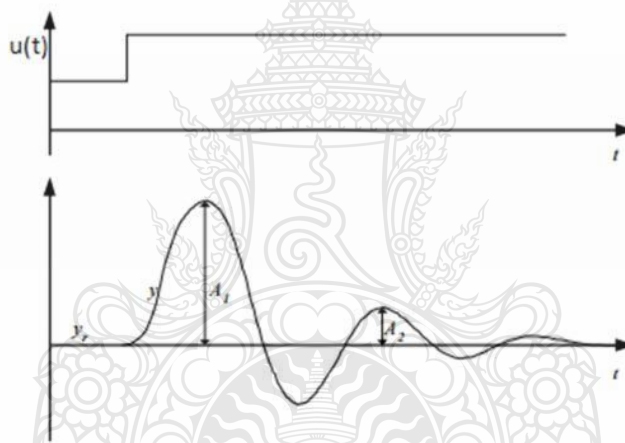


รูปที่ 2.20 การตอบสนองของระบบโดยวิธีการปฏิบัติการของกระบวนการ[16]

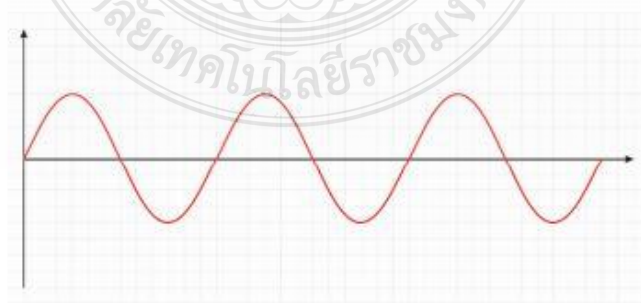
ตารางที่ 2.2 ค่าอัตราขยายของตัวควบคุม

ชนิดของตัวควบคุม	K_P	T_I	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0.9\frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2\frac{T}{L}$	$2L$	$0.5L$

วิธีการวัฏจักรสุดท้าย (Ultimate Cycle Method) วิธีการของซีเกลอร์-นิโคลส์ที่ใช้ในการปรับค่าเกนตัวควบคุมนี้สามารถทำให้การตอบสนองของระบบเมื่อมีอินพุตเป็นฟังก์ชันขั้นหนึ่งหน่วย มีลักษณะการแกว่งแบบลดลงด้วยอัตราหนึ่งในสี่ ซึ่งหมายความว่าโอเวอร์ชูตที่สองจะน้อยกว่า 25% ของค่าโอเวอร์ชูตตัวแรก ดังแสดงในรูปที่ 2.21 จะได้ว่า $A_2 = \frac{1}{4}A_1$ ดังแสดงในรูปที่ 2.21 การปรับค่าเกนตัวควบคุมด้วยวิธีการวัฏจักรสุดท้าย เริ่มจากทำให้ระบบและตัวควบคุมเป็นระบบควบคุมแบบป้อนกลับชนิดสัดส่วน (Proportional Control) เพียงอย่างเดียว หรือในทางปฏิบัติให้ทำการลดค่าเกนตัวควบคุมแบบ อินทิกรัล และตัวควบคุมแบบอนุพันธ์ ลงให้เหลือน้อยที่สุด จากนั้นค่อย ๆ เพิ่มค่าเกนตัวควบคุมแบบสัดส่วน ให้มีค่ามากขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งระบบเริ่มมีการแกว่ง (Oscillate) ตามรูปที่ 2.22 หรือเกิดเสถียรภาพแบบขบขันเอง ทำการบันทึกค่าเกนตัวควบคุมแบบสัดส่วนตรงตำแหน่งนี้ไว้ ให้มีค่าเท่ากับ K_{cr} และหาค่าคาบเวลาของการแกว่ง ได้ P_{cr} และจากนั้นก็คำนวณหาค่าเกนต่างๆของตัวควบคุมตามสมการที่ 2.17 ได้จาก ตารางที่ 2.3



รูปที่ 2.21 การตอบสนองของระบบโดยวิธีการวัฏจักรสุดท้าย[16]



รูปที่ 2.22 ลักษณะสัญญาณเมื่อเกิดการแกว่งหรือเสถียรภาพแบบขบขัน[16]

ตารางที่ 2.3 ค่าเกณฑ์ของตัวควบคุมแบบวิธีการวิฆัจจกรสุดท้าย[16]

ชนิดของตัวควบคุม	K_p	T_i	T_d
P	$0.5K_{cr}$	∞	0
PI	$0.45K_{cr}$	$\frac{1}{1.2} p_{cr}$	0
PID	$0.6K_{cr}$	$0.5K_{cr}$	$0.125K_{cr}$



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการทดลองมีขั้นตอนการดำเนินการ โดยเริ่มจากการสร้างสมการการเคลื่อนที่ของระบบควบคุมไฮดรอลิก สำหรับใบมีดต้นดินอัตโนมัติให้อยู่ในแนวระดับ (Dynamics Model) ในส่วนของระบบควบคุมใบมีดต้นดินอัตโนมัติให้อยู่ในแนวระดับใช้ระบบ PID Controller เป็นตัวควบคุมการทำงานของเซอร์โววาล์วให้กระบอกไฮดรอลิกควบคุมใบมีดต้นดินให้อยู่ในแนวระดับ โดยนำข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์วัดความเร็วเชิงมุมและมุมเอียงที่ติดตั้งไว้กับตัวรถแทรกเตอร์ไปควบคุมแล้ว จำลองการเคลื่อนที่โดยใช้โปรแกรม LabView เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการทำงาน รวมทั้งศึกษาความเป็นไปได้ในการทำงานจริงจากนั้นจึงออกแบบสร้างใบมีดต้นดิน ติดตั้งอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์รวมทั้งวาล์วควบคุมแบบเซอร์โววาล์วเข้าด้วยกัน แล้วเขียนโปรแกรม LabView ควบคุมการทำงานเพื่อศึกษาความเสถียรของระบบควบคุมใบมีดต้นดินอัตโนมัติให้อยู่ในแนวระดับ

ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

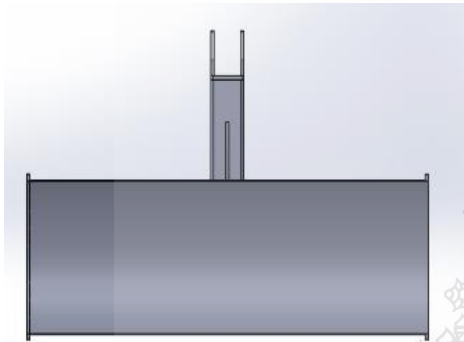
ขั้นตอนการดำเนินงาน	2562				2563				
	ก.ค.-ส.ค.	ส.ค.-ก.ย.	ก.ย.-ต.ค.	พ.ย.-ธ.ค.	ม.ค.-ก.พ.	ก.พ.-มี.ค.	มี.ค.-เม.ย.	เม.ย.-มิ.ย.	ก.ค.-ส.ค.
ศึกษาและรวบรวมข้อมูล	☐→	☐→							
วิเคราะห์โมเดลคณิตศาสตร์	☐→	☐→							
ออกแบบตัวควบคุม PID		☐→	☐→						
ออกแบบโปรแกรม Lab View		☐→	☐→						
ทดสอบการทำงาน			☐→	☐→					
วิเคราะห์และแก้ไขปัญหา					☐→	☐→			
จัดทำเล่มวิทยานิพนธ์						☐→	☐→		

แผนงานที่สำเร็จ ☐→

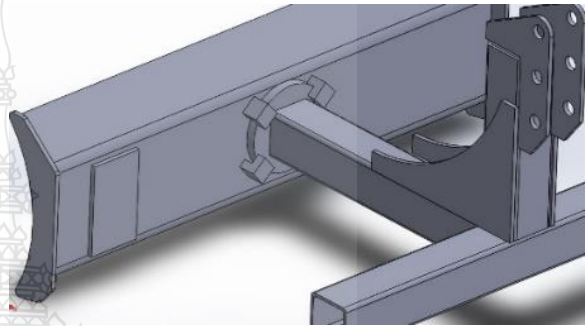
แผนงานที่วางไว้ ☐→

3.1 การออกแบบโครงสร้างกลไกใบมีดตัดดิน

กลไกใบมีดตัดดินขับเคลื่อนด้วยระบบไฮดรอลิกด้วยดั่งในรูปที่ 3.1 ที่ส่งกำลังโดยกระบอกลูกสูบไฮดรอลิกทำให้ใบมีดตัดดินปรับการเอียงซ้ายขวาจากนั้นแล้วได้ออกแบบจุดหมุนของใบมีดตัดดินเพื่อช่วยรักษาเสถียรภาพในการเอียงของใบมีดตัดดินข้อมูลที่ได้รับจากเซ็นเซอร์วัดความเอียงให้ชานานกับระนาบแนวนอนเสมอดังในรูปที่ 3.1 กลไกทั้งหมดได้ทำการออกแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อจำลองและทดสอบการเคลื่อนที่ ของอุปกรณ์



ภาพด้านหน้า



ภาพแสดงจุดหมุน

รูปที่ 3.1 การออกแบบใบมีดตัดดินอัตโนมัติ

3.2 อุปกรณ์และเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 3.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ NI myRIO

หลักการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ NI myRIO เป็นฮาร์ดแวร์แบบฝังตัวซึ่งประกอบด้วยตัวประมวลผลระบบปฏิบัติการแบบเรียลไทม์ และชิป FPGA ที่สามารถโปรแกรมช่วยให้สามารถออกแบบระบบที่ซับซ้อนและฝังโปรแกรมเข้าไปยังฮาร์ดแวร์ได้อย่างรวดเร็ว การทำงานของอุปกรณ์คือกระบวนการอ่านค่าสัญญาณทางไฟฟ้าแล้วนำมาเก็บในคอมพิวเตอร์เพื่อการวัด การวิเคราะห์ การจัดเก็บ และการแสดงผลด้วยซอฟต์แวร์ Analog Input สำหรับสัญญาณอนาล็อก ซึ่งสามารถรับได้หลายช่องสัญญาณ โดยวัดค่าสัญญาณแรงดันจากเซ็นเซอร์ต่างๆ โดยปกติจะวัดได้ตั้งแต่ -10V จนถึง +10V Analog Output สำหรับสร้างสัญญาณอนาล็อกทั้งแบบ DC และ AC ที่เป็น Waveform Digital I/O สำหรับสร้างสัญญาณดิจิทัล เพื่อทำงานร่วมกับอุปกรณ์ภายนอกเช่น Switch relay LED Counter I/O ทำหน้าที่วัดสัญญาณจาก Encoder หรือสร้างสัญญาณ Pulse

3.3 เซอร์โววาล์ว(Proportional Directional valve)

วาล์วควบคุมแบบสัดส่วน คือวาล์วที่ควบคุมด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งการทำงานจะคล้ายกับ Solenoid valve จึงสามารถควบคุมทิศทางและปริมาณการไหลเป็นสัดส่วนตามสัญญาณคำสั่งทางไฟฟ้าสามารถนำไปใช้ในระบบ Close Loop Control ได้เช่น Position Control ของกระบอกลูกสูบ Speed Control ของกระบอกลูกสูบและมอเตอร์ไฮดรอลิกลักษณะการทำงานของวาล์วควบคุมแบบสัดส่วนคือ เมื่อจ่ายกระแสไฟเข้าระบบมากกว่าวาล์วก็จะเปิดมาก เมื่อจ่ายกระแสไฟเข้าระบบน้อย วาล์วก็จะเปิดน้อย กล่าวคือลักษณะการเลื่อนเปิดหรือปิดวาล์วจะแปรผันตรงกับกระแสไฟที่จ่ายเข้าระบบวาล์ว



รูปที่ 3.3 เซอร์โววาล์ว (Proportional Directional valve)

3.4 เซ็นเซอร์วัดมุมเอียง

ในการควบคุมใบมีดตัดดินให้ได้ระดับ นั้นจำเป็นต้องใช้เซ็นเซอร์วัดมุมเอียง (Accelerometer) ในการป้องกันองศาการเอียง ทำงานร่วมกับวาล์วควบคุมแบบสัดส่วน เพื่อควบคุมกระบอกไฮดรอลิก ให้ควบคุมใบมีดตัดดินอยู่ในแนวระดับขนานกับพื้นดิน ในการทำการทดลองจะใช้เซ็นเซอร์วัดมุมเอียงที่มีมากับไมโครคอนโทรลเลอร์ NI myRIO มี Accelerometer แบบ 3 แกนในตัว

3.5 กระบอกสูบไฮดรอลิก

กระบอกไฮดรอลิกคือ อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเปลี่ยนกำลังงานความดันและความเร็วของน้ำมันไฮดรอลิกเป็นกำลังงานกลในแนวเส้นตรง เพื่อนำไปใช้ในการขับเคลื่อนอุปกรณ์ต่างๆ ในการดัน ยก ดึง หรือขับเคลื่อนชิ้นงาน กระบอกสูบทางเดียว (Single acting cylinder) กระบอกสูบทางเดียว ทำงานโดยการรับน้ำมันจากกระบอกสูบทางด้านหัวเพียงทางเดียว เพื่อผลักดันให้ลูกสูบและก้านสูบเคลื่อนที่ไปดันชิ้นงาน โดยจะใช้แรงดันจากสปริงเป็นตัวผลักดันให้ลูกสูบค่อยๆเคลื่อนที่กลับอย่างช้า

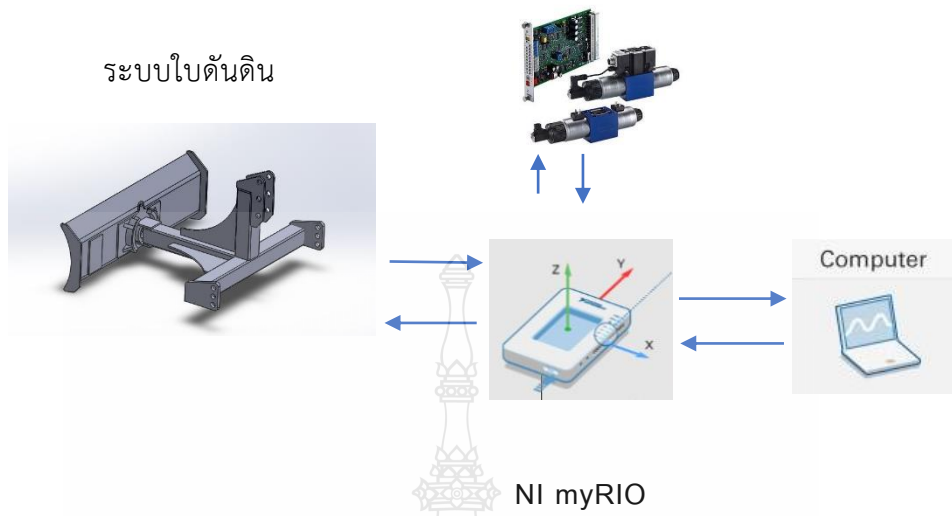
3.6 วาล์วจำกัดความดัน (Relief valve)

วาล์วจำกัดความดันเป็นวาล์วที่ใช้ในการควบคุมความดันสูงสุดของระบบ โดยปกติจะมีป๊ัมเป็นตัวสร้างแรงดันของน้ำมันไฮดรอลิกเพื่อส่งเข้าสู่อุปกรณ์ต่างๆในระบบ แต่เนื่องจากในบางครั้งแรงดันในระบบอาจจะสูงมากกว่าค่าที่กำหนดไว้จึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ที่จะช่วยระบายแรงดันส่วนเกินออก โดยเมื่อความดันของระบบสูงขึ้นจนถึงความดันสูงสุด วาล์วก็จะระบายน้ำมันไฮดรอลิกออกจากระบบเพื่อลดความดันของระบบลง เพื่อป้องกันไม่ให้อุปกรณ์ไฮดรอลิกเกิดการชำรุดเสียหายของวาล์ว

