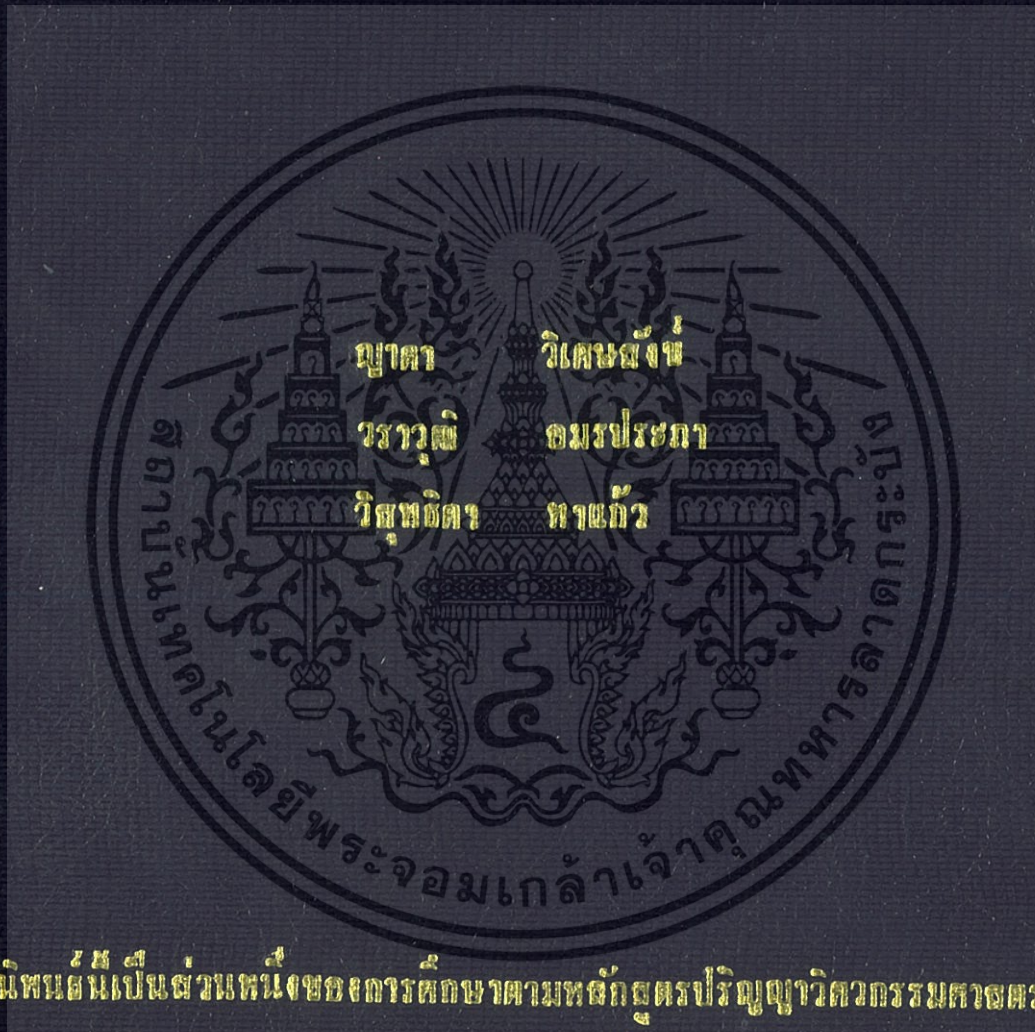


การออกแบบชุดทดลองไฮดรอลิก
DESIGN OF HYDRAULIC TESTING SYSTEM



ปฏิญานี้พนธ์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

การออกแบบชุดทดลองไฮดรอลิก

DESIGN OF HYDRAULIC TESTING SYSTEM



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN OF HYDRAULIC TESTING SYSTEM



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2557

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบชุดทดลองไฮดรอลิก

DESIGN OF HYDRAULIC TESTING SYSTEM

ผู้จัดทำ

1. นางสาวญาดา วิเศษสังข์ รหัสประจำตัว 54010349
2. นายวรารุฒิ อมรประภา รหัสประจำตัว 54011146
3. นางสาววิสุทธิดา ทาแก้ว รหัสประจำตัว 54011215



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร. อุन्नัต พิณโสภณ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบชุดทดลองไฮดรอลิก

นางสาวณูดา	วิเศษสังข์	54010349
นายวรารุณี	อมรประภา	54011146
นางสาววิสุทธิดา	ทาแก้ว	54011215
ผศ.ดร. อุन्नัต พิณโสภณ	อาจารย์ที่ปรึกษา	
ปีการศึกษา 2557		

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการทำอุตสาหกรรมในประเทศไทยมีการเจริญเติบโตที่รวดเร็วและระบบไฮดรอลิกก็เป็นส่วนสำคัญของอุตสาหกรรม การเข้าใจวิธีการทำงานและการควบคุมระบบจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ผู้ทำงานด้านอุตสาหกรรมควรรู้พื้นฐานในการทำงาน การทำชุดทดลองระบบไฮดรอลิกมีขึ้นเพื่อศึกษาการเคลื่อนที่ของกระบอกสูบในวงจรการต่อระบบไฮดรอลิกแบบต่างๆ เช่น การต่อไฮดรอลิกแบบวงจรรวมอนุกรม เปรียบเทียบผลของการใช้ข้อต่อสามทาง และ Flow divider จำนวนประสิทธิภาพของระบบ รวมถึงการคำนวณกำลังและอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิก การสร้างชุดทดลองเริ่มต้นจากการเขียนคำสั่งการควบคุมด้วยโปรแกรม LabVIEW คำสั่งควบคุมจะถูกส่งไปยัง DAQ Card โดยจะแปลงจากสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก เพื่อไปควบคุมอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกผ่านวาล์ว โดยวาล์วใช้ควบคุมทิศทางการไหลของน้ำมันเข้ากระบอกสูบ โดยใช้เซ็นเซอร์วัดระยะทางเป็นตัววัดระยะยึดหดของกระบอกสูบ ส่วนการหาประสิทธิภาพของระบบทำได้โดยคำนวณจากมวลที่ติดกับกระบอกสูบ ความเร็วของกระบอกสูบ เซ็นเซอร์วัดความดัน ที่ตำแหน่งปั๊ม หัวและท้ายของกระบอกสูบ เซ็นเซอร์วัดอัตราการไหล วิเคราะห์ผลเปรียบเทียบค่าคำนวณทางทฤษฎี และหาประสิทธิภาพของระบบการทดลองประกอบด้วย 4 การทดลอง คือ 1.การทดลองกำลังและประสิทธิภาพของระบบไฮดรอลิก พบว่า ในช่วงหดกลับของกระบอกสูบ ประสิทธิภาพของระบบมีค่าเท่ากับร้อยละ 10.522 โดยใช้มวล 64.5 กิโลกรัมถ่วงปลายกระบอกสูบ 2.การต่อวงจรไฮดรอลิกสองกระบอกสูบแบบขนาน พบว่าในช่วงกระบอกสูบยืด กระบอกสูบที่มีมวลถ่วงยึดออกจนสุดก่อนซึ่งเป็นผลมาจากแรงโน้มถ่วง ในช่วงหดกลับ เนื่องจากความดันทั้งสองกระบอกสูบแตกต่างกัน ทำให้น้ำมันไหลไปทางด้านที่ความดันน้อยกว่า กระบอกสูบที่ไม่มีมวลถ่วงจึงหดกลับจนสุดก่อน 3.การต่อวงจรไฮดรอลิกสองกระบอกสูบแบบอนุกรม พบว่าน้ำมันจากปลายกระบอกสูบที่หนึ่งไหลเข้าสู่กระบอกสูบที่สอง ทำให้สัดส่วนความเร็วและระยะทางเคลื่อนที่ของกระบอกสูบที่หนึ่ง มีค่าประมาณ 2 เท่าของกระบอกสูบที่สองเพราะมีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดจากปลายกระบอกสูบเข้าสู่หัวกระบอกสูบ 4.การเปรียบเทียบผลของการใช้ข้อต่อสามทางและ Flow divider ในวงจรไฮดรอลิกที่ใช้ข้อต่อสามทางพบว่า ความเร็วของกระบอกสูบมีค่าที่ไม่เท่ากัน เนื่องจากความดันที่แตกต่างกันในแต่ละกระบอกสูบ เมื่อเปลี่ยนไปใช้ Flow divider พบว่าความเร็วทั้งสองกระบอกสูบมีค่าที่ใกล้เคียงกัน

I

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN OF HYDRAULIC TESTING SYSTEM

Yada Visessang 54010349
Warawut Amornprapa 54011146
Wisoodtida Takeow 54011215
Asst.Prof.Ph.Dr. Unnat Pinsopon Advisor
Year 2014

ABSTRACT

At present, the industry in Thailand is growing rapidly and the hydraulic system is an important part of the industry. It is necessary for those who work in an industrial field to understand how the hydraulic system works. The experimental system, Hydraulic testing system is meant to study the operation Hydraulic cylinder in parallel and series circuit, Comparing results of using Three ways adapter and Flow Divider, calculating efficiency of the system including power and flow rate of hydraulic oil to compare with theoretical result. To create the testing system, is starting with programming by Labview. The command is sent to DAQ Card which converts the digital signal to an analog signal in order to control the flow of hydraulic oil through valve. The valve controls flow direction of hydraulic oil into the cylinder, position sensor is used to measure cylinder extending-retracting displacement; pressure transducers are placed at pump head-end and rod-end, Flow rate sensor, To Analyst and compare with theoretical result. There are four experimentations. First experiment, Power and Efficiency of Hydraulic system, The overall Efficiency are 10.522 percent at retracting state and using mass 64.5 kg at cylinder. Second experiment, Hydraulic in parallel circuit, In extending state the cylinder that holding mass extend first because of gravity. In retracting state, when pressure at each cylinder are different then oil flow to cylinder that has lower pressure so cylinder with no load extends first. Third experiment, Hydraulic in series circuit, Oil from rod end of cylinder one flow into head end of cylinder two, the velocity and displacement of cylinder one equal to 2 times of cylinder two because of changing area from rod end cylinder one to head end of cylinder two. Forth experiment, Comparing result of using three way adapter and flow divider, When using three way adapter velocity of each cylinder are not equal. But using flow divider velocity of each cylinder to be approximately equal.

II

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. อุन्नัต พิณโสภณ อาจารย์ที่ปรึกษา นายทศพล แจ่มน้อย และ นายวีระพงษ์ จันทร์บัวที่ให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทาง และเป็นตัวอย่างที่ดีในการทำงาน ทำให้โปรเจกต์นี้ เสร็จออกมาอย่างสมบูรณ์และสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

และต้องขอขอบพระคุณ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักรยิ่ง มอบโอกาส สนับสนุนทางการศึกษา ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้



นางสาวญาดา วิเศษสังข์
นายวรารุณี อมรประภา
นางสาววิสุทธิดา ทาแก้ว

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	X
รายการสัญลักษณ์.....	XIV
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขต.....	1
1.4 วิธีการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ระบบไฮดรอลิก.....	3
2.2 กฎของปาสคาล.....	3
2.3 อุปกรณ์พื้นฐานในระบบไฮดรอลิก.....	4
2.4 การเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในระบบไฮดรอลิก.....	4
2.5 สมการไหลต่อเนื่อง.....	5
2.6 สมการเบอร์นูลลี.....	6
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	7
3.1 อุปกรณ์การทดลอง.....	7
3.1.1 ชุดต้นกำลังไฮดรอลิก.....	8

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1.2 วาล์วควบคุมทิศทาง.....	8
3.1.3 กระบอกสูบไฮดรอลิก.....	9
3.1.4 การ์ดเชื่อมโยงสัญญาณ.....	10
3.1.5 เซนเซอร์วัดความดัน.....	10
3.1.6 เซนเซอร์วัดระยะทาง.....	11
3.1.7 เซนเซอร์วัดอัตราการไหล.....	11
3.1.8 ข้อต่อสามทาง.....	12
3.1.9 Flow divider.....	12
3.1.10 อุปกรณ์ถ่วงน้ำหนัก.....	13
3.2 ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรม.....	14
3.3 รูปแบบการทดลอง.....	19
3.3.1 การทดลองที่ 1 กำลังและประสิทธิภาพในระบบไฮดรอลิก.....	19
3.3.2 การทดลองที่ 2 การต่อกระบอกสูบไฮดรอลิกสองตัวแบบขนาน.....	21
3.3.3 การทดลองที่ 3 การต่อกระบอกสูบไฮดรอลิกสองตัวแบบอนุกรม.....	22
3.3.4 การทดลองที่ 4 การเปรียบเทียบผลของการใช้ข้อต่อสามทางและ Flow divider.....	23
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	25
4.1 การทดลองที่ 1 กำลังและประสิทธิภาพในระบบไฮดรอลิก.....	25
4.2 การทดลองที่ 2 การต่อกระบอกสูบไฮดรอลิกสองตัวแบบขนาน.....	31
4.3 การทดลองที่ 3 การต่อกระบอกสูบไฮดรอลิกสองตัวแบบอนุกรม.....	41
4.4 การทดลองที่ 4 การเปรียบเทียบผลของการใช้ข้อต่อสามทางและ Flow divider.....	48
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	66
5.1 การทดลองที่ 1 กำลังและประสิทธิภาพในระบบไฮดรอลิก.....	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.2 การทดลองที่ 2 การต่อกระบอกสูบไฮดรอลิกสองตัวแบบขนาน.....	68
5.3 การทดลองที่ 3 การต่อกระบอกสูบไฮดรอลิกสองตัวแบบอนุกรม.....	68
5.4 การทดลองที่ 4 การเปรียบเทียบผลของการใช้ข้อต่อสามทางและ Flow divider.....	73
บรรณานุกรม.....	79



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ตารางบันทึกผลหากำลังและประสิทธิภาพของระบบไฮดรอลิก.....	20
3.2 ตารางบันทึกผลการต่อกระบอกลูกสูบไฮดรอลิก 2 ตัว แบบขนาน.....	21
3.3 ตารางบันทึกผลการต่อกระบอกลูกสูบไฮดรอลิก 2 ตัว แบบอนุกรม.....	23
3.4 ตารางบันทึกผลของการใช้ข้อต่อสามทาง และ Flow divider.....	24
4.1 ข้อมูลจากเซ็นเซอร์ในการทดลองกำลังและประสิทธิภาพช่วงยืดของกระบอกลูกสูบ.....	30
4.2 ข้อมูลจากเซ็นเซอร์ในการทดลองกำลังและประสิทธิภาพช่วงหดของกระบอกลูกสูบ.....	31
4.3 – 4.12 ข้อมูลจากเซ็นเซอร์ในวงจรไฮดรอลิกแบบขนาน	
4.3 ช่วงยืดของกระบอกลูกสูบ เมื่อไม่มีมวลถ่วงกระบอกลูกสูบ.....	32
4.4 ช่วงหดของกระบอกลูกสูบ เมื่อไม่มีมวลถ่วงกระบอกลูกสูบ.....	32
4.5 ช่วงยืดของกระบอกลูกสูบ เมื่อกระบอกลูกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 12 กิโลกรัม.....	34
4.6 ช่วงหดของกระบอกลูกสูบ เมื่อกระบอกลูกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 12 กิโลกรัม.....	35
4.7 ช่วงยืดของกระบอกลูกสูบ เมื่อกระบอกลูกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 29.5 กิโลกรัม.....	36
4.8 ช่วงหดของกระบอกลูกสูบ เมื่อกระบอกลูกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 29.5 กิโลกรัม.....	37
4.9 ช่วงยืดของกระบอกลูกสูบ เมื่อกระบอกลูกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 47 กิโลกรัม.....	38
4.10 ช่วงหดของกระบอกลูกสูบ เมื่อกระบอกลูกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 47 กิโลกรัม.....	39
4.11 ช่วงยืดของกระบอกลูกสูบ เมื่อกระบอกลูกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 64.5 กิโลกรัม.....	40
4.12 ช่วงหดของกระบอกลูกสูบ เมื่อกระบอกลูกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 64.5 กิโลกรัม.....	41
4.13 – 4.17 ข้อมูลจากเซ็นเซอร์ในวงจรไฮดรอลิกแบบอนุกรม	
4.13 เมื่อไม่มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกลูกสูบ.....	42
4.14 เมื่อกระบอกลูกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 12 กิโลกรัม.....	44
4.15 เมื่อกระบอกลูกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 29.5 กิโลกรัม.....	45
4.16 เมื่อกระบอกลูกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 47 กิโลกรัม.....	47
4.17 เมื่อกระบอกลูกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 64.5 กิโลกรัม.....	48

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.18 – 4.27 ข้อมูลจากเซ็นเซอร์ในวงจรไฮดรอลิกแบบใช้ข้อต่อสามทาง	
4.18 ช่วงยืดของกระบอกสูบ เมื่อไม่มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ.....	50
4.19 ช่วงหดของกระบอกสูบ เมื่อไม่มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ.....	50
4.20 ช่วงยืดของกระบอกสูบ เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 12 กิโลกรัม.....	52
4.21 ช่วงหดของกระบอกสูบ เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 12 กิโลกรัม.....	52
4.22 ช่วงยืดของกระบอกสูบ เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 29.5 กิโลกรัม.....	54
4.23 ช่วงหดของกระบอกสูบ เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 29.5 กิโลกรัม.....	54
4.24 ช่วงยืดของกระบอกสูบ เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 47 กิโลกรัม.....	56
4.25 ช่วงหดของกระบอกสูบ เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 47 กิโลกรัม.....	56
4.26 ช่วงยืดของกระบอกสูบ เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 64.5 กิโลกรัม.....	58
4.27 ช่วงหดของกระบอกสูบ เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 64.5 กิโลกรัม.....	59
4.28 – 4.37 ความเร็วในวงจรไฮดรอลิกใช้ Flow divider	
4.28 ช่วงยืดของกระบอกสูบ เมื่อไม่มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ.....	60
4.29 ช่วงหดของกระบอกสูบ เมื่อไม่มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ.....	60
4.30 ช่วงยืดของกระบอกสูบ เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 12 กิโลกรัม.....	61
4.31 ช่วงหดของกระบอกสูบ เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 12 กิโลกรัม.....	61
4.32 ช่วงยืดของกระบอกสูบ เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 29.5 กิโลกรัม.....	62
4.33 ช่วงหดของกระบอกสูบ เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 29.5 กิโลกรัม.....	62
4.34 ช่วงยืดของกระบอกสูบ เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 47 กิโลกรัม.....	63
4.35 ช่วงหดของกระบอกสูบ เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 47 กิโลกรัม.....	64
4.36 ช่วงยืดของกระบอกสูบ เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 64.5 กิโลกรัม.....	64
4.37 ช่วงหดของกระบอกสูบ เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 64.5 กิโลกรัม.....	65
5.1 กำลังในระบบไฮดรอลิกในช่วงหดกลับ.....	66
5.2 การคำนวณประสิทธิภาพแต่ละส่วนของระบบไฮดรอลิก.....	67

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.3 – 5.12 อัตราส่วนความเร็วของกระบอกสูบที่ 1 และ กระบอกสูบที่ 2	
5.3 ช่วงยืดออกของกระบอกสูบ โดยไม่มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ.....	68
5.4 ช่วงยืดออกของกระบอกสูบ โดยกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 12 กิโลกรัม.....	68
5.5 ช่วงยืดออกของกระบอกสูบ โดยกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 29.5 กิโลกรัม.....	69
5.6 ช่วงยืดออกของกระบอกสูบโดยกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 47 กิโลกรัม.....	69
5.7 ช่วงยืดออกของกระบอกสูบ โดยกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 64.5 กิโลกรัม.....	69
5.8 ช่วงหดกลับของกระบอกสูบโดยไม่มีมวลถ่วง.....	69
5.9 ช่วงหดกลับของกระบอกสูบ โดยกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 12 กิโลกรัม.....	70
5.10 ช่วงหดกลับของกระบอกสูบ โดยกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 29.5 กิโลกรัม.....	70
5.11 ช่วงหดกลับของกระบอกสูบ โดยกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 47 กิโลกรัม.....	70
5.12 ช่วงหดกลับของกระบอกสูบ โดยกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 64.5 กิโลกรัม.....	71
5.13 ความสัมพันธ์ของแรงและความดันวงจรไฮดรอลิกแบบอนุกรมในช่วงหดกลับ.....	73

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงทิศทางของความดันของของไหล.....	4
2.2 ระบบไฮดรอลิกเบื้องต้น.....	4
2.3 การเปลี่ยนพลังงานภายในระบบไฮดรอลิก.....	4
3.1 ชุดทดลองไฮดรอลิก.....	7
3.2 ชุดต้นกำลังไฮดรอลิก.....	8
3.3 วาล์วควบคุมทิศทาง.....	8
3.4 ระบายกลับไฮดรอลิก.....	9
3.5 การ์ดเชื่อมโยงสัญญาณ รุ่น PCI-6221.....	10
3.6 เซนเซอร์วัดความดัน.....	10
3.7 เซนเซอร์วัดระยะทาง.....	11
3.8 เซนเซอร์วัดอัตราการไหล.....	11
3.9 ข้อต่อสามทาง.....	12
3.10 Flow divider.....	12
3.11 อุปกรณ์ถ่วงน้ำหนัก.....	13
3.12 แสดง Front panel.....	14
3.13 แสดง Code ทั้งหมดที่ใช้ในโปรแกรม.....	16
3.14 แสดง Code ใน State 1 โปรแกรมจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้วาล์ว 0 โวลต์ เป็นเวลา 5 วินาที.....	16
3.15 แสดง Code ใน State 3 โปรแกรมจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้วาล์ว -10 โวลต์ เป็นเวลา 20 วินาที และโปรแกรมรับค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากเซนเซอร์มาคำนวณเป็น ระยะทาง ความดัน อัตราการไหล และบันทึกค่า.....	18
3.16 แสดง Code ที่ใช้ในโปรแกรม State 4 โปรแกรมจ่ายแรงดันไฟฟ้าเป็น 0 โวลต์ เป็นเวลา 5 วินาที และ โปรแกรมจบการทำงาน.....	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.17 วงจรไฮดรอลิก กำลังและประสิทธิภาพของไฮดรอลิก.....	19
3.18 การต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 ตัว แบบขนาน.....	21
3.19 การต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 ตัว แบบอนุกรม.....	22
3.20 วงจรการใช้ข้อต่อสามทาง.....	23
3.20 วงจรการใช้ Flow divider.....	23
4.1 – 4.10 การทดลองกำลังและประสิทธิภาพของระบบไฮดรอลิก	
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระยะทางและเวลา เมื่อไม่มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ.....	25
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลา เมื่อไม่มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ.....	26
4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและเวลา มวลถ่วง 12 กิโลกรัม ที่ปลายกระบอกสูบ	26
4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลา มวลถ่วง 12 กิโลกรัมที่ปลายกระบอกสูบ.....	27
4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและเวลา มวลถ่วง 29.5 กิโลกรัมที่ปลายกระบอกสูบ....	27
4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลา มวลถ่วง 29.5 กิโลกรัม ที่ปลายกระบอกสูบ....	28
4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและเวลา มวลถ่วง 47 กิโลกรัม ที่ปลายกระบอกสูบ.....	28
4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลา มวลถ่วง 47 กิโลกรัมที่ปลายกระบอกสูบ.....	29
4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและเวลา มวลถ่วง 63.5 กิโลกรัมที่ปลายกระบอกสูบ....	29
4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลา มวลถ่วง 63.5 กิโลกรัมที่ปลายกระบอกสูบ...	30
4.11 – 4.20 การทดลองการต่อวงจรไฮดรอลิก 2 ตัว แบบขนาน	
4.11 กราฟความสัมพันธ์ระยะทางกับเวลา เมื่อกระบอกสูบไม่มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ.....	31
4.12 กราฟความสัมพันธ์ความดันกับเวลา เมื่อกระบอกสูบไม่มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ.....	32
4.13 กราฟความสัมพันธ์ระยะทางกับเวลา เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 12 กิโลกรัม.....	33
4.14 กราฟความสัมพันธ์ความดันกับเวลา เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 12 กิโลกรัม.....	34
4.15 กราฟความสัมพันธ์ระยะทางกับเวลา เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 29.5 กิโลกรัม.....	35
4.16 กราฟความสัมพันธ์ความดันกับเวลา เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 29.5 กิโลกรัม.....	36

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.17 กราฟความสัมพันธ์ระยะทางกับเวลา เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 47 กิโลกรัม.....	37
4.18 กราฟความสัมพันธ์ความดันกับเวลา เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 47 กิโลกรัม.....	38
4.19 กราฟความสัมพันธ์ระยะทางกับเวลา เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 64.5 กิโลกรัม.....	39
4.20 กราฟความสัมพันธ์ความดันกับเวลา เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 64.5 กิโลกรัม.....	40
4.21 – 4.30 การทดลองการต่อวงจรไฮดรอลิก 2 ตัว แบบอนุกรม	
4.21 กราฟความสัมพันธ์ระยะทางกับเวลา เมื่อไม่มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ.....	41
4.22 กราฟความสัมพันธ์ความดันกับเวลา เมื่อไม่มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ.....	42
4.23 กราฟความสัมพันธ์ระยะทางกับเวลา เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 12 กิโลกรัม.....	43
4.24 กราฟความสัมพันธ์ความดันกับเวลา เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 12 กิโลกรัม.....	43
4.25 กราฟความสัมพันธ์ระยะทางกับเวลา เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 29.5 กิโลกรัม.....	44
4.26 กราฟความสัมพันธ์ความดันกับเวลา เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 29.5 กิโลกรัม.....	45
4.27 กราฟความสัมพันธ์ระยะทางกับเวลา เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 47 กิโลกรัม.....	46
4.28 กราฟความสัมพันธ์ความดันกับเวลา เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 47 กิโลกรัม.....	46
4.29 กราฟความสัมพันธ์ระยะทางกับเวลา เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 64.5 กิโลกรัม.....	47
4.30 กราฟความสัมพันธ์ความดันกับเวลา เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 64.5 กิโลกรัม.....	48
4.31 – 4.40 การทดลองการต่อวงจรไฮดรอลิกโดยใช้ข้อต่อสามทาง	
4.31 กราฟความสัมพันธ์ระยะทางกับเวลา เมื่อไม่มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ.....	49
4.32 กราฟความสัมพันธ์ความดันกับเวลา เมื่อไม่มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ.....	49
4.33 กราฟความสัมพันธ์ระยะทางกับเวลา เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 12 กิโลกรัม.....	51
4.34 กราฟความสัมพันธ์ความดันกับเวลา เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 12 กิโลกรัม.....	51
4.35 กราฟความสัมพันธ์ระยะทางกับเวลา เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 29.5 กิโลกรัม.....	53
4.36 กราฟความสัมพันธ์ความดันกับเวลา เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 29.5 กิโลกรัม.....	53
4.37 กราฟความสัมพันธ์ระยะทางกับเวลา เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 47 กิโลกรัม.....	55

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.38 กราฟความสัมพันธ์ความดันกับเวลา เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 47 กิโลกรัม.....	55
4.39 กราฟความสัมพันธ์ระยะทางกับเวลา เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 64.5 กิโลกรัม.....	57
4.40 กราฟความสัมพันธ์ความดันกับเวลา เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 64.5 กิโลกรัม.....	58
4.41 – 4.45 การทดลองการต่อวงจรไฮดรอลิกโดยใช้ Flow divider	
4.41 กราฟความสัมพันธ์ระยะทางกับเวลา เมื่อไม่มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ.....	59
4.42 กราฟความสัมพันธ์ระยะทางกับเวลา เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 12 กิโลกรัม.....	60
4.43 กราฟความสัมพันธ์ระยะทางกับเวลา เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 29.5 กิโลกรัม.....	62
4.44 กราฟความสัมพันธ์ระยะทางกับเวลา เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 47 กิโลกรัม.....	63
4.45 กราฟความสัมพันธ์ระยะทางกับเวลา เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 64.5 กิโลกรัม.....	64
5.1 แสดงแรงต่างๆที่กระทำกับกระบอกสูบ.....	67
5.2 การไหลของน้ำมันเข้ากระบอกสูบในช่วงยืดออกและช่วงหดกลับ.....	72
5.3 แสดงวงจรไฮดรอลิกที่ใช้ในการคำนวณเบอร์นูลลี.....	74

รายการสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ชื่อ/ความหมาย
HE	ส่วนหัวกระบอกสูบ
RE	ส่วนปลายกระบอกสูบ
M	มวล (Kg)
F	แรง (N)
Q	อัตราการไหล (m^3/s)
P	ความดัน (bar)
ρ	ความหนาแน่น (g/cm^3)
ν	Kinematic viscosity (cSt)
A	พื้นที่หน้าตัดขนาดท่อ (m^2)
η	ประสิทธิภาพ
V	ความเร็วของก้านกระบอกสูบ (cm/s)
P_{pump}	ความดันจากปั๊มที่นำไปใช้งาน (bar)



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

เนื่องจากในปัจจุบันระบบ “ไฮดรอลิก” มีบทบาทในวงการอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย เพราะระบบไฮดรอลิกเป็นระบบส่งกำลังโดยใช้ “น้ำมัน” เป็นตัวถ่ายทอดพลังงานที่สามารถส่งกำลังได้มากซึ่งมีขนาดไม่ใหญ่ และน้ำมันยังมีคุณสมบัติในการหล่อลื่นและระบายความร้อนให้กับอุปกรณ์อีกด้วย การศึกษาเรื่องไฮดรอลิกจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมากเพื่อเป็นพื้นฐานของความรู้เมื่อได้ปฏิบัติงานจริง และเนื่องจากในภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่เกี่ยวกับระบบไฮดรอลิก ดังนั้นชุดทดลองไฮดรอลิกที่ออกแบบขึ้นทำให้ผู้ทดลองสามารถเข้าใจลักษณะการทำงาน การถ่ายทอดกำลัง และการหาประสิทธิภาพของระบบไฮดรอลิกได้อย่างชัดเจน

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อออกแบบและสร้างชุดทดลองไฮดรอลิก
2. เพื่อหาประสิทธิภาพของชุดทดลองระบบไฮดรอลิก

1.3 ขอบเขต

1. จัดทำชุดทดลองไฮดรอลิกโดยใช้ กระจบอกสูบทำงาน 2 ทิศทางที่มีระยะชัก 50 เซนติเมตร 2 ตัว เส้นผ่านศูนย์กลางภายในในกระจบอกสูบ 40 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางก้านสูบ 28 มิลลิเมตร
2. วัดระยะที่กระจบอกสูบเคลื่อนที่โดยใช้ เซ็นเซอร์วัดระยะทาง, วัดอัตราการไหลโดยใช้ เซ็นเซอร์วัดอัตราการไหล และ ใช้เซ็นเซอร์วัดความดัน เพื่อวัดความดันของน้ำมันไฮดรอลิกที่ตำแหน่งออกจากปั๊ม, ที่ส่วนหัวของกระจบอกสูบ (Head - end) และส่วนปลายของกระจบอกสูบ (Rod - end)
3. ใช้โปรแกรม LabVIEW ควบคุมการทำงานของวาล์ว
4. ออกแบบและสร้างชุดทดลองซึ่งแบ่งออกเป็น 4 เรื่องดังนี้คือ
 - 4.1 กำลังและประสิทธิภาพของไฮดรอลิก
 - 4.2 การต่อกระจบอกสูบไฮดรอลิก 2 ตัวแบบขนาน
 - 4.3 การต่อกระจบอกสูบไฮดรอลิก 2 ตัวแบบอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การเปรียบเทียบผลของการใช้ข้อต่อสามทาง และ Flow divider

