

การปรับปรุงและพัฒนาชุดทดลองไฮดรอลิกสองกระบอกสูบ

Improvement and development of a two-hydraulic cylinder
experimental setup



นายจิรวุฒิ จารุทัสสนี
นายสุรศักดิ์ ทองจันทร์
นายอัศวิน ไพรัตน์วิลเกียรติ์

ปฏิญานีพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2566

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

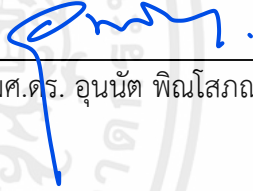
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การปรับปรุงและพัฒนาชุดทดลองไฮดรอลิกสองกระบอกสูบ

Improvement and development of a two-hydraulic cylinder experimental setup

ผู้จัดทำ

- | | | |
|-----------------|------------------|-----------------------|
| 1. นายจิรวุฒิ | จารุทัตสนี | รหัสประจำตัว 63010141 |
| 2. นายสุรศักดิ์ | ทองจันทร์ | รหัสประจำตัว 63011020 |
| 3. นายอัศวิน | โพธิ์ถวิลเกียรติ | รหัสประจำตัว 63011079 |


(ผศ.ดร. อุนนัต พิณโสภณ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับปรุงและพัฒนาชุดทดลองไฮดรอลิกสองกระบอกสูบ

นายจิรวุฒิ	จารุทัสสนี	63010141
นายสุรศักดิ์	ทองจันทร์	63011020
นายอัศวิน	โพธิ์ถวิลเกียรติ์	63011079

ผศ.ดร. อุन्नัต พิณโสภณ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2566

บทคัดย่อ

การทำ การซ่อมแซมและปรับปรุงชุดทดลองไฮดรอลิกสำหรับโครงการนี้ถูกจัดทำขึ้นเพื่อให้สามารถนำชุดทดลองกลับมาใช้สำหรับการเรียนการสอนในวิชาแลปวิศวกรรมเครื่องกล เนื่องจากระบบไฮดรอลิกเป็นระบบที่มีความสำคัญและมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่างๆ การทำความเข้าใจเรียนรู้หลักการทำงานของระบบไฮดรอลิกจึงเป็นพื้นฐานสำคัญสำหรับการทำงานในด้านอุตสาหกรรมในอนาคต ชุดทดลองไฮดรอลิกใช้การเขียนโปรแกรม LabVIEW เพื่อควบคุมคำสั่งที่จะส่งไปยัง DAQ USB device โดยจะแปลงจากสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก เพื่อควบคุมการทำงานของระบบ จะเป็นการควบคุมอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกผ่านวาล์ว โดยวาล์วควบคุมทิศทางการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกเข้าสู่กระบอกสูบ โดยใช้เซ็นเซอร์วัดระยะทางเป็นตัววัดระยะยึดหดของกระบอกสูบ ส่วนการหาประสิทธิภาพของระบบทำได้โดยการคำนวณค่ามวลที่ติดอยู่กับกระบอกสูบ ความเร็วของกระบอกสูบ ความดันที่ตำแหน่งปั๊ม กระบอกสูบหัวและท้ายจากเซ็นเซอร์วัดความดัน วิเคราะห์ผลเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้ทางทฤษฎี และหาประสิทธิภาพ

ชุดทดลองของเก่ามีการใช้งานประมาณ 10 ปี อุปกรณ์หลายอย่างเสื่อมสภาพ เช่น จุดเชื่อมต่อสายไฟ สายไฟและ DAQ Card รวมไปถึงชุดควบคุมที่มีหลายอุปกรณ์ทำให้ใช้งานยากทางคณะผู้จัดทำทำการปรับปรุงชุดทดลองโดยการเปลี่ยน DAQ Card จากเดิมที่รับส่งสัญญาณที่ 0 ถึง 10 โวลต์ เป็น DAQ USB device ที่รับส่งสัญญาณที่ -10 ถึง +10 โวลต์เพื่อให้ช่วงสัญญาณที่มากขึ้น เพื่อให้ชุดทดลองมีความละเอียดมากขึ้น และจากเดิมที่ชุดทดลองมีการใช้ตัวต้านทานมาต่อเพื่อให้ครบวงจรแล้วใช้วิธีวัดค่าความต่างศักย์ที่ตกคร่อมตัวต้านทาน ทางคณะผู้จัดทำได้มีการนำ Op amp แปลงกระแสเป็นสัญญาณความต่างศักย์และขยายสัญญาณให้มีช่วงที่มากขึ้น เปลี่ยนสายไฟ และสร้างกล่องควบคุมให้ใช้งานง่ายขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดทดลองไฮดรอลิกจะมี 4 การทดลอง 1. การทดลอง 1 ระบายสูบในแนวตั้ง 2.การทดลอง 2 ระบายสูบต่อแบบอนุกรม 3.การทดลอง 2 ระบายสูบต่อแบบขนาน 4.การทดลอง 2 ระบายสูบต่อแบบขนาน โดยการใช้ Flow divider แทนข้อต่อสามทาง ทดลองโดยให้ระบายสูบบีบอัดออกสุดและหดกลับสุด และมีการเพิ่มมวลถ่วงที่ระบายสูบที่ 1 ทุกการทดลอง มวลที่ถ่วงคือ 0kg(ไม่มีมวลถ่วง), 12kg, 29.5kg, 47kg และ 64.5kg

ผลการทดลองที่ 1 การทดลอง 1 ระบายสูบในแนวตั้ง เมื่อมีมวลถ่วงมากขึ้นความเร็วในการบีบอัดของระบายสูบจะมากขึ้นเป็นผลมาจาก over running load แต่ในการหดกลับจะมีความเร็วเท่าเดิมแม้จะมีการมีเพิ่มมวลที่ถ่วง

ผลการทดลองที่ 2 การทดลอง 2 ระบายสูบต่อแบบอนุกรม เมื่อมีมวลถ่วงมากขึ้นความเร็วในการบีบอัดของระบายสูบ 1 และ 2จะมากขึ้นเป็นผลมาจาก over running load แต่ในการหดกลับจะมีความเร็วเท่าเดิมแม้จะมีการมีเพิ่มมวลที่ถ่วง และผลของการต่อแบบอนุกรมทำให้ระบายสูบทั้งสองจะเริ่มเคลื่อนที่และหยุดพร้อมกัน

ผลการทดลองที่ 3 ผลการทดลอง 2 ระบายสูบต่อแบบขนาน น้ำมันจะไหลไประบายสูบที่มีไหลต่ำกว่ามากกว่า เนื่องจากมีความดันต่ำกว่า และเมื่อระบายสูบที่มีไหลต่ำกว่ายืดหรือหดจะส่งผลให้อีกระบายสูบมีความเร็วมากขึ้นเนื่องจากอัตราการไหลเพิ่มขึ้น

ผลการทดลองที่ 4 การทดลอง 2 ระบายสูบต่อแบบขนาน โดยการใช้ Flow divider แทนข้อต่อสามทาง flow divider แบ่งอัตราการไหลไปยังทั้งสองระบายสูบเท่ากัน แม้ระบายสูบทั้งสองจะมีไหลไม่เท่ากันทำให้มีความเร็วหดกลับเท่ากัน ต่างจากกรณีที่ใช้ข้อต่อสามทางระบายสูบที่มีไหลต่ำกว่าจะมีความเร็วหดกลับมากกว่าอีกระบายสูบ แต่ในตอนยืดออกของทั้งสองกรณีระบายสูบที่มีไหลต่ำกว่าจะมีเร็วยืดออกมากกว่าอีกระบายสูบเนื่องจากเกิด over running load จากมวลที่ถ่วง

Improvement and development of a two-hydraulic cylinder experimental setup

Jirawat Jarutassanee 63010141

Surasak Thongchan 63011020

Aussawin Phothawilkiat 63011079

Asst.Prof.Ph.Dr. Unnat Pinsopon Advisor

Year 2023

ABSTRACT

The repair and improvement of the hydraulic experimental setup for this project made for the experimental setup reused for teaching in mechanical engineering labs. Because hydraulic systems are important systems and are widely used in various industries. Understanding the working principles of hydraulic systems is an important basis for working in the industry in the future. The hydraulic experimental setup uses LabVIEW programming to control commands sent to the DAQ Card, converting from digital signals to analog signals. To control the operation of the system. It controls the flow rate of hydraulic oil through valve. The valve controls the flow direction of hydraulic oil into the cylinder. By using a distance sensor to measure cylinder extending-retracting displacement. The efficiency of the system can be determined by calculating the mass attached to the cylinder, Cylinder speed, Pressure that is measured by pressure transducers at pump head-end and rod- end. To Analyst and compare with theoretical result.

The experimental setup was approximately 10 years old, and the equipment, including electric wire connection points, DAQ cards, and multi-device control units, made it difficult to use. The team has improved the experimental setup by replacing the DAQ card, the old DAQ Card that sent and received signals at 0 to 10 volts, the new DAQ USB device received signals at

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-10 to +10 volts to provide a better signal range. To provide a better signal range To make the experimental set more detailed. And from the old experimental setup used resistors to complete the circuit and then measure the voltage across resistor (convert current signal to voltage). We use a operational amplifier to convert current signals into voltage signals instead of resistor and amplify the signal to have a better range, changing the wires, and creating a control box to make it easier to use.

The hydraulic experiment set will consist of four experiments. 1.experiment with one cylinder in a vertical position. 2.experiment with two cylinders in series. 3.experiment with two cylinders in parallel. 4.experiment with two cylinders in parallel, using a flow divider instead of a three-way joint. In each experiment, the cylinder was tested in both fully extended and fully retracted positions. Additionally, a counterweight mass was added to cylinder 1 for each experiment. The counterweight masses used were 0 kg (no counterweight), 12 kg, 29.5 kg, 47 kg, and 64.5 kg.

Experiment 1: In the experiment with one vertical cylinder, the addition of more counterweight leads to an increase in the cylinder's extension speed due to overrunning load. However, the retracting speed remains the same even with the additional counterweight.

Experiment 2: In the experiment with two cylinders connected in series, increasing the counterweight mass leads to an increase in the extension speed of both cylinders 1 and 2 due to overrunning load. However, the retracting speed remains constant even with the additional counterweight mass. Additionally, due to the series connection, both cylinders start moving and stop simultaneously.

Experiment 3: In the experiment with two cylinders connected in parallel, more oil flowed to the cylinder with the lower load due to its lower pressure. Additionally, when a cylinder with a lower load is fully extended or contracted, it causes the other cylinder to increase in speed due to the increased flow rate.

Experiment 4: In the experiment with two cylinders connected in parallel using a flow divider instead of a three-way joint, the flow divider divides the flow rate equally into both

cylinders. Despite the two cylinders having different loads, they exhibit the same retract speed. Unlike when using a three-way joint, where a cylinder with a lower load will have a higher retract speed than the other cylinder. However, during the extension process in both cases, the cylinder with the higher load will extend faster than the other cylinder due to overrunning load from the counterweight.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยคำแนะนำและความช่วยเหลือจาก ผศ.ดร.อุษนัต พิณโสภณ อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์ และนาย... คณะผู้จัดทำปริญญาานิพนธ์มีความรู้สึกขอบคุณในความอนุเคราะห์ และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง อีกทั้งขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบปริญญาานิพนธ์ สำหรับคำชี้แนะเพิ่มเติม เพื่อให้ปริญญาานิพนธ์นี้มีความสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพยิ่งที่ให้การเลี้ยงดู อบรมและให้โอกาสทางการศึกษา อย่างดียิ่ง อีกทั้งยังให้กำลังใจอย่างเสมอมาในทุกๆด้านอันหาที่เปรียบไม่ได้

ขอขอบพระคุณคณะอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือ ความรู้ความเข้าใจ เพื่อให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้โอกาสผู้จัดทำปริญญาานิพนธ์เข้ามารับการศึกษาและทำการทดลองที่ภาควิชาแห่งนี้ คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ คณะผู้จัดทำขอขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน ขออำนาจพระศรีรัตนตรัย อำนาจอวยพรความสุขสวัสดิ์สืบมีแต่ทุกท่าน

นายจิรวุฒน์ จารุทัตสนี

นายสุรศักดิ์ ทองจันทร์

นายอัศวิน โพธิ์ถวิลเกียรติ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่ 1	1
1.1 ความเป็นมา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์	5
1.3 ขอบเขต	5
1.4 วิธีการดำเนินงาน	5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
บทที่ 2	7
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	7
2.1.1 ระบบไฮดรอลิก	7
2.1.2 ส่วนประกอบของระบบไฮดรอลิก.....	7
2.1.3 การเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานเชิงกลในระบบไฮดรอลิก.....	8
2.1.4 แแรง ความเร็ว และกำลังของกระบอกสูบ.....	10
2.1.5 Over running load.....	11
2.1.6 Flow divider	12
2.1.7 ต่อกระบอกสูบแบบขนาน	12
2.1.8 ต่อกระบอกสูบแบบอนุกรม	13
2.1.9 สมการความต่อเนื่อง (continuity equation).....	14
2.1.10 สมการเบอร์นูลลี (Bernoulli's equation).....	15
2.1.11 การสูญเสียภายในท่อ (loss in pipe).....	17
2.1.12 Pressure relief valve.....	17
2.1.13 วงจรขยายสัญญาณเชิงดำเนินการ(Op Amp)	18

2.1.14	ระบบดาด้าแอกควิสสิชั่น (Data Acquisition).....	20
2.2	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	21
2.2.1	การควบคุมความเร็วกระบอกสูบไฮดรอลิกโดยการควบคุมอัตราการไหลของปั๊ม	21
2.2.2	การควบคุมแรงไฮดรอลิกควบคู่กับการชดเชยแรงเสียดทาน	21
2.2.3	ศึกษาการใช้ น้ำมันปาล์มแทนน้ำมันไฮดรอลิก.....	21
บทที่ 3	22
3.1	อุปกรณ์การทดลอง.....	22
3.2	การทำกล่องควบคุม.....	36
3.3	ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรม.....	46
3.4	รูปแบบการทดลอง	48
3.4.1	การทดลอง 1 กระบอกสูบในแนวตั้ง	48
3.4.2	การทดลองที่ 2 การทดลอง 2 กระบอกสูบต่อแบบอนุกรม.....	50
3.4.3	การทดลองที่ 3 การทดลอง 2 กระบอกสูบต่อแบบขนาน.....	53
3.4.4	การทดลองที่ 4 การทดลอง 2 กระบอกสูบต่อแบบขนาน โดยการใช้ Flow divider แทนข้อต่อสามทาง	56
บทที่ 4	60
4.1	ผลการทดลอง 1 กระบอกสูบในแนวตั้ง	60
4.1.1	ผลการทดลองเมื่อมีน้ำหนักถ่วง 0 กิโลกรัม	60
4.1.2	ผลการทดลองเมื่อมีน้ำหนักถ่วง 12 กิโลกรัม	62
4.1.3	ผลการทดลองเมื่อมีน้ำหนักถ่วง 29.5 กิโลกรัม.....	64
4.1.4	ผลการทดลองเมื่อมีน้ำหนักถ่วง 47 กิโลกรัม	66
4.1.5	ผลการทดลองเมื่อมีน้ำหนักถ่วง 64.5 กิโลกรัม.....	68
4.2	ผลการทดลอง 2 กระบอกสูบต่อแบบอนุกรม.....	74

4.2.1	ผลการทดลองเมื่อมีน้ำหนักถ่วง 0 กิโลกรัม	74
4.2.2	ผลการทดลองเมื่อมีน้ำหนักถ่วง 12 กิโลกรัม	77
4.2.3	ผลการทดลองเมื่อมีน้ำหนักถ่วง 29.5 กิโลกรัม	80
4.2.4	ผลการทดลองเมื่อมีน้ำหนักถ่วง 47 กิโลกรัม	83
4.2.5	ผลการทดลองเมื่อมีน้ำหนักถ่วง 64.5 กิโลกรัม	86
4.3	ผลการทดลอง 2 กระบอกสูบต่อแบบขนาน	91
4.3.1	ผลการทดลองเมื่อมีน้ำหนักถ่วง 0 กิโลกรัม	91
4.3.2	ผลการทดลองเมื่อมีน้ำหนักถ่วง 12 กิโลกรัม	94
4.3.3	ผลการทดลองเมื่อมีน้ำหนักถ่วง 29.5 กิโลกรัม	97
4.3.4	ผลการทดลองเมื่อมีน้ำหนักถ่วง 47 กิโลกรัม	100
4.3.5	ผลการทดลองเมื่อมีน้ำหนักถ่วง 64.5 กิโลกรัม	103
4.4	ผลการทดลอง 2 กระบอกสูบต่อแบบขนาน โดยการใช้ Flow divider แทนข้อต่อสามทาง	109
4.4.1	ผลการทดลองเมื่อมีน้ำหนักถ่วง 0 กิโลกรัม	109
4.4.2	ผลการทดลองเมื่อมีน้ำหนักถ่วง 12 กิโลกรัม	113
4.4.3	ผลการทดลองเมื่อมีน้ำหนักถ่วง 29.5 กิโลกรัม	116
4.4.4	ผลการทดลองเมื่อมีน้ำหนักถ่วง 47 กิโลกรัม	119
4.4.5	ผลการทดลองเมื่อมีน้ำหนักถ่วง 64.5 กิโลกรัม	122
บทที่ 5	127
5.1	การทดลองที่ 1 การทดลองกระบอกสูบเดี่ยว	127
5.2	การทดลองที่ 2 การต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอก แบบอนุกรม	129
5.3	การทดลองที่ 3 การต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอก แบบขนาน	131
5.4	การทดลองที่ 4 การทดลองต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอก แบบขนานโดยใช้ Flow divider .	133

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 1.1 ชุดการทดลองไฮดรอลิกเดิม.....	2
รูปที่ 1.2 DAQ Card และคอมพิวเตอร์.....	2
รูปที่ 1.3 ชุดรวมสายไฟและสายสัญญาณ	3
รูปที่ 1.4 ขั้วต่อสายไฟ สายสัญญาณ DCV ที่มีคราบน้ำมันและฝุ่น.....	3
รูปที่ 1.5 ชนเซอร์วัดความดันที่พลาสติกครอบเสื่อมสภาพ.....	4
รูปที่ 1.6 ระบายออกสู่อไฮดรอลิก	4
รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบพื้นฐานของระบบไฮดรอลิก ของอุปกรณ์ทำงานเชิงเส้น(ระบายออกสู่อ)	7
รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบพื้นฐานของระบบไฮดรอลิก ของอุปกรณ์ทำงานเชิงมุม(มอเตอร์ไฮดรอลิก)	8
รูปที่ 2.3 การเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานเชิงกลในระบบไฮดรอลิก	8
รูปที่ 2.4 แรง ความเร็ว และกำลังของระบายออกสู่อ	10
รูปที่ 2.5 Over running load	11
รูปที่ 2.6 flow divider (https://shorturl.at/oqtOU).....	12
รูปที่ 2.7 การต่อระบายออกสู่อแบบขนาน.....	12
รูปที่ 2.8 การต่อระบายออกสู่อแบบอนุกรม	13
รูปที่ 2.9 การไหลของของไหลในท่อที่มีพื้นที่หน้าตัดไม่เท่ากัน	14
รูปที่ 2.10 การไหลในท่อที่ขนาดแตกต่างกันและระดับต่างกัน	15
รูปที่ 2.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับอัตราการไหลของ pressure relief valve.....	17
รูปที่ 2.12 วงจรขยายความแตกต่าง (Difference amplifier).....	18
รูปที่ 2.13 วงจรแปลงกระแสเป็นแรงดัน(Current to Voltage Converter)	19
รูปที่ 2.14 วงจรบวกสัญญาณ (Summing Amplifier)	19
รูปที่ 3.1 ชุดทดลองไฮดรอลิก	22
รูปที่ 3.2 ชุดต้นกำลังไฮดรอลิก	23
รูปที่ 3.3 วาล์วควบคุมทิศทาง.....	23
รูปที่ 3.4 ข้อมูลวาล์วควบคุมทิศทาง	24
รูปที่ 3.5 ระบายออกสู่อไฮดรอลิก	24
รูปที่ 3.6 ข้อมูลระบายออกสู่อไฮดรอลิก	25

รูปที่ 3.7 การ์ดเชื่อมต่อโยงสัญญาณ.....	25
รูปที่ 3.8 ข้อมูลการ์ดเชื่อมต่อโยงสัญญาณ (NI USB 6001).....	26
รูปที่ 3.9 เซนเซอร์วัดความดัน.....	26
รูปที่ 3.10 ข้อมูลเซนเซอร์วัดความดัน.....	27
รูปที่ 3.11 เซนเซอร์วัดระยะทาง.....	28
รูปที่ 3.12 ข้อต่อสามทาง.....	28
รูปที่ 3.13 Flow divider.....	29
รูปที่ 3.14 อุปกรณ์ถ่วงน้ำหนัก.....	29
รูปที่ 3.15 Operational amplifier.....	30
รูปที่ 3.16 วงจร operational amplifiers.....	30
รูปที่ 3.17 ขั้วเชื่อมต่อ DIN.....	31
รูปที่ 3.18 Power Supply.....	31
รูปที่ 3.19 จุดรวมวงจรของเกา.....	32
รูปที่ 3.20 การจัดวางอุปกรณ์ต่างๆภายในกล่องควบคุม.....	32
รูปที่ 3.21 แบบด้านหน้ากล่องควบคุมที่จะทำขึ้นมาใหม่.....	33
รูปที่ 3.22 Positive displacement flow sensors VZ0.2AL.....	34
รูปที่ 3.23 SIKA TU7005.....	35
รูปที่ 3.24 กล่องควบคุม flow sensor.....	35
รูปที่ 3.25 การต่อ IV converter.....	36
รูปที่ 3.26 การต่อ summing amplifier.....	37
รูปที่ 3.27 ต่อ IV converter รวมกับ summing amplifier.....	38
รูปที่ 3.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดันไฟฟ้ากับความดันที่ปัม.....	38
รูปที่ 3.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดันไฟฟ้ากับความดันที่ด้าน head end ของกระบอกลูกสูบที่ 1... 39	39
รูปที่ 3.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดันไฟฟ้ากับความดันที่ด้าน rod end ของกระบอกลูกสูบที่ 1..... 40	40
รูปที่ 3.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดันไฟฟ้ากับความดันที่ด้าน head end ของกระบอกลูกสูบที่ 2... 40	40
รูปที่ 3.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดันไฟฟ้ากับความดันที่ด้าน rod end ของกระบอกลูกสูบที่ 2..... 41	41
รูปที่ 3.33 การต่อ differential amplifier.....	42
รูปที่ 3.34 แผนภาพการต่อ differential amplifier.....	42

