

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบและสร้างชุดทดลองระบบพอร์พอร์ชันนัลไฮดรอลิก
DESIGN AND FABRICATION OF PROPORTIONAL HYDRAULIC
EXPERIMENTAL SETUP



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบและสร้างชุดทดลองระบบพรอพพอร์ชันนัลไฮดรอลิก
DESIGN AND FABRICATION OF PROPORTIONAL HYDRAULIC
EXPERIMENTAL SETUP



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2551

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

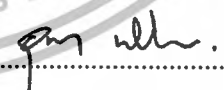
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบและสร้างชุดทดลองระบบพรอพพอชันนัลไฮดรอลิก

ผู้จัดทำ

1. นายชินพัฒน์ ธนวัฒน์ รหัสประจำตัว 48010392
2. นายภวิศร์ บ้านไร่ รหัสประจำตัว 48010654
3. นางสาวสรिता เต้าสุวรรณ รหัสประจำตัว 48010943




.....
(ผศ.ดร.อุन्नัต พิณโสภณ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบและสร้างชุดทดลองระบบพรอพเพอร์ชันนัลไฮดรอลิก

นายธินพัฒน์ ธนวัฒน์

นายภวิศร์ บ้านไร่

นางสาวสรिता เล้าสุวรรณ

ผศ.ดร.อุนนต์ พิณโสภณ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2551

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการออกแบบและสร้างระบบควบคุมความเร็วในการเคลื่อนที่ของแขนตักดิน โดยใช้ทฤษฎีการควบคุมแบบ PID ผ่านพรอพเพอร์ชันนัลวาล์ว ความเร็วเชิงมุมในการเคลื่อนที่ของแขนตักดิน ถูกวัดโดยเอ็นโค้ดเดอร์ และจะถูกเปลี่ยนเป็นความเร็วเชิงเส้นของกระบอกสูบ แล้วนำไปเปรียบเทียบหาค่าความผิดพลาดระหว่างความเร็วที่สั่งการกับความเร็วที่ได้ โดยใช้การควบคุมแบบปิด ทำให้ค่าความเร็วเชิงเส้นของกระบอกสูบมีค่าใกล้เคียงกับความเร็วที่ผู้ใช้งานสั่งการผ่านโปรแกรม LABVIEW ซึ่งถูกใช้เป็นส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้งาน นอกจากนี้ยังเป็นสื่อการเรียนการสอนในวิชา Fluid Power Control และวิชา Automatic Control เพื่อทำให้เห็นภาพและเกิดความเข้าใจในการควบคุมระบบไฮดรอลิก หรืออาจนำไปใช้เป็นพื้นฐานในการศึกษาระบบไฮดรอลิกอื่นๆ ได้เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN AND FABRICATION OF PROPORTIONAL HYDRAULIC EXPERIMENTAL SETUP

Mr.Teenapat Tanawat

Mr.Pavit Banrai

Ms.Sarita Laosuwan

Asst.Prof.Dr.Unnat Pinsopon (Advisor)

Abstract

This project presents the design and fabrication of a velocity control hydraulic system. The hydraulic system is controlled by PID control scheme with the use of proportional valves. The angular velocities of the arms are sensed by encoders. They are then converted into linear velocities of the cylinders. The cylinder velocities are compared with the velocity commands in the control scheme. The experimental set up built in this project can be used as the education media in Fluid Power Control and Automatic Control courses.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VII
สารบัญตาราง	XI
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและแรงจูงใจ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีการออกแบบโครงสร้าง	
2.1 การออกแบบและการสร้าง	3
2.2 อุปกรณ์ในการควบคุมชุดทดลองของระบบไฮดรอลิก	5
2.2.1 ถังน้ำมันไฮดรอลิก (Hydraulic Tank)	6
2.2.2 น้ำมันไฮดรอลิก (Hydraulic Oil)	8
2.2.3 วาล์วควบคุมความดัน (Pressure Relief Valve)	9
2.2.4 ปั๊มไฮดรอลิก (Hydraulic Pump)	11
2.2.5 สายน้ำมันไฮดรอลิก (Hydraulic Connectors)	12
2.2.6 ข้อต่อแบบสวมเร็ว (Quick Disconnect Coupling)	13
2.2.7 กระบอกลูกสูบไฮดรอลิก (Hydraulic Cylinder)	13
2.2.8 พรอพพอร์ชันนัลวาล์ว (Proportional Valve)	15
2.2.9 เอ็นโค้ดเดอร์ (Encoder)	17
2.2.10 Data Acquisition Card (DAQ)	20
2.2.11 คอมพิวเตอร์ (Computer)	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการทํางาน	
3.1 การทํางานของชุดทดลองไฮดรอลิก	22
3.1.1 การควบคุมแบบปิด (Closed Loop Control)	22
3.1.2 การควบคุมแบบเปิด (Open Loop Control)	23
3.2 ทฤษฎี PID Controller	23
3.2.1 การควบคุมแบบ Proportional (P-Control)	24
3.2.2 การควบคุมแบบ Integral (I-Control)	25
3.2.3 การควบคุมแบบ Derivative (D-Control)	26
3.2.4 การควบคุมเชิงสัดส่วนร่วมกับอินทิกรัล (Proportional plus Integral Control หรือPI-Control)	27
3.2.5 การควบคุมเชิงสัดส่วนบวกกับอินทิกรัลและอนุพันธ์ (Proportional Integral Derivative หรือ PID-Control)	27
3.3 การเลือกและการปรับแต่งอุปกรณ์ควบคุม (Selecting and Tuning Controller)	27
บทที่ 4 ขั้นตอนและผลการทดลอง	
4.1 ขั้นตอนการทํางานของชุดทดลองไฮดรอลิก	28
4.2 การทดลอง	29
4.2.1 การหาความเร็วเชิงเส้นของชุดทดลองไฮดรอลิก ด้วยการควบคุมแบบเปิด	29
4.2.2 การควบคุมของชุดทดลองไฮดรอลิกแบบปิด	38
บทที่ 5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง	
5.1 วิเคราะห์ผลการทดลอง	42
5.1.1 การทดลองของการควบคุมแบบเปิด	42
5.1.2 การทดลองของการควบคุมแบบปิด	42
5.2 สรุปผลการทดลอง	43
บรรณานุกรม	44

สารบัญ (ต่อ)

ภาคผนวก	หน้า
บทความ	46
แบบ Drawing ลำตัวของแขนตักดิน	53
แบบ Drawing แขนตักดิน	54
แบบ Drawing ที่ตักดิน	55
แบบ Drawing ฐานของแขนตักดิน	56
แบบ Drawing ชิ้นต่อ โยงของแขนตักดิน	57
Block diagram โปรแกรม Labview สั่งการทำงานเป็นความเร็วเชิงเส้นคงที่	58
Block diagram โปรแกรม Labview สั่งการทำงานเป็น sine wave	59



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ฐานของแขนตักดิน	3
รูปที่ 2.2 ลำตัวของแขนตักดิน	4
รูปที่ 2.3 แขนตักดิน	4
รูปที่ 2.4 ที่ตักดิน	4
รูปที่ 2.5 ชิ้นต่อโยงของแขนตักดิน	5
รูปที่ 2.6 แบบจำลองโครงสร้างชุดทดลองของระบบไฮดรอลิก	5
รูปที่ 2.7 แสดงชุดทดลองของระบบไฮดรอลิก	6
รูปที่ 2.8 ถังน้ำมันไฮดรอลิก	7
รูปที่ 2.9 การกรองที่ท่อดูด	7
รูปที่ 2.10 การกรองที่ท่อความดัน	8
รูปที่ 2.11 การกรองที่ท่อน้ำมันไหลกลับ	8
รูปที่ 2.12 น้ำมันไฮดรอลิกที่ใช้ในโครงการ ยี่ห้อ Trane Super HD Hydraulic Oil	9
รูปที่ 2.13 โครงสร้างภายในและสัญลักษณ์ของ Pressure Relief Valve	10
รูปที่ 2.14 Pressure Relief Valve ที่ใช้ในโครงการ ยี่ห้อ Kompass รุ่น DG-02-C	11
รูปที่ 2.15 ปัมป์ไฮดรอลิกประเภทดูดอัดที่ใช้ในโครงการ	11
รูปที่ 2.16 สายน้ำมันไฮดรอลิกที่ใช้ในโครงการ	12
รูปที่ 2.17 ข้อต่อแบบสวมเร็วที่ใช้ในโครงการ	13
รูปที่ 2.18 สัญลักษณ์ของกระบอกสูบไฮดรอลิก	14
รูปที่ 2.19 กระบอกสูบไฮดรอลิกชนิดต่างๆ	14
รูปที่ 2.20 กระบอกสูบแบบทำงาน 2 ทาง ที่ใช้ในโครงการ	15
รูปที่ 2.21 สัญลักษณ์ของพรอพเพอร์ชันนัลวาล์ว	16
รูปที่ 2.22 แสดง โครงสร้างของพรอพเพอร์ชันนัลวาล์ว	16
รูปที่ 2.23 พรอพเพอร์ชันนัลวาล์วที่ใช้ในโครงการ ยี่ห้อ Tokimec รุ่น COM-3-2C-30-AN-11	17
รูปที่ 2.24 แสดง โครงสร้างภายในเอ็นโค้ดเดอร์	18
รูปที่ 2.25 ลักษณะสัญญาณที่ออกจากเอ็นโค้ดเดอร์	18
รูปที่ 2.26 การจับสัญญาณของเอ็นโค้ดเดอร์	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.27 Incremental Encoder ที่ใช้ในโครงการ ยี่ห้อ Omron รุ่น E6C2-CWZ3E	19
รูปที่ 2.28 Data Acquisition Card ยี่ห้อ National Instruments รุ่น PCI6229 หรือ NI PCI 6229 ที่ใช้ในโครงการ	20
รูปที่ 2.29 แสดงคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในระบบ	21
รูปที่ 3.1 Block Diagram ของการควบคุมแบบเปิดโดยทั่วไป	22
รูปที่ 3.2 Block Diagram การควบคุมแบบเปิดของชุดทดลองไฮดรอลิก	22
รูปที่ 3.3 Block Diagram ของการควบคุมแบบเปิดโดยทั่วไป	23
รูปที่ 3.4 Block Diagram การควบคุมแบบเปิดของชุดทดลองไฮดรอลิก	23
รูปที่ 3.5 Block Diagram แสดงการทำงานของระบบทั่วไปที่มีตัวควบคุม	24
รูปที่ 3.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุต (Error) และเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบ P-Control	24
รูปที่ 3.7 แสดงกราฟตอบสนองตามเวลาเทียบกับระหว่าง เอาต์พุตของตัวควบคุม (รูปบน) และอินพุตของตัวควบคุม Error (รูปล่าง)	25
รูปที่ 3.8 ผลของการควบคุมแบบ PID-Control	27
รูปที่ 4.1 Block Diagram แสดงการทำงานของระบบ	28
รูปที่ 4.2 ระบบไฮดรอลิกของชุดทดลองในโครงการนี้	29
รูปที่ 4.3 Kinematics Diagram ของกระบอกลูกสูบไฮดรอลิกตัวล่าง	30
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความเร็วของกระบอกลูกสูบไฮดรอลิก เมื่อเป็นการควบคุมแบบเปิด ที่แรงดันไฟฟ้า 1 โวลต์	31
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความเร็วของกระบอกลูกสูบไฮดรอลิก เมื่อควบคุมแบบเปิด ที่แรงดันไฟฟ้า 1 โวลต์ หลังจากผ่านการกรองแล้ว	31
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความเร็วของกระบอกลูกสูบไฮดรอลิก เมื่อควบคุมแบบเปิด ที่แรงดันไฟฟ้า 2 โวลต์ หลังจากผ่านการกรองแล้ว	32
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความเร็วของกระบอกลูกสูบไฮดรอลิก เมื่อควบคุมแบบเปิด ที่แรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์ หลังจากผ่านการกรองแล้ว	32
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความเร็วของกระบอกลูกสูบไฮดรอลิก เมื่อควบคุมแบบเปิด ที่แรงดันไฟฟ้า 4 โวลต์ หลังจากผ่านการกรองแล้ว	33

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความเร็วของกระบอกสูบไฮดรอลิก เมื่อควบคุมแบบเปิด ที่แรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ หลังจากผ่านการกรองแล้ว	33
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความเร็วของกระบอกสูบไฮดรอลิก เมื่อควบคุมแบบเปิด ที่แรงดันไฟฟ้า 6 โวลต์ หลังจากผ่านการกรองแล้ว	34
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความเร็วของกระบอกสูบไฮดรอลิก เมื่อควบคุมแบบเปิด ที่แรงดันไฟฟ้า 7 โวลต์ หลังจากผ่านการกรองแล้ว	34
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความเร็วของกระบอกสูบไฮดรอลิก เมื่อควบคุมแบบเปิด ที่แรงดันไฟฟ้า 8 โวลต์ หลังจากผ่านการกรองแล้ว	35
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความเร็วของกระบอกสูบไฮดรอลิก เมื่อควบคุมแบบเปิด ที่แรงดันไฟฟ้า 9 โวลต์ หลังจากผ่านการกรองแล้ว	35
รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความเร็วของกระบอกสูบไฮดรอลิก เมื่อควบคุมแบบเปิด ที่แรงดันไฟฟ้า 10 โวลต์ หลังจากผ่านการกรองแล้ว	36
รูปที่ 4.15 กราฟ Valve Modulation	38
รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความเร็วของกระบอกสูบไฮดรอลิก เมื่อเป็นการควบคุมแบบปิด โดยให้ค่า $K_p = 0.1$ ที่แอมพลิจูด 7 mm/s	39
รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความเร็วของกระบอกสูบไฮดรอลิก เมื่อเป็นการควบคุมแบบปิด โดยให้ค่า $K_p = 0.09$ และ $K_I = 5.8$ ที่แอมพลิจูด 7 mm/s	39
รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความเร็วของกระบอกสูบไฮดรอลิก เมื่อเป็นการควบคุมแบบปิด โดยให้ค่า $K_p = 0.09$ $K_I = 5.8$ และ $K_D = 0.00029$ ที่แอมพลิจูด 7 mm/s	39
รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความเร็วของกระบอกสูบไฮดรอลิก เมื่อเป็นการควบคุมแบบเปิด ที่แอมพลิจูด 7 mm/s และพิจารณาการเคลื่อนที่ของระบบเป็นแบบ sine curve ความถี่ 0.02 Hz	40
รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความเร็วของกระบอกสูบไฮดรอลิก เมื่อเป็นการควบคุมแบบปิด โดยให้ค่า $K_p = 0.1$ ที่แอมพลิจูด 7 mm/s และพิจารณาการเคลื่อนที่ของระบบเป็นแบบ sine curve ความถี่ 0.02 Hz	40
รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความเร็วของกระบอกสูบไฮดรอลิก เมื่อเป็นการควบคุมแบบปิด โดยให้ค่า $K_p = 0.09$ และ $K_I = 5.8$ ที่แอมพลิจูด 7 mm/s และพิจารณาการเคลื่อนที่ของระบบเป็นแบบ sine curve ความถี่ 0.02 Hz	41

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความเร็วของกระบอกสูบไฮดรอลิก เมื่อเป็นการควบคุมแบบปิด โดยให้ค่า $K_p = 0.09$ $K_I = 5.8$ และ $K_D = 0.00029$ ที่แอมพลิจูด 7 mm/s และพิจารณาการเคลื่อนที่ของระบบเป็นแบบ sine curve ความถี่ 0.02 Hz	41
รูปที่ 4.23 กราฟแสดงสัญญาณ U_{pid} ของระบบไฮดรอลิก เมื่อเป็นการควบคุมแบบปิด โดยให้ค่า $K_p = 0.09$ $K_I = 5.8$ และ $K_D = 0.00029$ ที่แอมพลิจูด 7 mm/s และพิจารณาการเคลื่อนที่ของระบบเป็นแบบ sine curve ความถี่ 0.02 Hz	41



สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4.1 แสดงความเร็วเชิงเส้นของกระบอกสูบไฮดรอลิกเมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าค่าต่างๆ 37



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและแรงจูงใจ

ในปัจจุบันนี้สามารถกล่าวได้ว่าระบบไฮดรอลิกเปรียบเสมือนกล้ามเนื้อที่ใช้ในการขับเคลื่อนอุตสาหกรรมต่างๆ นั่นก็เพราะว่าระบบไฮดรอลิกถูกใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องจักรเกือบทั้งหมดในอุตสาหกรรมสมัยใหม่ เช่น ระบบเบรกและการบังคับล้อ การปล่อยกระสวยอวกาศ การขุดดิน อุตสาหกรรมการเกษตร อุตสาหกรรมเหมืองแร่และถ่านหิน อุตสาหกรรมอาหาร อุปกรณ์ขับเคลื่อนเครื่องจักรต่างๆ หรือแม้แต่การเจาะพื้นก็ยังใช้ระบบไฮดรอลิกเข้ามาช่วยด้วย ซึ่งในความเป็นจริงแล้วแทบจะเป็นไปไม่ได้เลยที่จะหาอุตสาหกรรมการผลิตใดที่ไม่ได้ใช้ระบบไฮดรอลิกเข้ามาช่วยในกระบวนการผลิต

นอกจากนี้ยังได้มีการพัฒนาระบบไฮดรอลิกอย่างต่อเนื่องในปัจจุบัน เพื่อให้ได้การทำงานที่ถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น โดยนำการควบคุมอัตโนมัติมาใช้กับระบบไฮดรอลิก ดังนั้นในโครงการนี้จึงได้ทำการศึกษารูปแบบการควบคุมอัตโนมัติของระบบไฮดรอลิกกับพรอพเพอร์ชันนัลวาล์ว (Proportional Valve) โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงของความเร็วเมื่อทำการปรับพรอพเพอร์ชันนัลวาล์ว และพยายามลดค่าความผิดพลาด (Error) โดยนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎี เพื่อพัฒนาระบบให้มีค่าเข้าใกล้กับค่าทางทฤษฎีมากที่สุดและแม่นยำที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อเรียนรู้หลักการการทำงานของการควบคุมอัตโนมัติของระบบไฮดรอลิก

1.2.2 เพื่อศึกษาการทดลอง วิเคราะห์ผลที่ได้จากวงจรไฮดรอลิกที่ออกแบบ และนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลจากทางทฤษฎี เพื่อพัฒนาระบบต่อไป

1.2.3 ชุดการทดลองนี้สามารถใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนในวิชา Fluid Power Control และ Automatic Control เพื่อให้ให้นักศึกษาได้เข้าใจการทำงานของระบบไฮดรอลิก และมองเห็นภาพการควบคุมอัตโนมัติของระบบไฮดรอลิกได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 สร้างชุดทดลองของระบบไฮดรอลิกแบบสองกระบอกสูบกับพรอพเพอร์ชันนัลวาล์วที่มีการควบคุมอัตโนมัติ

1.3.2 เปรียบเทียบค่าความเร็วเมื่อทำการปรับพรอพเพอร์ชันนัลวาล์วกับค่าที่ได้จากทางทฤษฎี แล้วพัฒนาระบบให้มีความแม่นยำมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1.4.1 ศึกษาการทำงานและออกแบบชุดทดลองของระบบไฮดรอลิก
- 1.4.2 ศึกษารายละเอียดการทำงานของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง
- 1.4.3 สร้างชุดทดลองของระบบไฮดรอลิกและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง
- 1.4.4 ทดลองการทำงานของชุดทดลองและเปรียบเทียบการทำงานระหว่างชุดทดลองและทฤษฎี
- 1.4.5 สรุปผลการทดลอง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ทำให้มองเห็นภาพและเข้าใจการควบคุมอัตโนมัติของระบบไฮดรอลิกมากขึ้น
- 1.5.2 สามารถนำความรู้ที่ได้มาประยุกต์ใช้งานจริงในอนาคตได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

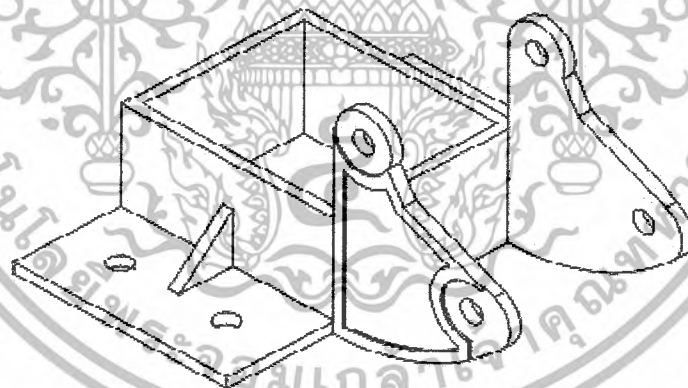
บทที่ 2

ทฤษฎีการออกแบบโครงสร้าง

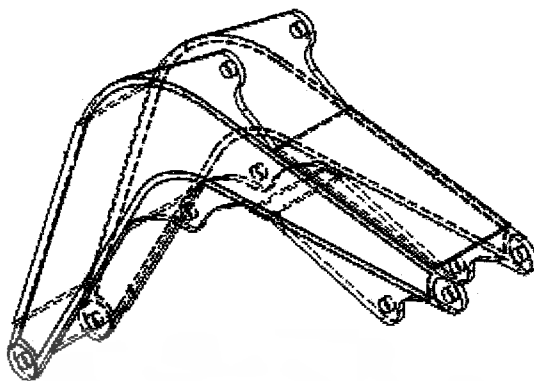
2.1 การออกแบบและการสร้าง

ในโครงการนี้ การออกแบบชุดทดลองของระบบไฮดรอลิกแบบสองกระบอกสูบกับพรอพเพอร์ชันนัลวาล์วเป็นการจำลองระบบไฮดรอลิกของแขนตักดิน (Excavator) ดังนั้น โครงสร้างของชุดทดลองนี้จึงคล้ายกับ โครงสร้างของแขนตักดิน

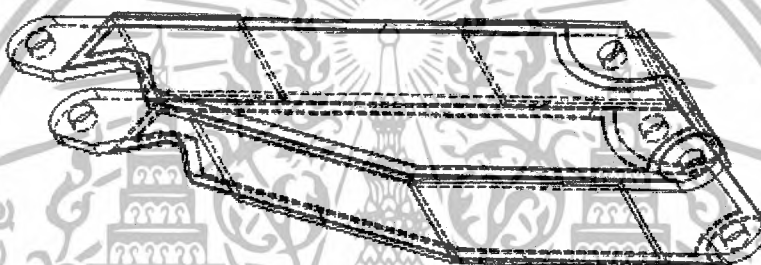
วัสดุที่ใช้ในการทำโครงสร้างคือ เหล็กแผ่น หนา 6 มิลลิเมตร นำมาตัดตามแบบของชิ้นส่วนต่างๆ ที่ออกแบบไว้ แล้วนำมาประกอบกันจนเป็นชิ้นส่วนหลักของโครงแขนตักดิน ดังต่อไปนี้ ฐาน, ลำตัว, แขน, ที่ตักดิน และชิ้นต่อโยงของแขนตักดิน โดยแต่ละชิ้นส่วนหลักถูกยึดกันด้วยเพลลา มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 26 มิลลิเมตร เพื่อให้แต่ละชิ้นส่วนหลักเหล่านั้นสามารถหมุนได้ ช่องว่างระหว่างชิ้นส่วนหลักแต่ละชิ้นตามแนวแกนเพลลาจะต้องใส่บุชชิ่ง (Bushing) โดยในโครงการนี้บุชชิ่งทำมาจากเหล็กท่อ มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในขนาดประมาณ 26 มิลลิเมตร เพื่อให้แต่ละชิ้นส่วนหลักอยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ ไม่เคลื่อนที่ไปตามแนวแกนเพลลา