1.4 วิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาทฤษฎีและการทำงานของระบบไฮดรอลิก
2. ศึกษาการทำงานของระบบเซนเซอร์และระบบไฟฟ้าที่เกี่ยวข้อง
3. ออกแบบชุดทดลองและรูปแบบการทดลอง
4. เตรียมอุปกรณ์และประกอบชุดทดลอง
5. ออกแบบตารางการทดลอง
6. เขียนโปรแกรมควบคุมวาล์วผ่านโปรแกรม LabVIEW
7. ทำการทดลองพร้อมทั้งบันทึกผลการทดลอง
8. สรุป และ วิเคราะห์ผลการทดลอง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้ความเข้าใจในหลักการทำงานของระบบไฮดรอลิก
2. สามารถใช้ชุดทดลองและการทดลองพัฒนาการเรียนการสอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบไฮดรอลิก

คำว่า Hydraulic มาจากคำในภาษากรีกสองคำ คือ hydro หมายถึงน้ำ และ aulis หมายถึงท่อ (pipe) [1] ระบบไฮดรอลิกเป็นระบบที่ส่งกำลังโดยใช้ของไหลเป็นตัวกลางในการถ่ายทอดพลังงาน ด้วยการเปลี่ยนพลังงานของของไหลให้เป็นพลังงานเชิงกล วิธีการคือนำของไหลที่มีความดันสูงไปดันกระบอกสูบไฮดรอลิกให้กระบอกสูบมีการเคลื่อนที่ หรือนำของไหลไปหมุนมอเตอร์ไฮดรอลิกให้เกิดการเคลื่อนที่เชิงมุม ตัวอย่างระบบไฮดรอลิก เช่น ระบบเบรกในรถยนต์ เครื่อง รถแทรกเตอร์ แม่แรงไฮดรอลิก เป็นต้น ฯลฯ

2.2 กฎของปาสคาล (Pascal's law)

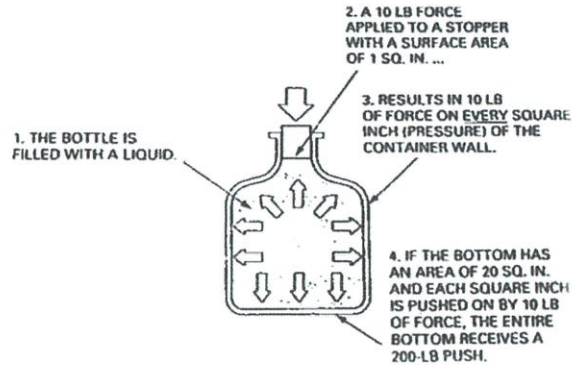
“Change in pressure at any point in an enclosed fluid at rest is transmitted undiminished to all points in the fluid” [3]

“การเปลี่ยนแปลงความดัน ณ ตำแหน่งใดๆ ในของเหลวที่อยู่นิ่งในภาชนะปิด ความดันที่เพิ่มขึ้นจะถูกส่งผ่านไปยังทุกๆ จุดในของเหลวนั้น”

กฎของปาสคาลสรุปเป็นข้อดังนี้ [2]

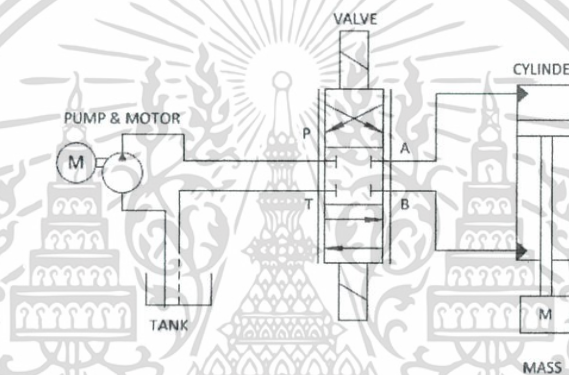
1. ความดันที่เกิดจากของไหลซึ่งบรรจุอยู่ในภาชนะปิดจะไปปรากฏและกระทำ มีค่าเท่ากันในทุกทิศทางต่อพื้นผิวภาชนะ
2. ทิศทางของความดันของของไหลจะกระทำในทิศทางตั้งฉากกับพื้นที่ที่ของไหลนั้นสัมผัสอยู่ตามรูปที่ 2.1
3. ความดันของของไหลนั้นมีค่าเท่ากันในระดับเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แสดงทิศทางของความดันของของไหล [1]

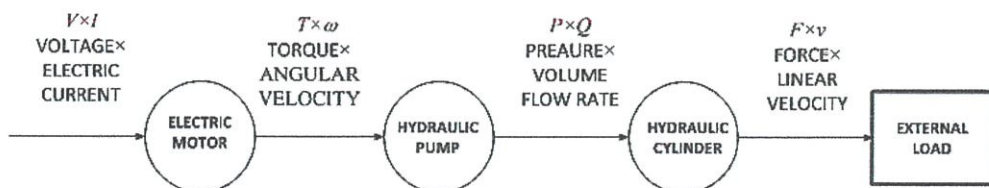
2.3 อุปกรณ์พื้นฐานในระบบไฮดรอลิก



รูปที่ 2.2 ระบบไฮดรอลิกเบื้องต้น

จากรูปที่ 2.2 แสดงอุปกรณ์พื้นฐานในระบบไฮดรอลิกประกอบไปด้วย ถังเก็บน้ำมันไฮดรอลิก ปั๊มส่งน้ำมันเข้าสู่ระบบและสร้างอัตราการไหล มอเตอร์ไฟฟ้าส่งกำลังเพื่อขับเคลื่อน วาล์วควบคุมทิศทาง การไหลของน้ำมัน กระบอกสูบเปลี่ยนความดันและอัตราการไหลของน้ำมันเป็นพลังงานเชิงกลคือแรงและความเร็ว

2.4 การเปลี่ยนพลังงานภายในระบบไฮดรอลิก



รูปที่ 2.3 การเปลี่ยนพลังงานภายในระบบไฮดรอลิก[1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.3 แสดงสมการกำลังและประสิทธิภาพดังนี้

$$\text{Efficiency} = \eta = \frac{\text{Power output}}{\text{Power input}} \quad [2]$$

กำลังของกระบอกสูบ

$$\text{Power}_{\text{cylinder}} = FV = F \left(\frac{S}{t} \right) \quad [2]$$

ประสิทธิภาพของกระบอกสูบ สายน้ำมัน วาล์ว

$$\eta_{\text{cylinder}} = \frac{FV}{P_{\text{pump}} \times Q} \quad [2]$$

ประสิทธิภาพของช่วงที่ผ่าน Pump และ Motor หลัง Relief Valve

$$\eta_{\text{pump motor After relief}} = \frac{P_{\text{pump}} \times Q}{VI(P.F)} \quad [2]$$

2.5 สมการการไหลต่อเนื่อง (Continuity equation) [2]

จากกฎสมการคงตัวที่ว่า มวลสารไม่สามารถสร้างขึ้นหรือหายไปได้หมายถึงมวลของสารที่ไหลเข้าไปในระบบหรือย่อมเท่ากับมวลของสารที่ไหลออกจากระบบนั้น ดังนั้นในระบบที่มีการไหลสม่ำเสมอ มวลของของไหลที่ไหลผ่านทุกส่วนภาคตัดต่างๆ ในท่อ ในระยะเวลาหนึ่งย่อมเท่ากันเสมอ อัตราการไหลของมวลของของไหลที่หน้าตัด 1 = อัตราการไหลของมวลของไหลที่หน้าตัด 2

$$\begin{aligned} m_1 &= m_2 \\ \rho_1 A_1 V_1 &= \rho_2 A_2 V_2 \\ m_1 &= \rho AV = \text{คงที่} \end{aligned}$$

หากเป็นระบบไฮดรอลิก น้ำมันไฮดรอลิกเป็นของไหลชนิดอัดตัวไม่ได้ จึงถือว่าเมื่อไหลจากพื้นที่หน้าตัด 1 ไปพื้นที่หน้าตัด 2 ความหนาแน่นของน้ำมันไฮดรอลิกไม่มีการเปลี่ยนแปลงนั่นคือ $\rho_1 = \rho_2$ เขียนสมการใหม่ได้เป็น

$$\begin{aligned} A_1 V_1 &= A_2 V_2 \\ Q_1 &= Q_2 \\ Q &= AV = \text{คงที่} \end{aligned}$$

m = อัตราการไหลของมวลของไหล หน่วย กิโลกรัม/วินาที

ρ = ความหนาแน่นของของไหล หน่วย กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร

Q = ปริมาณการไหลหรืออัตราการไหล หน่วย ลูกบาศก์เมตร/วินาที

A = พื้นที่หน้าตัดในการไหล หน่วย ตารางเมตร

V = ความเร็วในการไหล เมตร/วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 สมการเบอร์นูลลี (Bernoulli's equation) [2]

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + h_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_2 + h_L$$

แดเนียล เบอร์นูลลี นักวิทยาศาสตร์ชาวสวิส กล่าวว่า การไหลในระบบที่มีการไหลสม่ำเสมอ (Steady Flow) หรืออัตราการไหลคงที่ จะมีพลังงานที่เกิดขึ้นจากความดัน ความเร็วและตำแหน่งของการเคลื่อนที่ของของไหล จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งภายในท่อ โดยผลรวมของพลังงานทั้งหมดที่เกิดขึ้นที่จุดต่างๆ ในระบบย่อมมีค่าคงที่ ถ้าไม่คิดพลังงานที่สูญเสียที่เกิดจากความเสียดทาน ดังนั้นจึงเขียนสมการแสดงผลรวมของพลังงานทั้งหมด (total energy) ในทิศทางที่ของไหลเคลื่อนที่ได้เป็น

พลังงานเนื่องจากความดัน + พลังงานจลน์ + พลังงานศักย์ = คงที่

$$PV + \frac{WV^2}{2g} + WZ = \text{คงที่}$$

$$\frac{PW}{\gamma} + \frac{WV^2}{2g} + WZ = \text{คงที่}$$

เมื่อคิดพลังงานต่างๆ ต่อ 1 หน่วยน้ำหนัก พลังงานต่างๆ ก็จะเป็นพลังงาน/หน่วยน้ำหนัก ซึ่งจะมีหน่วยเป็นหน่วยของความยาวดังนั้นจึงเรียกผลรวมของพลังงานทั้งหมดใหม่เป็น total head

$$\frac{PW}{W} + \frac{WV^2}{2gW} + \frac{WZ}{W} = \text{คงที่}$$

$$\frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + Z = \text{คงที่}$$

$\frac{P}{\gamma}$ คือ พลังงานเนื่องจากความดันในของไหลต่อหน่วยน้ำหนักของของไหล มีชื่อเรียกว่า Pressure head มีหน่วยเป็น เมตร

$\frac{V^2}{2g}$ คือ พลังงานจลน์ต่อหน่วยน้ำหนักของของไหล มีชื่อเรียกว่า Velocity head มีหน่วยเป็น เมตร

Z คือ พลังงานศักย์ต่อหน่วยน้ำหนักของของไหล มีชื่อเรียกว่า elevation head มีหน่วยเป็น เมตร

การไหลผ่านท่อ เมื่อเป็นสภาพการไหลที่สม่ำเสมอ ผลรวมของพลังงานทั้งหมดที่เกิดขึ้นที่จุดใดใด ในระบบย่อมมีค่าคงที่ตามกฎการคงตัวของพลังงาน ถ้าไม่มีการสูญเสียจากแรงเสียดทาน ตามสมการเบอร์นูลลี

$$\text{จาก } \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + Z = \text{คงที่}$$

$$\frac{P_A}{\gamma} + \frac{V_A^2}{2g} + h_A = \frac{P_B}{\gamma} + \frac{V_B^2}{2g} + h_B \quad [2]$$

เมื่อคิดผลของพลังงานสูญเสีย (Head Loss)

$$\frac{P_A}{\gamma} + \frac{V_A^2}{2g} + h_A = \frac{P_B}{\gamma} + \frac{V_B^2}{2g} + h_B + h_L \quad [2]$$

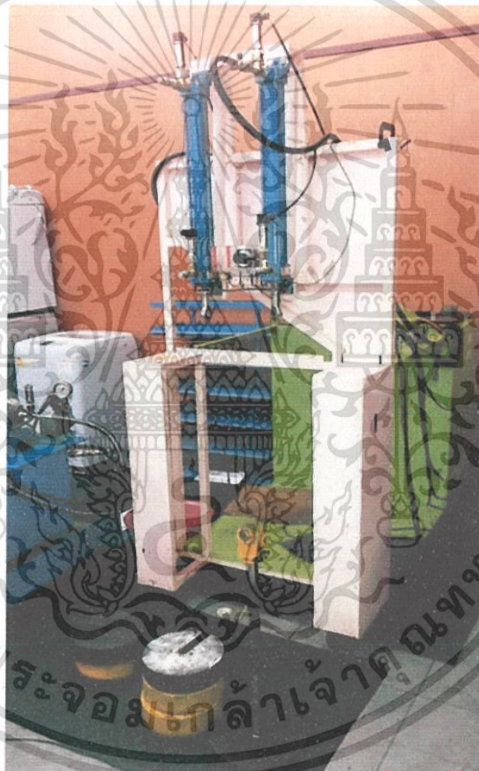
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

บทนี้กล่าวถึงรายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง และวิธีการทดลองซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.1 อุปกรณ์การทดลอง

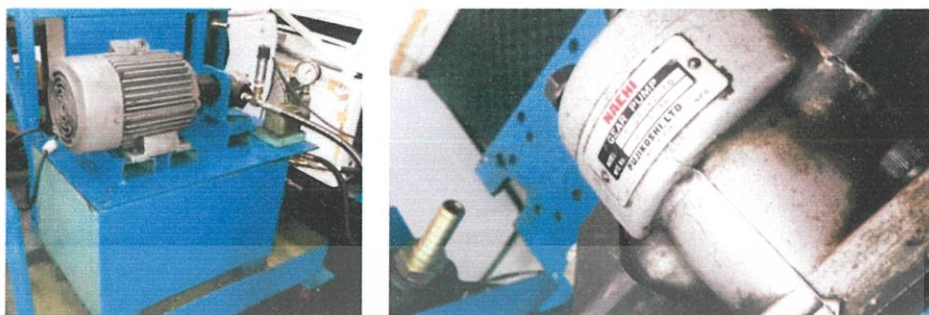


รูปที่ 3.1 ชุดทดลองไฮดรอลิก

จากรูปที่ 3.1 ชุดทดลองที่สร้างขึ้นประกอบไปด้วย ชุดต้นกำลังไฮดรอลิก วาล์วควบคุมทิศทาง กระจบokusไฮดรอลิก การ์ดเชื่อมโยงสัญญาณ เซนเซอร์วัดความดัน เซนเซอร์วัดระยะทาง เซนเซอร์วัดการไหล Flow divider และข้อต่อสามทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1 ชุดต้นกำลังไฮดรอลิก



รูปที่ 3.2 ชุดต้นกำลังไฮดรอลิก

จากรูปที่ 3.2 ชุดต้นกำลังไฮดรอลิก มีหน้าที่กักเก็บน้ำมัน และ ส่งน้ำมันไฮดรอลิกเข้าสู่ระบบโดยปั๊มการสร้างอัตราการไหลให้สูงขึ้น ชุดต้นกำลังไฮดรอลิกประกอบด้วย มอเตอร์ ยี่ห้อ Mez Mohelnice AP112M-4 กำลัง 4 กิโลวัตต์ 5.5 แรงม้า ไฟฟ้ากระแสสลับ สามเฟส 50 เฮิร์ต $\cos\theta = 0.83$ รอบของมอเตอร์อยู่ที่ 1440 รอบต่อนาที เกียร์ปั๊มยี่ห้อ NACHI มีความจุ 14.1 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อรอบ ความเร็วรอบสูงสุด 4000 รอบต่อนาที และทนความดันสูงสุดได้ 270 บาร์

3.1.2 วาล์วควบคุมทิศทาง

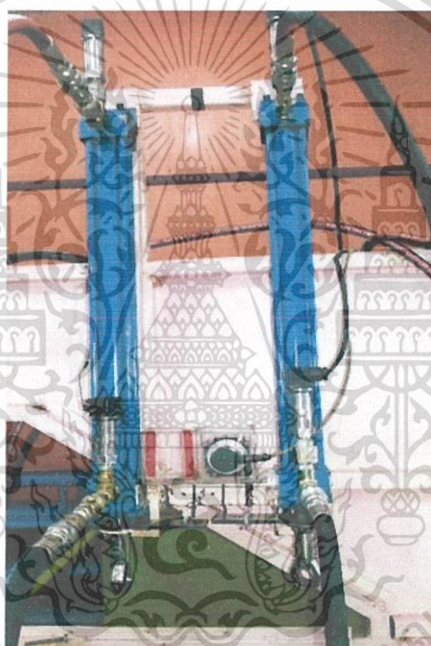


รูปที่ 3.3 วาล์วควบคุมทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.3 วาล์วควบคุมทิศทาง ใช้ควบคุมทิศทางการไหลของน้ำมันไฮดรอลิก เพื่อควบคุม การเคลื่อนที่เข้า-ออกของก้านกระบอกสูบ ในที่นี้ใช้วาล์วควบคุมทิศทางชนิด Proportional valve ยี่ห้อ TOKIMEC รุ่น COM-3-2C-30-AN-11 ใช้กับแรงดันไฟฟ้าสัญญาณอนาล็อก -10 ถึง 10 Volt สามารถรับ แรงดันสูงสุดได้ 245 บาร์ อัตราการไหลสูงสุด 30 ลิตรต่อนาที ที่ความดัน 6.9 MPa และอัตราการไหล ต่ำสุดอยู่ที่ 0.5 ลิตรต่อนาที ที่ความดัน 6.9 MPa

3.1.3 กระบอกสูบไฮดรอลิก

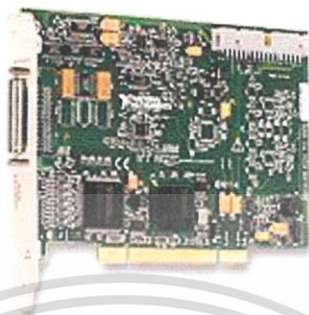


รูปที่ 3.4 กระบอกสูบไฮดรอลิก

จากรูปที่ 3.4 กระบอกสูบไฮดรอลิกยี่ห้อ Eastech มีหน้าที่เปลี่ยนพลังงานการไหลเป็นพลังงาน กล ในที่นี้กระบอกสูบทำงาน 2 ทิศทาง มีความยาวระยะชักสูงสุด 500 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง ภายในของกระบอกสูบ 40 มิลลิเมตร และ เส้นผ่านศูนย์กลางก้านสูบ 28 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 การ์ดเชื่อมโยงสัญญาณ (Data Acquisition Card)



รูปที่ 3.5 การ์ดเชื่อมโยงสัญญาณ รุ่น PCI-6221

จากรูปที่ 3.5 การ์ดเชื่อมโยงสัญญาณ (DAQ Card) มีหน้าที่เชื่อมโยงสัญญาณจากคอมพิวเตอร์ไปยัง วาล์วเพื่อให้วาล์วควบคุมทิศทางการไหลของน้ำมัน และรับค่า ความดัน ระยะทาง อัตราการไหล จาก เซนเซอร์กลับมายังคอมพิวเตอร์

3.1.5 เซนเซอร์วัดความดัน



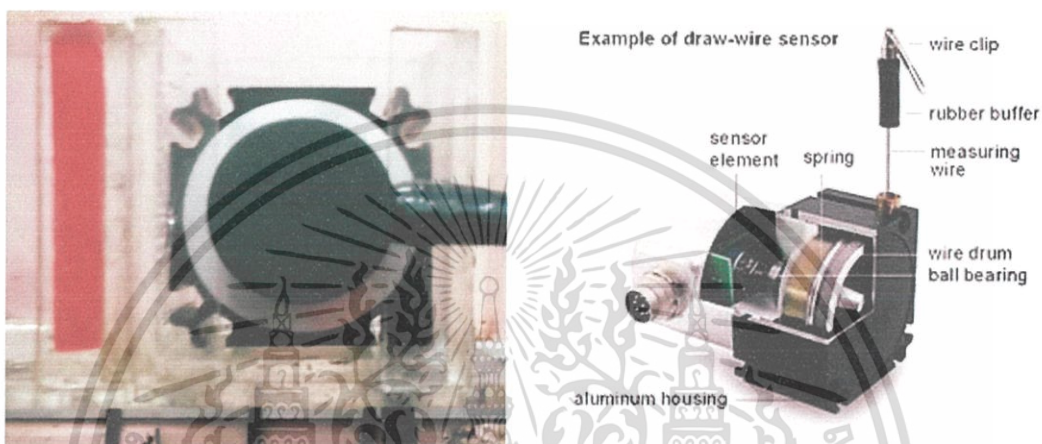
รูปที่ 3.6 เซนเซอร์วัดความดัน

จากรูปที่ 3.6 เซนเซอร์วัดความดัน (Pressure Transducer) ใช้เพื่อวัดค่าความดัน ณ ที่เกิดขึ้นในระบบ หน่วยที่ได้เป็น bar ในที่นี้ใช้เซนเซอร์วัดความดัน 5 ตัว โดยที่ตำแหน่งออกของปั๊ม 1 ตัว ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งทางเข้าและทางออกของกระบอกสูบ ทั้งสองตัว เซนเซอร์วัดความดัน ที่ใช้คือ BOURDON HAENNI รุ่น E913 สามารถวัดความดันได้ ในช่วง 0 – 600 บาร์ และส่งกระแสสัญญาณไฟฟ้า 4-20 mA

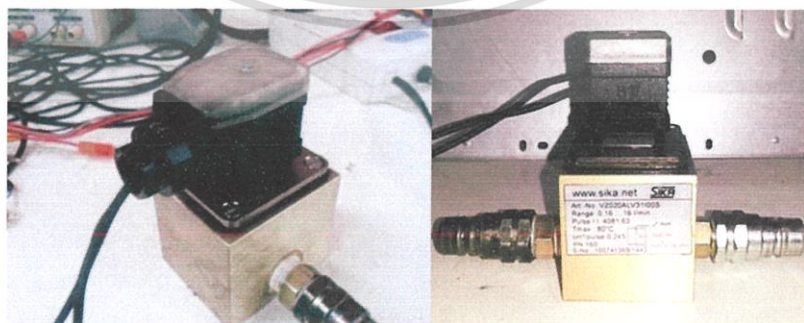
3.1.6 เซนเซอร์วัดระยะทาง



รูปที่ 3.7 เซนเซอร์วัดระยะทาง

จากรูปที่ 3.7 เซนเซอร์วัดระยะทาง (Potentiometer) ใช้วัดการเคลื่อนที่ของก้านกระบอกสูบ เซนเซอร์วัดระยะทางที่ใช้คือ Penny Giles ส่งสัญญาณไฟฟ้า 0 ถึง 10 โวลต์กระแสตรง และระยะที่วัดได้ สูงสุด 75 เซนติเมตร

3.1.7 เซนเซอร์วัดอัตราการไหล

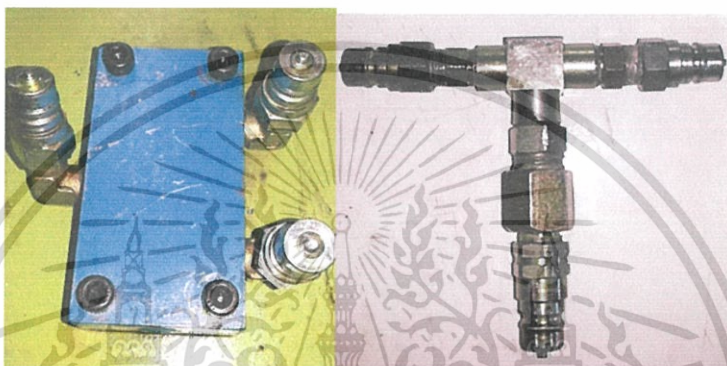


รูปที่ 3.8 เซนเซอร์วัดอัตราการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.8 เซนเซอร์วัดอัตราการไหล (Positive Displacement Flow Sensor) ยี่ห้อ Sika รุ่น VZ202AL31100S สามารถวัดอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิก ช่วง 0.16 ถึง 16 ลิตรต่อนาที มีความแม่นยำ $\pm 1\%$ และรับความดันสูงสุด 200 บาร์ ใช้กับแรงดันไฟฟ้า 12 ถึง 30 โวลต์กระแสตรง

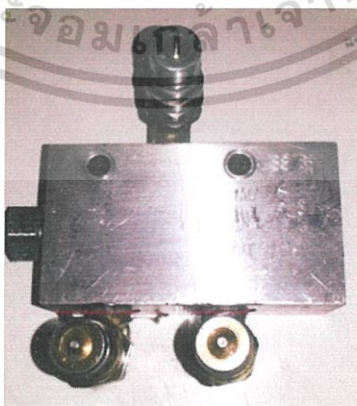
3.1.8 ข้อต่อสามทาง



รูปที่ 3.9 ข้อต่อสามทาง

จากรูปที่ 3.9 ข้อต่อสามทาง (Three way adapter) ทำหน้าที่แบ่งการไหลน้ำมันออกเป็นสองส่วน

3.1.9 Flow divider



รูปที่ 3.10 Flow divider

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.10 Flow divider ยี่ห้อ Sun รุ่น QL07 - A2 ทำหน้าที่แบ่งอัตราการไหลน้ำมันเป็นสองส่วนเท่ากันโดยใช้ spool ชดเชยความแตกต่างของแรงดันทั้งสองด้าน ทนแรงดันสูงสุดได้ 5000 Psi มีค่าความจุ 1.5 – 8 gpm มีค่าความแม่นยำในการแบ่งอัตราการไหล $\pm 3.5\%$

3.1.10 อุปกรณ์ถ่วงน้ำหนัก

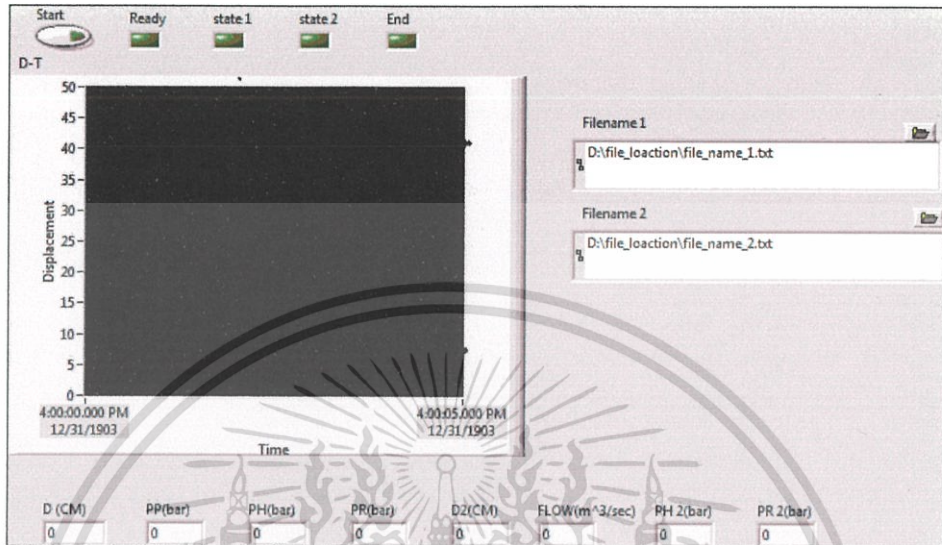


รูปที่ 3.11 อุปกรณ์ถ่วงน้ำหนัก

จากรูปที่ 3.11 อุปกรณ์ถ่วงน้ำหนัก 12 กิโลกรัม และ มวลถ่วงน้ำหนัก 17.5 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรม



รูปที่ 3.12 แสดง front panel

1. ขั้นตอนการใช้โปรแกรม

1.1 จากรูปที่ 3.12 ตั้งชื่อไฟล์และโพลเดอร์ที่ตั้งของไฟล์ เพื่อเก็บค่าความดัน ระยะทาง และอัตราการไหล โดย filename 1 บันทึกค่าการทดลองของระบบในช่วงที่กระบอกสูบเคลื่อนที่ลง และ filename 2 บันทึกค่าการทดลองของระบบในช่วง ที่กระบอกสูบเคลื่อนที่ขึ้น

1.2 จากรูปที่ 3.12 กดปุ่ม Start โปรแกรมทำงาน การทำงานของโปรแกรมแบ่งออกเป็น 4 ช่วง ready, state 1, state 2 ,end โดยมีเวลาในการทำงาน 5, 20, 20, 5 วินาทีตามลำดับ

1.3 จากรูปที่ 3.12 เมื่อเริ่มทำการทดลองครั้งต่อไปให้เปลี่ยนชื่อไฟล์ ที่ filename 1 และ filename 2

2. การทำงานของโปรแกรม

จากรูปที่ 3.11 สถานะไฟเขียวเกิดขึ้นที่ตำแหน่งต่างๆมีความหมายดังนี้

2.1 Ready คือ โปรแกรมจ่ายแรงดันไฟฟ้า 0 Volt ให้วาล์วเป็นเวลา 5 วินาที เพื่อเตรียมพร้อม กับสถานะ State 1

2.2 State 1 คือ โปรแกรมจ่ายแรงดันไฟฟ้า 10 Volt ให้วาล์วเป็นเวลา 20 วินาที ส่งผลให้ลูกสูบยี่ดออก

2.3 State 2 คือ โปรแกรมจ่ายแรงดันไฟฟ้า -10 Volt ให้วาล์วเป็นเวลา 20 วินาที และทำให้ลูกสูบหดกลับ

2.4 End คือ โปรแกรมจ่ายแรงดันไฟฟ้า 0 Volt ให้วาล์วเป็นเวลา 5 วินาที และส่งผลทำให้โปรแกรมหยุดการทำงาน

3. ส่วนประกอบของ Front Panel จากรูปที่ 3.11

3.1 กราฟ Displacement และ Time คือ กราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่างการเคลื่อนที่ของกระบอกสูบต่อเวลา โดยพล็อตกราฟการเคลื่อนที่ของกระบอกสูบที่ 1 กับกระบอกสูบที่ 2

3.2 indicator D คือ ค่าระยะการเคลื่อนที่ของกระบอกสูบที่ 1

3.3 indicator D2 คือ ค่าระยะการเคลื่อนที่ของกระบอกสูบที่ 2

3.4 indicator PP คือ ตัวเลขแสดงความดันตำแหน่งปั๊ม

3.5 indicator PH คือ ตัวเลขแสดงความดันตำแหน่งหัวกระบอกสูบ ที่ 1

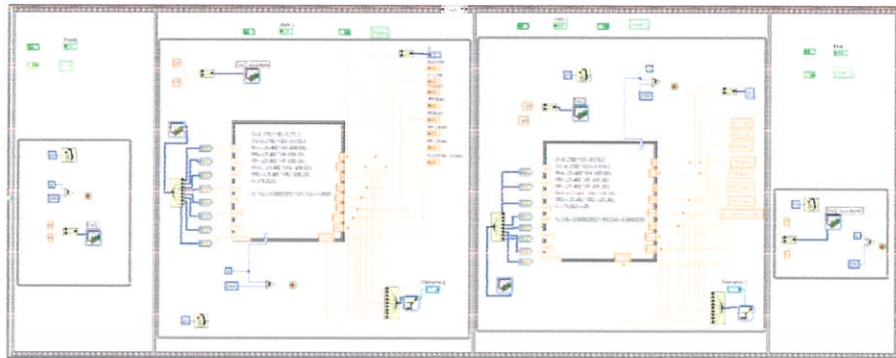
3.6 indicator RE คือ ตัวเลขแสดงความดันที่ตำแหน่งปลายกระบอกสูบตัวที่ 1

3.7 indicator PH2 คือ ตัวเลขแสดงความดันที่ตำแหน่งหัวกระบอกสูบตัวที่ 2

3.8 indicator RE2 คือ ตัวเลขแสดงความดันที่ ปลายกระบอกสูบตัวที่ 2

3.9 File name 1 คือ ที่ตั้งของไฟล์เพื่อบันทึกค่าของ ระยะทางการเคลื่อนที่ของกระบอกสูบและความดัน ตำแหน่งต่างๆ ของระบบเมื่อกระบอกสูบยี่ดออก

3.4.0 File name 2 คือ ที่ตั้งของไฟล์ที่เพื่อบันทึกค่าของ ระยะทางการเคลื่อนที่ของกระบอกสูบและความดัน ตำแหน่งต่างๆ ของระบบเมื่อกระบอกสูบหดกลับ