รูปที่ 3.35	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับระยะของกระบอกสูบที่ 1.....	43
รูปที่ 3.36	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับระยะของกระบอกสูบที่ 2.....	43
รูปที่ 3.37	แผนภาพแสดงการเชื่อมต่อระหว่างเซ็นเซอร์ต่างๆ และ วาล์วกับ NI USB 6001.....	44
รูปที่ 3.38	Front panel.....	46
รูปที่ 3.39	Front panel tab Other	47
รูปที่ 3.40	แผนภาพไฮดรอลิกในการทดลอง 1 กระบอกสูบในแนวตั้ง	48
รูปที่ 3.41	แผนภาพการต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอก แบบอนุกรม	50
รูปที่ 3.42	แผนภาพการต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอก แบบขนาน	53
รูปที่ 3.43	แผนภาพการต่อ 2 กระบอกสูบแบบขนานโดยใช้ Flow divider	56
รูปที่ 4.1	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนที่และเวลา.....	60
รูปที่ 4.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลา	61
รูปที่ 4.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเฉลี่ยในแต่ละช่วงและเวลา	61
รูปที่ 4.4	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนที่และเวลา.....	62
รูปที่ 4.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลา	63
รูปที่ 4.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเฉลี่ยในแต่ละช่วงและเวลา	63
รูปที่ 4.7	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนที่และเวลา.....	64
รูปที่ 4.8	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลา	65
รูปที่ 4.9	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเฉลี่ยในแต่ละช่วงและเวลา	65
รูปที่ 4.10	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนที่และเวลา	66
รูปที่ 4.11	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลา	67
รูปที่ 4.12	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเฉลี่ยในแต่ละช่วงและเวลา.....	67
รูปที่ 4.13	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนที่และเวลา	68
รูปที่ 4.14	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลา	69
รูปที่ 4.15	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเฉลี่ยในแต่ละช่วงและเวลา.....	69
รูปที่ 4.16	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนที่กับเวลา	72
รูปที่ 4.17	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนที่ของกระบอกที่ 1 และ 2 กับเวลา	74
รูปที่ 4.18	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาของกระบอกสูบที่ 1	74
รูปที่ 4.19	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเฉลี่ยและเวลาของกระบอกสูบที่ 1	75

รูปที่ 4.48 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาของกระบอกสูบที่ 1	95
รูปที่ 4.49 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเฉลี่ยและเวลาของกระบอกสูบที่ 1	95
รูปที่ 4.50 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาของกระบอกสูบที่ 2	96
รูปที่ 4.51 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเฉลี่ยและเวลาของกระบอกสูบที่ 2	96
รูปที่ 4.52 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนที่ของกระบอกที่ 1 และ 2 กับเวลา	97
รูปที่ 4.53 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาของกระบอกสูบที่ 1	98
รูปที่ 4.54 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเฉลี่ยและเวลาของกระบอกสูบที่ 1	98
รูปที่ 4.55 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาของกระบอกสูบที่ 2	99
รูปที่ 4.56 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเฉลี่ยและเวลาของกระบอกสูบที่ 2	99
รูปที่ 4.57 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนที่ของกระบอกที่ 1 และ 2 กับเวลา	100
รูปที่ 4.58 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาของกระบอกสูบที่ 1	101
รูปที่ 4.59 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาของกระบอกสูบที่ 1	101
รูปที่ 4.60 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาของกระบอกสูบที่ 2	102
รูปที่ 4.61 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาของกระบอกสูบที่ 2	102
รูปที่ 4.62 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนที่ของกระบอกที่ 1 และ 2 กับเวลา	103
รูปที่ 4.63 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาของกระบอกสูบที่ 1	104
รูปที่ 4.64 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเฉลี่ยและเวลาของกระบอกสูบที่ 1	104
รูปที่ 4.65 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาของกระบอกสูบที่ 2	105
รูปที่ 4.66 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเฉลี่ยและเวลาของกระบอกสูบที่ 2	105
รูปที่ 4.67 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนที่ของกระบอกที่ 1 และ 2 กับเวลา ในการทดลอง 2 กระบอกสูบต่อแบบขนาน โดยการใช้ Flow divider แทนข้อต่อสามทาง โดยไม่มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1	109
รูปที่ 4.68 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาของกระบอกสูบที่ 1 ในการทดลอง 2 กระบอกสูบ ต่อแบบขนาน โดยการใช้ Flow divider แทนข้อต่อสามทาง โดยไม่มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1	110
รูปที่ 4.69 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเฉลี่ยและเวลาของกระบอกสูบที่ 1 ในการทดลอง 2 กระบอก สูบต่อแบบขนาน โดยการใช้ Flow divider แทนข้อต่อสามทาง โดยไม่มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1	110
รูปที่ 4.70 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาของกระบอกสูบที่ 2 ในการทดลอง 2 กระบอกสูบ ต่อแบบขนาน โดยการใช้ Flow divider แทนข้อต่อสามทาง โดยไม่มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1	111

รูปที่ 4.71 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเฉลี่ยและเวลาของกระบอกสูบที่ 2 ในการทดลอง 2 กระบอกสูบต่อแบบขนาน โดยการใช้ Flow divider แทนข้อต่อสามทาง โดยไม่มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1.....	111
รูปที่ 4.72 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนที่ของกระบอกที่ 1 และ 2 กับเวลา.....	113
รูปที่ 4.73 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาของกระบอกสูบที่ 1 ในการทดลอง 2 กระบอกสูบต่อแบบขนาน โดยการใช้ Flow divider แทนข้อต่อสามทาง โดยมีมวล 12 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1.....	113
รูปที่ 4.74 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเฉลี่ยและเวลาของกระบอกสูบที่ 1.....	114
รูปที่ 4.75 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาของกระบอกสูบที่ 2 ในการทดลอง 2 กระบอกสูบต่อแบบขนาน โดยการใช้ Flow divider แทนข้อต่อสามทาง โดยมีมวล 12 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1.....	114
รูปที่ 4.76 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเฉลี่ยและเวลาของกระบอกสูบที่ 2.....	115
รูปที่ 4.77 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนที่ของกระบอกที่ 1 และ 2 กับเวลา.....	116
รูปที่ 4.78 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาของกระบอกสูบที่ 1 ในการทดลอง 2 กระบอกสูบต่อแบบขนาน โดยการใช้ Flow divider แทนข้อต่อสามทาง โดยมีมวล 29.5 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1.....	116
รูปที่ 4.79 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเฉลี่ยและเวลาของกระบอกสูบที่ 1.....	117
รูปที่ 4.80 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาของกระบอกสูบที่ 2 ในการทดลอง 2 กระบอกสูบต่อแบบขนาน โดยการใช้ Flow divider แทนข้อต่อสามทาง โดยมีมวล 29.5 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1.....	117
รูปที่ 4.81 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเฉลี่ยและเวลาของกระบอกสูบที่ 2.....	118
รูปที่ 4.82 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนที่ของกระบอกที่ 1 และ 2 กับเวลา.....	119
รูปที่ 4.83 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาของกระบอกสูบที่ 1 ในการทดลอง 2 กระบอกสูบต่อแบบขนาน โดยการใช้ Flow divider แทนข้อต่อสามทาง โดยมีมวล 47 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1.....	119
รูปที่ 4.84 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเฉลี่ยและเวลาของกระบอกสูบที่ 1.....	120
รูปที่ 4.85 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาของกระบอกสูบที่ 2 ในการทดลอง 2 กระบอกสูบต่อแบบขนาน โดยการใช้ Flow divider แทนข้อต่อสามทาง โดยมีมวล 47 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1.....	120

รูปที่ 4.86 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเฉลี่ยและเวลาของกระบอกสูบที่ 2.....	121
รูปที่ 4.87 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนที่ของกระบอกที่ 1 และ 2 กับเวลา.....	122
รูปที่ 4.88 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาของกระบอกสูบที่ 1 ในการทดลอง 2 กระบอกสูบ ต่อแบบขนาน โดยการใช้ Flow divider แทนข้อต่อสามทาง โดยมีมวล 64.5 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1	122
รูปที่ 4.89 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเฉลี่ยและเวลาของกระบอกสูบที่ 1.....	123
รูปที่ 4.90 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาของกระบอกสูบที่ 1 ในการทดลอง 2 กระบอกสูบ ต่อแบบขนาน โดยการใช้ Flow divider แทนข้อต่อสามทาง โดยมีมวล 64.5 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1	123
รูปที่ 4.91 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเฉลี่ยและเวลาของกระบอกสูบที่ 1.....	124
รูปที่ 5.1 กราฟผลการทดลองกระบอกสูบเดี่ยวที่ load ต่างกัน.....	127
รูปที่ 5.2 กราฟผลแสดงการเคลื่อนที่การทดลองกระบอกสูบเดี่ยวที่ load ต่างกัน.....	128
รูปที่ 5.3 กราฟผลการทดลองต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอก แบบอนุกรมที่ load ต่างกัน.....	129
รูปที่ 5.4 กราฟแสดงผลการเคลื่อนที่การทดลองต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอกแบบอนุกรมที่ load ต่างกัน	130
รูปที่ 5.5 กราฟผลการทดลองต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอก แบบขนานที่ load ต่างกัน.....	131
รูปที่ 5.6 กราฟแสดงผลการเคลื่อนที่การต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอกแบบขนาน load ต่างกัน.....	132
รูปที่ 5.7 กราฟผลการทดลองต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอก แบบขนานโดยใช้Flow divider ที่ load ต่างกัน.....	133
รูปที่ 5.8 กราฟแสดงผลการเคลื่อนที่การต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอก แบบขนาน load ต่างกัน.....	134

สารบัญตาราง

ตารางที่ 3.1 ตารางบันทึกผลความเร็ว และ อัตราการไหลของการทดลอง 1 กระบอกสูบในแนวตั้ง.....	49
ตารางที่ 3.2 ตารางบันทึกผลความดันของการทดลอง 1 กระบอกสูบในแนวตั้ง.....	49
ตารางที่ 3.3 ตารางบันทึกผลความเร็วและอัตราการไหลของการต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอกแบบอนุกรม	51
ตารางที่ 3.4 ตารางบันทึกผลความเร็วและอัตราการไหลของการต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอกแบบอนุกรม	51
ตารางที่ 3.5 ตารางบันทึกผลความดันของการต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอกแบบอนุกรมขณะยืดออก	52
ตารางที่ 3.6 ตารางบันทึกผลความดันของการต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอกแบบอนุกรมขณะ หดกลับ .	52
ตารางที่ 3.7 ตารางบันทึกผลความเร็วและอัตราการไหลของการต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอกแบบขนาน	54
ตารางที่ 3.8 ตารางบันทึกผลความเร็วและอัตราการไหลของการต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก2 กระบอก แบบขนาน	54
ตารางที่ 3.9 ตารางบันทึกผลความดันของการต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอกแบบขนาน ขณะยืดออก	55
ตารางที่ 3.10 ตารางบันทึกผลความดันของการต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอกแบบขนาน ขณะหดกลับ...	55
ตารางที่ 3.11 ตารางบันทึกผลความเร็วและอัตราการไหลของการต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอกสูบแบบ	57
ตารางที่ 3.12 ตารางบันทึกผลความเร็วและอัตราการไหลของการต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก2 กระบอกสูบแบบ .	58
ตารางที่ 3.13 ตารางบันทึกผลความดันของการต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอกสูบแบบขนาน โดยการใช้..	58
ตารางที่ 3.14 ตารางบันทึกผลความดันของการต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอกสูบแบบขนาน โดยการใช้..	59
ตารางที่ 4.1 ตารางบันทึกผลความเร็วและอัตราการไหลของการต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 1 กระบอก.....	70
ตารางที่ 4.2 ตารางบันทึกผลความดันของการต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 1 กระบอก.....	71
ตารางที่ 4.3 ตารางบันทึกผลความเร็วและอัตราการไหลของการต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอกแบบอนุกรม	89
ตารางที่ 4.4 ตารางบันทึกผลความเร็วและอัตราการไหลของการต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอกแบบอนุกรม	89
ตารางที่ 4.5 ตารางบันทึกผลความดันของการต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอกแบบอนุกรมขณะยืดออก	90

ตารางที่ 4.6 ตารางบันทึกผลความดันของการต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอกแบบอนุกรมขณะหดกลับ	90
ตารางที่ 4.7 ตารางบันทึกผลความเร็วและอัตราการไหลของการต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอกแบบขนาน	106
ตารางที่ 4.8 ตารางบันทึกผลความเร็วและอัตราการไหลของการต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอก แบบขนาน	107
ตารางที่ 4.9 ตารางบันทึกผลความดันของการต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอกแบบขนาน ขณะยืดออก ...	107
ตารางที่ 4.10 ตารางบันทึกผลความดันของการต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอกแบบขนาน ขณะหดกลับ.	108
ตารางที่ 4.11 ตารางบันทึกผลความเร็วและอัตราการไหลของการต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอก แบบ..	125
ตารางที่ 4.12 ตารางบันทึกผลความเร็วและอัตราการไหลของการต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอก แบบขนาน	125
ตารางที่ 4.13 ตารางบันทึกผลความดันของการต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอกแบบขนาน ขณะยืดออก .	126
ตารางที่ 4.14 ตารางบันทึกผลความดันของการต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอกแบบขนาน ขณะหดกลับ.	126



บทที่ 1

บทนำ

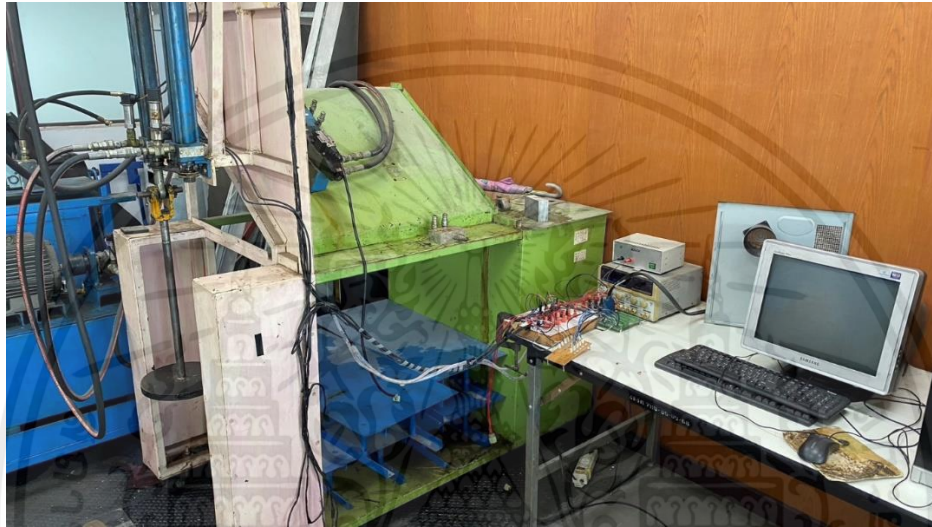
1.1 ความเป็นมา

ระบบไฮดรอลิกเป็นระบบมีการใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่างๆ ตัวอย่างเช่น เครื่องอัดขึ้นรูป(Press) งานตัด (Cutting) ระบบส่งกำลังต่างๆในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ การเคลื่อนย้ายสิ่งของหรือชิ้นงานที่มีน้ำหนักสูงในงานที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้าง และอื่นๆ เนื่องจากระบบไฮดรอลิกเป็นระบบที่สามารถสูงในการส่งกำลัง มีความแข็งแรงทนทานต่อสภาพแวดล้อมต่างๆในการทำงาน มีการตอบสนองที่รวดเร็ว อีกทั้งน้ำมันไฮดรอลิกที่มีคุณสมบัติที่ไม่สามารถยุบตัวได้ ทำให้การส่งถ่ายกำลังมีประสิทธิภาพ และน้ำมันไฮดรอลิกมีความสามารถในการระบายความร้อนให้กับระบบและอุปกรณ์ต่างๆ โดยระบบไฮดรอลิกสามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ไฟฟ้าหรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ให้สามารถควบคุมการทำงานของระบบไฮดรอลิกเพื่อความแม่นยำในการทำงาน การศึกษาของระบบไฮดรอลิกจึงเป็นสิ่งสำคัญต่อความเข้าใจระบบและหลักการทำงานของระบบไฮดรอลิก เพื่อเป็นพื้นฐานความรู้ความเข้าใจในการทำงานที่มีระบบไฮดรอลิกเข้าไปเกี่ยวข้องในอนาคต

กระบอกสูบไฮดรอลิกเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญ ถือเป็นอุปกรณ์หลักในการทำงานของระบบไฮดรอลิก มีหน้าที่เปลี่ยนกำลังงานของการไหลเป็นกำลังงานทางกล เพื่อใช้ในการดัน การยก การดึง หรือการขับเคลื่อนอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งในบางงานอาจจะต้องมีการใช้งานกระบอกสูบไฮดรอลิกมากกว่าหนึ่งหรือต้องมีการใช้งานร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ เช่น ข้อต่อต่างๆ Flow divider หรือวาล์วแบบต่างๆ ดังนั้นการศึกษากิจการของกระบอกสูบไฮดรอลิกจึงมีความจำเป็นเพื่อให้การออกแบบชุดระบบไฮดรอลิกมีความเหมาะสมกับงานที่ทำ

ในปีการศึกษา 2557 ได้มีการทำวิทยานิพนธ์ เรื่องชุดการทดลองไฮดรอลิก ของนางสาวญาดา วิเศษสังข์ นายวรารุฒิ อมรประภา และนางสาววิสุทธิดา ทาแก้ว ซึ่งปัจจุบันชุดทดลองมีอายุประมาณ 10 ปี จึงมีสภาพเสื่อมโทรมตามกาลเวลา และชุดทดลองไฮดรอลิกนี้ไม่ได้ถูกนำมาใช้งานเป็นเวลานาน สายไฟและสายสัญญาณต่างๆอยู่ในสภาพที่ไม่เป็นระเบียบยากต่อการใช้งาน ขั้วต่อสายสัญญาณ DCV มีคราบน้ำมัน พลาสติกครอบตัวเซนเซอร์วัดความดันเสื่อมสภาพ ทางคณะผู้จัดทำจึงเล็งเห็นความสำคัญในการซ่อมแซมและปรับปรุงเพื่อให้ผู้เรียนหรือผู้ที่สนใจ

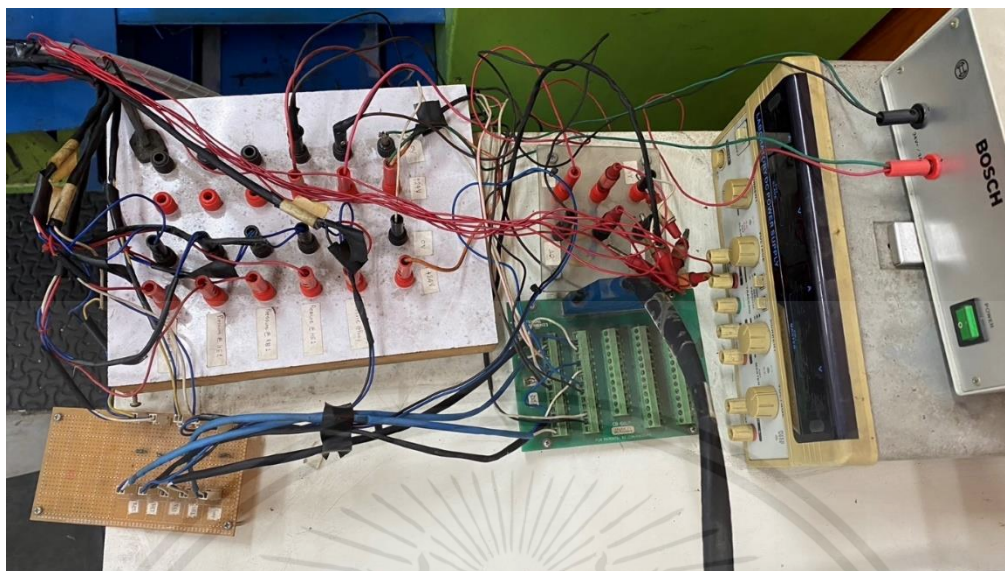
ได้เข้ามาศึกษาและทำการทดลองเพื่อเข้าใจการทำงานของระบบไฮดรอลิก โดยเริ่มต้นจากการเปลี่ยน DAQ Card เป็น Card ที่ช่วงรับสัญญาณอินพุตที่มากขึ้น ทำการเปลี่ยนสายไฟ สายสัญญาณ และจัดทำชุดรวมสายไฟและสายสัญญาณใหม่ทั้งหมด หลังจากทำการซ่อมแซมและปรับปรุงในส่วนที่สามารถทำได้แล้ว สุดท้ายหาข้อมูลและวิธีเพิ่มชุดการทดลองใหม่ เพื่อต่อยอดจากชุดการทดลองไฮดรอลิกเดิม



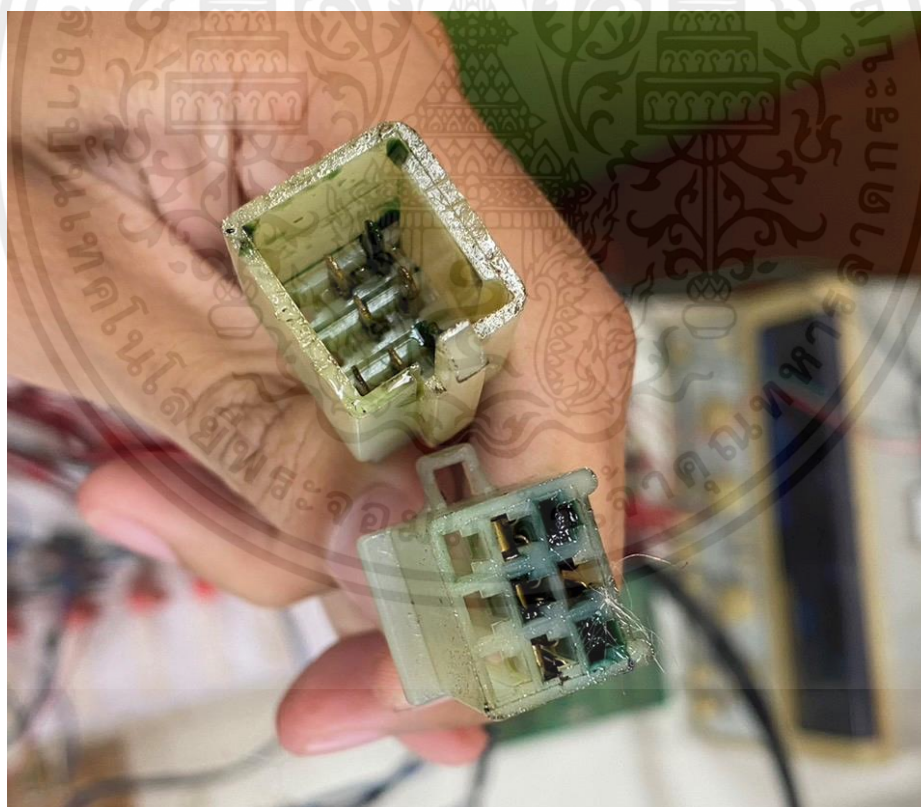
รูปที่ 1.1 ชุดการทดลองไฮดรอลิกเดิม



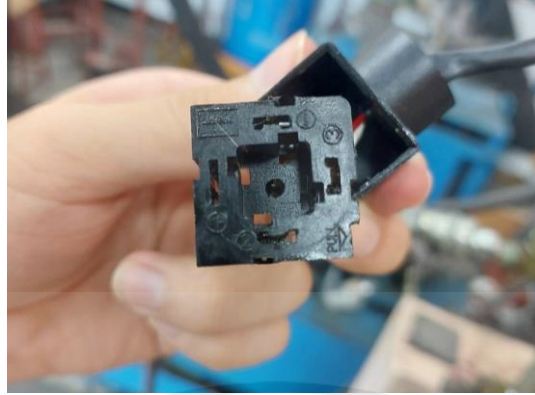
รูปที่ 1.2 DAQ Card และคอมพิวเตอร์



รูปที่ 1.3 ชุดรวมสายไฟและสายสัญญาณ



รูปที่ 1.4 ขั้วต่อสายไฟ สายสัญญาณ DCV ที่มีคราบน้ำมันและฝุ่น



รูปที่ 1.5 เซนเซอร์วัดความดันที่พลาสติกครอบเสื่อมสภาพ



รูปที่ 1.6 ครอบบอกสูบไฮดรอลิก

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อซ่อมแซมและปรับปรุงชุดทดลองระบบไฮดรอลิก
2. เพื่อหาประสิทธิภาพของชุดทดลองระบบไฮดรอลิก
3. เพื่อเพิ่มชุดการทดลองระบบไฮดรอลิกในภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