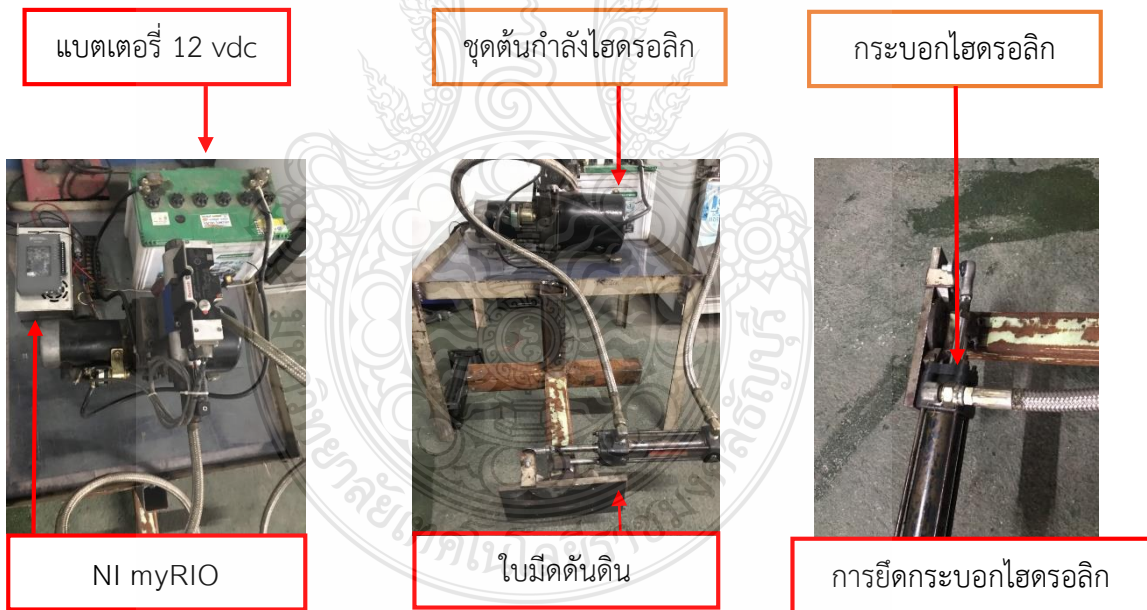
3.7 ระบบส่งสัญญาณควบคุมระบบไฮดรอลิกสำหรับใบตัดดินอัตโนมัติ

ระบบส่งสัญญาณควบคุมระบบใบมีดตัดดินอัตโนมัติเริ่มต้นโดยตัววัดความเร่งได้รับค่าสัญญาณจากเอาต์พุตที่ภายนอก(มุมที่เปลี่ยนแปลงไป)จากนั้นตัววัดความเร่งจะส่งสัญญาณอนาล็อกออกไปทำการประมวลผลในโปรแกรม LabView แล้วส่งสัญญาณกลับมายัง NI myRIO เพื่อทำการส่งสัญญาณไปยังการ์ดควบคุมเซอร์โววาล์วที่ทำหน้าที่ควบคุมเซอร์โววาล์วให้กระบอกไฮดรอลิกควบคุมใบมีดตัดดินให้อยู่ในแนวระดับขนานกับพื้นดินตาม

Proportional Directional



รูปที่ 3.4 ระบบไฮดรอลิกสำหรับใบมีดตั่นดินอัตโนมัติ

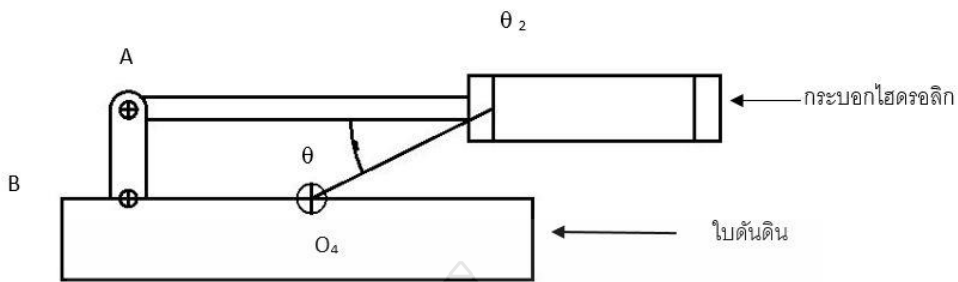


(ก) รูปด้านบนอุปกรณ์ควบคุม

(ข) รูปด้านหน้าชุดใบมีดตั่นดิน

(ค) รูปกระบอกไฮดรอลิก

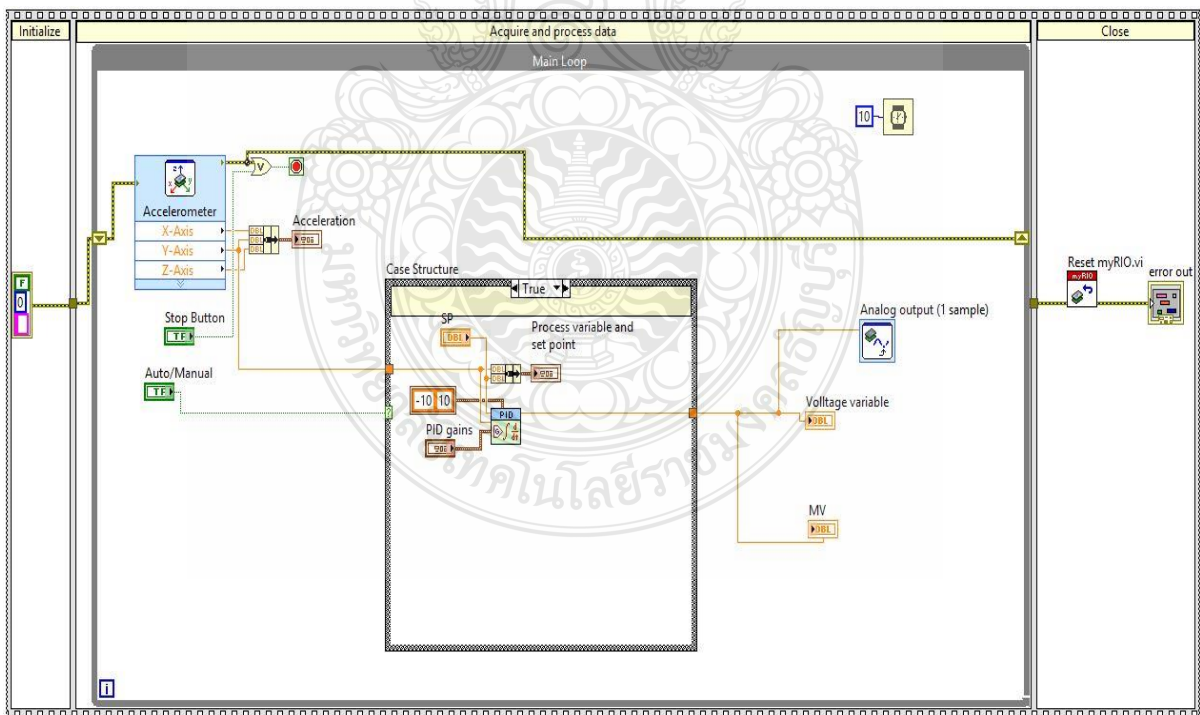
รูปที่ 3.5 การเชื่อมต่อชุดใบมีดตั่นดินกับไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3.6 Double Rocker Diagram ของชุดไบนัดดินอัตโนมัติ

3.8. การจำลอง LabVIEW ของระบบไฮดรอลิกสำหรับไบนัดดินอัตโนมัติ

หาผลตอบสนองไบนัดดินที่ทำมุมเอียง 20 องศาให้กลับมาเป็น 0 องศาเพื่อทำการวิเคราะห์ระยะเวลาในการกลับคืนสถานะของไบนัดดินในส่วนควบคุมระบบให้อยู่ในค่าที่ยอมรับได้ โดยจะประยุกต์ใช้ระบบควบคุมแบบ พีไอดี เพื่อควบคุมองศาการเอียงซ้าย-ขวาของไบนัดดินอัตโนมัติ



รูปที่ 3.7 การเขียนโปรแกรม LabVIEW ใช้ตัวควบคุมแบบ พีไอดี

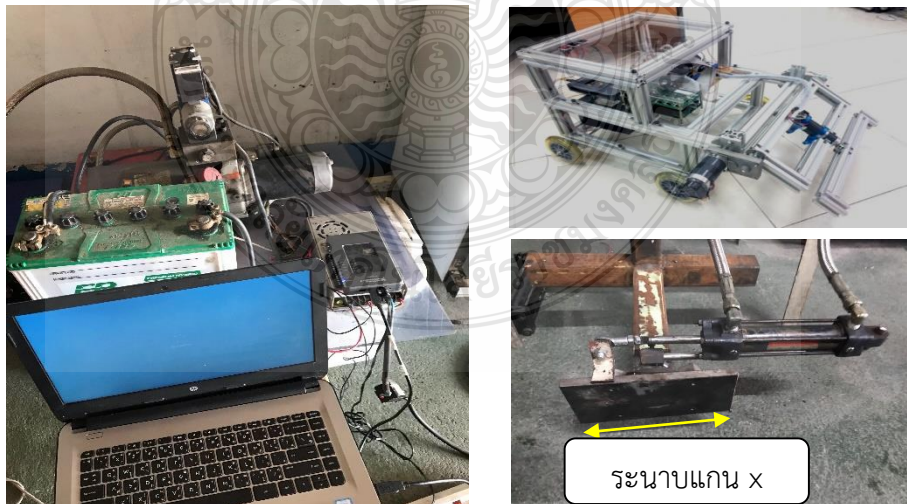
บทที่ 4

ผลการทดลอง

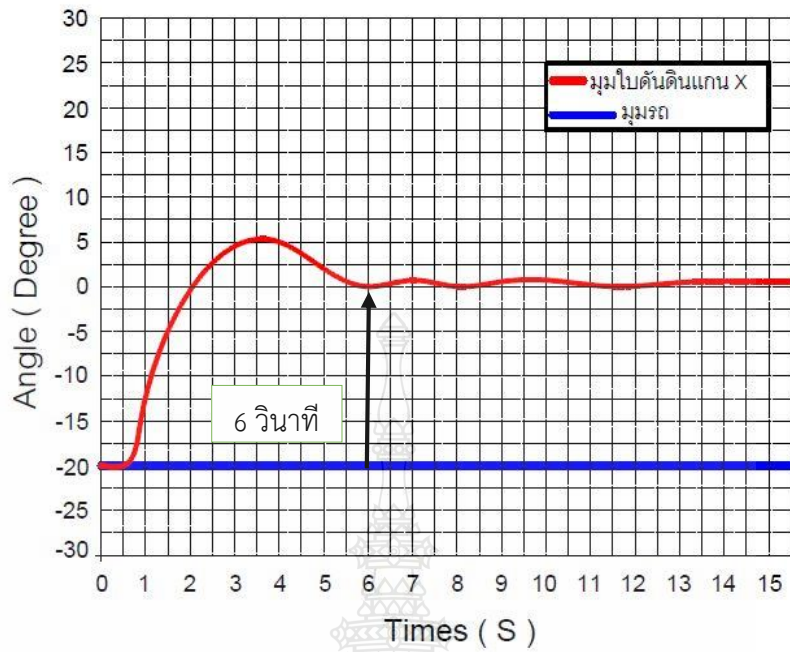
บทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองการทำงานของระบบควบคุมสำหรับใบมีดต้นดินอัตโนมัติ ด้วยระบบไฮดรอลิกเพื่อเปรียบเทียบกับระบบควบคุมสำหรับใบมีดต้นดินอัตโนมัติด้วยระบบไฟฟ้าโดยใช้มอเตอร์เป็นต้นกำลัง การทดลองศึกษาผลตอบสนองของระบบควบคุมสำหรับใบมีดต้นดินอัตโนมัติ ในการทดลองใช้ระบบควบคุมคือ PID การเปรียบเทียบการทำงานของทั้ง 2 ระบบและเปรียบเทียบระยะเวลาและองศาการปรับมุมของใบมีดต้นดินอัตโนมัติ จากการทำงานของระบบควบคุมใบมีดต้นดินอัตโนมัติที่ได้สร้างขึ้นจริงจากการควบคุมทั้ง 2 ระบบ

4.1 การทดลองการทำงานของระบบใบมีดต้นดินอัตโนมัติ

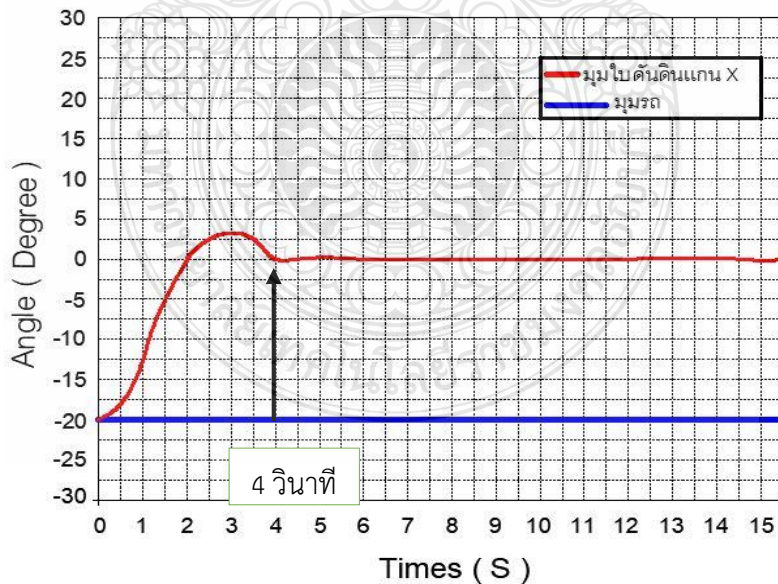
ในการทดลองการทำงานของระบบใบมีดต้นดินอัตโนมัติ จะใช้กระบอกลูกไฮดรอลิกในการเป็นตัวขับเคลื่อนและควบคุมใบต้นดินให้เอียงไปตามมุมที่ต้องการโดยตัวควบคุมชุดกลไก ดังรูปที่ 4.1 สำหรับการทดลองครั้งนี้จะดำเนินการทดสอบใบต้นดินที่ระนาบ X การทดลองนี้เป็นการทดสอบการเคลื่อนที่ของระบบควบคุมสำหรับใบมีดต้นดินอัตโนมัติโดยแสดงผลในรูปแบบของกราฟ มุมซึ่งมีหน่วยเป็น องศาเทียบกับเวลามีหน่วยเป็นวินาที โดยทดลองเอียงตัวรถที่ความต่างของมุมครั้งละ 10 องศา และจะเริ่มทำการทดลองตั้งแต่ -20 องศาจนถึง 20 องศา



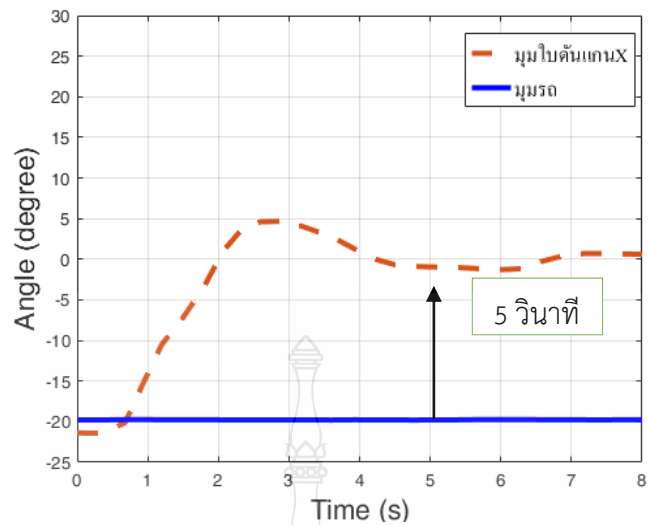
รูปที่ 4.1 ระบบควบคุมสำหรับใบมีดต้นดินอัตโนมัติด้วยระบบไฮดรอลิกและระบบมอเตอร์ไฟฟ้า



รูปที่ 4.2 ผลการทดลองที่มุม -20 องศาของระบบไฮดรอลิก $K_p= 18$ $K_i= 0.008$ และ $K_d= 0.01$

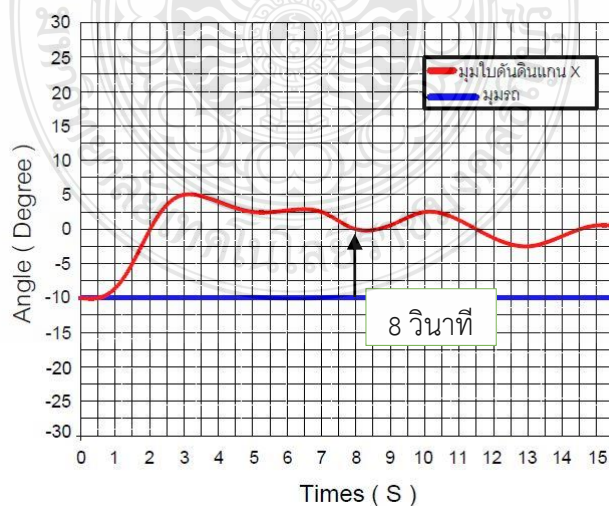


รูปที่ 4.3 ผลการทดลองที่มุม -20 องศาของระบบไฮดรอลิก $K_p= 12$ $K_i= 2$ และ $K_d= 2$