รูปที่ 3.13 แสดง code ทั้งหมดที่ใช้ในโปรแกรม

จากรูปที่ 3.13 โปรแกรมใช้รูปแบบการทำงานแบบ Case structure โดยจะมี Flat structure ทั้งหมด 4 ช่องด้วยกันคือ Ready, state 1, state 2, End โดยการทำงานของโปรแกรมคือ ตั้งค่า Analog output เป็น 0, 10, -10 และ 0 ตามลำดับ



รูปที่ 3.14 แสดง code ที่ใช้ในโปรแกรม State 1 เมื่อโปรแกรมจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้วาล์ว 0 โวลต์ เป็นเวลา 5 วินาที

จาก รูปที่ 17 Code ที่ใช้ใน state 1 มีรายละเอียดดังนี้



DAQ Input:

รับสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจาก เซ็นเซอร์วัด ระยะทาง, อัตราการไหล และ ความดัน

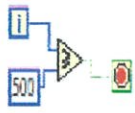
10



Wait Until Next ms Multiple:

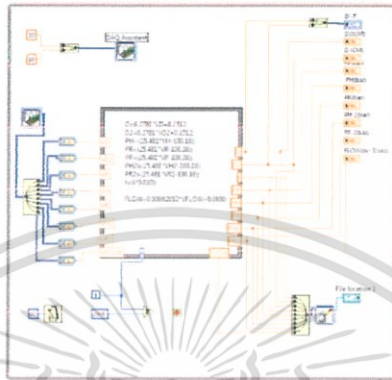
รอ 10 มิลลิวินาทีเพื่อให้โปรแกรมเริ่มทำรอบถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



While loop:

ทำ 500 รอบจากนั้นให้หยุดทำงาน



รูปที่ 3.15 แสดง code ที่ใช้ในโปรแกรม State 3 โปรแกรมจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้วาล์ว -10 โวลต์ เป็นเวลา 20 วินาที และโปรแกรมรับค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากเซ็นเซอร์มาคำนวณเป็น ระยะทาง, ความดัน, อัตราการไหลและ บันทึกค่าไปยังไฟล์

จาก รูปที่ 3.15 code ที่ใช้ใน state2, 3 และ 4 มีรายละเอียดดังนี้



DAQ Output:

ส่งสัญญาณแรงดันไฟฟ้าไปยัง Proportional Valve



Formula node: แปลงสัญญาณที่วัดได้จากเซ็นเซอร์เป็น ความดัน , ระยะทาง และอัตราการไหล



Write To Measurement File:

บันทึกสัญญาณจากเซ็นเซอร์วัด ระยะทาง ความดัน และ อัตราการไหล

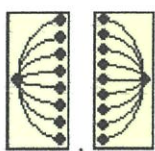
File location 1



File name:

บันทึกไฟล์ไปยังตำแหน่งที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Split/merge signal: รวมสัญญาณ/แยกสัญญาณ



Numerical indicator: แสดงข้อมูลออกมาเป็นตัวเลข



Graph indicator: แสดงข้อมูลออกมาเป็นกราฟ



Convert from dynamic: แปลงชนิดของข้อมูล

และตัวแปรภายใน Formula node จากรูปที่ 18 19 และ 20 มีดังนี้

VD: สัญญาณแรงดันไฟฟ้าของเซ็นเซอร์วัดระยะทางตัวที่ 1

VD2: สัญญาณแรงดันไฟฟ้าของเซ็นเซอร์วัดระยะทางตัวที่ 2

VP: สัญญาณแรงดันไฟฟ้าของเซ็นเซอร์วัดความดันที่ปั๊ม

VH: สัญญาณแรงดันไฟฟ้าของเซ็นเซอร์วัดความดันที่หัวของกระบอกลูกสูบตัวที่ 1

VR: สัญญาณแรงดันไฟฟ้าของเซ็นเซอร์วัดความดันที่ท้ายกระบอกลูกสูบตัวที่ 1

VH2: สัญญาณแรงดันไฟฟ้าของเซ็นเซอร์วัดความดันที่หัวของกระบอกลูกสูบตัวที่ 2

VR2: สัญญาณแรงดันไฟฟ้าของเซ็นเซอร์วัดความดันที่ท้ายกระบอกลูกสูบตัวที่ 2

VFLOW: สัญญาณแรงดันไฟฟ้าของเซ็นเซอร์วัดอัตราการไหล

D: ระยะทางที่กระบอกลูกสูบตัวที่ 1 เคลื่อนที่ได้ หน่วยเป็น เซนติเมตร

D2: ระยะทางที่กระบอกลูกสูบตัวที่ 2 เคลื่อนที่ได้ หน่วยเป็น เซนติเมตร

T: เวลาที่โปรแกรมทำงาน หน่วยเป็น มิลลิวินาที

PP: ความดันที่วัดได้ที่ปั๊ม หน่วยเป็น บาร์

PH: ความดันที่วัดได้ที่หัวของกระบอกลูกสูบตัวที่ 1 หน่วยเป็น บาร์

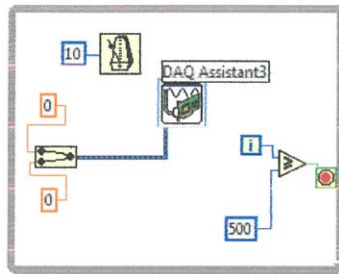
PR: ความดันที่วัดได้ที่ปลายของกระบอกลูกสูบตัวที่ 1 หน่วยเป็น บาร์

PH2: ความดันที่วัดได้ที่หัวของกระบอกลูกสูบตัวที่ 2 หน่วยเป็น บาร์

PR2: ความดันที่วัดได้ที่ปลายของกระบอกลูกสูบตัวที่ 2 หน่วยเป็น บาร์

Flow: อัตราการไหลที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ หน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

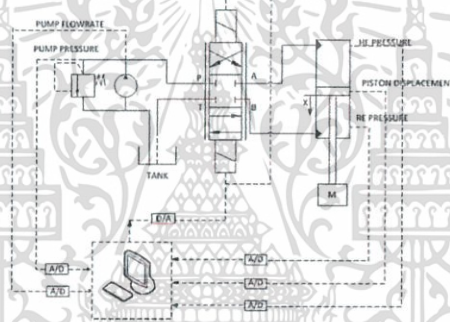
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 แสดง Code ที่ใช้ในโปรแกรม State 4 จ่ายแรงดันไฟฟ้าเป็น 0 โวลต์ เป็นเวลา 5 วินาที และโปรแกรมจบการทำงาน

3.3 รูปแบบการทดลอง

3.3.1 การทดลองที่ 1 กำลังและประสิทธิภาพของระบบไฮดรอลิก



รูปที่ 3.17 วงจรไฮดรอลิก กำลังและประสิทธิภาพของไฮดรอลิก

อุปกรณ์ที่ใช้ในชุดทดลอง: ปั๊ม, วาล์ว, กระบอกลูกสูบ, เซนเซอร์วัดระยะทาง, เซนเซอร์วัดอัตราไหล, เซนเซอร์วัดความดัน

วิธีการทดลอง

1. ต่อยังวงจรไฮดรอลิกตามรูปที่ 3.17 ชุดต้นกำลังต่อไปยัง วาล์ว และ จากวาล์วไปยังกระบอกลูกสูบ
2. จ่ายสัญญาณแรงดันไฟฟ้าไปยังวาล์วทำให้กระบอกลูกสูบยืด 20 วินาที หดกลับ 20 วินาที และรับสัญญาณจากเซนเซอร์ (ความดัน ระยะยืด และ อัตราไหล)
3. เพิ่มมวลที่ปลายกระบอกลูกสูบ 0, 12, 29.5, 47, 64.5 กิโลกรัม ตามลำดับ และทำการทดลองซ้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มวลที่ ถ่วง (Kg)	ความเร็ว (cm/s)	ความดัน (bar)			อัตรา การไหล (cm/s)
		ปั๊ม	หัว กระบอก สูบ	ปลาย กระบอก สูบ	
0					
12					
29.5					
47					
64.5					

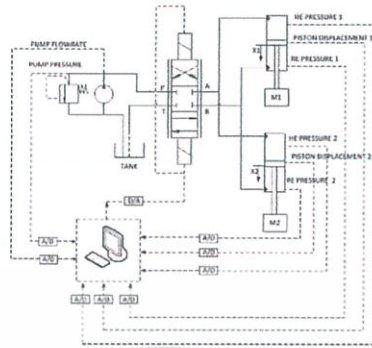
ตารางที่ 3.1 ตารางบันทึกผลกำลังและประสิทธิภาพของระบบไฮดรอลิก

สิ่งที่ต้องวิเคราะห์

1. มวลของก้านสูบ
2. การเปลี่ยนแปลงความดันของระบบไฮดรอลิกที่เวลาต่างๆในการทดลองและเมื่อน้ำหนักของมวลถ่วงที่เปลี่ยนแปลงไป
3. กำลังและประสิทธิภาพ ของกระบอกสูบ ปั๊ม และระบบไฮดรอลิกที่เวลาต่างๆในการทดลองและเมื่อน้ำหนักของมวลถ่วงที่เปลี่ยนแปลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การทดลองที่ 2 การต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 ตัว แบบขนาน



รูปที่ 3.18 การต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 ตัว แบบขนาน

อุปกรณ์ที่ใช้ในชุดทดลอง: บั้ม, วาล์ว, กระบอกสูบ 2 ตัว, เซนเซอร์วัดระยะทาง , เซนเซอร์วัดอัตราการไหล, เซนเซอร์วัดความดัน

วิธีการทดลอง

1. จากรูปที่ 3.18 ท่อสามทางถูกติดตั้งที่ตำแหน่งทางแยกของสายน้ำมันเข้าวาล์วทั้งสองฝั่งโดยมวลที่กระบอกสูบทั้งสองมีค่าไม่เท่ากัน บันทึกค่าระยะทาง ความดัน และอัตราการไหล ที่ได้จากเซ็นเซอร์
2. จ่ายสัญญาณไฟฟ้าไปยังวาล์วทำให้กระบอกสูบยืด 20 วินาที หด 20 วินาที และบันทึกค่าที่ได้จากเซ็นเซอร์ (ความดัน ระยะยืด อัตราไหล)
3. เพิ่มมวลที่ปลายกระบอกสูบ 0, 12, 29.5, 47, 64.5 กิโลกรัม ตามลำดับ และทำการทดลองซ้ำ

	มวล (Kg)	ความเร็ว (cm/s)	ความดัน(bar)		
			HE	RE	Pump
กระบอกสูบที่ 1					
กระบอกสูบที่ 2					

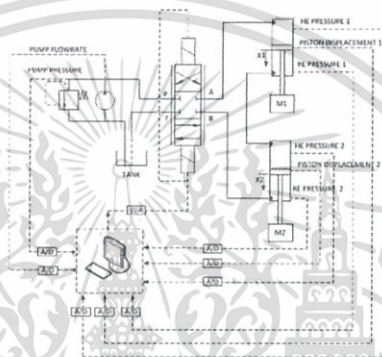
ตารางที่ 3.2 ตารางบันทึกผลการต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 ตัว แบบขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สิ่งที่ต้องวิเคราะห์

1. พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของกระบอกสูบทั้งสองตัวเมื่อมวลที่ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลงไป
2. การเปลี่ยนแปลงความดันของระบบไฮดรอลิกที่เวลาต่างๆในการทดลองและเมื่อน้ำหนักของมวลถ่วงที่เปลี่ยนแปลงไป

3.3.3 การทดลองที่ 3 การต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 ตัว แบบอนุกรม



รูปที่ 3.19 การต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 ตัว แบบอนุกรม

อุปกรณ์ที่ใช้ในชุดทดลอง: บั้ม, วาล์ว, กระบอกสูบ 2 ตัว, เซนเซอร์วัดระยะทาง, เซนเซอร์วัดอัตราไหล, เซนเซอร์วัดความดัน

วิธีการทดลอง

สั่งการทำงานจากโปรแกรมแลปวิวให้กระบอกสูบยัด 20 วินาที หด 20 วินาที และรับสัญญาณที่วัดได้จากเซนเซอร์ (ความดัน ระยะยัด อัตราไหล)

1. จากรูปที่ 3.19 น้ำหนักถ่วงที่ปลายกระบอกสูบทั้งสองฝั่ง นำสายน้ำมันจากปลายกระบอกสูบตัวที่ 1 ต่อเข้ากับส่วนหัวกระบอกสูบที่ 2
2. จ่ายสัญญาณไฟฟ้าไปยังวาล์วทำให้กระบอกสูบยัด 20 วินาที หด 20 วินาที และบันทึกค่าที่ได้จากเซนเซอร์ (ความดัน ระยะยัด อัตราไหล)
3. เพิ่มมวลที่ปลายกระบอกสูบ 0, 12, 29.5, 47, 64.5 กิโลกรัมตามลำดับ และทำการทดลองซ้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

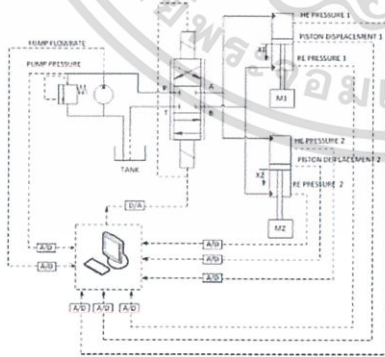
	มวล (Kg)	จังหวะยืด			จังหวะหด		
		ความเร็ว (cm/s)	ความดัน(bar)		ความเร็ว (cm/s)	ความดัน(bar)	
			Pump	HE		RE	Pump
กระบอกสูบที่ 1							
กระบอกสูบที่ 2							

ตารางที่ 3.3 ตารางบันทึกผลการต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 ตัว แบบอนุกรม

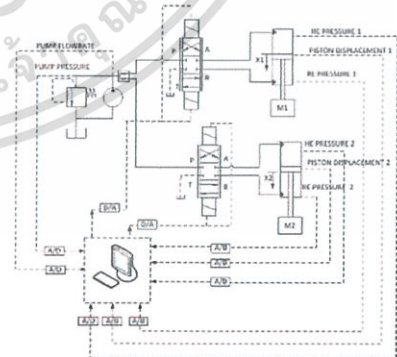
สิ่งที่ต้องวิเคราะห์

1. พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของกระบอกสูบทั้งสองตัวเมื่อมวลที่ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลงไป
2. การเปลี่ยนแปลงความดันของระบบไฮดรอลิกที่เวลาต่างๆในการทดลองและเมื่อน้ำหนักของมวลถ่วงที่เปลี่ยนแปลงไป
3. พิจารณาความสัมพันธ์ของความดันกับแรงที่เกิดขึ้นภายในระบบไฮดรอลิก

3.3.4 การทดลองที่ 4 การเปรียบเทียบผลของการใช้ข้อต่อสามทาง และ Flow divider



รูปที่ 3.20 วงจรการใช้ข้อต่อสามทาง



รูปที่ 3.21 วงจรการใช้ Flow divider

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ที่ใช้ในชุดทดลอง: ปัม, วาล์ว, กระจบอสูบ 2 ตัว, เซนเซอร์วัดระยะทาง , เซนเซอร์วัดอัตราไหล, เซนเซอร์วัดความดัน

วิธีการทดลอง

1. ข้อต่อสามทางและ Flow divider ถูกติดตั้งตำแหน่งทางแยกของสายน้ำมันที่เข้าวาล์วทั้งสองฝั่งโดยมวลที่กระจบอสูบทั้งสองมีค่าไม่เท่ากัน
2. สั่งการทำงานจากโปรแกรมแลปวิวให้กระจบอสูบยึด 20 วินาที ทด 20 วินาที และบันทึกค่าที่วัดได้จากเซนเซอร์ (ความดัน ระยะยึด และ อัตราไหล)
3. เพิ่มมวลที่ปลายกระจบอสูบ 0, 12, 29.5, 47, 64.5 กิโลกรัมตามลำดับ และทำการทดลองซ้ำ

	มวล (Kg)	ความเร็ว (cm/s)	ความดัน (bar)		
			HE	RE	Pump
กระจบอสูบที่ 1					
กระจบอสูบที่ 2					

ตารางที่ 3.4 ตารางบันทึกผลของการใช้ข้อต่อสามทาง และ Flow divider

สิ่งที่ต้องวิเคราะห์

1. พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของกระจบอสูบทั้งสองตัวเมื่อมวลที่ถ่วงที่ปลายกระจบอสูบที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลงไป
2. การเปลี่ยนแปลงความดันของระบบไฮดรอลิกที่เวลาต่างๆในการทดลองและเมื่อน้ำหนักของมวลถ่วงที่เปลี่ยนแปลงไป
3. พิจารณาการแบ่งการไหลของน้ำมันในวงจรไฮดรอลิกที่ใช้ข้อต่อสามทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

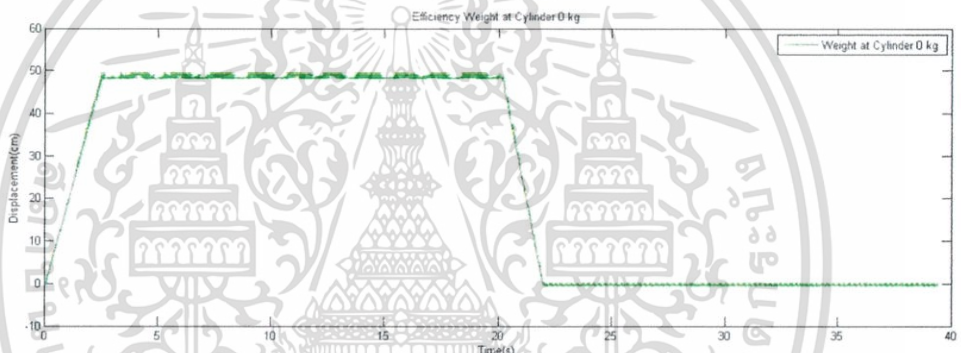
ผลการทดลอง

จากการทดลองแบ่งออกเป็น 4 การทดลองดังนี้

1. ผลการทดลองกำลัง และ ประสิทธิภาพของระบบไฮดรอลิก
2. การต่อกระบอสูบไฮดรอลิก 2 ตัว แบบขนาน
3. การต่อกระบอสูบไฮดรอลิก 2 ตัว แบบอนุกรม
4. การเปรียบเทียบผลของการใช้ข้อต่อสามทาง และ Flow divider

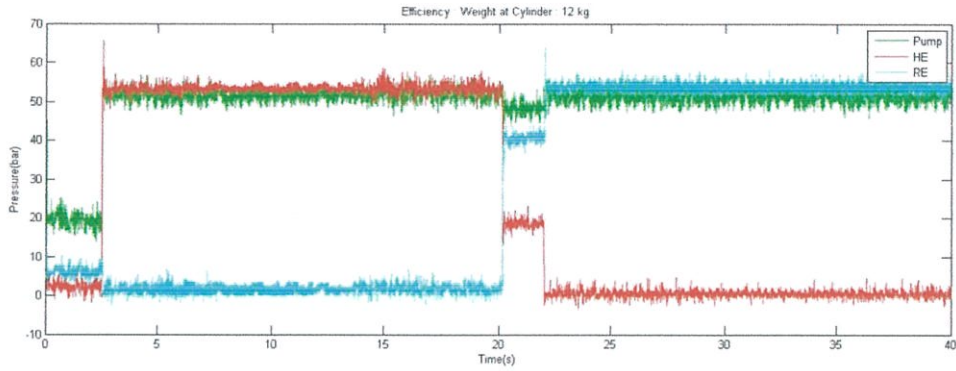
4.1. ผลการทดลองกำลัง และ ประสิทธิภาพของระบบไฮดรอลิก

4.1.1 กระบอสูบถ่วงมวลที่ 0 กิโลกรัม



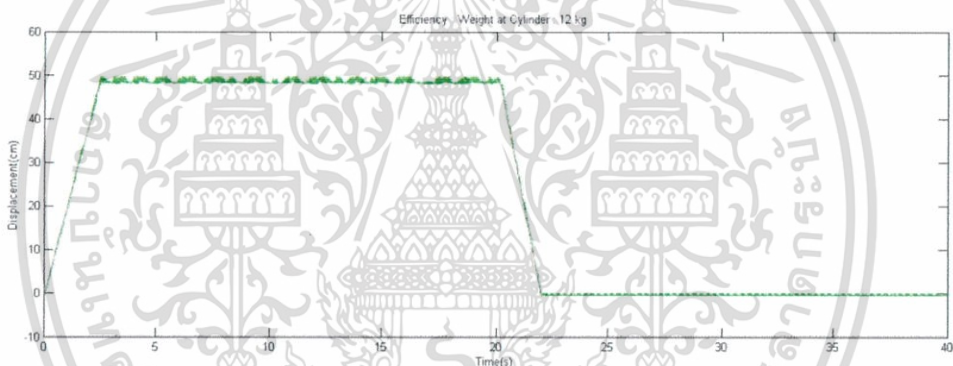
รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและเวลาในการทดลองกำลังและประสิทธิภาพของระบบไฮดรอลิกเมื่อกระบอสูบ ไม่มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอสูบ

จากรูปที่ 4.1 และ 4.2 ในจังหวะที่กระบอสูบยืดออกที่วินาทีที่ 0 ถึง 3 กระบอสูบยืดออกด้วยความเร็ว 19.643 เซนติเมตรต่อวินาที พบว่าความดันที่ส่วนหัวของกระบอกลดลงเนื่องจากทิศการไหลของน้ำมัน จากปั๊มเข้าสู่กระบอสูบเป็นทิศทางเดียวกับแรงโน้มถ่วงกระทำกับกระบอสูบ ส่งผลให้กระบอสูบเคลื่อนที่เร็วกว่าที่ปั๊มจะเติมน้ำมันเข้ามาในกระบอสูบได้ เรียกสภาวะนี้ว่า 'Overrunning load' ในจังหวะที่กระบอสูบหดกลับตั้งแต่วินาทีที่ 20 ถึง 22 กระบอสูบหดกลับด้วยความเร็ว 26.107 เซนติเมตรต่อวินาที ความเร็วในการหดกลับของกระบอสูบเร็วกว่าความเร็วในการยืดออกเพราะว่า ในจังหวะหดกลับพื้นที่ในการดันลูกสูบของน้ำมันมีน้อยกว่าจังหวะยืดออก ความดันที่ปลายกระบอสูบในจังหวะยืดออกและความดันที่หัวกระบอสูบในจังหวะหดกลับไม่เท่ากับความดันบรรยากาศเพราะสมดุลของแรงในกระบอสูบและน้ำมันจากหัวกระบอสูบสามารถไหลกลับถึงเก็บน้ำมันได้เนื่องจากมีความดันมากกว่าความดันบรรยากาศที่ถังเก็บ



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลา ในการทดลองกำลังและประสิทธิภาพของระบบไฮดรอลิกเมื่อกระบอกสูบไม่มีมวลถ่วง

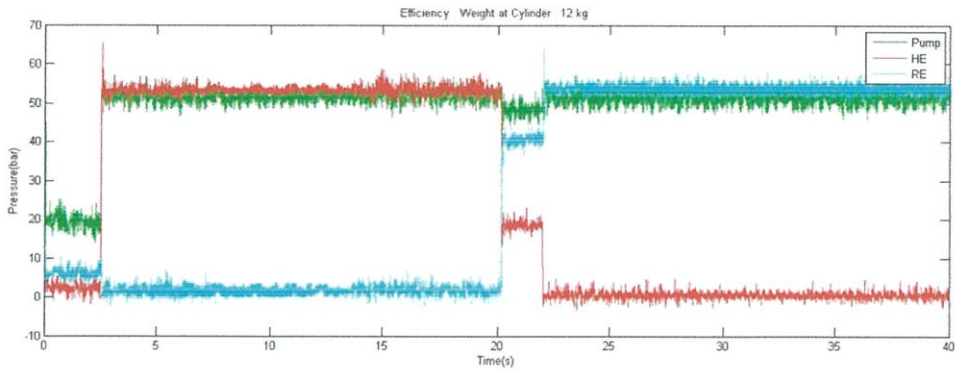
4.1.2 กระบอกสูบถ่วงมวลที่ 12 กิโลกรัม



รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและเวลาในการทดลองกำลังและประสิทธิภาพของระบบไฮดรอลิกเมื่อกระบอกสูบ มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ 12 กิโลกรัม

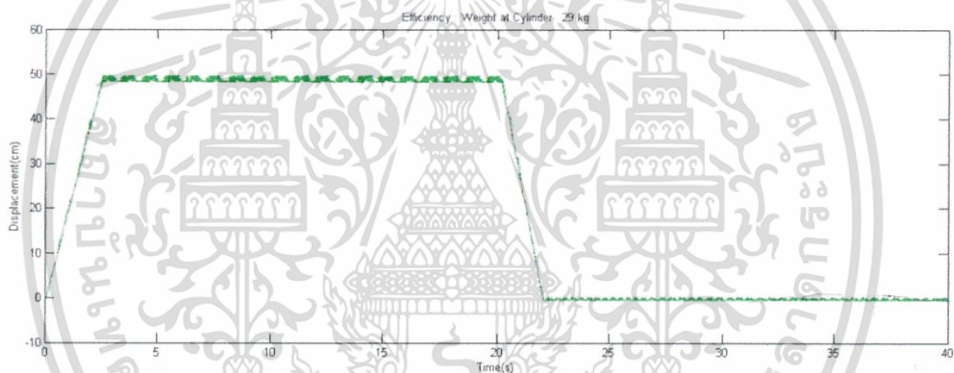
จากรูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4 ในจังหวะกระบอกสูบยืดออกและหดกลับเกิดเหตุการณ์เช่นเดียวกับกรณีที่ไม่มีมวลถ่วงคือ พบว่าเมื่อวาล์วเปิดกระบอกสูบยืดออกด้วยความเร็ว 19.459 เซนติเมตรต่อวินาที และในจังหวะหดกลับกระบอกสูบหดกลับด้วยความเร็ว 26.052 เซนติเมตรต่อวินาที ความเร็วในการเคลื่อนที่ในจังหวะยืดออกเพิ่มมากขึ้นและลดลงในจังหวะหดกลับเนื่องจากมวลที่เพิ่มมากขึ้น ความแตกต่างของความดันที่ส่วนหัวและปลายกระบอกสูบเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากมวลที่ถ่วงเช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



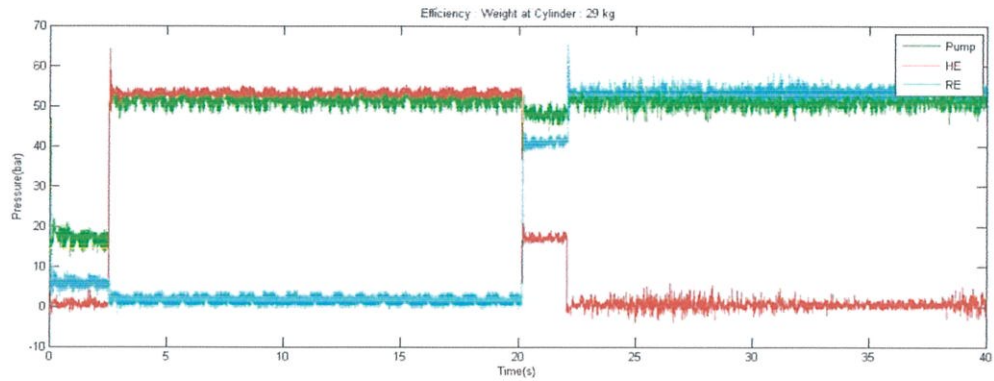
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลา ในการทดลองกำลังและประสิทธิภาพของระบบไฮดรอลิกเมื่อกระบอกสูบมีมวลถ่วง 12 กิโลกรัม

4.1.3 กระบอกสูบถ่วงมวลที่ 29.5 กิโลกรัม



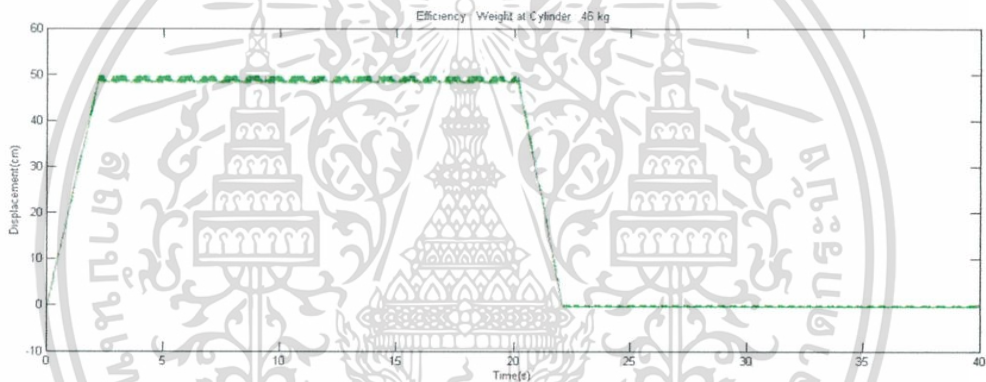
รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและเวลาในการทดลองกำลังและประสิทธิภาพของระบบไฮดรอลิกเมื่อกระบอกสูบ มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ 29.5 กิโลกรัม

จากรูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6 ในจังหวะกระบอกสูวยืดออกและหดกลับเกิดเหตุการณ์เช่นเดียวกับกรณีที่ผ่านมาโดยพบว่าเมื่อวาล์วเปิดกระบอกสูวยืดออกด้วยความเร็ว 25.323 เซนติเมตรต่อวินาที ที่วินาทีที่ 0 ถึง 3 ในจังหวะหดกลับกระบอกสูบหดกลับด้วยความเร็ว 19.410 เซนติเมตรต่อวินาที ในวินาทีที่ 20 ถึง 22 ซึ่งในกรณีนี้ความเร็วในการยืดออกของกระบอกสูบมีมากกว่าความเร็วในการหดกลับเนื่องจากแรงที่กระทำกับกระบอกสูบที่มากขึ้นในจังหวะยืดออก ทำให้สภาวะจาก 'overrunning load' เห็นชัดมากขึ้น



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลา ในการทดลองกำลังและประสิทธิภาพของระบบไฮดรอลิกเมื่อกระบอกสูบมีมวลถ่วง 29.5 กิโลกรัม

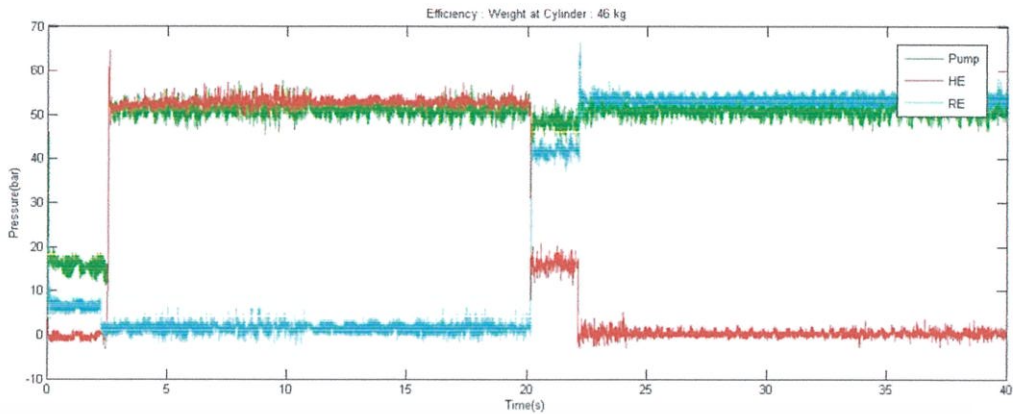
4.1.4 กระบอกสูบถ่วงมวลที่ 47 กิโลกรัม



รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและเวลาในการทดลองกำลังและประสิทธิภาพของระบบไฮดรอลิกเมื่อกระบอกสูบ มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ 47 กิโลกรัม