1.3 ขอบเขต

1. ทำการปรับปรุงชุดทดลองไฮดรอลิก โดยเป็นชุดไฮดรอลิกที่ใช้ กระจบอกสูบ 2 ทิศทางที่ระยะชัก 50 เซนติเมตร 2 ตัว เส้นผ่านศูนย์กลางภายในกระจบอกสูบ 40 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางก้านสูบ 28 มิลลิเมตร
2. วัดระยะที่กระจบอกสูบเคลื่อนที่โดยเซ็นเซอร์วัดระยะ วัดอัตราการไหลโดยเซ็นเซอร์วัดอัตราการไหล และเซ็นเซอร์วัดความดัน โดยวัดความดันของน้ำมันไฮดรอลิกที่ตำแหน่งออกจากปั๊ม ที่ส่วนหัวกระจบอกสูบ และส่วนปลายของกระจบอกสูบ
3. ใช้โปรแกรม LabVIEW ควบคุมการทำงานของวาล์ว

1.4 วิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาทฤษฎีและการทำงานของระบบไฮดรอลิก
2. ศึกษาการทำงานของ อุปกรณ์ในระบบไฮดรอลิก เช่น เซ็นเซอร์ และระบบไฟฟ้าที่เกี่ยวข้อง
3. ทำการตรวจสอบสภาพของอุปกรณ์ต่างๆ และประเมินความเหมาะสม
4. เตรียมอุปกรณ์และประกอบชุดทดลอง
5. เขียนโปรแกรม LabVIEW ควบคุมการทำงานของวาล์ว
6. ทำการทดสอบและทดลอง พร้อมทั้งบันทึกผลการทดลอง ตารางการทดลองเดิม
7. สรุป และ วิเคราะห์ผลการทดลอง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ความรู้ความเข้าใจในการทำงานของระบบไฮดรอลิก
2. ชุดทดลองและการทดลองเพื่อส่งเสริมการเรียนการสอน



บทที่ 2

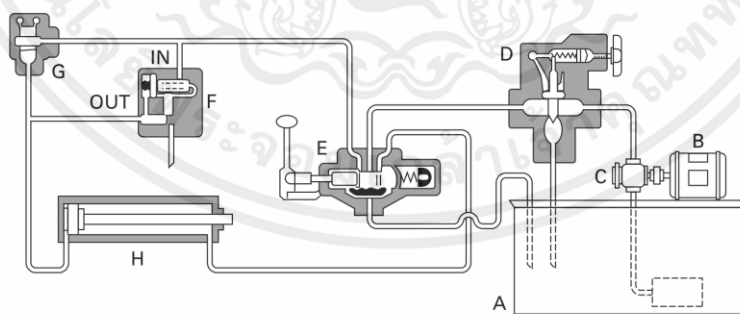
ทฤษฎีและงานที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ระบบไฮดรอลิก

ระบบไฮดรอลิกเป็นระบบที่ใช้ของไหลที่เป็นของเหลวในการส่งกำลัง เช่น น้ำ น้ำมันปิโตรเลียม และน้ำมันสังเคราะห์ สิ่งเหล่านี้เป็นตัวกลางในการส่งถ่ายพลังงานภายในระบบ ซึ่งพลังงานการไหลจะถูกเปลี่ยนให้เป็นพลังงานทางกล โดยผ่านกลไกต่างๆ เช่น กระจบอกสูบ มอเตอร์ไฮดรอลิก และในอุตสาหกรรมนิยมใช้น้ำมันไฮดรอลิกเป็นตัวกลางในการส่งถ่ายพลังงาน เพราะน้ำมันไฮดรอลิกมีคุณสมบัติที่สำคัญคือ ไม่สามารถบีบอัดได้ หรือบีบอัดได้น้อย จึงทำให้การส่งถ่ายพลังงานมีความแม่นยำและมีประสิทธิภาพมาก ข้อดีของระบบไฮดรอลิกคือสามารถรับแรงได้สูงมากทั้งในแนวเส้นตรงและแนวหมุน และสามารถควบคุมแรงหรือความเร็วในการเคลื่อนที่ได้ง่ายในปัจจุบัน ได้มีการนำระบบไฮดรอลิกไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ มากมาย เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์, บรรจุกัญญา, กระบวนการขึ้นรูปโดยการอัดขึ้นรูป งานด้านการเดินเรือทะเล และงานสำรวจแหล่งแร่ ขุด เจาะต่างๆ เป็นต้น

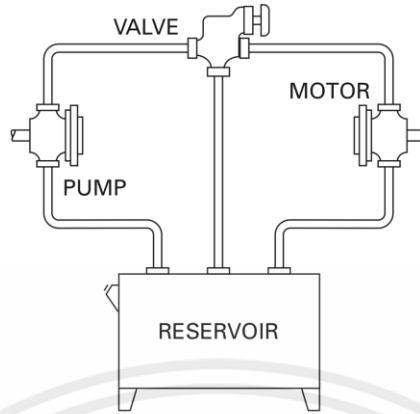
2.1.2 ส่วนประกอบของระบบไฮดรอลิก



List of Components

- | | |
|--------------------------------------|------------------------------|
| A—Reservoir | E—Directional Valve |
| B—Electric Motor | F—Flow Control Valve |
| C—Pump | G—Right-Angle
Check Valve |
| D—Maximun Pressure
(Relief) Valve | H—Cylinder |

รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบพื้นฐานของระบบไฮดรอลิก ของอุปกรณ์ทำงานเชิงเส้น(กระจบอกสูบ)

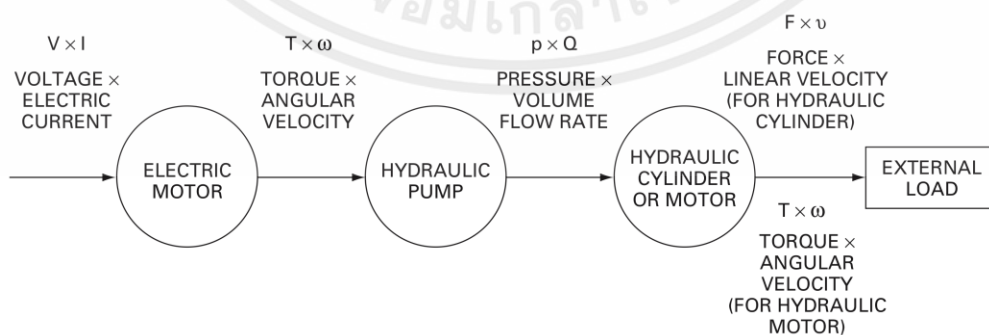


รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบพื้นฐานของระบบไฮดรอลิก ของอุปกรณ์ทำงานเชิงมุม(มอเตอร์ไฮดรอลิก)

ระบบไฮดรอลิกมีส่วนประกอบพื้นฐาน 6 อย่างคือ

- 1.ถังพักน้ำมัน(Reservoir) เก็บน้ำมันไฮดรอลิก
- 2.ปั๊ม(Pump) ทำให้น้ำมันไหลผ่านเข้าไปในระบบ
- 3.มอเตอร์ไฟฟ้า(Electric Motor) หรือต้นกำลังอย่างอื่น ใช้ในการขับเคลื่อนปั๊ม
- 4.วาล์วควบคุมทิศทาง(Directional Control Valve) ควบคุมทิศทางน้ำมัน ความดัน และอัตราการไหล
- 5.อุปกรณ์ทำงาน(Actuator) เปลี่ยนแปลงพลังงานจากพลังงานไฮดรอลิกส์เป็นพลังงานกล เพื่อกระทำต่อภาวะโหลด เช่น กระบอกสูบ จะส่งถ่ายพลังงานในแนวเชิงเส้นหรือมอเตอร์ไฮดรอลิก จะส่งถ่ายพลังงานในแนวเชิงมุม
- 6.ท่อ(Pipe) ใช้ส่งน้ำมันจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง

2.1.3 การเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานเชิงกลในระบบไฮดรอลิก



รูปที่ 2.3 การเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานเชิงกลในระบบไฮดรอลิก

ประสิทธิภาพของปั๊ม

ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร(การรั่วไหลภายในปั๊ม)

$$\eta_v = \frac{\text{actual pump flow rate}}{\text{theoretical pump flow rate}}$$

ประสิทธิภาพเชิงกล(แรงเสียดทานของปั๊ม)

$$\eta_m = \frac{\text{pump output power assuming no leak}}{\text{actual power delivered to pump}}$$

ประสิทธิภาพโดยรวมระหว่างประสิทธิภาพเชิงปริมาตรและประสิทธิภาพเชิงกล

$$\eta_o = \eta_v \cdot \eta_m = \frac{\text{actual power delivered by pump}}{\text{actual power delivered to pump}}$$

ประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฮดรอลิก

ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร(การรั่วไหลภายในมอเตอร์)

$$\eta_v = \frac{\text{theoretical flow rate motor should consume}}{\text{actual flow rate consumed by motor}}$$

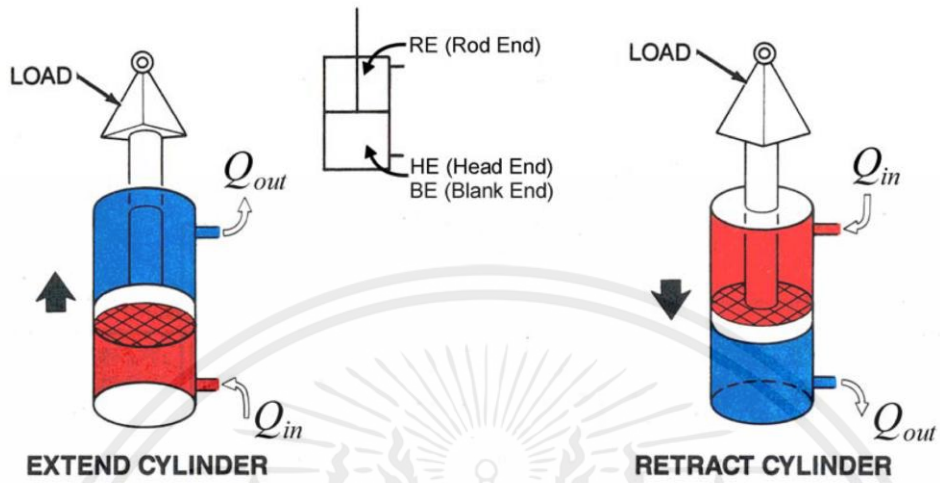
ประสิทธิภาพเชิงกล

$$\eta_m = \frac{\text{actual torque delivered by motor}}{\text{torque motor should theoretically deliver}}$$

ประสิทธิภาพโดยรวมระหว่างประสิทธิภาพเชิงปริมาตรและประสิทธิภาพเชิงกล

$$\eta_o = \eta_v \cdot \eta_m = \frac{\text{actual power delivered by motor}}{\text{actual power delivered to motor}}$$

2.1.4 แรง ความเร็ว และกำลังของกระบอกสูบ



รูปที่ 2.4 แรง ความเร็ว และกำลังของกระบอกสูบ

แรง ความเร็ว และ กำลังของกระบอกสูบสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

แรงกระบอกสูบขณะยืดออก

$$F_{ext} = P_{HE} \cdot A_{HE} - P_{RE} \cdot A_{RE}$$

ความเร็วกระบอกสูบขณะยืดออก

$$v_{ext} = \frac{Q_{in}}{A_{HE}}$$

กำลังกระบอกสูบขณะยืดออก

$$power = F_{cyl} \cdot v_{ext}$$

แรงกระบอกสูบขณะหดกลับ

$$F_{ret} = P_{RE} \cdot A_{RE} - P_{HE} \cdot A_{HE}$$

ความเร็วกระบอกสูบขณะหดกลับ

$$v_{ret} = \frac{Q_{in}}{A_{RE}}$$

กำลังกระบอกสูบขณะหดกลับ

$$power = F_{cyl} \cdot v_{ret}$$

โดยที่ตัวแปรแต่ละตัวมีความหมายดังนี้

P = pressure

Q = flow rate

A = cross section area

HE = head end

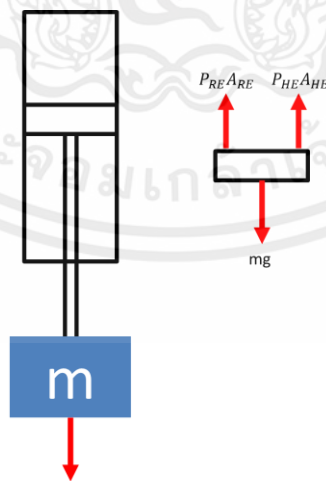
RE = rod end

cyl = cylinder

ext = extend

ret = retract

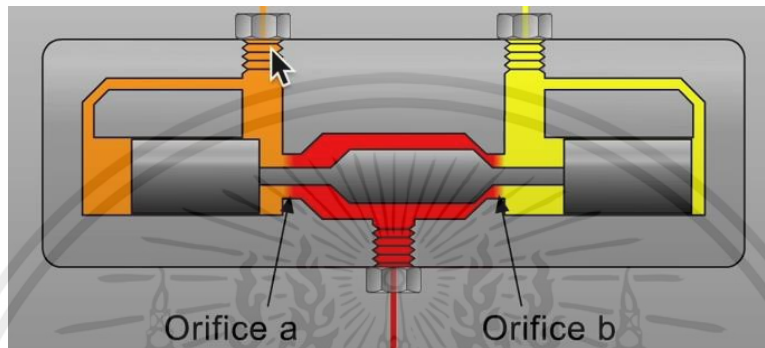
2.1.5 Over running load



รูปที่ 2.5 Over running load

กระบอกสูบพยายามเคลื่อนที่ลงด้วยมวลที่ถ่วงเนื่องจากแรงโน้มถ่วง เช่น การติดตั้งกระบอกสูบในแนวตั้ง

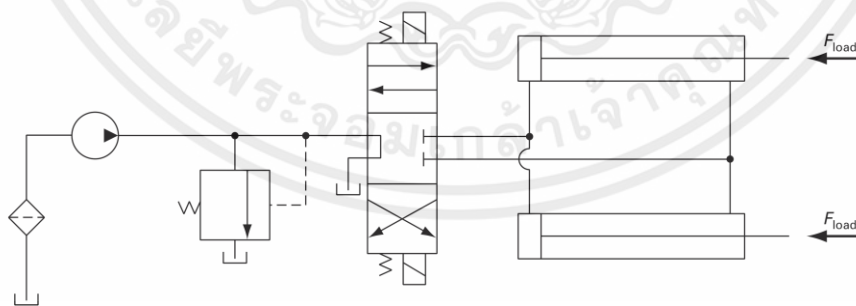
2.1.6 Flow divider



รูปที่ 2.6 flow divider (<https://shorturl.at/oqtOU>)

หลักการทำงานของ flow divider คือ มีหน้าที่แบ่งอัตราการไหลของของเหลวจากท่อหลักออกเป็นสองส่วนที่เท่ากันโดยใช้การปรับพื้นที่หน้าตัดภายใน flow divider ให้มีความดันตกคร่อมของทางเข้าและทางออกทั้งสองฝั่งให้เท่ากัน

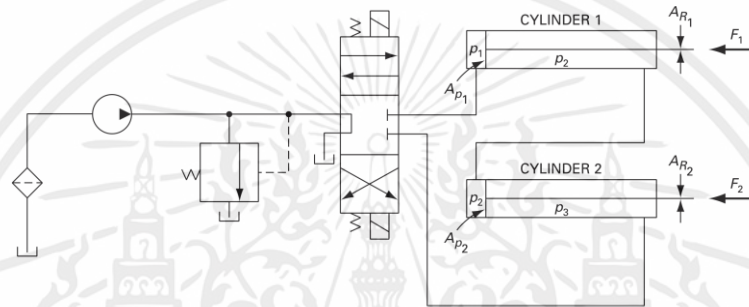
2.1.7 ต่อกระบอกสูบแบบขนาน



รูปที่ 2.7 การต่อกระบอกสูบแบบขนาน

ถ้ากระบอกลูกสูบทั้งสองเหมือนกัน และมีภาระเท่ากันกระบอกลูกสูบทั้งสองจะยืดออกพร้อมกันและหดกลับพร้อมกัน หากภาระไม่เท่ากันกระบอกลูกสูบที่มีภาระต่ำกว่าจะยืดออกก่อนเนื่องจากใช้ความดันที่ต่ำกว่า เมื่อสุทธาระยะชักความดันภายในระบบจะเพิ่มขึ้น จนกระบอกลูกสูบที่มีภาระมากกว่ายืดออก ในความเป็นจริงไม่มีกระบอกลูกสูบใดที่เหมือนกัน

2.1.8 ต่อกระบอกลูกสูบแบบอนุกรม



รูปที่ 2.8 การต่อกระบอกลูกสูบแบบอนุกรม

เมื่อกระบอกลูกสูบที่ 1 ยืดออกโดยของไหลจากปั๊มเข้าไปที่ด้าน Head end ของไหลที่กระบอกลูกสูบด้าน Rod end ของกระบอกลูกสูบที่ 1 จะไหลเข้าไปยังปลายกระบอกลูกสูบด้าน Head end ของกระบอกลูกสูบที่ 2 ทำให้กระบอกลูกสูบที่ 2 ยืดออก อัตราการไหลของของไหลที่ออกจากกระบอกลูกสูบด้าน Rod end ของกระบอกลูกสูบที่ 1 จะเท่ากับอัตราการไหลของของไหลที่ไหลเข้าด้าน Head end ของกระบอกลูกสูบที่ 2 การคำนวณแรงของกระบอกลูกสูบคำนวณได้จาก

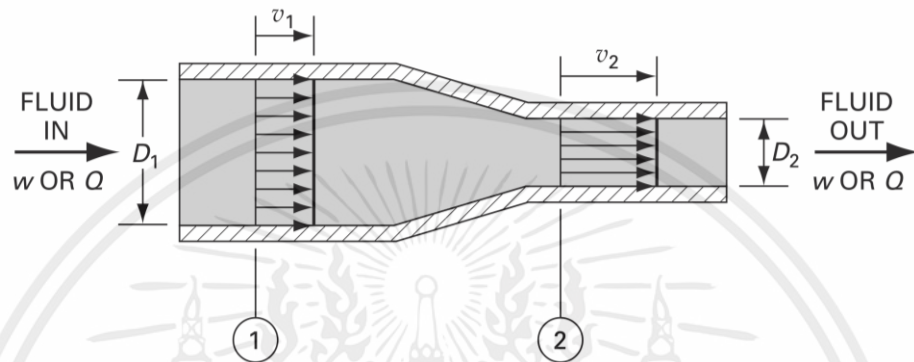
$$F_1 = P_1 A_{HE1} - P_2 A_{RE1}$$

$$F_2 = P_2 A_{HE2} - P_3 A_{RE2}$$

$$F_1 + F_2 = P_1 A_{HE1}$$

2.1.9 สมการความต่อเนื่อง (continuity equation)

อัตราการไหลเชิงมวลการไหลคงที่ในท่อ อัตราการไหลเชิงมวล(มวลของของไหลที่ไหลผ่านจุดจุดหนึ่งต่อหน่วยเวลา) จะเท่ากันที่ทุกตำแหน่งของท่อ



รูปที่ 2.9 การไหลของของไหลในท่อที่มีพื้นที่หน้าตัดไม่เท่ากัน

ท่อที่จุด 1 และ 2 มีขนาดแตกต่างกันสมการความต่อเนื่องระบุว่าหากไม่มีการเติมของไหลหรือเอาออก ระหว่างจุด 1 และ 2 อัตราการไหลเชิงมวลที่จุด 1 และ 2 ต้องมีค่าเท่ากัน ซึ่งเป็นไปตามสมการ

$$\gamma_1 A_1 v_1 = \gamma_2 A_2 v_2$$

เมื่อ γ = น้ำหนักจำเพาะของของไหล

A = พื้นที่หน้าตัดของท่อ

v = ความเร็วของไหล

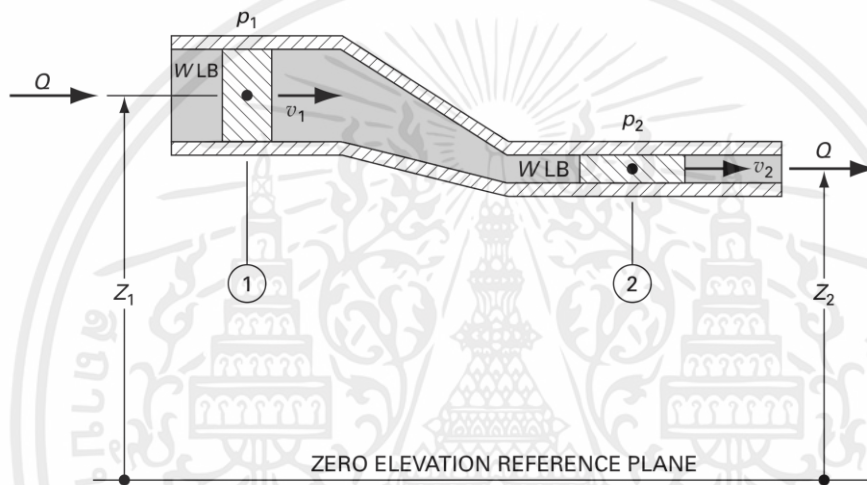
อัตราการไหลเชิงปริมาตร ถ้าของไหลเป็นของเหลว ของเหลวจะไม่สามารถอัดตัวได้ ทำให้ $\gamma_1 = \gamma_2$ จะได้สมการเป็น

$$Q_1 = A_1 v_1 = A_2 v_2 = Q_2$$

ดังนั้นอัตราการไหลเชิงปริมาตรของระบบไฮดรอลิกในท่อจึงคงที่และสามารถเขียนได้เป็น

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{A_2}{A_1}$$

2.1.10 สมการเบอร์นูลลี (Bernoulli's equation)



รูปที่ 2.10 การไหลในท่อที่ขนาดแตกต่างกันและระดับต่างกัน

สำหรับการไหลของของไหลนั้นหากพิจารณาว่าไม่มีการสูญเสียพลังงานในรูปแบบต่างๆ เช่นการ สูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานหรือการถ่ายโอนความร้อน ดังนั้นตามกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์จะได้ว่า ผลรวมของพลังงานทั้งหมดที่มีอยู่ในของไหลจะต้องคงที่ และถ้าหากว่าการไหลนั้นเป็นการไหลที่อัดตัวไม่ได้ สามารถเขียนสมการพลังงานให้อยู่ในรูปของสมการเบอร์นูลลี (Bernoulli's Equation) คือ

$$\frac{P}{\rho} + \frac{v^2}{2} + gZ = \text{ค่าคงที่}$$

เมื่อ P คือความดัน, V คือความเร็ว, Z คือความสูงจากระดับอ้างอิง และ ρ เป็นความหนาแน่นของของไหลหรือเมื่อพิจารณาที่จุดสองจุดใดๆ จะได้

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} + gz_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} + gz_2$$