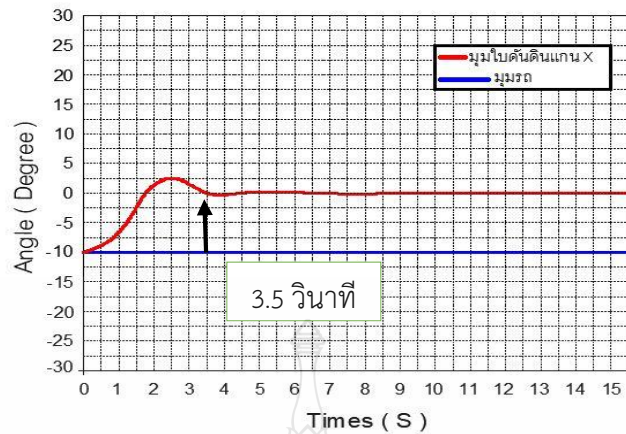


รูปที่ 4.4 ผลการทดลองที่มุม -20 องศาของระบบมอเตอร์ไฟฟ้า

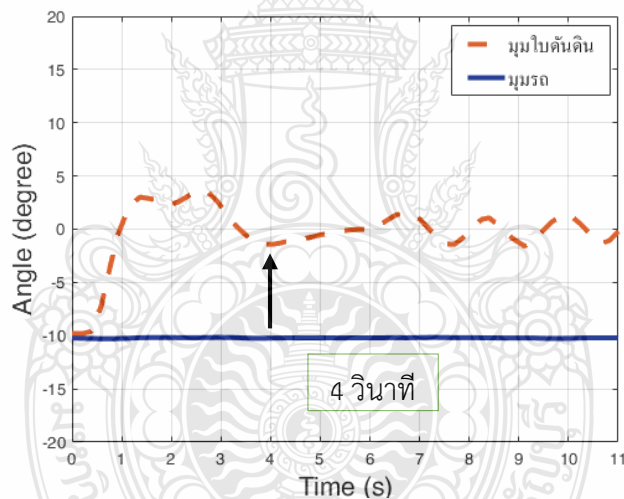
ในการทดลองกราฟลักษณะของการตอบสนองของระบบใบมีดต้นดินอัตโนมัติ ได้ถูกออกแบบอยู่ให้อยู่ในระนาบแนวนอน ในรูปที่ 4.2 เป็นผลการทดลองโดยกำหนดองศาการทดสอบที่ -20 องศา การปรับจูนพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID $K_p=18$ $K_i=0.008$ และ $K_d=0.01$ จะใช้เวลาเข้าสู่จุดหมายที่ 6 วินาที ต่อจากนั้นในรูปที่ 4.3 เป็นผลการทดลองโดยกำหนดองศาการทดสอบที่ -20 องศา การปรับจูนพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID $K_p=12$ $K_i=2$ และ $K_d=2$ ผลการทดลองจะแสดงให้เห็นประสิทธิภาพในการควบคุมที่ดีขึ้นจากการปรับเปลี่ยน พารามิเตอร์ของตัวควบคุม โดยจะใช้เวลาเข้าสู่จุดหมายที่ 4 วินาที ในส่วนการทดลองของระบบควบคุมแบบไฟฟ้ารูปที่ 4.4 จะใช้เวลาเข้าสู่ จุดหมายที่ 5 วินาที



รูปที่ 4.5 ผลการทดลองที่มุม -10 องศาของระบบไฮดรอลิก $K_p=18$ $K_i=0.008$ และ $K_d=0.01$

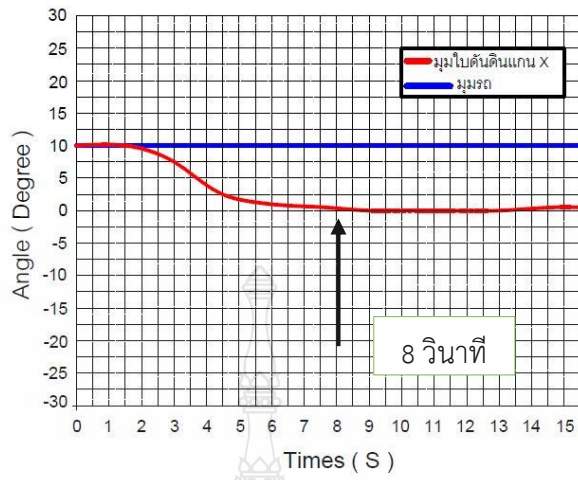


รูปที่ 4.6 ผลการทดลองที่มุม -10 องศาของระบบไฮดรอลิก $K_p= 12$ $K_i= 2$ และ $K_d= 2$

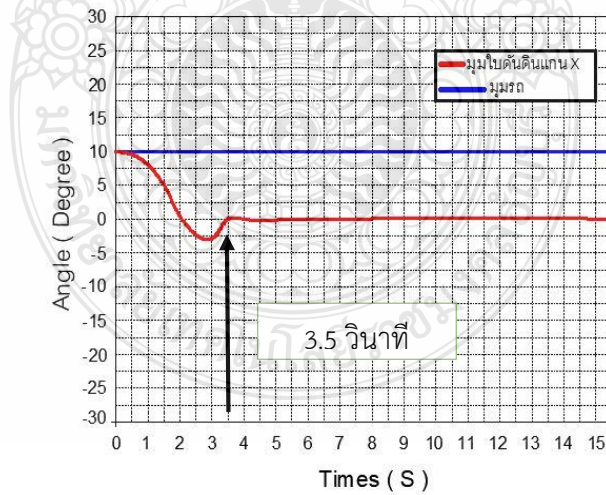


รูปที่ 4.7 ผลการทดลองที่มุม -10 องศาของระบบมอเตอร์ไฟฟ้า

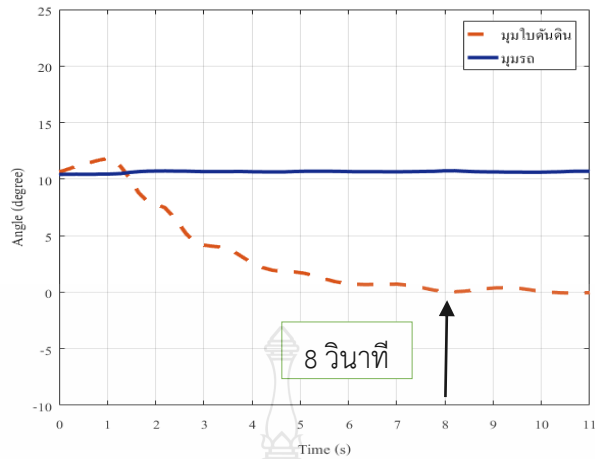
ในรูปที่ 4.5 เป็นผลการทดลองโดยกำหนดองศาการทดสอบที่ -10 องศา การปรับจูนพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID $K_p= 18$ $K_i= 0.008$ และ $K_d= 0.01$ จะใช้เวลาเข้าสู่จุดหมายที่ 8 วินาที ต่อจากนั้นในรูปที่ 4.6 เป็นผลการทดลองโดยกำหนดองศาการทดสอบที่ -10 องศา การปรับจูนพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID $K_p= 12$ $K_i= 2$ และ $K_d= 2$ ผลการทดลองจะแสดงให้เห็นประสิทธิภาพในการควบคุมที่ดีขึ้นจากการปรับเปลี่ยน พารามิเตอร์ของตัวควบคุม โดยจะใช้เวลาเข้าสู่จุดหมายที่ 3.5 วินาที ในส่วนการทดลองของระบบควบคุมแบบไฟฟ้ารูปที่ 4.7 จะใช้เวลาเข้าสู่ จุดหมายที่ 4 วินาที



รูปที่ 4.8 ผลการทดลองที่มุม 10 องศาของระบบไฮดรอลิก $K_p= 18$ $K_i= 0.008$ และ $K_d= 0.01$

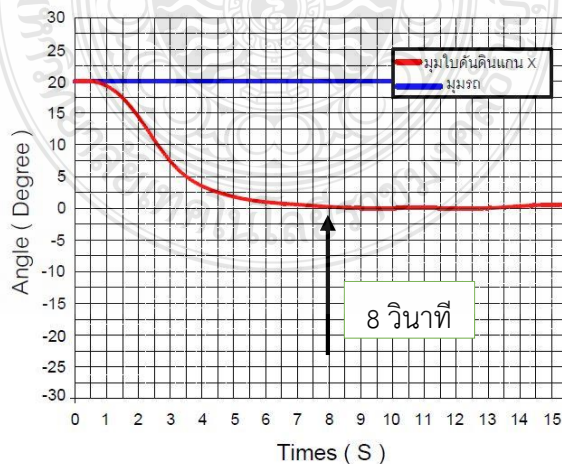


รูปที่ 4.9 ผลการทดลองที่มุม 10 องศาของระบบไฮดรอลิก $K_p= 12$ $K_i= 2$ และ $K_d= 2$

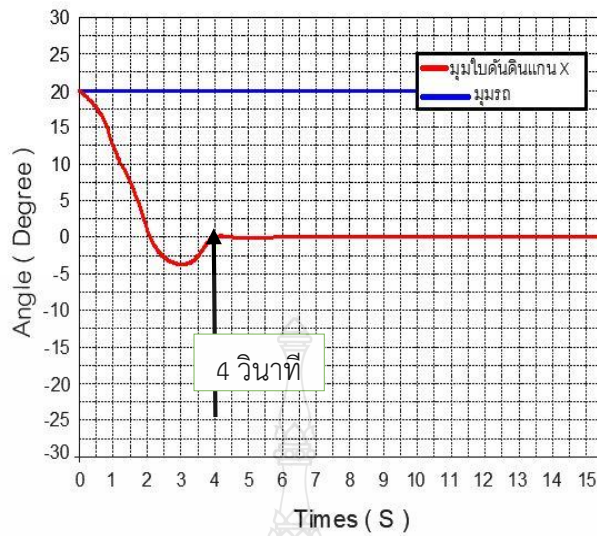


รูปที่ 4.10 ผลการทดลองที่มุม 10 องศา ระบบมอเตอร์ไฟฟ้า

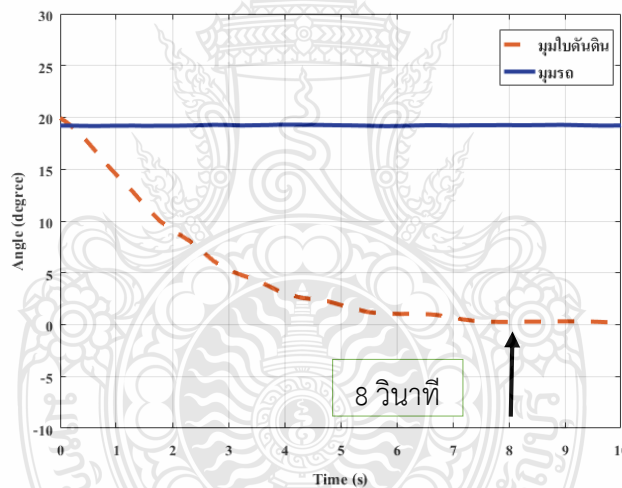
ในรูปที่ 4.8 เป็นผลการทดลองโดยกำหนดองศาการทดสอบที่ 10 องศา การปรับจูนพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID $K_p=18$ $K_i=0.008$ และ $K_d=0.01$ จะใช้เวลาเข้าสู่จุดหมายที่ 8 วินาที ต่อจากนั้นในรูปที่ 4.9 เป็นผลการทดลองโดยกำหนดองศาการทดสอบที่ 10 องศา การปรับจูนพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID $K_p=12$ $K_i=2$ และ $K_d=2$ ผลการทดลองจะแสดงให้เห็นประสิทธิภาพในการควบคุมที่ดีขึ้นจากการปรับเปลี่ยน พารามิเตอร์ของตัวควบคุม โดยจะใช้เวลาเข้าสู่จุดหมายที่ 3.5 วินาที ในส่วนการทดลองของระบบควบคุมแบบไฟฟ้ารูปที่ 4.10 จะใช้เวลาเข้าสู่ จุดหมายที่ 8 วินาที



รูปที่ 4.11 ผลการทดลองที่มุม 20 องศาของระบบไฮดรอลิก $K_p=18$ $K_i=0.008$ และ $K_d=0.01$



รูปที่ 4.12 ผลการทดลองที่มุม 20 องศาของระบบไฮดรอลิก $K_p= 12$ $K_i= 2$ และ $K_d= 2$



รูปที่ 4.13 ผลการทดลองที่มุม 20 องศาของระบบมอเตอร์ไฟฟ้า

ในรูปที่ 4.11 เป็นผลการทดลองโดยกำหนดองศาการทดสอบที่ 20 องศา การปรับจูนพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID $K_p= 18$ $K_i= 0.008$ และ $K_d= 0.01$ จะใช้เวลาเข้าสู่จุดหมายที่ 8 วินาที ต่อจากนั้นในรูปที่ 4.12 เป็นผลการทดลองโดยกำหนดองศาการทดสอบที่ 20 องศา การปรับจูนพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID $K_p= 12$ $K_i= 2$ และ $K_d= 2$ ผลการทดลองจะแสดงให้เห็นประสิทธิภาพในการควบคุมที่ดีขึ้นจากการปรับเปลี่ยน พารามิเตอร์ของตัวควบคุม โดยจะใช้เวลาเข้าสู่จุดหมายที่ 4 วินาที ในส่วนการทดลองของระบบควบคุมแบบไฟฟ้ารูปที่ 4.13 จะใช้เวลาเข้าสู่ จุดหมายที่ 8 วินาที

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลองวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้นำเสนอระบบควบคุมสำหรับใบมีดต้นดินอัตโนมัติ โดยใช้ตัววัดความเร่งในการวัดมุมที่เปลี่ยนแปลงไปของใบมีดต้นดิน สำหรับระบบควบคุมใช้การควบคุมแบบพีไอดี โดยมีจุดประสงค์เพื่อควบคุมกระบอกไฮดรอลิกให้รักษาระดับใบมีดต้นดิน ตามที่ต้องการ คือ 0 องศา นอกจากนี้ ยังหาระยะเวลาในการเคลื่อนตัวใบมีดต้นดินจากความชันในระดับต่าง ๆ ของมุมที่ทำการทดลอง โดยมีจุดประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำงานและผลตอบสนองของระบบควบคุมด้วยระบบไฮดรอลิกเปรียบเทียบกับระบบควบคุมด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าที่ทำการศึกษาดังกล่าวกราฟลักษณะของการตอบสนองของระบบใบมีดต้นดินอัตโนมัติ ได้ถูกออกแบบให้อยู่ในระนาบแนวนอน และรับข้อมูลจากเซนเซอร์วัดมุมเอียงในระนาบแนวนอน ทำให้ชุดกลไกใบมีดต้นดินสามารถปรับองศาองศาการเอียงซ้าย-ขวา ในช่วง ± 20 องศา ได้อย่างต่อเนื่องโดยใช้กลไกแบบสี่ก้านโยง (Four-Bar Linkage) เพื่อช่วยรักษาระนาบของชุดกลไกใบมีดต้นดินที่วัดได้จากเซนเซอร์วัดมุมเอียงให้อยู่ในระนาบแนวนอน โดยตรวจสอบค่าความผิดพลาด อยู่ในช่วง ± 2 องศา หรือคิดเป็นค่าเบี่ยงเบนที่ 10 เปอร์เซ็นต์ และแสดงการเคลื่อนที่ของกราฟของระบบใบมีดต้นดินอัตโนมัติ ที่มีมุมเอียงมากที่สุดของใบมีดต้นดินที่มุม -20 องศา และมุม 20 องศา ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมของแผ่นใบมีดต้นดินกับเวลาพบวาลักษณะการปรับมุมระบบใบมีดต้นดินจะมีลักษณะแปรผันตรงกับเวลาโดยที่เมื่อทำการเอียงใบมีดต้นดินในมุมที่ไม่มากใบมีดต้นดินก็จะใช้ระยะเวลาในการปรับมุมเข้าสู่สถานะเสถียรภาพได้ในเวลาที่ไม่มากและเมื่อทำการเอียงใบมีดต้นดินในมุมที่มากขึ้นใบมีดต้นดินก็จะใช้ระยะเวลาในการปรับมุมเข้าสู่สถานะเสถียรภาพได้ในเวลาที่มากขึ้นทั้งในระบบควบคุมด้วยระบบไฟฟ้า และระบบไฮดรอลิก และจากการทดสอบระบบควบคุมสำหรับใบมีดต้นดินอัตโนมัติ เพื่อเปรียบเทียบระบบควบคุมทั้งสองระบบในแนวแกน X แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถรักษาระดับที่ 0 องศา ไว้ได้โดยพบว่าระบบควบคุมแบบไฟฟ้า และ ระบบไฮดรอลิกใช้เวลาในการกลับคืนสู่แนวระนาบได้ในเวลาที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย

จากผลการทดลองการทำงานของระบบควบคุมใบมีดต้นดินอัตโนมัติ ในหัวข้อที่ 4.1 พบว่าการปรับจูนพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID จะมีผลต่อเวลาคืนสู่แนวระนาบ และการโอเวอร์ชูตของระบบ ในการทดลองตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดจากสมการ PID ค่าทดสอบที่ดีที่สุดคือ $K_p = 12$ $K_i = 2$ และ $K_d = 2$ การทดลองระบบควบคุมด้วยระบบไฮดรอลิกใช้ระยะเวลาในการเข้าสู่แนวระนาบเฉลี่ยที่ 3.75 วินาที เมื่อพิจารณาผลตอบสนองของระบบพบว่า ระบบควบคุมด้วยระบบไฮดรอลิกจะเกิดโอเวอร์ชูต

ก่อนเข้าสู่สภาวะคงตัว และเมื่อทำงานในมุมที่มีความเอียงมากจะเกิดการคลาดเคลื่อนของมุมที่ 2 องศา จึงสรุปได้ว่าการทดลองการปรับจูนพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID สามารถทำให้ลดเวลาเข้าสู่จุดหมายและลดโอเวอร์ชูตของระบบลดลงได้อย่างชัดเจน

ตารางที่ 5.1 ผลการทดสอบพารามิเตอร์ $K_p= 12$ $K_i= 2$ และ $K_d= 2$

มุมเอียง	เวลาตอบสนอง	เปอร์เซ็นต์ Over shoot	ค่าความผิดพลาด ตอนท้าย
-20°	4.0 วินาที	15%	2.0°
-10°	3.5 วินาที	12.5%	2.0°
+10°	3.5 วินาที	13%	2.0°
+20°	4.0 วินาที	15%	2.0°

ตารางที่ 5.2 ผลการทดสอบพารามิเตอร์ $K_p= 18$ $K_i= 0.008$ และ $K_d= 0.01$

มุมเอียง	เวลาตอบสนอง	เปอร์เซ็นต์ Over shoot	ค่าความผิดพลาด ตอนท้าย
-20°	6.0 วินาที	30%	2.0°
-10°	8.0 วินาที	25%	2.0°
+10°	8.5 วินาที	0%	2.0°
+20°	8.0 วินาที	0%	2.0°

5.2 ปัญหาที่พบในการทำวิจัยและแนวทางในการแก้ปัญหา

5.2.1 ปัญหาด้านโครงสร้างของระบบควบคุมใบมีดต้นดินอัตโนมัติ ที่เกี่ยวข้องกับการขัดตัวของก้านโยงและตำแหน่งของจุดยึด ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อผลการทดลอง ดังนั้นจึงควรออกแบบข้อต่อก้านโยงที่มีคุณภาพสูงมีความแข็งแรง และกำหนดจุดยึดให้อยู่ในลักษณะที่ตรงศูนย์เพื่อลดการขัดตัวของกลไกใบต้นดิน

5.2.2 ปัญหาชุดต้นกำลังไฮดรอลิกและเกิดความร้อนสูงระหว่างทำการทดลอง จึงทำให้การทดลองทำได้ไม่ต่อเนื่อง และชุดต้นกำลังไฮดรอลิกมีความเสี่ยงที่จะชำรุด ดังนั้นจึงควรออกแบบติดตั้งระ

บระบายความร้อนให้กับชุดต้นกำลังไฮดรอลิก

5.2.3 มีคลื่นความถี่จากภายนอกมารบกวนการทำงานของใบดันดินทำให้การควบคุมไม่สมบูรณ์เท่าที่ควร ดังนั้นจึงจำเป็นต้องออกแบบระบบที่ป้องกันคลื่นความถี่รบกวนจากมอเตอร์ไฮดรอลิก

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

5.3.1 เนื่องจากระบบควบคุมใบดันดินจะทำงานได้ดีเมื่อทำงานควบคู่กับกลไกใบมีดดันดิน ดังนั้นจึงควรให้ความสำคัญกับการพัฒนาและออกแบบกลไกใบดันดินให้ดีและมีความแข็งแรงสูง

5.3.2 เนื่องจากการวิจัยมีการทดลองเพียงส่วนของเซอร์โววาล์ว และกระบอกสูบไฮดรอลิก เท่านั้น แต่ไม่ได้พิจารณาแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในระบบดังกล่าวควร มีการสร้างแบบจำลองแรงเสียดทาน (Friction Model) ให้กับระบบและควรเพิ่มการชดเชยแรงเสียดทาน (Friction Compensation) ให้กับตัวควบคุมด้วย

5.3.3 เนื่องจากระบบระบบควบคุมใบดันดินอัตโนมัติ ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี และ เพื่อคุณลักษณะการทำงาน และ เพื่อเป็นการพัฒนาระบบใบดันดินให้มีความเที่ยงตรงให้สอดคล้องกับตัวควบคุมมากที่สุดจึงมีความเห็นว่าควรทำการนำตัวควบคุมชนิดต่างๆ เช่น ตัวควบคุมแบบ พีซี ลอจิก มาทดลองทำการควบคุมใบมีดดันดินต่อไป

5.3.4 ควรจะมีการพัฒนาการเขียนโปรแกรมในส่วนของโปรแกรมให้มีการบอกสถานะของการทำงานได้โดยการนำเอาค่าแรงดันทางไฟฟ้าที่ได้ตัววัดความแรงมาแปรสัญญาณให้อยู่ในรูปของค่ามุมเพื่อบอกสถานะของการทำงานในรูปแบบตัวเลขและเป็นประโยชน์ในส่วนของการทำงานไปใช้งานจริง

5.3.5 ในการสร้างและพัฒนาระบบควบคุมใบมีดดันดินอัตโนมัติในรุ่นต่อไปจะต้องคำนึงถึงความหลากหลายในการใช้งานมากยิ่งขึ้นตัวอย่างเช่นการใช้งานไม่จำเป็นต้องรักษาระดับให้ได้มุมเอียงเท่ากับศูนย์ โดยอาจจะพัฒนาโปรแกรมควบคุม ให้มีการรักษาระดับใบมีดดันดินได้ตามแนวแกน Z

บรรณานุกรม

- [1] Wellstead, p., Ball and Beam 1-besic (online). (2009). Available: <http://www.control-system-principle.co.uk/download.html>
- [2] Evanko.D., Dorrset, A. and Chu, U., Ball on beam system with embradded Controller- (online),(2005).available:http://www.rp.feri.unimb.si/predmeti/skup_sem/projek1/shandor.pdf (5 DEC 2011)
- [3]Wamjohi,W.andCheever,E.(2005). Ball and beam control theory demonstrater, senior-design, swartmore college
- [4] เป็นเอก เพ็งวัน และ สุริยัน โขตะศรี.(2548), ระบบควบคุมตำแหน่งของลูกบอลบนคาน. (สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง)
- [5] Goodwin ,C ., Graebe, F and Salgado M.E. (2001) control system design. prentice hall.
- [6] Ismaal , H , A ., Ball and beam ELK 5320 neuro FUZZY system, (2007) electrical- And electronic engineering, factory of engineering, Karadiniz technical university.
- [7]Moment of inertia , mechanical model of bar (online) 2008.
available:<http://www.HEM351dynamicsystem/lab/mechanicalmodel.co.uk>
- [8] www.rmutphysics.com/_momentofinertia.html , (3 SEP 2010)
- [9] วีระยุทธ บุญครอง (2547), หลักการทำงานของขิมมูลิ่งค์ในแมทแลป. (วิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรจน์)
- [10] โมดุลวัดความเร่ง MMA 7331L (2554), “คุณสมบัติของโมดุลวัดความเร่ง MMA 7331L”, คู่มือการทำงานร่วมกับโมดุลวัดความเร่ง, บริษัท อีทีที จำกัด, หน้า2-4
- [11] กิจไพโรบลชีวพันธุ์ศรี , “การทำงานของ Data aquistion (DAQ card)”, labview เบื้องต้น , 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](http://www.fivedot.coe.psu.ac.th/servo_motor/encoder). (9 ตุลาคม 2554) 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] มนุศักดิ์ จานทอง , “System Modeling – Electromechanical” หน้า 22

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [18] Amjad, M and Adulah, S, Ball and beam control ,
(online),2008..available:<http://www.aptronix.com/fide/wide.html>.
- [19] Accelus™ Panel (online), Available:
http://www.copleycontrols.com/motion/pdf/Accelus_Panel.pdf
- [20] Mabie, H.H. and Reinholtz, C.F.(1987). Mechanisms and Dynamics of Machinery,
4th Edition, John Wiley & Sons, Inc., New York (NY), U.S.A.
- [21] Wilson, C.E. and Sadler, J.P.(2003) Kinematics and Dynamics of Machinery, 3rd
Edition, Pearson Education, Inc., New Jersey, U.S.A.



ภาคผนวก





ภาคผนวก ก

ระบบควบคุมไฮดรอลิกสำหรับใบมีดต้นดินอัตโนมัติให้อยู่ในแนวระดับ
การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ครั้งที่ 4
15-16 กรกฎาคม 2563 ศูนย์นนทบุรี เขตเหนือ

ระบบควบคุมไฮดรอลิกใบมีดดันดินอัตโนมัติให้อยู่ในแนวระดับ Hydraulic Control System for Automatic-Leveling Dozer Blade

พงษ์พันธ์ คำป๋อก^{1*}และพิพัฒน์ ปราโมทย์^{2*}

Pongpun komepork^{1*}, Pipat Pramot^{2*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอการออกแบบระบบควบคุมไฮดรอลิกและระบบกลไกสำหรับปรับใบมีดดันดินของรถแทรกเตอร์การเกษตรให้อยู่แนวระดับอย่างต่อเนื่องในสภาพแวดล้อมการทำงานที่มีความลาดเอียงซ้ายขวาและพื้นผิวไม่สม่ำเสมอโดยอัตโนมัติเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของรถแทรกเตอร์การเกษตร

การออกแบบระบบควบคุมแบบพีไอดีในอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมเซอร์โววาล์วใช้ข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์วัดความเร็วเชิงมุมและมุมเอียงที่ติดตั้งไว้กับตัวรถแทรกเตอร์ไปควบคุมกระบอกลไฮดรอลิกให้ใบมีดดันดินอยู่ในแนวระดับขนานกับพื้นดินอย่างสม่ำเสมอ มีการกำหนดการทดสอบตัวรถให้มีมุมเอียงไม่เกิน 20 องศา

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบควบคุมแบบพีไอดีสามารถควบคุมใบมีดดันดินให้อยู่แนวระดับโดยอัตโนมัติ สามารถลดค่าโอเวอร์ชูต ค่าแกว่งของระบบ และลดเวลาเข้าที่ให้เป็นตามที่ต้องการ การปรับจูนพารามิเตอร์ของระบบควบคุมแบบพีไอดีที่เหมาะสมที่สุด ทำให้ระบบสมดุลและได้ผลลัพธ์ตรงตามต้องการมากที่สุด คือ วิธีวงปิดในโหมดการควบคุมอัตโนมัติ ค่าทดสอบที่ดีที่สุดคือ $K_p = 12$ $K_i = 2$ และ $K_d = 2$ เมื่อพิจารณาจากองศาของใบมีดดันดินที่อยู่ในช่วง ± 2 องศา และมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ : ไฮดรอลิก ใบมีดดันดิน ระบบควบคุมแบบพีไอดี เซอร์โววาล์ว

Abstract

This research aimed to present a design of a hydraulic control system and mechanical system for automatically leveling the bulldozer blade when the bulldozer was operated on uneven ground and slopes. This would enable the bulldozer to perform more efficiently.

Based on the data receiving from the angular velocity sensors installed in the bulldozer, the designed PID control system in the microcontroller directed hydraulic servo valve systems to continuously align the bulldozer blade. In the experiment, the bulldozer was set on slopes less than 20 degrees.

The study revealed that the designed PID control system could automatically align the bulldozer blade. Moreover, it could reduce the overshoot, the oscillations, and the setting time as expected. The optimal tuning parameters of the PID controller for a stable system and the required results were the closed-loop control function in an automatic control mode ($K_p = 12$, $K_i = 2$, and $K_d = 2$) when the angle of the bulldozer blade was ± 2 degrees with the mean percentage error of less than ten percent.

Keywords: hydraulic, bulldozer blade, PID control system, servo valve



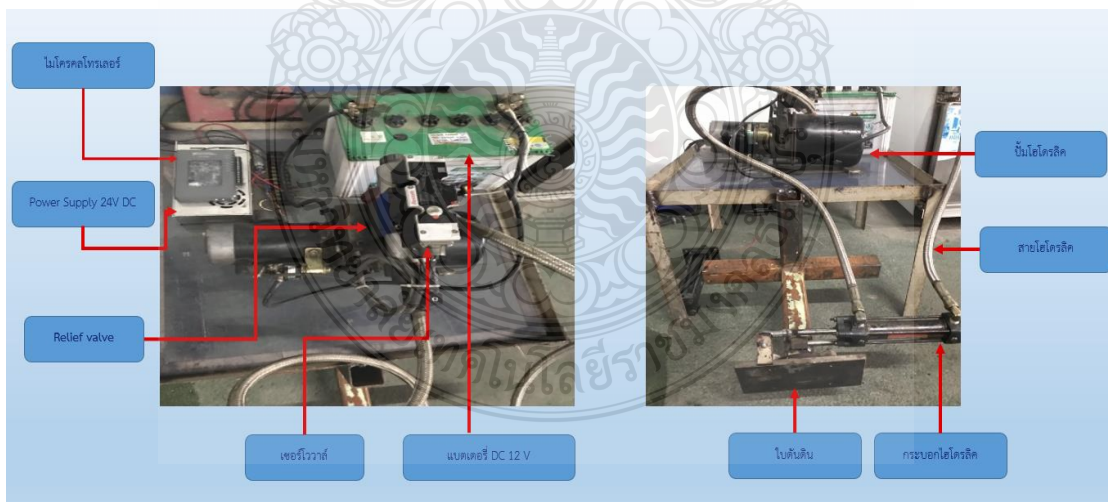
บทนำ

เครื่องจักรกลหนักเป็นปัจจัยที่สำคัญที่จะเสริมสร้างความมั่นคงให้แก่ อุตสาหกรรมพื้นฐานหลักของประเทศ ปัจจุบันมีการใช้งานรถแทรกเตอร์การเกษตรเพื่อปรับพื้นผิวดินให้เรียบสำหรับงานการเกษตรและงานการก่อสร้างต่างๆ รถแทรกเตอร์จึงเข้ามามีบทบาทที่สำคัญและมีส่วนช่วยในการเป็นเครื่องจักรต้นกำลัง ในการทำงานแล้วทำให้เรามีแนวความคิดที่ในการพัฒนาระบบควบคุมใบมีดดินรถแทรกเตอร์ให้เหมาะสมกับการใช้งานในพื้นที่ต่างๆและยังต้องพัฒนาเทคโนโลยีมีดดินให้มีความเหมาะสมในการทำงานร่วมกับรถแทรกเตอร์ เพื่อลดเวลาในการทำงานการปรับพื้นที่ ทำให้การทำงานสะดวกรวดเร็วขึ้น โดยจะช่วยทุ่นแรงทำให้ลดความยากลำบากในการทำงาน สามารถทำงานได้นานขึ้น หรือลดการออกแรงให้น้อยลงจะได้ผลงนมากขึ้น ทำให้เครื่องจักรประเภทนี้มีความสำคัญและจำเป็นต่อการดำเนินงานในยุคปัจจุบัน และปัญหาที่พบในการใช้งานเครื่องจักรประเภทนี้ผู้ควบคุมการทำงานของเครื่องจักรประเภทนี้ต้องมีทักษะและความชำนาญสูงถึงจะสามารถควบคุมการทำงานของเครื่องจักรประเภทนี้ได้ตามต้องการ สำหรับการออกแบบระบบควบคุมใบมีดดินอัตโนมัติในมิตินั้นมีเทคนิคการควบคุมหลายประเภท อาทิเช่น Peter Wellstead [1] จาก princeples.co.uk ได้ทำการวิจัยเรื่อง Ball and Beam Basic โดยวิธีการใช้วิธีการหาสมการแบบ Mathematical Model โดยการมองชิ้นงานเข้าไปในแบบสองมิติเพื่อทำการหาแรงและองค์ประกอบต่างๆที่มากกระทำกับชิ้นงาน และทำการทดลองทำแบบจำลองโดยใช้ตัวควบคุมต่างมาทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานเช่น แอล คิว อา (Linear Quadratic Regulator) แอล คิว จี (Linear Quadratic Guassian) ระบบควบคุมแบบคงทน (Robust Control) พีไอดี (PID control) ฟัชซี ลอจิก (FUZZY Logic-control control) ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการดำเนินงานวิจัยนี้ในด้านการใช้สมการ Mathematical Model และการนำระบบควบคุม พีไอดี และ ฟัชซี ลอจิก มาใช้งานในรูปแบบการทำแบบจำลอง David Evanko, Arend Dorsett, Chu Choi [2] จาก Department of Electrical Engineering University of NortFlorida ได้ทำการวิจัยเรื่อง Ball on beam system with an embadded controller ซึ่งเป็นการทำวิจัยโดยใช้เซนเซอร์แบบ GP2D12 Interface distance sensor ซึ่งจะส่งสัญญาณออกมาในรูปแบบแรงดันทางไฟฟ้า (Voltage) และส่งสัญญาณไปยังชุดไมโครคอนโทรเลอร์ แบบMC9S12C32ในการสร้างสัญญาณขาออก (Out put) ของระบบโดยใช้ระบบควบคุม พีไอดี ซึ่งเกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ในด้านของการใช้ Sensor เพื่อส่งสัญญาณในรูปแบบแรงดันไฟฟ้าและการใช้ระบบควบคุม พีไอดีในการควบคุม William Wamjohi จาก [3] Swarthmore College ได้ทำการวิจัยเรื่อง Ball and beam control demontstrater ซึ่งเป็นการควบคุมลูกบอลโดยการหารูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์โดยการมองชิ้นงานเข้าไปในแบบสองมิติเพื่อทำการหาแรงและองค์ประกอบต่างๆที่มากกระทำกับชิ้นงานและการเขียนโปรแกรมด้วย ซิมมูลิงค์ (Simulink) ด้วยแมทแลบ (MATLAB) โดยการควบคุมแบบ พีไอดี ซึ่งเป็นตัวอย่างที่ดีในด้านของการเขียนโปรแกรมด้วยซิมมูลิงค์ ด้วย แมทแลบซึ่งตรงกับงานวิจัยนี้ เป็นเอก เฟ็งวัน, สุรียัน โชตะศรี [4] ได้ทำดั่งนั้นผู้วิจัยได้ทำการศึกษาออกแบบระบบควบคุมไฮดรอลิกและระบบกลไกสำหรับปรับใบมีดดินของรถแทรกเตอร์ ให้อยู่แนวระดับโดยอัตโนมัติซึ่งใบดินดินจะทำงานตามแนวระดับอย่างต่อเนื่อง โดยระบบ