จากรูปที่ 4.7 และรูปที่ 4.8 ในจังหวะกระบอกสูยี่ตออกและหดกลับเกิดเหตุการณ์เช่นเดียวกับกรณีที่ผ่านมาโดยพบว่าเมื่อวาล์วเปิดกระบอกสูยี่ตออกด้วยความเร็ว 22.257 เซนติเมตรต่อวินาที ในจังหวะกระบอกสูบหดกลับด้วยความเร็ว 17.620 เซนติเมตรต่อวินาที และในขณะที่จังหวะกระบอกสูยี่ตออกจนสุดในเวลาประมาณหนึ่งวินาที ความดันที่ส่วนหัวของกระบอกสูยี่ตยังไม่เพิ่มขึ้นเนื่องจากสภาวะ 'overrunning load' น้ำมันจากปั๊มยังไหลเข้ามาเติมในกระบอกสูยี่ตไม่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลา ในการทดลองกำลังและประสิทธิภาพของระบบไฮดรอลิกเมื่อกระบอกสูบมีมวลถ่วง 47 กิโลกรัม

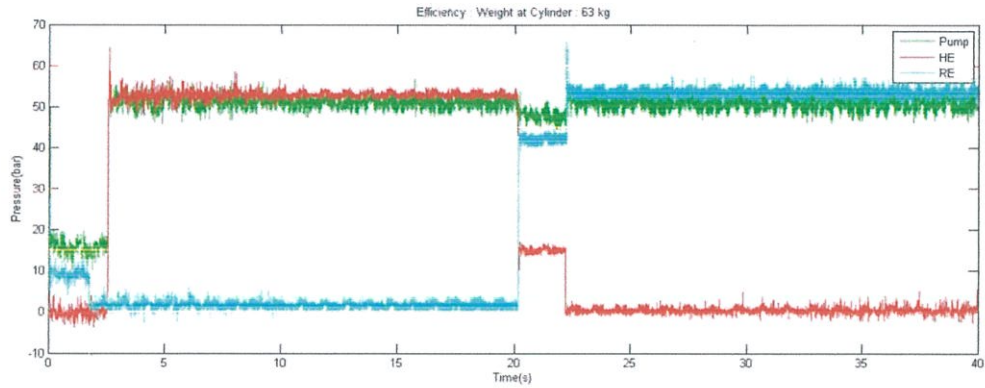
4.1.5 กระบอกสูบถ่วงมวลที่ 64.5 กิโลกรัม



รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและเวลาในการทดลองกำลังและประสิทธิภาพของระบบไฮดรอลิกเมื่อกระบอกสูบ มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ 64.5 กิโลกรัม

จากรูปที่ 4.9 และรูปที่ 4.10 ในจังหวะกระบอกสูบบีบอัดและหดกลับเกิดเหตุการณ์เช่นเดียวกับกรณีที่ผ่านมาโดย พบว่าเมื่อวาล์วเปิดกระบอกสูบบีบอัดด้วยความเร็ว 29.58 เซนติเมตรต่อวินาที ในจังหวะกระบอกสูบหดกลับด้วยความเร็ว 24.30 เซนติเมตรต่อวินาที โดยในจังหวะกระบอกสูบบีบอัดจนสุดทำให้ความดันที่ส่วนปลายของกระบอกสูบเท่ากับความดันบรรยากาศ แต่ความดันที่ส่วนหัวของกระบอกสูบบีบอัดอยู่เนื่องจากปั๊มยังจ่ายน้ำมันไม่เต็มกระบอกสูบเนื่องจากมวลที่มากขึ้นกระบอกสูบบีบอัดสุดเร็วขึ้นทำให้ระยะนี้นานขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลา ในการทดลองกำลังและประสิทธิภาพของระบบไฮดรอลิกเมื่อกระบอกสูบมีมวลถ่วง 63.5 กิโลกรัม

ผลช่วงกระบอกสูบยืดออก สรุปได้ดังตาราง

มวลที่ถ่วง (Kg)	ความเร็ว (cm/s)	ความดัน (bar)			อัตราการไหล (m^3/s)
		ปั๊ม	หัวกระบอกสูบ	ปลายกระบอกสูบ	
0 kg	19.643	21.455	3.428	6.038	0.00013
12 kg	19.549	19.579	2.799	6.070	0.00013
29.5 kg	19.410	17.295	1.035	5.781	0.00013
47 kg	21.230	16.275	0.317	5.816	0.00014
64.5 kg	21.778	15.982	0.306	6.664	0.00015

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์ในการทดลองกำลังและประสิทธิภาพของระบบไฮดรอลิกช่วงยืดของกระบอกสูบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลช่วงกระบอกสูบหดกลับ สรุปรูปได้ดังตาราง

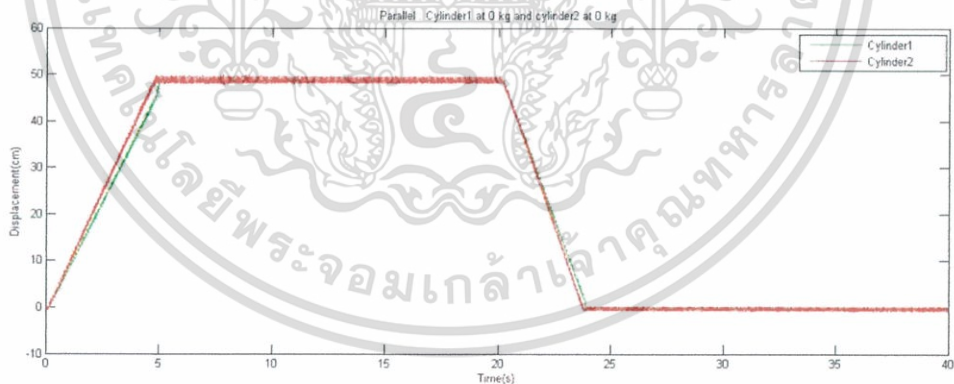
มวลที่ถ่วง (Kg)	ความเร็ว (cm/s)	ความดัน (bar)			อัตราการไหล (m^3/s)
		ปั๊ม	หัวกระบอกสูบ	ปลายกระบอกสูบ	
0	26.107	48.612	19.286	40.251	0.00013
12	26.053	48.503	18.488	40.538	0.00013
29.5	25.323	48.168	17.077	40.928	0.00013
47	24.636	48.485	16.024	41.814	0.00013
64.5	23.832	48.004	14.967	42.200	0.00013

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์ในการทดลองกำลังและประสิทธิภาพของระบบไฮดรอลิกช่วงหดของกระบอกสูบ

4.2. การทดลองการต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 ตัว แบบขนาน

4.2.1 กระบอกสูบที่ 1 และกระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ 0

กิโลกรัม

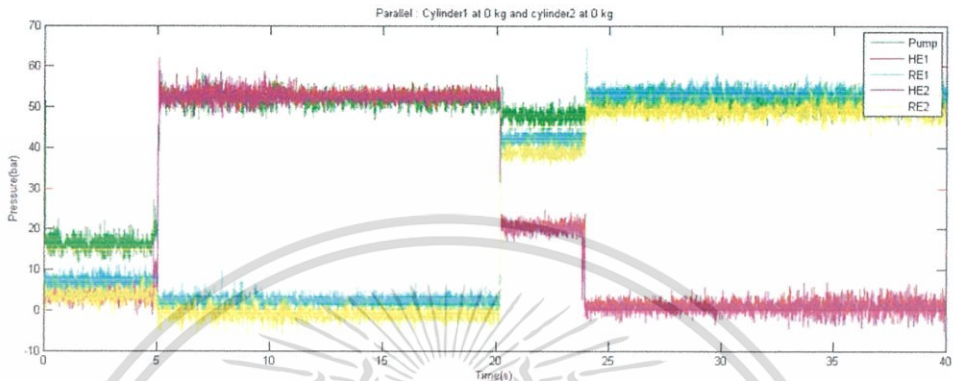


รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระยะทางกับเวลาในวงจรไฮดรอลิกแบบขนาน เมื่อกระบอกสูบไม่มีมวลถ่วง

จากรูปที่ 4.11 และรูปที่ 4.12 ในช่วงวินาทีที่ 1 ถึง 5 กระบอกสูบทั้งสองยืดออกด้วยความเร็วที่ใกล้เคียงกันแต่กระบอกสูบที่ 1 เคลื่อนที่ด้วยความเร็วช้ากว่าเล็กน้อยเนื่องจากการสูญเสียในระบบเช่น การรั่วภายใน แรงเสียดทานในกระบอกสูบที่ 1 ที่มากกว่า เป็นต้น ความดันที่ส่วนหัวของกระบอกสูบทั้งสองลดลงเนื่องจาก สภาวะ 'Overrunning load' และเมื่อกระบอกสูบทั้งสองยืด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกจนสุด ในวินาทีที่ 20 ถึง 24 เป็นจังหวะที่กระบอกสูบทั้งสองหดกลับ กระบอกทั้งสองหดกลับด้วยความเร็วที่ใกล้เคียงกันโดยที่กระบอกสูบที่ 1 ซ้ำกว่ากระบอกที่ 2 แสดงว่าต้องใช้แรงที่มากกว่าในการทำให้กระบอกสูบที่ 1 หดกลับ ซึ่งเป็นไปตามกราฟความดันความแตกต่างของความดันที่ปลายกระบอกสูบและที่หัวกระบอกสูบของกระบอกสูบที่ 1 มีมากกว่าของกระบอกสูบที่ 2



รูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ความดันกับเวลาในวงจรไฮดรอลิกแบบขนาน เมื่อกระบอกสูบไม่มีมวล

จังหวะ ยืดออก	มวล (Kg)	ความเร็ว (cm/s)		ความดัน(bar)					
				Pump		HE		RE	
		ช่วงที่1	ช่วงที่2	ช่วงที่1	ช่วงที่2	ช่วงที่1	ช่วงที่2	ช่วงที่1	ช่วงที่2
กระบอก สูบที่ 1	0	9.58	18.29	16.53	-	4.00	-	6.85	-
กระบอก สูบที่ 2	0	10.49	-			3.28	-	3.60	-

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์ในการทดลองวงจรไฮดรอลิกแบบขนานช่วงยืดของกระบอกสูบ ไม่มีมวลถ่วงกระบอกสูบ

จังหวะ หดกลับ	มวล (Kg)	ความเร็ว (cm/s)		ความดัน(bar)					
				Pump		HE		RE	
		ช่วงที่1	ช่วงที่2	ช่วงที่1	ช่วงที่2	ช่วงที่1	ช่วงที่2	ช่วงที่1	ช่วงที่2
กระบอก สูบที่ 1	0	12.85	-	47.86	-	21.64	-	42.22	-
กระบอก สูบที่ 2	0	13.49	-			20.32	-	38.85	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด **ตารางที่ 4.4** ตารางแสดงข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์ในการทดลองวงจรไฮดรอลิกแบบขนานช่วงหด

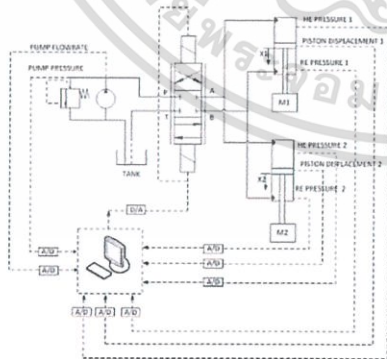
	มวล (Kg)	จิ้งหะยี่ด			จิ้งหะหด		
		ความเร็ว (cm/s)	ความดัน(bar)		ความเร็ว (cm/s)	ความดัน(bar)	
			Pump	HE		RE	Pump
กระบอก สูบที่ 1							
กระบอก สูบที่ 2							

ตารางที่ 3.3 ตารางบันทึกผลการต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 ตัว แบบอนุกรม

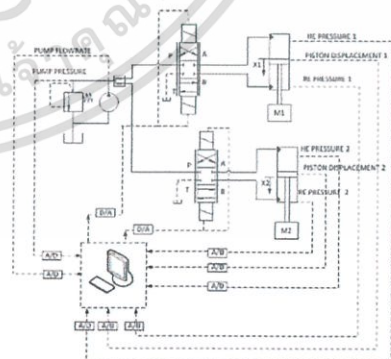
สิ่งที่ต้องวิเคราะห์

1. พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของกระบอกสูบทั้งสองตัวเมื่อมวลที่ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลงไป
2. การเปลี่ยนแปลงความดันของระบบไฮดรอลิกที่เวลาต่างๆในการทดลองและเมื่อน้ำหนักของมวลถ่วงที่เปลี่ยนแปลงไป
3. พิจารณาความสัมพันธ์ของความดันกับแรงที่เกิดขึ้นภายในระบบไฮดรอลิก

3.3.4 การทดลองที่ 4 การเปรียบเทียบผลของการใช้ข้อต่อสามทาง และ Flow divider



รูปที่ 3.20 วงจรการใช้ข้อต่อสามทาง



รูปที่ 3.21 วงจรการใช้ Flow divider

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ที่ใช้ในชุดทดลอง: บีม, วาล์ว, กระจบอกสูบ 2 ตัว, เซนเซอร์วัดระยะทาง , เซนเซอร์วัดอัตราไหล, เซนเซอร์วัดความดัน

วิธีการทดลอง

1. ข้อต่อสามทางและ Flow divider ถูกติดตั้งตำแหน่งทางแยกของสายน้ำมันที่เข้าวาล์วทั้งสองฝั่งโดยมวลที่กระจบอกสูบทั้งสองมีค่าไม่เท่ากัน
2. สั่งการทำงานจากโปรแกรมแลปวิวให้กระจบอกสูบยึด 20 วินาที หด 20 วินาที และบันทึกค่าที่วัดได้จากเซนเซอร์ (ความดัน ระยะยึด และ อัตราไหล)
3. เพิ่มมวลที่ปลายกระจบอกสูบ 0, 12, 29.5, 47, 64.5 กิโลกรัมตามลำดับ และทำการทดลองซ้ำ

	มวล (Kg)	ความเร็ว (cm/s)	ความดัน (bar)		
			HE	RE	Pump
กระจบอกสูบที่ 1					
กระจบอกสูบที่ 2					

ตารางที่ 3.4 ตารางบันทึกผลของการใช้ข้อต่อสามทาง และ Flow divider

สิ่งที่ต้องวิเคราะห์

1. พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของกระจบอกสูบทั้งสองตัวเมื่อมวลที่ถ่วงที่ปลายกระจบอกสูบที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลงไป
2. การเปลี่ยนแปลงความดันของระบบไฮดรอลิกที่เวลาต่างๆในการทดลองและเมื่อน้ำหนักของมวลถ่วงที่เปลี่ยนแปลงไป
3. พิจารณาการแบ่งการไหลของน้ำมันในวงจรไฮดรอลิกที่ใช้ข้อต่อสามทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

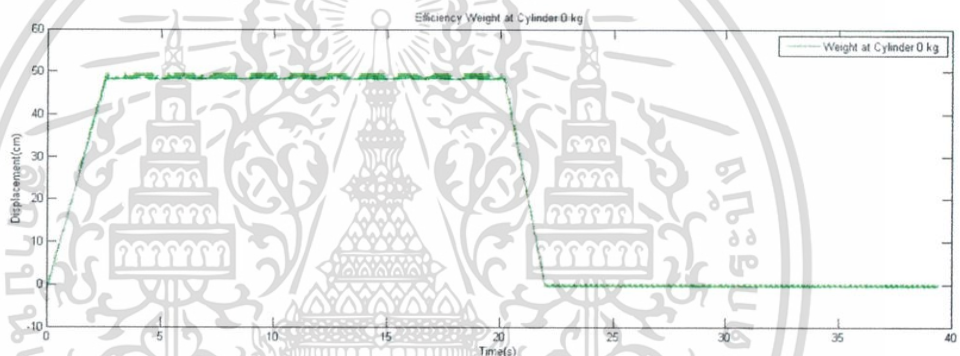
ผลการทดลอง

จากการทดลองแบ่งออกเป็น 4 การทดลองดังนี้

1. ผลการทดลองกำลัง และ ประสิทธิภาพของระบบไฮดรอลิก
2. การต่อกระบอสูบไฮดรอลิก 2 ตัว แบบขนาน
3. การต่อกระบอสูบไฮดรอลิก 2 ตัว แบบอนุกรม
4. การเปรียบเทียบผลของการใช้ข้อต่อสามทาง และ Flow divider

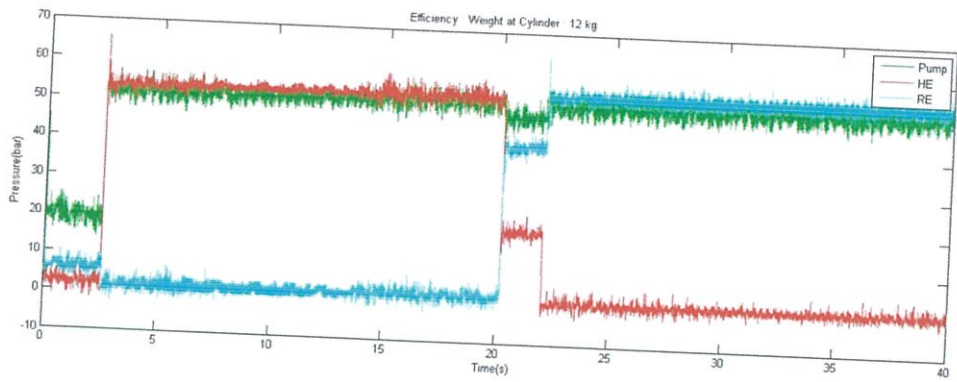
4.1. ผลการทดลองกำลัง และ ประสิทธิภาพของระบบไฮดรอลิก

4.1.1 กระบอสูบถ่วงมวลที่ 0 กิโลกรัม



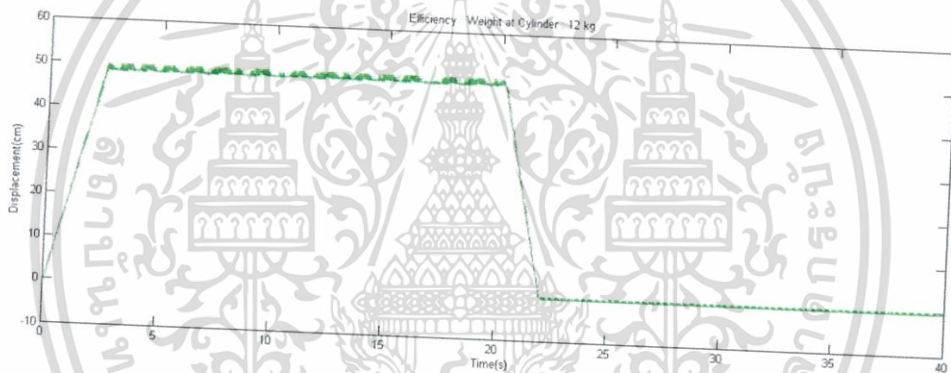
รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและเวลาในการทดลองกำลังและประสิทธิภาพของระบบไฮดรอลิกเมื่อกระบอสูบ ไม่มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอสูบ

จากรูปที่ 4.1 และ 4.2 ในจังหวะที่กระบอสูบยืดออกที่วินาทีที่ 0 ถึง 3 กระบอสูบยืดออกด้วยความเร็ว 19.643 เซนติเมตรต่อวินาที พบว่าความดันที่ส่วนหัวของกระบอกลดลงเนื่องจากทิศการไหลของน้ำมัน จากปั๊มเข้าสู่กระบอสูบเป็นทิศทางเดียวกับแรงโน้มถ่วงกระทำกับกระบอสูบ ส่งผลให้กระบอสูบเคลื่อนที่เร็วกว่าที่ปั๊มจะเติมน้ำมันเข้ามาในกระบอสูบได้ เรียกสภาวะนี้ว่า 'Overrunning load' ในจังหวะที่กระบอสูบหดกลับตั้งแต่วินาทีที่ 20 ถึง 22 กระบอสูบหดกลับด้วยความเร็ว 26.107 เซนติเมตรต่อวินาที ความเร็วในการหดกลับของกระบอสูบเร็วกว่าความเร็วในการยืดออกเพราะว่า ในจังหวะหดกลับพื้นที่ในการดันลูกสูบของน้ำมันมีน้อยกว่าจังหวะยืดออก ความดันที่ปลายกระบอสูบในจังหวะยืดออกและความดันที่หัวกระบอสูบในจังหวะหดกลับไม่เท่ากับความดันบรรยากาศเพราะสมดุลของแรงในกระบอสูบและน้ำมันจากหัวกระบอสูบสามารถไหลกลับถึงแก่น้ำมันได้เนื่องจากมีความดันมากกว่าความดันบรรยากาศที่ถังเก็บ



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลา ในการทดลองกำลังและประสิทธิภาพของระบบไฮดรอลิกเมื่อกระบอกสูบไม่มีมวลถ่วง

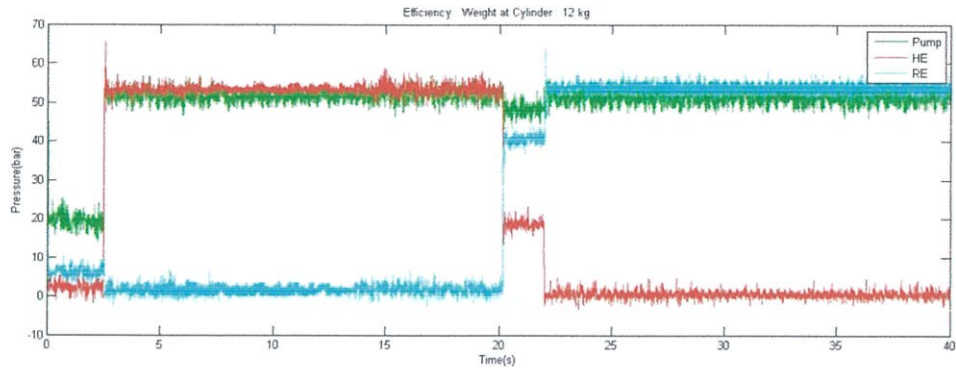
4.1.2 กระบอกสูบถ่วงมวลที่ 12 กิโลกรัม



รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและเวลาในการทดลองกำลังและประสิทธิภาพของระบบไฮดรอลิกเมื่อกระบอกสูบ มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ 12 กิโลกรัม

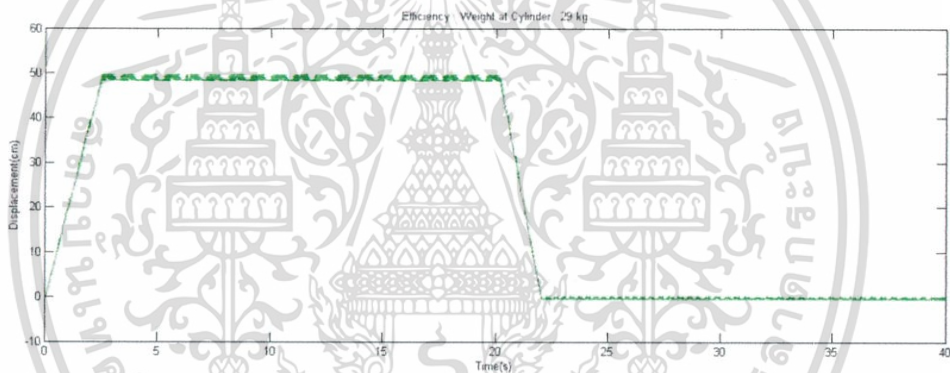
จากรูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4 ในจังหวะกระบอกสูบยืดออกและหดกลับเกิดเหตุการณ์เช่นเดียวกับกรณีที่ไม่มีมวลถ่วงใด พบว่าเมื่อวาล์วเปิดกระบอกสูบยืดออกด้วยความเร็ว 19.459 เซนติเมตรต่อวินาที และในจังหวะหดกลับกระบอกสูบหดกลับด้วยความเร็ว 26.052 เซนติเมตรต่อวินาที ความเร็วในการเคลื่อนที่ในจังหวะยืดออกเพิ่มมากขึ้นและลดลงในจังหวะหดกลับเนื่องจากมวลที่เพิ่มมากขึ้น ความแตกต่างของความดันที่ส่วนหัวและปลายกระบอกสูบเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากมวลที่ถ่วงเช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



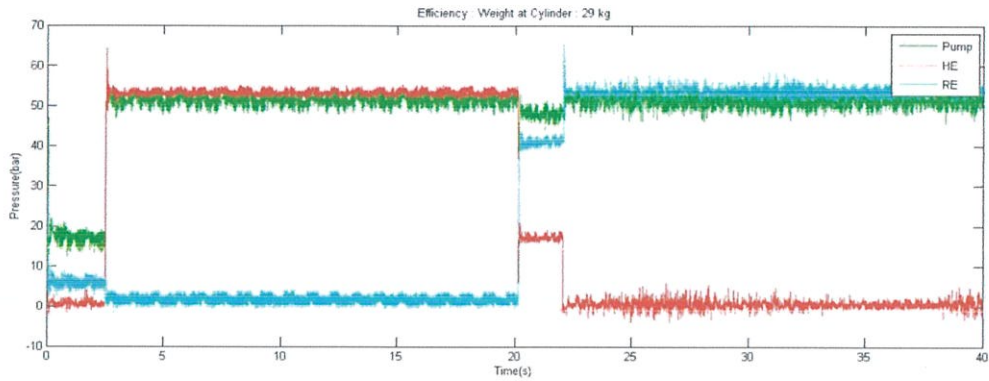
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลา ในการทดลองกำลังและประสิทธิภาพของระบบไฮดรอลิกเมื่อกระบอกสูบมีมวลถ่วง 12 กิโลกรัม

4.1.3 กระบอกสูบถ่วงมวลที่ 29.5 กิโลกรัม



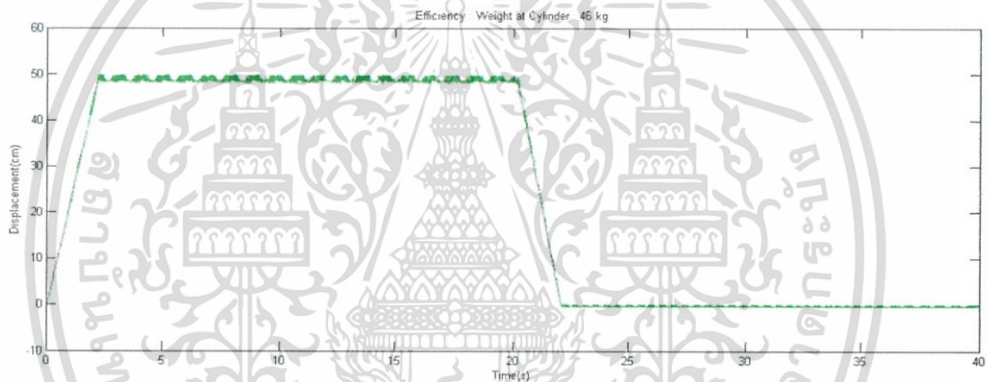
รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและเวลาในการทดลองกำลังและประสิทธิภาพของระบบไฮดรอลิกเมื่อกระบอกสูบ มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ 29.5 กิโลกรัม

จากรูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6 ในจังหวะกระบอกสูบยืดออกและหดกลับเกิดเหตุการณ์เช่นเดียวกับกรณีที่ผ่านมาโดยพบว่าเมื่อวาล์วเปิดกระบอกสูบยืดออกด้วยความเร็ว 25.323 เซนติเมตรต่อวินาที ที่วินาทีที่ 0 ถึง 3 ในจังหวะหดกลับกระบอกสูบหดกลับด้วยความเร็ว 19.410 เซนติเมตรต่อวินาที ในวินาทีที่ 20 ถึง 22 ซึ่งในกรณีนี้ความเร็วในการยืดออกของกระบอกสูบมีมากกว่าความเร็วในการหดกลับเนื่องจากแรงที่กระทำกับกระบอกสูบที่มากขึ้นในจังหวะยืดออก ทำให้สภาวะจาก 'overrunning load' เห็นชัดมากขึ้น



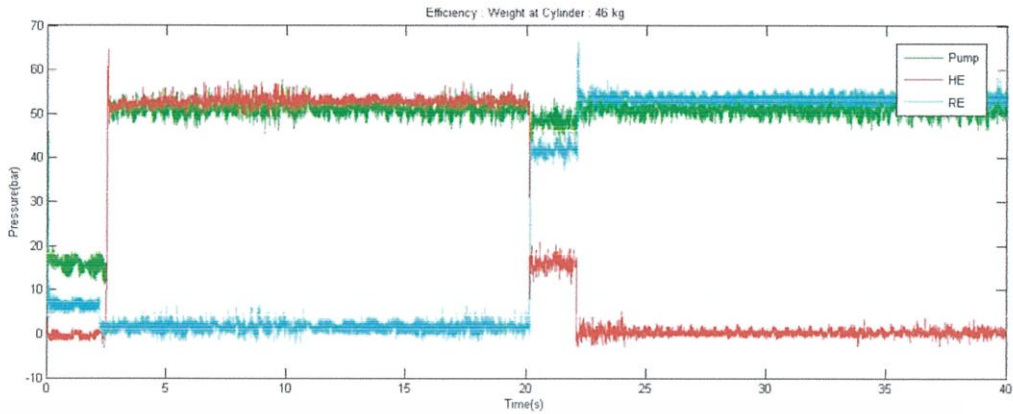
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลา ในการทดลองกำลังและประสิทธิภาพของระบบไฮดรอลิกเมื่อกระบอกสูบมีมวลถ่วง 29.5 กิโลกรัม

4.1.4 กระบอกสูบถ่วงมวลที่ 47 กิโลกรัม



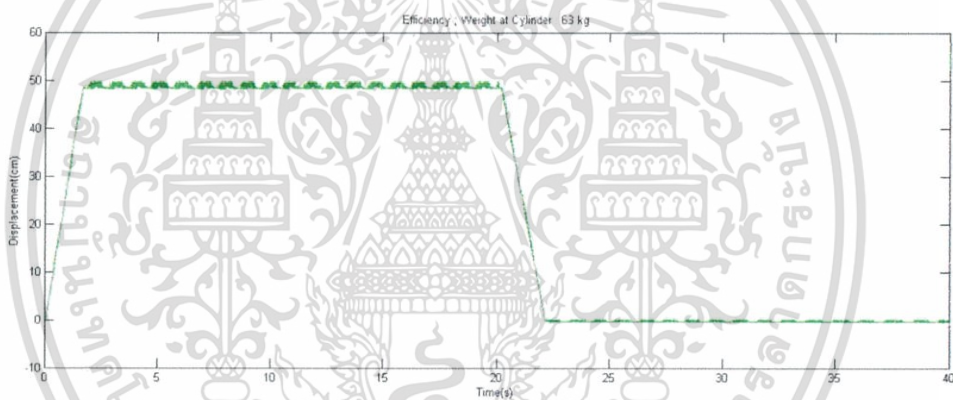
รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและเวลาในการทดลองกำลังและประสิทธิภาพของระบบไฮดรอลิกเมื่อกระบอกสูบ มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ 47 กิโลกรัม

จากรูปที่ 4.7 และรูปที่ 4.8 ในจังหวะกระบอกสูยยืดออกและหดกลับเกิดเหตุการณ์เช่นเดียวกับกรณีที่ผ่านมาโดยพบว่าเมื่อวาล์วเปิดกระบอกสูยยืดออกด้วยความเร็ว 22.257 เซนติเมตรต่อวินาที ในจังหวะกระบอกสูบหดกลับด้วยความเร็ว 17.620 เซนติเมตรต่อวินาที และในขณะที่จังหวะกระบอกสูยยืดออกจนสุดในเวลาประมาณหนึ่งวินาที ความดันที่ส่วนหัวของกระบอกสูบยังไม่เพิ่มขึ้นเนื่องจากสภาวะ 'overrunning load' น้ำมันจากปั๊มยังไหลเข้ามาเติมในกระบอกสูบไม่เต็ม



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลา ในการทดลองกำลังและประสิทธิภาพของระบบไฮดรอลิกเมื่อกระบอกสูบมีมวลถ่วง 47 กิโลกรัม