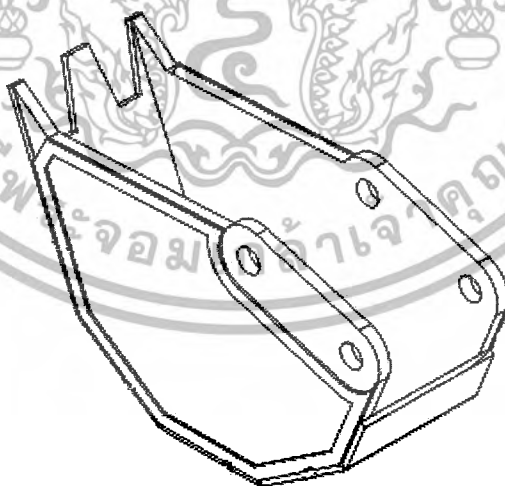
รูปที่ 2.1 ฐานของแขนตักดิน



รูปที่ 2.2 ลำตัวของแขนตัดดิน

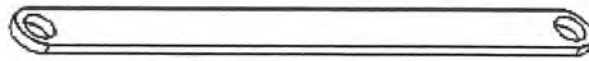


รูปที่ 2.3 แขนตัดดิน

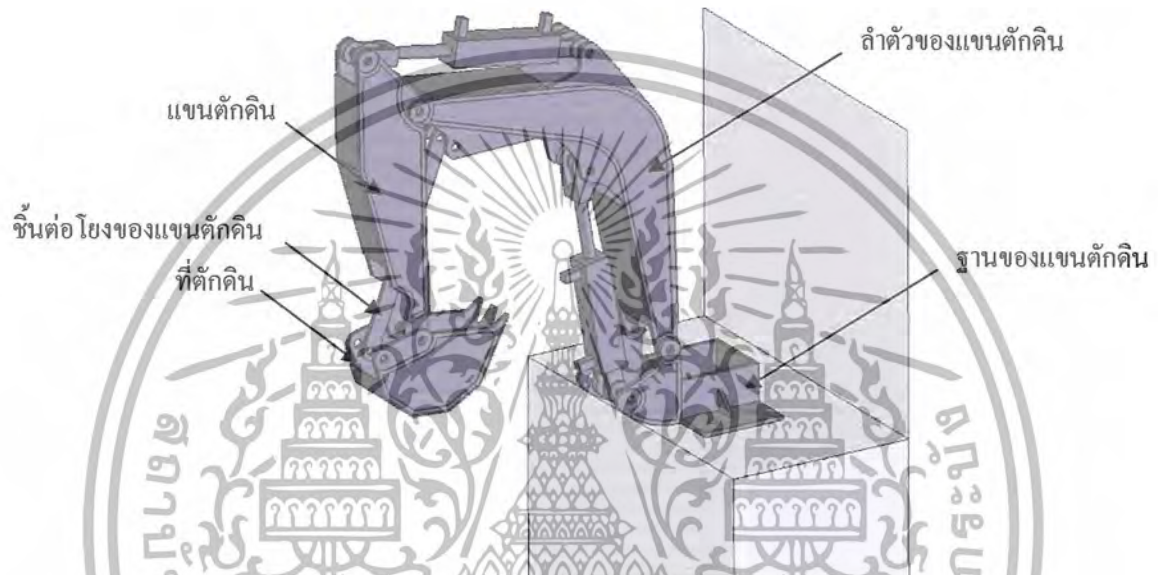


รูปที่ 2.4 ที่ตัดดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



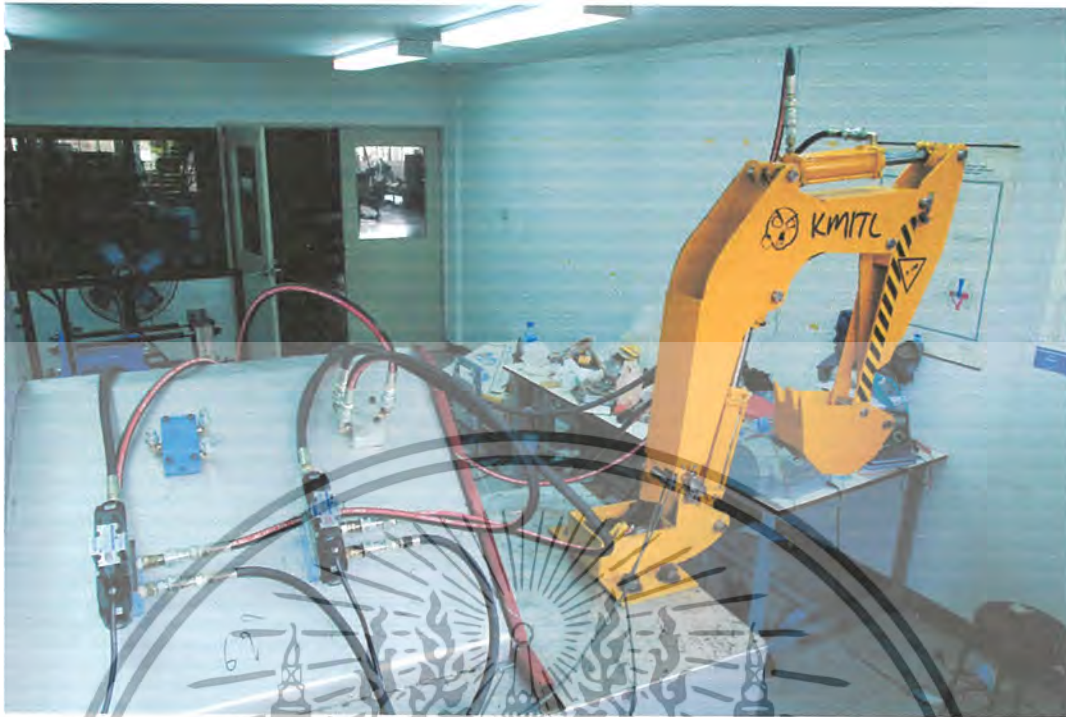
รูปที่ 2.5 ชิ้นต่อโยงของแขนตักดิน



รูปที่ 2.6 แบบจำลองโครงสร้างชุดทดลองของระบบไฮดรอลิก

2.2 อุปกรณ์ในการควบคุมชุดทดลองของระบบไฮดรอลิก

โครงการนี้จัดทำชุดทดลองของระบบไฮดรอลิกแบบสองกระบอกสูบกับพรอพเพอร์ชันนัลวาล์วที่มีการควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติ โดยใช้ร่วมกับอุปกรณ์ต่างๆ เช่น ปัมไฮดรอลิก ฯลฯ และวัดความเร็วที่ออกมาได้ด้วยเอ็นโค้ดเดอร์ (Encoder) จากนั้นส่งค่ากลับมาคำนวณหาค่าความผิดพลาดทางตำแหน่งความเร็วผ่านคอมพิวเตอร์



รูปที่ 2.7 แสดงชุดทดลองของระบบไฮดรอลิก

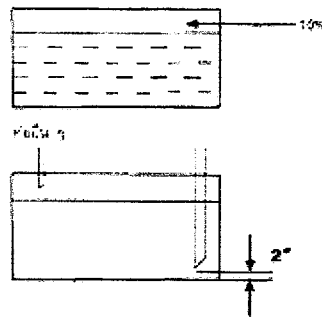
2.2.1 ถังน้ำมันไฮดรอลิก (Hydraulic Tank)

การออกแบบขนาดของตัวถังน้ำมันไฮดรอลิกนั้นควรจะต้องพิจารณาขนาดของถังน้ำมันไว้สำหรับเป็นพื้นที่ว่างด้านบนของถังน้ำมันประมาณ 10 % ของปริมาณน้ำมัน ทั้งนี้เพื่อให้ฟองอากาศเกิดตลอดตัวหนีขึ้นออกจากน้ำมัน ท่อไหลกลับของน้ำมันไฮดรอลิกควรอยู่สูงจากพื้นด้านล่างของถังน้ำมันประมาณ 2 นิ้ว และที่ปลายท่อไฮดรอลิกควรเป็นรูปปากเฉียงเข้าหาผนังของถังน้ำมัน ทั้งนี้เพราะว่าเมื่อน้ำมันไหลกลับมานั้นจะได้วิ่งเข้าหาผนังก่อน ซึ่งทำให้สิ่งสกปรกต่างๆ ที่ติดมากับน้ำมันไฮดรอลิกกระทบกับผนังและตกลงด้านล่าง ต่อจากนั้นน้ำมันซึ่งได้อาถึงสกปรกออกแล้วบางส่วนไหลเวียนไปอีกด้านหนึ่งของถังน้ำมันและถูกปั๊มดูดเอาไปใช้งานต่อไป สำหรับท่อขนาดเล็กอื่นๆ นั้น ควรจะอยู่เหนือระดับน้ำมัน เพื่อป้องกันการเกิดคาล์คน้ำในขณะถอดเพื่อซ่อมแซมหรือเปลี่ยนท่อ ซึ่งท่อดังกล่าวนี้คือท่อจากวาล์วควบคุมความดันต่างๆ เป็นต้น

หน้าที่ของถังน้ำมันไฮดรอลิกมีดังต่อไปนี้

- เป็นที่เก็บและพักน้ำมันไฮดรอลิก
- เป็นที่ขจัดสิ่งสกปรกต่างๆ เช่น เศษผงชิ้นส่วนของอุปกรณ์ไฮดรอลิก น้ำ หรือเศษผงอื่นๆ ที่ติดมากับน้ำมันไฮดรอลิก
- เป็นที่ระบายความร้อนของน้ำมันไฮดรอลิก
- เป็นที่ขจัดฟองอากาศที่เกิดจากน้ำมันไฮดรอลิกไหลพุ่งกลับถังน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 ถังน้ำมันไฮดรอลิก

การกรองในระบบไฮดรอลิกนั้น ส่วนมากแล้วจะมีอยู่ 3 จุดด้วยกันคือ

- การกรองที่ท่อดูด (Suction Side)

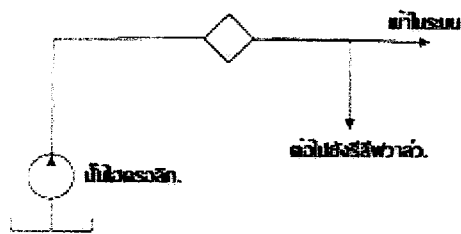
การกรองที่ท่อดูดนี้มักใช้สเตรนเนอร์ทำหน้าที่ในการกรองสิ่งสกปรก โดยมีอัตราการกรองตั้งแต่ขนาด 75 ไมครอน ถึง 240 ไมครอน แต่โดยรวมแล้วมักใช้ที่ขนาด 125 ไมครอนซึ่งไส้กรองทำด้วยลวดทองแดง



รูปที่ 2.9 การกรองที่ท่อดูด

- การกรองที่ท่อความดัน (Pressure Side)

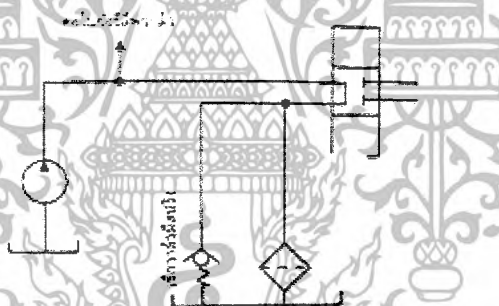
เนื่องจากสิ่งสกปรกที่เป็นเศษโลหะที่เกิดขึ้นในระบบไฮดรอลิกนั้น มักจะเกิดจากการเสียดสีของชิ้นส่วนของปั๊มไฮดรอลิกเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นตำแหน่งการกรองที่ดีที่สุดจะอยู่ที่ทางออกของปั๊ม โดยติดตั้งกรองน้ำมันไว้ก่อนที่จะถึง Relief Valve ไส้กรองชนิดนี้จะต้องทนต่อค่าความดันที่สูงๆ ได้ ปกติความดันลวดคร่อมควรน้อยกว่า 15 Psi แต่ถ้ามีมากกว่า 30 Psi ควรเปลี่ยนไส้กรองนี้ใหม่ ขนาดของไส้กรองน้ำมันที่ท่อความดันใช้ควรมีขนาด 10 - 25 ไมครอน วัสดุที่ใช้ในการทำไส้กรองมักจะเป็นกระดาษและไส้กรองแบบนี้มักใช้กับระบบที่ใช้เซอร์โววาล์ว หรือพรอพเพอร์ชันนัลวาล์ว ที่มีราคาค่อนข้างสูง



รูปที่ 2.10 การกรองที่ท่อความดัน

- การกรองที่ท่อน้ำมันไหลกลับ (Return Side)

เป็นการกรองน้ำมันทันทีที่ไหลกลับถึงน้ำมัน ใ้กรองไม่ต้องทนความดันสูงมากนัก ทำให้ราคาของตัวกรองน้ำมันถูกและใ้กรองต้องมีขนาดใหญ่เพียงพอเพื่อให้การระบายน้ำมันลงสู่ถังน้ำมัน ได้สะดวกและเพียงพอขนาดของใ้กรองใช้ขนาด 10 - 25 ไมครอนและมักทำด้วยกระดาษ โดยมากจะมีเช็ควาล์ว (Check Valve) ติดตั้งเป็นแบบขนานกับกรองน้ำมันไว้เสมอ เป็นเพราะว่าเมื่อตัวกรองน้ำมันอุดตันเมื่อไรก็ตาม น้ำมันที่ไหลลงกลับถึงน้ำมันก็จะได้ไหลผ่านทางเช็ควาล์วตัวนี้แทน (By Pass)



รูปที่ 2.11 การกรองที่ท่อน้ำมันไหลกลับ

2.2.2 น้ำมันไฮดรอลิก (Hydraulic Oil)

น้ำมันไฮดรอลิกมีหน้าที่เป็นตัวกลางในการถ่ายทอดกำลังงานจากจุดหนึ่ง ไปยังอีกจุดหนึ่งในระบบ เพื่อเปลี่ยนแปลงกำลังงานของของไหลให้เป็นกำลังงานที่ต้องการ เป็นตัวหล่อลื่น และลดแรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสของอุปกรณ์ต่างๆ นอกจากนี้ น้ำมันไฮดรอลิกยังทำหน้าที่เป็นซีลเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการรั่วซึมเกิดขึ้นน้อยที่สุดภายในชิ้นส่วนของอุปกรณ์ต่างๆ การไหลเวียนของน้ำมันไฮดรอลิกขณะทำงานจะช่วยถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ อันเนื่องมาจากการสูญเสียกำลังงานในระบบด้วย



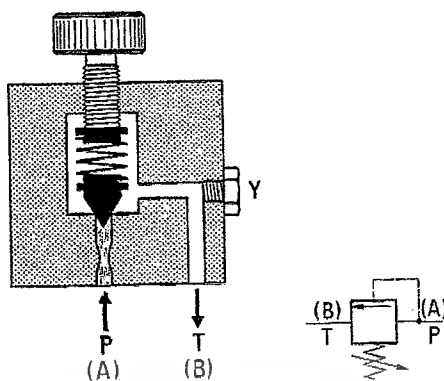
รูปที่ 2.12 น้ำมันไฮดรอลิกที่ใช้ในโรงงาน ยี่ห้อ Trane Super HD Hydraulic Oil

การเลือกใช้น้ำมันไฮดรอลิกแต่ละชนิดต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับลักษณะงานตามที่บริษัทผู้ผลิตได้กำหนดไว้และในขณะที่ใช้งานก็ต้องบำรุงดูแลรักษาน้ำมันไฮดรอลิกให้อยู่ในสภาพดีคือ สะอาด มีอุณหภูมิพอเหมาะ นอกจากนี้จะต้องเปลี่ยนน้ำมันไฮดรอลิกใหม่เมื่อถึงอายุการใช้งานรวมทั้งควรตรวจสอบให้น้ำมันไฮดรอลิกอยู่ในระดับพอเพียงสำหรับการใช้งานในระบบตลอดเวลาอีกด้วย ปัจจัยที่ใช้ในการระบุคุณภาพของน้ำมันไฮดรอลิกคือ ความหนืด ปริมาณของน้ำที่เจือปนอยู่ในน้ำมันไฮดรอลิก และระดับของสิ่งเจือปนในน้ำมันไฮดรอลิก

ในโรงงานนี้เลือกใช้น้ำมันไฮดรอลิกยี่ห้อ Trane Super HD Hydraulic Oil เป็นของไหลทำงานในระบบไฮดรอลิก เพราะนอกจากน้ำมันไฮดรอลิกรุ่นนี้จะต้านทานการกัดกร่อนจากสิ่งเจือปนในระบบไฮดรอลิก และทำให้น้ำที่เกิดจากการควบแน่นซึ่งถือว่าเป็นสิ่งเจือปนในระบบหล่อลื่นรวมเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำมันเพื่อป้องกันการกัดกร่อนในระบบแล้ว น้ำมันไฮดรอลิกรุ่นนี้ยังลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย โดยใช้ Zinc Free Technology ลดโลหะที่ประกอบอยู่ในน้ำมันไฮดรอลิก

2.2.3 วาล์วควบคุมความดัน (Pressure Relief Valve)

วาล์วควบคุมความดัน (Pressure Control Valve) ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันส่วนใหญ่เป็น Pressure Relief Valve และถูกพบในทุกระบบไฮดรอลิก โดยทั่วไปแล้วจะเป็นวาล์วปิด ซึ่งฟังก์ชันของมันใช้จำกัดความดันตามค่าความดันสูงสุดที่กำหนด โดยเบี่ยงเบนป้อนให้น้ำมันไฮดรอลิกไหลกลับไปสู่ถังน้ำมันไฮดรอลิก



รูปที่ 2.13 โครงสร้างภายในและสัญลักษณ์ของ Pressure Relief Valve

จากรูปที่ 2.13 ลิ้นลูกบอลหรือ Poppet ถูกวางอยู่บนบ่าภายในวาล์วด้วยแรงกดอัดของสปริง เมื่อความดันในระบบมาถึงความดันสูงสุดที่ตั้งไว้ แรงไฮดรอลิกจะมากกว่าแรงกดอัดของสปริงและ Poppet ก็จะถูกผลักให้หลุดออกจากบ่า น้ำมันไฮดรอลิกจะไหลไปที่ทางออกของวาล์ว และกลับสู่ถังน้ำมันไฮดรอลิกจนกว่าความดันในระบบจะกลับมาสู่ความดันปกติ จะสังเกตเห็นว่าการปรับสกรูที่อยู่ภายนอกวาล์วเป็นการปรับแรงดันของสปริง ซึ่งแรงดันนี้เป็นแรงดันที่ Pressure Relief Valve เริ่มเปิด ข้อเสียของวาล์วชนิดนี้คือ จะมีการกระทบของ Poppet กับบ่าตลอดเวลาในขณะที่วาล์วทำงาน ทำให้เกิดเสียงดังและทำให้เกิดการสึกหรอเร็ว สามารถปรับค่าความดันได้ต่ำไม่เหมาะกับระบบที่มีปริมาณการไหลมากและความดันสูงๆ

ค่าความดันที่เริ่มทำให้ Poppet เริ่มเปิดออกเรียกว่า แรงดันน้ำมันที่เริ่มเปิดให้น้ำมันไหล (Cracking Pressure) เมื่อความดันเพิ่มขึ้นมากกว่านี้ วาล์วก็ยังเปิดกว้างมากขึ้นจนกระทั่งเปิดสุดเต็มที่ เรียกตำแหน่งที่เปิดเต็มที่นี้ว่า แรงดันน้ำมันขณะที่เปิดให้น้ำมันไหลได้มากที่สุด (Full Flow Pressure) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่สปริงไม่สามารถกดลงไปได้อีกแล้ว แต่ถ้าความดันยังคงสูงเพิ่มขึ้นไปมากกว่านี้ ปริมาณการไหลของน้ำมันผ่านวาล์วกลับลงสู่ถังน้ำมันไฮดรอลิกก็ยังสามารถเพิ่มขึ้นได้ ทั้งที่ช่องยังคงเปิดเท่าเดิม แต่จะทำให้ความร้อนเนื่องจากการสูญเสียพลังงานของน้ำมันไฮดรอลิกสูงมาก ดังนั้นจึงควรพิจารณาค่าความดันสูงสุดที่จำกัดในระบบให้เหมาะสมกับขนาดวาล์วตามที่บริษัทผู้ผลิตกำหนดไว้ด้วย

ในโครงการนี้เลือกใช้ Direct Operated Relief Valve ยี่ห้อ Kompass รุ่น DG-02-C ชนิด Sub-plate ขอบเขตของความดันสามารถปรับได้ 35-140 Bar ความดันสูงสุดที่วาล์วสามารถทนได้ 250 Bar และอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกผ่านวาล์วสูงสุด 16 ลิตรต่อนาที

DT,DG



SYMBOL

รูปที่ 2.14 Pressure Relief Valve ที่ใช้ในโครงการงาน ยี่ห้อ Kompass รุ่น DG-02-C

2.2.4 ปั๊มไฮดรอลิก (Hydraulic Pump)

ปั๊มเป็นหัวใจสำคัญของระบบไฮดรอลิก ทำหน้าที่เป็นตัวแปลงพลังงานกลให้เป็นพลังงานของไหลภายใต้ความดัน กล่าวคือเมื่อป้อนกำลังกลไปที่เพลาขับ (Rotating Shaft) ของปั๊ม ปั๊มก็จะทำงานและเปลี่ยนพลังงานกลนั้นให้เป็นพลังงานจลน์ในของเหลว น้ำมันไฮดรอลิกจะถูกดูดออกจากถังน้ำมันไฮดรอลิกแล้วส่งออกไปตามท่อในระบบ การไหลของน้ำมันจะต้องมีพลังงานศักย์มากเพียงพอที่จะผ่านแรงต้านทานของระบบ แรงต้านทานการไหลของระบบนี้เองที่ทำให้เกิดความดันในระบบไฮดรอลิกขึ้น ซึ่งจะถูกนำไปใช้งาน ณ จุดต่างๆ ของระบบในโรงงานอุตสาหกรรม กำลังงานกลที่ใช้ขับปั๊มส่วนมากได้จากมอเตอร์ไฟฟ้า แต่ถ้าไม่ใช่โรงงานอุตสาหกรรมหรือในที่ที่ไม่มีกระแสไฟฟ้าก็จะใช้เครื่องยนต์เป็นตัวขับ โดยการแบ่งประเภทของปั๊มพิจารณาจากลักษณะโครงสร้าง และหลักการขึ้นพื้นฐานในการทำงานซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

- ปั๊มประเภทคูดเหวี่ยง (Non-position displacement pump)

ปั๊มโดยอาศัยแรงเหวี่ยงของใบพัด แรงดันที่เกิดขึ้นภายในตัวปั๊มขึ้นอยู่กับความเร็วของปั๊ม โดยทั่วไปใช้กับงานที่ต้องการปริมาตรของของไหลสูง แต่ความดันต่ำ ซึ่งปั๊มชนิดนี้ไม่ค่อยนิยมใช้กับการส่งกำลังด้วยของไหล แต่นิยมใช้กับงานที่ต้องการส่งของไหลจากที่หนึ่ง ไปยังอีกที่หนึ่ง



รูปที่ 2.15 ปั๊มไฮดรอลิกประเภทคูดอัดที่ใช้ในโครงการงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ปั๊มประเภทคูดัก (Position displacement pump)

ปั๊มที่มีหลักการทำงานในแบบที่เรียกว่า ไฮโดรสแตติก (Hydrostatic) ได้แก่ ปั๊มแบบ ฟันเฟือง แบบสกรู แบบเวน ปั๊มแบบคูดัก โครงสร้างภายในที่ทำงานมีการซีลแบบกลไกซึ่งเป็น ชนิด โลหะสัมผัสซึ่งกันและกัน กันไม่ให้ท่อทางเข้าและท่อทางออกต่อดังกัน เป็นการช่วยลด ปริมาณการรั่วซึมภายในได้ดีจึงเหมาะสำหรับใช้ในงานที่ความดันสูงๆ หรืองานที่ใช้ของไหลใน การส่งกำลัง แม้ว่าความดันภายในระบบไฮดรอลิกจะขึ้นหรือลงก็ไม่มีผลกระทบต่อการทำงานใน ทุกๆ ระยะชักหรือทุกรอบของการหมุนของปั๊ม ปริมาณของของไหลที่เข้าสู่ระบบไฮดรอลิกต่อรอบ การหมุนของปั๊มจะมีค่าเท่าเดิมตลอดการทำงาน

ปั๊มทำงานบนหลักการของความดันสูญญากาศซึ่งถูกสร้างที่ทางเข้าปั๊มเนื่องมาจากการ ทำงานภายในของปั๊ม เป็นการยอมให้ความดันบรรยากาศผลักดันน้ำมันไฮดรอลิกออกจากถังน้ำมันไฮดรอลิกและเข้าสู่ปั๊ม ปั๊มจะส่งน้ำมันไฮดรอลิกออกไปด้วยระบบทางกลต่อไป

2.2.5 สายน้ำมันไฮดรอลิก (Hydraulic Connectors)

น้ำมันไฮดรอลิกจะถูกส่งเข้ามาในระบบและกลับสู่ถังน้ำมันไฮดรอลิก โดยสายไฮดรอลิก กล่าวคือกำลังจะถูกส่งผ่านโดยสายไฮดรอลิกด้วย ในโครงการนี้ใช้ Flexible Hose ซึ่งสายไฮดรอลิก ชนิดนี้นิยมใช้กับระบบที่มีส่วนประกอบที่สามารถเคลื่อนที่ได้ เช่น กระจบบอกสูบไฮดรอลิก เป็นต้น ทำมาจากสารที่ยืดหยุ่นได้คล้ายยาง ชั้นนอกสุดของท่อชนิดนี้โดยทั่วไปเป็นยางสังเคราะห์ เพื่อ ปกป้องสายลัดซึ่งมีอย่างน้อย 3 ชั้น ที่ใช้ควบคุมความดันที่สูงขึ้น



รูปที่ 2.16 สายน้ำมันไฮดรอลิกที่ใช้ในโรงงาน

2.2.6 ข้อต่อแบบสวมเร็ว (Quick Disconnect Coupling)

ข้อต่อชนิดพิเศษอีกแบบหนึ่งคือข้อต่อแบบสวมเร็วใช้ได้ทั้งสำหรับ Plastic Tubing และ Flexible Hose ข้อต่อชนิดนี้จะยอมให้ส่วนประกอบต่างๆ ในระบบสามารถแยกออกจากกันได้ การออกแบบมีอยู่ 3 แบบ ดังนี้

- Straight through

การออกแบบแบบนี้ทำให้มีข้อจำกัดของการไหลน้อยที่สุด แต่จะไม่ป้องกันการสูญเสียของไหลจากระบบเมื่อข้อต่อไม่ได้ถูกสวมอยู่

- One-way shutoff

การออกแบบแบบนี้เป็นการกั้นของไหลจากสายไฮดรอลิกจากแหล่งจ่าย แต่น้ำมันไฮดรอลิกที่ออกจาก Actuator ถูกเปิดไว้ของไหลที่รั่วออกจากระบบนี้ไม่ได้มากเกินไปสำหรับการทำงานในระยะสั้น แต่สิ่งสกปรกที่ทางเข้าด้านปลายเปิดของข้อต่อนี้สามารถสร้างปัญหาให้แก่ระบบได้

- Two-way shutoff

การออกแบบแบบนี้จะมีการปิดปลายทั้งสองข้างของเส้นความดันเมื่อไม่ได้ถูกต่อ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการรั่วไหลก่อนเวลาอันควร หรือการสูญเสียเนื่องจากการต่อ ซึ่งในโครงการนี้เลือกใช้ข้อต่อแบบนี้เพื่อป้องกันการรั่วไหลของน้ำมันไฮดรอลิกในระบบ



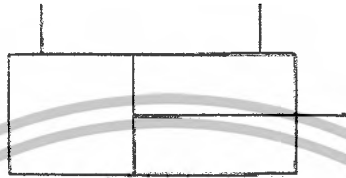
รูปที่ 2.17 ข้อต่อแบบสวมเร็วที่ใช้ในโครงการ

2.2.7 กระบอกลูกสูบไฮดรอลิก (Hydraulic Cylinder)

กระบอกลูกสูบไฮดรอลิกมีหน้าที่รับน้ำมันไฮดรอลิกที่มาจากปั๊มและวาล์วควบคุมต่างๆ เพื่อเปลี่ยนกำลังงานไฮดรอลิกให้เป็นกำลังงานกล โดยเปลี่ยนความดันและความเร็วของน้ำมันไฮดรอลิกในท่อทางให้เป็นการเคลื่อนที่ของลูกสูบ เมื่อน้ำมันป้อนเข้าสู่กระบอกลูกสูบจะทำให้เกิดแรงดันขึ้น โดยอัตราการไหลของน้ำมันจะเป็นตัวกำหนดความเร็วของลูกสูบ ดังนั้นกระบอกลูกสูบไฮดรอลิก

เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานของของไหล (Fluid Power) ให้เป็นพลังงานกลในแนว
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญตาดำเนินไปเซประยะชันด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

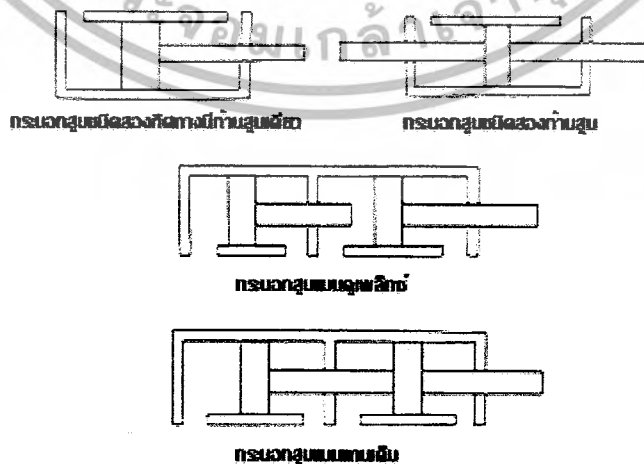
เส้นตรง (Linear Mechanical Power) Major Area คือพื้นที่ที่รับความดันของน้ำมันด้านลูกสูบ (Cap End) ส่วน Minor Area คือพื้นที่ที่รับความดันของน้ำมันด้านก้านสูบ (Rod End) ความเร็วของกระบอกสูบขึ้นอยู่กับว่าอัตราการไหลของน้ำมันเข้าไปบรรจุในกระบอกสูบได้รวดเร็วเพียงใด สำหรับอัตราการไหลของน้ำมันที่คงที่ ความเร็วของก้านสูบในจังหวะวิ่งกลับจะรวดเร็วกว่าจังหวะวิ่งออก