ควบคุมจะนำมาติดตั้งและทำงานร่วมกันกับรถแทรกเตอร์ กระบวนการออกแบบระบบควบคุมไฮดรอลิกสำหรับไบนดินในให้อยู่แนวระดับจะใช้อุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์และระบบควบคุมแบบพีไอดีเพื่อไปควบคุมเซอร์โววาล์ว ในขณะที่สัญญาณควบคุมย้อนกลับวัดได้โดยตรงจากเซ็นเซอร์วัดความเร็วเชิงมุมและมุมเอียงที่ติดตั้งไว้กับตัวรถแทรกเตอร์ ไปควบคุมกระบอกไฮดรอลิกให้ส่งกำลังควบคุมไบนดินให้อยู่ในแนวระดับขนานกับพื้นดินอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นจึงมีแนวความคิดออกแบบระบบควบคุมไฮดรอลิกสำหรับไบนดินอัตโนมัติและทำงานร่วมกับรถแทรกเตอร์การเกษตร ซึ่งจะมีส่วนช่วยในการลดปัญหาผู้ควบคุมการทำงาน of เครื่องจักรประเภทนี้ที่ต้องมีทักษะและความชำนาญสูงลงได้ และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน of เครื่องจักรให้สูงขึ้น และมีคุณค่าต่อผู้ใช้แทรกเตอร์เพื่อการเกษตรในการปรับพื้นที่

วิธีการศึกษา

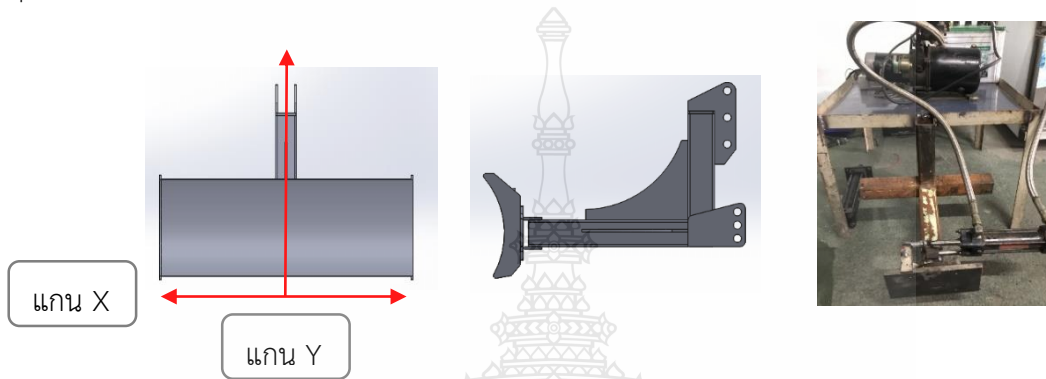
เพื่อให้ไบนดินสามารถทรงตัวอยู่ในระนาบได้จึงได้ออกแบบและพัฒนากลไกที่เพิ่มองศาการหมุนของไบนดินให้รอบแกน Y พร้อมกับกลไกรักษาองศาการเอียง ซ้าย-ขวาไบนดินด้วยกระบอกไฮดรอลิกเพื่อให้อยู่ในระนาบแนวนอนเสมอไม่ว่าจะมีแรงภายนอกมากกระทำหรือมีการโคลงของฐานของชุดกลไกหรือตัวรถแทรกเตอร์ ดังนั้นจะกล่าวถึงการออกแบบและทฤษฎีที่นำมาใช้ในการคำนวณทั้งทางจลศาสตร์และพลศาสตร์



รูปที่ 1. การสร้างระบบควบคุมระบบไฮดรอลิกสำหรับไบนดินอัตโนมัติ

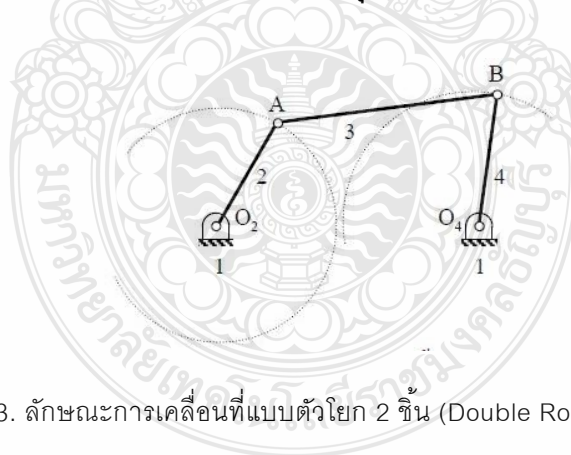
1. การออกแบบโครงสร้างกลไกใบมีดตัดดิน

กลไกใบมีดตัดดินขับเคลื่อนด้วยระบบไฮดรอลิกด้วยดั่งในรูปที่ 1 ที่ส่งกำลังโดยกระบอกลูกไฮดรอลิก ทำให้ใบมีดดินปรับการเอียงซ้ายขวาจากนั้นแล้วได้ออกแบบจุดหมุนของใบมีดดินเพื่อช่วยรักษาเสถียรภาพในการเอียงของใบมีดดินข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์วัดความเอียงให้ชานกับระนาบแนวนอนเสมอกลไกทั้งหมดได้ทำการออกแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อจำลองและทดสอบการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์



รูปที่2. การออกแบบใบมีดตัดดินอัตโนมัติ

2. แบบจำลองทางจลศาสตร์ (Kinematics Model) ของชุดกลไก



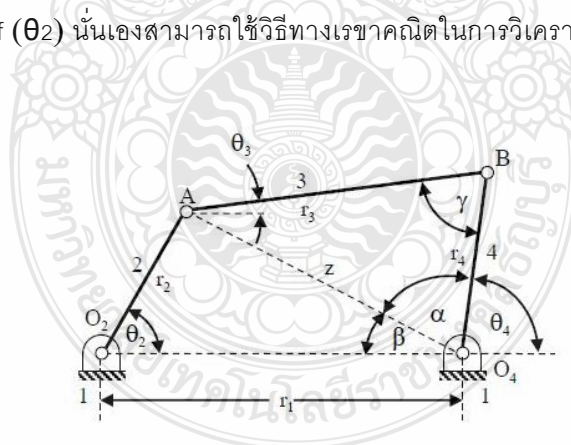
รูปที่3. ลักษณะการเคลื่อนที่แบบตัวโยก 2 ชั้น (Double Rocker) [5]

กลไกและกลไกก้านต่อ (Mechanism and Linkage) กลไก (Mechanism) เกิดจากการต่อรวมกันของวัตถุแข็งเกร็ง (Rigid Body) หลายๆชิ้น โดยที่วัตถุเหล่านั้นถูกต่อกันไว้และมีลักษณะการเคลื่อนที่เฉพาะตัว กลไกก้านต่อ (Linkage) เป็นกลไกที่เกิดจากการต่อรวมกันของชิ้นต่อโยง (Link) โดยกลไกก้านต่อจะทำหน้าที่ส่งผ่านการเคลื่อนที่จากชิ้นต่อโยงหนึ่ง ไปยังชิ้นต่อโยงอื่นๆที่ต้องการ ดังนั้น สิ่งสำคัญที่จะต้องศึกษาเป็นอันดับแรกเกี่ยวกับกลไกก้านต่อ ก็คือลักษณะการเคลื่อนที่ของกลไกก้านต่อ รวมไปถึงการ

วิเคราะห์ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของกลไกก้านต่อ 4 ชั้น นั้นเองการเคลื่อนที่ของกลไกก้านต่อ 4 ชั้น ในการทดลอง จะมีลักษณะการเคลื่อนที่แบบตัวโยก 2 ชั้น (Double Rocker) ในการอธิบายลักษณะการเคลื่อนที่ของกลไกก้านต่อ 4 ชั้น ที่ระบุขนาดของชั้นต่อโยงแต่ละชั้นแล้วนั้น จะอาศัยกฎของแกรชอฟฟ์ (Grashoff's Law) ซึ่งได้จาก การพิจารณาขนาดของชั้นต่อโยงแต่ละชั้นดังนี้เมื่อผลบวกของความยาวของชั้นต่อโยงที่สั้นที่สุดกับความยาวของชั้นต่อโยงที่ยาวที่สุดมีค่าน้อยกว่าผลบวกของความยาวของชั้นต่อโยง 2 ชั้นที่เหลือจะแยกการพิจารณาออกเป็น 3 กรณีดังต่อไปนี้เมื่อชั้นต่อโยงที่สั้นที่สุดเป็นข้อเหวี่ยง (Crank) และชั้นต่อโยงที่อยู่ใกล้กับชั้นต่อโยงที่สั้นที่สุดเป็นชั้นต่อโยงตรึง (Fixed Link) กลไกก้านต่อ 4 ชั้นจะมีลักษณะการเคลื่อนที่เป็นข้อเหวี่ยงและตัวโยก (Crank and Rocker)

3.การวิเคราะห์ตำแหน่งของกลไกก้านต่อ 4 ชั้น (Position Analysis of the Four-Bar Linkage)

จากหัวข้อที่ผ่านมา จะสามารถใช้กฎของแกรชอฟฟ์ (Grashoff's Law) ระบุลักษณะการเคลื่อนที่ของกลไกก้านต่อ 4 ชั้นได้ แต่ถ้าต้องการที่จะหาว่า เมื่อชั้นต่อโยงขับอยู่ ณ ตำแหน่งหนึ่ง แล้วชั้นต่อโยงที่เหลือจะอยู่ ณ ตำแหน่งใด จะต้องอาศัยการวิเคราะห์ตำแหน่ง (Position Analysis) ซึ่งสามารถใช้วิธีทางเรขาคณิต (Method of Geometry) รูปที่ 4 แสดงกลไกก้านต่อ 4 ชั้น (Four-Bar Linkages) ซึ่งประกอบไปด้วยชั้นต่อโยงตรึง (Fixed Link) หมายเลข 1, ชั้นต่อโยงรับกำลังเข้า (Input Link) หมายเลข 2, ชั้นต่อโยงระหว่างกลาง (Intermediate Link) หมายเลข 3 และชั้นต่อโยงส่งกำลังออก (Output Link) หมายเลข 4 และการวิเคราะห์ตำแหน่ง (Position Analysis) คือ การหาฟังก์ชันที่อธิบายค่าตัวแปรของชั้นต่อโยง ส่งกำลังออกซึ่งคือ θ_4 โดยอาศัยค่าตัวแปรของชั้นต่อโยงรับกำลังเข้าคือ θ_2 ซึ่งถ้าอธิบายโดยการเขียนเขียนเป็นสมการ ก็คือ $\theta_4 = f(\theta_2)$ นั้นเองสามารถใช้วิธีทางเรขาคณิตในการวิเคราะห์ตำแหน่งได้ดังนี้



รูปที่4. ลักษณะการเคลื่อนที่แบบตัวโยก 2 ชั้น (Double Rocker) [5]

พิจารณา $\Delta AO_2 O_4$ และ ΔABO_4 โดยใช้กฎของโคไซน์ (Cosine Law) จะได้

$$z^2 = r_1^2 + r_2^2 - 2r_1 r_2 \cos\theta \quad (2.1)$$

$$z^2 = r_3^2 + r_4^2 - 2r_3r_4 \cos \gamma \quad (2.2)$$

ค่า Z ในสมการที่ (2.1) เท่ากับ Z ในสมการที่ (2.2) เพราะฉะนั้น จะได้

$$r_1^2 + r_2^2 - 2r_1r_2 \cos \theta_2 = r_3^2 + r_4^2 - 2r_3r_4 \cos \gamma \quad (2.3)$$

$$\gamma = \cos^{-1} \left[\frac{r_1^2 + r_2^2 - r_3^2 - r_4^2 - 2r_1r_2 \cos \theta_2}{-2r_3r_4} \right] \quad (2.4)$$

$$\gamma = \cos^{-1} \left[\frac{z^2 - r_3^2 - r_4^2}{-2r_3r_4} \right] \quad (2.5)$$

5. อุปกรณ์และเซนเซอร์ที่ใช้ในการทดสอบ

หลักการการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ NI myRIO เป็นฮาร์ดแวร์แบบฝังตัวซึ่งประกอบด้วยตัวประมวลผลระบบปฏิบัติการแบบเรียลไทม์ และชิป FPGA ที่สามารถโปรแกรมช่วยให้สามารถออกแบบระบบที่ซับซ้อนและฝังโปรแกรมเข้าไปยังฮาร์ดแวร์ได้อย่างรวดเร็ว การทำงานของอุปกรณ์คือกระบวนการอ่านค่าสัญญาณทางไฟฟ้าแล้วนำมาเก็บในคอมพิวเตอร์เพื่อการวัด การวิเคราะห์ การจัดเก็บ และการแสดงผลด้วยซอฟต์แวร์ Analog Input สำหรับสัญญาณอนาล็อก ซึ่งสามารถรับได้หลายช่องสัญญาณ โดยวัดค่าสัญญาณแรงดันจากเซนเซอร์ต่างๆ โดยปกติจะวัดได้ตั้งแต่ -10V จนถึง +10V Analog Output สำหรับสร้างสัญญาณอนาล็อกทั้งแบบ DC และ AC ที่เป็น Waveform Digital I/O สำหรับสร้างสัญญาณดิจิทัล เพื่อทำงานร่วมกับอุปกรณ์ภายนอกเช่น Switch relay LED Counter I/O ทำหน้าที่วัดสัญญาณจาก Encoder หรือสร้างสัญญาณ Pulse



รูปที่ 5. ไมโครคอนโทรลเลอร์ NI myRIO

6.ของวาล์วควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional Directional valve)

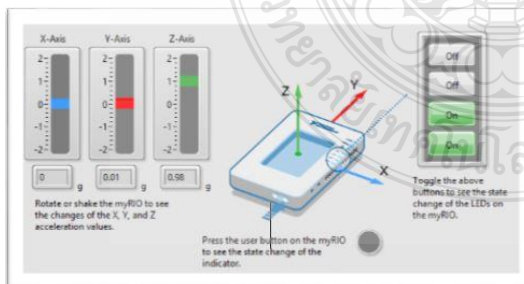
วาล์วควบคุมแบบสัดส่วน คือวาล์วที่ควบคุมด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งการทำงานจะคล้ายกับ Solenoid valve จึงสามารถควบคุมทิศทางและปริมาณการไหลเป็นสัดส่วนตามสัญญาณคำสั่งทางไฟฟ้า สามารถนำไปใช้ในระบบ Close Loop Control ได้เช่น Position Control ของกระบอกลูกสูบหรือ Speed Control ของกระบอกลูกสูบและมอเตอร์ไฮดรอลิกลักษณะการทำงานของวาล์วควบคุมแบบสัดส่วนคือ เมื่อจ่ายกระแสไฟเข้าระบบมากกว่าลาก็จะเปิด กล่าวคือลักษณะการเลื่อนเปิดหรือปิดวาล์วจะแปรผันตรงกับกระแสไฟฟ้าที่จ่ายเข้าระบบวาล์ว