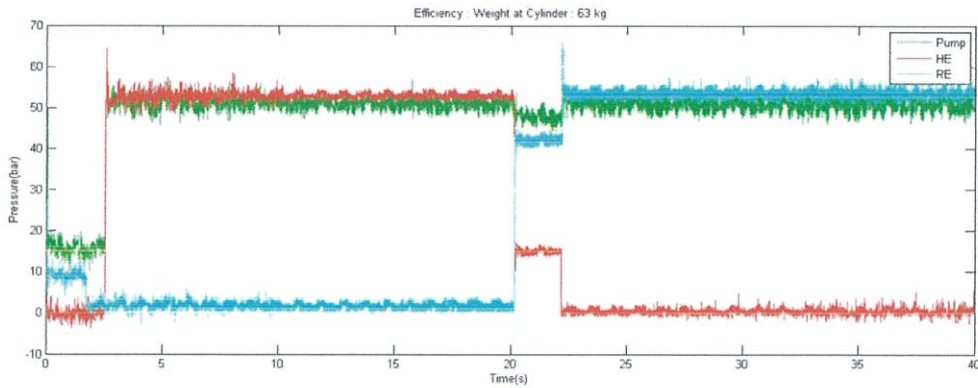
4.1.5 กระบอกสูบถ่วงมวลที่ 64.5 กิโลกรัม



รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและเวลาในการทดลองกำลังและประสิทธิภาพของระบบไฮดรอลิกเมื่อกระบอกสูบ มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ 64.5 กิโลกรัม

จากรูปที่ 4.9 และรูปที่ 4.10 ในจังหวะกระบอกสูบยืดออกและหดกลับเกิดเหตุการณ์เช่นเดียวกับกรณีที่ผ่านมาโดย พบว่าเมื่อวาล์วเปิดกระบอกสูบยืดออกด้วยความเร็ว 29.58 เซนติเมตรต่อวินาที ในจังหวะกระบอกสูบหดกลับด้วยความเร็ว 24.30 เซนติเมตรต่อวินาที โดยในจังหวะกระบอกสูบยืดจนสุดทำให้ความดันที่ส่วนปลายของกระบอกสูบเท่ากับความดันบรรยากาศ แต่ความดันที่ส่วนหัวของกระบอกสูบยังคงอยู่เนื่องจากปั๊มยังจ่ายน้ำมันไม่เต็มกระบอกสูบเนื่องจากมวลที่มากขึ้นกระบอกสูบยืดออกสุดเร็วขึ้นทำให้ระยะนี้นานขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลา ในการทดลองกำลังและประสิทธิภาพของระบบไฮดรอลิกเมื่อกระบอกสูบมีมวลถ่วง 63.5 กิโลกรัม

ผลช่วงกระบอกสูบบีบอัดออก สรุปได้ดังตาราง

มวลที่ถ่วง (Kg)	ความเร็ว (cm/s)	ความดัน (bar)			อัตราการไหล (m^3/s)
		ปั๊ม	หัวกระบอกสูบ	ปลายกระบอกสูบ	
0 kg	19.643	21.455	3.428	6.038	0.00013
12 kg	19.549	19.579	2.799	6.070	0.00013
29.5 kg	19.410	17.295	1.035	5.781	0.00013
47 kg	21.230	16.275	0.317	5.816	0.00014
64.5 kg	21.778	15.982	0.306	6.664	0.00015

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์ในการทดลองกำลังและประสิทธิภาพของระบบไฮดรอลิกช่วงยืดของกระบอกสูบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลช่วงกระบอกสูบหดกลับ สรุปลำดับตาราง

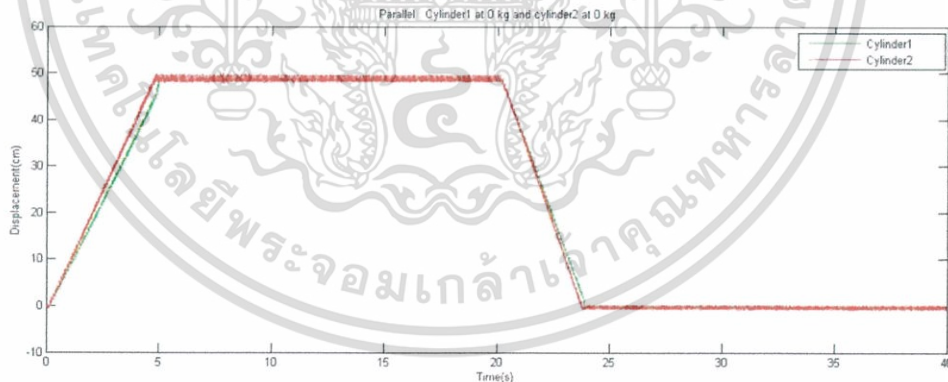
มวลที่ถ่วง (Kg)	ความเร็ว (cm/s)	ความดัน (bar)			อัตราการไหล (m^3/s)
		ปั๊ม	หัวกระบอกสูบ	ปลายกระบอกสูบ	
0	26.107	48.612	19.286	40.251	0.00013
12	26.053	48.503	18.488	40.538	0.00013
29.5	25.323	48.168	17.077	40.928	0.00013
47	24.636	48.485	16.024	41.814	0.00013
64.5	23.832	48.004	14.967	42.200	0.00013

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์ในการทดลองกำลังและประสิทธิภาพของระบบไฮดรอลิกช่วงหดของกระบอกสูบ

4.2. การทดลองการต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 ตัว แบบขนาน

4.2.1 กระบอกสูบที่ 1 และกระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ 0

กิโลกรัม

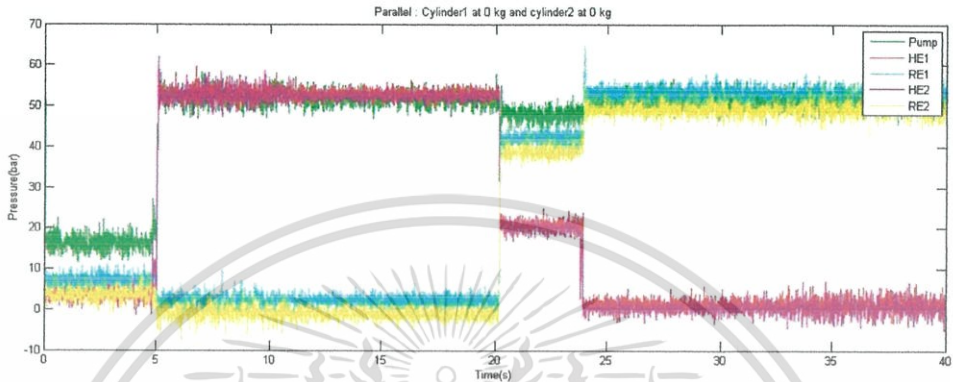


รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระยะทางกับเวลาในวงจรไฮดรอลิกแบบขนาน เมื่อกระบอกสูบไม่มีมวลถ่วง

จากรูปที่ 4.11 และรูปที่ 4.12 ในช่วงวินาทีที่ 1 ถึง 5 กระบอกสูบทั้งสองยืดออกด้วยความเร็วที่ใกล้เคียงกันแต่กระบอกสูบที่ 1 เคลื่อนที่ด้วยความเร็วช้ากว่าเล็กน้อยเนื่องจากการสูญเสียในระบบเช่น การรั่วภายใน แรงเสียดทานในกระบอกสูบที่ 1 ที่มากกว่า เป็นต้น ความดันที่ส่วนหัวของกระบอกสูบทั้งสองลดลงเนื่องจาก สภาวะ 'Overrunning load' และเมื่อกระบอกสูบทั้งสองยืด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกจนสุด ในวินาทีที่ 20 ถึง 24 เป็นจังหวะที่กระบอกสูบทั้งสองหดกลับ กระบอกทั้งสองหดกลับด้วยความเร็วที่ใกล้เคียงกันโดยที่กระบอกสูบที่ 1 ซ้ำกว่ากระบอกที่ 2 แสดงว่าต้องใช้แรงที่มากกว่าในการทำให้กระบอกสูบที่ 1 หดกลับ ซึ่งเป็นไปตามกราฟความดันความแตกต่างของความดันที่ปลายกระบอกสูบและที่หัวกระบอกสูบของกระบอกสูบที่ 1 มีมากกว่าของกระบอกสูบที่ 2



รูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ความดันกับเวลาในวงจรไฮดรอลิกแบบขนาน เมื่อกระบอกสูบไม่มีมวล

จังหวะ ยืดออก	มวล (Kg)	ความเร็ว (cm/s)		ความดัน(bar)					
		ช่วงที่1	ช่วงที่2	Pump		HE		RE	
				ช่วงที่1	ช่วงที่2	ช่วงที่1	ช่วงที่2	ช่วงที่1	ช่วงที่2
กระบอก สูบที่ 1	0	9.58	18.29	16.53	-	4.00	-	6.85	-
กระบอก สูบที่ 2	0	10.49	-			3.28	-	3.60	-

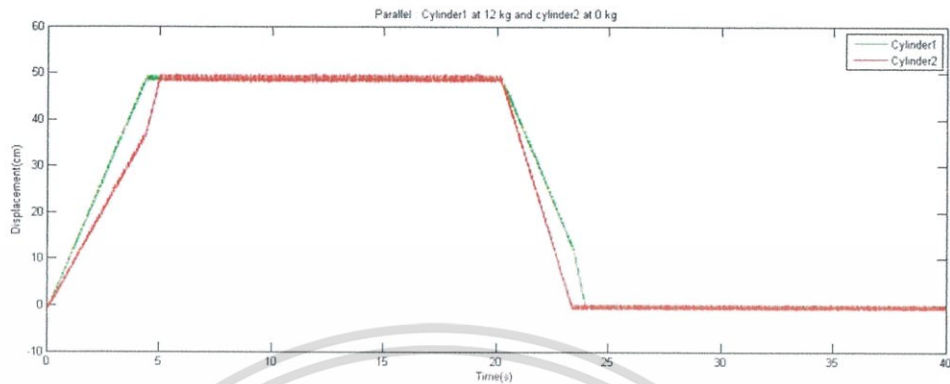
ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์ในการทดลองวงจรไฮดรอลิกแบบขนานช่วงยืดของกระบอกสูบ ไม่มีมวลถ่วงกระบอกสูบ

จังหวะ หดกลับ	มวล (Kg)	ความเร็ว (cm/s)		ความดัน(bar)					
		ช่วงที่1	ช่วงที่2	Pump		HE		RE	
				ช่วงที่1	ช่วงที่2	ช่วงที่1	ช่วงที่2	ช่วงที่1	ช่วงที่2
กระบอก สูบที่ 1	0	12.85	-	47.86	-	21.64	-	42.22	-
กระบอก สูบที่ 2	0	13.49	-			20.32	-	38.85	-

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์ในการทดลองวงจรไฮดรอลิกแบบขนานช่วงหด

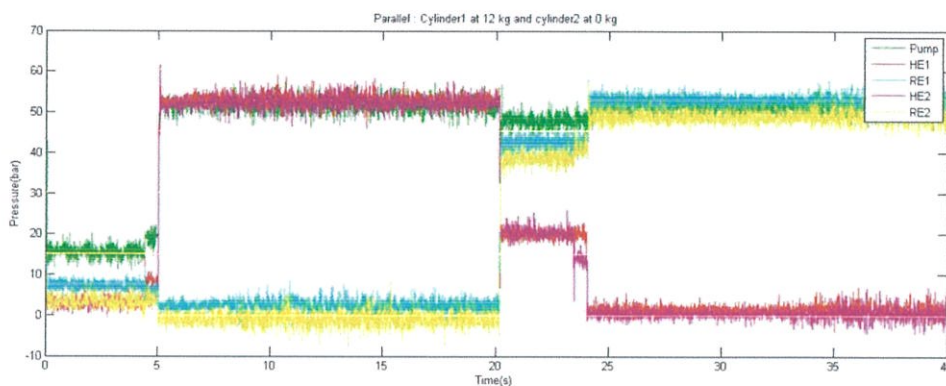
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นต้นการค้า
ของกระบอกสูบ ไม่มีมวลถ่วงกระบอกสูบ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเว็บไซต์เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 กระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ 12 กิโลกรัมและกระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ 0 กิโลกรัม



รูปที่ 4.13 กราฟความสัมพันธ์ระยะทางกับเวลาในวงจรไฮดรอลิกแบบขนาน เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 12 กิโลกรัม กระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

จากรูปที่ 4.13 และรูปที่ 4.14 ในช่วงวินาทีที่ 0 ถึง 4 กระบอกสูบทั้งสองยึดออกพร้อมกัน แต่ด้วยความเร็วที่ต่างกันโดยกระบอกสูบที่ 1 มีมวลยึดออกด้วยความเร็วมากกว่าเนื่องจากกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วงอยู่ที่ปลายกระบอกสูบ เนื่องจากสภาวะ 'Overrunning load' ในช่วงเวลาที่กระบอกสูบที่ 1 หดกลับจนสุดความดันที่ส่วนหัวกระบอกสูบเพิ่มขึ้นมาเล็กน้อย เนื่องจากน้ำมันจากปั๊มเริ่มจ่ายเข้ามาในกระบอกสูบที่ระยะยึดของกระบอกสูบ เมื่อกระบอกสูบที่ 1 ยึดออกจนสุดส่งผลให้ความเร็วในการยึดออกของกระบอกสูบที่ 2 มีค่ามากขึ้นแสดงให้เห็นว่า มีน้ำมันไหลเข้ามาในกระบอกสูบที่ 2 มากขึ้น ในจังหวะกระบอกสูบทั้งสองหดกลับวินาทีที่ 20 ถึง วินาทีที่ 24 กระบอกสูบที่ 2 ไม่มีมวลถ่วงอยู่ทำให้ความแตกต่างของความดันที่ส่วนหัวและส่วนปลายของกระบอกสูบที่ 2 น้อยกว่ากระบอกสูบที่ 1 การต้านทานการไหลของกระบอกสูบที่ 2 จึงน้อยกว่ากระบอกสูบที่ 1 ความเร็วในการหดกลับของกระบอกสูบที่ 2 จึงมากกว่ากระบอกสูบที่ 1 และในช่วงที่กระบอกสูบที่ 2 หดกลับจนสุดความดันของที่ส่วนหัวและปลายกระบอกสูบที่ 2 ก็เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากแรงต้านการเคลื่อนที่ที่เพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 4.14 กราฟความสัมพันธ์ความดันกับเวลาในวงจรไฮดรอลิกแบบขนาน เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 12 กิโลกรัม กระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

ตารางบันทึกผลการทดลอง

จังหวะ ยัดออก	มวล (Kg)	ความเร็ว (cm/s)		ความดัน(bar)					
				Pump		HE		RE	
		ช่วงที่1	ช่วงที่2	ช่วงที่1	ช่วงที่2	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2
กระบอก สูบที่ 1	12	11.34	15.70	20.22	3.20	9.73	7.22	6.06	
กระบอก สูบที่ 2	0	8.63	19.51			3.09	5.25	3.34	3.54

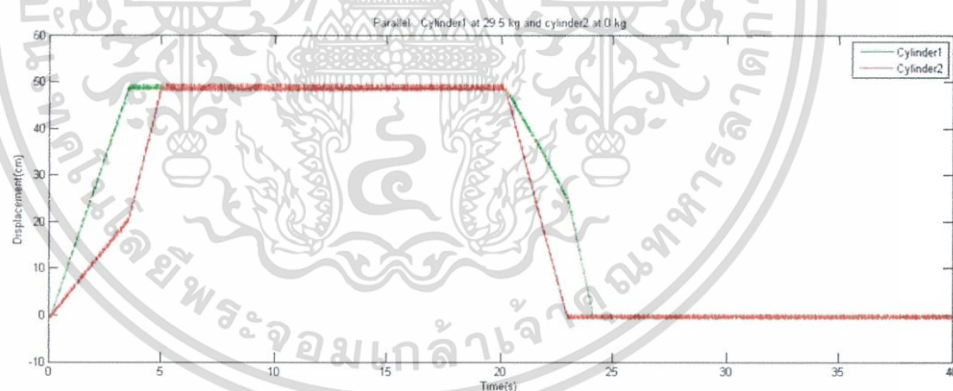
ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์ในการทดลองวงจรไฮดรอลิกแบบขนานช่วงยัดของกระบอกสูบ เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 12 กิโลกรัม กระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จังหวะ หดรัดกลับ	มวล (Kg)	ความเร็ว (cm/s)		ความดัน(bar)					
		ช่วงที่1	ช่วงที่ 2	Pump		HE		RE	
				ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่1	ช่วงที่2	ช่วงที่1	ช่วงที่2
กระบอก สูบที่ 1	12	11.20	21.89	47.91	48.03	21.52	20.10	40.70	42.77
กระบอก สูบที่ 2	0	15.05				21.73	14.69	36.68	40.84

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์ในการทดลองวงจรไฮดรอลิกแบบขนานช่วงหดรัดของกระบอกสูบ เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 12 กิโลกรัม กระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

4.2.3 กระบอกสูบที่1มวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ 29.5 กิโลกรัมและกระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ 0 กิโลกรัม

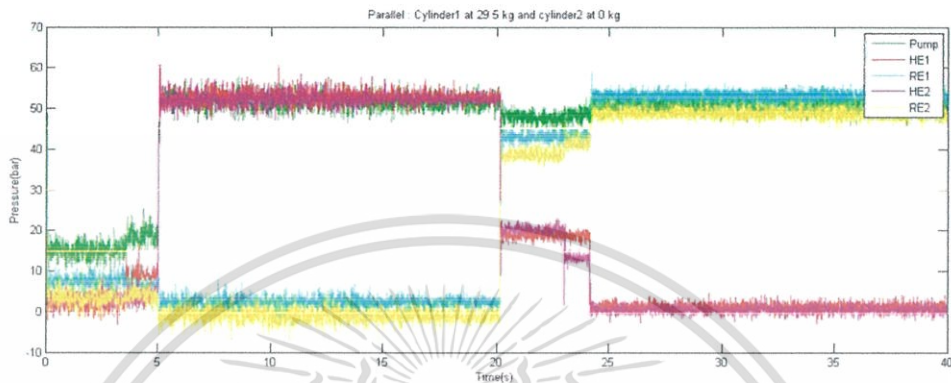


รูปที่ 4.15 กราฟความสัมพันธ์ระยะทางกับเวลาในวงจรไฮดรอลิกแบบขนาน เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 29.5 กิโลกรัม กระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

จากรูปที่ 4.15 และรูปที่ 4.16 ในช่วงวินาทีที่ 0 ถึง วินาทีที่ 4 กระบอกสูบที่ 1 ยืดออกจนสุดก่อนกระบอกสูบที่ 2 ความเร็วในการยืดออกของกระบอกสูบที่ 1 มากกว่ากรณีที่ผ่านมาเนื่องจากมวลถ่วงที่เพิ่มมากขึ้นทำให้น้ำมันที่ไหลเข้าสู่กระบอกสูบที่ 1 เร็วขึ้น ส่งผลให้ความเร็วที่กระบอกสูบที่ 2 ช้าลงเช่นกัน และเมื่อกระบอกสูบที่ 1 หดรัดกลับจนสุดความเร็วของกระบอกสูบที่ 2 เพิ่มมากขึ้น แสดงให้เห็นว่ามีน้ำมันไหลเข้ากระบอกสูบที่ 2 เพิ่มมากขึ้น ช่วงความดันที่ส่วนหัวกระบอกสูบที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพิ่มขึ้นเนื่องจากกระบอกสูบที่ 1 เคลื่อนที่ยืดออกเร็วขึ้นและในจังหวะกระบอกสูบทั้งสองหดกลับวินาทีที่ 20 ถึง วินาทีที่ 24 เกิดเหตุการณ์เช่นเดียวกับกรณีที่ผ่านมาแต่ในช่วงที่กระบอกสูบที่ 2 หดกลับสุด การเพิ่มขึ้นของความแตกต่างความดันที่ส่วนหัวและส่วนปลายของกระบอกสูบที่ 2 นานขึ้นเนื่องจากแรงต้านที่เพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 4.16 กราฟความสัมพันธ์ความดันกับเวลาในวงจรไฮดรอลิกแบบขนาน เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 29.5 กิโลกรัม กระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

ตารางบันทึกผลการทดลอง

จังหวะ ยืดออก	มวล (Kg)	ความเร็ว (cm/s)		ความดัน(bar)					
				Pump		HE		RE	
		ช่วงที่1	ช่วงที่2	ช่วงที่1	ช่วงที่2	ช่วงที่1	ช่วงที่2	ช่วงที่1	ช่วงที่2
กระบอก สูบที่ 1	29.5	14.00		15.95	18.94	3.42	5.66	7.19	6.12
กระบอก สูบที่ 2	0	5.94	19.84			3.23	3.94	3.64	4.10

ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์ในการทดลองวงจรไฮดรอลิกแบบขนานช่วงยืดของกระบอกสูบ เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 29.5 กิโลกรัม กระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จังหวะ ทดกลับ	มวล (Kg)	ความเร็ว (cm/s)		ความดัน(bar)					
		ช่วงที่1	ช่วงที่2	Pump		HE		RE	
				ช่วงที่1	ช่วงที่2	ช่วงที่1	ช่วงที่2	ช่วงที่1	ช่วงที่2
กระบอก สูบที่ 1	29.5	8.93	21.74	15.95	18.94	3.42	5.66	7.19	6.12
กระบอก สูบที่ 2	0	17.32				3.23	3.94	3.64	4.10

ตารางที่ 4.8 ตารางแสดงข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์ในการทดลองวงจรไฮดรอลิกแบบขนานช่วงทดของกระบอกสูบ เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 29.5 กิโลกรัม กระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

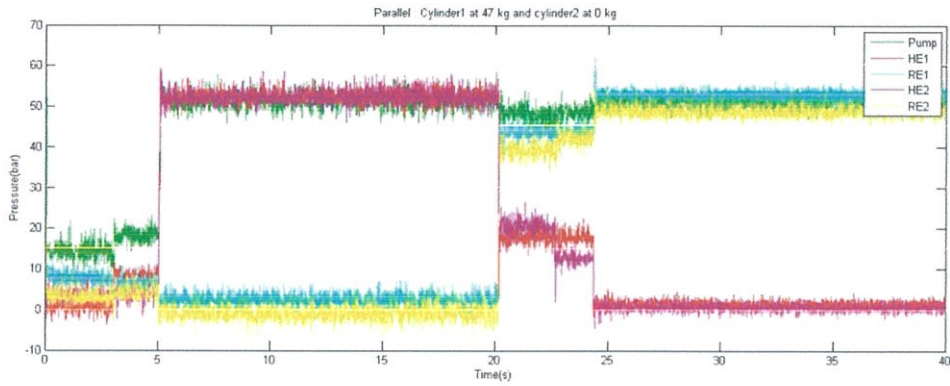
4.2.4 กระบอกสูบที่ 1 มวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ 47 กิโลกรัมและกระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ 0 กิโลกรัม



รูปที่ 4.17 กราฟความสัมพันธ์ระยะทางกับเวลาในวงจรไฮดรอลิกแบบขนานเมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 47 กิโลกรัม กระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

จากรูปที่ 4.17 และ 4.18 ในจังหวะที่กระบอกสูบทั้งสองยืดออกกระบอกสูบที่ 1 ยืดออกจนสุดก่อนกระบอกสูบที่ 2 ดังเช่นกรณีที่ผ่านมา แต่ความเร็วในการยืดออกของกระบอกที่ 1 เร็วมากขึ้นเนื่องจากมวลถ่วงที่เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ความเร็วของกระบอกสูบที่ 2 น้อยลง และเมื่อกระบอกสูบที่ 1 ยืดออกจนสุดแล้ว ความเร็วของกระบอกสูบที่ 2 จึงเพิ่มมากขึ้น ระยะเวลาที่ความดันของปลายกระบอกสูบที่ 1 เพิ่มขึ้นหลังจากกระบอกสูบยืดออกสุดแล้วนานขึ้นจากการที่กระบอกสูบยืดออกเร็วขึ้น ในจังหวะที่กระบอกสูบทั้งสองหดกลับกระบอกสูบที่ 2 หดกลับก่อนดังเช่นกรณีที่ผ่านมา แต่ความเร็วในการหดกลับเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของความดันที่เพิ่มมากขึ้น และระยะเวลาที่ความแตกต่างของความดันที่หัวและปลายของกระบอกสูบที่ 2 นานขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 กราฟความสัมพันธ์ความดันกับเวลาในวงจรไฮดรอลิกแบบขนาน
เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 47 กิโลกรัม กระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

ตารางบันทึกผลการทดลอง

จังหวะ ยัดออก	มวล (Kg)	ความเร็ว (cm/s)		ความดัน(bar)					
				Pump		HE		RE	
		ช่วงที่1	ช่วงที่2	ช่วงที่1	ช่วงที่2	ช่วงที่1	ช่วงที่2	ช่วงที่1	ช่วงที่2
กระบอก สูบที่ 1	47	16.97		15.67	18.34	3.30	8.15	7.17	6.21
กระบอก สูบที่ 2	0	3.10	19.8			3.54	3.71	3.52	4.07

ตารางที่ 4.9 ตารางแสดงข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์ในการทดลองวงจรไฮดรอลิกแบบขนานช่วงยัดของ
กระบอกสูบ เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 47 กิโลกรัม กระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จังหวัด ทดกลับ	มวล (Kg)	ความเร็ว (cm/s)		ความดัน(bar)					
		ช่วงที่1	ช่วงที่2	Pump		HE		RE	
				ช่วงที่1	ช่วงที่2	ช่วงที่1	ช่วงที่2	ช่วงที่1	ช่วงที่2
กระบอกลูกสูบที่ 1	47	5.45	21.15	48.23	48.51	19.31	17.29	42.10	44.25
กระบอกลูกสูบที่ 2	0	19.74				20.19	12.96	41.53	41.93

ตารางที่ 4.10 ตารางแสดงข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์ในการทดลองวงจรถอยโรติกแบบขนานช่วงทดของกระบอกลูกสูบ เมื่อกระบอกลูกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 47 กิโลกรัม กระบอกลูกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

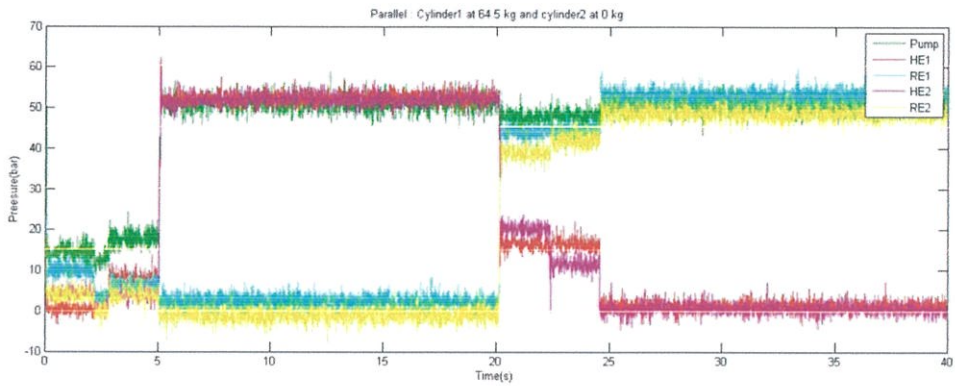
4.2.5 กระบอกลูกสูบที่ 1 มวลถ่วงที่ปลายกระบอกลูกสูบ 64.5 กิโลกรัม และกระบอกลูกสูบที่ 2 มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกลูกสูบ 0 กิโลกรัม



รูปที่ 4.19 กราฟความสัมพันธ์ระยะทางกับเวลาในวงจรถอยโรติกแบบขนาน เมื่อกระบอกลูกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 64.5 กิโลกรัม กระบอกลูกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

จากรูปที่ 4.19 และ 4.20 ในจังหวัดที่กระบอกลูกสูบยึดออกเห็นได้ชัดว่า กระบอกลูกสูบที่ 1 ยึดออกก่อนจนสุดเนื่องจากสถานะ 'Overrunning load' ด้วยความเร็วที่สูงขึ้น หลังจากนั้นกระบอกลูกสูบที่ 2 จึงยึดออกจนสุดตามมา ช่วงเวลาที่ความดันของกระบอกลูกสูบที่ 1 เพิ่มขึ้นหลังจากที่ยึดออกจนสุดนานขึ้นเนื่องจากความเร็วที่ยึดออกจนสุดเร็วขึ้น ในจังหวัดที่กระบอกลูกสูบทดกลับกระบอกลูกสูบทั้งสองทดกลับพร้อมกันแต่กระบอกลูกสูบที่ 2 เคลื่อนที่ทดกลับด้วยความเร็วที่มากขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของความดันที่เพิ่มมากขึ้นดังเช่นกรณีที่ผ่านมา และเมื่อกระบอกลูกสูบที่ 2 ทดกลับจนสุด ช่วงเวลาที่ความแตกต่างของความดันที่ส่วนหัวและส่วนปลายของกระบอกลูกสูบนานขึ้นเนื่องจากแรงต้านที่มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 กราฟความสัมพันธ์ความดันกับเวลาในวงจรไฮดรอลิกแบบขนาน
เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 64.5 กิโลกรัม กระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

ตารางบันทึกผลการทดลอง

จังหวะ ยืดออก	มวล (Kg)	ความเร็ว (cm/s)		ความดัน(bar)					
				Pump		HE		RE	
		ช่วงที่1	ช่วงที่2	ช่วงที่1	ช่วงที่2	ช่วงที่1	ช่วงที่2	ช่วงที่1	ช่วงที่2
กระบอก สูบที่ 1	64.5	23.97		15.42	17.98	3.02	8.13	7.63	6.05
กระบอก สูบที่ 2	0	6.57	19.82			3.39	3.55	3.39	3.93

ตารางที่ 4.11 ตารางแสดงข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์ในการทดลองวงจรไฮดรอลิกแบบขนานช่วงยืดของ
กระบอกสูบ เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 64.5 กิโลกรัม
กระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

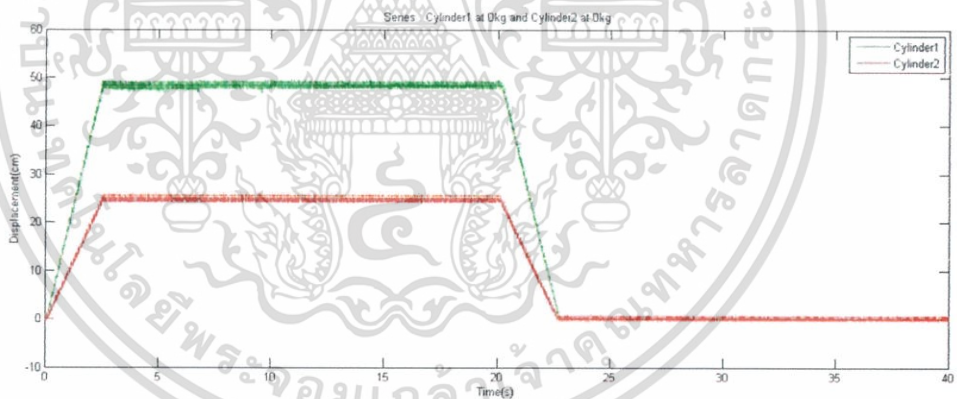
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จังหวะ หดรัดกลับ	มวล (Kg)	ความเร็ว (cm/s)		ความดัน(bar)					
		ช่วงที่1	ช่วงที่2	Pump		HE		RE	
				ช่วงที่1	ช่วงที่2	ช่วงที่1	ช่วงที่2	ช่วงที่1	ช่วงที่2
กระบอก สูบที่ 1	64.5	4.05	20.40	47.83	47.86	17.84	16.55	42.62	44.49
กระบอก สูบที่ 2	0	19.86				18.76	11.50	38.37	42.26

ตารางที่ 4.12 ตารางแสดงข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์ในการทดลองวงจรไฮดรอลิกแบบขนานช่วงหดของกระบอกสูบ เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 64.5 กิโลกรัม กระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

4.3. ผลการทดลองการต่อวงจรไฮดรอลิก 2 ตัว แบบอนุกรม

4.3.1 กระบอกสูบที่ 1 และกระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ 0 กิโลกรัม