รูปที่ 2.18 สัญลักษณ์ของกระบอกสูบไฮดรอลิก

กระบอกสูบไฮดรอลิกมีหลายชนิด ดังต่อไปนี้

- กระบอกสูบชนิดสองทิศทาง มีก้านสูบเดี่ยววิ่งเข้า - ออกภายในกระบอกสูบ (Double Acting, Single Rod Cylinder)
- กระบอกสูบชนิดสองทิศทาง แต่มีก้านสูบสองข้างต่อออกจากลูกสูบตรงกลางตัวเดียว (Double Rod Cylinder)
- กระบอกสูบชนิดสองทิศทาง ที่มีลูกสูบตั้งแต่สองลูกสูบเป็นต้นไป แต่มีก้านสูบเพียงอันเดียวสำหรับใช้ทำงาน (Tandem Cylinder)
- กระบอกสูบชนิดสองทิศทาง แต่ก้านสูบไม่ต่อกัน (Duplex Cylinder)



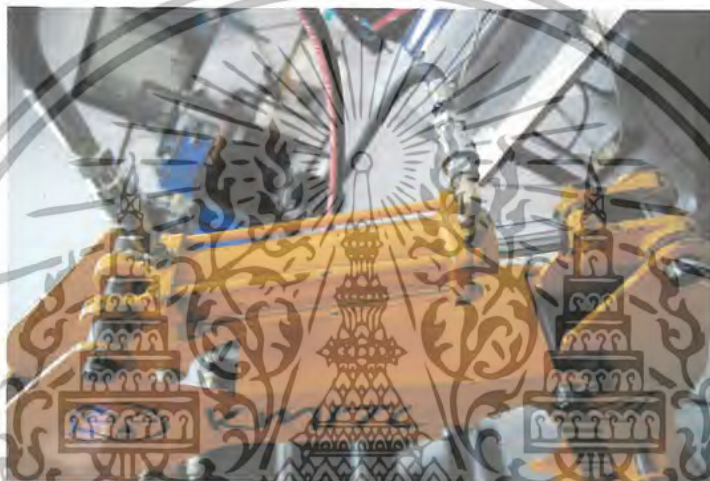
รูปที่ 2.19 กระบอกสูบไฮดรอลิกชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วของก้านสูบขณะที่ลูกสูบวิ่งออก = (อัตราการไหลของน้ำมัน, m^3/s) / (พื้นที่ของลูกสูบ, m^2)
 จากสมการข้างต้นสามารถหาความเร็วของก้านสูบขณะลูกสูบหดกลับ ได้ดังนี้

ความเร็วของก้านสูบขณะลูกสูบหดกลับ = อัตราการไหลของน้ำมัน / พื้นที่ของลูกสูบด้านก้านสูบ
 เป็นที่น่าสังเกตว่าความเร็วจังหวะที่ลูกสูบหดกลับนั้นมากกว่าจังหวะที่ลูกสูบวิ่งออก

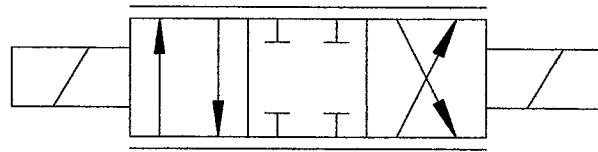
ในโครงการนี้ใช้กระบอกสูบแบบทำงาน 2 ทาง มีความยาวสโตรค 150 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของกระบอกสูบ 40.3 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางก้านสูบ 28.5 มิลลิเมตร



รูปที่ 2.20 กระบอกสูบไฮดรอลิกแบบทำงาน 2 ทาง ที่ใช้ในโครงการ

2.2.8 พรอพพอร์ชันนัลวาล์ว (Proportional Valve)

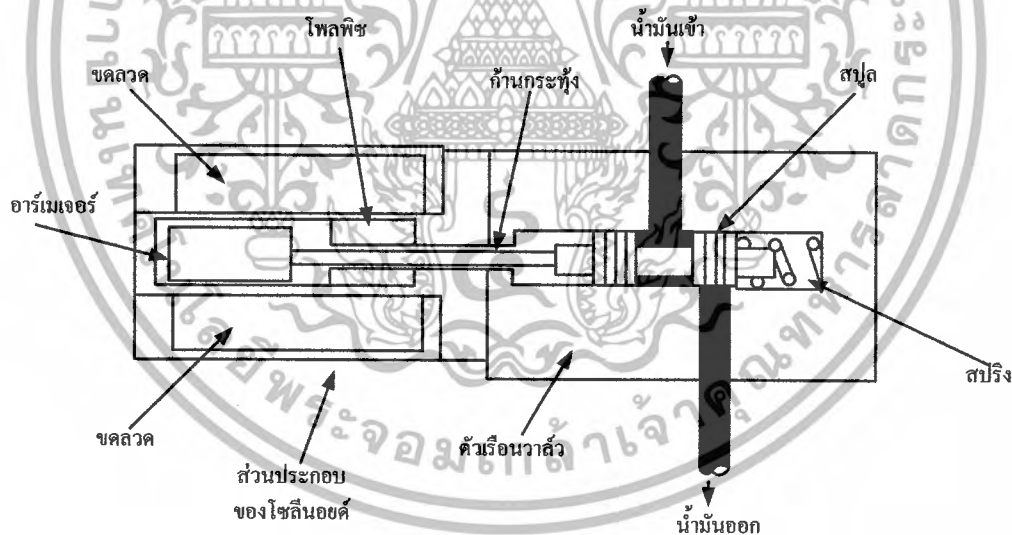
เครื่องจักรอัตโนมัติรวมไปถึงเครื่องจักรกลเคลื่อนที่ทั้งหลายที่อาศัยการขับเคลื่อนด้วยระบบไฮดรอลิก ในปัจจุบันเกือบทั้งหมด ได้มีการนำเอาระบบพรอพพอร์ชันนัลไฮดรอลิก (Proportional Hydraulic) มาใช้ เพื่อควบคุมและสั่งการขับเคลื่อนให้มีการทำงานอย่างนุ่มนวลและเที่ยงตรง ลดความเสียหายของอุปกรณ์ที่มีผลมาจากความดัน ประหยัดพลังงาน รวมทั้งสามารถลดจำนวนอุปกรณ์และความซับซ้อนของวงจรไฮดรอลิกให้น้อยลงได้ ข้อดีต่างๆ ที่กล่าวมาจะสามารถเป็นไปได้ก็ต่อเมื่อในระบบไฮดรอลิกต้องมีวาล์วซึ่งมีการทำงานเป็นแบบต่อเนื่อง (Analog) หรือพรอพพอร์ชันนัลวาล์ว (Proportional Valve) ประกอบร่วมอยู่ด้วยในวงจร



รูปที่ 2.21 สัญลักษณ์ของพรอพเพอร์ชันนัลวาล์ว

พรอพเพอร์ชันนัลวาล์ว เป็นวาล์วที่มีคุณสมบัติอยู่ระหว่างชนิดธรรมดากับเซอร์โววาล์ว นอกจากนี้พรอพเพอร์ชันนัลวาล์วถูกออกแบบให้ทำงานและซ่อมบำรุงได้ง่ายด้วย แต่อย่างไรก็ตาม วาล์วนี้ไม่ใช่โซลินอยด์ที่จะทำงานเป็นแบบปิด - เปิดเหมือนกับโซลินอยด์วาล์วทั่วไป แต่เป็นวาล์วที่สามารถทำให้ก้านวาล์วเคลื่อนที่ได้หลายๆ ตำแหน่งโดยการปรับกระแสไฟฟ้า แต่เนื่องจากวาล์วมีโครงสร้างค่อนข้างซับซ้อนจึงต้องใช้น้ำมันไฮดรอลิกที่มีความสะอาดพอสมควร

พรอพเพอร์ชันนัลวาล์วเป็นวาล์วที่อาศัยกฎของความดันของของไหลในการกระจายแรง อินพุตไปยังเอาต์พุต ซึ่งพรอพเพอร์ชันนัลวาล์วสามารถเพิ่มหรือลดแรงสำหรับเอาต์พุตได้ ขึ้นอยู่กับพื้นที่ภาคตัดขวางทางด้านเอาต์พุต



รูปที่ 2.22 แสดงโครงสร้างของพรอพเพอร์ชันนัลวาล์ว

ในโครงการนี้เลือกใช้ Proportional Valve ยี่ห้อ Tokimec รุ่น COM-3-2C-30-AN-11 ชนิด Spool type 3 ตำแหน่ง สามารถทำงานที่ความดันสูงสุด 24.5 MPa อัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกผ่านวาล์วสูงสุด 30 ลิตรต่อนาที และต่ำสุด 0.5 ลิตรต่อนาที ที่ความดัน 6.9 MPa ทนได้กับน้ำมันไฮดรอลิกที่มีอุณหภูมิ 7-60 องศาเซลเซียส และมีขอบเขตความหนืดระหว่าง 20-300 mm²/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

แหล่งจ่ายกำลังเป็นไฟฟ้ากระแสตรง 21.6-28 โวลต์ และกินไฟสูงสุด 40 วัตต์ (24 โวลต์ 1.67 แอมแปร์) สัญญาณอินพุตเป็นแบบ Analog รับไฟฟ้ากระแสตรง +10 ถึง -10 โวลต์



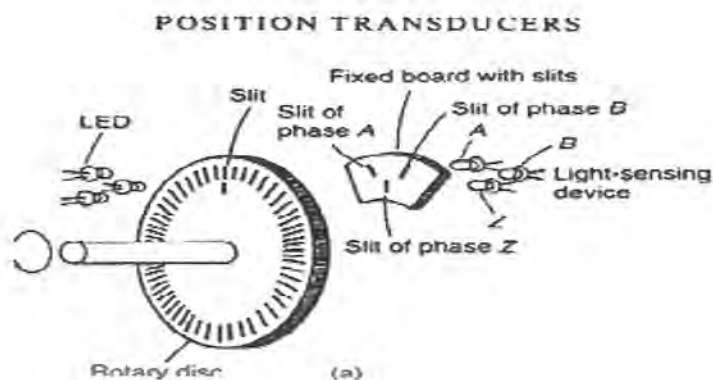
รูปที่ 2.23 พรอพเพอร์ตีชันนัลสว่าลว์ที่ใช้ในโรงงาน ยี่ห้อ Tokimec รุ่น COM-3-2C-30-AN-11

2.2.9 เอ็นโค้ดเดอร์ (Encoder)

Encoder เป็นอุปกรณ์ป้อนกลับ (Feedback Device) ทำหน้าที่ตรวจวัดความเร็ว (speed) ทิศทางการหมุนของมอเตอร์ (Direction of Rotation) และตำแหน่งเพลลาของโรเตอร์ (Shaft Position) จากนั้นรายงานผลกลับไปยังคอนโทรลเลอร์ จากบทบาทของของเอ็นโค้ดเดอร์ซึ่งทำหน้าที่ตรวจวัดความเร็ว (Speed) และตำแหน่ง (Position) ของมอเตอร์ จึงทำให้อุปกรณ์ชนิดนี้ถูกเรียกชื่อตามบทบาทหน้าที่ว่า Speed Sensor หรือ ในที่ Shaft Position Sensor

เอ็นโค้ดเดอร์สามารถแยกประเภทตามหลักการได้ 2 กลุ่ม คือ ชนิดที่ทำงานโดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำที่เรียกว่า อะนาลอกเอ็นโค้ดเดอร์ (Analog Encoder) จะประกอบด้วย เทคโคเจเนอเรเตอร์ (Tachogenerator) และรีโซลเวอร์ (Resolver) สำหรับชนิดที่ทำงานโดยอาศัยหลักการออปติคัลหรือแบบ incremental encoder จะมีความทนทานมากกว่าจึงเหมาะกับการใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรม และอีกชนิดคือชนิดที่ทำงานโดยอาศัยหลักการดิจิทัล (Digital Encoder)

เมื่อเริ่มต้นเปิดสวิตช์จ่ายไฟเข้าคอนโทรลเลอร์หรือชุดเซอร์โวไดรฟ์ คอนโทรลเลอร์จะจ่ายสัญญาณอ้างอิงความถี่สูงเข้าไปที่ขดลวดสเตเตอร์ชุดหนึ่ง จากนั้นก็เกิดการเหนี่ยวนำและเกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำขึ้นที่ขดลวดที่พันอยู่ที่โรเตอร์ แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำนี้จะทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายกระแสไฟให้ขดลวดปฐมภูมิชุดที่สองทำให้เกิดสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำข้ามไปยังขดลวดทุติยภูมิ สัญญาณไซน์และโคไซน์ที่ได้จากการเหนี่ยวนำของขดลวดทุติยภูมิจะมีมุมต่างเฟสกัน 90 องศา ตามลักษณะของสนามแม่เหล็กจากโรเตอร์ที่ไปตัดกับขดลวด



รูปที่ 2.24 แสดงโครงสร้างภายในเอ็นโค้ดเดอร์

จากนั้นสัญญาณทั้งสองที่ได้ก็จะถูกป้อนกลับไปยังชุดคอนโทรลเลอร์และถูกแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัล โดยอุปกรณ์ที่เรียกว่า Resolver-to-digital converter (RDC) ซึ่งมีจำนวนอยู่ในช่วง 1000-4000 พัลส์ ต่อการหมุน 1 รอบ โดยขึ้นอยู่กับความละเอียดของ RDC

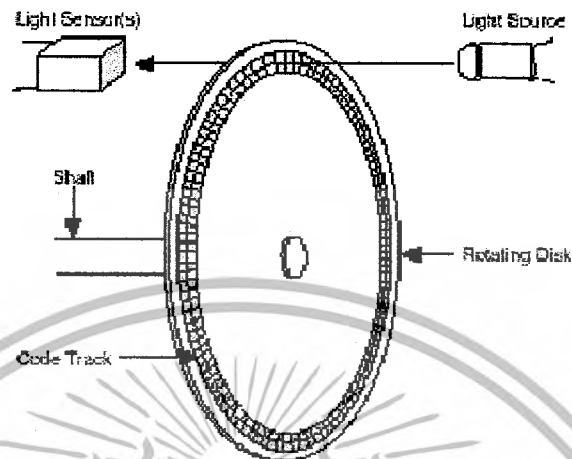


รูปที่ 2.25 ลักษณะสัญญาณที่ออกจากเอ็นโค้ดเดอร์

Incremental encoder ทำงานโดยอาศัยหลักการออกพัลส์ บ่อยครั้งจึงถูกเรียกตามหลักการว่า Optical encoder หรือบางกรณีก็จะถูกเรียกว่า digital encoder โครงสร้างจะประกอบด้วยตัวกำเนิดแสง ตัวจับแสงซึ่งถูกกั้นกลางด้วยแผ่นจานกลมที่ถูกเจาะรูไว้รอบๆ แผ่น (จำนวนรูจะขึ้นอยู่กับความละเอียดของ increment encoder) และหน้ากอกแยกช่องของสัญญาณพัลส์ A, B และ Z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้จัดทำเอกสารฉบับนี้ดำเนินการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

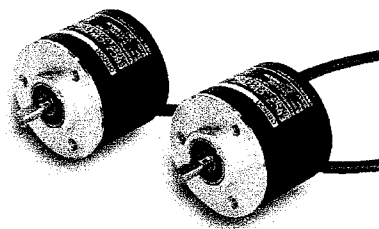
เกิดจากแทรค A และ B จะเกิดการเลื่อนกันมีความต่างเฟส 90 องศา เพื่อทำหน้าที่รายงานผลความเร็วและทิศทางการหมุนของมอเตอร์ให้คอลโทรลเลอร์



รูปที่ 2.26 การจับสัญญาณของอินโค้ดเดอร์

ค่าตำแหน่งจะใช้วิธีสุ่มสัญญาณทั้งสองโดยอาจนับขึ้นหรือนับลงขึ้นอยู่กับทิศทางหมุน ความละเอียดของการนับขึ้นอยู่กับความละเอียดของเอ็นโค้ดเดอร์ซึ่งจะระบุโดยบริษัทผู้ผลิตอย่างชัดเจน กรณีพัลส์ A เกิดขึ้นก่อน B คอนโทรลเลอร์จะรับรู้ว่ามอเตอร์กำลังหมุนด้วยทิศทางตามเข็มนาฬิกา แต่ถ้าหากพัลส์ B เกิดขึ้นก่อน A คอนโทรลเลอร์จะรับรู้ว่ามอเตอร์กำลังหมุนด้วยทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ส่วนแทรค Z หรือพัลส์อ้างอิงจะเกิดขึ้น 1 พัลส์ต่อการหมุน 1 รอบทำหน้าที่ใช้อ้างอิงตำแหน่งของโรเตอร์ increment encoder โดยทั่วไปจะไม่นิยมใช้กับระบบเซอร์โวที่มีการปิดเครื่องหรือไฟดับ ซึ่งจะต้องทำการหาจุดอ้างอิงใหม่ทุกครั้ง

ข้อดีอย่างเห็นได้ชัดคือเอ็นโค้ดเดอร์ชนิดนี้ไม่มีข้อจำกัดเรื่องขอบเขตการนับ สามารถนับขึ้นลงจนกระทั่งตัวควบคุมไม่สามารถนับได้เนื่องการโอเวอร์โวลท์ของระบบซอฟต์แวร์ ซึ่งเป็นที่มาของชื่อ Incremental encoder รวมทั้งราคาที่ค่อนข้างถูก เนื่องจากจะเห็นว่าดิสไม่ซับซ้อน แต่ข้อเสียก็คือต้องมีกระบวนการหาตำแหน่งอ้างอิงนั่นเอง



รูปที่ 2.27 Incremental Encoder ที่ใช้ในโรงงาน ยี่ห้อ Omron รุ่น E6C2-CW3E

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในโครงการนี้เลือกใช้ Incremental Encoder ยี่ห้อ Omron รุ่น E6C2-CWZ3E มีเอาต์พุต 3 เฟส คือ A B และ Z ใช้กับแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง +5 ถึง +12 โวลต์ มีความละเอียด 1000 พัลส์ต่อรอบ

2.2.10 Data Acquisition Card (DAQ)

Data Acquisition Card เป็นการ์ดที่ทำหน้าที่ทั้งแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล (Analog to Digital) และแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอก (Digital to Analog) ในตัวเดียวกัน เมื่ออุปกรณ์ภายนอกที่เป็นสัญญาณอนาลอก (Analog) จำเป็นต้องทำงานประมวลผลในคอมพิวเตอร์ อุปกรณ์นั้นจำเป็นต้องต่อเข้ากับการ์ดนี้เพื่อแปลงสัญญาณให้คอมพิวเตอร์สามารถประมวลผลได้ Data Acquisition Card ติดตั้งร่วมกับคอมพิวเตอร์ โดยผ่านทางสล๊อตของ ISA นอกจากนี้จะทำหน้าที่แปลงสัญญาณ A/D หรือ D/A แล้ว ยังทำหน้าที่เป็นพอร์ตอินพุตหรือพอร์ตเอาต์พุต (Input-Output Port) อีกด้วย การ์ดที่ใช้ในโครงการเพื่อควบคุมการทดลองคือ NI-PCI6229



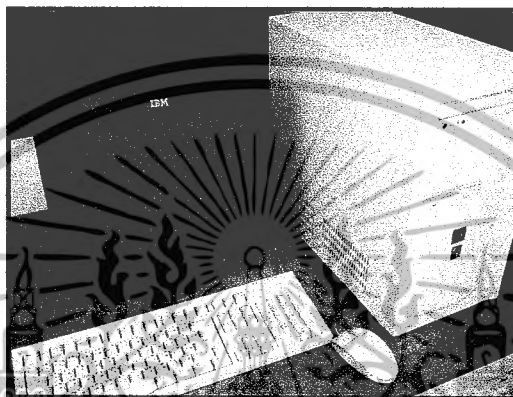
รูปที่ 2.28 Data Acquisition Card ยี่ห้อ National Instruments รุ่น PCI6229

หรือ NI PCI 6229 ที่ใช้ในโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.11 คอมพิวเตอร์ (Computer)

คอมพิวเตอร์เป็นศูนย์กลางในการควบคุมและประมวลผลข้อมูล ทำหน้าที่ส่งข้อมูลหรือสัญญาณควบคุมไปสั่งงานให้พรอพเพอร์ชันนัลวาล์วทำงาน และรับค่าจากชุดทดลองกลับมาทำการคำนวณเปรียบเทียบค่าที่ได้กับค่าที่ต้องการ แล้วนำค่าที่แตกต่างนั้น ไปผ่านกระบวนการให้มีค่า Error น้อยลงจนเป็นศูนย์



รูปที่ 2.29 แสดงคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ทฤษฎีและหลักการทำงาน

3.1 การทำงานของชุดทดลองไฮดรอลิก

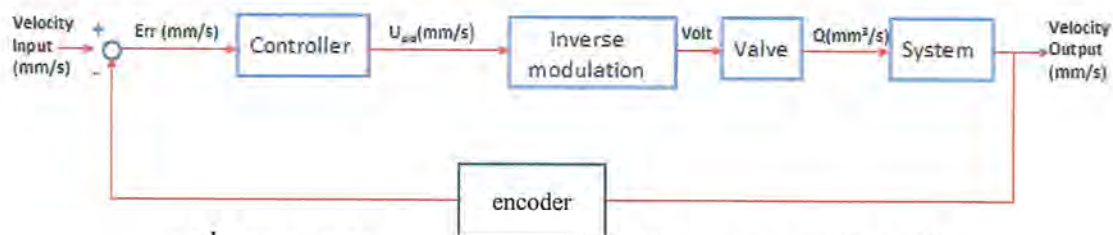
3.1.1 การควบคุมแบบปิด (Closed Loop Control)

ระบบควบคุมแบบปิด ถือได้ว่าเป็นระบบที่นิยมและใช้กันมากที่สุด เนื่องจากความสามารถในการควบคุมซึ่งสามารถปรับแต่งได้ การทำงานมีประสิทธิภาพและมีเสถียรภาพ สามารถใช้กับงานได้หลากหลาย



รูปที่ 3.1 Block Diagram ของการควบคุมแบบปิดโดยทั่วไป

สัญญาณอินพุต (Input) ที่เข้าระบบตั้งเป็นความเร็วอินพุตจากคอมพิวเตอร์ จากนั้นผ่านกราฟ Inverse Modulation จะทำการแปลงเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า -10 ถึง $+10$ โวลต์ เพื่อที่จะส่งสัญญาณไฟฟ้าที่แปลงแล้วเข้าไปพรอพเพอร์ชันนัลวาล์ว ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิก อัตราการไหลนี้จะเป็นสัดส่วนกับสัญญาณควบคุมที่เป็นแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับพรอพเพอร์ชันนัลวาล์ว ความเร็วของกระบอกสูบจะเปลี่ยนแปลงไปตามอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกที่เข้ากระบอกสูบ โดยความเร็วของกระบอกสูบจะถูกวัดเป็นตำแหน่งเชิงมุมที่เปลี่ยนไปด้วยเอ็นโค้ดเดอร์ ซึ่งเป็นตัวแปลงการเคลื่อนที่ของกระบอกสูบมาเข้ารหัสเป็นสัญญาณดิจิทัลให้กับคอนโทรลเลอร์ เพื่อนำความเร็วที่ได้ออกมา (Output) ไปคำนวณหาความผิดพลาด (Error) ทางตำแหน่งความเร็ว โดยเปรียบเทียบค่าจริงที่ได้กับค่าที่ต้องการ และนำค่าแตกต่างนั้นไปผ่านกระบวนการทำให้มีความผิดพลาดน้อยลงจนมีค่าเป็นศูนย์



รูปที่ 3.2 Block Diagram การควบคุมแบบปิดของชุดทดลองไฮดรอลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

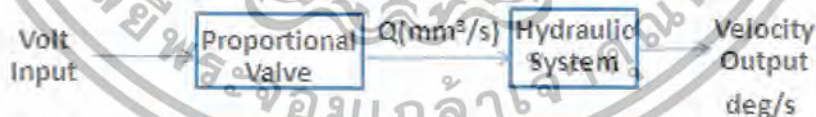
3.1.2 การควบคุมแบบเปิด (Open Loop Control)

เป็นการควบคุมที่ไม่ต้องมีการป้อนกลับ การควบคุมในลักษณะนี้จะสามารถใช้ได้กับระบบที่เป็นอุดมคติหรือใกล้เคียงความเป็นอุดมคติ หากกล่าวง่ายๆ ระบบอุดมคติคือระบบที่สามารถรับคำสั่งและสั่งให้ระบบอยู่ในสถานะที่ต้องการได้โดยถูกต้อง รวมทั้งใช้เวลาในการขับระบบเข้าใกล้ศูนย์ สำหรับการควบคุมแบบเปิดในโรงงานนี้มีความแตกต่างกับการควบคุมแบบปิดตรงที่ไม่มีคอนโทรลเลอร์ไว้ควบคุมให้สัญญาณความเร็วเอาท์พุทที่ได้ ออกมีค่าเหมือนกับสัญญาณความเร็วอินพุทที่ใส่เข้าไป



รูปที่ 3.3 Block Diagram ของการควบคุมแบบเปิดโดยทั่วไป

จากการเปรียบเทียบจะเห็นว่า การควบคุมแบบเปิดเป็นที่นิยมเนื่องจากมักจะได้ประสิทธิภาพและเสถียรภาพที่ดีกว่า แต่สำหรับระบบที่ไม่ต้องการความแม่นยำสูงหรือภาระของระบบไม่มากเกินไป นิยมใช้การควบคุมแบบเปิดเพราะควบคุมง่ายและราคาถูก โดยการควบคุมสามารถดูได้จาก Block Diagram ดังรูปที่ 3.4 เมื่อให้แรงดันไฟฟ้าแก่พรอพเพอร์ชันนัลวาล์วเพื่อเปิดให้น้ำมันไหลผ่านไปยังกระบอกสูบไฮดรอลิก จากนั้นวัดความเร็วของการเคลื่อนที่ของระบบไฮดรอลิกโดยใช้เซ็นโค้ดเดอร์