หรืออาจใช้ค่า g หารตลอดทั้งสมการจะได้

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2$$

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2$$

เมื่อ γ คือน้ำหนักจำเพาะ จากสมการข้างต้นจะพบว่าหน่วยของแต่ละพจน์จะเป็นหน่วยของความสูง และสามารถเรียกได้อีกชื่อว่า *Head* ซึ่งมีความหมายทางฟิสิกส์ว่าเป็นพลังงานต่อหน่วยน้ำหนักของของไหลและเมื่อพิจารณาที่ละพจน์ก็จะมีชื่อเรียก ต่างกันออกไปคือ สำหรับพจน์แรกเป็นพจน์ที่ประกอบด้วยความดันสถิตย์เป็นหลักจึงเรียกว่า *Pressure Head* หรือ *Static Head* ส่วนพจน์ที่สองเป็นพจน์ที่มีความเร็วอยู่จะเรียก *Velocity Head* หรือ *Dynamics Head* และพจน์สุดท้ายจะเรียก *Elevation Head* และเมื่อรวมทั้งหมดเข้าด้วยกันจะเรียก *Total Head* เบอร์นูลลีได้แก้ไขสมการโดยคำนึงถึง การสูญเสียจากแรงเสียดทาน H_L (head loss) ระหว่างจุด 1 และ 2 การเพิ่มพลังงานจากปั๊ม H_p (pump head) และการดึงพลังงานออกโดยมอเตอร์ H_m (motor head) ได้สมการออกมาเป็น

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 + H_p - H_m - H_L = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2$$

2.1.11 การสูญเสียภายในท่อ (loss in pipe)

การสูญเสียภายในแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1.การสูญเสียหลัก(Major loss: h_M) เกิดจากความเสียดทานภายในท่อตรงตลอดความยาวท่อ

$$h_M = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$$

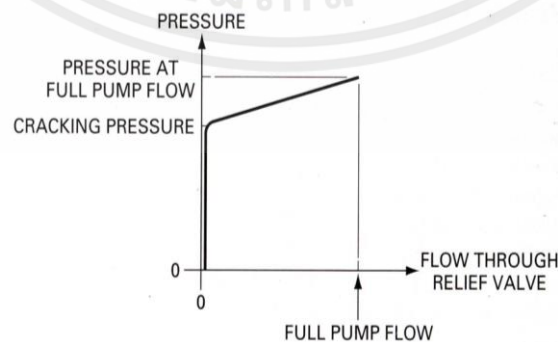
2.การสูญเสียรอง(Minor loss: h_m) เกิดจากอุปกรณ์ต่างๆที่ติดตั้งภายในระบบ เช่น ข้องอ วาล์ว สาม

ทาง

$$h_m = K \frac{v^2}{2g}$$

2.1.12 Pressure relief valve

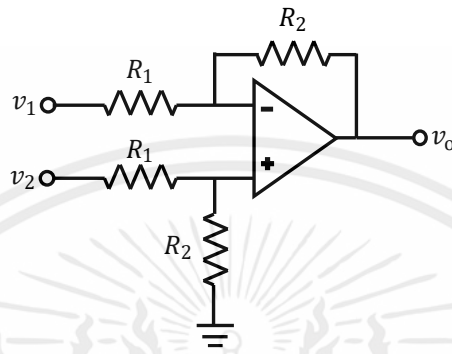
วาล์วระบายแรงดัน(pressure relief valve) เป็นอุปกรณ์ที่ป้องกันไม่ให้ความดันภายในระบบสูงเกินค่าที่ตั้งไว้ เพื่อไม่ให้อุปกรณ์ทำงานภายในระบบไม่เกิดความเสียหายจากความดันที่สูงเกินไป



รูปที่ 2.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับอัตราการไหลของ pressure relief valve

2.1.13 วงจรขยายสัญญาณเชิงดำเนินการ(Op Amp)

วงจรขยายความแตกต่าง (Difference amplifier)

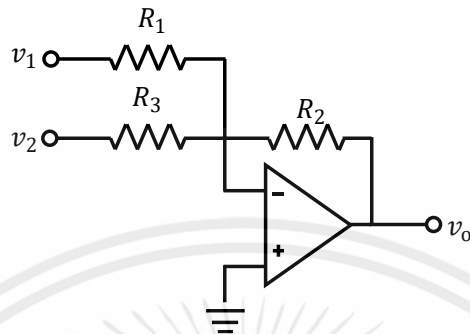


รูปที่ 2.12 วงจรขยายความแตกต่าง (Difference amplifier)

จากรูปที่ 2.12 วงจรขยายความแตกต่าง (Difference amplifier)ถูกนำไปประยุกต์ใช้ขยายสัญญาณความแตกต่างสองสัญญาณ โดยสัญญาณที่ได้ออกมาสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$v_o = \frac{R_2}{R_1}(v_2 - v_1)$$

วงจรแปลงกระแสเป็นแรงดัน(Current to Voltage Converter)

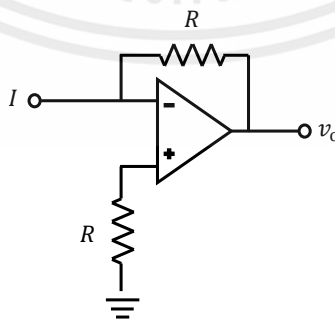


รูปที่ 2.13 วงจรแปลงกระแสเป็นแรงดัน(Current to Voltage Converter)

จากรูปที่ 2.13 วงจรแปลงกระแสเป็นแรงดัน(Current to Voltage Converter)วงจรเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดันคือวงจรที่รับอินพุตที่เป็นกระแสเข้ามาแล้วทำการเปลี่ยนเป็นแรงดัน โดยสัญญาณที่ได้ออกมาสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$v_o = -IR$$

วงจรบวกสัญญาณ (Summing Amplifier)



รูปที่ 2.14 วงจรบวกสัญญาณ (Summing Amplifier)

จากรูปที่ 2.14 วงจรบวกสัญญาณ (Summing Amplifier) เป็นวงจรที่ใช้บวกสัญญาณอินพุตหลาย ๆ สัญญาณให้เป็นเอาต์พุตเดียว โดยสัญญาณที่ได้ออกมาสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$v_o = -\left(\frac{R_2}{R_1}v_1 + \frac{R_2}{R_3}v_2\right)$$

2.1.14 ระบบดักข้อมูล (Data Acquisition)

เป็นการเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลจริงในงานวิจัยและทดสอบงานทางด้านวิศวกรรมเชิงคุณภาพและประสิทธิภาพผ่านคอมพิวเตอร์โดยมีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำการวัดค่าสัญญาณต่างๆ เช่น ระยะเวลาหยุด แรงที่ใช้ ความดัน อัตราการไหล เป็นต้น จากนั้นจะทำการแปลงสัญญาณที่รับมาผ่านอุปกรณ์ตัวกลางที่สามารถแปลงชนิดข้อมูลเป็นรูปแบบของสัญญาณทางไฟฟ้าสู่คอมพิวเตอร์ จากนั้นจึงทำการจัดการข้อมูลเหล่านั้นด้วยซอฟต์แวร์ที่เราเลือกใช้ ซึ่งสามารถรับข้อมูลได้ตามเวลาจริงที่ทำการทดลองระบบดักข้อมูลแบ่งการทำงานเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ

1. เซนเซอร์ (sensors) หรือมักถูกเรียกว่าทรานสดิวเซอร์ เป็นการแปลงค่าพารามิเตอร์ทางกายภาพที่วัดมาได้ เช่น อุณหภูมิ แรง และการเคลื่อนที่ ให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า เช่น โวลต์หรือกระแสเพื่อให้ออกมาอินพุตค่าสู่ตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล

2. วงจรปรับสัญญาณ (signal conditioning) ในการทำให้สัญญาณที่วัดจากทรานสดิวเซอร์มีคุณภาพมักจะต้องการใช้วงจรเพิ่มเติมที่จำเป็นในช่วงก่อนจะส่งค่าที่วัดได้จากทรานสดิวเซอร์สู่ตัวแปลง

สัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล โดยทั่วไปวงจรนี้เปรียบเสมือนการปรับสภาพสัญญาณและรวมไปถึงการขยายสัญญาณ การลดทอนสัญญาณ และการกรอง เป็นต้น แต่ละทรานสดิวเซอร์จะมีวงจรปรับสัญญาณที่แตกต่างกันออกไป

3. ตัวแปลงอนาล็อกเป็นดิจิตอล หลักการทำงานสำคัญในระบบดักข้อมูลคือ ตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลซึ่งหมายถึงการนำข้อมูลและทำการแปลงข้อมูลให้อยู่ในระดับที่โปรเซสเซอร์สามารถตีความได้ ยิ่งจำนวนบิตของอุปกรณ์มีค่ามากเท่าไรความละเอียดของข้อมูลก็จะมากขึ้นเท่านั้นตัวแปลงอนาล็อกเป็นดิจิตอล

มักถูกใช้ในการนำข้อมูลเข้าสู่คอมพิวเตอร์เพื่อนำข้อมูลนั้นมาวิเคราะห์และควบคุมโดยใช้ซอฟต์แวร์ประยุกต์ในการวิเคราะห์ข้อมูลเหล่านั้น เช่น Assembly Basic C C++ C# Fortran LabVIEW Lisp และ Pascal เป็นต้น

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 การควบคุมความเร็วกระบอกสูบไฮดรอลิกโดยการควบคุมอัตราการไหลของปั๊ม

จิตาภา อเนกกิจเจริญ , ญัฐพร ชิตานนท์ และ ญัฐวัตร มั่นคง ได้ศึกษาการควบคุมความเร็วกระบอกสูบไฮดรอลิกโดยการควบคุมอัตราการไหลของปั๊มใช้การควบคุม 3 รูปแบบคือ การควบคุมระบบเปิด การควบคุมระบบปิด และการควบคุมระบบปิดแบบ feedforward โดยควบคุมที่ปั๊มเปรียบเทียบกับควบคุมที่วาล์ว ผลที่ได้คือการควบคุมที่วาล์วตอบสนองเร็วและแม่นยำกว่าการควบคุมที่ปั๊ม แต่การควบคุมที่ปั๊มใช้กำลังไฟฟ้าน้อยกว่า

2.2.2 การควบคุมแรงไฮดรอลิกควบคู่กับการชดเชยแรงเสียดทาน

วิโรจน์ ตรีมงคล และ ศรันธ กุตัน ได้ศึกษาการควบคุมแรงไฮดรอลิกควบคู่กับการชดเชยแรงเสียดทาน โดยแรงเสียดทานประมาณค่าโดยใช้แบบจำลองลูเกอร์และใช้ระบบพีไอดีควบคุม ผลที่ได้คือการชดเชยแรงเสียดทานด้วยแบบจำลอง LuGre ร่วมกับการใช้การควบคุมแบบพีไอดีมีสมรรถนะในการทำงานที่ดีกว่า

2.2.3 ศึกษาการใช้น้ำมันปาล์มแทนน้ำมันไฮดรอลิก

กฤษฎาพงษ์ มิ่งเชื้อ , เฉลิมพล โพธิ์ลี และ ทักษ์ดนัย เทพสาขศึกษาการใช้น้ำมันปาล์มแทนน้ำมันไฮดรอลิกโดยใช้แทนน้ำมันไฮดรอลิกเบอร์ VG 46 ทดสอบที่สองสภาวะคือ ความดันในช่วง 0-120 บาร์ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ศึกษาที่ความเร็วรอบ 600, 1000 และ 1400 รอบ/นาที สภาวะที่สองความดันคงที่ 60 บาร์ อุณหภูมิช่วง 40-70 องศาเซลเซียส ผลการทดลองในสภาวะแรกน้ำมันปาล์มให้สมรรถนะของปั๊ม ประสิทธิภาพรวม กำลังที่ใช้กำลังที่ได้ และอัตราการไหลที่ใกล้เคียงกับน้ำมันไฮดรอลิก สภาวะที่สองที่อุณหภูมิต่ำกว่า 55 องศาเซลเซียสความหนืดของน้ำมันไฮดรอลิกสูงกว่าน้ำมันปาล์ม ช่วงอุณหภูมิ 55-70 องศาเซลเซียสความหนืดของน้ำมันไฮดรอลิกมีความหนืดสูงกว่าน้ำมันปาล์ม ความหนืดที่น้อยกว่าส่งผลให้ประสิทธิภาพรวม กำลังที่ใช้ กำลังที่ได้ และอัตราการไหลที่สูงกว่าน้ำมันไฮดรอลิก โดยรวมสามารถสรุปได้ว่าน้ำมันปาล์มสามารถใช้แทนน้ำมันไฮดรอลิกได้

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

บทนี้กล่าวถึงรายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง และวิธีการทดลองซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.1 อุปกรณ์การทดลอง



รูปที่ 3.1 ชุดทดลองไฮดรอลิก

จากรูปที่ 3.1 ชุดทดลองที่สร้างขึ้นประกอบไปด้วย ชุดต้นกำลังไฮดรอลิก วาล์วควบคุมทิศทางกระบอกสูบไฮดรอลิก การ์ดเชื่อมโยงสัญญาณ เซนเซอร์วัดความดัน เซนเซอร์วัดระยะทาง เซนเซอร์วัดการไหล Flow divider และข้อต่อสามทาง

1. ชุดต้นกำลังไฮดรอลิก



รูปที่ 3.2 ชุดต้นกำลังไฮดรอลิก

จากรูปที่ 3.2 ชุดต้นกำลังไฮดรอลิก มีหน้าที่กักเก็บน้ำมัน และ ส่งน้ำมันไฮดรอลิกเข้าสู่ระบบโดยเป็นการสร้างอัตราการไหลให้สูงขึ้นชุดต้นกำลังไฮดรอลิกประกอบด้วยมอเตอร์ยี่ห้อ MezMohelniceAP 112M-4กำลัง 4 กิโลวัตต์ 5.5 แรงม้า ไฟฟ้ากระแสสลับ ชุดต้นกำลังไฮดรอลิก สามเฟส 50 เฮิร์ต $\cos\phi = 0.83$ รอบของมอเตอร์อยู่ที่ 1440 รอบต่อนาที เกียร์ยี่ห้อ NACHI มีความจุ 14.1 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อรอบความเร็วรอบสูงสุด 4000 รอบต่อนาที และทนความดันสูงสุดได้ 270 บาร์

2. วาล์วควบคุมทิศทาง



รูปที่ 3.3 วาล์วควบคุมทิศทาง

จากรูปที่ 3.3 วาล์วควบคุมทิศทาง ใช้ควบคุมทิศทางการไหลของน้ำมันไฮดรอลิก เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่เข้า-ออกของก้านกระบอกสูบ ในที่นี้ใช้วาล์วควบคุมทิศทางชนิด Proportional valve ยี่ห้อ TOKIMEC รุ่น COM-3-2C-30- AN-11 ใช้กับแรงดันไฟฟ้าสัญญาณอนาล็อก -10 ถึง 10 Volt สามารถรับแรงดันสูงสุดได้ 245 บาร์ อัตราการไหลสูงสุด 30 ลิตรต่อนาที ที่ความดัน 6.9 MPa และอัตราการไหลต่ำสุดอยู่ที่ 0.5 ลิตรต่อนาที ที่ความดัน 6.9 MPa

Specifications					
Model Code	COM-3	COM-5	COM-52	COM-7	COM-8
Rated Pressure	MPa	24.5	20.6	24.5	
Allowable Tank Port Back Pressure	MPa	13.7		Internal drain: 13.7	
				External drain: 24.5	
Max. control flow	L/min	30 ^{*)}	70 ^{*)}	80 ^{*)}	130 ^{*)} 250 ^{*)}
Min. control flow	L/min	0.5 ^{*)}	1.5 ^{*)}	2 ^{*)}	3 ^{*)} 5 ^{*)}
Pilot pressure	MPa	More than 2 MPa			
Hysteresis		Omitted; less than 7%; F11; less than 14%			
Repeatability		Less than 1% of max. flow			
Flow setting		Solenoid a, b 100 divisions each			
Min. working time	ms	50 ^{*)}	100 ^{*)}	70 ^{*)}	
Acceleration-deceleration time setting		0 to 9.9s (0.1s unit)/ 0 to 9.9s (0.01s unit) switchable			
Ambient temperature	°C	0~60			
Fluid temperature	°C	7~60			
Fluid viscosity	mm ² /s	20~300			
Vibration resistance		45 m/s ² (JIS D1601)			
Shock resistance		300 m/s ² (JIS C 0041)			
Waterproof, dustproof		IP54 (control SH, CH, AN) IP65 (wiring U, RU)			
Supply voltage **		DC 21.6~28 V			
Max. power consumption **		40 W (DC 24 V, 1.67 A)			
Input-output signals **		See table below			
Weight	kg	2.5	6.5	9	12 20

Note:
 *1 When supply pressure is 6.9 MPa
 *2 When valve differential pressure is 1 MPa
 *3 During 0~100% operation
 *4 When a control function is provided

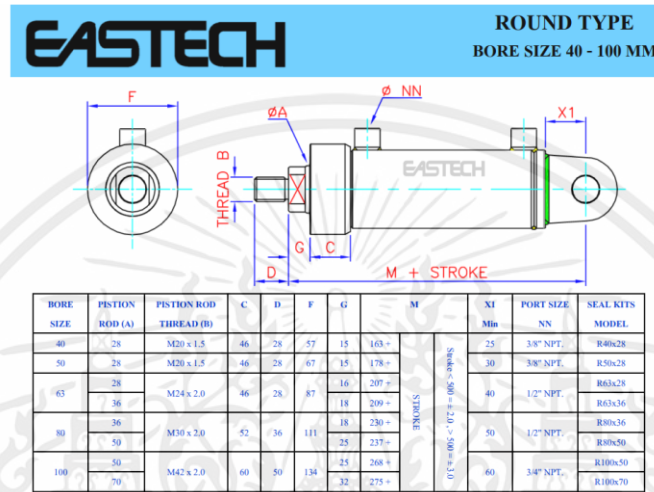
รูปที่ 3.4 ข้อมูลวาล์วควบคุมทิศทาง

3. กระบอกสูบไฮดรอลิก



รูปที่ 3.5 กระบอกสูบไฮดรอลิก

จากรูปที่ 3.5 ครอบสูบไฮดรอลิกยี่ห้อ Eastech มีหน้าที่เปลี่ยนพลังงานการไหลเป็นพลังงานกล ในที่นี้ ครอบสูบทำงาน 2 ทิศทาง มีความยาวระยะชักสูงสุด 500 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของครอบสูบ 40 มิลลิเมตร และ เส้นผ่านศูนย์กลางก้านสูบ 28 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.6 ข้อมูลครอบสูบไฮดรอลิก ที่มา(<https://shorturl.at/krDGL>)

4.การ์ดเชื่อมต่อสัญญาณ (NI USB-6001)



รูปที่ 3.7 การ์ดเชื่อมต่อสัญญาณ

จากรูปที่ 3.7 การ์ดเชื่อมโยงสัญญาณ (NI USB 6001) มีหน้าที่เชื่อมโยงสัญญาณจากคอมพิวเตอร์ไปยังเซ็นเซอร์ อุปกรณ์ทำงาน และ วาล์วเพื่อให้วาล์วควบคุมทิศทางการไหลและอัตราการไหลของน้ำมันและรับค่าสัญญาณความดันร ะยะทาง และ อัตราการไหลจากเซนเซอร์กลับมายังคอมพิวเตอร์ Analog input/output 14 bit

Feature	NI USB-6001	NI USB-6002	NI USB-6003
Analog Input			
Analog-to-digital converter (ADC) Resolution	14-bit	16-bit	16-bit
Maximum Sample Rate (aggregate)	20 kS/s	50 kS/s	100 kS/s
Analog Output			
DAC Resolution	14-bit	16-bit	16-bit
Absolute Accuracy, Typical, at full scale	9.1 mV	8.6 mV	8.6 mV

รูปที่ 3.8 ข้อมูลการ์ดเชื่อมโยงสัญญาณ (NI USB 6001)

ที่มา(<https://www.ni.com/docs/en-US/bundle/usb-6001-specs/resource/374369a.pdf>)

5.เซนเซอร์วัดความดัน



รูปที่ 3.9 เซนเซอร์วัดความดัน

จากรูปที่ 3.9 เซนเซอร์วัดความดัน (Pressure Transducer) ใช้เพื่อวัดค่าความดัน ณ ที่เกิดขึ้นในระบบ หน่วยที่ได้เป็น bar ในที่นี้ใช้เซนเซอร์วัดความดัน 5 ตัว โดยที่ตำแหน่งออกของปั๊ม 1 ตัวที่ตำแหน่งทางเข้าและทางออกของกระบอกสูบทั้งสองตัวเซนเซอร์วัดความดันที่ใช้คือ BOURDONHAENN รุ่น E913 สามารถวัดความดันได้ ในช่วง 0-600 บาร์ และส่งกระแสสัญญาณไฟฟ้า 4-20mA

Measurement range	From 0...25 mbar to 0...600 bar Compound, gauge or absolute pressure	Operating temperature	Ambient (Ta)	-25...+85°C Option Low T ⁻ -40...+85°C, High T ⁺ -25...+100°C
Output signal	E912: 0...10 Vdc; E913: 4...20 mA (except -1...0 bar where -1 = 20 mA, 0 = 4 mA) E914: 1...5 Vdc; E916: 0...20 mA	Fluid		-25...+100°C (Ta ≤ 50°C)
Supply voltage	E912: 14...40 Vdc E913-E914: 11...40 Vdc E916: 8...40 Vdc Option High voltage up to 48 Vdc Low voltage: 6...32 Vdc (E913, E914)	Storage temperature		-40...+85°C
Insulation	> 100 MΩ at 250 Vdc; Option: 500 Vdc	Compensated temperature range (zero and sensitivity)		-10...+55°C; Option: -10...+70°C
Maximum input current	E912-E914: 6 mA E916: < 25 mA	Zero thermal drift		±0.02%/F.S./°C max. (except P ≤ 1 bar: ±0.06%/F.S./°C) Option: ±0.01%/F.S./°C max. (except P ≤ 1 bar: ±0.02%/F.S./°C)
Load impedance (+M / -M)	E912: ≥ 2.5 kΩ E913: R _i ≤ 1110 Ω E913: R _i ≤ 1110 Ω (low voltage option) E916: R _i ≤ 1110 Ω (low voltage option)	Span thermal drift		Typically: ±0.01%/°C / Max.: ±0.015%/°C
CE Conformity	EMC Directive 89/336 CE (EN50082-1 and -2, EN50081-1 and -2) with screened cable, screen connected at both ends PED Directive 97/23/CE	Wetted parts		Ceramic + stainless steel 1.4404 (316L) + NBR seal (standard) for ranges > 250 mbar and Vitor® for ranges ≤ 250 mbar
Global error (linearity, hysteresis and repeatability) by reference to BFSL	Typically: ±0.2% of F.S. / Max.: ±0.3% of F.S. For P ≤ 60 mbar and P ⁺ 600 bar: Typically: ±0.6% of F.S. / Max.: ±1% of F.S.	Standard connections		Electrical: DIN 43660 connector Pressure: G1/2 Many options available
		Protection rating (EN 60529)		Standard: IP65 (DIN connector) Option: IP67 or IP68 (depending on connection)
		Typical response time		≤ 3 ms
		Vibration resistance (IEC 68-2-6)		1.5 mm (10-55 Hz), 20 g (55 Hz to 2 kHz)
		Shock resistance (IEC 68-2-32)		25 falls from 1 m on concrete ground

รูปที่ 3.10 ข้อมูลเซนเซอร์วัดความดัน

ที่มา(http://fluidprocessing.it/wp-content/uploads/2016/12/10164_BOURDON-1311d_Bourdon.Haenni.standard.serie_E910.pdf)