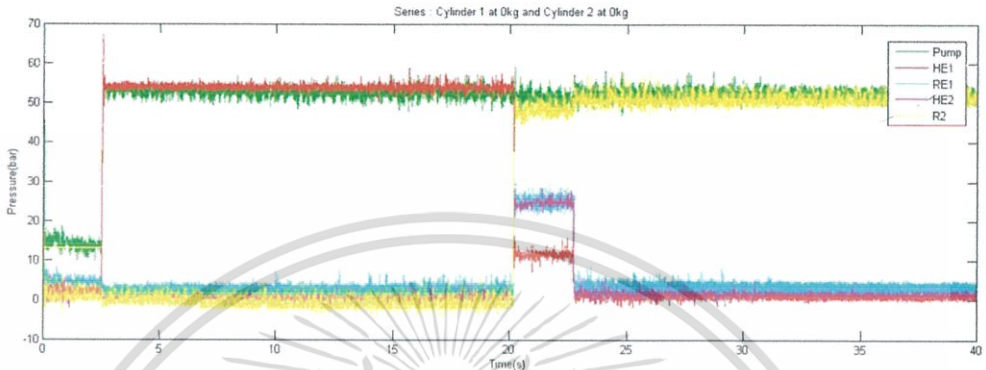


รูปที่ 4.21 กราฟความสัมพันธ์ระยะทางกับเวลาในวงจรไฮดรอลิกแบบอนุกรมเมื่อไม่มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ

จากรูปที่ 4.21 ในช่วงที่กระบอกสูบทั้งสองยืดออกที่วินาทีที่ 0 ถึง 3 กระบอกสูบทั้งสองยืดออกพร้อมกันแต่ด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน โดยความเร็วในกระบอกสูบที่ 1 มากกว่ากระบอกสูบที่ 2 เพราะอัตราการไหลของน้ำมันที่ออกจากกระบอกสูบที่ 1 เท่ากับอัตราการไหลของน้ำมันเข้าสู่กระบอกสูบที่ 2 และในช่วงที่กระบอกสูบหดรัดกลับที่วินาทีที่ 20 ถึง 23 ความเร็วของกระบอกสูบที่ 1 มากกว่าความเร็วของกระบอกสูบที่ 2 เนื่องจากอัตราการไหลของน้ำมันที่ออกจากกระบอกสูบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากับอัตราการไหลที่เข้าสู่กระบอกที่ 1 เช่นเดียวกัน และจากรูปที่ 4.22 ในช่วงที่กระบอกสูบทั้งสองยึดออกที่วินาทีที่ 0 ถึง 3 ความดันที่ส่วนหัวกระบอกสูบที่ 1 ลดลงเนื่องจากสภาวะวะ overrunning load และในช่วงที่กระบอกสูบหดรลกลับที่วินาทีที่ 20 ถึง 23 ความดันของส่วนปลายกระบอกสูบที่ 1 มีค่าใกล้เคียงกับความดันที่หัวกระบอกสูบที่ 2



รูปที่ 4.22 กราฟความสัมพันธ์ความดันกับเวลาในวงจรไฮดรอลิกแบบอนุกรม เมื่อไม่มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ

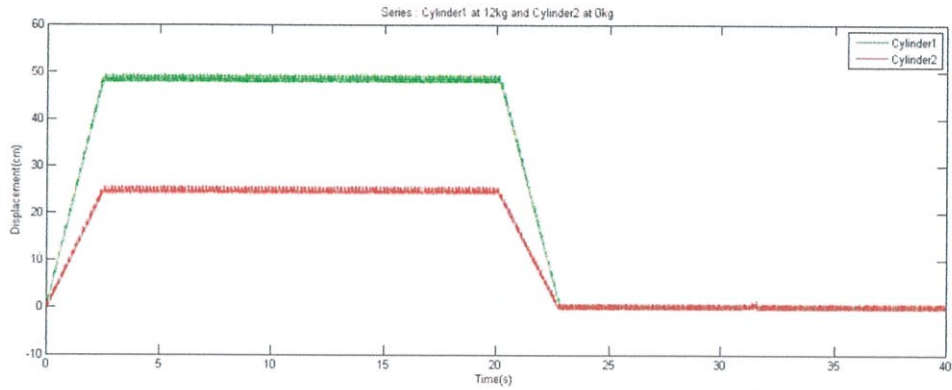
ตารางบันทึกผลการทดลอง

	มวล (kg)	จังหวัด				จังหวัด			
		ความเร็ว (cm/s)	ความดัน (Bar)			ความเร็ว (cm/s)	ความดัน (Bar)		
			pump	HE	RE		pump	HE	RE
กระบอกสูบ1	0	19.64	14.42	2.79	4.74	18.85	51.51	11.52	25.03
กระบอกสูบ2	0	9.98	14.42	0.9	1.37	9.64	51.51	24.72	50.71

ตารางที่ 4.13 ตารางแสดงข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์ในการทดลองวงจรไฮดรอลิกแบบอนุกรม เมื่อไม่มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ

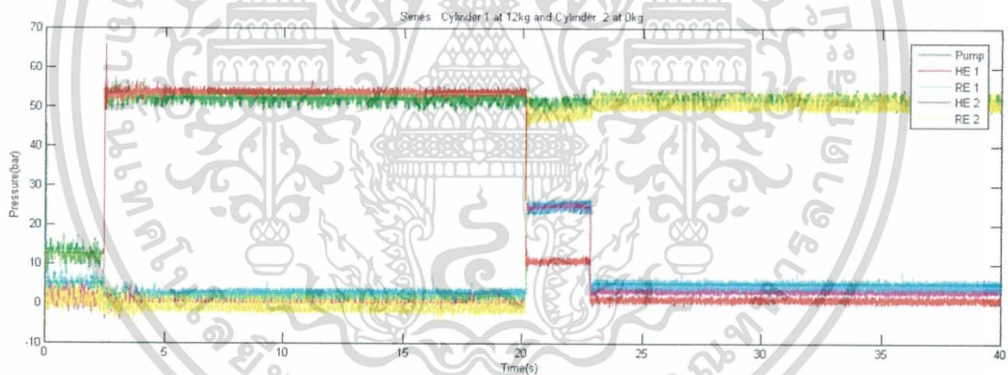
4.3.2 กระบอกสูบที่ 1 มวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ 12 กิโลกรัมและกระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ 0 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 กราฟความสัมพันธ์ระยะทางกับเวลาในวงจรไฮดรอลิกแบบอนุกรม เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 12 กิโลกรัม กระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

จากรูปที่ 23 และ 24 ความเร็วในการยืดออกของกระบอกสูบทั้งสองมากกว่าความเร็วในการหดกลับของกระบอกสูบเนื่องจาก สภาวะ 'Overrunning load' และในจังหวะหดกลับความแตกต่างของความดันที่ส่วนปลายของกระบอกสูบที่ 2 และความดันที่ส่วนปลายของกระบอกสูบที่ 1 เพิ่มขึ้นเนื่องจากมวลถ่วงที่กระบอกสูบที่ 1 ที่มากขึ้น



รูปที่ 4.24 กราฟความสัมพันธ์ความดันกับเวลาในวงจรไฮดรอลิกแบบอนุกรม เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 12 กิโลกรัม กระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

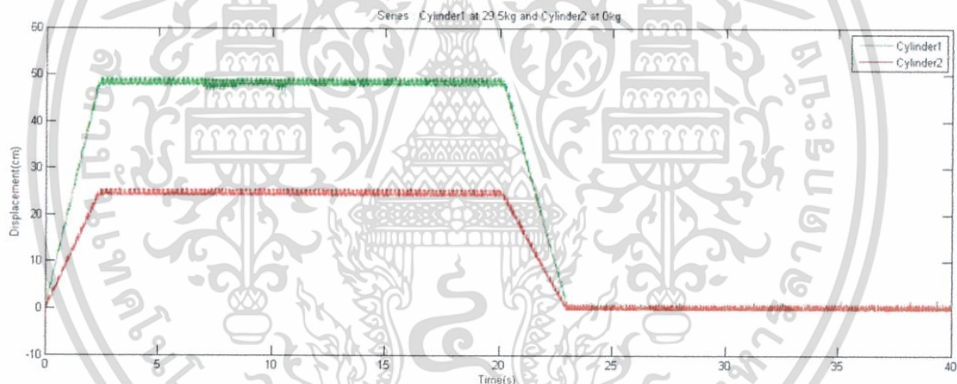
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดลอง

	มวล (Kg)	จังหวะยึด				จังหวะหด			
		ความเร็ว (cm/s)	ความดัน (Bar)			ความเร็ว (cm/s)	ความดัน (Bar)		
			pump	HE	RE		pump	HE	RE
กระบอกสูบ1	12	19.67	13.84	1.87	5.14	18.67	52.01	10.87	24.86
กระบอกสูบ2	0	10.02	13.84	0.79	0.32	9.28	52.01	24.884	50.43

ตารางที่ 4.14 ตารางแสดงข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์ในการทดลองวงจรไฮดรอลิกแบบอนุกรม
เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 12 กิโลกรัม กระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

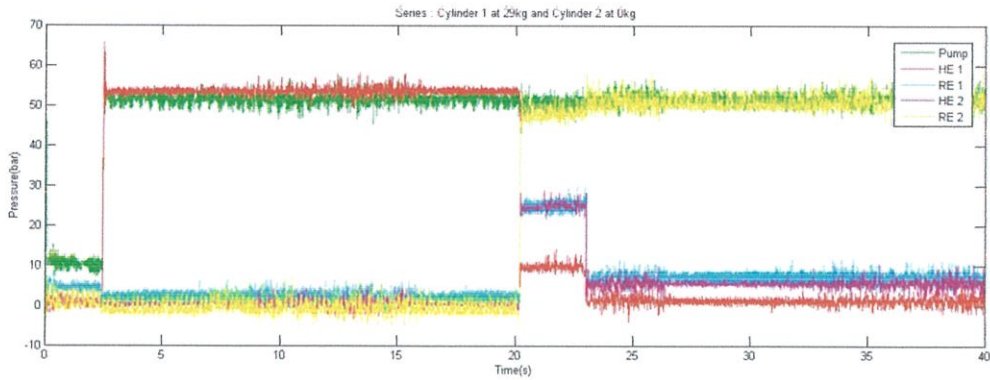
4.3.3 กระบอกสูบที่ 1 มวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ 29.5 กิโลกรัมและกระบอกสูบที่ 2 มี
มวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ 0 กิโลกรัม



รูปที่ 4.25 กราฟความสัมพันธ์ระยะทางกับเวลาในวงจรไฮดรอลิกแบบอนุกรม
เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 29.5 กิโลกรัม กระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

จากรูปที่ 25 และ 26 ความเร็วในการยืดออกของกระบอกสูบทั้งสองมากกว่าความเร็วในการ
หดกลับของกระบอกสูบเนื่องจาก สภาวะ 'Overrunning load' ดังเช่นกรณีที่ผ่านมา และในจังหวะ
หดกลับความแตกต่างของความดันที่ส่วนปลายของกระบอกสูบที่ 2 และความดันที่ส่วนปลายของ
กระบอกสูบที่ 1 เพิ่มมากขึ้นเนื่องจากมวลถ่วงที่กระบอกสูบที่ 1 ที่มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 กราฟความสัมพันธ์ความดันกับเวลาในวงจรไฮดรอลิกแบบอนุกรม
เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 29.5 กิโลกรัม กระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

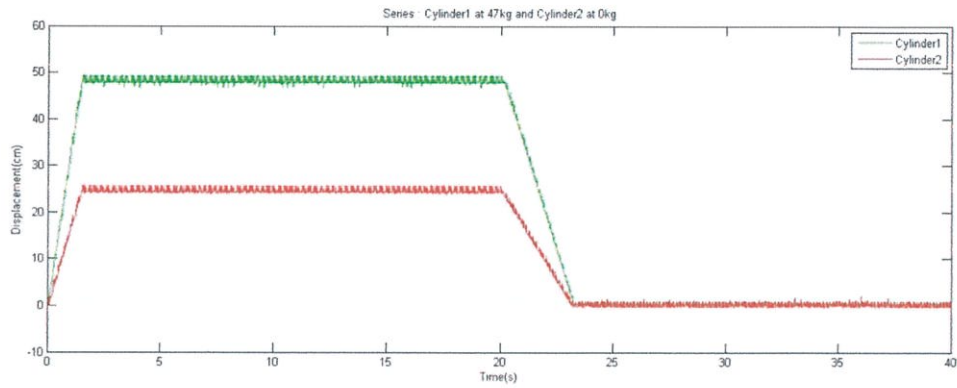
ตารางบันทึกผลการทดลอง

	มวล (Kg)	จังหวะยึด				จังหวะหด			
		ความเร็ว (cm/s)	ความดัน (Bar)			ความเร็ว (cm/s)	ความดัน (Bar)		
			pump	HE	RE		pump	HE	RE
กระบอกสูบ1	29.5	20.03	10.06	0.49	4.76	16.87	51.6	9.67	24.92
กระบอกสูบ2	0	10.3	10.06	0.7	0.19	8.6	51.6	24.87	50.57

ตารางที่ 4.15 ตารางแสดงข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์ในการทดลองวงจรไฮดรอลิกแบบอนุกรม
เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 29.5 กิโลกรัม กระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

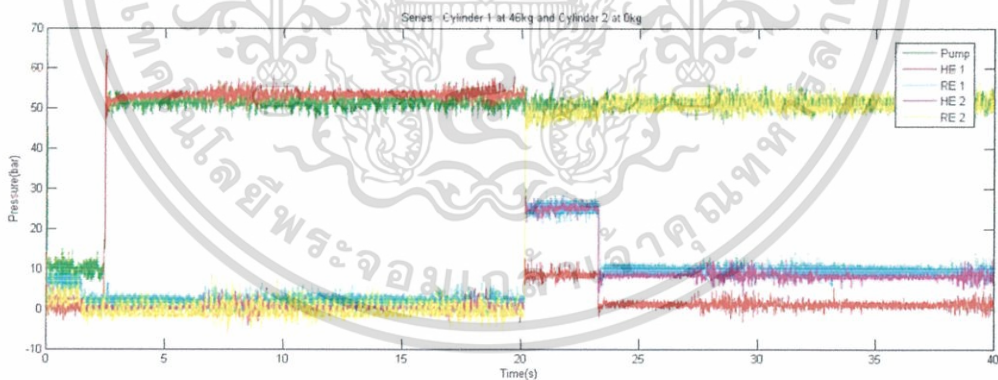
4.3.4 กระบอกสูบที่ 1 มวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ 47 กิโลกรัมและกระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ 0 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.27 กราฟความสัมพันธ์ระยะทางกับเวลาในวงจรไฮดรอลิกแบบอนุกรม
เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 47 กิโลกรัม กระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

จากรูปที่ 27 และ 28 ความเร็วในการยืดออกของกระบอกสูบทั้งสองมากกว่าความเร็วในการหดกลับของกระบอกสูบเนื่องจาก สภาวะ 'Overrunning load' ดังเช่นกรณีที่ผ่านมา แต่ด้วยความเร็วในการยืดออกที่มากทำให้ความดันที่ส่วนหัวของกระบอกสูบที่ 1 และ 2 ตกลงส่งผลให้ความดันที่ปลายกระบอกสูบที่ 1 ตกลงไปด้วย ในจังหวะหดกลับความแตกต่างของความดันที่ส่วนปลายของกระบอกสูบที่ 2 และความดันที่ส่วนปลายของกระบอกสูบที่ 1 เพิ่มมากขึ้นเนื่องจากมวลถ่วงที่กระบอกสูบที่ 1 ที่มากขึ้น



รูปที่ 4.28 กราฟความสัมพันธ์ความดันกับเวลาในวงจรไฮดรอลิกแบบอนุกรม
เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 47 กิโลกรัม กระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

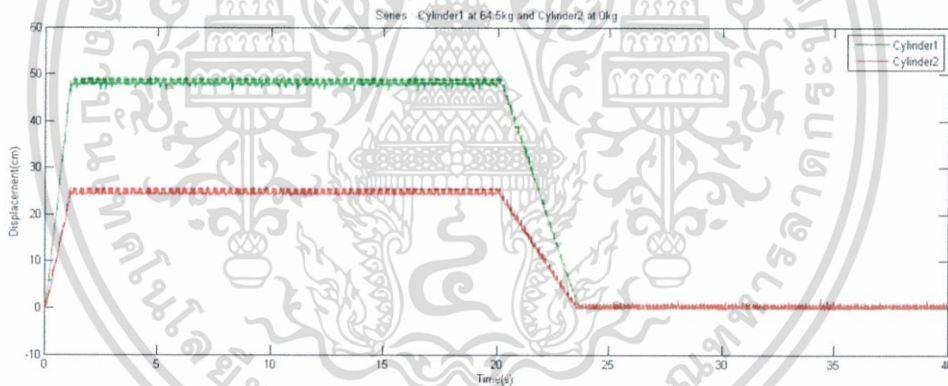
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดลอง

	มวล (Kg)	จังหวะยึด				จังหวะหด			
		ความเร็ว (cm/s)	ความดัน (Bar)			ความเร็ว (cm/s)	ความดัน (Bar)		
			pump	HE	RE		pump	HE	RE
กระบอกสูบ1	47	32.9	10.3	0.32	2.14	15.52	51.57	8.49	25.26
กระบอกสูบ2	0	16.89	10.3	0.7	0.04	7.89	51.57	25.05	50.76

ตารางที่ 4.16 ตารางแสดงข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์ในการทดลองวงจรไฮดรอลิกแบบอนุกรม
เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 47 กิโลกรัม กระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

4.3.5 กระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ 64.5 กิโลกรัมและกระบอกสูบ
ที่ 2 มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ 0 กิโลกรัม

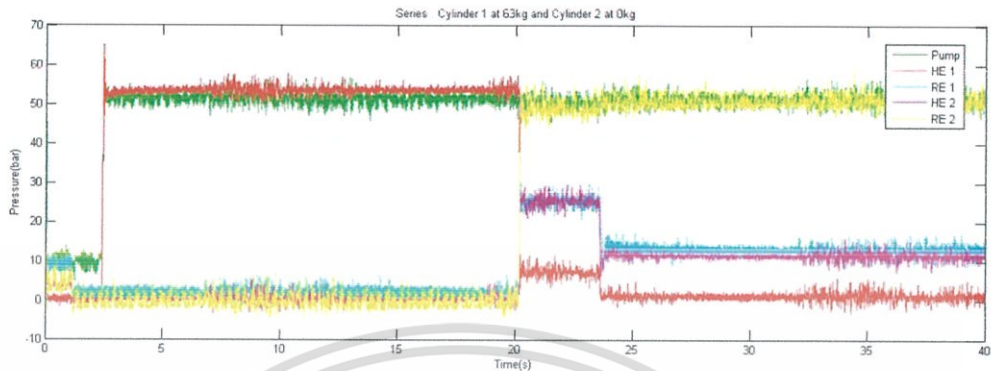


รูปที่ 4.29 กราฟความสัมพันธ์ระยะทางกับเวลาในวงจรไฮดรอลิกแบบอนุกรม
เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 64.5 กิโลกรัม กระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

จากรูปที่ 29 และ 30 ความเร็วในการยืดออกของกระบอกสูบทั้งสองสามารถเห็นได้อย่างชัดเจนว่ามากกว่าความเร็วในการหดกลับของกระบอกสูบเนื่องจาก สภาวะ 'Overrunning load' ดังเช่นกรณีที่ผ่านมา แต่ด้วยความเร็วในการยืดออกที่มากทำให้ความดันที่ส่วนหัวของกระบอกสูบที่ 1 และ 2 ตกลงส่งผลให้ความดันที่ปลายกระบอกสูบที่ 1 ตกลงไปด้วยและเนื่องจากความเร็วที่มากกว่าทำให้ระยะนี้กินเวลานานขึ้น ในจังหวะหดกลับความแตกต่างของความดันที่ส่วนปลายของกระบอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูบที่ 2 และความดันที่ส่วนปลายของกระบอกสูบที่ 1 เพิ่มมากขึ้นเนื่องจากมวลถ่วงที่กระบอกสูบที่ 1 ที่มากขึ้น



รูปที่ 4.30 กราฟความสัมพันธ์ความดันกับเวลาในวงจรไฮดรอลิกแบบอนุกรม เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 64.5 กิโลกรัม กระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

ตารางบันทึกผลการทดลอง

	มวล (kg)	ความเร็ว (cm/s)	จังหวัด			จังหวัด			
			ความดัน (Bar)			ความดัน (Bar)			
			pump	HE	RE	pump	HE	RE	
กระบอกสูบ1	64.5	43.47	9.97	0.4	9.37	13.82	51.38	7.21	25.43
กระบอกสูบ2	0	22.03	9.97	0.58	4.32	7.07	51.38	25.3	50.61

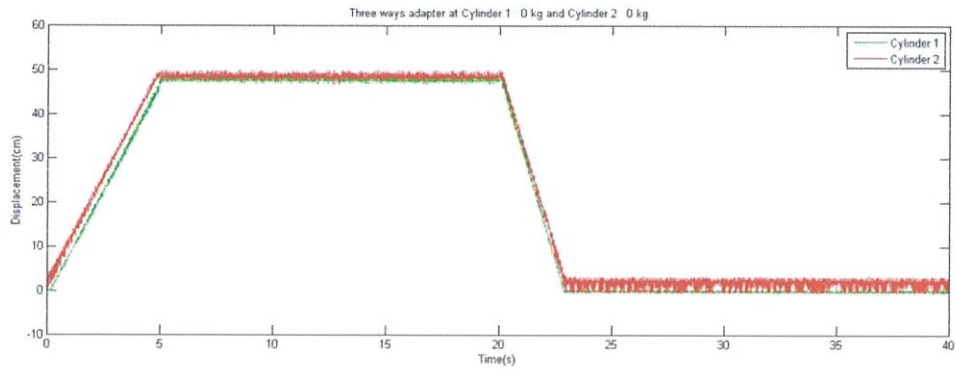
ตารางที่ 4.17 ตารางแสดงข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์ในการทดลองวงจรถูกไฮดรอลิกแบบอนุกรม เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 64.5 กิโลกรัม กระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

4.4 การเปรียบเทียบผลของการใช้ข้อต่อสามทาง และ Flow divider

4.4.1 การทดลองวงจรถูกไฮดรอลิกโดยใช้ข้อต่อสามทาง

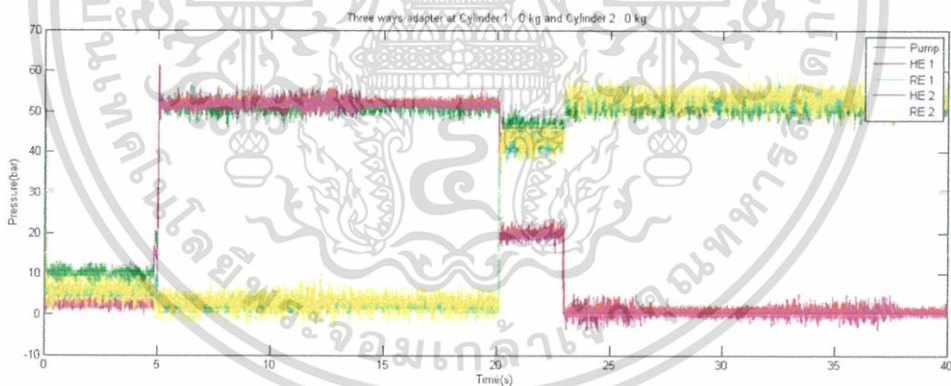
4.4.1.1 การทดลองวงจรถูกไฮดรอลิกโดยใช้ข้อต่อสามทาง กระบอกสูบที่ 1 และกระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ 0 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.31 กราฟความสัมพันธ์ระยะทางกับเวลาในวงจรไฮดรอลิกโดยใช้ข้อต่อสามทาง
เมื่อไม่มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ

จากรูปที่ 4.31 และ 4.32 วินาทีที่ 0 ถึง 5 ในจังหวะที่กระบอกสูบทั้งสองยืดออกพบว่ากระบอกสูบทั้งสองยืดออกพร้อมกันด้วยความเร็วที่ใกล้เคียงกัน ความดันที่ส่วนหัวกระบอกสูบทั้งสองตกลงเนื่องจากสภาวะ 'Overrunning load' ในวินาทีที่ 20 ถึง 23 จังหวะกระบอกสูบหดกลับด้วยความเร็วที่มากกว่าความเร็วในจังหวะยืดออกเนื่องจากพื้นที่ส่วนปลายของกระบอกสูบน้อยกว่าพื้นที่ส่วนหัวของกระบอกสูบ



รูปที่ 4.32 กราฟความสัมพันธ์ความดันกับเวลาในวงจรไฮดรอลิกโดยใช้ข้อต่อสามทาง
เมื่อไม่มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดลอง

จังหวะยึดออก	มวล (Kg)	ความเร็ว (cm/s)		ความดัน (bar)					
				Pump		HE		RE	
		ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2
กระบอกสูบที่ 1	0	9.67		10.01		2.9		5.35	
กระบอกสูบที่ 2	0	9.74				2.14		5.95	

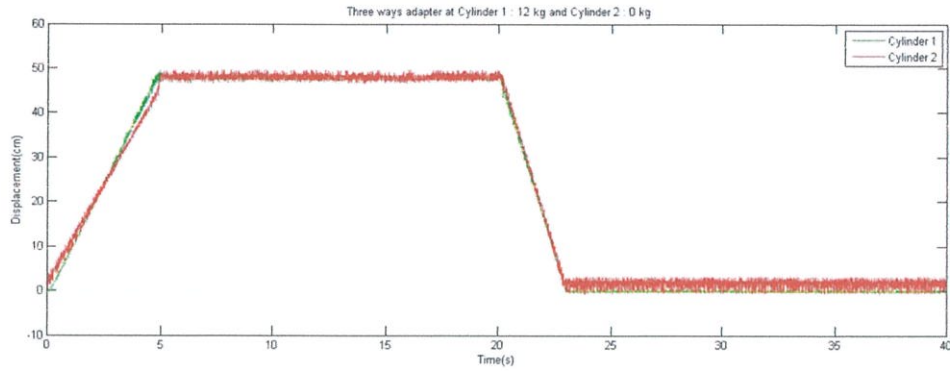
ตารางที่ 4.18 ตารางแสดงข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์ในการทดลองวงจรถอยโรลิกโดยใช้ข้อต่อสามทางในช่วงยึดของกระบอกสูบ เมื่อไม่มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ

จังหวะ หดรัดกลับ	มวล (Kg)	ความเร็ว (cm/s)		ความดัน (bar)					
				Pump		HE		RE	
		ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2
กระบอก สูบที่ 1	0	17.15		46.53		20.28		41.65	
กระบอก สูบที่ 2	0	16.65				20		42.23	

ตารางที่ 4.19 ตารางแสดงข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์ในการทดลองวงจรถอยโรลิกโดยใช้ข้อต่อสามทางในช่วงหดรัดของกระบอกสูบ เมื่อไม่มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ

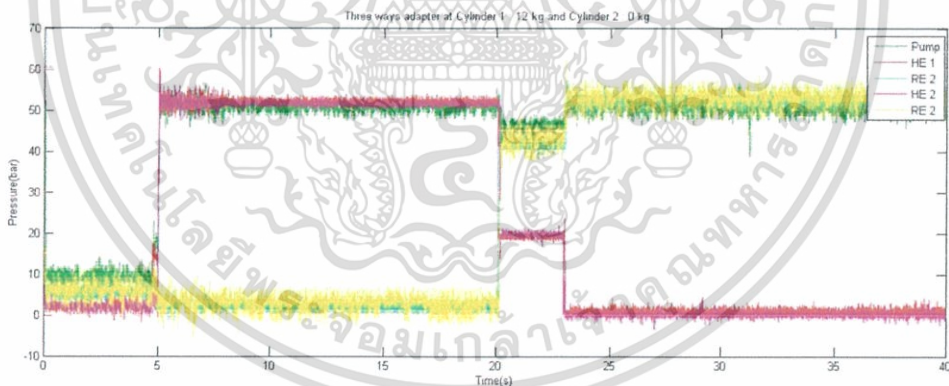
4.4.1.2 กระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 12 กิโลกรัมและกระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ 0 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.33 กราฟความสัมพันธ์ระยะทางกับเวลาในวงจรไฮดรอลิกโดยใช้ข้อต่อสามทาง เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 12 กิโลกรัม กระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

จากรูปที่ 4.33 และ 4.34 วินาทีที่ 0 ถึง 5 ในจังหวะที่กระบอกสูบทั้งสองยืดออกพบว่า กระบอกสูบที่ 1 ยืดออกด้วยความเร็วที่มากกว่ากระบอกที่ 2 เนื่องจากมวลถ่วงที่กระบอกสูบที่ 1 ความดันที่ส่วนหัวกระบอกสูบทั้งสองตกลงเนื่องจากสภาวะ 'Overrunning load' ในวินาทีที่ 20 ถึง 23 จังหวะกระบอกสูบหดกลับด้วยความเร็วที่มากกว่าความเร็วในจังหวะยืดออกเนื่องจากพื้นที่ส่วนปลายของกระบอกสูบน้อยกว่าพื้นที่ส่วนหัวของกระบอกสูบ



รูปที่ 4.34 กราฟความสัมพันธ์ความดันกับเวลาในวงจรไฮดรอลิกโดยใช้ข้อต่อสามทาง เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 12 กิโลกรัม กระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดลอง

จังหวะ ยึดออก	มวล (Kg)	ความเร็ว (cm/s)		ความดัน (bar)					
				Pump		HE		RE	
		ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2
กระบอก สูบที่ 1	12	10.35		9.47		2.34		5.48	
กระบอก สูบที่ 2	0	8.95				2.14		5.98	

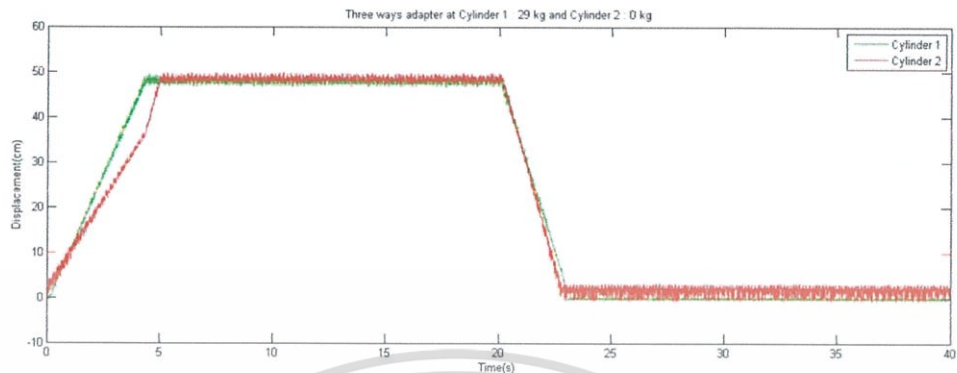
ตารางที่ 4.20 ตารางแสดงข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์ในการทดลองวงจรไฮดรอลิกโดยใช้ข้อต่อสามทาง ในช่วงยึดของกระบอกสูบ เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 12 กิโลกรัม กระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

จังหวะ หัดกลับ	มวล (Kg)	ความเร็ว (cm/s)		ความดัน (bar)					
				Pump		HE		RE	
		ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2
กระบอก สูบที่ 1	12	16.43		46.46		19.4		42.03	
กระบอก สูบที่ 2	0	16.74				19.68		42.9	

ตารางที่ 4.21 ตารางแสดงข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์ในการทดลองวงจรไฮดรอลิกโดยใช้ข้อต่อสามทาง ในช่วงหัดของกระบอกสูบ เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 12 กิโลกรัม กระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