รูปที่ 3.4 Block Diagram การควบคุมแบบเปิดของชุดทดลองไฮดรอลิก

3.2 ทฤษฎี PID Controller

Proportional-Integral-Derivative Controller (PID Controller) คือเครื่องมือที่เกี่ยวกับ Control Loop Feedback ที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในการควบคุมระบบต่างๆ ในโรงงานอุตสาหกรรม โดยการทำงานนั้นจะพยายามลดค่าความผิดพลาด (Error) ซึ่งได้มาจากการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการปฏิบัติจริงและค่าในอุดมคติที่ได้จากการคำนวณ โดยส่งค่าเอาท์พุทซึ่งปรับค่าแล้วให้สอดคล้องกับกระบวนการ วิธีการคำนวณของ PID นั้นเกี่ยวข้องกับตัวแปรสามตัวคือ Proportional

Integral และ Derivative

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 การควบคุมแบบ Proportional (P-Control)

การควบคุมแบบ Proportional เป็นการควบคุมแบบเป็นสัดส่วน กล่าวคือค่าเอาต์พุตที่ได้มาจะเป็นสัดส่วนกับค่าอินพุตที่รับมาจากกระบวนการ ถ้าค่าความคลาดเคลื่อนมีค่ามากขึ้น ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมก็จะมีค่ามากขึ้นตาม แต่ถ้าค่าความคลาดเคลื่อนน้อยลง ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมก็จะมีค่าน้อยลงตาม ตามความสัมพันธ์ดังนี้

$$\text{Output} \propto \text{input} \quad (3.1)$$

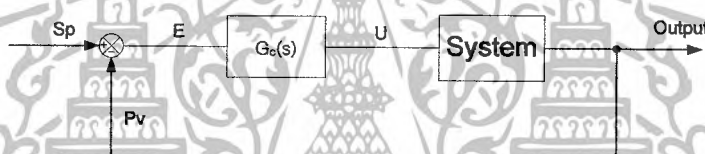
เมื่อ U คือ Output ที่ออกจากตัวควบคุม

และ E คือ Input ที่รับเข้าตัวควบคุม

จะได้ $U \propto E$ (3.2)

กำหนดให้ K_p คือ ค่าคงที่ที่เรียกว่า อัตราขยาย (Proportional Gain)

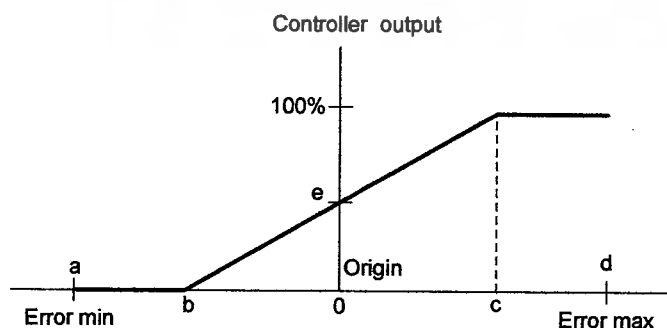
$$U = K_p E \quad (3.3)$$



รูปที่ 3.5 Block Diagram แสดงการทำงานของระบบทั่วไปที่มีตัวควบคุม

ในรูปที่ 3.5 อินพุตที่รับมาจะเป็นค่าความคลาดเคลื่อน (Error) ของกระบวนการ ส่วนค่าเอาต์พุตที่ส่งออกไปนั้นจะเป็นสัญญาณ ไปป้อนให้กับระบบทำงานต่อไป

จากกราฟความสัมพันธ์ในรูปที่ 3.6 แกนนอนเป็นค่าความคลาดเคลื่อน (Error) ส่วนแกนตั้งเป็นคำสั่งที่ออกจากตัวควบคุม จะพบว่าเมื่อค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ คำสั่งที่ออกจากตัวควบคุมก็จะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนตามกัน จะสังเกตได้ว่าแม้มีค่าความคลาดเคลื่อนเป็นศูนย์ คำสั่งที่ออกจากตัวควบคุมกลับไม่เป็นศูนย์ด้วย เนื่องจากโดยปกติตัวควบคุมจะต้องส่งเอาต์พุตออกมาสั่งการทิ้งไว้ค่าหนึ่งเสมอ



รูปที่ 3.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุต (Error) และเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบ P-Control

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การควบคุมแบบ Integral (I-Control)

หลักการทำงานของตัวควบคุมแบบ Integral Control คือการให้เอาต์พุตเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลงไปเรื่อยๆ ถ้าค่า error ยังไม่เป็นศูนย์ โดยค่าเอาต์พุตจะแปรผันตามค่าปฏิกิริยาพันธ์ของอินพุตตามสมการ

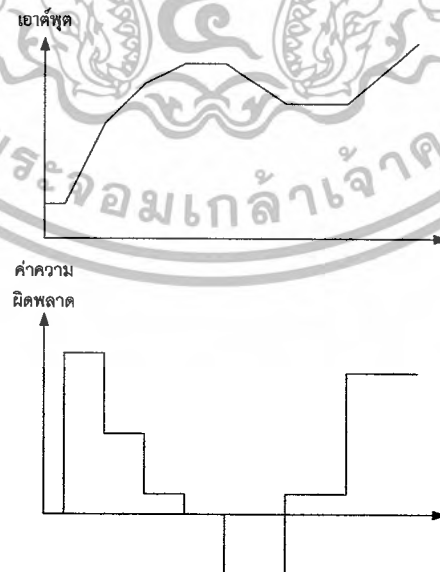
$$U(t) \propto \int_0^t e(t) dt \quad (3.4)$$

$$U(t) = K_I \int_0^t e(t) dt \quad (3.5)$$

Take Laplace ตลอดทั้งสองข้าง จะได้

$$U(s) = \frac{K_I E(s)}{s} \quad (3.6)$$

จากสมการที่ 3.6 ในตัวควบคุมแบบ I-Control นั้น Gain ของตัวควบคุมจะเท่ากับ $\frac{K_I}{s}$ โดยที่ K_I เป็นค่าคงที่ของตัวควบคุมแบบ Integral จะทำงานปรับค่าเอาต์พุตเพิ่มขึ้นหรือลดลงเรื่อยๆ ถ้าค่าจากระบบการยังไม่เท่ากับค่าที่ตั้งไว้หรือค่า Error ยังไม่เท่ากับศูนย์ วิธีนี้ช่วยให้สามารถทำให้ค่าที่ออกจากกระบวนการมีค่าเท่ากับค่าที่ตั้งไว้พอดี เป็นการแก้ค่า Error ได้หมด เมื่อดูจากรูปที่ 3.7 แสดงการตอบสนองของระบบ จะเห็นว่าถ้าค่า Error ยังมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ ค่าเอาต์พุตก็จะเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามไปด้วยแต่โดยทั่วไปจะไม่ใช้วิธีควบคุมแบบ I-Control เพียงอย่างเดียว เนื่องจากระบบจะใช้เวลานานในการเข้าสู่สถานะคงตัว (Steady State) จึงต้องใช้วิธี P-control เข้ามาร่วมควบคุมด้วยเพื่อช่วยให้ระบบทำงานเร็วขึ้น



รูปที่ 3.7 แสดงกราฟตอบสนองตามเวลาเทียบกับกันระหว่าง เอาต์พุตของตัวควบคุม (รูปบน) และ อินพุตของตัวควบคุม Error (รูปล่าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 การควบคุมแบบ Derivative (D-Control)

การควบคุมแบบ D-Control เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า การควบคุมแบบอัตราส่วน (Rate Action) โดยสัญญาณเอาต์พุตของตัวควบคุมจะขึ้นกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความคลาดเคลื่อนต่อเวลา จะเห็นว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งเรียกการกระทำดังกล่าวว่า อัตราการกระทำ (Rate Action) ดังสมการต่อไปนี้

$$U_D(t) = K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (3.7)$$

เมื่อ $U_D(t)$ คือ ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบ Derivative

K_D คือ อัตราขยายของตัวควบคุมแบบ Derivative

$\frac{de(t)}{dt}$ คือ ค่าความคลาดเคลื่อนที่เวลา

การควบคุมเชิงอนุพันธ์นี้ส่วนมากแล้วใช้ร่วมกับตัวควบคุมตัวอื่น เช่น ใช้ร่วมกับการควบคุมเชิงสัดส่วน ซึ่งจะเรียกว่าตัวควบคุมแบบสัดส่วนบวกกับแบบอนุพันธ์ หรือ PD-Control ถ้าตัวควบคุมเชิงสัดส่วนใช้ร่วมกับอินทิกรัลจะเรียกว่า ตัวควบคุมแบบสัดส่วนบวกกับแบบอินทิกรัล หรือ PI-Control และถ้าใช้ตัวควบคุมแบบอนุพันธ์ร่วมกับตัวควบคุมแบบสัดส่วน และตัวควบคุมแบบอินทิกรัลจะเรียกตัวควบคุมแบบ PID-Control

ตัวควบคุมแบบอนุพันธ์นี้ช่วยปรับค่าความหน่วง (Damping) ในระบบที่ควบคุมให้มีค่ามากขึ้น นั่นคือทำให้ระบบมีเสถียรภาพมากขึ้น แต่โดยทั่วไปแล้วตัวควบคุมเชิงอนุพันธ์นี้จะไม่ทำให้ค่าความผิดพลาดในสถานะอยู่ตัว (Steady State Error) มีค่าเป็นศูนย์ได้ ในขณะเดียวกันจะเห็นว่าสัญญาณเอาต์พุตที่ออกจากตัวควบคุมเชิงอนุพันธ์นี้เป็นสัญญาณที่เกิดจากการหาอนุพันธ์ของสัญญาณผิดพลาด ดังนั้นถ้าสัญญาณผิดพลาดนี้มีสัญญาณรบกวนมากๆ สัญญาณเอาต์พุตที่ออกมาจากตัวควบคุมเชิงอนุพันธ์นี้จะกระเพื่อม (fluctuate) ค่อนข้างมาก ซึ่งจะทำให้ระบบควบคุมไม่มีเสถียรภาพได้

3.2.4 การควบคุมเชิงสัดส่วนร่วมกับอินทิกรัล (Proportional plus Integral Control หรือ PI-Control)

การควบคุมแบบนี้อาจเรียกสั้นๆ ว่า การควบคุมแบบ PI ก็ได้ จากการควบคุมเชิงสัดส่วนนั้นอาจจะให้การตอบสนองที่รวดเร็วกว่าก็จริง แต่ไม่ว่าเวลาจะผ่านไปนานใดก็ยังคงมีความคลาดเคลื่อนอยู่เสมอ (steady state error) หากระบบถูกรบกวนจากภายนอกหรือมีการเปลี่ยนแปลงภาระ ซึ่งปัญหาดังกล่าวนี้สามารถแก้ได้ถ้าหากใช้การควบคุมเชิงสัดส่วนบวกกับอินทิกรัล สมการของการควบคุมแบบนี้คือการรวมเอาสมการควบคุมเชิงสัดส่วนกับการควบคุมแบบอินทิกรัลเข้าด้วยกันนั่นเอง

3.2.5 การควบคุมเชิงสัดส่วนบวกกับอินทิกรัลและอนุพันธ์ (Proportional Integral Derivative หรือ PID-Control)

PID-Control คือการรวมระหว่างการควบคุมแบบ P-Control I-Control และ D-Control ดังนั้นสมการของ $U_{PID}(t)$ สามารถหาได้ดังนี้

$$U_{PID}(t) = K_p e + K_I \int_0^t e dt + K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (3.8)$$

เมื่อ $U_{PID}(t)$ คือ ค่าเอาต์พุทของตัวควบคุมแบบ PID

การควบคุมแบบ PID สามารถแก้ Error ของ Proportional Control และลด Overshoot ที่จะทำให้เกิดการออสซิลเลทเนื่องจาก Integral Control นอกจากนี้จะให้ผลตอบสนองได้รวดเร็วตามคุณสมบัติของ Derivative Control

3.3 การเลือกและการปรับแต่งอูปรณ์ควบคุม (Selecting and Tuning Controller)

หลักเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจเลือกและปรับแต่งตัวแปรต่างๆ ของอูปรณ์ควบคุมมีอยู่หลายวิธี โดยทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการควบคุมและออกแบบ ซึ่งแน่นอนว่าการใช้หลักเกณฑ์ในการเลือกและการตัดสินใจที่แตกต่างกันย่อมทำให้ระบบควบคุมได้ผลของการควบคุมที่แตกต่างกันออกไป การเลือกอูปรณ์ควบคุมเพื่อลดความยุ่งยากในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์และเหมาะสมกับการออกแบบระบบควบคุมสามารถทำได้โดยพิจารณาการตอบสนองของกระบวนการจากผลของการควบคุมแบบ PID ดังรูปที่ 3.8

Effects of increasing parameters				
Parameter	Rise Time	Overshoot	Settling Time	S.S. Error
K_p	Decrease	Increase	Small Change	Decrease
K_I	Decrease	Increase	Increase	Eliminate
K_D	Small Change	Decrease	Decrease	None

รูปที่ 3.8 ผลของการควบคุมแบบ PID-Control

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

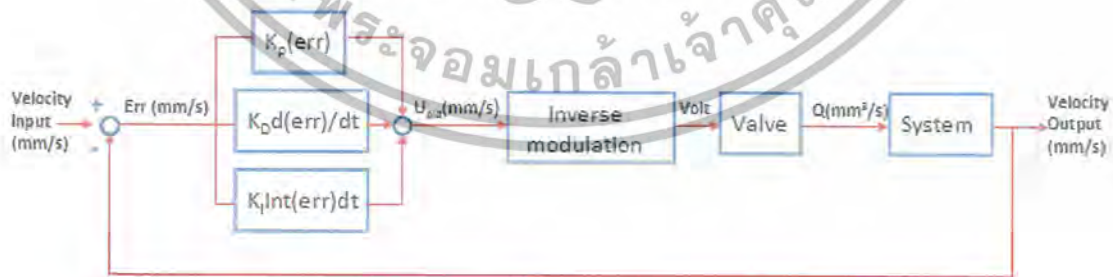
บทที่ 4

ขั้นตอนและผลการทดลอง

4.1 ขั้นตอนการทำงานของชุดทดลองไฮดรอลิก

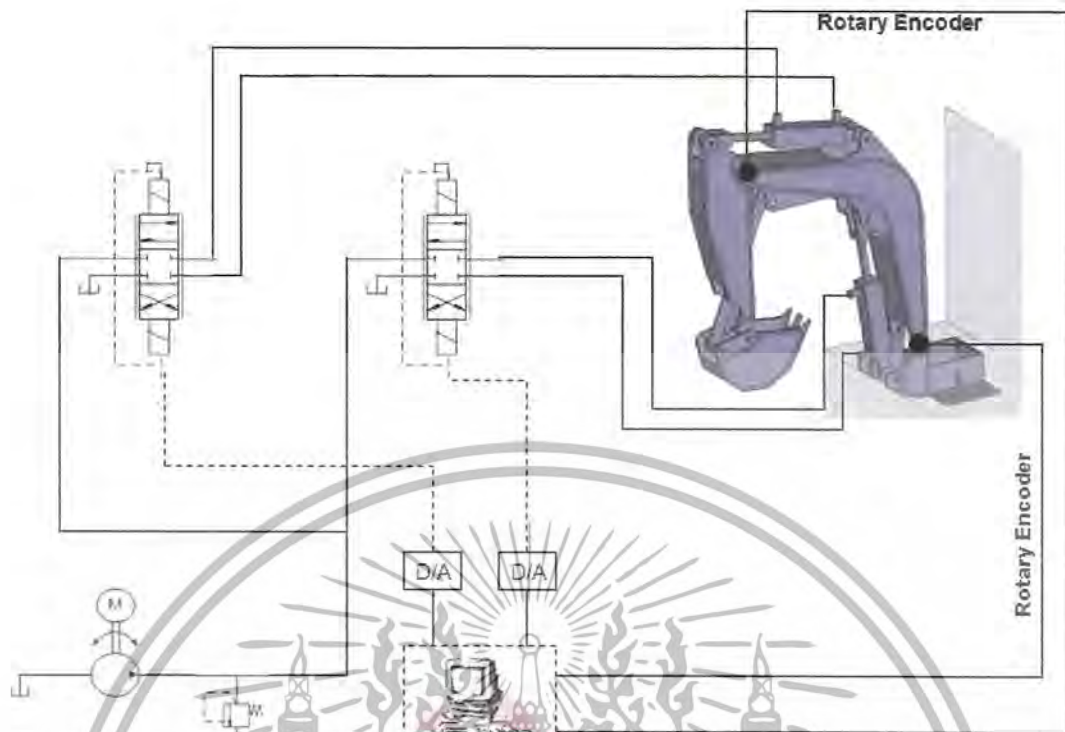
การควบคุมการเคลื่อนที่ของกระบอกสูบเป็นการควบคุมตำแหน่งและความเร็ว โดยสั่งงานผ่านคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นสัญญาณทางความเร็ว ในขั้นตอนแรกจะทำการป้อนความเร็วที่ต้องการ จากนั้นคอมพิวเตอร์จะทำการประมวลผลออกมาเป็นสัญญาณไฟฟ้า และส่งต่อไปที่วาล์วเพื่อทำให้กระบอกสูบเคลื่อนที่ เมื่อกระบอกสูบเคลื่อนที่ เอ็นโค้ดเดอร์ที่ติดอยู่ที่ปลายจะหมุนแล้วส่งค่าเป็นสัญญาณพัลส์เข้าคอมพิวเตอร์ คอมพิวเตอร์จะประมวลผลเป็นความเร็วของกระบอกสูบและนำไปหาค่าความผิดพลาด โดยเทียบกับความเร็วที่ป้อนเข้าไป จากนั้นนำสัญญาณผิดพลาดไปปรับปรุงการทำงานของระบบ โดยผ่านการควบคุมแบบ PID-Control ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเปลี่ยนสัญญาณความเร็วที่ป้อนให้แก่ระบบเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเพื่อไปเปิดวาล์วตามที่ต้องการก่อน โดยการผ่านไปที่กราฟ Inverse Modulation จึงจะสามารถหาค่าความผิดพลาดออกมาได้ เพื่อนำไปสั่งวาล์วในรอบการทำงานต่อไป จนได้ความเร็วเอาท์พุทเท่ากับความเร็วอินพุทที่ต้องการ

จากรูปที่ 4.1 แสดง Block Diagram การทำงานของระบบไฮดรอลิก โดยเริ่มจากการป้อนค่าความเร็ว ความเร็วจะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าโดยการใช้กราฟ Inverse Modulation เพื่อนำมาควบคุมการเปิดปิดวาล์วและทำให้ระบบมีการเคลื่อนที่ตามต้องการ จากนั้นค่าความเร็วที่ได้จากเอ็นโค้ดเดอร์จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับความเร็วที่ป้อนเข้าไปในตอนแรก เพื่อหาค่าความผิดพลาดแล้วนำค่าความผิดพลาดนั้นไปผ่านการปรับค่า K_p , K_d และ K_i จนได้สัญญาณ U_{pid} เพื่อใช้ในการชดเชยความผิดพลาดของระบบไฮดรอลิก



รูปที่ 4.1 Block Diagram แสดงการทำงานของระบบไฮดรอลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ระบบไฮดรอลิกของชุดทดลองในโรงงานนี้

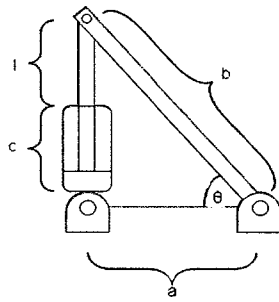
4.2 การทดลอง

4.2.1 การหาความเร็วเชิงเส้นของชุดทดลองไฮดรอลิกด้วยการควบคุมแบบเปิด

การควบคุมแบบเปิดเป็นการควบคุมกระบวนการโดยตรง โดยปราศจากการส่งค่ากลับมาทำกระบวนการนั้นซ้ำอีกครั้ง ซึ่งในการทดลองของชุดทดลองไฮดรอลิกสำหรับโรงงานนี้เป็นการป้อนแรงดันไฟฟ้า (Voltage) จากคอมพิวเตอร์ -10 ถึง $+10$ โวลต์ เพื่อไปควบคุมพรอพพอร์ชันนัลวาล์วที่ทำหน้าที่ควบคุมอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกผ่านทางโปรแกรม LABVIEW ซึ่งจะสังเกตเห็นว่าค่าของคัวแปร K_p , K_i และ K_d ไม่ต้องนำมาใช้กับการควบคุมแบบเปิด เพราะว่าการควบคุมแบบเปิดไม่มีการป้อนค่าคืนกลับ (Feedback) อัตราการไหลจะเป็นสัดส่วนกับสัญญาณควบคุมที่เป็นแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับพรอพพอร์ชันนัลวาล์วโดยตรง ความเร็วของกระบอกสูบจะเปลี่ยนแปลงไปตามอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกที่เข้ากระบอกสูบ โดยความเร็วของกระบอกสูบถูกวัดเป็นตำแหน่งเชิงมุมที่เปลี่ยนไปด้วยเอ็นโค้ดเดอร์ ค่าความเร็วของกระบอกสูบที่ได้จากการทดลองสามารถอ่านค่าได้ทั้งจากการอ่านกราฟที่ Front Panel ของโปรแกรม LABVIEW หรือจากการรับไฟล์ค่าความเร็ว ณ Sampling Time ต่างๆ ก็ได้

จากการพิจารณาที่กระบอกสูบตัวต่าง เมื่อได้ความเร็วเชิงมุมเฉลี่ยในแต่ละโวลต์แล้วสามารถคำนวณหาความเร็วเชิงเส้นของกระบอกสูบได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 Kinematics Diagram ของกระบอกลูกสูบไฮดรอลิกตัวล่าง

- เมื่อ a คือ ระยะทางระหว่างปลายกระบอกลูกสูบด้านหัวสูบถึงปลายด้านที่ติดกับฐานของ
แกนตักดิน
- b คือ ความยาวจากฐานของแกนตักดินไปยังจุดยึดลูกสูบทางด้านก้านสูบ
- l คือ ระยะชักของกระบอกลูกสูบ
- c คือ ความยาวของกระบอกลูกสูบ
- θ คือ มุมระหว่างลำตัวของแกนตักดินกับกระบอกลูกสูบที่วัดตามการเคลื่อนที่ของ
กระบอกลูกสูบ

จากรูปที่ 4.3 สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$(c+l)^2 = a^2 + b^2 - 2 \cdot a \cdot b \cdot \cos\theta \quad (4.1)$$

หาอนุพันธ์เทียบกับเวลาตลอดทั้งสมการ จะได้

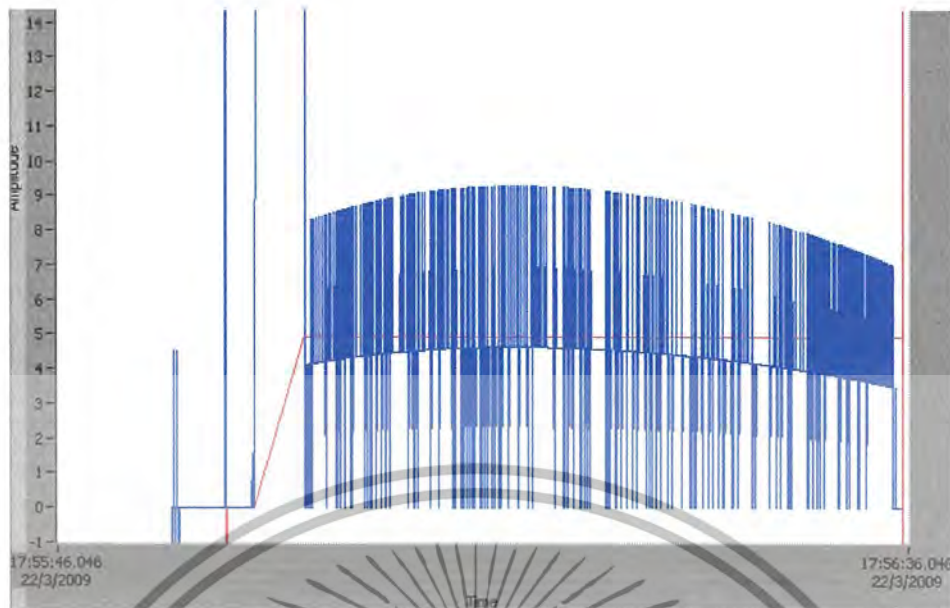
$$(c+l) \cdot dl/dt = a \cdot b \cdot \sin\theta \cdot d\theta/dt \quad (4.2)$$

แทนสมการ (4.1) ลงในสมการ (4.2) จะได้

$$dl/dt = (a \cdot b \cdot \sin\theta \cdot d\theta/dt) / (a^2 + b^2 - 2 \cdot a \cdot b \cdot \cos\theta)^{1/2} \quad (4.3)$$

โดยที่ dl/dt คือ ความเร็วของกระบอกลูกสูบไฮดรอลิกเชิงเส้น (mm/s)

และ $d\theta/dt$ คือ ความเร็วของกระบอกลูกสูบไฮดรอลิกเชิงมุม (rad/s)



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความเร็วของกระบอกสูบไฮดรอลิก
เมื่อเป็นการควบคุมแบบเปิด ที่แรงดันไฟฟ้า 1 โวลต์

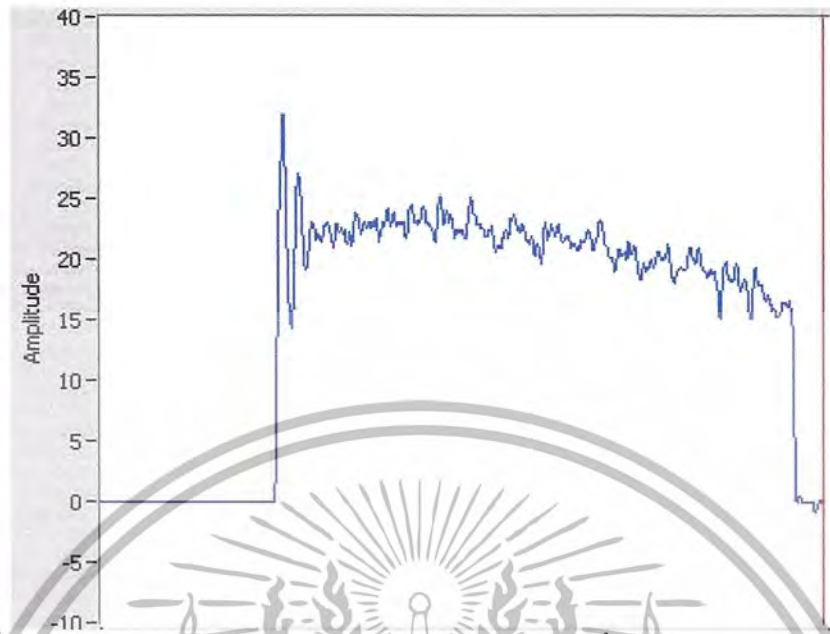
จะเห็นว่ากราฟที่ได้มีสัญญาณมารบกวนมาก ดังนั้นจึงต้องใช้ Digital Low Pass Filter เพื่อนำมากรองสัญญาณของความเร็ว เนื่องจากสัญญาณรบกวนมักจะมากับสัญญาณจากแรงดัน เมื่อคอมพิวเตอร์รับค่าเข้ามาจะทำให้สัญญาณที่แสดงออกมาไม่แน่นอนหรือหาช่วงคงที่ได้ยาก จากโครงการนี้ใช้ความถี่ Sampling Time = 100 Hertz ดังนั้นความถี่ในการกรองจะเท่ากับ 10 Hertz จากรูปด้านล่างเป็นสัญญาณที่ผ่านการกรองแล้ว โดยทฤษฎีที่ใช้ในการกรองสัญญาณคือทฤษฎี Anti-Aliasing ซึ่งค่าความถี่ที่ใช้ในการกรองนั้นต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับครึ่งหนึ่งของความถี่ของ Sampling Time