รูปที่6. วาล์วควบคุมแบบสัดส่วน

7.เซ็นเซอร์วัดมุมเอียง

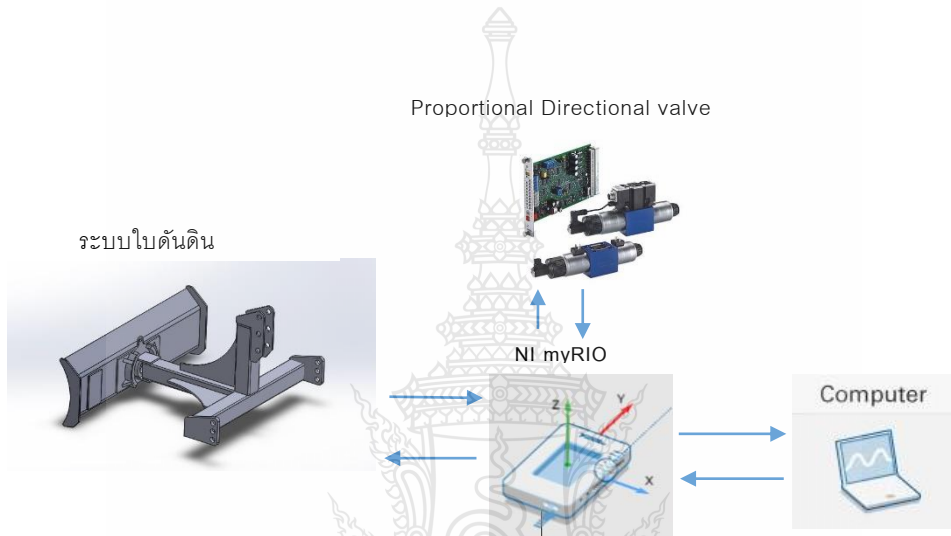
ในการควบคุมใบตื้นดินให้ได้ระดับ นั้นจำเป็นต้องใช้เซ็นเซอร์วัดมุมเอียง (Accelerometer) ในการป้อนกลับของสภาวะเอียง ทำงานร่วมกับวาล์วควบคุมแบบสัดส่วน เพื่อควบคุมกระบอกลูกสูบให้ควบคุมใบตื้นดินอยู่ในแนวระดับขนานกับพื้นดิน ในการทำการทดลองจะใช้เซ็นเซอร์วัดมุมเอียงที่มีมากับไมโครคอนโทรลเลอร์ NI myRIO มี Accelerometer แบบ 3 แกนในตัว



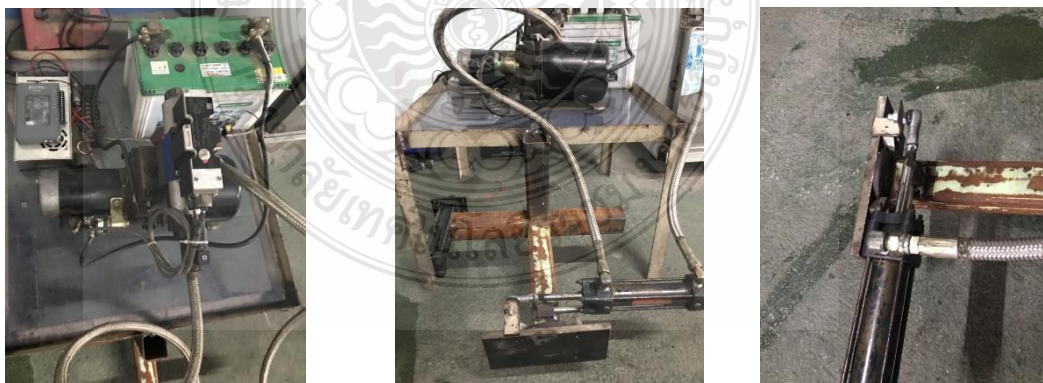
รูปที่7. เซ็นเซอร์วัดมุมเอียงแบบ 3 แกน

8. ระบบส่งสัญญาณควบคุมระบบไฮดรอลิกสำหรับไบมัดดินอัตโนมัติ

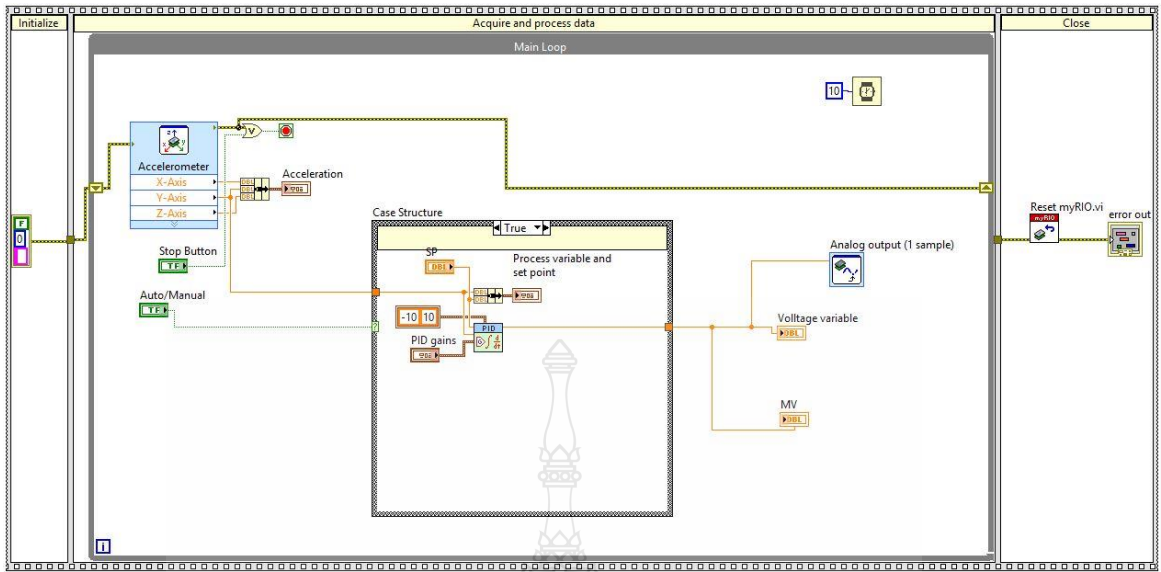
ระบบส่งสัญญาณควบคุมระบบไบมัดดินอัตโนมัติเริ่มต้นโดยตัววัดความเร่งได้รับค่าสัญญาณจากเอาพุดท์ภายนอก (มุมที่เปลี่ยนแปลงไป) จากนั้นตัววัดความเร่งจะส่งสัญญาณอนาล็อกออกไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ NI myRIO และทำการประมวลผลในโปรแกรมแลบวิวแล้วส่งสัญญาณกลับมายังไมโครคอนโทรลเลอร์ NI myRIO เพื่อทำการส่งสัญญาณไปยังการ์ดควบคุมเซอร์โววาล์วที่ทำหน้าที่ควบคุมเซอร์โววาล์วให้ระบบไฮดรอลิกควบคุมไบมัดดินให้อยู่ในแนวระดับขนานกับพื้นดินตาม



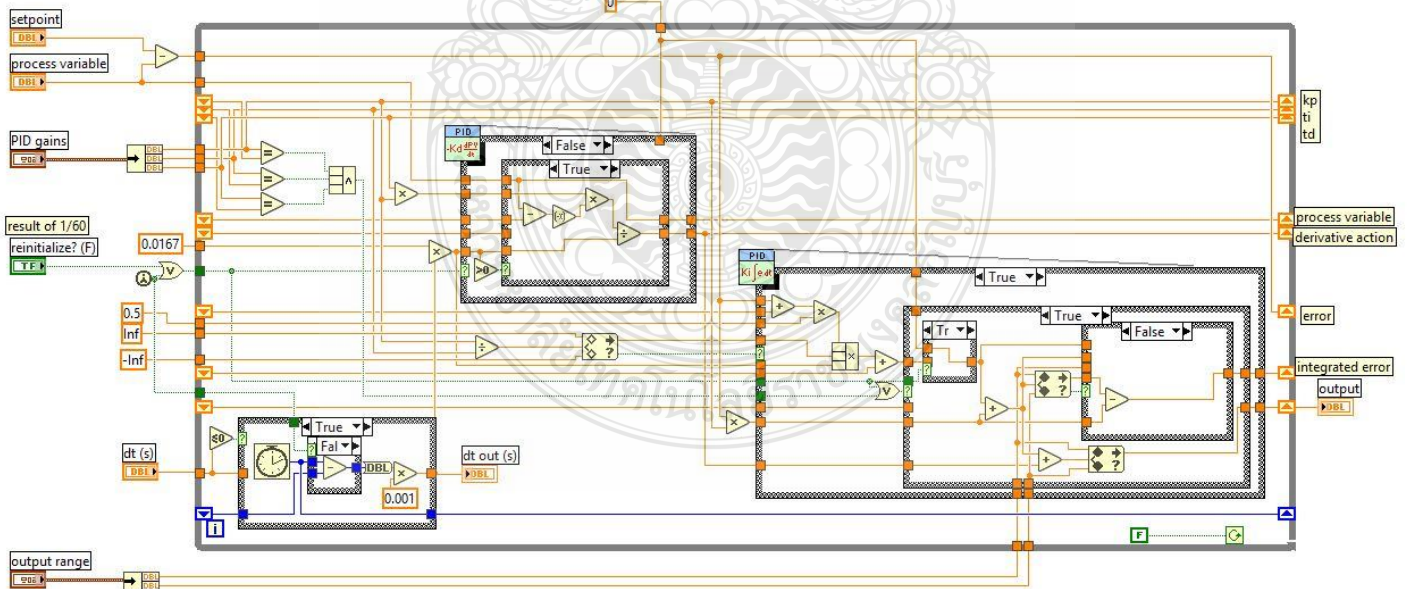
รูปที่8. ระบบไฮดรอลิกสำหรับไบมัดดินอัตโนมัติ



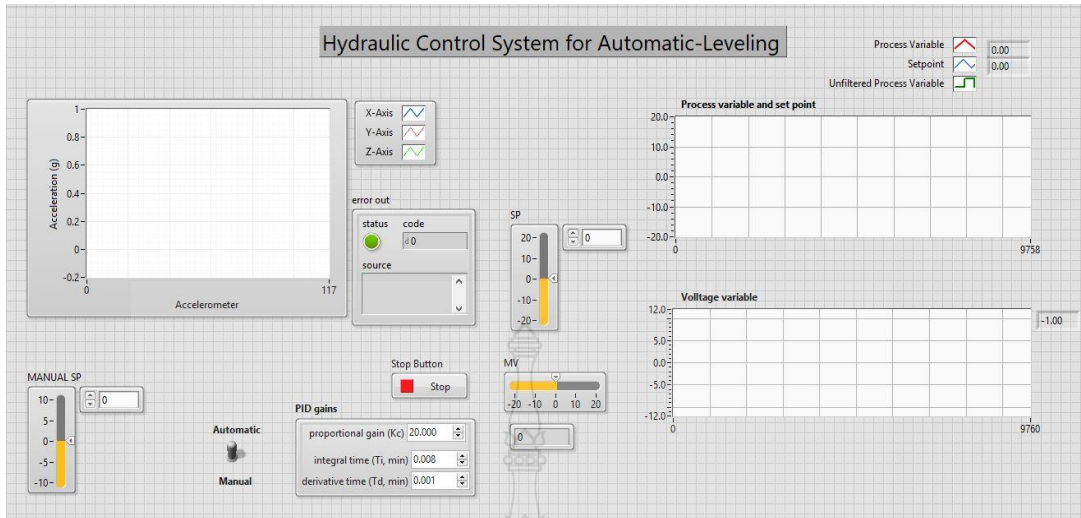
รูปที่9. การเชื่อมต่อชุดไบมัดดินกับไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่10. ระบบไฮดรอลิกสำหรับใบมีดคันดินอัตโนมัติในส่วนของ Black Diagram



รูปที่11. ระบบไฮดรอลิกสำหรับใบมีดคันดินอัตโนมัติในส่วนของ PID Controller



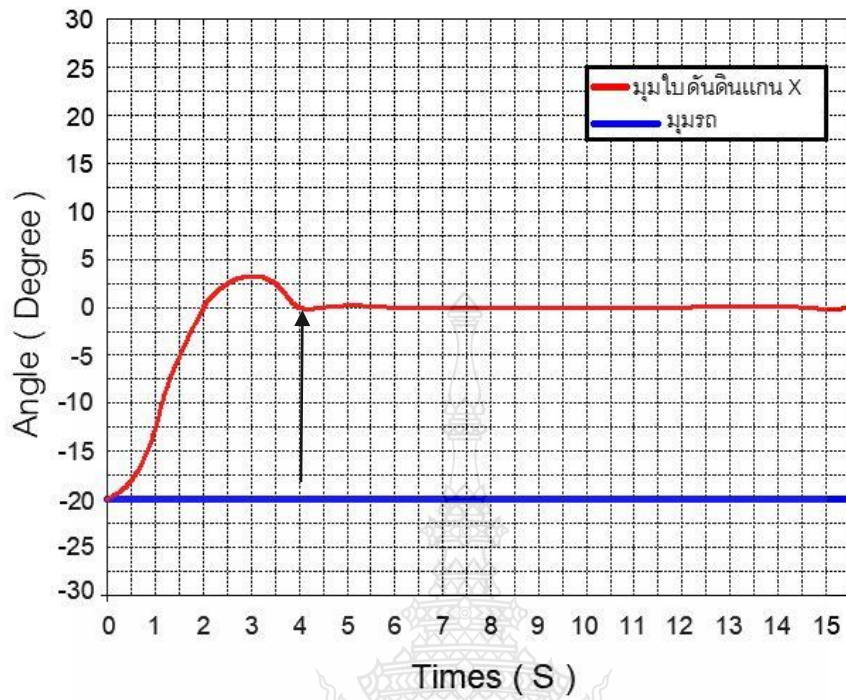
รูปที่12.ระบบไฮดรอลิกสำหรับไบนีตต้นดินอัตโนมัติในส่วนของ Front Panel

ผลการศึกษา

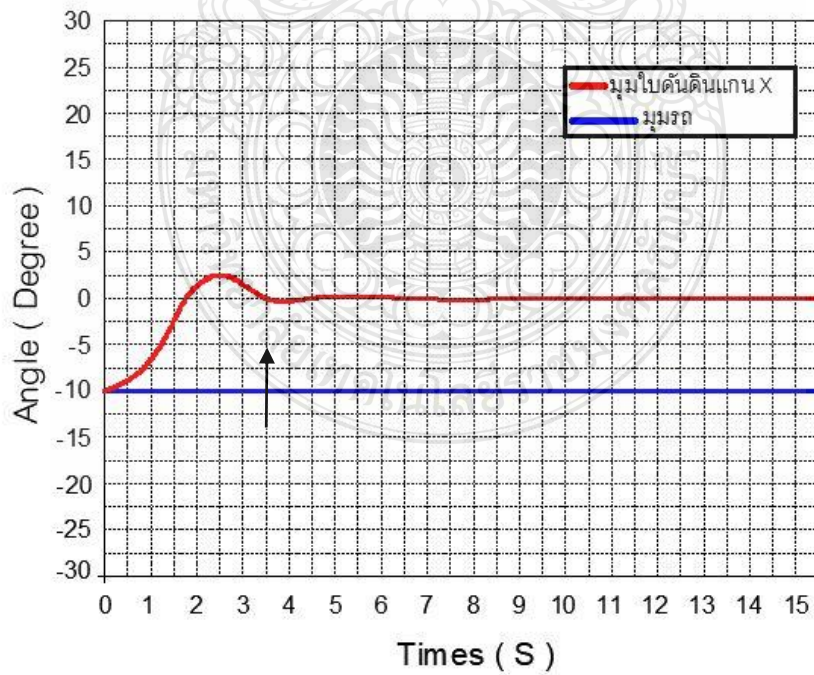
การทดลองการทำงานของระบบไบนีตต้นดินอัตโนมัติ จะใช้กระบอกลิไฮดรอลิกในการเป็นตัวขับเคลื่อนและควบคุมไบนีตต้นดินให้เอียงไปตามมุมที่ต้องการ สำหรับการทดลองครั้งนี้จะดำเนินการทดสอบไบนีตต้นดินที่ระนาบ X การทดลองนี้เป็นการทดสอบการเคลื่อนที่ของระบบควบคุมสำหรับไบนีตต้นดินอัตโนมัติโดยแสดงผลในรูปแบบของกราฟ มุมซึ่งมีหน่วยเป็น องศาเทียบกับเวลามีหน่วยเป็นวินาที โดยทดลองกำหนดตัวรถเอียงที่ความต่างของมุมครั้งละ 10 องศา และจะเริ่มทำการทดลองตั้งแต่ -20 องศา จนถึง + 20 องศา ซึ่งผลการทดลองแสดงดังรูปที่14. ถึง รูปที่17.