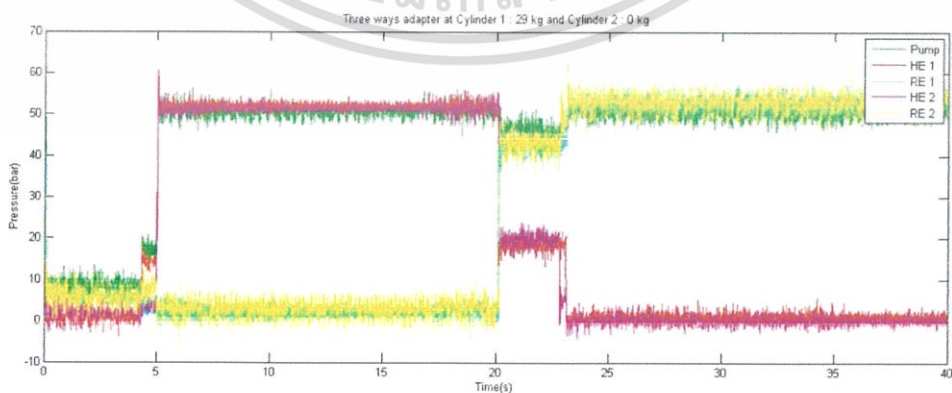
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1.3 กระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 29.5 กิโลกรัมและกระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วงที่ ปลายกระบอกสูบ 0 กิโลกรัม



รูปที่ 4.35 กราฟความสัมพันธ์ระยะทางกับเวลาในวงจรไฮดรอลิกโดยใช้ข้อต่อสามทาง
เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 29.5 กิโลกรัม กระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

จากรูปที่ 4.35 และ 4.36 วินาทีที่ 0 ถึง 5 ในจังหวะที่กระบอกสูบทั้งสองยืดออกพบว่า
กระบอกสูบที่ 1 ยืดออกด้วยความเร็วที่มากกว่ากระบอกที่ 2 เนื่องจากมวลถ่วงที่กระบอกสูบที่ 1 เกิด
สถานะ 'Overrunning load' ส่งผลให้ความดันที่ส่วนหัวกระบอกสูบทั้งสองตกลง เมื่อกระบอกสูบที่
1 ยืดออกจนสุดกระบอกสูบที่ 2 ที่ยังยืดออกไม่สุดระยะเกิดการเปลี่ยนแปลงความเร็วที่มากขึ้นแสดง
ให้เห็นว่ามีน้ำมันไหลเข้าไปที่กระบอกสูบที่ 2 เพิ่มขึ้น ช่วงที่กระบอกสูบที่ 1 ยืดออกจนสุดความ
ดันที่ส่วนหัวของกระบอกสูบที่ 1 เพิ่มขึ้นมาเล็กน้อยเนื่องจากมีน้ำมันเข้ามาเติมในกระบอกสูบมากขึ้น
ในวินาทีที่ 20 ถึง 23 กระบอกสูบทั้งสองหดกลับพร้อมกันด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน เนื่องจากมีมวล
ที่ถ่วงอยู่ที่ปลายกระบอกสูบที่ 1 ทำให้ในกระบอกสูบที่ 1 มีแรงต้านกันเคลื่อนที่ในกระบอกสูบ
มากกว่ากระบอกสูบที่ 2 น้ำมันจึงไหลเข้าไปที่กระบอกสูบที่ 2 มากกว่ากระบอกสูบที่ 1



รูปที่ 4.36 กราฟความสัมพันธ์ความดันกับเวลาในวงจรไฮดรอลิกโดยใช้ข้อต่อสามทาง
เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 29.5 กิโลกรัม กระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดลอง

จังหวะ ยืดออก	มวล (Kg)	ความเร็ว (cm/s)		ความดัน (bar)					
				Pump		HE		RE	
		ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2
กระบอก สูบที่ 1	29.5	11.4		8.79	16.84	0.87	13.96	6.28	3.69
กระบอก สูบที่ 2	0	7.98	18.65			2.03	3.29	5.85	5.09

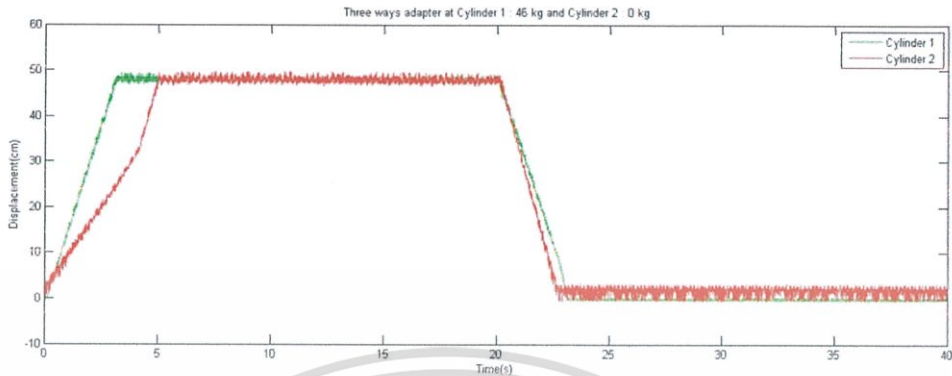
ตารางที่ 4.22 ตารางแสดงข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์ในการทดลองวงจรไฮดรอลิกโดยใช้ข้อต่อสามทาง ในช่วงยืดของกระบอกสูบ เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 29.5 กิโลกรัม กระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

จังหวะ หดกลับ	มวล (Kg)	ความเร็ว (cm/s)		ความดัน (bar)					
				Pump		HE		RE	
		ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2
กระบอก สูบที่ 1	29.5	15.55		46.47	52.94	18.35	18.35	42.41	42.41
กระบอก สูบที่ 2	0	17.37	23.38			19.74	4.69	43.12	48.99

ตารางที่ 4.23 ตารางแสดงข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์ในการทดลองวงจรไฮดรอลิกโดยใช้ข้อต่อสามทาง ในช่วงหดของกระบอกสูบ เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 29.5 กิโลกรัม กระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

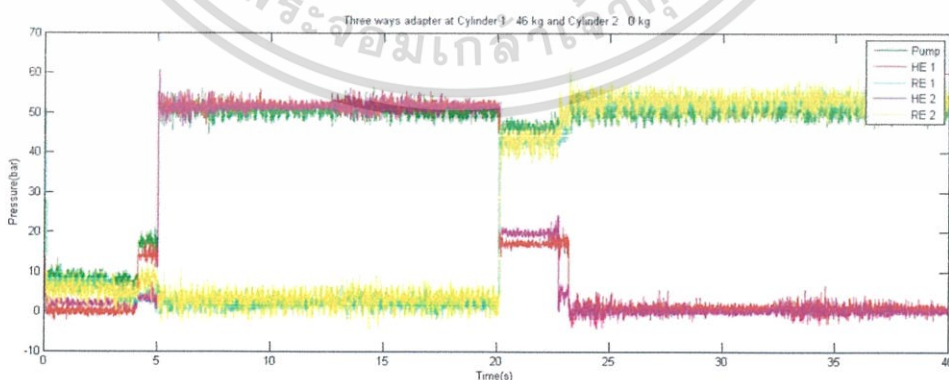
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1.4 กระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 47 กิโลกรัมและกระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วงที่ ปลายกระบอกสูบ 0 กิโลกรัม



รูปที่ 4.37 กราฟความสัมพันธ์ระยะทางกับเวลาในวงจรไฮดรอลิกโดยใช้ข้อต่อสามทาง
เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 47 กิโลกรัม กระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

จากรูปที่ 4.37 และ 4.38 วินาทีที่ 0 ถึง 5 ในจังหวะที่กระบอกสูบทั้งสองยืดออกพบว่า
กระบอกสูบที่ 1 ยืดออกด้วยความเร็วที่มากขึ้น เกิดสภาวะ 'Overrunning load' ส่งผลให้ความดันที่
ส่วนหัวกระบอกสูบทั้งสองตกลง ช่วงเวลาการเพิ่มขึ้นของความดันที่ส่วนหัวของกระบอกสูบที่ 1 นาน
ขึ้นเพราะความเร็วในการยืดออกที่มากขึ้น ในวินาทีที่ 20 ถึง 23 กระบอกสูบทั้งสองหดกลับพร้อมกัน
ด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน เนื่องจากมีมวลที่ถ่วงอยู่ที่ปลายกระบอกสูบที่ 1 ทำให้ในกระบอกสูบที่ 1
มีแรงต้านกันเคลื่อนที่ในกระบอกสูบ มากกว่ากระบอกสูบที่ 2 น้ำมันจึงไหลเข้าไปที่กระบอกสูบที่ 2
มากกว่ากระบอกสูบที่ 1 และเมื่อกระบอกสูบที่ 2 หดกลับจนสุดความแตกต่างของความดันที่ส่วนหัว
และปละของกระบอกสูบที่ 2 เพิ่มมากขึ้นเนื่องจากแรงต้านที่มากขึ้น



รูปที่ 4.38 กราฟความสัมพันธ์ความดันกับเวลาในวงจรไฮดรอลิกโดยใช้ข้อต่อสามทาง
เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 47 กิโลกรัม กระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดลอง

จังหวะ ยึดออก	มวล (Kg)	ความเร็ว (cm/s)		ความดัน (bar)					
				Pump		HE		RE	
		ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2
กระบอก สูบที่ 1	47	14.67		8.04	16.87	0.12	13.09	6.47	3.74
กระบอก สูบที่ 2	0	7.27	18.39					2.16	2.16

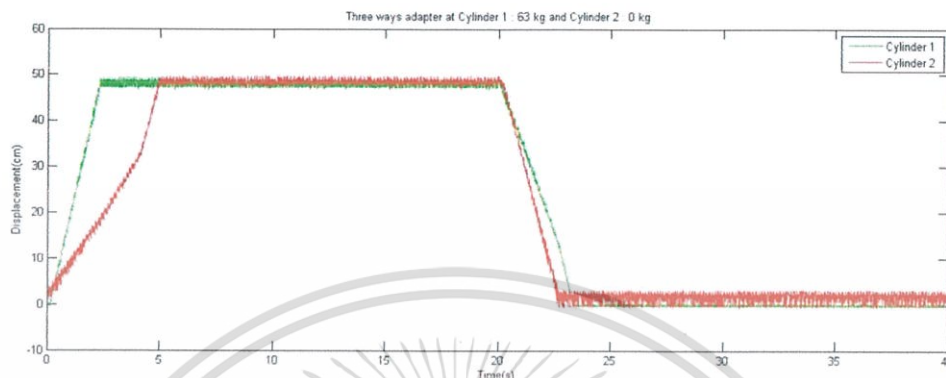
ตารางที่ 4.24 ตารางแสดงข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์ในการทดลองวงจรไฮดรอลิกโดยใช้ข้อต่อสามทาง ในช่วงยึดของกระบอกสูบ เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 47 กิโลกรัม กระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

จังหวะ หดกลับ	มวล (Kg)	ความเร็ว (cm/s)		ความดัน (bar)					
				Pump		HE		RE	
		ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2
กระบอก สูบที่ 1	47	14.47	20.03	46.62	52.92	17.17	17.17	42.91	42.91
กระบอก สูบที่ 2	0	18.06					19.84	4.39	43.21

ตารางที่ 4.25 ตารางแสดงข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์ในการทดลองวงจรไฮดรอลิกโดยใช้ข้อต่อสามทาง ในช่วงหดของกระบอกสูบ เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 47 กิโลกรัม กระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

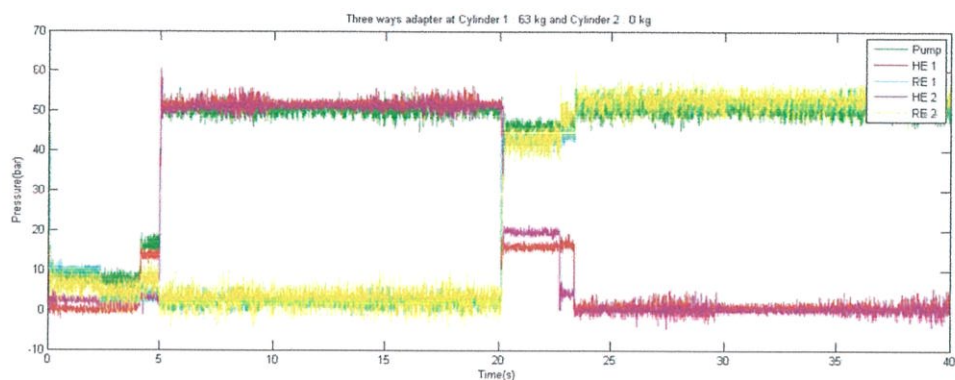
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1.5 กระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 64.5 กิโลกรัมและกระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ 0 กิโลกรัม



รูปที่ 4.39 กราฟความสัมพันธ์ระยะทางกับเวลาในวงจรไฮดรอลิกโดยใช้ข้อต่อสามทาง เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 64.5 กิโลกรัม กระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

จากรูปที่ 4.39 และ 4.40 ในจังหวะกระบอกสูบยี่ดออกช่วงวินาทีที่ 0 ถึง 5 กระบอกสูบที่ 1 ยี่ดออกด้วยความเร็วที่มากขึ้นกว่าในกรณีที่ผ่านมาเนื่องจากมวลถ่วงที่เพิ่มมากขึ้น เมื่อกระบอกสูบที่ 1 ยี่ดออกจนสุดแล้วกระบอกสูบที่ 2 ซึ่งยี่ดออกไม่สุดระยะเกิดการเปลี่ยนแปลงความเร็วเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากมีน้ำมันไหลเข้าไปที่กระบอกสูบที่ 2 มากขึ้น ช่วงเวลาที่ความดันที่ส่วนหัวของกระบอกสูบที่ 1 เพิ่มมากขึ้นนานมากขึ้นเนื่องจากความเร็วของกระบอกสูบที่ 1 ที่ยี่ดออกเร็วขึ้น ในจังหวะที่กระบอกสูบหดกลับตั้งแต่วินาทีที่ 20 ถึง 23 พบว่ากระบอกสูบที่ 2 เคลื่อนที่หดกลับด้วยความเร็วที่มากกว่ากระบอกสูบที่ 1 มากขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของความดันที่เพิ่มมากขึ้นในสองกระบอกสูบ เมื่อกระบอกสูบที่ 2 หดกลับจนสุด ช่วงเวลาที่ความแตกต่างของความดันที่ส่วนหัวและปลายของกระบอกสูบที่ 2 นานขึ้นเนื่องจากแรงต้านที่เพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 4.40 กราฟความสัมพันธ์ความดันกับเวลาในวงจรไฮดรอลิกโดยใช้ข้อต่อสามทาง เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 64.5 กิโลกรัม กระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

ตารางบันทึกผลการทดลอง

จังหวะ ยืดออก	มวล (Kg)	ความเร็ว (cm/s)		ความดัน (bar)					
				Pump		HE		RE	
		ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2
กระบอก สูบที่ 1	64.5	22.01		8.02	17.00	0.29	13.94	9.68	3.51
กระบอก สูบที่ 2	0	7.33	17.06			2.35	3.1	6.31	8.68

ตารางที่ 4.26 ตารางแสดงข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์ในการทดลองวงจรไฮดรอลิกโดยใช้ข้อต่อสามทาง ในช่วงยืดของกระบอกสูบ เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 64.5 กิโลกรัม กระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

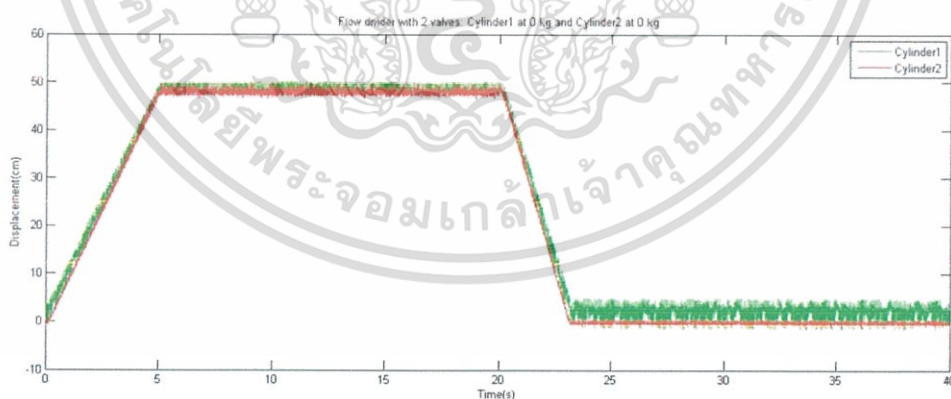
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จังหวะ ทดกลับ	มวล (Kg)	ความเร็ว (cm/s)		ความดัน (bar)					
				Pump		HE		RE	
		ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2
กระบอก สูบที่ 1	64.5	14.03	3.95	46.14	52.86	16.04	16.04	43.20	43.20
กระบอก สูบที่ 2	0	18.51				19.63	4.15	43.30	48.85

ตารางที่ 4.27 ตารางแสดงข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์ในการทดลองวงจรไฮดรอลิกโดยใช้ข้อต่อสามทาง ในช่วงทดของกระบอกสูบ เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 64.5 กิโลกรัม กระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

4.4.2 ผลการทดลองวงจรไฮดรอลิกโดยใช้ Flow divider

4.4.2.1 กระบอกสูบที่ 1 และกระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วงที่
ปลายกระบอกสูบ 0 กิโลกรัม



รูปที่ 4.41 กราฟความสัมพันธ์ระยะทางกับเวลาในวงจรไฮดรอลิกโดยใช้ Flow divider เมื่อไม่มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ

จากรูปที่ 4.41 พบว่าในจังหวะที่กระบอกสูบยืดออก ตั้งแต่วินาทีที่ 0 ถึง 5 กระบอกสูบทั้งสองตัวยืดออกพร้อมกันด้วยความเร็วที่ใกล้เคียงกัน และในจังหวะทดกลับวินาทีที่ 20 ถึง 23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบอกสูบทั้งสองเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่ใกล้เคียงกัน ความเร็วในการหดกลับของกระบอกสูบมากกว่าความเร็วในการยืดออกของกระบอกสูบ เนื่องจากส่วนปลายของกระบอกสูบมีพื้นที่น้อยกว่าด้านหัวของกระบอกสูบ

ตารางบันทึกผลการทดลอง

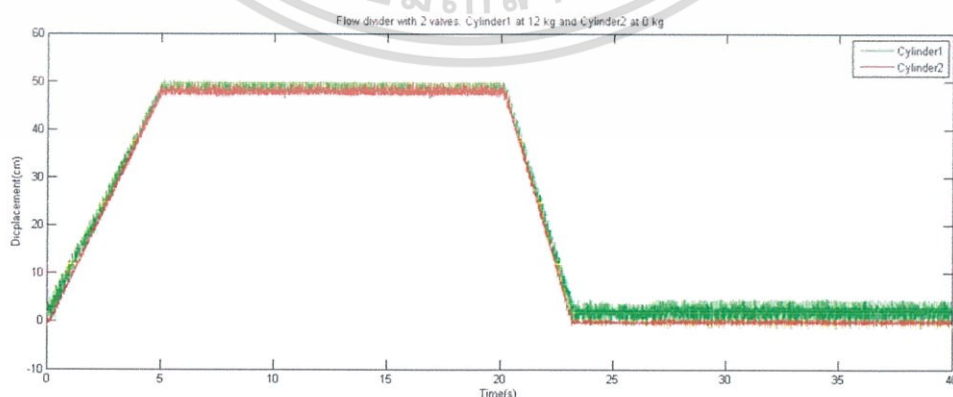
จังหวะยืดออก	มวล(Kg)	ความเร็ว(cm/s)
กระบอกสูบที่ 1	0	9.79
กระบอกสูบที่ 2	0	9.42

ตารางที่ 4.27 ตารางแสดงความเร็วในช่วงยืดในวงจรไฮดรอลิกใช้ Flow divider
เมื่อไม่มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ

จังหวะหดกลับ	มวล(Kg)	ความเร็ว(cm/s)
กระบอกสูบที่ 1	0	15.78
กระบอกสูบที่ 2	0	14.75

ตารางที่ 4.28 ตารางแสดงความเร็วในช่วงหดกลับในวงจรไฮดรอลิกใช้ Flow divider
เมื่อไม่มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ

4.4.2.2 กระบอกสูบที่ 1 มวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ 12 กิโลกรัมและกระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ 0 กิโลกรัม



รูปที่ 4.42 กราฟความสัมพันธ์ระยะทางกับเวลาในวงจรไฮดรอลิกโดยใช้ Flow divider
เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 12 กิโลกรัม กระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.42 เกิดเหตุการณ์เช่นเดียวกับกรณีที่ผ่านมา โดยในจังหวะที่กระบอกสูบยืดออก ตั้งแต่วินาทีที่ 0 ถึง 5 กระบอกสูบทั้งสองตัวยืดออกพร้อมกันด้วยความเร็วที่ใกล้เคียงกัน และในจังหวะหดกลับวินาทีที่ 20 ถึง 23 กระบอกสูบทั้งสองเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่ใกล้เคียงกัน ความเร็วในการหดกลับของกระบอกสูบมากกว่าความเร็วในการยืดออกของกระบอกสูบ เนื่องจากส่วนปลายของกระบอกสูบมีพื้นที่น้อยกว่าด้านหัวของกระบอกสูบ

ตารางบันทึกผลการทดลอง

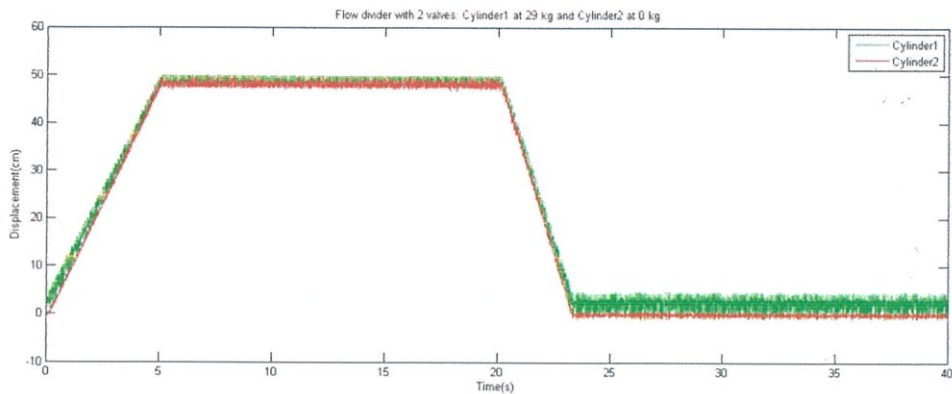
จังหวะยืดออก	มวล(Kg)	ความเร็ว(cm/s)
กระบอกสูบที่ 1	12	9.76
กระบอกสูบที่ 2	0	9.42

ตารางที่ 4.29 ตารางแสดงความเร็วในช่วงยืด ในวงจรไฮดรอลิกใช้ Flow divider เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 12 กิโลกรัม กระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

จังหวะหดกลับ	มวล(Kg)	ความเร็ว(cm/s)
กระบอกสูบที่ 1	12	15.73
กระบอกสูบที่ 2	0	14.80

ตารางที่ 4.30 ตารางแสดงความเร็วในช่วงหด ในวงจรไฮดรอลิกใช้ Flow divider เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 12 กิโลกรัม กระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

4.4.2.3 กระบอกสูบที่ 1 มวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ 29.5 กิโลกรัมและกระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ 0 กิโลกรัม



รูปที่ 4.43 กราฟความสัมพันธ์ระยะทางกับเวลาในวงจรไฮดรอลิกโดยใช้ Flow divider เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 29.5 กิโลกรัม กระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

จากรูปที่ 4.43 เกิดเหตุการณ์เช่นเดียวกับกรณีที่ผ่านมา โดยในจังหวะที่กระบอกสูบบีบออก ตั้งแต่วินาทีที่ 0 ถึง 5 กระบอกสูบทั้งสองตัวบีบออกพร้อมกันด้วยความเร็วที่ใกล้เคียงกัน และในจังหวะหดกลับวินาทีที่ 20 ถึง 23 กระบอกสูบทั้งสองเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่ใกล้เคียงกัน ความเร็วในการหดกลับของกระบอกสูบมากกว่าความเร็วในการบีบออกของกระบอกสูบ เนื่องจากส่วนปลายของกระบอกสูบมีพื้นที่น้อยกว่าด้านหัวของกระบอกสูบ

ตารางบันทึกผลการทดลอง

จังหวะบีบออก	มวล(Kg)	ความเร็ว(cm/s)
กระบอกสูบที่ 1	29.5	9.81
กระบอกสูบที่ 2	0	9.40

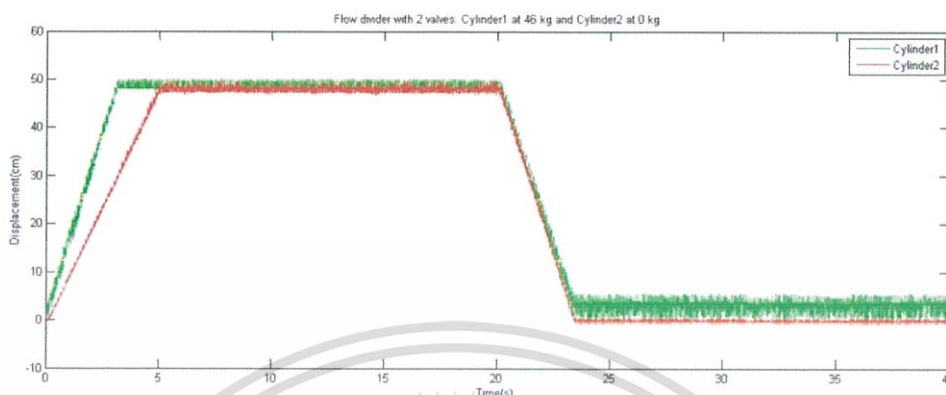
ตารางที่ 4.31 ตารางแสดงความเร็วในช่วงยืด ในวงจรไฮดรอลิกใช้ Flow divider เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 29.5 กิโลกรัม กระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

จังหวะหดกลับ	มวล(Kg)	ความเร็ว(cm/s)
กระบอกสูบที่ 1	29.5	14.57
กระบอกสูบที่ 2	0	15.09

ตารางที่ 4.32 ตารางแสดงความเร็วในช่วงหด ในวงจรไฮดรอลิกใช้ Flow divider เมื่อกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 29.5 กิโลกรัม กระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2.4 ระเบิดอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วงที่ปลายระเบิดอกสูบ 47 กิโลกรัมและระเบิดอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วงที่ปลายระเบิดอกสูบ 0 กิโลกรัม



รูปที่ 4.44 กราฟความสัมพันธ์ระยะทางกับเวลาในวงจรไฮดรอลิกโดยใช้ Flow divider เมื่อระเบิดอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 47 กิโลกรัม ระเบิดอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

จากรูปที่ 4.44 พบว่าในจังหวะที่ระเบิดอกสูบบีบออก ตั้งแต่วินาทีที่ 0 ถึง 5 ระเบิดอกสูบทั้งสองตัวบีบออกพร้อมกันด้วยความเร็วที่แตกต่างกันโดยที่ระเบิดอกสูบที่ 1 บีบออกด้วยความเร็วที่มากกว่า เนื่องจากมีมวลถ่วงที่ปลายระเบิดอกสูบมากกว่า เกิดสภาวะ 'Overrunning load' แต่ในจังหวะระเบิดอกสูบทดกลับตั้งแต่วินาทีที่ 20 ถึง 23 พบว่าระเบิดอกสูบทั้งสองหดกลับพร้อมกัน ด้วยความเร็วที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากผลของ Flow divider ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สามารถแบ่งอัตราการไหลของน้ำมันเป็นสองทางเท่ากัน

ตารางบันทึกผลการทดลอง

จังหวะบีบออก	มวล(Kg)	ความเร็ว(cm/s)
ระเบิดอกสูบที่ 1	47	15.30
ระเบิดอกสูบที่ 2	0	9.80

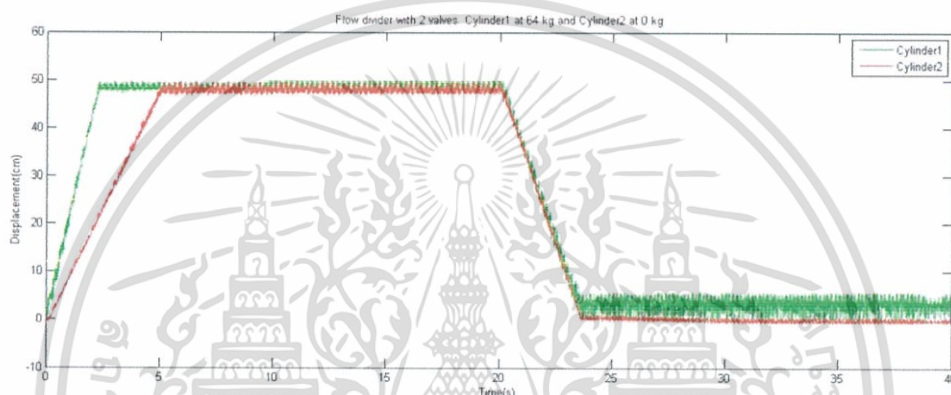
ตารางที่ 4.33 ตารางแสดงความเร็วในช่วงบีบ ในวงจรไฮดรอลิกใช้ Flow divider เมื่อระเบิดอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 47 กิโลกรัม ระเบิดอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จังหวะหัดลับ	มวล(Kg)	ความเร็ว(cm/s)
กระบอกลูกสูบที่1	47	13.72
กระบอกลูกสูบที่2	0	14.38

ตารางที่ 4.34 ตารางแสดงความเร็วในช่วงหัด ในวงจรไฮดรอลิกใช้ Flow divider เมื่อกระบอกลูกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 47 กิโลกรัม กระบอกลูกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

4.4.2.5 กระบอกลูกสูบที่ 1 มวลถ่วงที่ปลายกระบอกลูกสูบ 64.5 กิโลกรัมและกระบอกลูกสูบที่ 2 มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกลูกสูบ 0 กิโลกรัม



รูปที่ 4.45 กราฟความสัมพันธ์ระยะทางกับเวลาในวงจรไฮดรอลิกโดยใช้ Flow divider เมื่อกระบอกลูกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 64.5 กิโลกรัม กระบอกลูกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

จากรูปที่ 4.45 ในช่วงที่กระบอกลูกสูบทั้งสองยัดออก กระบอกลูกสูบที่ 1 เคลื่อนที่ออกจนสุดระยะชักด้วยความเร็วที่มากกว่า เนื่องจากสภาวะ 'Overrunning load' แต่ในช่วงจังหวะกระบอกลูกสูบทั้งสองหัดกลับ กระบอกลูกสูบทั้งสองหัดกลับพร้อมกันด้วยความเร็วที่ใกล้เคียงกันเนื่องจากผลของ Flow divider ซึ่งเป็นอุปกรณ์แบ่งอัตราการไหลออกเป็นสองทางเท่ากัน

ตารางบันทึกผลการทดลอง

จังหวะยัดออก	มวล(Kg)	ความเร็ว(cm/s)
กระบอกลูกสูบที่1	64.5	16.33
กระบอกลูกสูบที่2	0	9.77

ตารางที่ 3.35 ตารางแสดงความเร็วในช่วงยัด ในวงจรไฮดรอลิกใช้ Flow divider เมื่อกระบอกลูกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 64.5 กิโลกรัม กระบอกลูกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จังหวัดหลัก	มวล(Kg)	ความเร็ว(cm/s)
กระบอกลูกสูบที่1	64.5	12.93
กระบอกลูกสูบที่2	0	13.49

ตารางที่ 3.36 ตารางแสดงความเร็วในช่วงหด ในวงจรไฮดรอลิกใช้ Flow divider เมื่อกระบอกลูกสูบที่ 1 มีมวลถ่วง 64.5 กิโลกรัม กระบอกลูกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

สรุปผลการทดลองประกอบด้วย 4 การทดลอง ดังนี้

1. กำลังและประสิทธิภาพของระบบไฮดรอลิก
2. การต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 ตัวแบบขนาน
3. การต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 ตัวแบบอนุกรม
4. การเปรียบเทียบผลของการใช้ข้อต่อสามทาง และ Flow divider