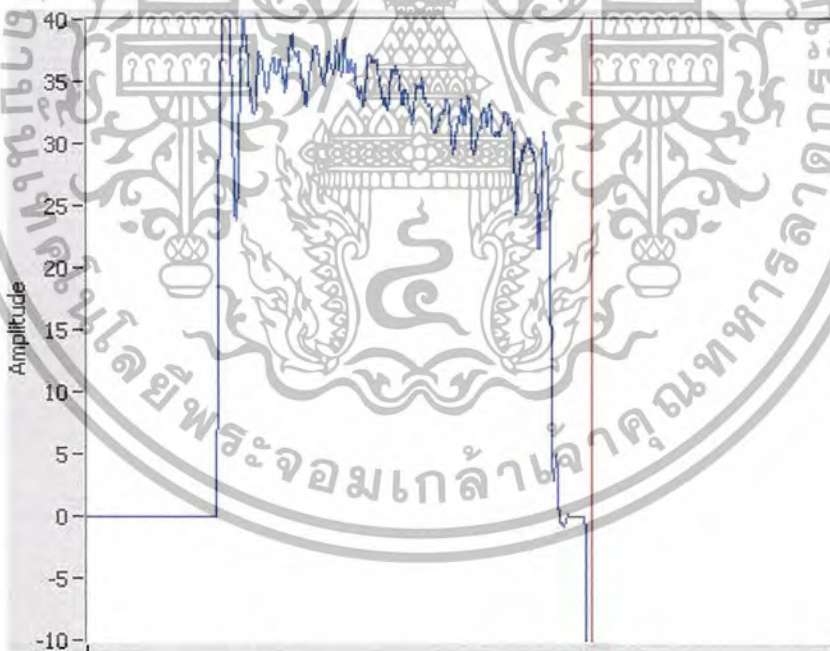
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความเร็วของกระบอกสูบไฮดรอลิก เมื่อเป็นการควบคุมแบบเปิด

ที่แรงดันไฟฟ้า 1 โวลต์ หลังจากผ่านการกรองแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

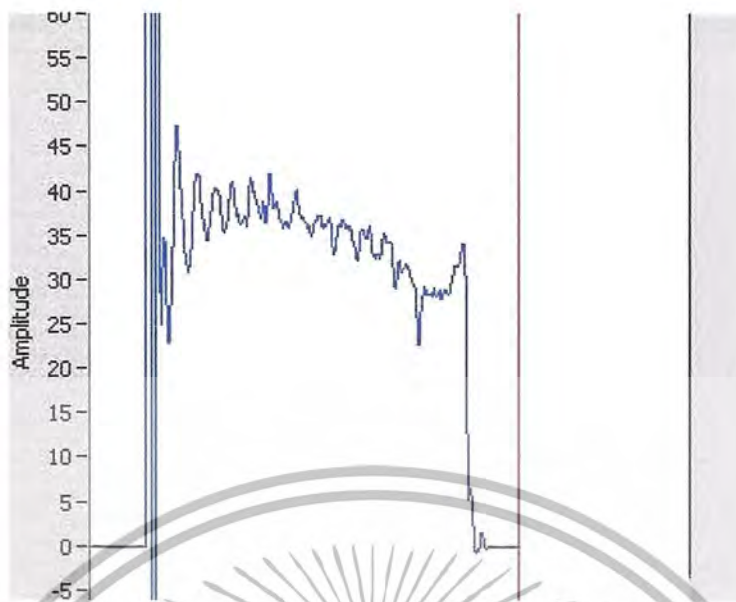


รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความเร็วของกระบอกสูบไฮดรอลิก เมื่อเป็นการควบคุมแบบเปิดที่แรงดันไฟฟ้า 2 โวลต์ หลังจากผ่านการกรองแล้ว

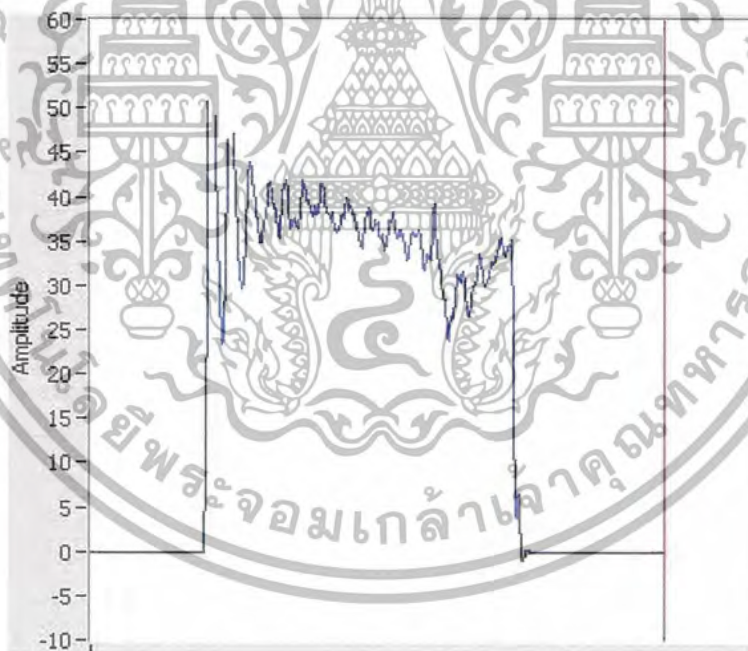


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความเร็วของกระบอกสูบไฮดรอลิก เมื่อเป็นการควบคุมแบบเปิดที่แรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์ หลังจากผ่านการกรองแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

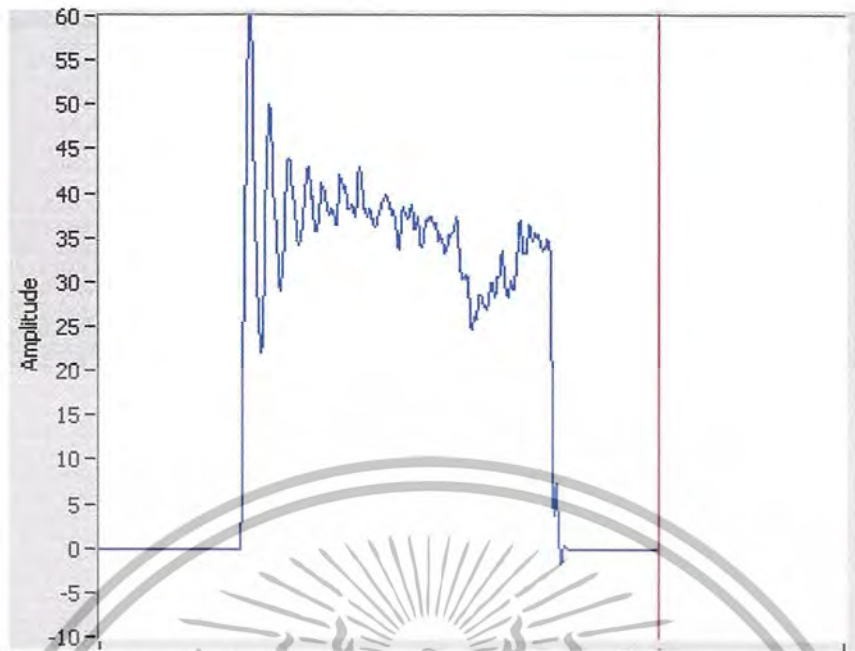


รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความเร็วของกระบอกสูบไฮดรอลิก เมื่อเป็นการควบคุมแบบเปิดที่แรงดันไฟฟ้า 4 โวลต์ หลังจากผ่านการกรองแล้ว

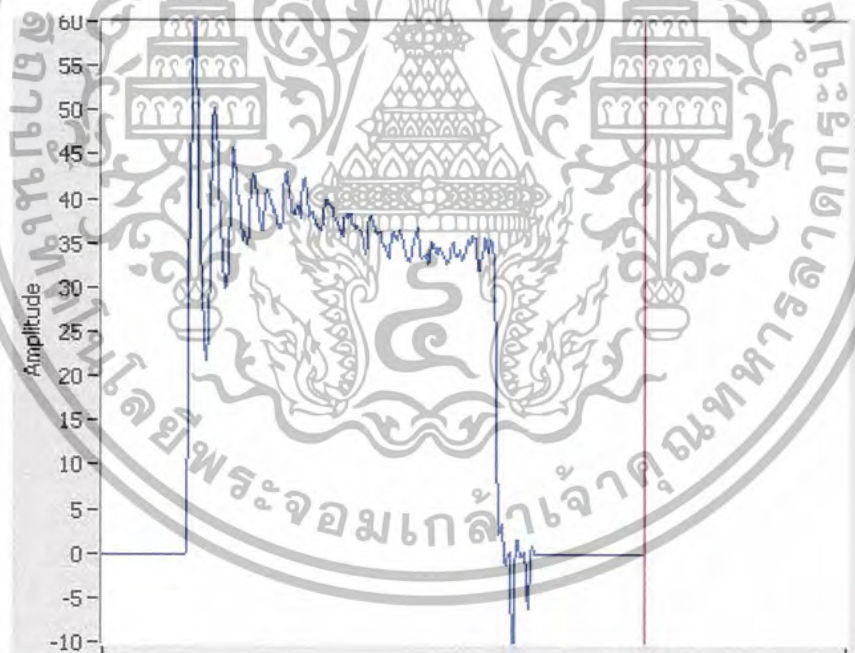


รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความเร็วของกระบอกสูบไฮดรอลิก เมื่อเป็นการควบคุมแบบเปิดที่แรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ หลังจากผ่านการกรองแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

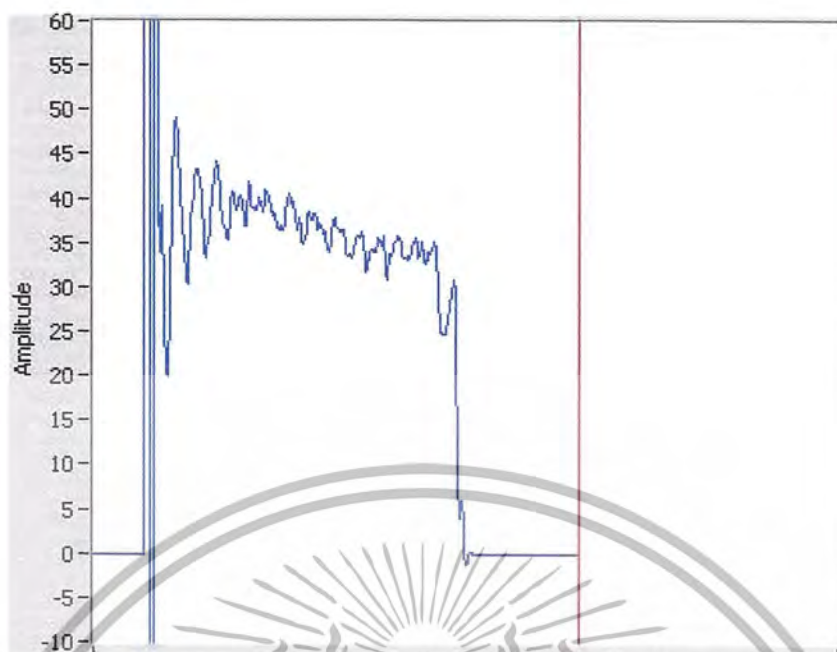


รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความเร็วของกระบอกสูบไฮดรอลิก เมื่อเป็นการควบคุมแบบเปิด
ที่แรงดันไฟฟ้า 6 โวลต์ หลังจากผ่านการกรองแล้ว

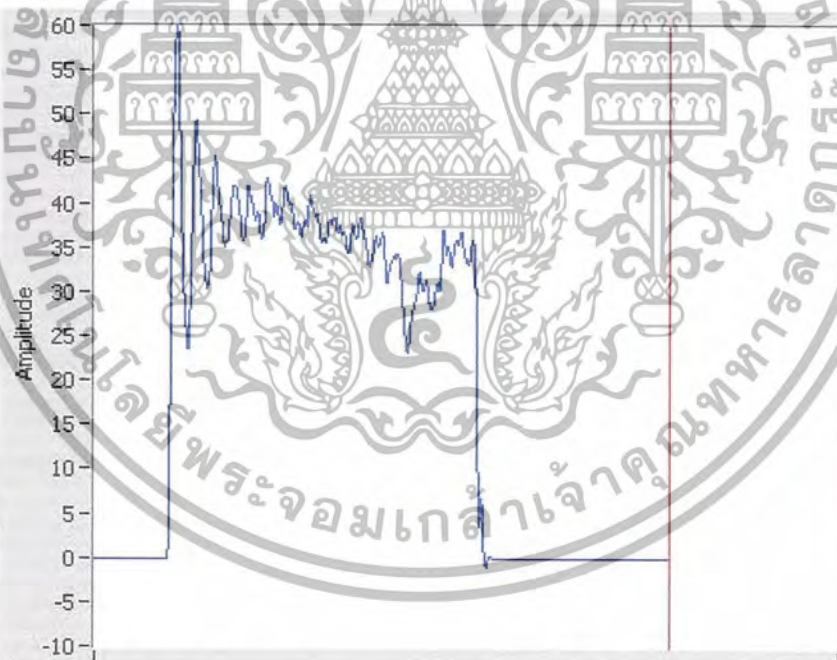


รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความเร็วของกระบอกสูบไฮดรอลิก เมื่อเป็นการควบคุมแบบเปิด
ที่แรงดันไฟฟ้า 7 โวลต์ หลังจากผ่านการกรองแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

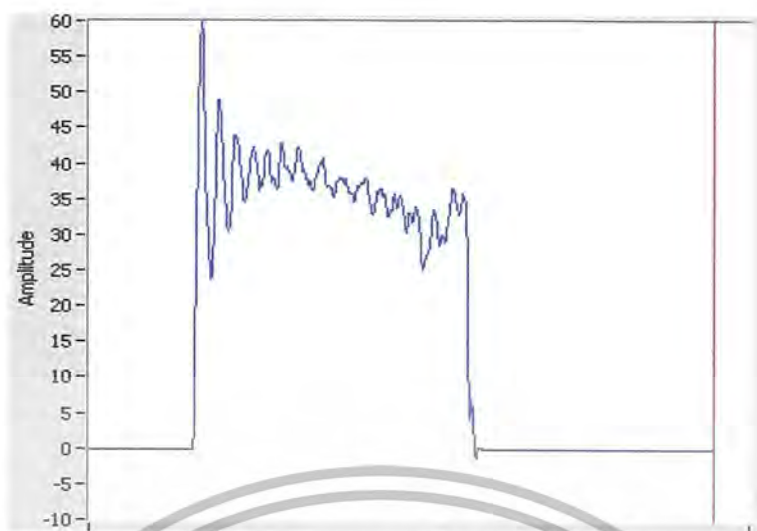


รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความเร็วของกระบอกสูบไฮดรอลิก เมื่อเป็นการควบคุมแบบเปิด
ที่แรงดันไฟฟ้า 8 โวลต์ หลังจากผ่านการกรองแล้ว



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความเร็วของกระบอกสูบไฮดรอลิก เมื่อเป็นควบคุมแบบเปิด
ที่แรงดันไฟฟ้า 9 โวลต์ หลังจากผ่านการกรองแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



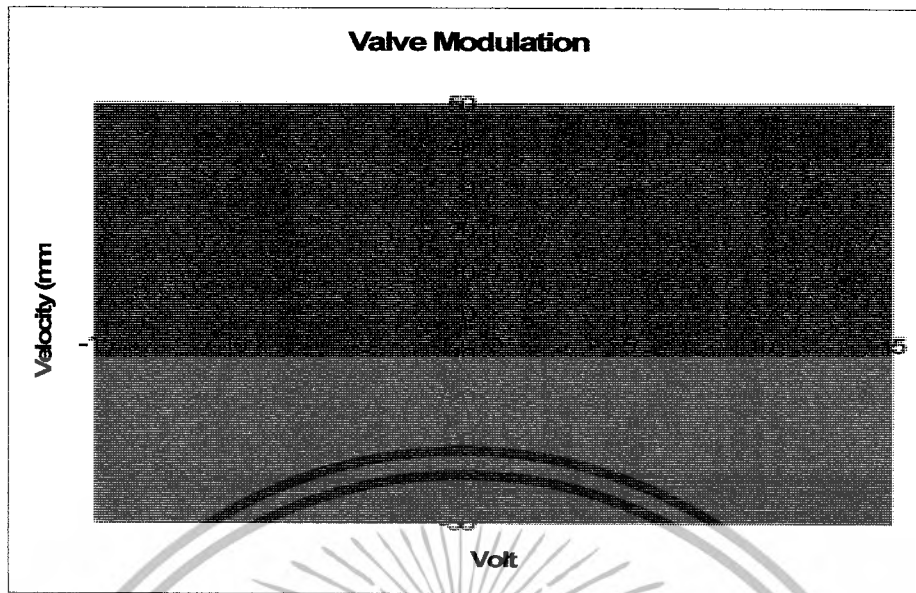
รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความเร็วของกระบอกสูบไฮดรอลิก เมื่อเป็นการควบคุมแบบเปิด
ที่แรงดันไฟฟ้า 10 โวลต์ หลังจากผ่านการกรองแล้ว

จากรูปที่ 4.5 ถึง รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความเร็วที่ได้จากการทดลองการควบคุมแบบเปิด สัญญาณที่ป้อนเข้าให้แก่วาล์วเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า +1 ถึง +10 โวลต์ เป็นการสั่งการให้ชุดทดลองไฮดรอลิกเคลื่อนที่ขึ้น เอ็น โค้ดเตอร์ที่ใช้ในการวัดความเร็วของชุดทดลองหมุนตามเข็มนาฬิกา ความเร็วเชิงมุมที่อ่านค่าได้ออกมาเป็นความเร็วเชิงมุมเป็นบวก จากนั้นจะถูกเปลี่ยนเป็นความเร็วเชิงเส้นผ่านสมการที่ 4.3

ตารางที่ 4.1 แสดงความเร็วเชิงเส้นของกระบอกสูบไฮดรอลิกเมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าค่าต่างๆ

volt	Velocity (mm/s)								Average(mm/s)
-10	-41.3325	-40.0080	-38.5146	-38.4438	-35.6455	-35.1266	-36.8854	-37.5355	-37.08765
-9	-40.7460	-39.5345	-38.2798	-38.8767	-36.9834	-35.8324	-35.3249	-34.3947	-37.06674
-8	-39.2345	-33.9877	-34.4503	-37.3912	-39.1876	-38.1241	-45.3298	-35.3242	-37.05375
-7	-33.4353	-35.3452	-37.3421	-39.4889	-41.2345	-35.3234	-43.4632	-38.3243	-37.04649
-6	-39.3242	-39.3426	-38.8657	-34.9749	-33.8154	-34.4342	-34.3532	-36.2342	-36.05273
-5	-38.3241	-35.4540	-34.3252	-28.8435	-29.8970	-30.9834	-33.7453	-32.1451	-35.55245
-4	-29.0496	-31.0945	-34.3525	-33.9672	-31.2353	-35.9764	-38.7232	-32.8742	-34.83604
-3	-27.2344	-31.0985	-30.2305	-37.9436	-27.5345	-30.4532	-33.9845	-33.5930	-33.48342
-2	-13.3402	-16.1322	-16.5189	-20.1092	-23.2579	-24.6532	-23.2378	-14.4768	-20.97201
-1	-6.23439	-6.42349	-8.45334	-7.23565	-7.40285	-7.09543	-6.3244	-7.34634	-7.43713
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	6.685039	7.401489	8.061801	8.27482	7.693229	6.95699	6.34875	7.947645	7.43713
2	13.99168	17.17866	16.17533	20.35615	23.71334	24.75052	23.6156	14.11734	20.97201
3	27.69998	32.45155	35.8122	39.24215	27.98983	30.59432	33.9845	33.05345	33.48342
4	29.59578	33.20804	34.69555	33.9818	31.6614	36.7583	38.7482	32.34235	34.83604
5	38.67055	36.66991	34.9418	29.89733	29.84231	31.09846	33.80013	32.44651	35.55245
6	39.48574	39.29056	38.89753	34.88674	34.89136	34.47563	34.27951	36.60525	36.05273
7	33.64039	35.80207	37.75986	39.46477	41.32504	35.48331	43.37678	38.89753	37.04649
8	39.67534	34.04307	34.59401	37.39882	39.18996	38.481	45.48624	35.66416	37.05375
9	40.79205	39.84705	38.85915	37.68425	36.52579	35.85192	35.16233	34.8231	37.06674
10	41.43229	40.36804	39.38146	38.4438	35.21605	35.12652	36.97282	37.56385	37.08765

จะเห็นว่าจากสมการที่ 4.3 สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงมุมและความเร็วเชิงเส้นของกระบอกสูบไฮดรอลิกได้ จากนั้นแทนค่าความเร็วเชิงมุมที่ได้จากการทดลองการควบคุมแบบเปิดของชุดทดลองไฮดรอลิกเพื่อหา Valve Modulation ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่พรอพเพอร์ชันนี้แล้วกับความเร็วกวของกระบอกสูบไฮดรอลิก เพื่อนำมาใช้ในการอ้างอิงกับการทดลองแบบปิดของชุดทดลองไฮดรอลิกต่อไป โดยจะเป็นตัวเปลี่ยนสัญญาณความเร็วที่ได้เป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเพื่อไปเปิดวาล์วตามที่ต้องการ เรียกว่า Inverse Modulation จึงจะสามารถหาค่าความผิดพลาดออกมาได้และนำไปสั่งวาล์วจนได้ความเร็วเอาท์พุทเท่ากับความเร็วอินพุทที่ต้องการ



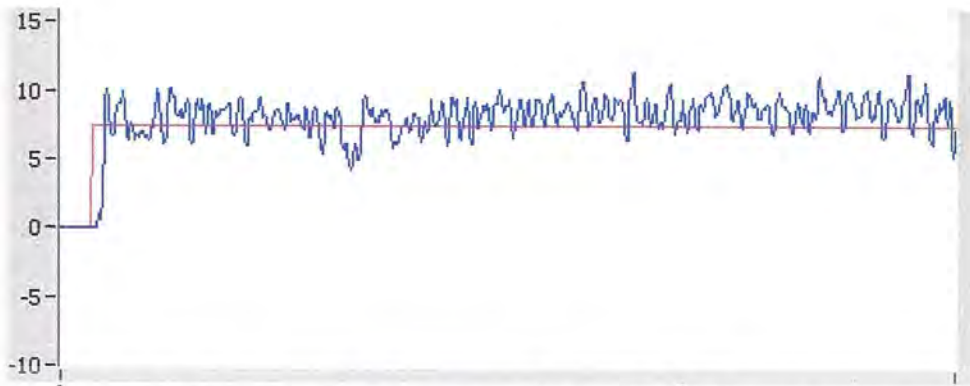
รูปที่ 4.15 กราฟ Valve Modulation

4.2.2 การควบคุมของชุดทดลองไฮดรอลิกแบบปิด

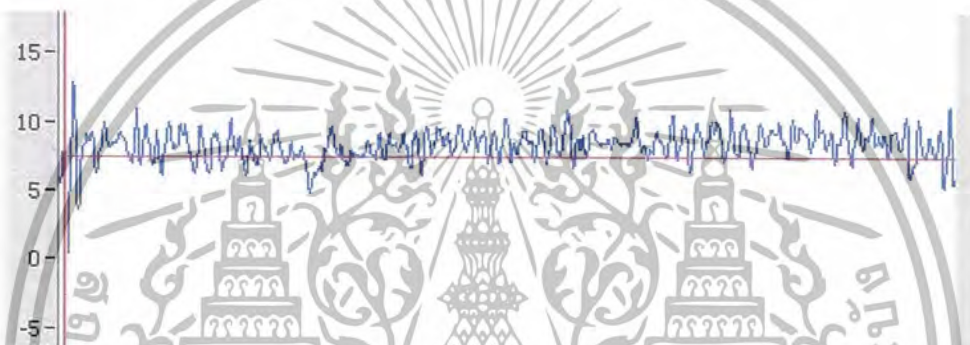
การควบคุมแบบปิดเป็นการวัดสัญญาณของเอาต์พุตและส่งค่ากลับมาเปรียบเทียบกับเอาต์พุตที่ต้องการ ซึ่งในการทดลองของชุดทดลองไฮดรอลิกสำหรับการควบคุมแบบปิดในโครงการนี้จะพยายามลดค่าความผิดพลาด (Error) ซึ่งได้มาจากการเปรียบเทียบระหว่างความเร็วที่ได้จากการปฏิบัติจริงและความเร็วที่ได้จากการคำนวณ โดยจะส่งค่าเอาต์พุตที่ปรับค่าแล้วให้สอดคล้องกับกระบวนการ ซึ่งวิธีการคำนวณของ PID นั้นเกี่ยวข้องกับตัวแปรสามตัวคือ K_p , K_i และ K_d จากความสัมพันธ์

$$U_{PID}(t) = K_p e + K_i \int_0^t e dt + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

ขณะที่ทำการทดลองจะค่อยๆ ไล่ค่า K_p ก่อน ไล่เพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ สังเกตการเปลี่ยนแปลงจากกราฟและการเคลื่อนที่ของชุดทดลองไฮดรอลิกว่ามีการสั่นหรือไม่ ปรับค่าจนได้ค่าที่ทำให้ความเร็วที่ออกมาเข้าใกล้กับความเร็วทางทฤษฎี จากนั้นจึงค่อยๆ ไล่ค่า K_i ทำเช่นเดียวกับการไล่ค่า K_p ในครั้งแรก แล้วจึงไล่ค่า K_d ต่อไป



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความเร็วของกระบอกลูกสูบไฮดรอลิก เมื่อเป็นการควบคุมแบบปิด โดยให้ค่า $K_p = 0.1$ ที่แอมพลิจูด 7 mm/s