6. เซนเซอร์วัดระยะทาง



รูปที่ 3.11 เซนเซอร์วัดระยะทาง

จากรูปที่ 3.11 เซนเซอร์วัดระยะทาง (Potentiometer) ใช้วัดการเคลื่อนที่ของก้านกระบอกสูบเซนเซอร์วัดระยะทางที่ใช้คือ Penny Giles วัดระยะทางโดยการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานสูงสุด 1000 Ω โดยจะส่งสัญญาณไฟฟ้า 0 ถึง 10 โวลต์กระแสตรง และระยะที่วัดได้สูงสุด 100 เซนติเมตร

7. ข้อต่อสามทาง



รูปที่ 3.12 ข้อต่อสามทาง

จากรูปที่ 3.12 ข้อต่อสามทาง (Three way adapter) ทำหน้าที่แบ่งการไหลน้ำมันออกเป็นสองส่วน อัตราการไหลทั้งสองจะมีค่าเท่ากันหรือไม่เท่ากันก็ได้

8.Flow divider



รูปที่ 3.13 Flow divider

จากรูปที่ 3.13 Flow divider ยี่ห้อ Sun รุ่น QL07 - A2 ทำหน้าที่แบ่งอัตราการไหลน้ำมันเป็นสองส่วนเท่ากันโดยใช้ spool ชดเชยความแตกต่างของแรงดันทั้งสองด้าน ทนแรงดันสูงสุดได้ 5000 Psi มีค่าความจุ 1.5 - 8 gpm มีค่าความแม่นยำในการแบ่งอัตราการไหล $\pm 3.5\%$

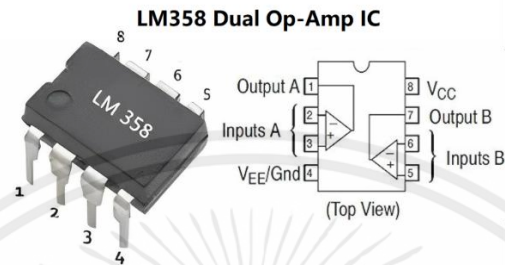
9.อุปกรณ์ถ่วงน้ำหนัก



รูปที่ 3.14 อุปกรณ์ถ่วงน้ำหนัก

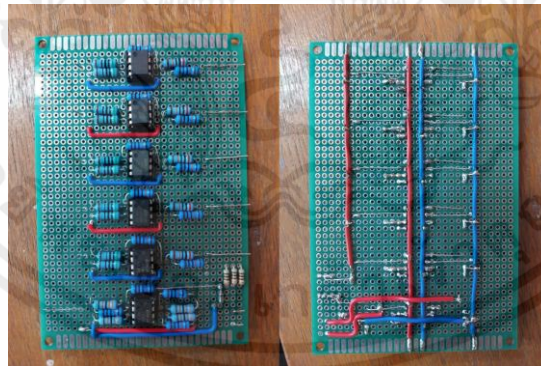
จากรูปที่ 3.14 อุปกรณ์ถ่วงน้ำหนักก้านแขวนมีมวล 12 กิโลกรัม และ มวลแต่ละก้อนมีมวล 17.5 กิโลกรัม ใช้ในการถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1

10.Operational amplifier



รูปที่ 3.15 Operational amplifier

จากรูปที่ 3.15 เป็น IC เบอร์ LM358N (Dual Op Amp) เป็น IC แดตชา ภายในจะเป็น Op Amp สองตัว ขาที่ 1 และ 2 เป็น output ของ Op Amp ตัวที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ขาที่ 2 และ 3 เป็น input ของ Op Amp ตัวที่ 1 ขาที่ 5 และ 6 เป็น input ของ Op Amp ตัวที่ 2 ขาที่ 4 เป็นไฟเลี้ยงแรงดันลบ ขาที่ 8 เป็นไฟเลี้ยงแรงดันบวก



รูปที่ 3.16 วงจร operational amplifiers

จากรูปที่ 3.16 ใช้แปลงสัญญาณของเซ็นเซอร์วัดความดันและสัญญาณของเซ็นเซอร์วัดระยะทาง สัญญาณความดันที่ได้เป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้า 4-20mA ทำการแปลงสัญญาณโดยใช้ IV converter สัญญาณที่ได้ออกมาจะเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า -2 ถึง -10V นำสัญญาณที่ได้ และขยายสัญญาณโดยใช้ summing amplifier จะได้

สัญญาณแรงดันไฟฟ้า -6 ถึง 10V เซ็นเซอร์วัดระยะทาง สัญญาณที่ได้จะเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า 0-6V ทำการขยายสัญญาณโดยใช้ differential amplifier ได้สัญญาณเป็นแรงดันไฟฟ้า -9.9-9.9V

11. ขั้วเชื่อมต่อ (Deutche Industrial Normen)



รูปที่ 3.17 ขั้วเชื่อมต่อ DIN

จากรูปที่ 3.17 ใช้ในการเชื่อมต่อสัญญาณ และ ไฟเลี้ยงระหว่างกล่องควบคุมและเซ็นเซอร์ต่างๆ โดยเซ็นเซอร์จะมี 4 สายประกอบไปด้วยไฟเลี้ยง 2 สาย และ สายสัญญาณสองสาย จึงเลือกใช้ขั้วเชื่อมต่อ DIN 4 pin เพื่อรวบรวมสายของเซ็นเซอร์แต่ละตัวเข้าด้วยกัน ทำให้สายเป็นระเบียบมากขึ้นใช้งานได้ง่ายและเชื่อมต่อได้ง่าย

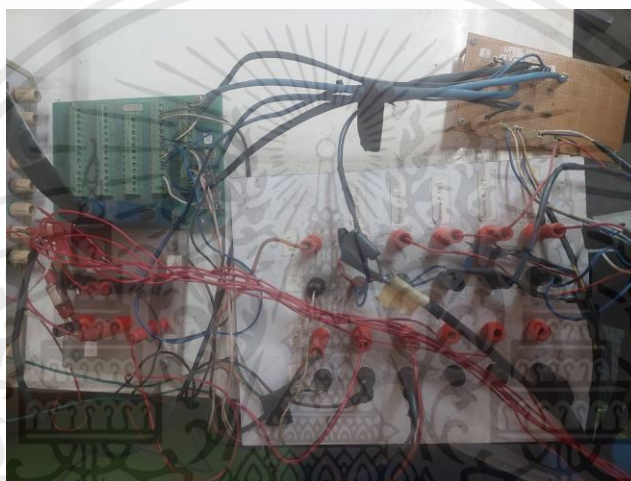
12. Power Supply



รูปที่ 3.18 Power Supply

จากรูปที่ 3.18 ใช้สำหรับเป็นอุปกรณ์ที่จ่ายพลังงานไฟฟ้า โดยใช้switching power supply (แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิง) Meanwell รุ่น rt-65b จ่ายแรงดันไฟฟ้า -12V ,12V และ 5V และ Meanwell รุ่นlrs-100-24 จ่ายแรงดันไฟฟ้า 24V

13.กล่องควบคุม(จตุรวมวงจร)



รูปที่ 3.19 จตุรวมวงจรของเก่า



รูปที่ 3.20 การจัดวางอุปกรณ์ต่างๆภายในกล่องควบคุม



รูปที่ 3.21 แบบด้านหน้ากล่องควบคุมที่จะทำขึ้นมาใหม่

จากรูปที่ 3.20 และ 3.21 คือกล่องควบคุมที่สร้างขึ้นใหม่เพื่อเก็บรวบรวมวงจรต่างๆ ให้เป็นระเบียบเรียบร้อยมากขึ้น ภายในกล่องประกอบไปด้วย Power Supply, วงจร operational amplifiers และ NI USB 6001 กล่องควบคุมจะทำหน้าที่เป็นตัวกลางเชื่อมต่อระหว่างเซ็นเซอร์และอุปกรณ์ต่างๆ โดยใช้หัวเชื่อมต่อ DIN 4 pin โดยจะมีช่องเสียบสายสัญญาณต่างๆดังนี้

P HE 1 คือ ช่องสัญญาณแรงดันที่ด้าน Head End ของกระบอกสูบที่ 1 ใช้สาย DIN 3 Pin

P RE 1 คือ ช่องสัญญาณแรงดันที่ด้าน Rod End ของกระบอกสูบที่ 1 ใช้สาย DIN 3 Pin

Distance 1 คือ ช่องสัญญาณระยะทางที่ลูกสูบของกระบอกสูบที่ 1 เคลื่อนที่ไป ใช้สาย DIN 3 Pin

P HE 2 คือ ช่องสัญญาณแรงดันที่ด้าน Head End ของกระบอกสูบที่ 2 ใช้สาย DIN 3 Pin

P RE 2 คือ ช่องสัญญาณแรงดันที่ด้าน Rod End ของกระบอกสูบที่ 2 ใช้สาย DIN 3 Pin

Distance 2 คือ ช่องสัญญาณระยะทางที่ลูกสูบของกระบอกสูบที่ 2 เคลื่อนที่ไป ใช้สาย DIN 3 Pin

Valve 1 คือ ช่องสัญญาณความคุ้มค่าลู่ควบคุมทิศทางตัวที่ 1

Valve 2 คือ ช่องสัญญาณความคุ้มค่าลู่ควบคุมทิศทางตัวที่ 2

Flow rate คือ ช่องสัญญาณอัตราการไหล

LED 5 V คือ ไฟแสดงสถานะการทำงานของ power supply 5V ถ้าไฟติดคือทำงาน

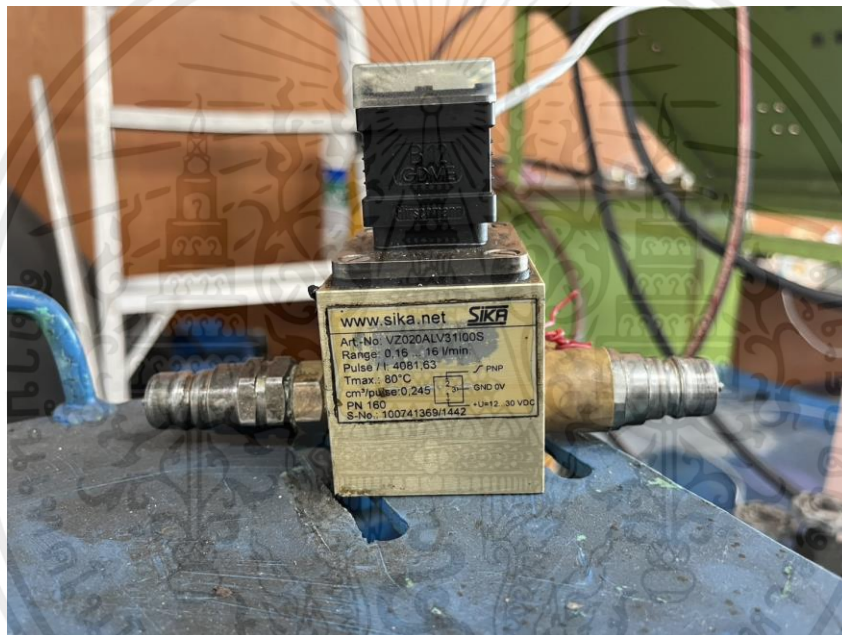
LED 12 V คือ ไฟแสดงสถานะการทำงานของ power supply 12V ถ้าไฟติดคือทำงาน

LED 24 V คือ ไฟแสดงสถานะการทำงานของ power supply 24V ถ้าไฟติดคือทำงาน

220 VAC คือ ช่องเชื่อมต่อแหล่งจ่ายไฟ 220 V AC

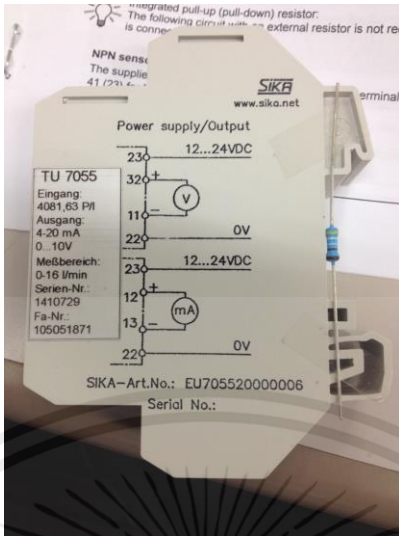
Switch คือ สวิตช์ควบคุมการจ่ายไฟ 220 V AC

Data Output คือ ช่องเชื่อมต่อข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์กับ ni 6001 ใช้เป็น USB B 2.0



รูปที่ 3.22 Positive displacement flow sensors VZ0.2AL

จากรูปที่ 3.22 Positive displacement flow sensors VZ0.2AL ใช้ในการวัดอัตราการไหลโดยส่งสัญญาณเป็น puls สามารถวัดอัตราการไหล 0.16-16 ลิตรต่อนาที



รูปที่ 3.23 SIKA TU7005

จากรูปที่ 3.23 เป็นอุปกรณ์ในการแปลงสัญญาณ puls เป็น 0-10V หรือ 4-20 mA



รูปที่ 3.24 กล่องควบคุม flow sensor

จากรูปที่ 3.24 กล่อง Flow Transducer ภายในจะประกอบด้วย SIKA TU7005 ซึ่งใช้เป็นอุปกรณ์ในการแปลงสัญญาณ puls เป็น 0-10V หรือ 4-20 mA นำมาใส่กล่องและทำขั้วเชื่อมต่อเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน โดยกล่องนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวกลางเชื่อมต่อระหว่างเซ็นเซอร์วัดอัตราการไหลรับสัญญาณเข้ามา และ แปลงสัญญาณส่งเข้าไปที่ NI USB 6001 โดยจะมีช่องเสียบสายสัญญาณต่างๆดังนี้

ช่อง Pick up คือ ช่องเชื่อมต่อ Flow sensor

ช่อง 24VDC supply + (สีแดง) คือ ไฟเลี้ยง 24VDC

ช่อง 24VDC supply - (สีดำ) คือ ไฟเลี้ยง 24VDC

ช่อง 0-10VDC Output +(สีขาว) คือ สัญญาณบวก

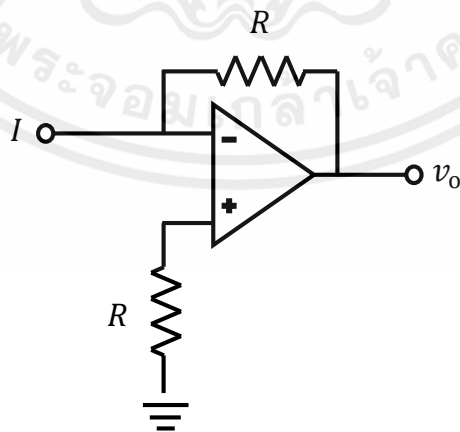
ช่อง 0-10VDC Output - (สีน้ำเงิน) คือ GND สัญญาณบวก

3.2 การทำกล่องควบคุม

เนื่องจาก NI USB-6001 จะรับสัญญาณในช่วง -10 ถึง 10 V ดังนั้นจึงมีการแปลงสัญญาณกระแสเป็นสัญญาณแรงดัน และ มีการขยายสัญญาณให้อยู่ในช่วง -10 ถึง 10 V โดยมีการแปลงสัญญาณดังนี้

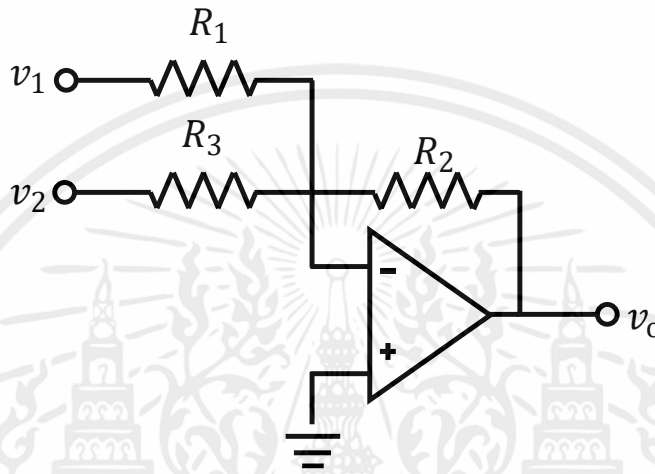
ความดัน

เซ็นเซอร์วัดความดันจะวัดที่ 5 ตำแหน่ง คือ 1.ปัม 2.ด้าน head end ของกระบอกลูกสูบที่ 1 3.ด้าน rod end ของกระบอกลูกสูบที่ 1 4.ด้าน head end ของกระบอกลูกสูบที่ 2 5.ด้าน rod end ของกระบอกลูกสูบที่ 2 สัญญาณแรงดันที่ออกจากเซ็นเซอร์วัดความดันมีค่าในช่วง 4-20 ma จึงมีการแปลงสัญญาณกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันโดยใช้ IV converter สามารถคำนวณได้จากสมการ $v_0 = -IR$ และมีการต่อ Op Amp ดังรูป 3.25



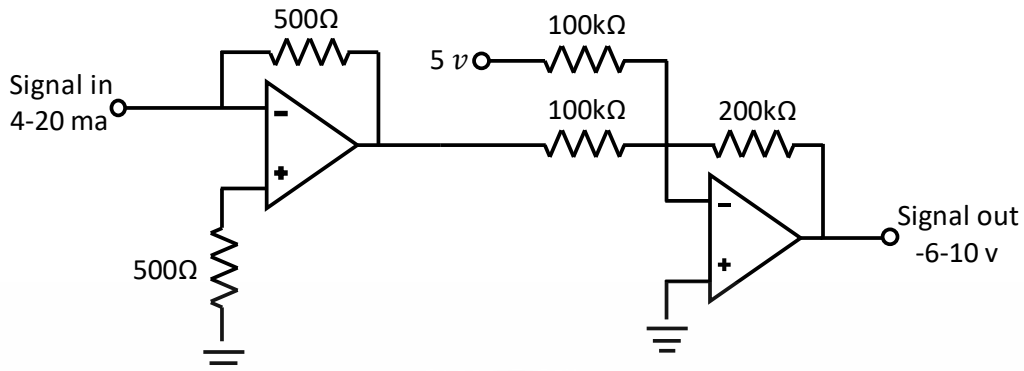
รูปที่ 3.25 การต่อ IV converter

ในการแปลงสัญญาณกระแสเป็นแรงดันโดยใช้ IV converter เลือกใช้ค่าตัวต้านทาน $R = 500 \Omega$ ได้สัญญาณในช่วง -2 ถึง -10 V สัญญาณที่ได้จะถูกขยายโดยใช้ summing amplifier สามารถคำนวณได้จากสมการ $v_0 = -\left(\frac{R_2}{R_1} v_1 + \frac{R_2}{R_3} v_2\right)$ มีการต่อดังรูป 3.26



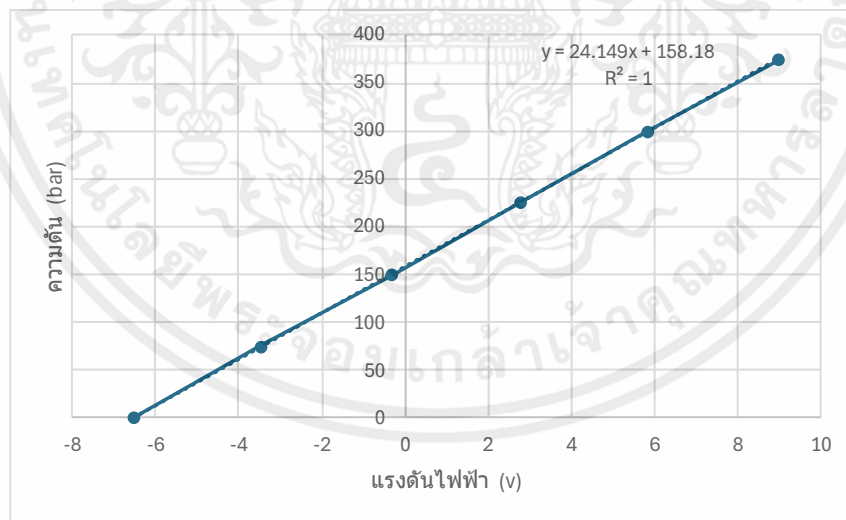
รูปที่ 3.26 การต่อ summing amplifier

ในการขยายสัญญาณโดยใช้ summing amplifier เลือกใช้ค่าตัวต้านทานดังนี้ $R_1 = 100k\Omega$, $R_2 = 200k\Omega$ และ $R_3 = 100k\Omega$ ใช้ $v_2 = 5v$ และ v_1 คือสัญญาณ -2 ถึง -10 สัญญาณที่ได้จะต่อเข้ากับ summing amplifier ที่มีอัตราส่วนการขยาย 2 เท่า ได้ค่าสัญญาณในช่วง -6 ถึง 10 V เมื่อต่อ Op Amp ทั้งสองเข้าด้วยกันจะได้ดังรูป 3.27



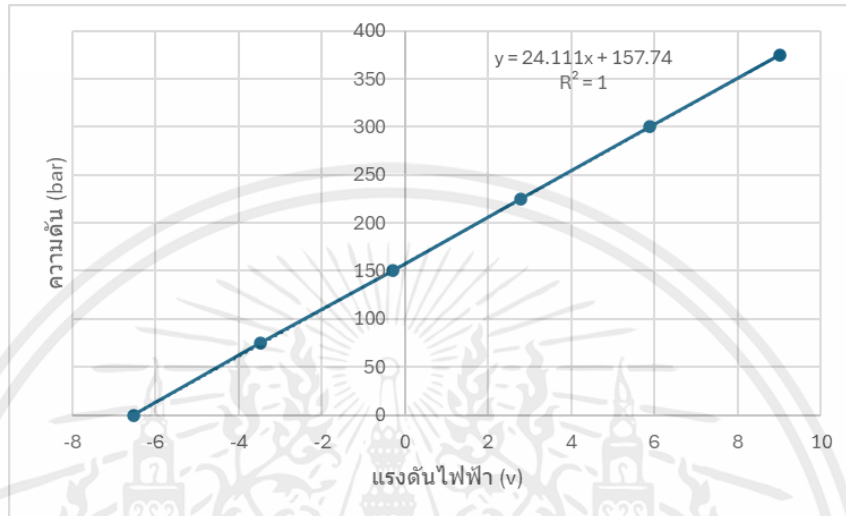
รูปที่ 3.27 ต่อ IV converter รวมกับ summing amplifier

เซ็นเซอร์วัดความดันทั้ง 5 ตัวจะมีการแปลงและขยายสัญญาณเหมือนกันใช้ตัวต้านทานค่าเท่ากัน แต่ตัวต้านทานจะมีความคลาดเคลื่อน $\pm 1\%$ ทำการ calibration โดยจ่ายกระแสจากแหล่งจ่ายให้วงจร Op Amp แต่ละชุดและวัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่อีกด้าน เมื่อทำการ calibration แล้วจะได้สมการที่แตกต่างกันไปเนื่องจากความคลาดเคลื่อนของตัวต้านทาน สมการที่ได้มีค่าดังนี้



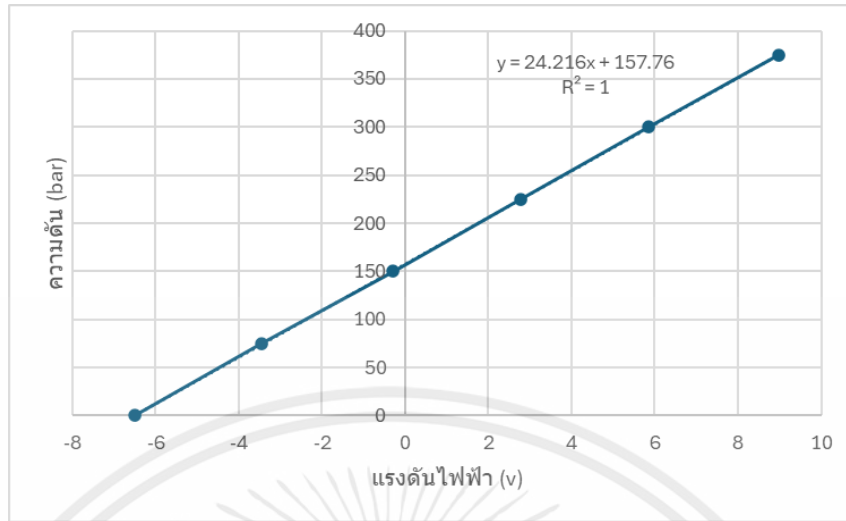
รูปที่ 3.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดันไฟฟ้ากับความดันที่ป้อน