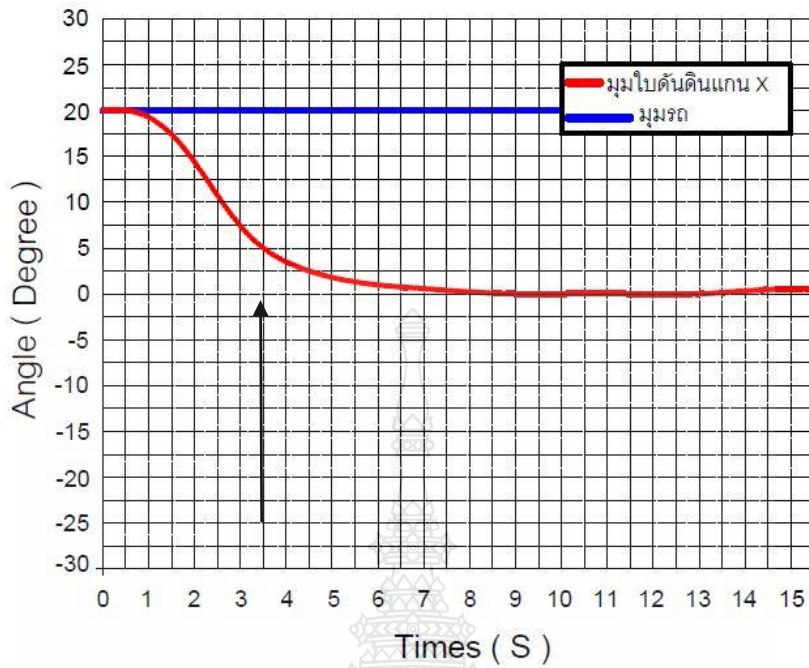
รูปที่13. การทดสอบการเคลื่อนที่ของระบบควบคุมสำหรับไบนีตต้นดินอัตโนมัติ



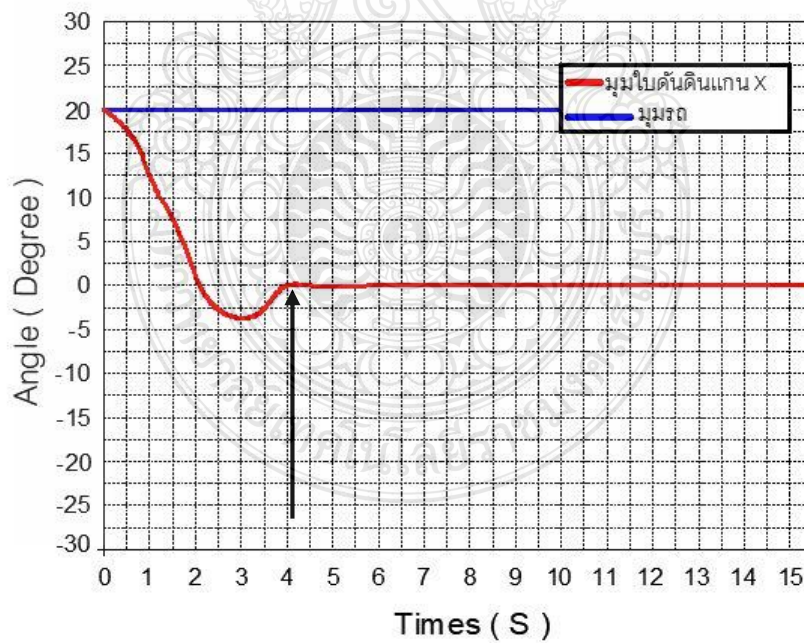
รูปที่14.ผลการทดลองใบมีดคั่นดินที่มุม -20 องศา เวลาเข้าสู่จุดหมาย 4 วินาที



รูปที่15.ผลการทดลองใบมีดคั่นดินที่มุม -10 องศา เวลาเข้าสู่จุดหมาย 3.5 วินาที



รูปที่ 16. ผลการทดลองใบมีดคั่นดินที่มุม 10 องศา เวลาเข้าสู่จุดหมาย 3.5 วินาที



รูปที่ 17. ผลการทดลองใบมีดคั่นดินที่มุม 20 องศา เวลาเข้าสู่จุดหมาย 4 วินาที

สรุป

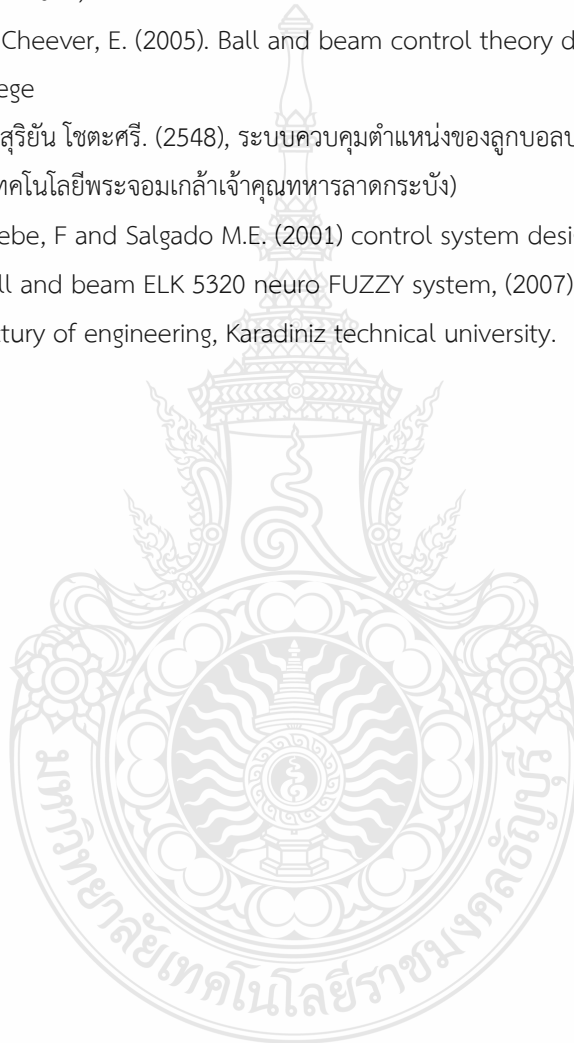
กราฟลักษณะของการตอบสนองของระบบใบมีดต้นดินอัตโนมัติ ได้ถูกออกแบบให้อยู่ในระนาบแนวนอน และรับข้อมูลจากเซ็นเซอร์วัดมุมเอียงในระนาบแนวนอน ทำให้ชุดกลไกใบมีดต้นดินสามารถปรับองศาองศาการเอียงซ้าย-ขวา ในช่วง ± 20 องศา ได้อย่างต่อเนื่องโดยใช้กลไกแบบสี่ก้านโยง (Four-Bar Linkage) เพื่อช่วยรักษาระนาบของชุดกลไกใบมีดต้นดินที่วัดได้จากเซ็นเซอร์วัดมุมเอียงให้อยู่ในระนาบแนวนอน โดยตรวจสอบค่าความผิดพลาด อยู่ในช่วง ± 2 องศา หรือคิดเป็นค่าเบี่ยงเบนที่ 10 เปอร์เซ็นต์ และแสดงการเคลื่อนที่ของกราฟของระบบใบมีดต้นดินอัตโนมัติ ที่มีมุมเอียงมากที่สุดของใบมีดต้นดินที่มุม -20 องศา และมุม 20 องศา ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมของใบมีดต้นดินกับเวลาพบว่า ลักษณะการปรับมุมของใบมีดต้นดินจะมีลักษณะแปรผันตรงกับเวลาโดยที่เมื่อทำการตัวรถเอียงที่ในมุมที่ไม่มากใบมีดต้นดินก็จะใช้ระยะเวลาในการปรับมุมเข้าสู่สถานะเสถียรภาพได้ในเวลาที่ไม่มากและเมื่อตัวรถเอียงที่มากขึ้นใบมีดต้นดินก็จะใช้ระยะเวลาในการปรับมุมเข้าสู่สถานะเสถียรภาพได้ในเวลาที่มากขึ้นทั้งในระบบควบคุมระบบไฮดรอลิก และจากการทดสอบระบบควบคุมสำหรับใบมีดต้นดินอัตโนมัติ ในแนวแกน X แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถรักษาระดับที่ 0 องศาไว้ได้ โดยพบว่าระบบควบคุมแบบไฮดรอลิกใช้เวลาในการกลับคืนสู่แนวระนาบได้ในเวลาเฉลี่ย 3.5 วินาที มีลักษณะการกลับคืนสู่แนวระนาบที่ราบเรียบ การปรับจูนพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ให้เหมาะสมที่สุดจากสมการ PID ค่าทดสอบที่ดีที่สุดคือ $K_p = 12$ $K_i = 2$ และ $K_d = 2$

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์พัฒน์ปราโมทย์ ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษาตลอดการทำงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Wellstead,p., Ball and Beam 1-besic (online). (2009). available:<http://www.control-system-principle.co.uk/download.html>
- [2] Evanko.D., Dorrset, A. and Chu, U., Ball on beam system with embradded controller(online),(2005).available:http://www.rp.feri.unimb.si/predmeti/skup_sem/projek1/shandor.pdf (5 DEC 2011)
- [3] Wamjohi , W. and Cheever, E. (2005). Ball and beam control theory demonstrater, senior design, swartmore college
- [4] เป็นเอก เพ็ญวัน และ สุริยัน โขตะศรี. (2548), ระบบควบคุมตำแหน่งของลูกบอลบนคาน. (สาขา-วิศวกรรมระบบ-ควบคุม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง)
- [5] Goodwin , C ., Graebe, F and Salgado M.E. (2001) control system design. prentice- hall.
- [6] Ismaal , H , A ., Ball and beam ELK 5320 neuro FUZZY system, (2007) electrical and electronic - engineering, factory of engineering, Karadiniz technical university.



ภาคผนวก ข
รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง



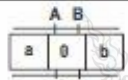
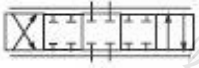

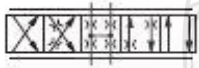
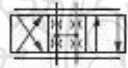


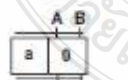
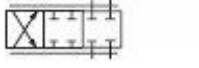
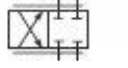
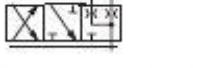

ข.1 เครื่องคอมพิวเตอร์ (Computer)

เครื่องคอมพิวเตอร์ใช้ในการทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของระบบควบคุมไฮดรอลิกโดยใช้โปรแกรม LabVIEW ร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ NI-myRIO Toolkit พร้อมทั้งรับข้อมูลจากตัววัดความเร่งมาประมวลผลและส่งสัญญาณออกไปยังการ์ดควบคุมเซอร์โววาล์วไฮดรอลิก

ข.2 เซอร์โววาล์วไฮดรอลิก

เซอร์โววาล์วไฮดรอลิกรุ่น 4WREE 6 E16-24/G24K31/A1V ผลิตโดย Bosch Rexroth AG Industrial Hydraulics มีข้อมูลจำเพาะดังตารางที่ ก.1

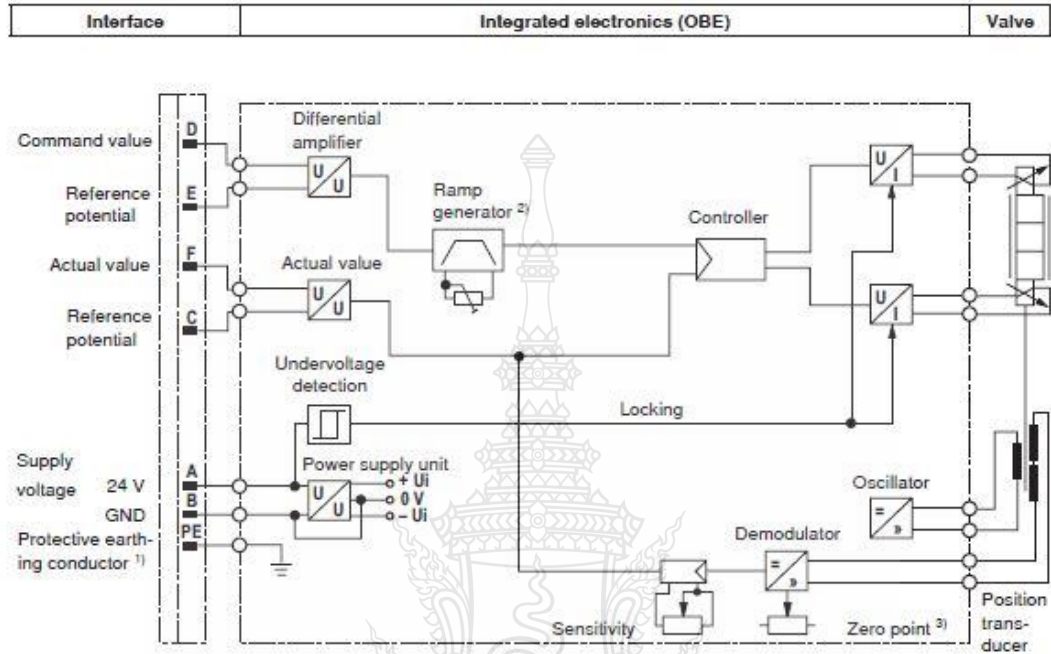
ตารางที่ ข.1 ข้อมูลจำเพาะของเซอร์โววาล์วไฮดรอลิก

4WRE				-2X/ G24		/		V		*	
Without integrated electronics (OBE)	= no code										
With integrated electronics (OBE)	= E										
Size 6	= 6										
Size 10	= 10										
Control spool symbols											
		= E									
		= E1-									
		= V									
		= V1-									
		= W									
		= W1-									
											
		= EA									
		= WA									
		= EA									
		= WA									
With symbol E1-, V1- and W1-:											
P → A: $q_{V, max}$ B → T: $q_{V, 2}$											
P → B: $q_{V, 2}$ A → T: $q_{V, max}$											
Notice:											
In the zero position, spools W and WA have a connection from A to T and B to T with approx. 3 % of the relevant nominal cross-section.											
										Further details in the plain text	
										Seal material	
										V = FKM seals ¹⁾	
										Electronic interface	
										A1 = Command value ±10 V	
										F1 = Command value 4 to 20 mA	
										no code = Type 4WRE	
										Electrical connection	
										Type 4WRE:	
										K4 = Without mating connector, with connector according to DIN EN 175301-803	
										Mating connector (solenoid, position transducer), separate order, see page 8	
										Type 4WREE:	
										K31 = Without mating connector, with connector according to DIN EN 175201-804	
										Mating connector – separate order, see page 9	
										Supply voltage	
										Direct voltage 24 V	
										G24 =	
										2X = 20 to 29	
										(20 to 29: unchanged installation and connection dimensions)	
										Rated flow at valve pressure differential $\Delta p = 10$ bar	
										Size 6	
										04 = 4 l/min	
										08 = 8 l/min	
										16 = 16 l/min	
										32 = 32 l/min	
										Size 10	
										25 = 25 l/min	
										50 = 50 l/min	
										75 = 75 l/min	
										¹⁾ Design SO660 with NBR seals at the valve connection surface	

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลจำเพาะของเซอร์โววาล์วไฮดรอลิก

Integrated electronics (OBE) type 4WREE

Block diagram / pin assignment

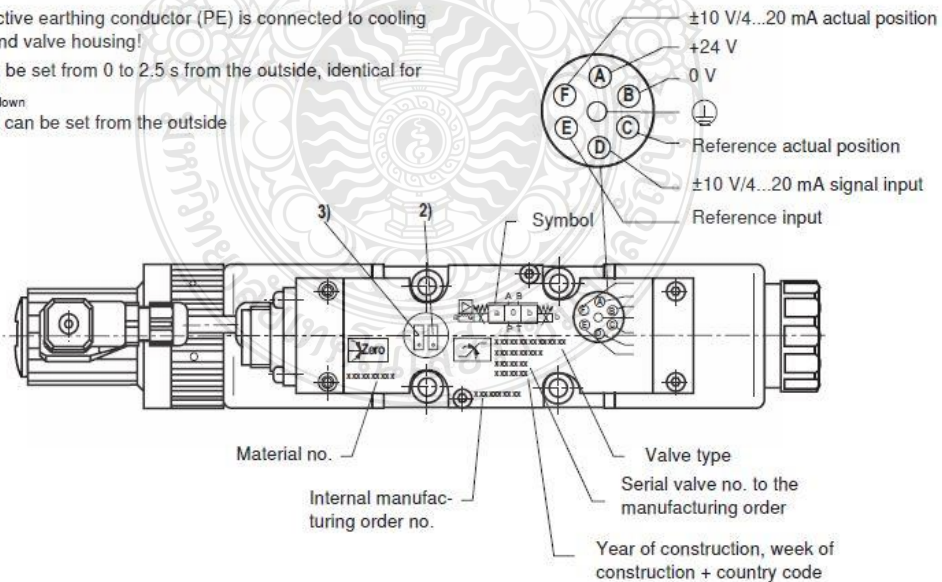


Notice: Electric signals taken out via control electronics (e.g. actual value) must not be used for switching off safety-relevant machine functions!