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความเร็วของกระบอกลูกสูบไฮดรอลิก เมื่อเป็นการควบคุมแบบปิด โดยให้ค่า $K_p = 0.09$ และ $K_I = 5.8$ ที่แอมพลิจูด 7 mm/s



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความเร็วของกระบอกลูกสูบไฮดรอลิก เมื่อเป็นการควบคุมแบบปิด โดยให้ค่า $K_p = 0.09$ $K_I = 5.8$ และ $K_D = 0.00029$ ที่แอมพลิจูด 7 mm/s

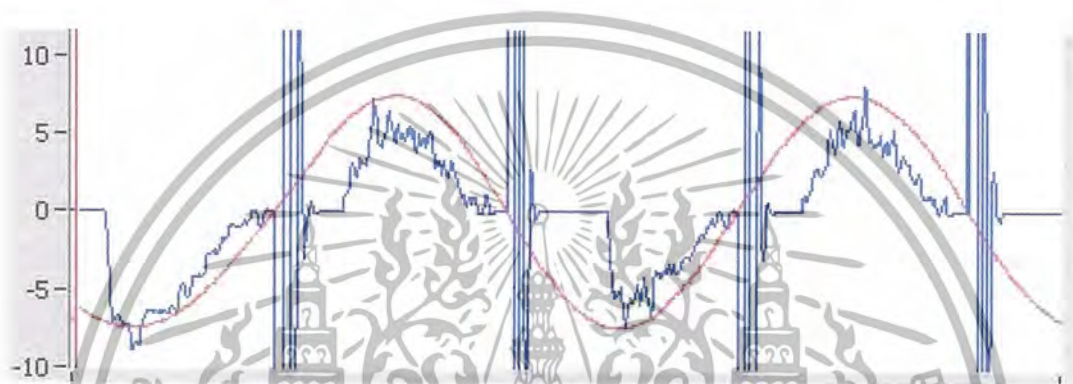
จากรูปที่ 4.16 ถึงรูปที่ 4.18 แสดงค่าความเร็วการเคลื่อนที่ของแกนคักดินในการควบคุมแบบปิด โดยการปรับจูนค่า K_p , K_I และ K_D ที่เหมาะสมเพื่อให้ค่าความเร็วเข้าใกล้ความเร็วที่กำหนดมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

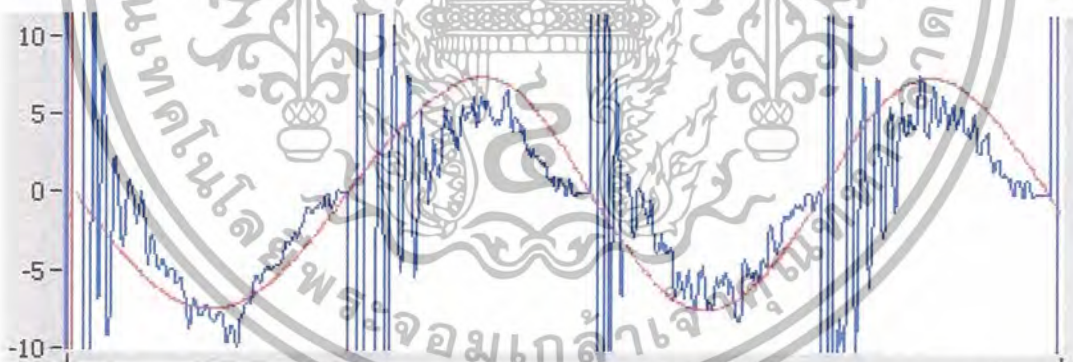
จากรูปข้างบนจะเห็นว่ากราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรง และมีสัญญาณรบกวน ทำให้การมองภาพรวมของการควบคุมทำได้ไม่ดีพอ ดังนั้นจึงพิจารณาการเคลื่อนที่ของระบบเป็นแบบ sine curve แทน

$$V = V_{max} \sin(\omega t) \quad (4.4)$$

โดยค่าที่ส่งกลับมานั้นจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ป้อนเข้าไปในขั้นตอนแรกเพื่อหาค่าผิดพลาดของระบบ จากนั้นจะทำการเปลี่ยนความเร็ว (V) และเปลี่ยนความถี่เชิงมุม (ω) แล้วสังเกตตัวแปรต่างๆ ที่เปลี่ยนแปลงไป



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความเร็วของระบบควบคุมไฮดรอลิก เมื่อเป็นการควบคุมแบบปิด ที่แอมพลิจูด 7 mm/s และพิจารณาการเคลื่อนที่ของระบบเป็นแบบ sine curve ความถี่ 0.02 Hz



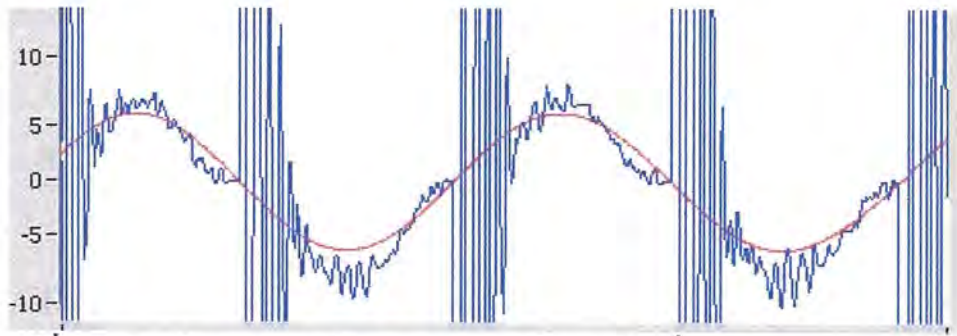
รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความเร็วของระบบควบคุมไฮดรอลิก เมื่อเป็นการควบคุมแบบปิด

โดยให้ค่า $K_p = 0.1$ ที่แอมพลิจูด 7 mm/s

และพิจารณาการเคลื่อนที่ของระบบเป็นแบบ sine curve ความถี่ 0.02 Hz

จากรูปที่ 4.20 พบว่าเมื่อมีการเพิ่ม K_p เขาไปให้แก่วระบบ กราฟแสดงความเร็วในการเคลื่อนที่ของแกนตักดินจะมีแนวโน้มคล้ายกับรูปสัญญาณคำสั่ง sine wave กับการควบคุมระบบแบบเปิด

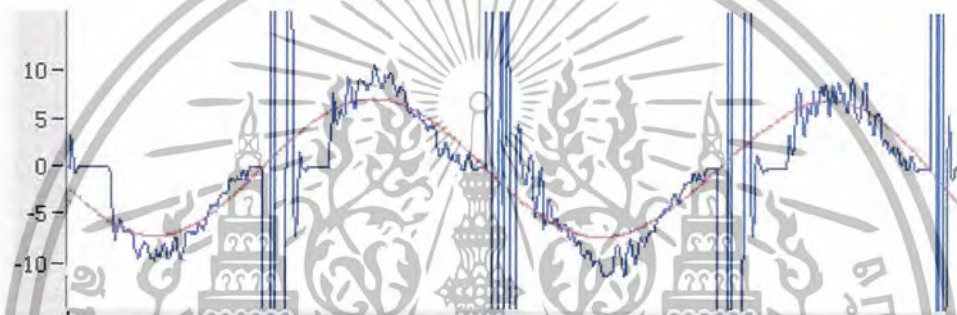
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความเร็วของระบบควบคุมแบบปิด

โดยให้ค่า $K_p = 0.09$ และ $K_i = 5.8$ ที่แอมพลิจูด 7 mm/s

และพิจารณาการเคลื่อนที่ของระบบเป็นแบบ sine curve ความถี่ 0.02 Hz

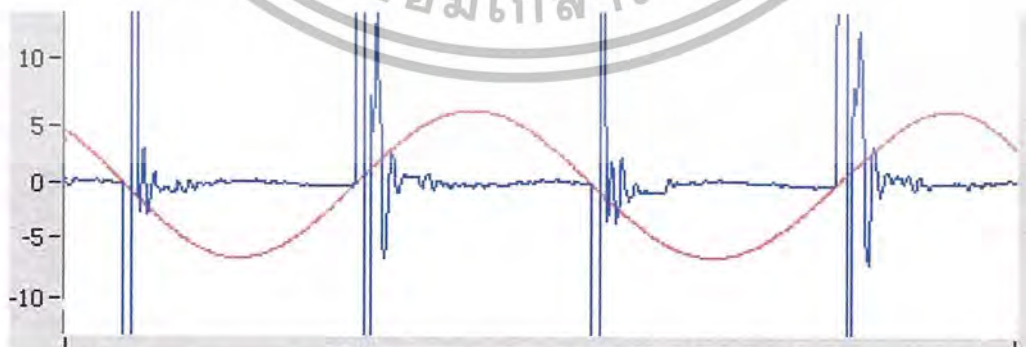


รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความเร็วของระบบควบคุมแบบปิด

โดยให้ค่า $K_p = 0.09$ $K_i = 5.8$ และ $K_d = 0.00029$ ที่แอมพลิจูด 7 mm/s

และพิจารณาการเคลื่อนที่ของระบบเป็นแบบ sine curve ความถี่ 0.02 Hz

จากรูปที่ 4.21 และ 4.22 การเพิ่มค่า K_i และ K_d รวมเป็นการควบคุมแบบ PID จะทำให้กราฟความเร็วในการเคลื่อนที่ของแกนตักมีลักษณะรูปร่างเข้าใกล้สัญญาณ sine wave ได้ดีกว่าการควบคุมโดยใช้ K_p เพียงอย่างเดียว



รูปที่ 4.23 กราฟแสดงสัญญาณ U_{pid} ของระบบควบคุมแบบปิด

โดยให้ค่า $K_p = 0.09$ $K_i = 5.8$ และ $K_d = 0.00029$ ที่แอมพลิจูด 7 mm/s

และพิจารณาการเคลื่อนที่ของระบบเป็นแบบ sine curve ความถี่ 0.02 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาด้านนี้ เมื่อผู้ดูแลเห็นแก่ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

5.1 วิเคราะห์ผลการทดลอง

5.1.1 การทดลองของการควบคุมแบบเปิด

การควบคุมแบบเปิด สัญญาณที่ป้อนเข้าให้แก่วาล์วเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า เป็นการสั่งการให้แชนต์เคลื่อนที่ โดยมิเอิน โค้ดเคอร์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดความเร็ว เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงมุมของการเคลื่อนที่ของชุดทดลองตลอดเวลา ภาระที่กระทำต่อระบบก็จะเปลี่ยนแปลงไปด้วย และประกอบกับมีสัญญาณรบกวน ดังนั้น กราฟความเร็วของแชนต์เคลื่อนที่จึงมีลักษณะความเร็วที่สั่นขึ้นลง

5.1.2 การทดลองของการควบคุมแบบปิด

การทดลองของการควบคุมแบบปิดจำเป็นต้องมีการ ใช้การควบคุมแบบ PID-Control ซึ่งจากการทดลองจะเป็นการหาค่า Gain ของระบบ เพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมในการควบคุมปิด การทดลองในขั้นตอนแรก โดยการเพิ่มค่า K_p ก่อน เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนพบว่ากราฟจะมีการตอบสนองดีขึ้น ดังรูปที่ 4.16 จนเมื่อเพิ่มเกินค่าที่เหมาะสมไปแล้ว กราฟของความเร็วจะไม่เสถียร ชีงงานจะคิดขึ้นหรือลดลงอย่างรุนแรง ทำให้ต้องลดค่า K_p ไปยังค่าที่เหมาะสมที่สุดก่อนหน้า เมื่อได้ค่า K_p ที่เหมาะสมแล้ว ทำการทดลองหาค่า K_i ที่เหมาะสม ดังรูปที่ 4.17 การควบคุมแบบ PI ส่งผลให้กราฟการเคลื่อนที่ของแชนต์เคลื่อนที่มีค่า Overshoot เพิ่มมากขึ้น แต่จำนวนค่าความผิดพลาดน้อยลง ถ้า K_i มีขนาดใหญ่เกินไปกราฟจะสั่นขึ้นลงส่งผลให้ชิ่งงานสั่นเช่นกัน เมื่อได้ค่า K_p และ K_i ที่เหมาะสมแล้ว ทำการทดลองหาค่า K_D ที่เหมาะสมต่อ โดยจะส่งผลให้กราฟมี Overshoot ลดลงแต่การตอบสนองช้าลง จากการทดลองพบว่าค่า K_D ที่เหมาะสม จะมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับ K_p และ K_i เมื่อได้ค่าที่เหมาะสมของ K_p , K_i และ K_D จากการควบคุมแบบ PID ดังรูปที่ 4.18 โดยการควบคุมแบบ PID จะมองเห็นการเปลี่ยนแปลงได้ชัดกว่าหากแสดงการเคลื่อนที่แบบ sine curve ดังรูปที่ 4.22 การควบคุมแบบ PID นี้จะขึ้นอยู่กับสัญญาณ U_{pid} ดังรูปที่ 4.23 ด้วย

5.2 สรุปผลการทดลอง

โครงการนี้เป็นการสร้างชุดทดลองระบบไฮดรอลิกของแขนตักดินที่มีการควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติผ่านพรอพเพอร์ชันนัลวาล์ว เพื่อเป็นสื่อการเรียนการสอนได้สำเร็จ ซึ่งชุดทดลองนี้มีการควบคุมสองรูปแบบคือ การควบคุมแบบเปิด (Open Loop Control) และ การควบคุมแบบปิด (Closed Loop Control) โดยควบคุมความเร็วในการเคลื่อนที่ของแขนตักดินให้เข้าใกล้กับค่าความเร็วที่สั่งการไว้ พบว่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของแขนตักดินมีการปรับเข้าใกล้ค่าความเร็วสั่งการ แต่เนื่องจากมีสัญญาณรบกวนมากทำให้ความเร็วของแขนตักดินไม่เรียบสม่ำเสมอตลอดการทดลอง



บรรณานุกรม

- [1] **Anthony Esposito.** Fluid Power with Applications. Prentice Hall of India, 6th Edition, New Delhi 2007.
- [2] **Bruce R. Munson, Donald F. Young and Theodore H. Okiishi.** Fundamentals of Fluid Mechanics. John Wiley & Sons, 3rd Edition, 2006.
- [3] **Jeffrey Travis and Jim Kring.** LabView for Everyone. Prentice Hall, 3rd Edition, 2006.
- [4] **Pinsopon U.** Velocity control of open center hydraulic system using neural network algorithm. The 13th National Mechanical Engineering Conference, 1999.
- [5] **Richard C. Dorf and Robert H. Bishop.** Modern Control System. Prentice Hall, 10th Edition, 2005.
- [6] **เจริญ เพชรมณี.** เรียนลัด LabView. ซีเอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพฯ, 2547.





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การออกแบบและสร้างชุดทดลองระบบพรอพอร์ชันนัลไฮดรอลิก¹

ชินพัฒน์ ชนวัฒน์², ภวิศร์ บ้านไร่², สรिता เล้าสุวรรณ², อุณหต พิณโสภณ³

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการออกแบบและสร้างระบบควบคุมความเร็วในการเคลื่อนที่ของแขนตักดิน โดยใช้ทฤษฎีการควบคุมแบบ PID ผ่านพรอพอร์ชันนัลวาล์ว ความเร็วเชิงมุมในการเคลื่อนที่ของแขนตักดินถูกวัดโดยเอ็นโค้ดเดอร์ และจะถูกเปลี่ยนเป็นความเร็วเชิงเส้นของกระบอกสูบ แล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่าความผิดพลาดระหว่างความเร็วที่สั่งการกับความเร็วที่ได้ โดยใช้การควบคุมแบบปิด ทำให้ค่าความเร็วเชิงเส้นของกระบอกสูบมีค่าใกล้เคียงกับความเร็วที่ผู้ใช้งานสั่งการผ่านโปรแกรม LABVIEW ซึ่งถูกใช้เป็นส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้งาน นอกจากนี้ยังเป็นสื่อการเรียนการสอนในวิชา Fluid Power Control และวิชา Automatic Control เพื่อให้เห็นภาพและเกิดความเข้าใจในการควบคุมระบบไฮดรอลิก หรืออาจนำไปใช้เป็นพื้นฐานในการศึกษาระบบไฮดรอลิกอื่นๆ ได้เช่นกัน

Abstract

project presents the design and fabrication of a velocity control hydraulic system. The hydraulic system is controlled by PID control scheme with the use of proportional valves. The angular velocities of the arms are sensed by encoders. They are then converted into linear velocities of the cylinders. The cylinder velocities are compared with the velocity commands in the control scheme. The experimental set up built in this project can be used as the education media in Fluid Power Control and Automatic Control courses.

© 2008 Department of Mechanical Engineering, KMITL. All rights reserved

Keywords: Proportional Valve; Open Loop Control; Closed Loop Control

1. บทนำ

ในปัจจุบันนี้สามารถกล่าวได้ว่าระบบไฮดรอลิกเปรียบเสมือนกล้ามเนื้อที่ใช้ในการขับเคลื่อนอุตสาหกรรมต่างๆ นั่นก็เป็นเพราะว่าระบบไฮดรอลิกถูกใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องจักรเกือบทั้งหมดในอุตสาหกรรมสมัยใหม่ เช่น ระบบเบรกและการบังคับล้อ การปล่อยกระสวยอวกาศ การขุดดิน อุตสาหกรรมการเกษตร อุตสาหกรรมเหมืองแร่และถ่านหิน อุตสาหกรรมอาหาร อุปกรณ์ขับเคลื่อนเครื่องจักรต่างๆ หรือแม้แต่การเจาะพื้นก็ยังใช้ระบบไฮดรอลิกเข้ามาช่วยด้วย ซึ่งในความเป็นจริงแล้วแทบจะเป็นไปไม่ได้เลยที่จะหาอุตสาหกรรมการผลิตใดที่ไม่ได้ใช้ระบบไฮดรอลิกเข้ามาช่วยในกระบวนการผลิต

นอกจากนี้ยังได้มีการพัฒนาระบบไฮดรอลิกอย่างต่อเนื่องในปัจจุบัน เพื่อให้ได้การทำงานที่ถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น โดยนำการควบคุมอัตโนมัติมาใช้กับระบบไฮดรอลิก ดังนั้นในโครงการนี้จึงได้ทำการศึกษาระบบอัตโนมัติของระบบไฮดรอลิกกับพรอพอร์ชันนัลวาล์ว (Proportional Valve) โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงของความเร็วเมื่อทำการปรับพรอพอร์ชันนัลวาล์ว และพยายามลดค่าความผิดพลาด (Error) โดยนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎี เพื่อพัฒนาระบบให้มีค่าเข้าใกล้กับค่าทางทฤษฎีมากที่สุดและแม่นยำที่สุด

¹ ชื่ออังกฤษ "Design and fabrication of proportional hydraulic experimental setup"

² นักศึกษาคณะวิศวกรรมเครื่องกล สจล. ห้อง 4G รหัส 48010392, 48010654 และ 48010943 ตามลำดับ

³ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สจล., โทร. 0 2326 4197, อีเมล kprunrat@kmitl.ac.th ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปดเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์

I	เอาต์พุตที่ออกจากตัวควบคุม	E	อินพุตที่ออกจากตัวควบคุม
\dot{c}_p	ค่าคงที่ที่เรียกว่า อัตราขยาย	$U_D(t)$	ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบ D-Control
\dot{c}_D	อัตราขยายของตัวควบคุมแบบ D-Control	$\frac{de(t)}{dt}$	ค่าความคลาดเคลื่อนที่เวลา
\dot{c}_I	ค่าคงที่ที่ของตัวควบคุมแบบ I-Control	$U_{PID}(t)$	ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบ PID
I/dt	ความเร็วของกระบวนการไฮดรอลิกเชิงเส้น	$d\theta/dt$	ความเร็วของกระบวนการไฮดรอลิกเชิงมุม
	ระยะทางระหว่างปลายกระบอกสูบด้านหัวสูบถึงปลายด้านที่ติดกับฐานของแขนตักดิน		
	ความยาวจากฐานของแขนตักดินไปยังจุดยึดลูกสูบทางด้านก้านสูบ		
	มุมระหว่างลำตัวของแขนตักดินกับกระบอกสูบที่วัดตามการเคลื่อนที่ของกระบอกสูบ		
	ระยะชักของกระบอกสูบ	c	ความยาวของกระบอกสูบ

ระบบควบคุมการทำงานของชุดทดลองไฮดรอลิก

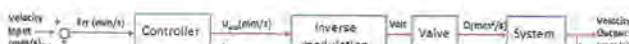
การควบคุมแบบปิด (Closed Loop Control)

ระบบควบคุมแบบ Closed Loop ถือได้ว่าเป็นระบบที่นิยมและใช้กันมากที่สุด เนื่องจากความสามารถในการควบคุมซึ่งสามารถปรับแต่งได้ การทำงานมีประสิทธิภาพและมีเสถียรภาพ สามารถใช้กับงานได้หลากหลาย

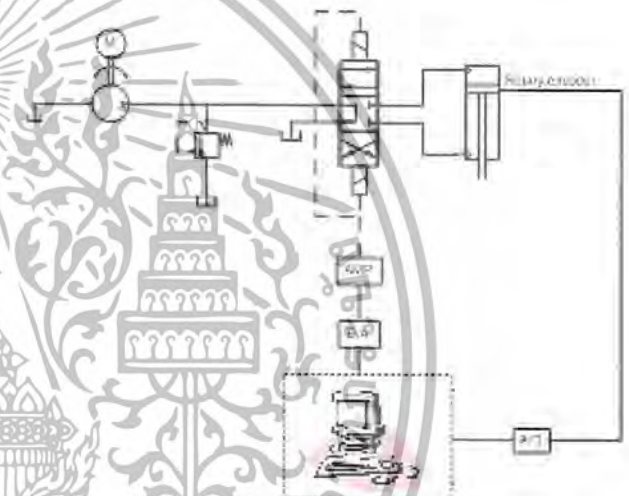


รูปที่ 1 Block Diagram ของการควบคุมแบบ Closed Loop โดยทั่วไป

สัญญาณอินพุต (Input) ที่ใช้ในระบบเป็นความเร็วอินพุตจากมอเตอร์ จากนั้นผ่านกราฟ Inverse Modulation จะทำการแปลงเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า -10 ถึง +10 โวลต์ เพื่อที่จะส่งสัญญาณไฟฟ้าที่แปลงแล้วเข้าไปรอฟฟเวอร์ชันนาลัวร์ ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิก อัตราการไหลนี้จะเป็นส่วนกับสัญญาณควบคุมที่ป้อนแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับรอฟฟเวอร์ชันนาลัวร์ ความเร็วของกระบอกสูบจะเปลี่ยนแปลงไปตามอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกที่เข้ากระบอกสูบ โดยความเร็วของกระบอกสูบจะถูกวัดเป็นตำแหน่งเชิงมุมที่เปลี่ยนไปด้วยเอ็นโค้ดเดอร์ ซึ่งเป็นตัวแปลงการเคลื่อนที่ของกระบอกสูบเข้ารหัสเป็นสัญญาณดิจิทัลให้กับคอนโทรลเลอร์ เพื่อนำความเร็วที่ได้ออกมา (Output) ไปคำนวณหาความผิดพลาด (Error) ทางตำแหน่งความเร็ว โดยเปรียบเทียบค่าจริงที่ได้กับค่าที่ต้องการ และนำค่าต่างนั้นไปผ่านกระบวนการทำให้มีความผิดพลาดน้อยลงจนมีค่าเป็นศูนย์



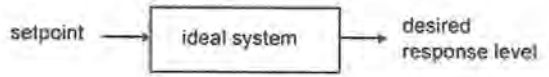
รูปที่ 2 Block Diagram การควบคุมแบบ Closed Loop ของชุดทดลองไฮดรอลิก



รูปที่ 3 ระบบไฮดรอลิกของชุดทดลองในโครงงานนี้

การควบคุมแบบเปิด (Open Loop Control)

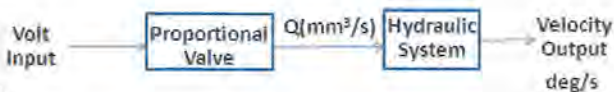
เป็นการควบคุมที่ไม่ต้องมีการป้อนกลับ การควบคุมในลักษณะนี้จะสามารถใช้ได้กับระบบที่เป็นอุดมคติหรือใกล้เคียงความเป็นอุดมคติ หากกล่าวง่าย ๆ ระบบอุดมคติคือระบบที่สามารถรับคำสั่งและสั่งให้ระบบอยู่ในสภาวะที่ต้องการได้โดยถูกต้อง รวมทั้งใช้เวลาในการขับระบบเข้าใกล้ศูนย์ สำหรับการควบคุมแบบ Open Loop มีความแตกต่างกับการควบคุมแบบ Closed Loop ตรงที่ไม่มีคอนโทรลเลอร์ไว้ควบคุมให้สัญญาณความเร็วเอาต์พุตที่ได้มีค่าเหมือนกับสัญญาณความเร็วอินพุตที่ใส่เข้าไป



รูปที่ 4 Block Diagram ของการควบคุมแบบ Open Loop โดยทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น จากการเปรียบเทียบจะเห็นว่า การควบคุมแบบ Closed Loop เป็นที่นิยมเนื่องจากมักจะได้ประสิทธิภาพและเสถียรภาพที่ดีกว่า แต่สำหรับระบบที่ไม่ต้องการความแม่นยำสูงหรือภาระของระบบไม่มาก

เกินไป นิยมใช้การควบคุมแบบ Open Loop เพราะควบคุมง่ายและราคาถูก



รูปที่ 5 Block Diagram การควบคุมแบบ Open Loop ของชุดทดลองไฮดรอลิก

3. ทฤษฎี PID Controller

Proportional-Integral-Derivative Controller (PID Controller) คือเครื่องมือที่เกี่ยวกับ Control Loop Feedback ที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในการควบคุมระบบต่างๆ ในโรงงานอุตสาหกรรม โดยการทำงานนั้นจะพยายามลดค่าความผิดพลาด (Error) ซึ่งได้มาจากการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการปฏิบัติจริงและค่าในอุดมคติที่ได้จากการคำนวณ โดยส่งค่าเอาต์พุตซึ่งปรับค่าแล้วให้สอดคล้องกับกระบวนการ วิธีการคำนวณของ PID นั้นเกี่ยวข้องกับตัวแปรสามตัวคือ Proportional Integral และ Derivative

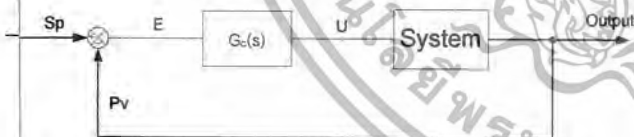
การควบคุมแบบ Proportional (P-Control)