จากรูปที่ 3.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดันไฟฟ้ากับความดันที่ปั๊ม ได้สมการความสัมพันธ์เชิงเส้นคือ $PP=24.149 \times pp + 158.18$ เมื่อ pp คือสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากเซ็นเซอร์



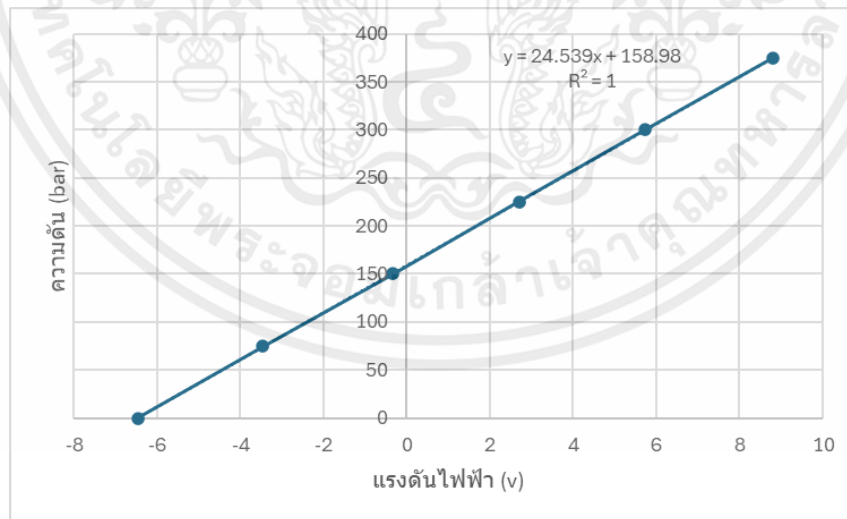
รูปที่ 3.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดันไฟฟ้ากับความดันที่ด้าน head end ของกระบอกลูกสูบที่ 1

จากรูปที่ 3.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดันไฟฟ้ากับความดันที่ด้าน head end ของกระบอกลูกสูบที่ 1 ได้สมการความสัมพันธ์เชิงเส้นคือ $PHE1=24.111 \times phe1 + 157.74$ เมื่อ $phe1$ คือสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากเซ็นเซอร์



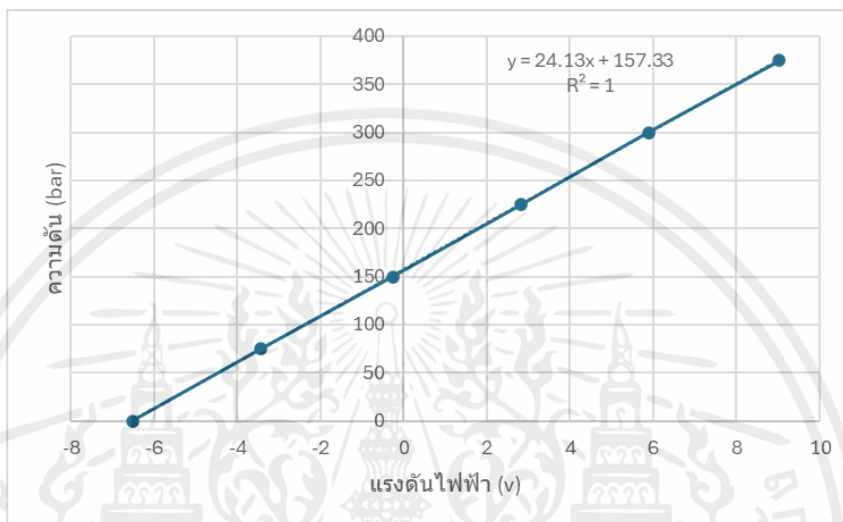
รูปที่ 3.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดันไฟฟ้ากับความดันที่ด้าน rod end ของกระบอกลูกสูบที่ 1

จากรูปที่ 3.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดันไฟฟ้ากับความดันที่ด้าน rod end ของกระบอกลูกสูบที่ 1 ได้สมการความสัมพันธ์เชิงเส้นคือ $PRE1 = 24.216 \times pre1 + 157.76$ เมื่อ $pre1$ คือสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากเซ็นเซอร์



รูปที่ 3.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดันไฟฟ้ากับความดันที่ด้าน head end ของกระบอกลูกสูบที่ 2

จากรูปที่ 3.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดันไฟฟ้ากับความดันที่ด้าน head end ของกระบอกลูกสูบที่ 2 ได้สมการความสัมพันธ์เชิงเส้นคือ $PHE2=24.539 \times phe2 + 158.98$ เมื่อ phe2 คือสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากเซ็นเซอร์

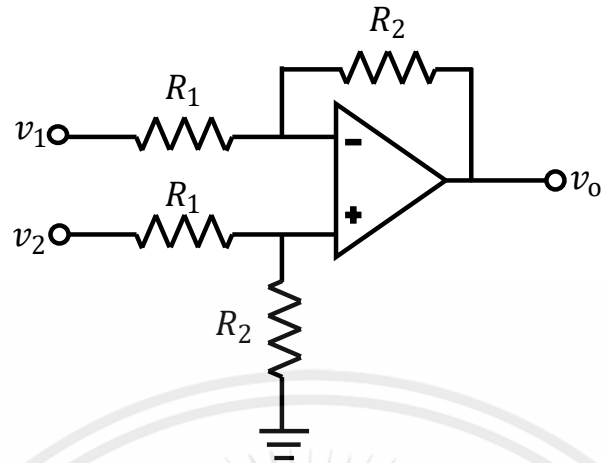


รูปที่ 3.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดันไฟฟ้ากับความดันที่ด้าน rod end ของกระบอกลูกสูบที่ 2

จากรูปที่ 3.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดันไฟฟ้ากับความดันที่ด้าน rod end ของกระบอกลูกสูบที่ 2 ได้สมการความสัมพันธ์เชิงเส้นคือ $PRE2=24.13 \times pre2 + 157.33$ เมื่อ pre2 คือสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากเซ็นเซอร์

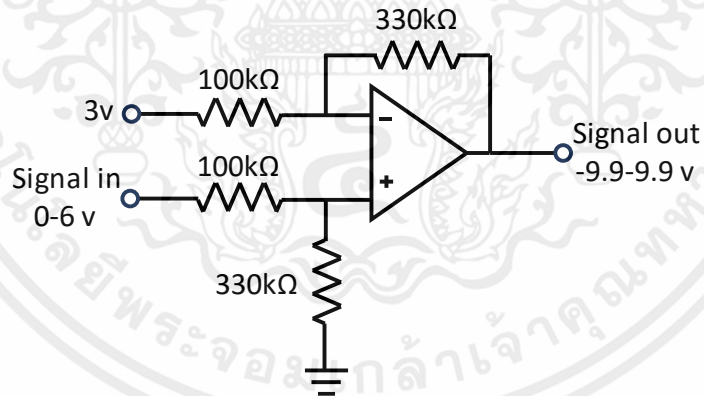
ระยะยืดของกระบอกลูกสูบ

เซ็นเซอร์วัดระยะทำงานโดยการเปลี่ยนแปลงความต้านทาน มีระยะยืดสูงสุด 100 เซนติเมตร ความต้านทาน 0-5000 Ω และมีสัญญาณแรงดันไฟฟ้าในช่วง 0-10 V ระยะยืดของกระบอกลูกสูบสูงสุด 50 เซนติเมตร ซึ่งจะใช้ความต้านทานในช่วง 0-2500 Ω เป็น 0.5 เท่าของความต้านทานสูงสุด เมื่อใช้ไฟเลี้ยง 12 V จะได้สัญญาณแรงดันไฟฟ้า 0-6 V ทำการขยายสัญญาณ 3.3 เท่า โดยใช้ differential amplifier สามารถคำนวณได้จากสมการ $V_0 = \frac{R_2}{R_1} (V_2 - V_1)$ มีการต่อดังรูป 3.33



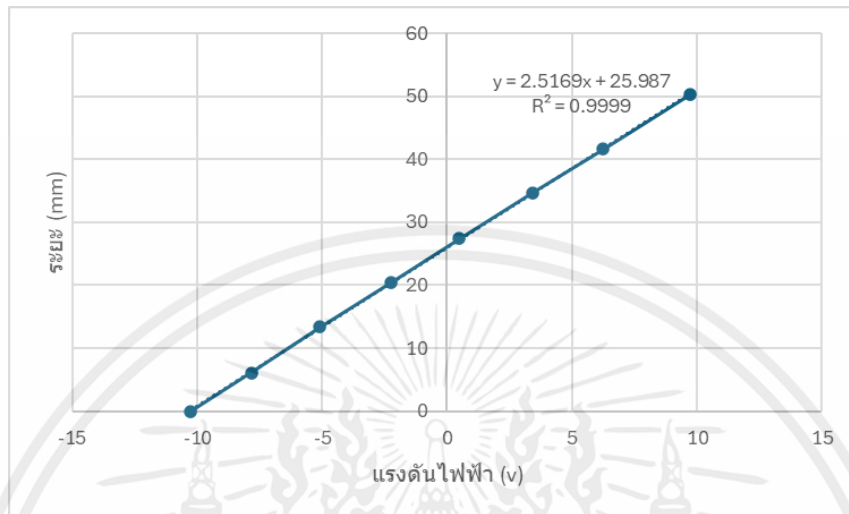
รูปที่ 3.33 การต่อ differential amplifier

ใช้ $R_1 = 100k\Omega$, $R_2 = 330k\Omega$ และ $v_1 = 3v$ และ v_2 คือสัญญาณ 0-6 V ขยายแล้วจะได้สัญญาณในช่วง -9.9 ถึง 9.9 V เมื่อต่อกับ Op Amp จะได้ดังรูป 3.34



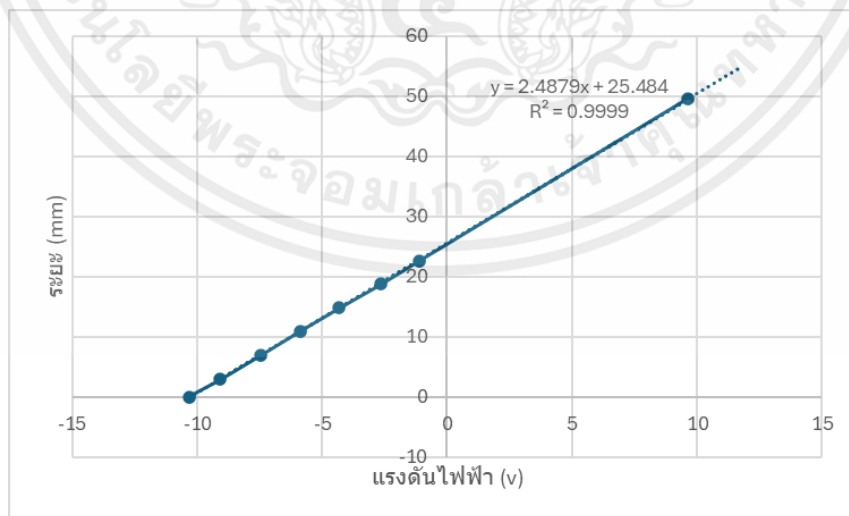
รูปที่ 3.34 แผนภาพการต่อ differential amplifier

เซ็นเซอร์วัดระยะทั้งสองตัวมีการขยายสัญญาณและใช้ตัวต้านทานค่าเท่ากัน แต่เนื่องจากตัวต้านทานมีค่าความคลาดเคลื่อน $\pm 1\%$ เมื่อทำการ calibration แล้วได้สมการต่างกันไปดังนี้



รูปที่ 3.35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับระยะของกระบอกสูบที่ 1

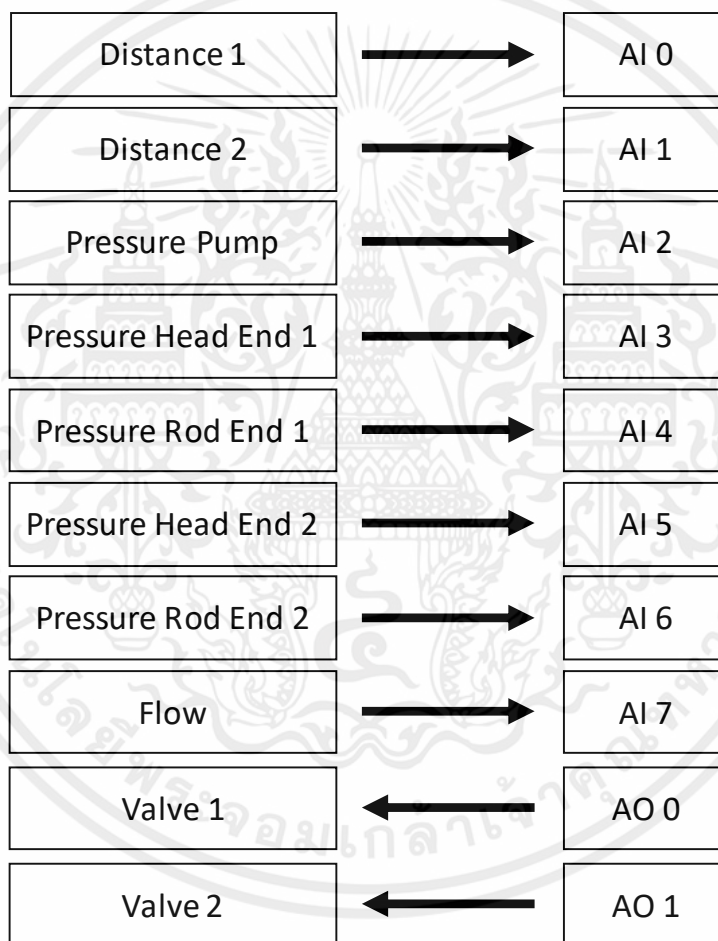
จากรูปที่ 3.35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับระยะของกระบอกสูบที่ 1 ได้สมการความสัมพันธ์เชิงเส้นคือ $Distance\ 1 = 2.502 \times dis1 + 25.128$ เมื่อ $dis1$ คือสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากเซ็นเซอร์



รูปที่ 3.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับระยะของกระบอกสูบที่ 2

จากรูปที่ 3.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับระยะของกระบอกสูบที่ 2 ได้สมการความสัมพันธ์เชิงเส้นคือ $Distance\ 2 = 2.4997 \times dis2 + 25.8$ เมื่อ $dis2$ คือสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากเซ็นเซอร์

สัญญาณที่ได้แปลงและขยายสัญญาณ และสัญญาณควบคุมวาล์วจะมีการเชื่อมต่อกับ NI USB 6001 ดังรูป 3.37



รูปที่ 3.37 แผนภาพแสดงการเชื่อมต่อระหว่างเซ็นเซอร์ต่างๆ และ วาล์วกับ NI USB 6001

จากรูปที่ 3.37 แผนภาพแสดงการเชื่อมต่อระหว่างเซ็นเซอร์ต่างๆ และ วาล์วกับ NI USB 6001 เป็น แผนภาพที่แสดงให้เห็นว่าเซ็นเซอร์ และ วาล์วเชื่อมต่อกับ ช่องที่เท่าไรของ NI USB ซึ่งมีการเชื่อมต่อดังนี้

เซ็นเซอร์วัดระยะของกระบอกลูกสูบที่ 1 เชื่อมต่อกับ ช่อง analog input 0 ของ NI USB

เซ็นเซอร์วัดระยะของกระบอกลูกสูบที่ 1 เชื่อมต่อกับ ช่อง analog input 1 ของ NI USB

เซ็นเซอร์ความดันที่ด้าน head end ของกระบอกลูกสูบที่ 1 เชื่อมต่อกับ ช่อง analog input 2 ของ NI USB

เซ็นเซอร์ความดันที่ด้าน rod end ของกระบอกลูกสูบที่ 1 เชื่อมต่อกับ ช่อง analog input 3 ของ NI USB

เซ็นเซอร์ความดันที่ด้าน head end ของกระบอกลูกสูบที่ 2 เชื่อมต่อกับ ช่อง analog input 4 ของ NI USB

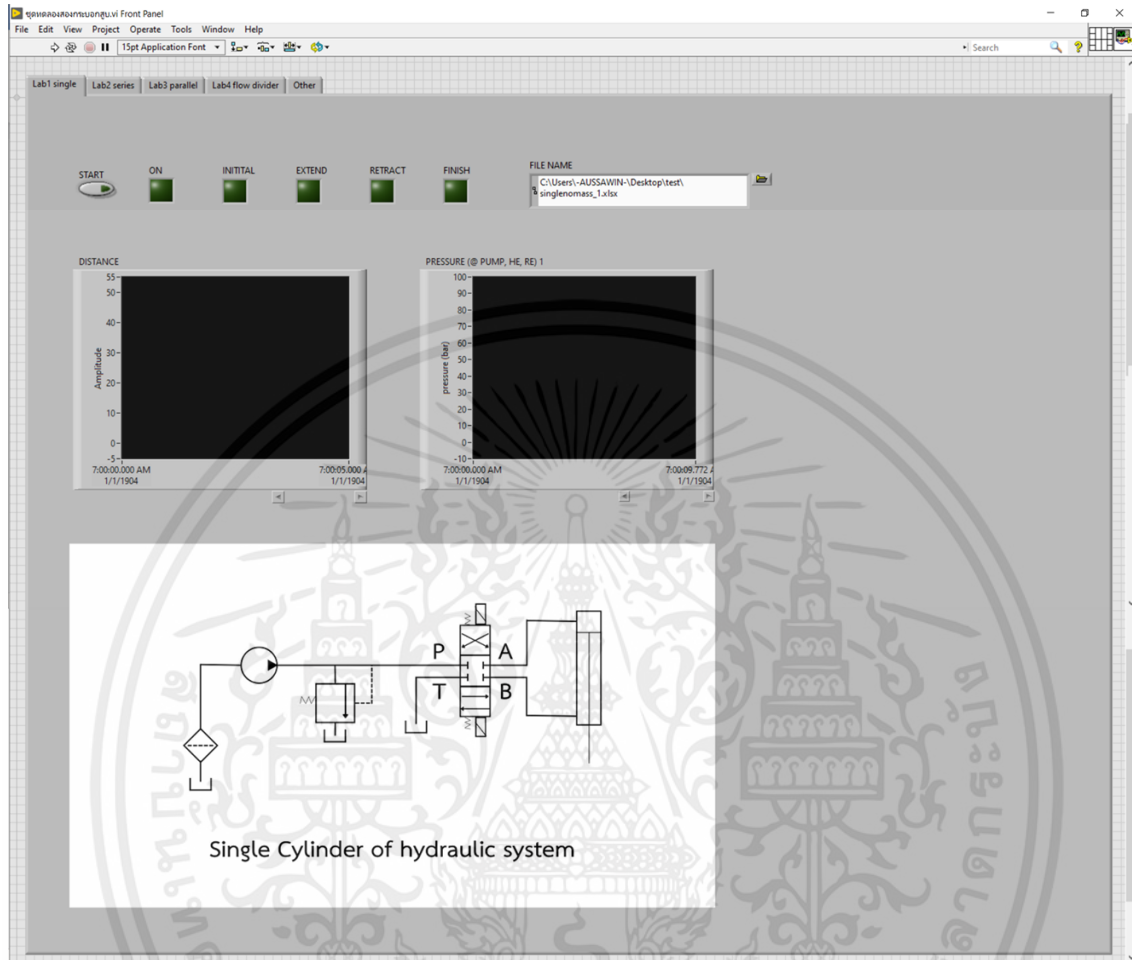
เซ็นเซอร์ความดันที่ด้าน rod end ของกระบอกลูกสูบที่ 2 เชื่อมต่อกับ ช่อง analog input 5 ของ NI USB

เซ็นเซอร์วัดอัตราการไหลเชื่อมต่อกับ ช่อง analog input 6 ของ NI USB 6001

วาล์วตัวที่ 1 analog output 0 ของ NI USB

วาล์วตัวที่ 2 analog output 1 ของ NI USB



3.3 ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรม




รูปที่ 3.38 Front panel

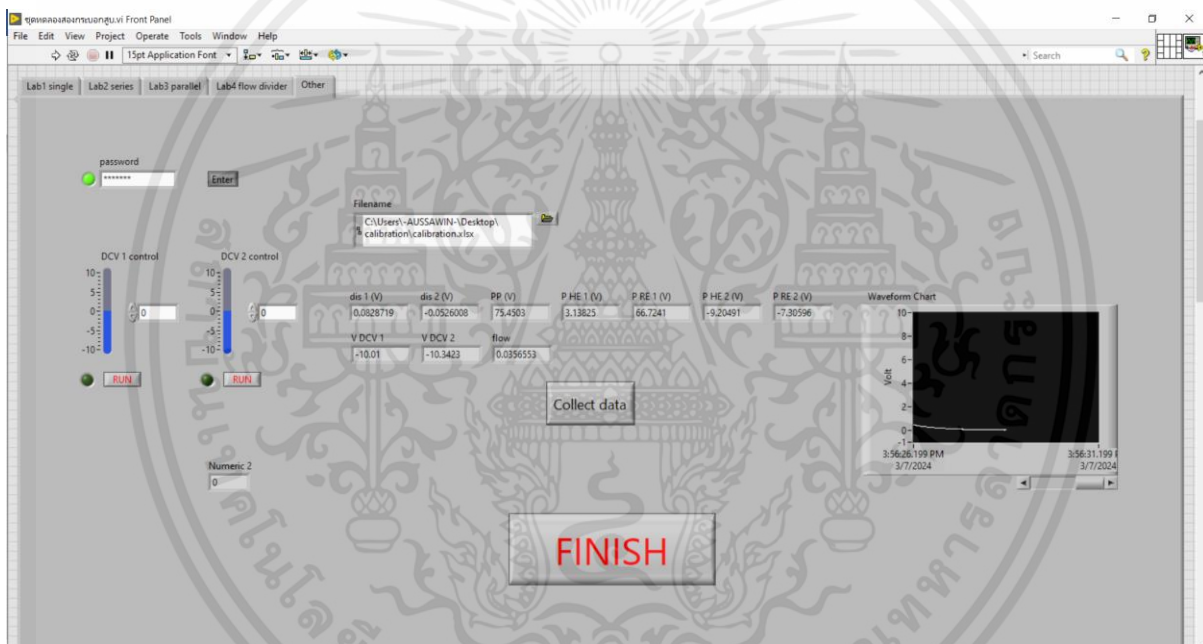
การทดลองทั้ง 4 การทดลองจะรวมอยู่ในโปรแกรมเดียวกัน แต่แต่ละการทดลองจะแยกเป็น tap และจะมีแผนภาพการต่อสายไฮดรอลิกของการทดลองนั้นๆ โดยจะมีวิธีการใช้งานดังนี้

1. เมื่อเปิดโปรแกรมขึ้นมาจะเห็นหน้า front panel เลือกที่ tab Lab 1 single โดยจะแสดง diagram การต่อกระบอกสูบต่อสายไฮดรอลิกตาม diagram
2. ตั้งชื่อไฟล์ที่ FILE NAME สำหรับเก็บข้อมูลการยืดออกและหดกลับของกระบอกสูบ