1) The protective earthing conductor (PE) is connected to cooling element and valve housing!

2) Ramp can be set from 0 to 2.5 s from the outside, identical for T_{up} and T_{down}

3) Zero point can be set from the outside

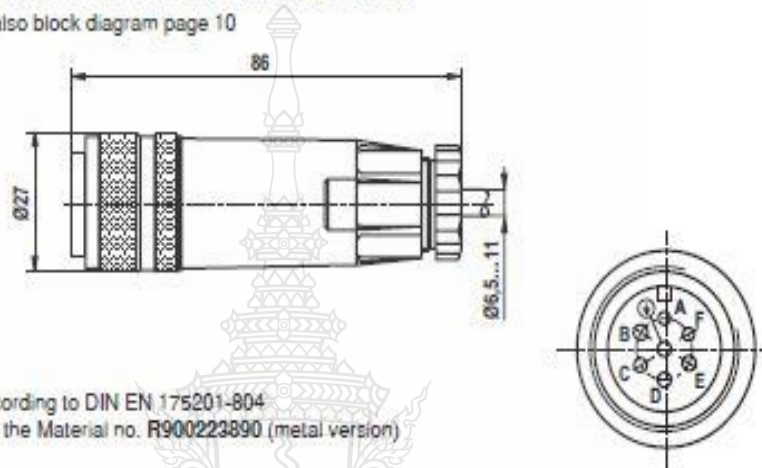


ตารางที่ ข.3 ข้อมูลจำเพาะของเซอร์วาล์วไฮดรอลิก

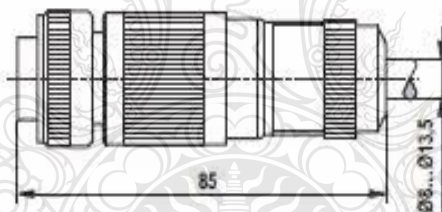
Electrical connection, mating connectors (dimensions in mm)

Type 4WREE (with integrated electronics (OBE)

Mating connector according to DIN EN 175201-804
 separate order under the Material no. R900021267 (plastic version)
 Angular design – separate order under the Material no. R900217845
 Pin assignment see also block diagram page 10



Mating connector according to DIN EN 175201-804
 separate order under the Material no. R900223890 (metal version)



Device connector allocation	Contact	Signal with A1 interface	Signal with F1 interface
Supply voltage	A	24 VDC ($u(t) = 19.4$ to 35 V); $I_{max} = 2$ A	0 V
	B		
Reference potential actual value	C	Reference contact F; $R_s > 50$ k Ω	Reference contact F; $R_s < 10$ Ω
Differential amplifier input	D	± 10 V command value; $R_s > 50$ k Ω	4 to 20 mA command value; $R_s > 100$ Ω
	E		
Measuring output (actual value)	F	± 10 V actual value (limit load 5 mA)	4 to 20 mA actual value, load resistance max. 300 Ω
	PE	Connected to cooling element and valve housing	

ข.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ NI-myRIO

ผลิตโดย National Instruments ทำหน้าที่เก็บข้อมูลและแปลงสัญญาณทั้ง Analog (I/O) Digital (I/O) Timing (I/O) และ Trigger โดยมีการแปลงสัญญาณจากดิจิทัลเป็นแอนาล็อกหรือแอนาล็อกเป็นดิจิทัล เก็บข้อมูลสัญญาณทางไฟฟ้าและเซนเซอร์ซึ่งรับสัญญาณจากอุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง และนำไปประมวลผล



รูปที่ ข.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ NI-myRIO



รูปที่ ข.2 Power supply In put 220 V Out Put 24 V



รูปที่ ข.3 แบตเตอรี่ DC 12V 50A

ภาคผนวก ค

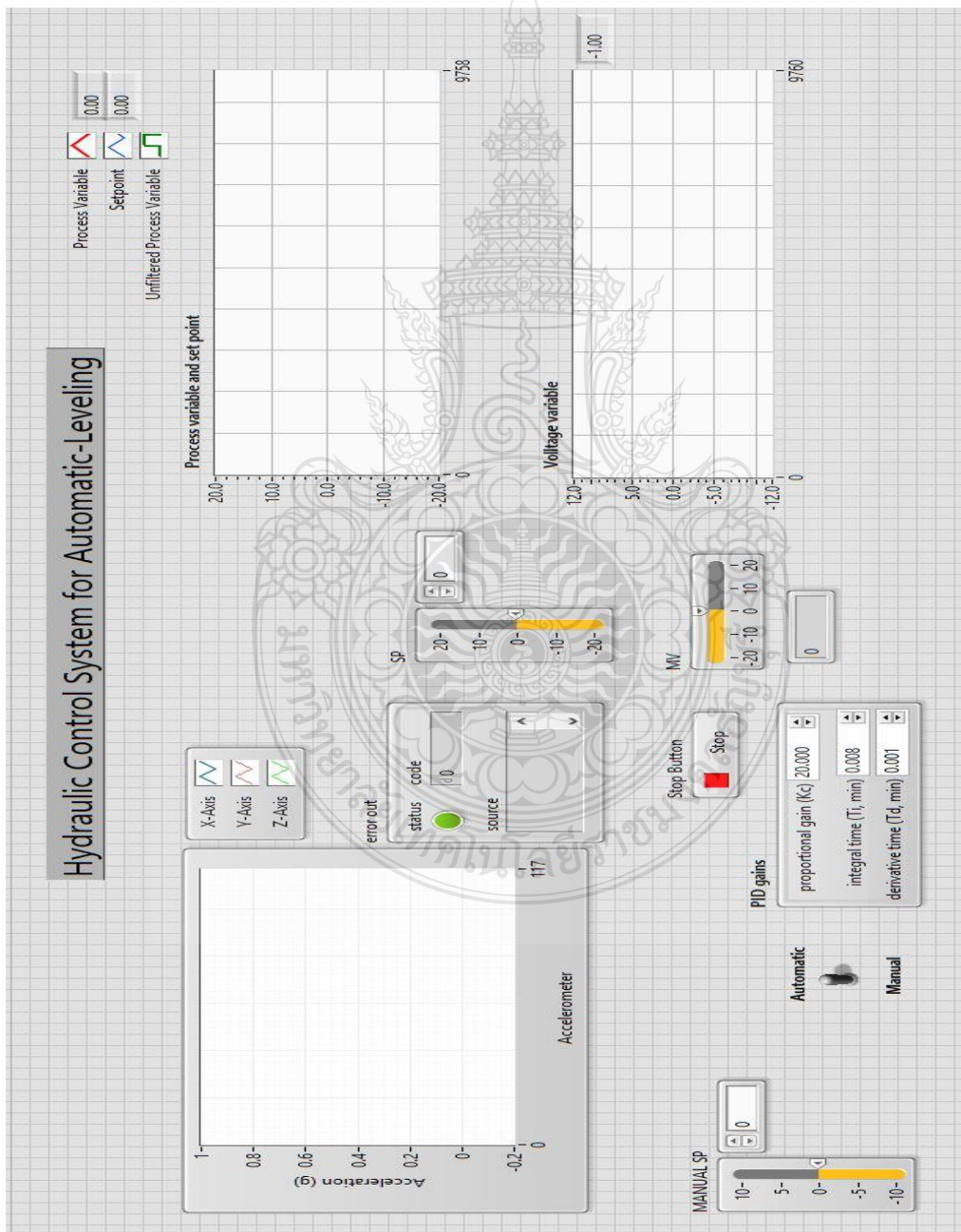
โปรแกรมที่ใช้ในการทดลอง



ในการทดลองระบบควบคุมของไบนตันดินอัตโนมัติจะใช้โปรแกรมแลบวิวในการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงาน โดยจะแบ่งโปรแกรมออกเป็น 2 ส่วนทั้งในส่วนของการจำลองการเคลื่อนที่และโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบพีไอดีและ ส่วนที่สองจะเป็นโปรแกรมควบคุมการทำงาน

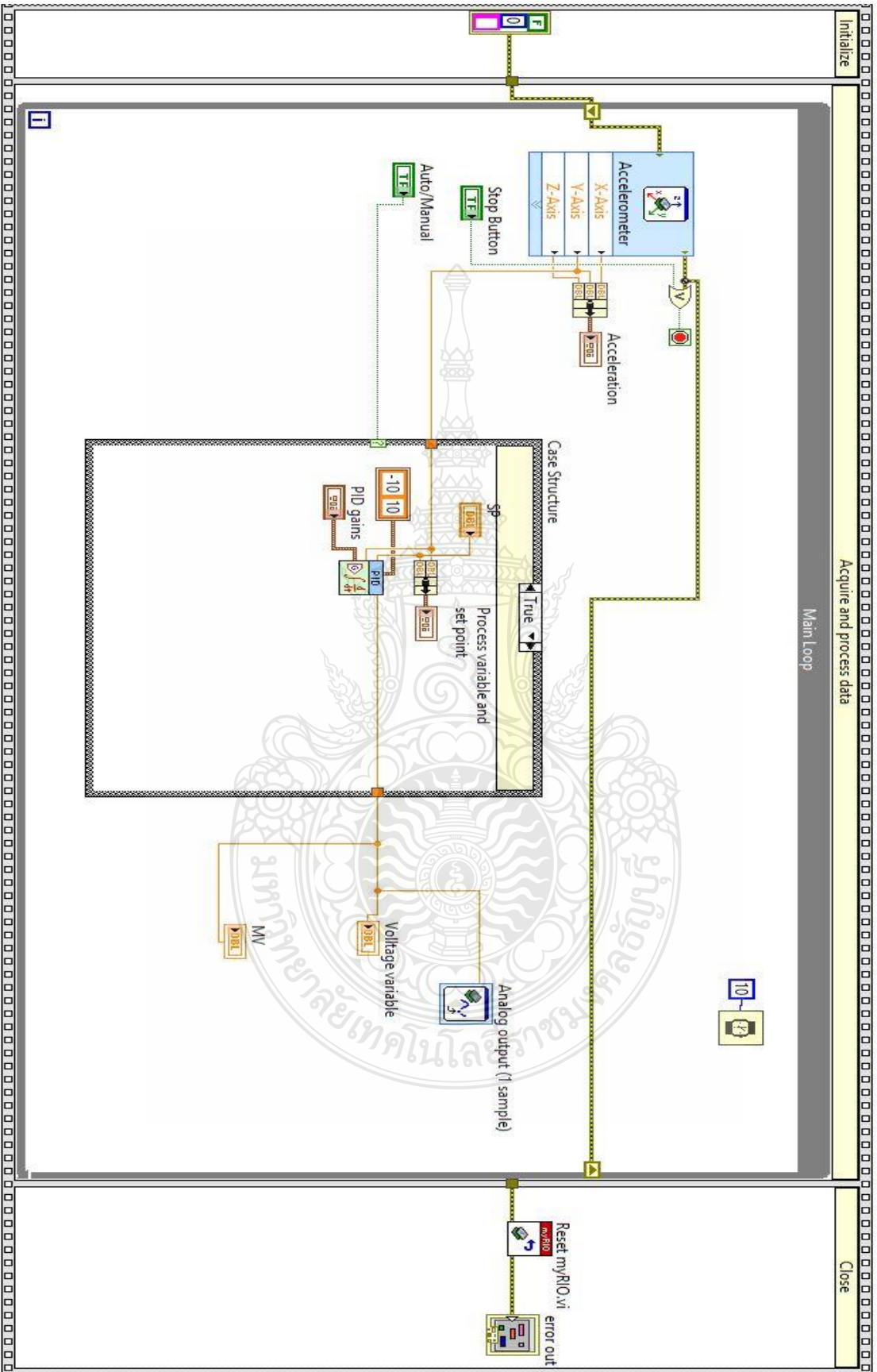
ค.1โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของไบนตันดินอัตโนมัติ

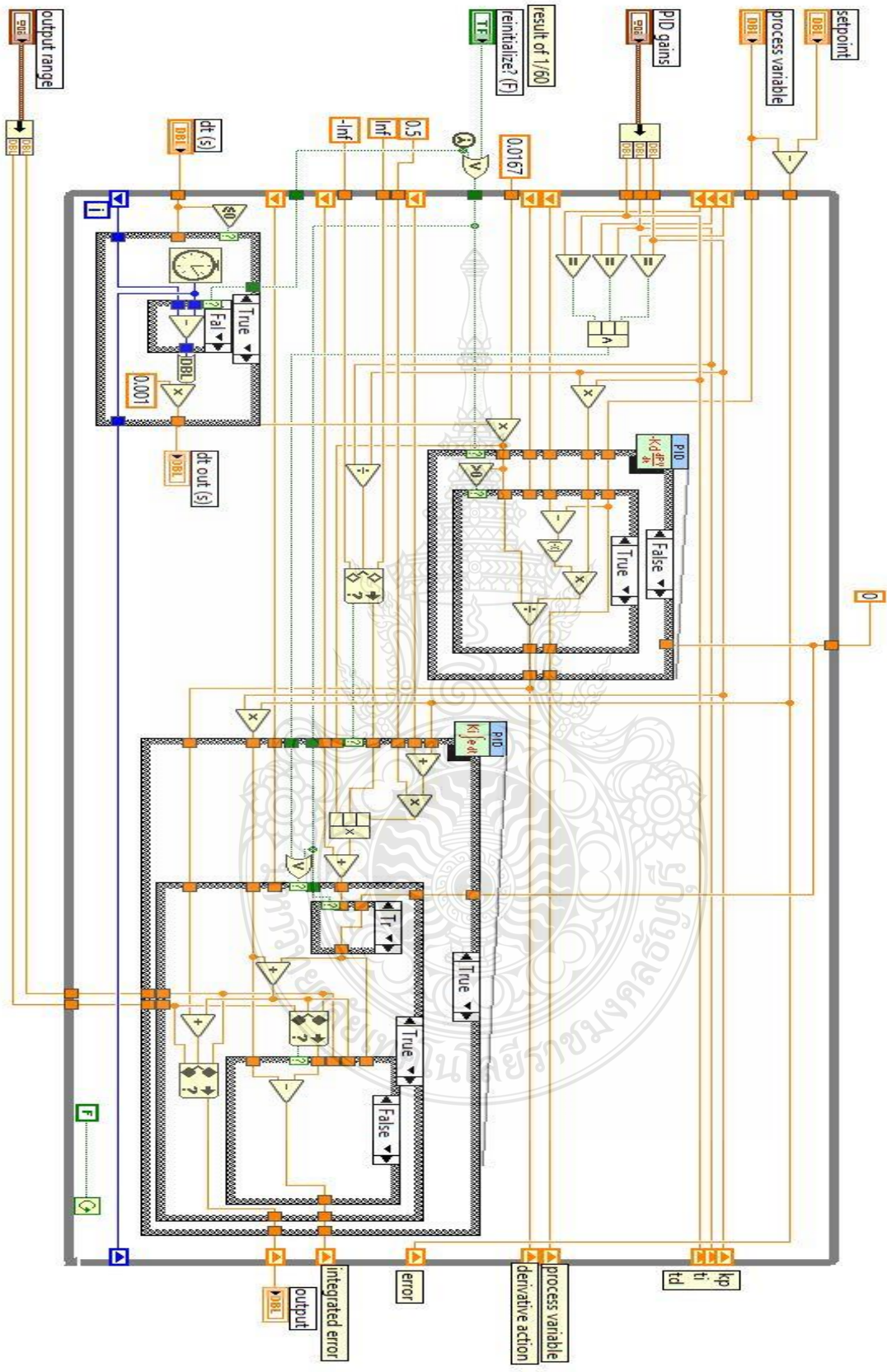
โปรแกรมควบคุมการทำงานของอัตโนมัติสามารถแบ่งออกเป็นโปรแกรมย่อยได้สองโปรแกรม คือ โปรแกรมที่ใช้ควบคุมการทำงานแบบ พีไอดี



รูปที่ ค. 1 โปรแกรมแลบวิวในส่วน Front Panel ของไบนตันดินอัตโนมัติ

รูปที่ ค. 2 โปรแกรมระบบควบคุมอัตโนมัติ





รูปที่ ค.3 โปรแกรมแบบวิธีใน ส่วน PID Controller ของโปรแกรมต้นฉบับอัตโนมัติ

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายพงษ์พันธ์ คำป๋อก
วัน เดือน ปีเกิด	3 พฤศจิกายน 2523
ที่อยู่	65/43 หมู่ 3 ตำบลหน้าประตู อำเภอพานทอง จังหวัดชลบุรี 20160
การศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต ปี พ.ศ. 2543
ประสบการณ์การทำงาน	บริษัท QMB Co., Ltd แผนก FATP Automation ตำแหน่ง Engineer Special list 1