การควบคุมแบบ Proportional เป็นการควบคุมแบบเป็นสัดส่วน กล่าวคือค่าเอาต์พุตที่ได้มาจะเป็นสัดส่วนกับค่าอินพุตที่รับมาจากระบบการ ถ้าค่าความคลาดเคลื่อนมีค่ามากขึ้น ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมก็จะมีค่ามากขึ้นตาม แต่ถ้าค่าความคลาดเคลื่อนน้อยลง ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมก็จะมีค่าน้อยลงตาม ตามความสัมพันธ์ดังนี้

Output ∝ input (1)

$U \propto E$ (2)

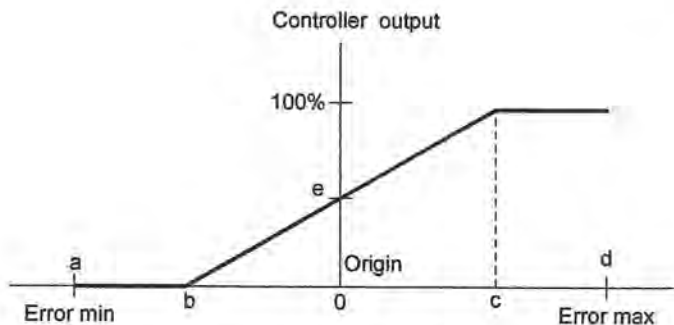
$U = K_p E$ (3)



รูปที่ 6 Block Diagram แสดงการทำงานของระบบทั่วไปที่มีตัวควบคุม

ในรูปที่ 6 อินพุตที่รับมาจะเป็นค่าความคลาดเคลื่อน (Error) ของกระบวนการ ส่วนค่าเอาต์พุตที่ส่งออกไปนั้นจะเป็นสัญญาณไปป้อนให้กับระบบทำงานต่อไป

จากกราฟความสัมพันธ์ในรูปที่ 7 แกนนอนเป็นค่าความคลาดเคลื่อน (Error) ส่วนแกนตั้งเป็นคำสั่งที่ออกจากตัวควบคุม จะพบว่าเมื่อค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ คำสั่งที่ออกจากตัวควบคุมก็จะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนตามกัน จะสังเกตได้ว่าแม้มีค่าความคลาดเคลื่อนเป็นศูนย์ คำสั่งที่ออกจากตัวควบคุมกลับไม่เป็นศูนย์ด้วย เนื่องจากโดยปกติตัวควบคุมจะต้องส่งเอาต์พุตออกมาสั่งการถึงไ้ค่าหนึ่งเสมอ



รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุต (Error) และเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบ P-Control

การควบคุมแบบ Integral (I-Control)

หลักการทํางานของตัวควบคุมแบบ Integral Control คือการให้เอาต์พุตเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลงไปเรื่อยๆ ถ้าค่าอินพุตยังไม่เป็นศูนย์ โดยค่าเอาต์พุตจะแปรผันตามค่าปฏิกิริยาพันธ์ของอินพุตตามสมการ

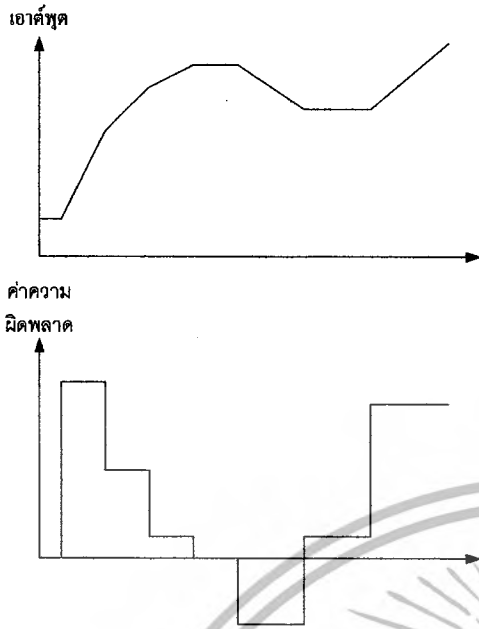
$$U(t) \propto \int_0^t e(t) dt \quad (4)$$

$$U(t) = K_I \int_0^t e(t) dt \quad (5)$$

Take Laplace ตลอดข้างสองข้าง จะได้

$$U(s) = \frac{K_I E(s)}{s} \quad (6)$$

จากสมการที่ 6 ในตัวควบคุมแบบ I-Control นั้น Gain ของตัวควบคุมจะเท่ากับ $\frac{K_I}{s}$ โดยที่ K_I เป็นค่าคงที่ ตัวควบคุมแบบ Integral จะทำงานปรับค่าเอาต์พุตเพิ่มขึ้นหรือลดลงเรื่อยๆ ถ้าค่าจากระบบการยังไม่เท่ากับค่าที่ตั้งไว้หรือค่า Error ยังไม่เท่ากับศูนย์ วิธีนี้ช่วยให้สามารถทำให้ค่าที่ออกจากกระบวนการมีค่าเท่ากับค่าที่ตั้งไว้พอดี เป็นการแก้ค่า Error ได้หมด เมื่อดูจากรูปที่ 8 แสดงการตอบสนองของระบบ จะเห็นว่าถ้าค่า Error ยังมีเปลี่ยนแปลงอยู่ ค่าเอาต์พุตก็จะเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามไปด้วยแต่โดยทั่วไปจะไม่ใช้วิธีควบคุมแบบ I-Control เพียงอย่างเดียวเนื่องจากระบบจะใช้เวลานานในการเข้าสู่สถานะคงตัว (Steady State) จึงต้องใช้วิธี P-control เข้ามาควบคุมร่วมด้วยเพื่อช่วยให้ระบบทำงานเร็วขึ้น



รูปที่ 8 แสดงกราฟตอบสนองตามเวลาเทียบกับระหว่าง เอาต์พุตของตัวควบคุม (รูปบน) และอินพุตของตัวควบคุม Error (รูปล่าง)

การควบคุมแบบ Derivative (D-Control)

การควบคุมแบบ D-Control เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า การควบคุมแบบอัตราส่วน (Rate Action) โดยสัญญาณเอาต์พุตของตัวควบคุมจะขึ้นกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความคลาดเคลื่อนต่อเวลา จะเห็นว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งเรียกการกระทำดังกล่าวว่า อัตราการกระทำ (Rate Action) ดังสมการต่อไปนี้

$$U_D(t) = K_D \frac{de(t)}{dt} \tag{7}$$

การควบคุมเชิงอนุพันธ์มีส่วนมากแล้วใช้ร่วมกับตัวควบคุมตัวอื่น เช่น ใช้ร่วมกับการควบคุมเชิงสัดส่วน ซึ่งจะเรียกว่าตัวควบคุมแบบสัดส่วนบวกกับอนุพันธ์ หรือ PD-Control ถ้าตัวควบคุมเชิงสัดส่วนใช้ร่วมกับอินทิกรัลจะเรียกว่า ตัวควบคุมแบบสัดส่วนบวกกับแบบอินทิกรัล หรือ PI-Control และถ้าใช้ตัวควบคุมแบบอนุพันธ์ร่วมกับตัวควบคุมแบบสัดส่วน และตัวควบคุมแบบอินทิกรัลจะเรียกตัวควบคุมแบบ PID-Control

ตัวควบคุมแบบอนุพันธ์นี้ช่วยปรับค่าความหน่วง (Damping) ในระบบที่ควบคุมให้มีค่ามากขึ้น นั่นคือทำให้ระบบมีเสถียรภาพมากขึ้น แต่โดยทั่วไปแล้วตัวควบคุมเชิงอนุพันธ์นี้จะไม่ทำให้ค่าความผิดพลาดในสถานะอยู่ตัว (Steady State Error) มีค่าเป็นศูนย์ได้ ในขณะที่เดียวกันจะเห็นว่าสัญญาณเอาต์พุตที่ออกจากตัวควบคุมเชิงอนุพันธ์นี้เป็นสัญญาณที่เกิดจากการหาอนุพันธ์ของสัญญาณผิดพลาด ดังนั้นถ้าสัญญาณผิดพลาดไม่มีสัญญาณรบกวนหลายๆ สัญญาณเอาต์พุตที่ออกมาจากตัวควบคุมเชิงอนุพันธ์นี้จะกระเพื่อม (fractuate) ค่อนข้างมาก ซึ่งจะทำให้ระบบควบคุมมีเสถียรภาพได้

(Proportional plus Integral control หรือ PI-Control)

การควบคุมแบบนี้อาจเรียกสั้นๆ ว่า การควบคุมแบบ PI ก็ได้จากการควบคุมเชิงสัดส่วนนั้นอาจจะทำให้การตอบสนองที่รวดเร็วได้ก็จริงแต่ไม่ว่าเวลาจะผ่านไปนานแค่ไหนก็ยังคงมีความคลาดเคลื่อนอยู่เสมอ (steady state error) หากระบบถูกรบกวนจากภายนอกหรือมีการเปลี่ยนแปลงภาระ ซึ่งปัญหาดังกล่าวนี้จะแก้ไขไม่ได้ถ้าหากใช้การควบคุมเชิงสัดส่วนบวกกับอินทิกรัล สมการของการควบคุมแบบนี้คือการรวมเอาสมการควบคุมเชิงสัดส่วนกับการควบคุมแบบอินทิกรัลเข้าด้วยกันนั่นเอง

(Proportional Integral Derivative, PID-Control)

PID-Control คือการรวมระหว่างการควบคุมแบบ P-Control I-Control และ D-Control ดังนั้นสมการของ $U_{PID}(t)$ สามารถทำได้ดังนี้

$$U_{PID}(t) = K_p e + K_I \int_0^t e dt + K_D \frac{de(t)}{dt} \tag{8}$$

การควบคุมแบบ PID สามารถแก้ offset ของ Proportional Control และลด Overshoot ที่จะทำให้เกิดการออสซิลเลชันเนื่องจาก Integral Control ซึ่งจะให้ผลตอบสนองที่รวดเร็วตามคุณสมบัติของ Derivative Control

4. การเลือกและการปรับแต่งอุปกรณ์ควบคุม (Selecting and Tuning Controller)

หลักเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจเลือกและปรับแต่งตัวแปรต่างๆ ของอุปกรณ์ควบคุมมีอยู่หลายวิธี โดยทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการควบคุมและออกแบบ ซึ่งแน่นอนว่าการใช้หลักเกณฑ์ในการเลือกและการตัดสินใจที่แตกต่างกันย่อมทำให้ระบบควบคุมได้ผลของการควบคุมที่แตกต่างกันออกไป การเลือกอุปกรณ์ควบคุมเพื่อลดความยุ่งยากในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์และเหมาะสมกับการออกแบบระบบควบคุมสามารถทำได้โดยพิจารณาการตอบสนองของกระบวนการจากผลของการควบคุมแบบ PID ดังรูปที่ 9

Effects of increasing parameters				
Parameter	Rise Time	Overshoot	Settling Time	S.S. Error
K_p	Decrease	Increase	Small Change	Decrease
K_I	Decrease	Increase	Increase	Eliminate
K_D	Small Change	Decrease	Decrease	None

รูปที่ 9 ผลของการควบคุมแบบ PID-Control

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและ 5. ผลการวิเคราะห์ นำของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ การควบคุมเชิงสัดส่วนร่วมกับอินทิกรัล

การหาความเร็วเชิงเส้นของชุดทดลองไฮดรอลิกด้วยการควบคุมแบบ Open Loop

การควบคุมแบบเปิดเป็นการควบคุมกระบวนการโดยตรงโดยปราศจากการส่งค่ากลับมาที่กระบวนการนั้นซ้ำอีกครั้ง ซึ่งในการทดลองของชุดทดลองไฮดรอลิกสำหรับโครงการนี้เป็นการป้อนแรงดันไฟฟ้า (Voltage) จากคอมพิวเตอร์ -10 ถึง +10 โวลต์ เพื่อไปควบคุมพรอพเพอร์ชันนัลวาล์วที่ทำหน้าที่ควบคุมอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกผ่านทางโปรแกรม LABVIEW ซึ่งจะสังเกตเห็นว่าค่าของตัวแปร K_p , K_i และ K_D ไม่ต้องนำมาใช้กับการควบคุมแบบเปิด เพราะว่าการควบคุมแบบเปิดไม่มีการป้อนค่าคืนกลับ (Feedback) อัตราการไหลจะเป็นสัดส่วนกับสัญญาณควบคุมที่เป็นแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับพรอพเพอร์ชันนัลวาล์วโดยตรง ความเร็วของกระบอกสูบจะเปลี่ยนแปลงไปตามอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกที่เข้ากระบอกสูบ โดยความเร็วของกระบอกสูบถูกวัดเป็นตำแหน่งเชิงมุมที่เปลี่ยนไปด้วยเอ็นโค้ดเดอร์ ค่าความเร็วของกระบอกสูบที่ได้จากการทดลองสามารถอ่านค่าได้ทั้งจากการอ่านกราฟที่ Front Panel ของโปรแกรม LABVIEW หรือจากการรับไฟล์ค่าความเร็ว ณ Sampling Time ต่างๆ ก็ได้



รูปที่ 10 กราฟแสดงความเร็วของกระบอกสูบไฮดรอลิก เมื่อเป็นการควบคุมแบบเปิดที่แอมพลิจูด 7 mm/s

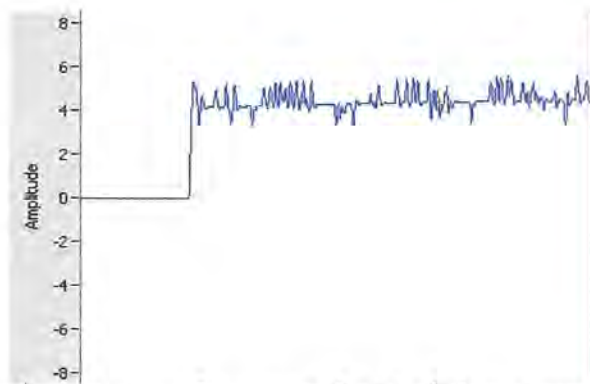
จะเห็นว่ากราฟที่ได้มีสัญญาณรบกวนมาก ดังนั้นจึงต้องใช้

Digital Low Pass Filter เพื่อนำมากรองสัญญาณของความเร็ว เนื่องจากสัญญาณรบกวนมักจะมากกับสัญญาณจากแรงดัน เมื่อคอมพิวเตอร์รับค่าเข้ามาจะทำให้สัญญาณที่แสดงออกมาไม่แน่นอนหรือหาช่วงคงที่ได้ยากจากโครงการนี้ใช้ความถี่ Sampling Time = 100 Hertz ดังนั้นความถี่ในการกรองจะเท่ากับ 10 Hertz จากรูปด้านล่างเป็นสัญญาณที่ผ่านการกรองแล้ว โดยทฤษฎีที่ใช้ในการกรองสัญญาณคือทฤษฎี Anti-Aliasing ซึ่งค่าความถี่ที่ใช้ในการกรองนั้นต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับครึ่งหนึ่งของความถี่

ของ Sampling Time

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

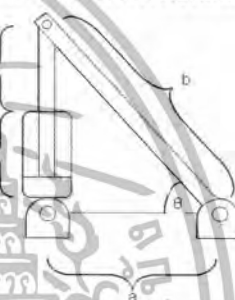
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 11 กราฟแสดงความเร็วของกระบอกสูบไฮดรอลิก เมื่อเป็นการควบคุมแบบเปิดที่แอมพลิจูด 7 mm/s หลังจากระบบการกรองแล้ว

การหา Valve Modulation

จากการพิจารณาที่กระบอกสูบตัวล่าง เมื่อได้ความเร็วเชิงมุมเฉลี่ยในแต่ละโวลต์แล้ว สามารถหาความเร็วเชิงเส้นของกระบอกสูบได้



รูปที่ 12 Kinematics Diagram ของกระบอกสูบ

จากรูปที่ 12 สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

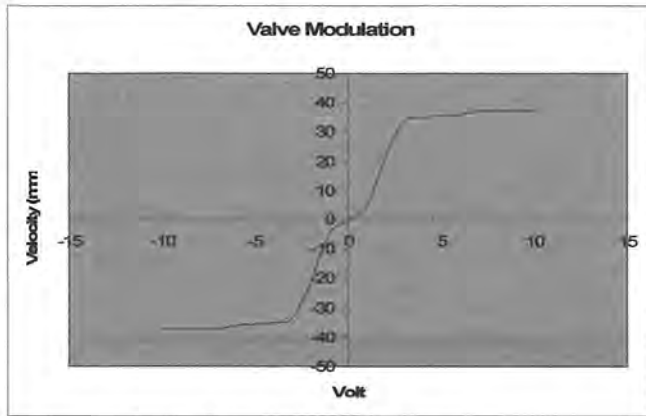
$$(c+l)^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \theta \quad (9)$$

หาอนุพันธ์เทียบกับเวลาตลอดทั้งสมการ

$$(c+l) dl/dt = ab \sin \theta d\theta/dt \quad (10)$$

$$\text{จะได้ } dl/dt = (ab \sin \theta d\theta/dt) / (a^2 + b^2 - 2ab \cos \theta)^{1/2} \quad (11)$$

จะเห็นว่าจากสมการที่ 11 สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงมุมและความเร็วเชิงเส้นของกระบอกสูบไฮดรอลิกได้ จากนั้นแทนค่าความเร็วเชิงมุมที่ได้จากการทดลองการควบคุมแบบเปิดของชุดทดลองไฮดรอลิกเพื่อหา Valve Modulation ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่พรอพเพอร์ชันนัลวาล์วกับความเร็วของกระบอกสูบไฮดรอลิก เพื่อนำมาใช้ในการอ้างอิงกับการทดลองแบบปิดของชุดทดลองไฮดรอลิกต่อไป โดยจะเป็นตัวเปลี่ยนสัญญาณความเร็วที่ได้เป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเพื่อไปเปิดวาล์วตามที่ต้องการ เรียกว่า Inverse Modulation จึงจะสามารถหาค่าความผิดพลาดออกมาได้และนำไปสังวาล์วจนได้ความเร็วเอาท์พุทเท่ากับความเร็วอินพุทที่ต้องการ



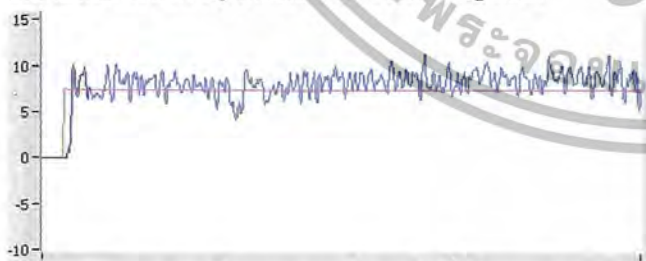
รูปที่ 13 กราฟของ Valve Modulation

การหาความเร็วเชิงเส้นของชุดทดลองไฮดรอลิกด้วยการควบคุมแบบ Closed Loop

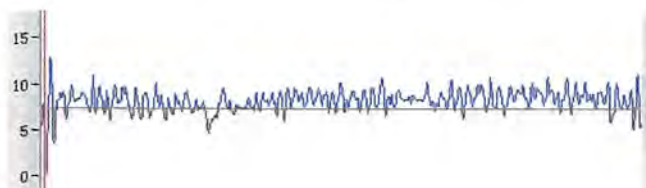
การควบคุมแบบ Closed Loop เป็นการวัดสัญญาณของเอาต์พุตและส่งค่ากลับมาเปรียบเทียบกับเอาต์พุตที่ต้องการ ซึ่งในการทดลองของชุดทดลองไฮดรอลิกสำหรับการควบคุมแบบ Closed Loop ไมโครงานนี้จะพยายามลดค่าความผิดพลาด (Error) ซึ่งได้มาจากการเปรียบเทียบระหว่างความเร็วที่ได้จากการปฏิบัติจริงและความเร็วที่ได้จากการคำนวณ โดยจะส่งค่าเอาต์พุตที่ปรับค่าแล้วให้สอดคล้องกับกระบวนการ ซึ่งวิธีการคำนวณของ PID นั้นเกี่ยวข้องกับตัวแปรสามตัวคือ K_p , K_i และ K_d จากความสัมพันธ์

$$U_{PID}(t) = K_p e + K_i \int_0^t e dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (12)$$

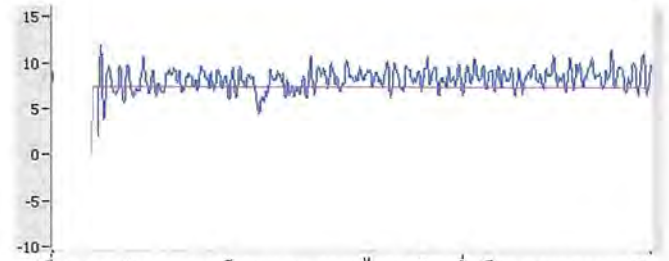
ขณะที่ทำการทดลองจะค่อยๆ ใส่ค่า K_p ก่อน ใส่เพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ สังเกตการเปลี่ยนแปลงจากกราฟและการเคลื่อนที่ของชุดทดลองไฮดรอลิกว่ามีการสั่นหรือไม่ ปรับค่าจนได้ค่าที่ทำให้ความเร็วที่ออกมาเข้าใกล้กับความเร็วทางทฤษฎี จากนั้นจึงค่อยๆ ใส่ค่า K_i ทำเช่นเดียวกับการใส่ค่า K_p ในครั้งแรก แล้วจึงใส่ค่า K_d ต่อไป



รูปที่ 14 กราฟแสดงความเร็วของกระบอกลูกไฮดรอลิก เมื่อเป็นการควบคุมแบบปิด โดยให้ค่า $K_p=0.1$ ที่แอมพลิจูด 7 mm/s



รูปที่ 15 กราฟแสดงความเร็วของกระบอกลูกไฮดรอลิก เมื่อเป็นการควบคุมแบบปิด โดยให้ค่า $K_p=0.09$ และ $K_i=5.8$ ที่แอมพลิจูด 7 mm/s

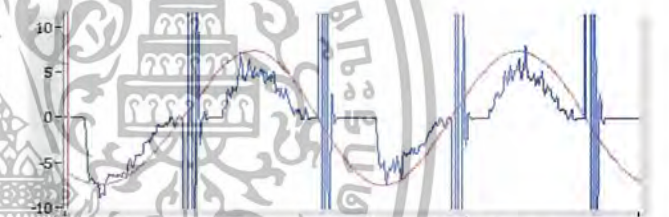


รูปที่ 16 กราฟแสดงความเร็วของกระบอกลูกไฮดรอลิก เมื่อเป็นการควบคุมแบบปิด โดยให้ค่า $K_p=0.09$ $K_i=5.8$ และ $K_d=0.00029$ ที่แอมพลิจูด 7 mm/s

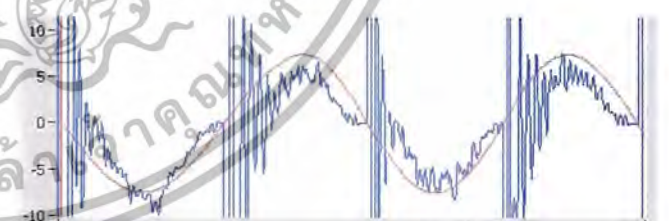
เนื่องจากการเคลื่อนที่แบบเส้นตรงนั้น จะหาระบบที่เสถียรที่สุดได้ยาก เพราะจากรูปข้างบนจะเห็นว่ากราฟยังมีสัญญาณรบกวนอยู่ จึงไม่อาจแยกได้จริงๆ ว่าเมื่อปรับค่า K_p , K_i และ K_d แล้ว ค่าที่ทำให้ระบบเสถียรที่สุดจริงๆ คือค่าใด ดังนั้นจึงพิจารณาการเคลื่อนที่ของระบบเป็นแบบ sine curve แทน

$$V = V_{max} \sin(\omega t) \quad (13)$$

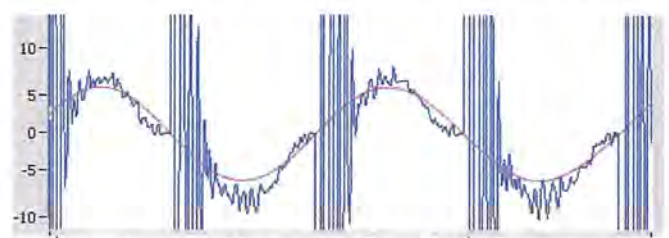
โดยค่าที่ส่งกลับมานั้นจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ป้อนเข้าไปในขั้นตอนแรกเพื่อหาค่าผิดพลาดของระบบ จากนั้นจึงทำการเปลี่ยนความเร็ว (V) และเปลี่ยนความถี่เชิงมุม (ω) แล้วสังเกตตัวแปรต่างๆ ที่เปลี่ยนแปลงไป



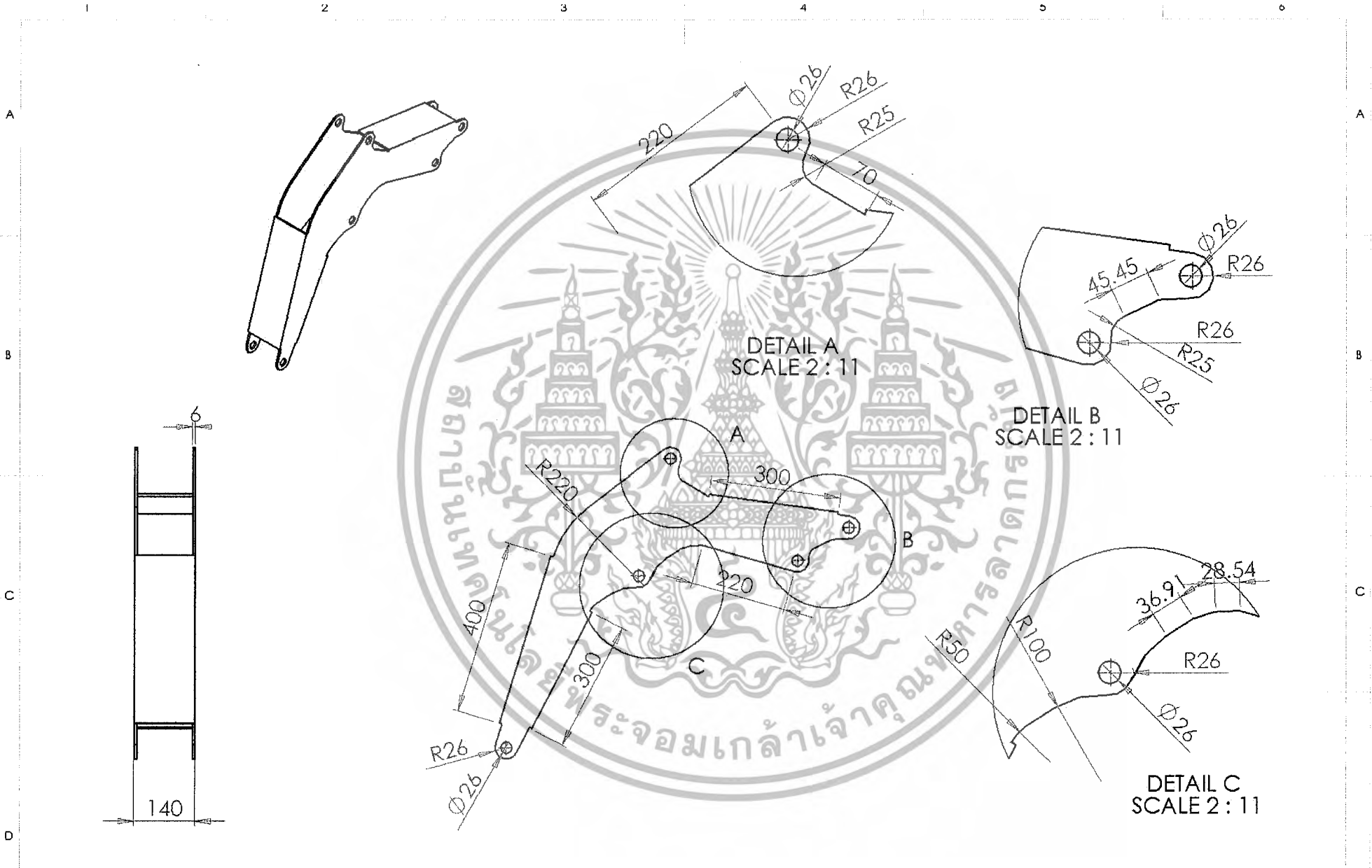
รูปที่ 17 กราฟแสดงความเร็วของกระบอกลูกไฮดรอลิก เมื่อเป็นการควบคุมแบบเปิด ที่แอมพลิจูด 7 mm/s และพิจารณาการเคลื่อนที่ของระบบเป็นแบบ sine curve ความถี่ 0.02 Hz