3. กดที่ปุ่ม  ให้โปรแกรมเริ่มทำงาน กดที่ปุ่ม Start  โปรแกรมจะเริ่มทำงาน โดรนจะทำการทดสอบก่อนเริ่มเก็บค่าการทดลอง กราฟด้านล่างจะแสดงผล ความดันกับเวลา และ ระยะทางกับเวลา

4. เมื่อการทดลองเสร็จสิ้นทำการเพิ่มมวลและเปลี่ยนชื่อไฟล์ที่จะบันทึก กดที่ปุ่ม Start  ให้โปรแกรมทำงาน เปลี่ยนมวลจนครบทุกอัน คือ 0kg 12kg 29.5kg 47kg และ 64.5kg

5. เลือกที่ tab Lab 2 series, Lab 3 parallel และ Lab 4 flow divider และทำตามขั้นตอนที่ 1 ถึง 4



รูปที่ 3.39 Front panel tab Other

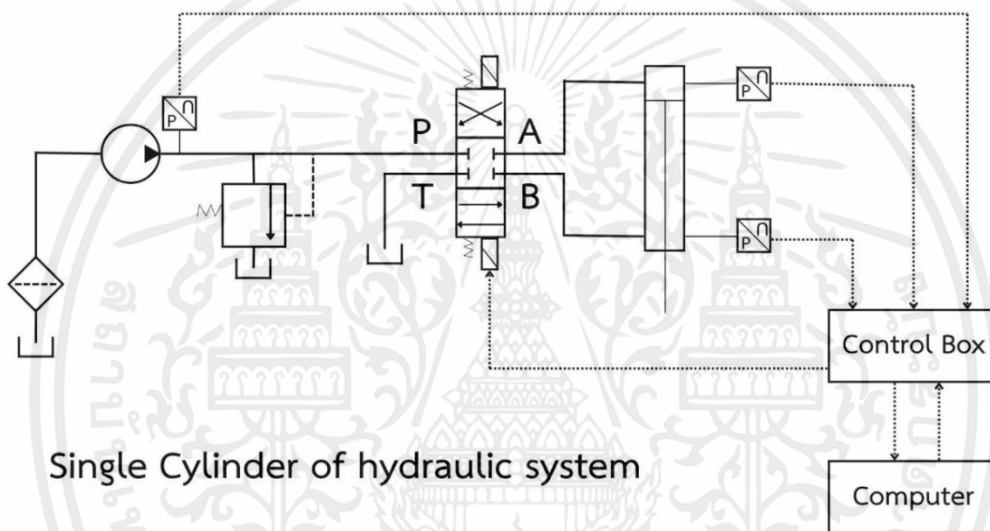
จากรูปที่ 3.39 โปรแกรมหน้า Other โดรนในหน้านี้จะใช้ในการตรวจสอบค่าสัญญาณต่างๆ ที่เซ็นเซอร์ส่งเข้ามายังคอมพิวเตอร์ และ ควบคุมให้วาล์วทำงานเปิดปิดตามที่ต้องการ โดยมีวิธีการใช้งานดังนี้

1. กรอกรหัสผ่าน ME44405 ในช่อง password
2. ปรับค่าสัญญาณควบคุมวาล์วแยกจากการทดลอง
3. ใช้ตรวจสอบค่าสัญญาณแรงดันไฟฟ้าต่างๆที่เข้ามาที่ Ni USB

4.ใช้ในการสอบเทียบค่าระยะของกระบอกสูบ โดยเริ่มจากตั้งชื่อไฟล์ที่จะบันทึกค่า ปรับค่าสัญญาณควมมูมวาล์ว กดที่ปุ่ม RUN ให้วาล์วทำงานเมื่อปล่อยปุ่มวาล์วจะหยุดทำงาน ทำการวัดระยะของกระบอกสูบ และบันทึกค่าระยะ และกดปุ่ม Collect data เพื่อบันทึกค่าสัญญาณที่ส่งมาจากเซ็นเซอร์

3.4 รูปแบบการทดลอง

3.4.1 การทดลอง 1 กระบอกสูบในแนวตั้ง



รูปที่ 3.40 แผนภาพไฮดรอลิกในการทดลอง 1 กระบอกสูบในแนวตั้ง

อุปกรณ์ที่ใช้ในชุดทดลอง: ปั๊ม, วาล์ว, กระบอกสูบ, เซนเซอร์วัดระยะทาง, เซนเซอร์วัดความดัน, เซนเซอร์วัดอัตราการไหล

วิธีการทดลอง

1. ต่อสายน้ำมันตามแผนภาพ
2. สั่งการทำงานจากโปรแกรมแลปวิวให้กระบอกสูบยืดและหด บันทึกความดัน, ระยะยืด และ เวลา
3. เพิ่มมวลที่ปลายกระบอกสูบที่ 1: 0, 12, 29.5, 47, 64.5 กิโลกรัมตามลำดับ และทำการทดลองซ้ำ

ตารางที่ 3.1 ตารางบันทึกผลความเร็ว และ อัตราการไหลของการทดลอง 1 กระจกสูบในแนวตั้ง

มวล(kg)	ความเร็ว(cm/s)		อัตราการไหล(CC/s)	
	ยี่ตออก	หตกลับ	ยี่ตออก	หตกลับ
0				
12				
29.5				
47				
64.5				

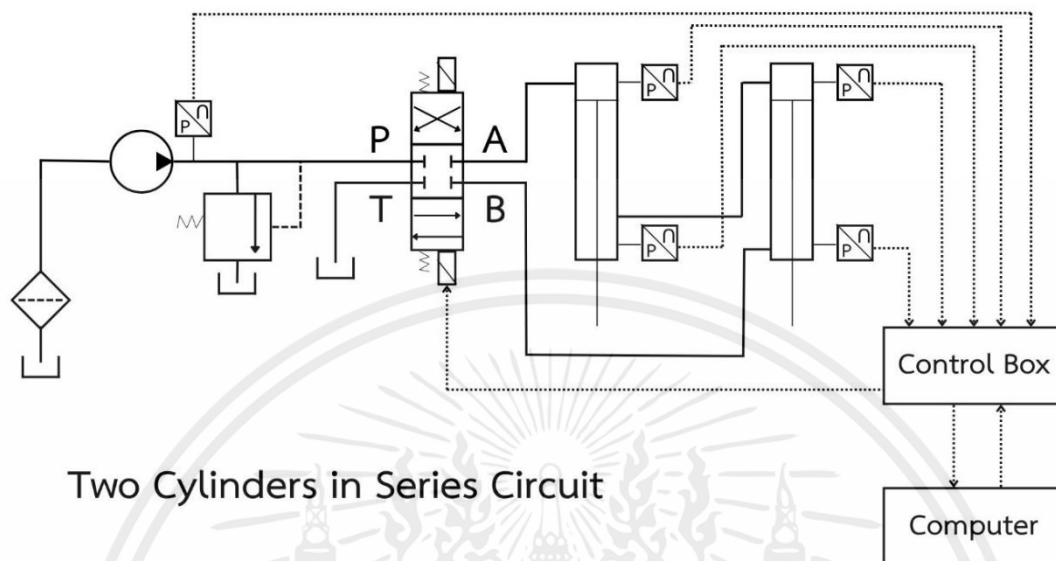
ตารางที่ 3.2 ตารางบันทึกผลความดันของการทดลอง 1 กระจกสูบในแนวตั้ง

มวล	ความดัน(bar)				
	pp	ยี่ตออก		หตกลับ	
		phe	pre	phe	pre
0					
12					
29.5					
47					
64.5					

สิ่งที่ต้องวิเคราะห์

1. การเปลี่ยนแปลงความเร็วของกระจกสูบในการทดลองเมื่อน้ำหนักของมวลถ่วงที่เปลี่ยนแปลง
2. การเปลี่ยนแปลงความดันของระบบไฮดรอลิกในการทดลองเมื่อน้ำหนักของมวลถ่วงที่เปลี่ยนแปลง

3.4.2 การทดลองที่ 2 การทดลอง 2 กระบอกลูกสูบต่อแบบอนุกรม



รูปที่ 3.41 แผนภาพการต่อกระบอกลูกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอก แบบอนุกรม

อุปกรณ์ที่ใช้ในชุดทดลอง: ปั๊ม, วาล์ว, กระบอกลูกสูบ 2 ตัว, เซนเซอร์วัดระยะทาง, เซนเซอร์วัดความดัน, เซนเซอร์วัดอัตราการไหล

วิธีการทดลอง

1. ต่อสายน้ำมันตามแผนภาพ
2. สั่งการทำงานจากโปรแกรมแลปวิวให้กระบอกลูกสูบยืดและหด บันทึกความดัน, ระยะยืด และ เวลา
3. เพิ่มมวลที่ปลายกระบอกลูกสูบที่ 1: 0, 12, 29.5, 47, 64.5 กิโลกรัมตามลำดับ และทำการทดลองซ้ำ

ตารางที่ 3.3 ตารางบันทึกผลความเร็วและอัตราการไหลของการต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอกแบบอนุกรม
ขณะยืดออก

มวล(kg)	ยืดออก			
	กระบอกสูบ 1		กระบอกสูบ 2	
	ความเร็ว(cm/s)	อัตราการไหล(cm ² /s)	ความเร็ว(cm/s)	อัตราการไหล(cm ² /s)
0				
12				
27.5				
47				
64.5				

ตารางที่ 3.4 ตารางบันทึกผลความเร็วและอัตราการไหลของการต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอกแบบอนุกรม
ขณะหดกลับ

มวล(kg)	หดกลับ			
	กระบอกสูบ 1		กระบอกสูบ 2	
	ความเร็ว(cm/s)	อัตราการไหล(cm ² /s)	ความเร็ว(cm/s)	อัตราการไหล(cm ² /s)
0				
12				
27.5				
47				
64.5				

ตารางที่ 3.5 ตารางบันทึกผลความดันของการต่อกระบอกลูกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอกแบบอนุกรมขณะยืดออก

มวล(kg)	ความดันช่วงยืดออก (bar)				
	pp	กระบอกลูกสูบ 1		กระบอกลูกสูบ 2	
		PHE	PRE	PHE	PRE
0					
12					
27.5					
47					
64.5					

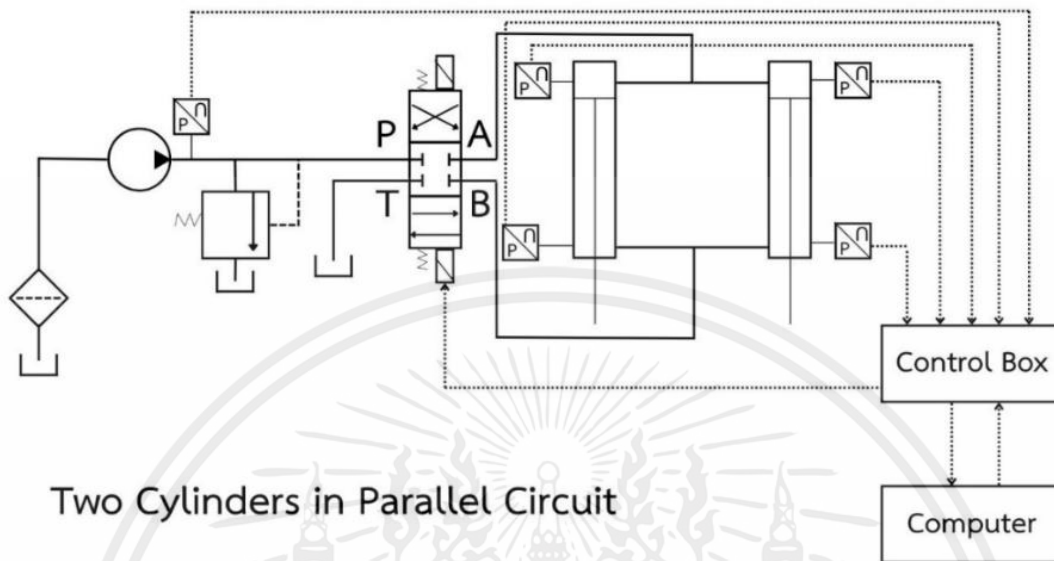
ตารางที่ 3.6 ตารางบันทึกผลความดันของการต่อกระบอกลูกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอกแบบอนุกรมขณะ หดกลับ

มวล(kg)	ความดันช่วงหดกลับ(bar)				
	pp	กระบอกลูกสูบ 1		กระบอกลูกสูบ 2	
		PHE	PRE	PHE	PRE
0					
12					
27.5					
47					
64.5					

สิ่งที่ต้องวิเคราะห์

1. การเปลี่ยนแปลงความเร็วของกระบอกลูกสูบในการทดลองเมื่อน้ำหนักของมวลถ่วงที่เปลี่ยนแปลง
2. การเปลี่ยนแปลงความดันของระบบไฮดรอลิกในการทดลองเมื่อน้ำหนักของมวลถ่วงที่เปลี่ยนแปลง
3. พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของกระบอกลูกสูบทั้งสองตัวเมื่อมวลที่ถ่วงที่ปลายกระบอกลูกสูบที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลง

3.4.3 การทดลองที่ 3 การทดลอง 2 กระบอกลูกสูบต่อแบบขนาน



รูปที่ 3.42 แผนภาพการต่อกระบอกลูกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอก แบบขนาน

อุปกรณ์ที่ใช้ในชุดทดลอง: ปั๊ม, วาล์ว, กระบอกลูกสูบ 2 ตัว, เซนเซอร์วัดระยะทาง, เซนเซอร์วัดความดัน, เซนเซอร์วัดอัตราการไหล

วิธีการทดลอง

1. ต่อสายน้ำมันตามแผนภาพ
2. สั่งการทำงานจากโปรแกรมแลปวิวให้กระบอกลูกสูบยืดและหด บันทึกความดัน, ระยะยืด และ เวลา
3. เพิ่มมวลที่ปลายกระบอกลูกสูบที่ 1: 0, 12, 29.5, 47, 64.5 กิโลกรัมตามลำดับ และทำการทดลองซ้ำ

ตารางที่ 3.7 ตารางบันทึกผลความเร็วและอัตราการไหลของการต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอกแบบขนาน
ขณะยืดออก

มวล(kg)	ยืดออก					
	กระบอกสูบ 1			กระบอกสูบ 2		
	ความเร็ว(cm/s)		อัตราการไหล(cm ² /s)		อัตราการไหล(cm ² /s)	
	ช่วง1	ช่วง2	ช่วง1	ช่วง2	ช่วง1	ช่วง2
0						
12						
27.5						
47						
64.5						

ตารางที่ 3.8 ตารางบันทึกผลความเร็วและอัตราการไหลของการต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอก แบบขนาน
ขณะหดกลับ

มวล(kg)	หดกลับ					
	กระบอกสูบ 1			กระบอกสูบ 2		
	ความเร็ว(cm/s)		อัตราการไหล(cm ² /s)		อัตราการไหล(cm ² /s)	
	ช่วง1	ช่วง2	ช่วง1	ช่วง2	ช่วง1	ช่วง2
0						
12						
27.5						
47						
64.5						

ตารางที่ 3.9 ตารางบันทึกผลความดันของการต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอกแบบขนาน ขณะยืดออก

มวล(kg)	ความดันช่วงหดกลับ (bar)							
	pp		กระบอกสูบ 1				กระบอกสูบ 2	
			PHE		PRE		PHE(bar)	PRE(bar)
	ช่วง1	ช่วง2	ช่วง1	ช่วง2	ช่วง1	ช่วง2		
0								
12								
29.5								
47								
64.5								

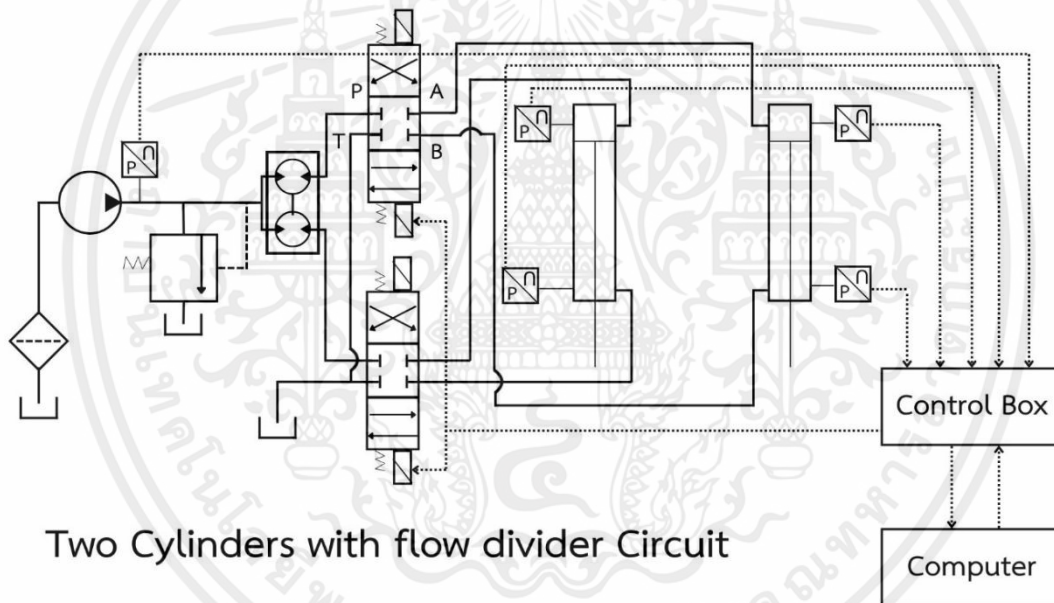
ตารางที่ 3.10 ตารางบันทึกผลความดันของการต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอกแบบขนาน ขณะหดกลับ

มวล(kg)	ความดันช่วงหดกลับ (bar)							
	pp		กระบอกสูบ 1				กระบอกสูบ 2	
			PHE		PRE		PHE(bar)	PRE(bar)
	ช่วง1	ช่วง2	ช่วง1	ช่วง2	ช่วง1	ช่วง2		
0								
12								
29.5								
47								
64.5								

สิ่งที่ต้องวิเคราะห์

1. การเปลี่ยนแปลงความเร็วของกระบอกสูบในการทดลองเมื่อน้ำหนักของมวลถ่วงที่เปลี่ยนแปลง
2. การเปลี่ยนแปลงความดันของระบบไฮดรอลิกในการทดลองเมื่อน้ำหนักของมวลถ่วงที่เปลี่ยนแปลง
3. พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของกระบอกสูบทั้งสองตัวเมื่อมวลที่ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลงไป

3.4.4 การทดลองที่ 4 การทดลอง 2 กระบอกสูบต่อแบบขนาน โดยใช้ Flow divider แทนข้อต่อสามทาง



รูปที่ 3.43 แผนภาพการต่อ 2 กระบอกสูบแบบขนานโดยใช้ Flow divider

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

วิธีการทดลอง

1. ติดตั้ง Flow divider และสายน้ำมันตามแผนภาพ
2. สั่งการทำงานจากโปรแกรมแลปวิวให้กระบอกสูบยืดและหด บันทึกความดัน, ระยะยืด และ เวลา
3. เพิ่มมวลที่ปลายกระบอกสูบที่ 1: 0, 12, 29.5, 47, 64.5 กิโลกรัมตามลำดับ และทำการทดลองซ้ำ

ตารางที่ 3.11 ตารางบันทึกผลความเร็วและอัตราการไหลของการต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอกสูบแบบขนาน โดยการใช้ Flow divider แทนข้อต่อสามทางขณะยืดออก

มวล(kg)	ยืดออก					
	กระบอกสูบ 1		กระบอกสูบ 2			
	ความเร็ว(cm/s)	อัตราการไหล(cm ² /s)	ความเร็ว(cm/s)		อัตราการไหล(cm ² /s)	
			ช่วง1	ช่วง2	ช่วง1	ช่วง2
0						
12						
27.5						
47						
64.5						

ตารางที่ 3.12 ตารางบันทึกผลความเร็วและอัตราการไหลของการต่อกระบอกลูกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอกลูกสูบแบบขนาน โดยการใช้ Flow divider แทนข้อต่อสามทางขณะหดกลับ

มวล(kg)	หดกลับ					
	กระบอกลูกสูบ 1				กระบอกลูกสูบ 2	
	ความเร็ว(cm/s)		อัตราการไหล(cm ² /s)		ความเร็ว(cm/s)	อัตราการไหล(cm ² /s)
	ช่วง1	ช่วง2	ช่วง1	ช่วง2		
0						
12						
27.5						
47						
64.5						

ตารางที่ 3.13 ตารางบันทึกผลความดันของการต่อกระบอกลูกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอกลูกสูบแบบขนาน โดยการใช้ Flow divider แทนข้อต่อสามทางขณะยืดออก

มวล(kg)	ความดันช่วงยืดออก (bar)									
	pp		กระบอกลูกสูบ 1				กระบอกลูกสูบ 2			
			PHE		PRE		PHE		PRE	
	ช่วง1	ช่วง2	ช่วง1	ช่วง2	ช่วง1	ช่วง2	ช่วง1	ช่วง2	ช่วง1	ช่วง2
0										
12										
29.5										
47										
64.5										

ตารางที่ 3.14 ตารางบันทึกผลความดันของการต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอกสูบแบบขนาน โดยการใช้ Flow divider แทนข้อต่อสามทางขณะหัดกลับ

มวล(kg)	ความดันช่วงหัดกลับ (bar)										
	pp		กระบอกสูบ 1				กระบอกสูบ 2				
			PHE		PRE		PHE		PRE		
	ช่วง1	ช่วง2	ช่วง1	ช่วง2	ช่วง1	ช่วง2	ช่วง1	ช่วง2	ช่วง1	ช่วง2	
0											
12											
29.5											
47											
64.5											

สิ่งที่ต้องวิเคราะห์

1. การเปลี่ยนแปลงความเร็วของกระบอกสูบในการทดลองเมื่อน้ำหนักของมวลถ่วงที่เปลี่ยนแปลง
2. การเปลี่ยนแปลงความดันของระบบไฮดรอลิกในการทดลองเมื่อน้ำหนักของมวลถ่วงที่เปลี่ยนแปลง
3. พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของกระบอกสูบทั้งสองตัวเมื่อมวลที่ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลง
4. พิจารณาการแบ่งการไหลของน้ำมันในวงจรไฮดรอลิกที่ใช้ข้อต่อสามทางและ flow divider

บทที่ 4

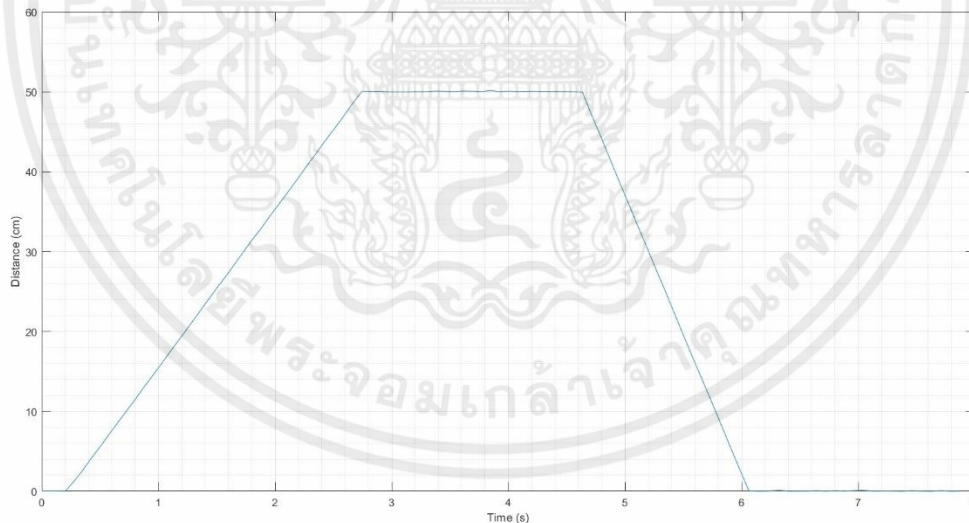
ผลการทดลอง

การทดลองกระบอกสูบเดี่ยวและสองกระบอกสูบสามารถแบ่งการทดลองได้เป็น 4 รูปแบบดังนี้

1. ผลการทดลอง 1 กระบอกสูบในแนวตั้ง
2. ผลการทดลอง 2 กระบอกสูบต่อแบบอนุกรม
3. ผลการทดลอง 2 กระบอกสูบต่อแบบขนาน
4. ผลการทดลอง 2 กระบอกสูบต่อแบบขนาน โดยการใช้ Flow divider แทนข้อต่อสามทาง