5.1 กำลังและประสิทธิภาพของระบบไฮดรอลิก

คำนวณกำลัง และ ประสิทธิภาพ

สามารถหาน้ำหนักก้านกระบอกสูบและลูกสูบจากแรงของกระบอกสูบ

$$F = P_{RE}A_{RE} - P_{HE}A_{HE} = 154.16 \text{ N} = 15.71 \text{ kg}$$

คำนวณในช่วงกระบอกสูบหดกลับเท่านั้น เนื่องจากช่วงกระบอกสูบยัดนั้นเป็นผลมาจากมวลที่ถ่วง
ผลช่วงกระบอกสูบหด สรุปได้ดังตาราง

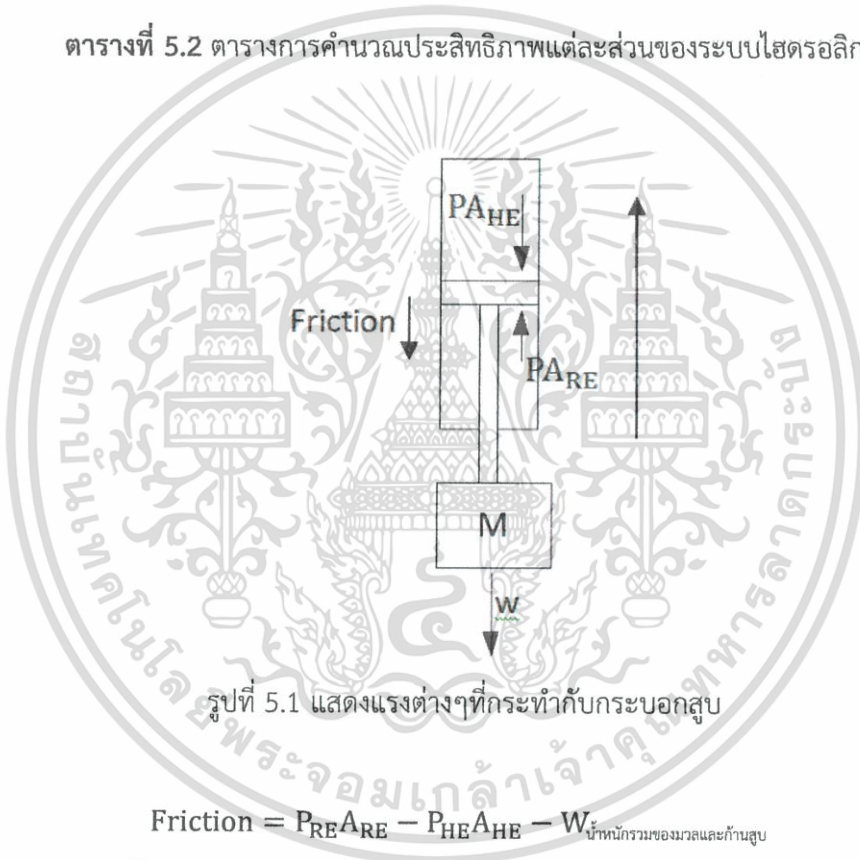
มวล (Kg)	กำลังกระบอกสูบ (W) (F×v)	กำลังไฮดรอลิก หลัง Relief valve (W) (P×Q)	กำลังมอเตอร์ (W) (V×I)/(P.F)
15.71	40.453	631.956	1796
27.71	71.039	630.539	1789
45.21	112.522	626.184	1787
62.71	151.763	630.305	1787
80.21	187.726	624.052	1784

ตารางที่ 5.1 กำลังในระบบไฮดรอลิกในช่วงหดกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มวล (kg)	ประสิทธิภาพกระบอบสูบลวาล์ว และสายน้ำมัน F_v/PQ	ประสิทธิภาพปั๊ม และมอเตอร์หลัง Relief Valve $PQ/VI(P.F)$	ประสิทธิภาพระบบ $F_v/VI(P.F)$
15.71	$0.06400 = 6.400\%$	$0.35190 = 35.190\%$	$0.02252 = 2.252\%$
27.71	$0.11266 = 11.266\%$	$0.34974 = 34.974\%$	$0.03971 = 3.971\%$
45.21	$0.17969 = 17.969\%$	$0.35041 = 35.041\%$	$0.06297 = 6.297\%$
62.71	$0.24077 = 24.077\%$	$0.35272 = 35.272\%$	$0.08493 = 8.493\%$
80.21	$0.30081 = 30.081\%$	$0.34980 = 34.980\%$	$0.10522 = 10.522\%$

ตารางที่ 5.2 ตารางการคำนวณประสิทธิภาพแต่ละส่วนของระบบไฮดรอลิก



รูปที่ 5.1 แสดงแรงต่างๆที่กระทำกับกระบอบสูบลวาล์ว

$$\text{Friction} = P_{RE}A_{RE} - P_{HE}A_{HE} - W_{น้ำหนักรวมของมวลและก้านสูบ}$$

∴ สามารถหาแรงเสียดทาน

มวลปลายกระบอบสูบลวาล์ว 12 กิโลกรัม มีแรงเสียดทาน $27.88 - (12 + 15.71) = 0.175 \text{ kg}$

มวลปลายกระบอบสูบลวาล์ว 29.5 กิโลกรัม มีแรงเสียดทาน $48.496 - (29.5 + 15.71) = 3.286 \text{ kg}$

มวลปลายกระบอบสูบลวาล์ว 47 กิโลกรัม มีแรงเสียดทาน $67.761 - (47 + 15.71) = 5.051 \text{ kg}$

มวลปลายกระบอบสูบลวาล์ว 64.5 กิโลกรัม มีแรงเสียดทาน $83.814 - (64.5 + 15.71) = 3.604 \text{ kg}$

จากการทดลองแต่ละมวลมีแรงเสียดทานไม่เท่ากัน เพราะแรงเสียดทานภายในกระบอบสูบลวาล์วและแรงเสียดทานเนื่องจากความหนืดของน้ำมัน มีค่าไม่คงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 การต่อกระบอบอกสูบไฮดรอลิก 2 ตัวแบบขนาน

จากการทดลองพบว่าในกรณีเคลื่อนที่ลงก้านกระบอบอกสูบที่มีมวลมากกว่าจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงกว่า เพราะแรงในการเคลื่อนที่ตามแนวตั้งที่แปรผันตามมวล ทำให้ความเร็วของน้ำมันเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความดันที่ด้านหัวของกระบอบอกสูบลดลง เมื่อกระบอบอกสูบทั้งสองเคลื่อนที่หดรูดกลับ กระบอบอกที่มีมวลน้อยกว่าเคลื่อนที่ด้วยความเร็วมากกว่าเนื่องจาก การต้านทานการไหลน้อยกว่า ทำให้น้ำมันไหลเข้ากระบอบอกสูบมากกว่า เมื่อเคลื่อนที่หดรูดกลับจนสุด ความเร็วของกระบอบอกสูบที่ยังหดรูดกลับไม่สุดเพิ่มมากขึ้นแสดงให้เห็นว่า มีน้ำมันไหลเข้าสู่กระบอบอกสูบที่ยังหดรูดกลับไม่สุดมากขึ้น

5.3 การทดลองวงจรไฮดรอลิกแบบอนุกรม

จากการทดลองวงจรไฮดรอลิกแบบอนุกรมพบว่า กระบอบอกสูบที่ 1 และกระบอบอกสูบที่ 2 ยืดออกและหดรูดกลับพร้อมกันแต่มีความเร็วที่ยืดออกแตกต่างกันโดยกระบอบอกสูบที่ 1 ยืดออกด้วยความเร็วที่มากกว่ากระบอบอกสูบที่ 2

จากข้อมูลการทดลอง

ความสัมพันธ์ของความเร็วกระบอบอกสูบที่ 1 และกระบอบอกสูบที่ 2 ในจังหวะยืดออกของกระบอบอกสูบ

	มวล(Kg)	ความเร็ว(cm/s)	$V_{cylinder1} / V_{cylinder2}$
กระบอบอกสูบที่ 1	0	19.64	1.97
กระบอบอกสูบที่ 2	0	9.98	

ตารางที่ 5.3 ตารางแสดงอัตราส่วนความเร็วของกระบอบอกสูบที่ 1 และ กระบอบอกสูบที่ 2 ในช่วงยืดออกของกระบอบอกสูบ โดยไม่มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอบอกสูบ

	มวล (Kg)	ความเร็ว (cm/s)	$V_{cylinder1} / V_{cylinder2}$
กระบอบอกสูบที่ 1	12	19.67	1.96
กระบอบอกสูบที่ 2	0	10.02	

ตารางที่ 5.4 ตารางแสดงอัตราส่วนความเร็วของกระบอบอกสูบที่ 1 และ กระบอบอกสูบที่ 2 ในช่วงยืดออกของกระบอบอกสูบ โดยกระบอบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอบอกสูบ 12 กิโลกรัม และปลายกระบอบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	มวล(Kg)	ความเร็ว(cm/s)	$V_{cylinder1} / V_{cylinder2}$
กระบอกสูบที่1	29.5	20.03	1.94
กระบอกสูบที่2	0	10.3	

ตารางที่ 5.5 ตารางแสดงอัตราส่วนความเร็วของกระบอกสูบที่ 1 และ กระบอกสูบที่ 2 ในช่วงยืดออกของกระบอกสูบ โดยกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ 29.5 กิโลกรัม และปลายกระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

	มวล(Kg)	ความเร็ว(cm/s)	$V_{cylinder1} / V_{cylinder2}$
กระบอกสูบที่1	47	32.9	1.95
กระบอกสูบที่2	0	16.89	

ตารางที่ 5.6 ตารางแสดงอัตราส่วนความเร็วของกระบอกสูบที่ 1 และ กระบอกสูบที่ 2 ในช่วงยืดออกของกระบอกสูบโดยกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ 47 กิโลกรัม และปลายกระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

	มวล(Kg)	ความเร็ว(cm/s)	$V_{cylinder1} / V_{cylinder2}$
กระบอกสูบที่1	64.5	43.47	1.97
กระบอกสูบที่2	0	22.03	

ตารางที่ 5.7 ตารางแสดงอัตราส่วนความเร็วของกระบอกสูบที่ 1 และ กระบอกสูบที่ 2 ในช่วงยืดออกของกระบอกสูบ โดยกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ 64.5 กิโลกรัม และปลายกระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

ความสัมพันธ์ของความเร็วกระบอกสูบที่ 1 และกระบอกสูบที่ในจังหวะหดกลับของกระบอกสูบ

	มวล(Kg)	ความเร็ว(cm/s)	$V_{cylinder1} / V_{cylinder2}$
กระบอกสูบที่1	0	18.85	1.96
กระบอกสูบที่2	0	9.64	

ตารางที่ 5.8 ตารางแสดงอัตราส่วนความเร็วของกระบอกสูบที่ 1 และ กระบอกสูบที่ 2 ในช่วงหดกลับของกระบอกสูบโดยกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบไม่มีมวลถ่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	มวล(Kg)	ความเร็ว(cm/s)	$V_{cylinder1} / V_{cylinder2}$
กระบอกสูบที่1	12	18.67	2.01
กระบอกสูบที่2	0	9.28	

ตารางที่ 5.9 ตารางแสดงอัตราส่วนความเร็วของกระบอกสูบที่ 1 และ กระบอกสูบที่ 2 ในช่วงหดกลับของกระบอกสูบ โดยกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ 12 กิโลกรัม และปลายกระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

	มวล(Kg)	ความเร็ว(cm/s)	$V_{cylinder1} / V_{cylinder2}$
กระบอกสูบที่1	29.5	16.87	1.96
กระบอกสูบที่2	0	8.6	

ตารางที่ 5.10 ตารางแสดงอัตราส่วนความเร็วของกระบอกสูบที่ 1 และ กระบอกสูบที่ 2 ในช่วงหดกลับของกระบอกสูบ โดยกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ 29.5 กิโลกรัม และปลายกระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

	มวล(Kg)	ความเร็ว(cm/s)	$V_{cylinder1} / V_{cylinder2}$
กระบอกสูบที่1	47	15.52	1.96
กระบอกสูบที่2	0	7.89	

ตารางที่ 5.11 ตารางแสดงอัตราส่วนความเร็วของกระบอกสูบที่ 1 และ กระบอกสูบที่ 2 ในช่วงหดกลับของกระบอกสูบ โดยกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ 47 กิโลกรัม และปลายกระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

	มวล(Kg)	ความเร็ว(cm/s)	$v_{cylinder1} / v_{cylinder2}$
กระบอกสูบที่1	64.5	13.82	1.95
กระบอกสูบที่2	0	7.07	

ตารางที่ 5.12 ตารางแสดงอัตราส่วนความเร็วของกระบอกสูบที่ 1 และ กระบอกสูบที่ 2 ในช่วงหดกลับของกระบอกสูบ โดยกระบอกสูบที่ 1 มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ 64.5 กิโลกรัม และปลายกระบอกสูบที่ 2 มีมวลถ่วง 0 กิโลกรัม

สาเหตุที่ในจังหวะยืดออกความเร็วของกระบอกสูบที่ 1 มีค่าประมาณ 1.96 เท่าของกระบอกสูบที่ 2 เนื่องจาก

อัตราการไหลออกจากปลายกระบอกสูบที่ 1 = อัตราการไหลเข้าสู่ส่วนหัวกระบอกสูบที่ 2

$$Q_{RE1} = Q_{HE2}$$

$$A_{RE1} V_{RE1} = A_{HE2} V_{HE2}$$

$$\frac{V_{RE1}}{V_{HE2}} = \frac{A_{HE2}}{A_{RE1}}$$

จาก

$$A_{HE} = 1.257 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ และ } A_{RE} = 0.641 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

ดังนั้น

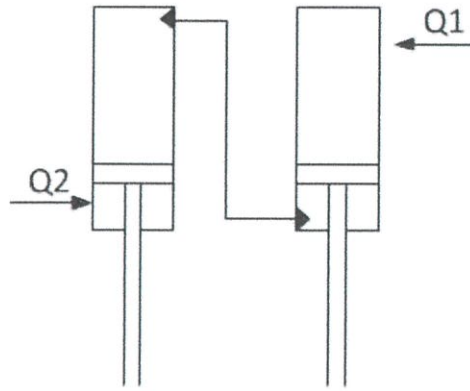
$$\frac{V_1}{V_2} = 1.96$$

และสาเหตุที่ในจังหวะหดกลับความเร็วของกระบอกสูบที่1มีค่าประมาณ1.96เท่าของกระบอกสูบที่ 2 เนื่องจาก

อัตราการไหลเข้าสู่ปลายกระบอกสูบที่ 1 = อัตราการไหลออกจากส่วนหัวกระบอกสูบที่ 2

$$Q_{RE1} = Q_{HE2}$$

ดังที่เกิดขึ้นเช่นเดียวกับในจังหวะกระบอกสูบยืดออก



รูปที่ 5.2 การไหลของน้ำมันเข้ากระบอสูบในจังหวะยืดออกและจังหวะหดกลับ

จากรูปที่ 5.2 เมื่อกระบอสูบยืดออกน้ำมันไหลเข้ากระบอสูบด้วยทิศทางการไหล Q_1 และเมื่อกระบอสูบหดกลับน้ำมันไหลเข้ากระบอสูบด้วยทิศทางการไหล Q_2

เนื่องจากในจังหวะยืดออกทิศการไหลของน้ำมันเข้าสู่กระบอสูบที่ 1 มีทิศทางเดียวกับทิศที่มวลกับแรงโน้มถ่วงกระทำกับกระบอสูบทำให้ปริมาตรที่ส่วนหัวของกระบอสูบมีการเพิ่มอย่างรวดเร็วเกินกว่าที่น้ำมันจากปั๊มมาเติมที่ปลายกระบอสูบได้ทำให้ความดันที่ส่วนหัวกระบอสูบลดลง และเนื่องจากส่วนปลายของกระบอสูบที่ 1 ถูกต่อเข้ากับส่วนหัวของกระบอสูบที่ 2 ส่งผลทำให้ความดันที่ทั้งสองบริเวณนี้มีค่าใกล้เคียงกัน แรงที่กระทำกับกระบอสูบแต่ละตัวในจังหวะหดกลับ

$$P_{RE1}A_{RE1} - P_{HE1}A_{HE1} = w_1$$

$$P_{RE2}A_{RE2} - P_{HE2}A_{HE2} = w_2$$

เนื่องจาก $P_{RE1} = P_{HE2}$, $A_{HE1} = A_{HE2}$ และ $A_{RE1} = A_{RE2}$ ได้ความสัมพันธ์ของแรงและความดันในกระบอสูบ

$$P_{RE2} \frac{A_{RE}^2}{A_{HE}} - P_{HE1}A_{HE} = w_1 + w_2 \frac{A_{RE}}{A_{HE}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลจากการทดลอง

มวลถ่วงปลาย กระบอกสูบ (Kg)		ความดัน(bar)		$P_{RE2} \frac{A_{RE}^2}{A_{HE}} - P_{HE1} A_{HE}$ (Kg)	$w_1 + w_2 \frac{A_{RE}}{A_{HE}}$ (Kg)
กระบอก สูบที่ 1	กระบอก สูบที่ 2	P_{RE2}	P_{HE1}		
12	0	50.43	10.87	28.75	35.72
29.5	0	50.57	9.87	44.50	53.22
47	0	50.76	8.49	60.35	70.72
64.5	0	50.61	7.21	76.25	88.21

ตารางที่ 5.13 ความสัมพันธ์ของแรงและความดันของวงจรวอร์โวลต์แบบอนุกรมในจังหวัด
กระบอกสูบหดรัดกลับ

จากตารางที่ 5.13 ในพจน์ $P_{RE2} \frac{A_{RE}^2}{A_{HE}} - P_{HE1} A_{HE}$ มีความแตกต่างจากพจน์ $w_1 + w_2 \frac{A_{RE}}{A_{HE}}$ เนื่องจากความสูญเสียภายในระบบ เช่น แรงเสียดทานในกระบอกสูบและการต้านทานการไหลของน้ำมันภายในกระบอกสูบ จากความสัมพันธ์ของแรงและความดันของวงจรวอร์โวลต์แบบอนุกรมในจังหวัดกระบอกสูบหดรัดกลับที่เกิดขึ้นพบว่า การยกไหลทั้งหมดของระบบได้นั้นต้องสร้างความดันที่ส่วนปลายของกระบอกสูบที่ 2

5.4 สรุปผลการทดลองการเปรียบเทียบผลของการใช้ ท่อสามทาง และ Flow diver

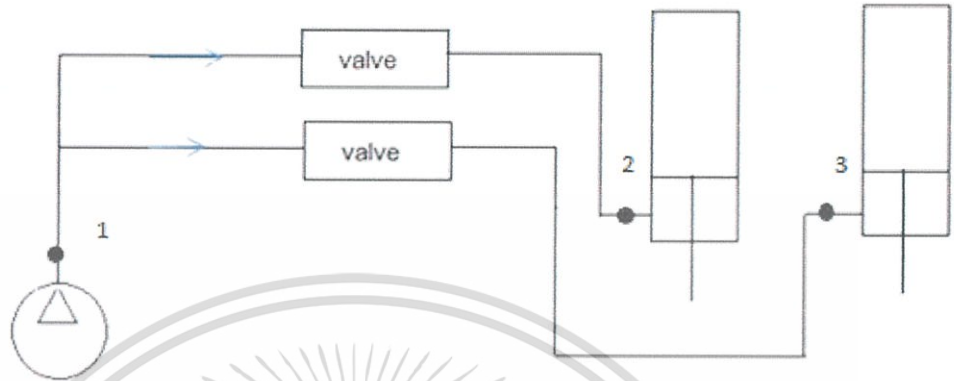
5.4.1 วงจรวอร์โวลต์ที่มีท่อสามทาง

ในจังหวัดกระบอกสูบทั้งสองยึดออก กระบอกสูบทั้งสองเคลื่อนที่ออกพร้อมกัน กระบอกสูบที่มีมวลติดอยู่ที่ปลายกระบอกสูบมากกว่าจะยึดออกด้วยความเร็วมากกว่าจนสุดระยะ 50 เซนติเมตร ก่อนกระบอกสูบด้านที่ไม่มีมวลติดอยู่จะยึดออกจนสุด เนื่องจากทิศการไหลของน้ำมันมีทิศทางเดียวกับที่มวลทำกับกระบอกสูบทำให้ความเร็วของน้ำมันไหลเข้ากระบอกเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ความดันที่หัวของกระบอกสูบลดลง เมื่อกระบอกสูบทั้งสองหดรัดกลับ กระบอกสูบที่มีมวลติดอยู่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วช้ากว่ากระบอกสูบด้านที่ไม่มีมวลติดอยู่เนื่องจากต้องใช้แรงดันยกกระบอกสูบที่มีมวลติดมากกว่า น้ำมันจึงไหลไปที่กระบอกสูบที่ไม่มีมวลติดอยู่มากกว่า และเมื่อกระบอกสูบด้านที่ไม่มีมวลติดอยู่หดรัดกลับจนสุดระยะแล้ว กระบอกสูบที่มีมวลติดอยู่ที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่ช้ากว่าและยังหดร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลับไม่สุดมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วในการเคลื่อนที่หดกลับมากขึ้น แสดงให้เห็นว่ามีน้ำมันไหลเข้ามาที่กระบอกสูบที่มีมวลอยู่มากขึ้น

วงจรไฮดรอลิกที่ใช้ท่อสามทางสามารถคำนวณอัตราการไหลได้ดังนี้



รูปที่ 5.3 แสดงวงจรไฮดรอลิกที่ใช้ในการคำนวณเบอร์นูลลี

อัตราการไหลออกจากปั๊ม $1.350 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ เส้นผ่านศูนย์กลางท่อออกจากปั๊ม 0.0127 m และ พื้นที่หน้าตัดของท่อ $1.267 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

ดังนั้น ความเร็วออกจากปั๊ม $V_1 = \frac{Q_1}{A_1} = \frac{1.35 \times 10^{-4}}{1.267 \times 10^{-4}} = 1.066 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

จากสมการ Bernoulli เทียบปั๊มกับกระบอกสูบที่ 1:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + h_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_2 + f_1 \frac{L_1 V_1^2}{d_1 \cdot 2g} + f_2 \frac{L_2 V_2^2}{d_2 \cdot 2g} + h_{L\text{valve}}$$

$$f_1 \text{ และ } f_2 \text{ หาได้จากความสัมพันธ์ } f = \frac{64}{\text{Re}} \text{ และ } \text{Re} = \frac{\text{Vd}}{\nu}$$

สมการจึงเปลี่ยนรูปเป็น

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + h_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_2 + \frac{64L_1 \nu V_1}{2gd_1^2} + \frac{64L_2 \nu V_2}{2gd_2^2} + h_{L\text{valve}}$$

γ	มีค่าเป็น	8632.8
P_1	มีค่าเป็น	$46.14 \times 10^5 \text{ KPa}$
V_1	มีค่าเป็น	$1.066 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
h_1	มีค่าเป็น	0.76 m
L_1	มีค่าเป็น	2.3 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

d_1	มีค่าเป็น	$\frac{1}{2} \times 2.54 \times 10^{-2} \text{ m}$
P_2	มีค่าเป็น	$43.14 \times 10^5 \text{ KPa}$
h_2	มีค่าเป็น	1.34 m
v	มีค่าเป็น	72×10^{-6}
L_2	มีค่าเป็น	4.6 m
d_2	มีค่าเป็น	$\frac{3}{8} \times 2.54 \times 10^{-2} \text{ m}$

แทนค่าในสมการ :

$$\begin{aligned} & \frac{46.14 \times 10^5}{8632.8} + \frac{1.066^2}{2(9.81)} + 0.76 \\ &= \frac{43.14 \times 10^5}{8632.8} + \frac{V_2^2}{2(9.81)} + 1.34 + \frac{(64)(2.3)(72 \times 10^{-6})(1.066)}{2(9.81) \left(\frac{1}{2} \times 2.54 \times 10^{-2}\right)^2} \\ &+ \frac{(64)(4.6)(72 \times 10^{-6})V_2}{2(9.81) \left(\frac{3}{8} \times 2.54 \times 10^{-2}\right)} + h_{L\text{valve}} \\ &535.291 = 499.721 + \frac{V_2^2}{19.62} + 1.34 + 3.57 + 11.91V_2 + h_{L\text{valve}} \\ &30.66 = 0.051V_2^2 + 11.91V_2 + h_{L\text{valve}} \dots \dots \dots (1) \end{aligned}$$

จากสมการ Bernoulli เทียบกับกับกระบอกสูบที่ 2:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + h_1 = \frac{P_3}{\gamma} + \frac{V_3^2}{2g} + h_3 + f_1 \frac{L_1}{d_1} \frac{V_1^2}{2g} + f_3 \frac{L_3}{d_3} \frac{V_3^2}{2g} + h_{L\text{valve}}$$

f_1 และ f_3 หาได้จากความสัมพันธ์ $f = \frac{64}{Re}$ และ $Re = \frac{VD}{\nu}$

สมการจึงเปลี่ยนรูปเป็น

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + h_1 = \frac{P_3}{\gamma} + \frac{V_3^2}{2g} + h_2 + \frac{64L_1\nu V_1}{2gd_1^2} + \frac{64L_3\nu V_3}{2gd_3^2} + h_{L\text{valve}}$$

P_3	มีค่าเป็น	$43.30 \times 10^5 \text{ KPa,}$
h_3	มีค่าเป็น	1.34 m
L_3	มีค่าเป็น	1.7 และ 2.3 m
d_3	มีค่าเป็น	$\frac{3}{8} \times 2.54 \times 10^{-2}$ และ $\frac{1}{2} \times 2.54 \times 10^{-2} \text{ m}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่าในสมการ :

$$\begin{aligned} & \frac{46.14 \times 10^5}{8632.8} + \frac{1.066^2}{2(9.81)} + 0.76 \\ &= \frac{43.30 \times 10^5}{8632.8} + \frac{V_3^2}{2(9.81)} + 1.34 + \frac{(64)(1.7)(72 \times 10^{-6})V_3}{2(9.81)\left(\frac{3}{8} \times 2.54 \times 10^{-2}\right)^2} \\ &+ \frac{(64)(2.3)(72 \times 10^{-6})(1.066)}{2(9.81)\left(\frac{1}{2} \times 2.54 \times 10^{-2}\right)^2} + \frac{(64)(2.3)(72 \times 10^{-6})V_3}{2(9.81)\left(\frac{1}{2} \times 2.54 \times 10^{-2}\right)^2} + h_{L\text{valve}} \end{aligned}$$

$$535.291 = 501.575 + \frac{V_3^2}{19.62} + 1.34 + 3.57 + 4.4V_3 + 3.349V_3 + h_{L\text{valve}}$$

$$28.8 = 0.051V_3^2 + 7.749V_3 + h_{L\text{valve}} \dots \dots \dots (2)$$

จากความสัมพันธ์อัตราไหล

$$Q_1 = Q_2 + Q_3$$

$$A_1V_1 = A_2V_2 + A_3V_3$$

$$\left(\frac{\pi d_1^2}{4}\right)V_1 = \left(\frac{\pi d_2^2}{4}\right)V_2 + \left(\frac{\pi d_3^2}{4}\right)V_3$$

$$1.35 \times 10^{-4} = (7.122 \times 10^{-5})V_2 + (7.122 \times 10^{-5})V_3$$

$$V_3 = \frac{13.5 - 7.122V_2}{7.122} \dots \dots \dots (3)$$

แก้สมการ (1) - (2)

$$1.86 = 0.051V_2^2 + 11.91V_2 - 0.051V_3^2 - 7.749V_3 \dots \dots \dots (4)$$

แทน (3) ใน (4)

$$1.86 = 0.051V_2^2 + 11.91V_2 - 0.051\left(\frac{13.5 - 7.122V_2}{7.122}\right)^2 - 7.749\left(\frac{13.5 - 7.122V_2}{7.122}\right)$$

$$V_2 = 0.843 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Q_2 = A_2V_2 = (7.122 \times 10^{-5})(0.843) = 6.004 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q_3 = Q_1 - Q_2 = 1.35 \times 10^{-4} - 6.004 \times 10^{-5} = 7.496 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q_3 = A_3V_3 = (7.122 \times 10^{-5})(V_3) = 7.496 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$V_3 = 1.0525 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าที่วัดได้จากเซ็นเซอร์

Q_1	มีค่าเป็น	$1.35 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$
-------	-----------	---

ผลการคำนวณพบว่า

Q_1	มีค่าเป็น	$1.35 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$
-------	-----------	---

Q_2	มีค่าเป็น	$6.004 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$
-------	-----------	--

Q_3	มีค่าเป็น	$7.496 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$
-------	-----------	--

สรุป อัตราการไหลจากคำนวณมีค่าเท่ากับอัตราการไหลที่วัดได้จากเซ็นเซอร์

5.4.2 วงจรไฮดรอลิกที่มี Flow divider

Flow divider เป็นอุปกรณ์แบ่งการไหลของน้ำมันเป็นสองทางด้วยอัตราการไหลที่เท่ากัน ในช่วงกระบอกสูบทั้งสองยืดออก กระบอกสูบที่มีมวลติดอยู่เคลื่อนที่ออกด้วยความเร็วมากกว่า กระบอกสูบที่ไม่มีมวลติดอยู่ เนื่องจากผลของสภาวะทิศการไหลของน้ำมันเป็นทิศเดียวกับทิศที่มวลกระทำต่อกระบอกสูบ ทำให้ Flow divider ไม่สามารถทำงานได้อย่างเต็มที่ แต่กระบอกสูบทั้งสองเคลื่อนที่ออกด้วยความเร็วคงที่มากกว่าวงจรที่ใช้ท่อสามทาง และในช่วงกระบอกสูบทั้งสองหดกลับ กระบอกสูบทั้งสองเคลื่อนที่พร้อมกันด้วยความเร็วที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้น Flow divider จึงเป็นอุปกรณ์ในวงจรไฮดรอลิกที่ต้องการให้การเคลื่อนที่ของกระบอกสูบไปพร้อมกัน แม้ว่าความดันในแต่ละกระบอกสูบแต่แตกต่างกัน

เราสามารถรู้อัตราการไหลของน้ำมันที่ไหลเข้ากระบอกสูบในวงจรไฮดรอลิกที่ใช้ Flow divider ได้เนื่องจาก Flow divider สามารถแบ่งการอัตราการไหลของน้ำมันออกเป็นสองสายด้วยค่าอัตราการไหลที่เท่ากัน

จากการทดลองทั้งหมดโดยเริ่มตั้งแต่สร้างชุดทดลองไฮดรอลิกและจัดทำเอกสารประกอบการทดลอง โดยการทดลองออกเป็น 4 การทดลอง คือ

1. กำลังและประสิทธิภาพของระบบไฮดรอลิก
2. การต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 ตัวแบบขนาน
3. การต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 ตัวแบบอนุกรม
4. การเปรียบเทียบผลของการใช้ข้อต่อสามทาง และ Flow divider

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จนกระทั่งได้ค่าผลการทดลอง พบว่า ผลที่ได้รับจากการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าทางทฤษฎี โดยสาเหตุที่ทำให้ค่าที่ได้จากการทดลองและค่าทางทฤษฎีไม่เป็นค่าเดียวกันเลยนั้นมีอยู่หลายประการ เช่น การสูญเสียภายในระบบ สัญญาณรบกวนที่เซนเซอร์ และความผิดพลาดจากการสอบเทียบเซนเซอร์ เป็นต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] Esposito Anthony. Fluid Power with Applications. 6th Edition. New Jersey: Prentice-Hall, Inc. 2003.
- [2] ขวัญชัย สันทิพย์สมบูรณ์, ปานเพชร ชินินทร. ไฮดรอลิกอุตสาหกรรม, กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ดดูเคชั่น. 2530.
- [3] Bruce R. Munson, Donald F. Young. Fluid Mechanics. 6th Edition. John Wiley & Sons (Asia) Pte Ltd. 2010.
- [4] กิจไพบูลย์ ชิวพันธุ์ศรี. LabView ซอฟต์แวร์เพื่อการพัฒนากระบวนการวัดและควบคุม, กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ดดูเคชั่น. 2554.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้