รูปที่ 18 กราฟแสดงความเร็วของกระบอกลูกไฮดรอลิก เมื่อเป็นการควบคุมแบบเปิด โดยให้ค่า $K_p=0.1$ ที่แอมพลิจูด 7 mm/s และพิจารณาการเคลื่อนที่ของระบบเป็นแบบ sine curve ความถี่ 0.02 Hz



รูปที่ 19 กราฟแสดงความเร็วของกระบอกลูกไฮดรอลิก เมื่อเป็นการควบคุมแบบเปิด โดยให้ค่า $K_p=0.09$ และ $K_i=5.8$ ที่แอมพลิจูด 7 mm/s และพิจารณาการเคลื่อนที่ของระบบเป็นแบบ sine curve ความถี่ 0.02 Hz



MATERIAL:
Carbon Steel AISI 1030

DWG NO. **ลำตัวของแขนตักดิน**

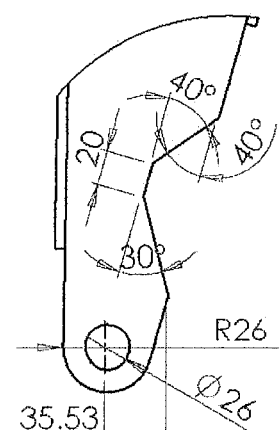
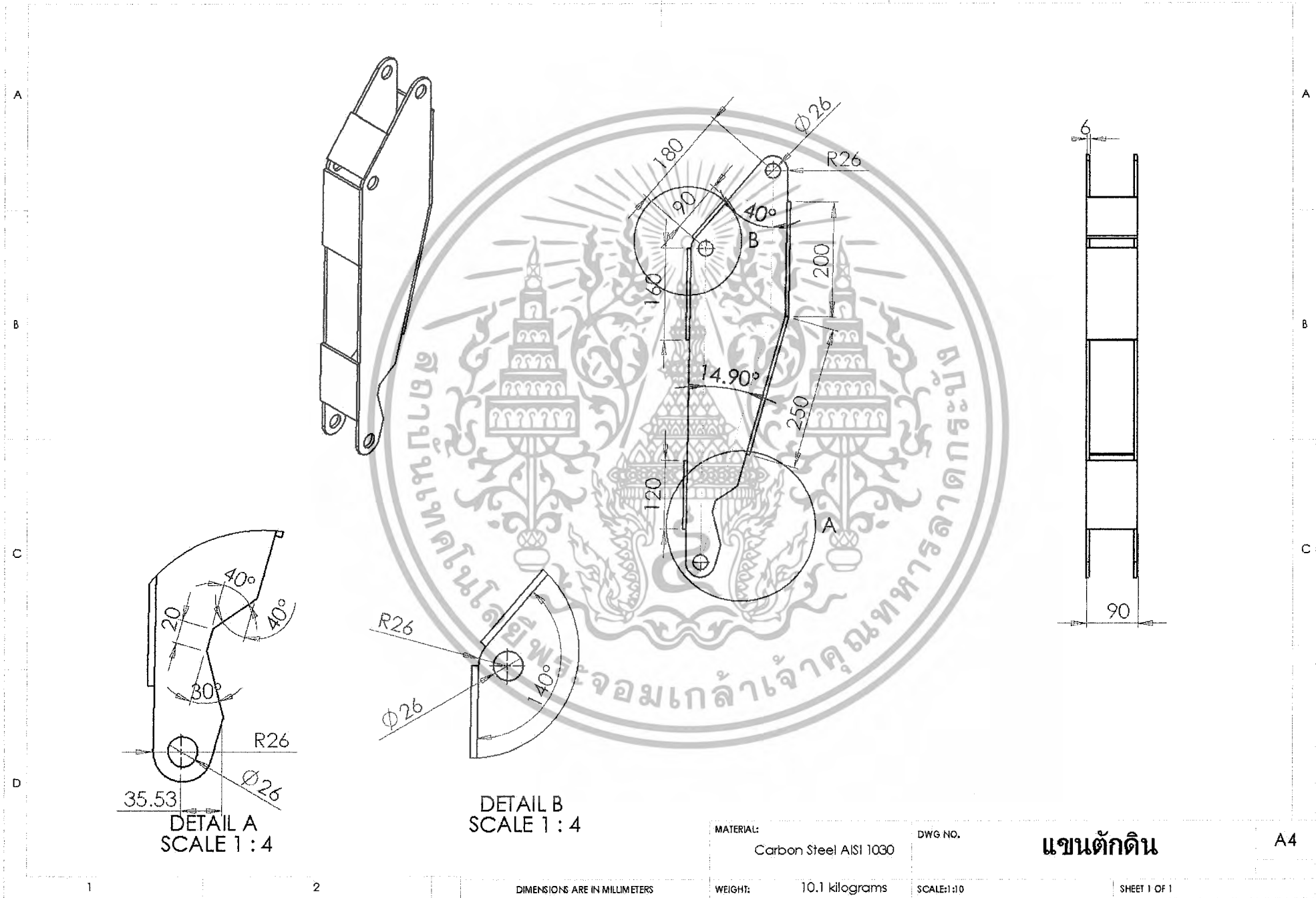
A4

WEIGHT: 19.5 kilograms

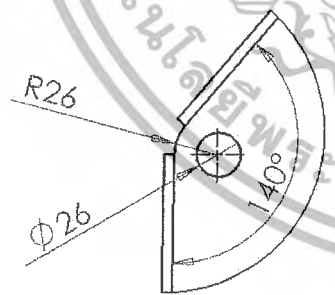
SCALE: 1:10

SHEET 1 OF 1

DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS



DETAIL A
SCALE 1 : 4



DETAIL B
SCALE 1 : 4

MATERIAL:
Carbon Steel AISI 1030

DWG NO.

แขนตักดิน

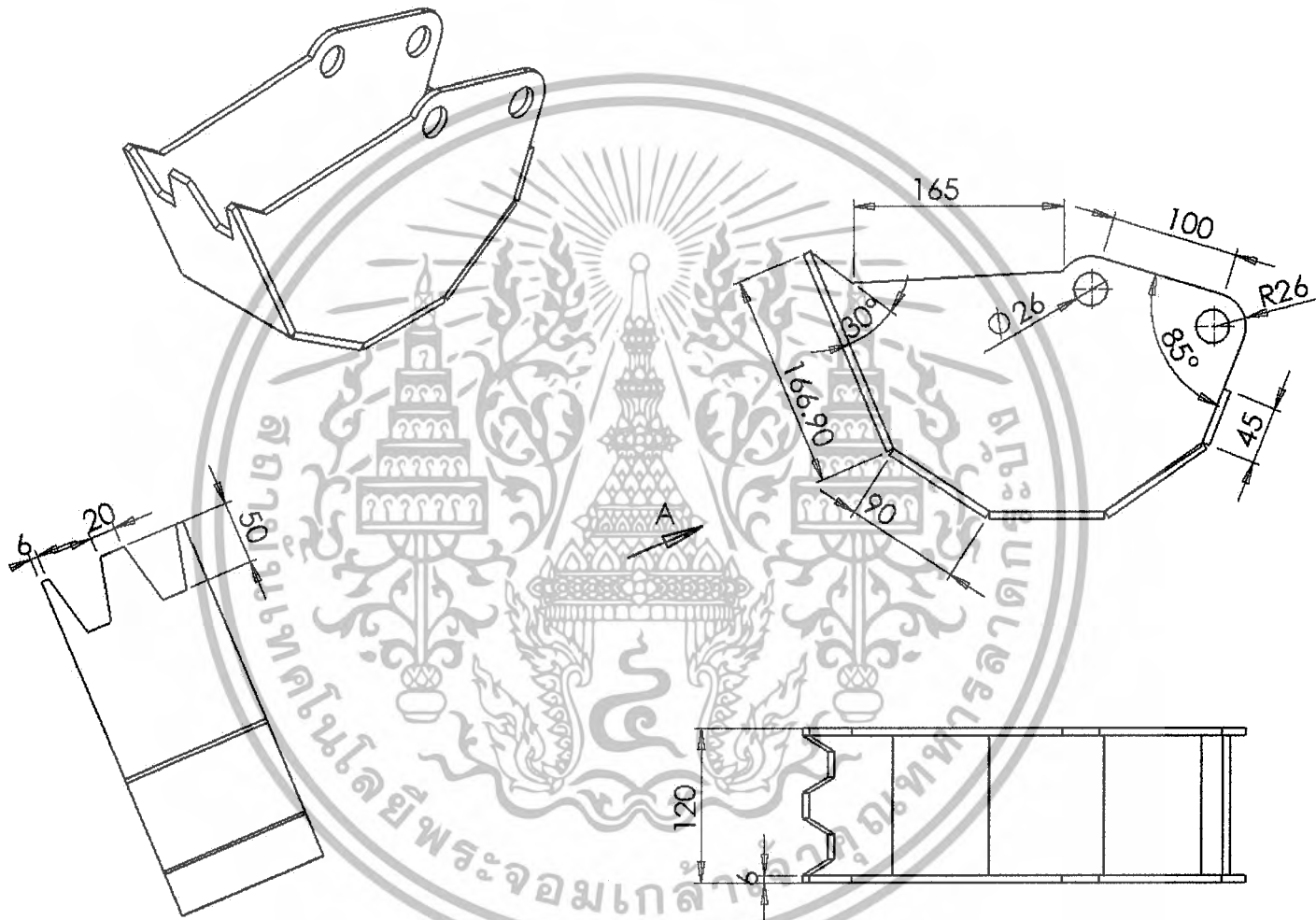
A4

DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS

WEIGHT: 10.1 kilograms

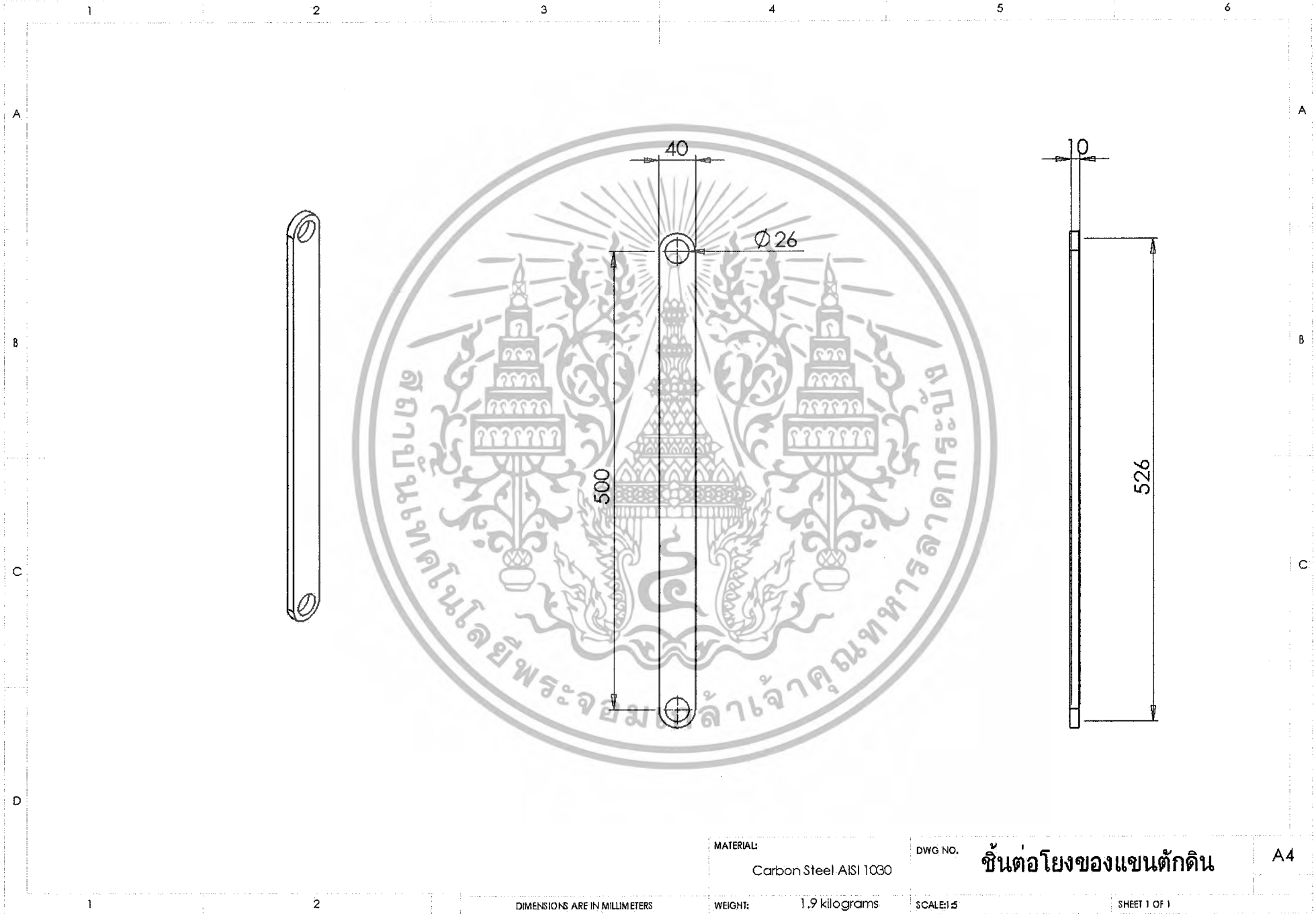
SCALE:1:10

SHEET 1 OF 1



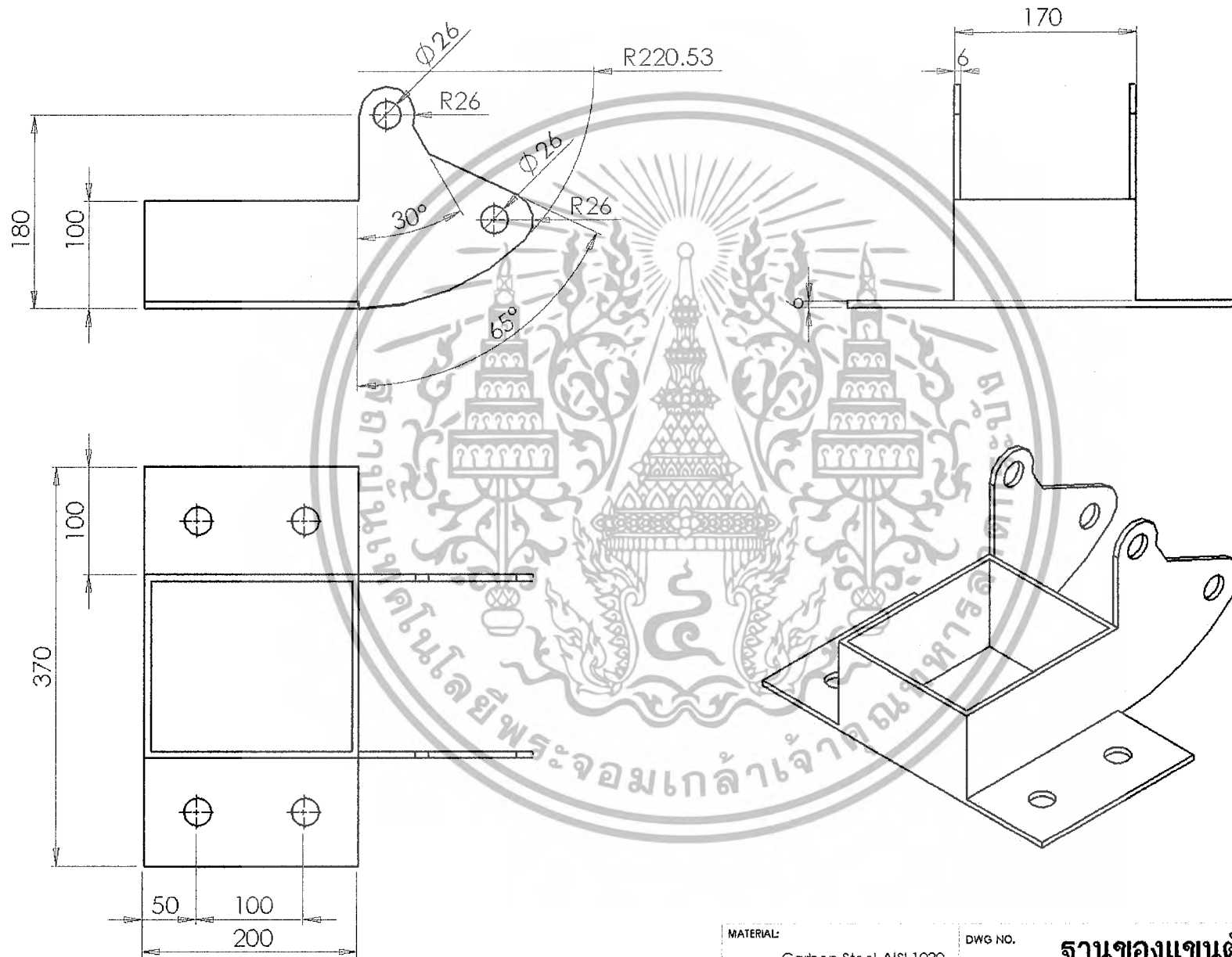
VIEW A

MATERIAL:	DWG NO.	ที่ตัดดิน	A4
Carbon Steel AISI 1030			
WEIGHT:	SCALE: 5	SHEET 1 OF 1	
7.1 kilograms			



MATERIAL:	Carbon Steel AISI 1030	DWG NO.	ชั้นต่อโยงของแขนตักดิน	A4
WEIGHT:	1.9 kilograms	SCALE:	1:5	SHEET 1 OF 1

DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS

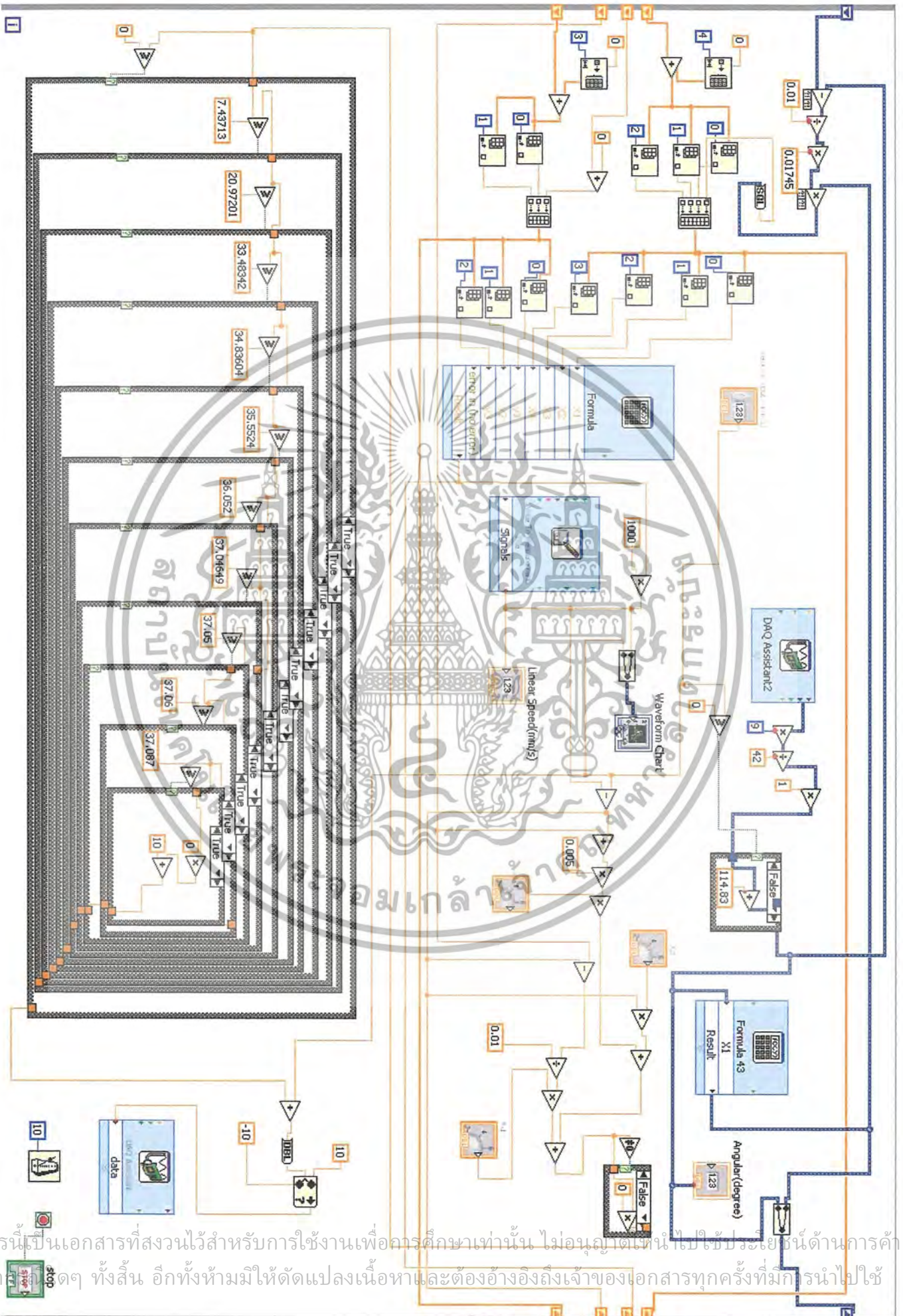


MATERIAL:
Carbon Steel AISI 1030

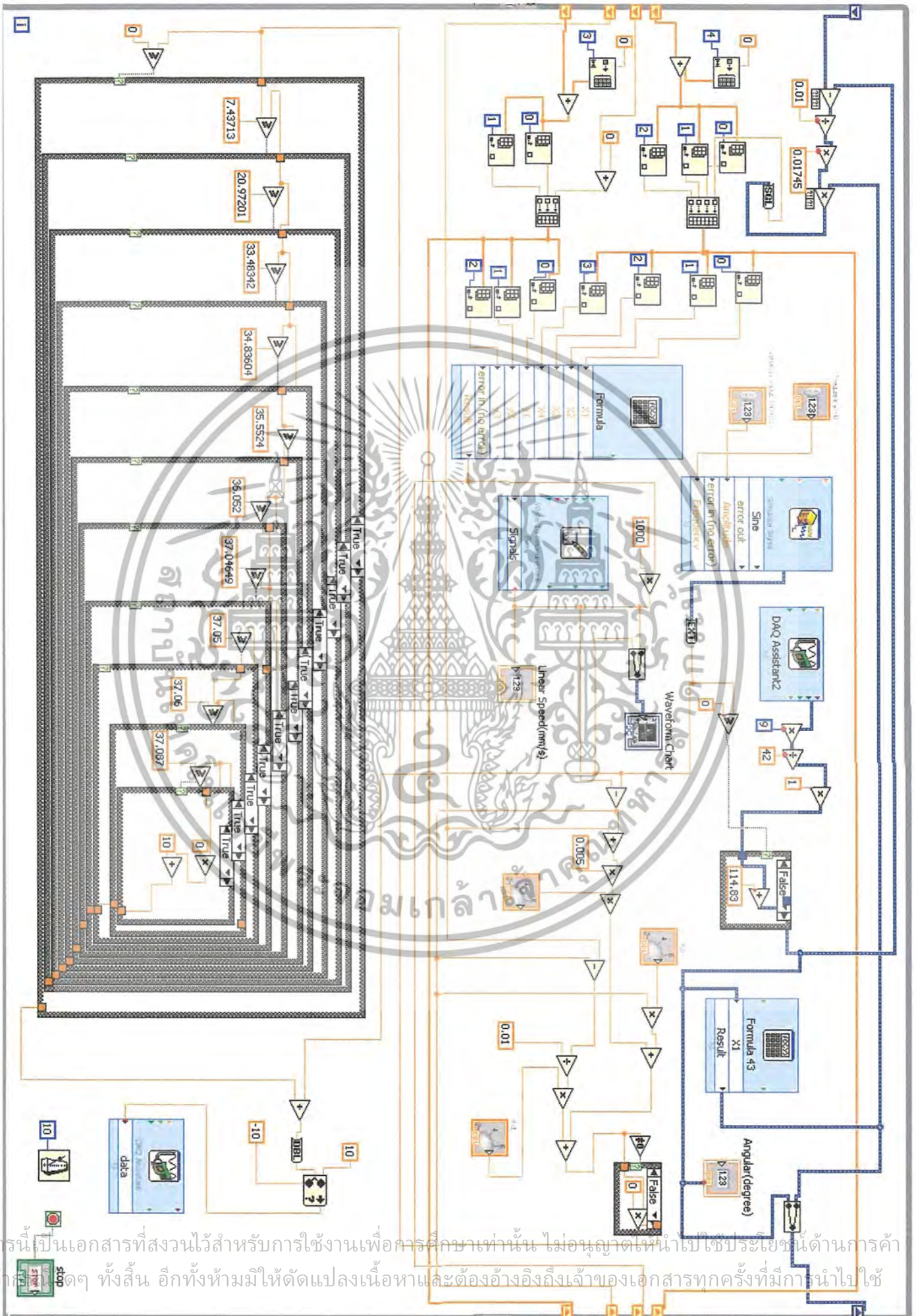
DWG NO.

ฐานของแขนตัดดิน

A4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตด้านการค้า
 ไม่ว่าในกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะในรูปแบบใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้