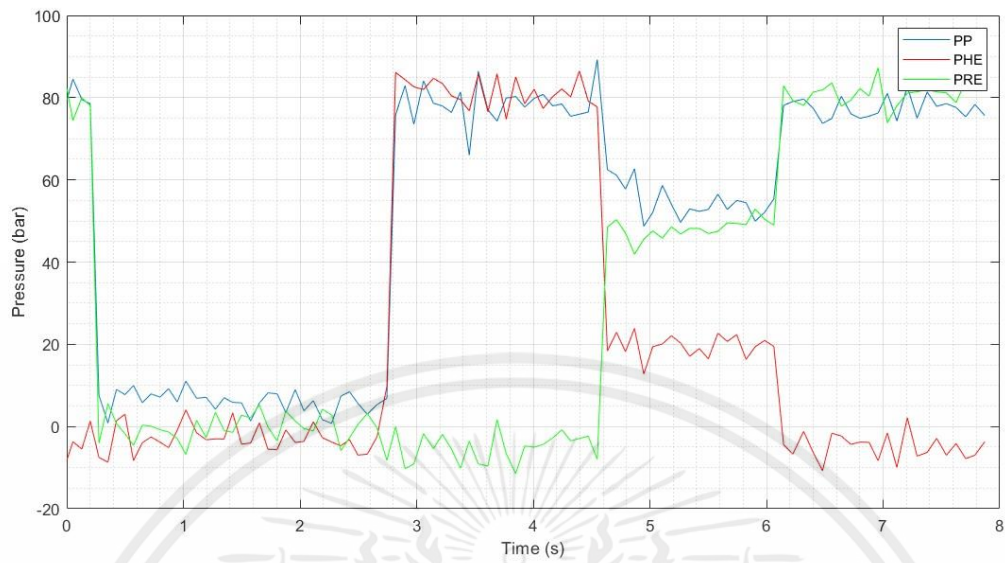
4.1 ผลการทดลอง 1 กระบอกสูบในแนวตั้ง

4.1.1 ผลการทดลองเมื่อมีน้ำหนักถ่วง 0 กิโลกรัม

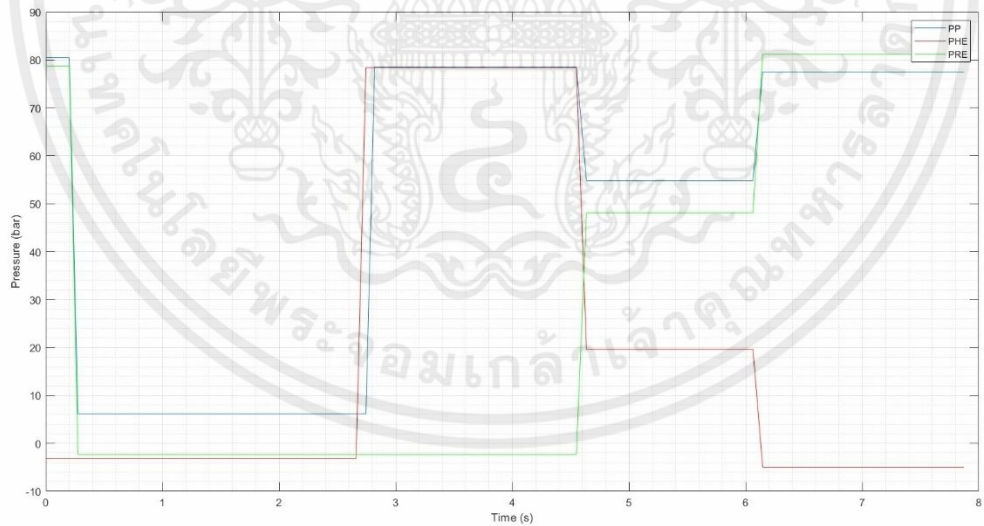


รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนที่และเวลา

ในการทดลอง 1 กระบอกสูบในแนวตั้ง โดยไม่มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ



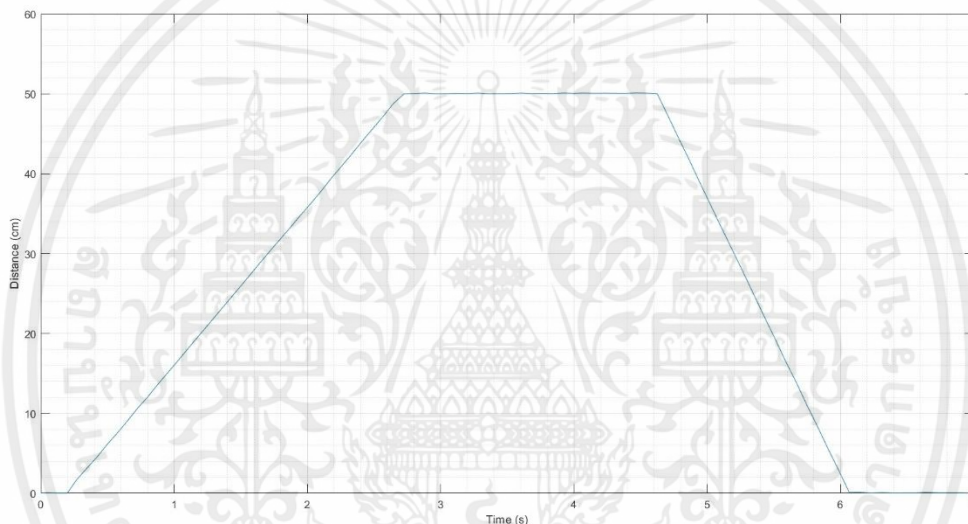
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลา
ในการทดลอง 1 กระบอกสูบในแนวตั้ง โดยไม่มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเฉลี่ยในแต่ละช่วงและเวลา
ในการทดลอง 1 กระบอกสูบในแนวตั้ง โดยไม่มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ

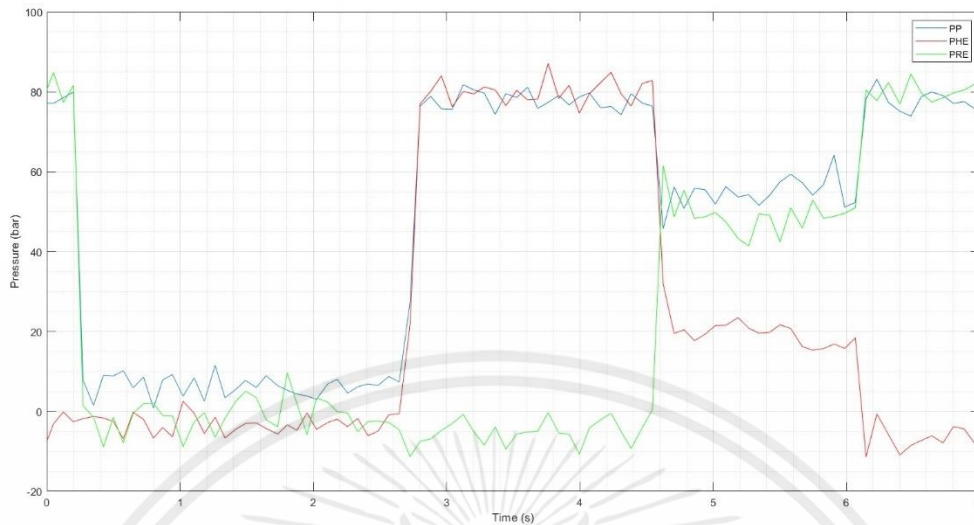
จากรูปที่ 4.1 กราฟแสดงให้เห็นว่ากระบอกสูบยืดออกที่เวลา 0.201522 วินาที หดกลับที่เวลา 4.63578 วินาทีและจากรูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงของความดันที่เวลานั้นๆ ความเร็วของกระบอกสูบในการยืดออกน้อยกว่าหดกลับ เป็นผลมาจากพื้นที่หน้าตัดด้าน head end ที่มากกว่าพื้นที่หน้าตัดด้าน rod end ซึ่ง
 เป็นไปตามสมการ $v = \frac{Q}{A}$ เมื่อ v คือ ความเร็วของกระบอกสูบ Q คือ อัตราการไหลของน้ำมัน A คือพื้นที่หน้าตัด
 ของกระบอกสูบ

4.1.2 ผลการทดลองเมื่อมีน้ำหนักถ่วง 12 กิโลกรัม



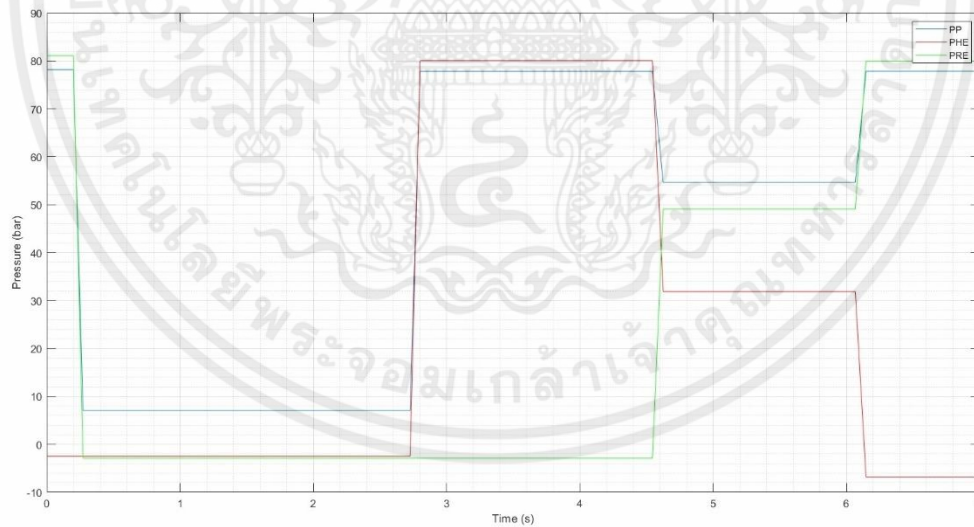
รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนที่และเวลา

ในการทดลอง 1 กระบอกสูบในแนวตั้ง โดยมีมวล 12 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลา

ในการทดลอง 1 ระเบิดอกสูบในแนวตั้ง โดยมีมวล 12 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ

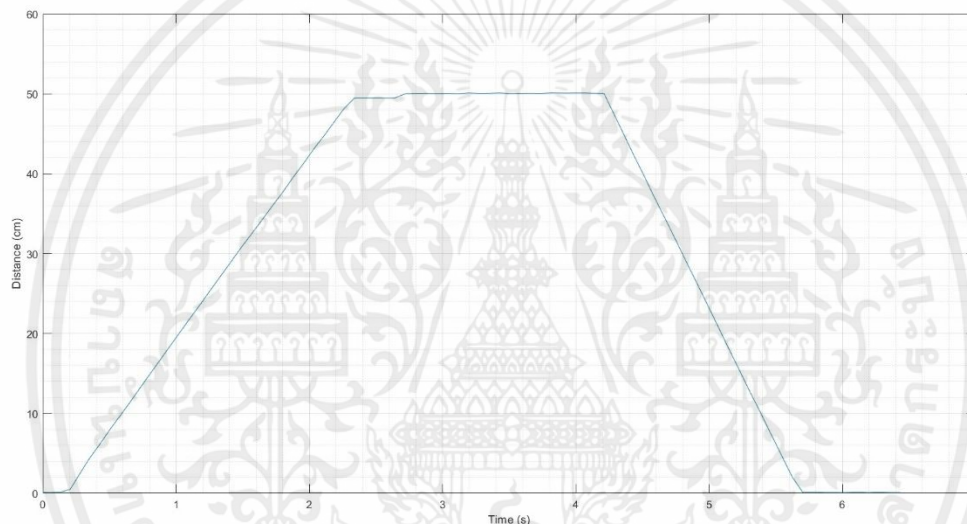


รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเฉลี่ยในแต่ละช่วงและเวลา

ในการทดลอง 1 ระเบิดอกสูบในแนวตั้ง โดยมีมวล 12 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ

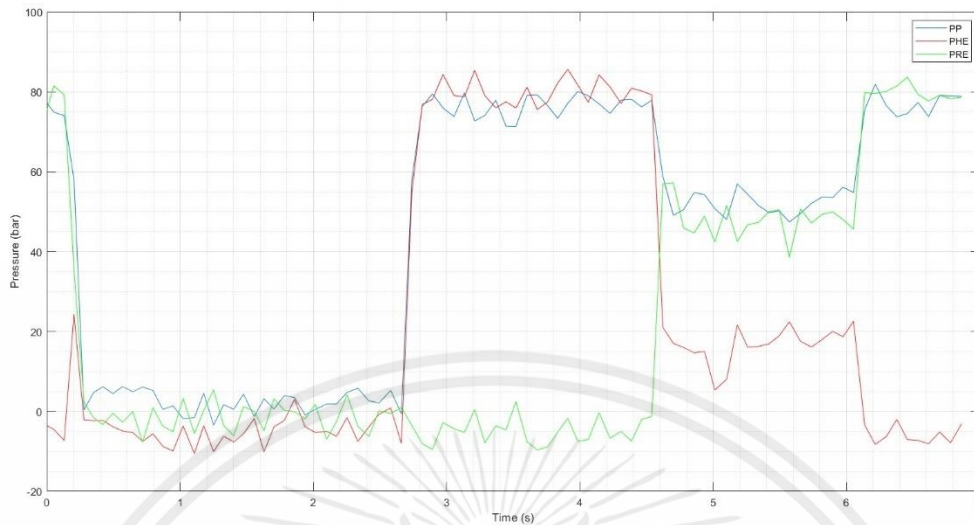
จากรูปที่ 4.4 กราฟแสดงให้เห็นว่ากระบอกสูบยืดออกที่เวลา 0.199039 วินาที หดกลับที่เวลา 4.62426 วินาที และจากรูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงของความดันที่เวลานั้นๆ ความเร็วของกระบอกสูบในการยืดออกน้อยกว่าหดกลับ เป็นผลมาจากพื้นที่หน้าตัดด้าน head end ที่มากกว่าพื้นที่หน้าตัดด้าน rod end ซึ่ง
 เป็นไปตามสมการ $v = \frac{Q}{A}$ เมื่อ v คือ ความเร็วของกระบอกสูบ Q คือ อัตราการไหลของน้ำมัน
 A คือพื้นที่หน้าตัดของกระบอกสูบ

4.1.3 ผลการทดลองเมื่อมีน้ำหนักถ่วง 29.5 กิโลกรัม



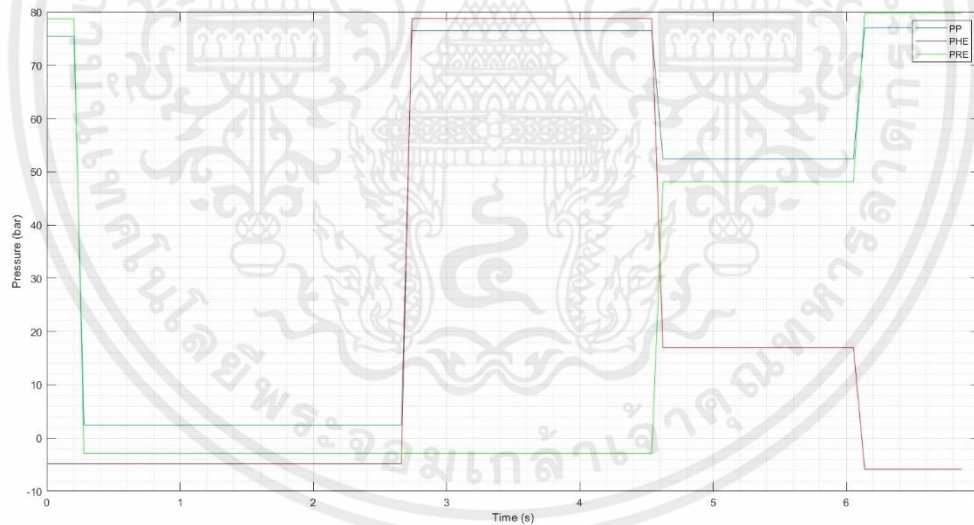
รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนที่และเวลา

ในการทดลอง 1 กระบอกสูบในแนวตั้ง โดยมีมวล 29.5 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลา

ในการทดลอง 1 กระทบอกสูบในแนวตั้ง โดยมีมวล 29.5 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระทบอกสูบ

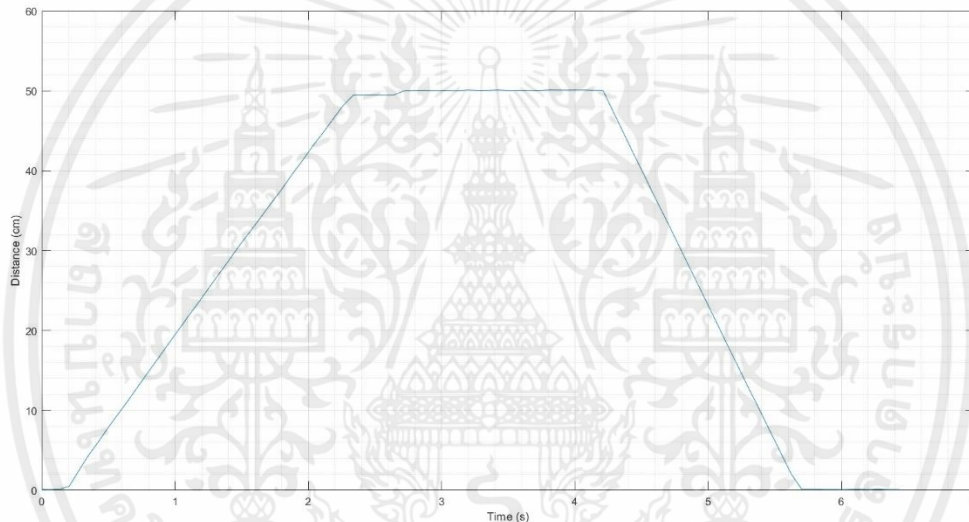


รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเฉลี่ยในแต่ละช่วงและเวลา

ในการทดลอง 1 กระทบอกสูบในแนวตั้ง โดยมีมวล 29.5 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระทบอกสูบ

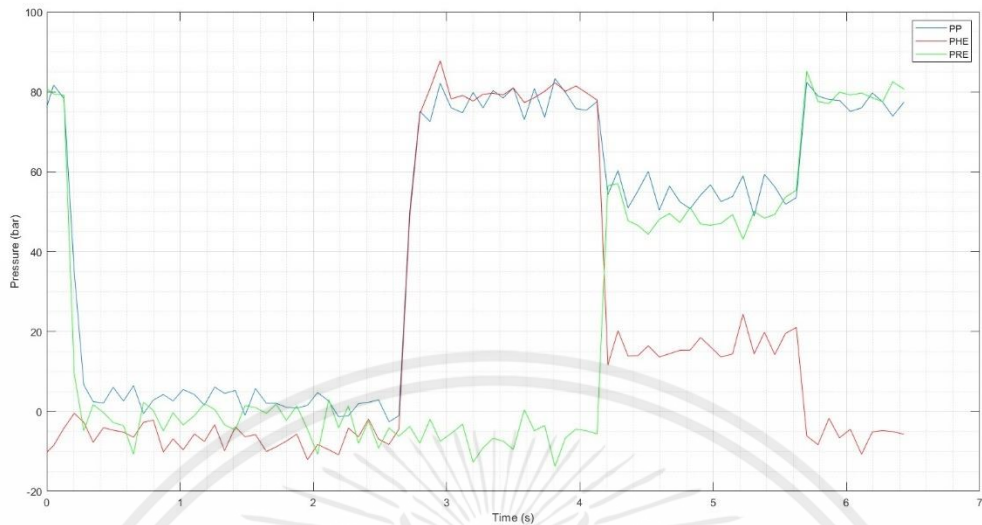
จากรูปที่ 4.7 กราฟแสดงให้เห็นว่ากระบอกสูบยืดออกที่เวลา 0.26103วินาที หดกลับที่เวลา 4.20994 วินาที และจากรูปที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงของความดันที่เวลานั้นๆ ความเร็วของกระบอกสูบในการยืดออกน้อยกว่าหดกลับ เป็นผลมาจากพื้นที่หน้าตัดด้าน head end ที่มากกว่าพื้นที่หน้าตัดด้าน rod end ซึ่ง เป็นไปตามสมการ $v = \frac{Q}{A}$ เมื่อ v คือ ความเร็วของกระบอกสูบ Q คือ อัตราการไหลของน้ำมัน A คือพื้นที่หน้าตัดของกระบอกสูบ

4.1.4 ผลการทดลองเมื่อมีน้ำหนักถ่วง 47 กิโลกรัม



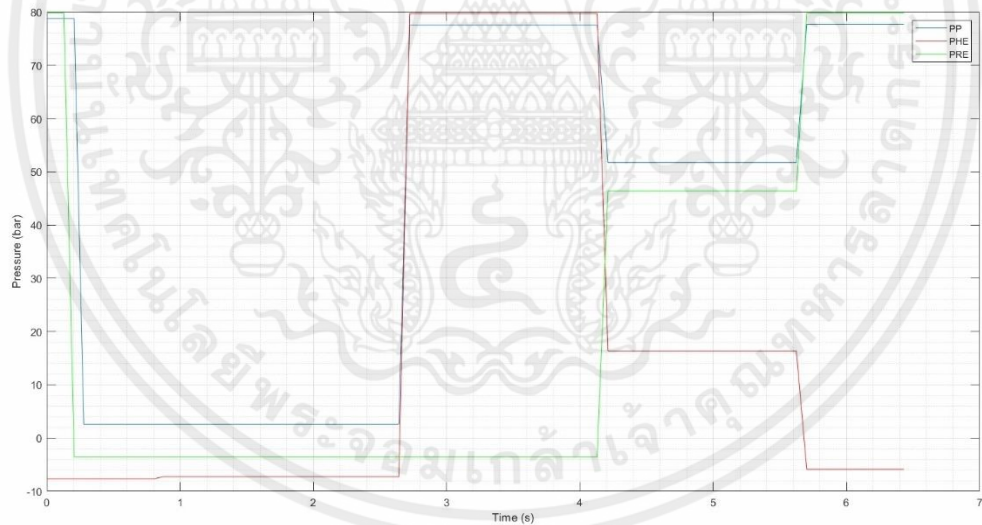
รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนที่และเวลา

ในการทดลอง 1 กระบอกสูบในแนวตั้ง โดยมีมวล 47 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลา

ในการทดลอง 1 ระเบิดอกสูบในแนวตั้ง โดยมีมวล 47 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ

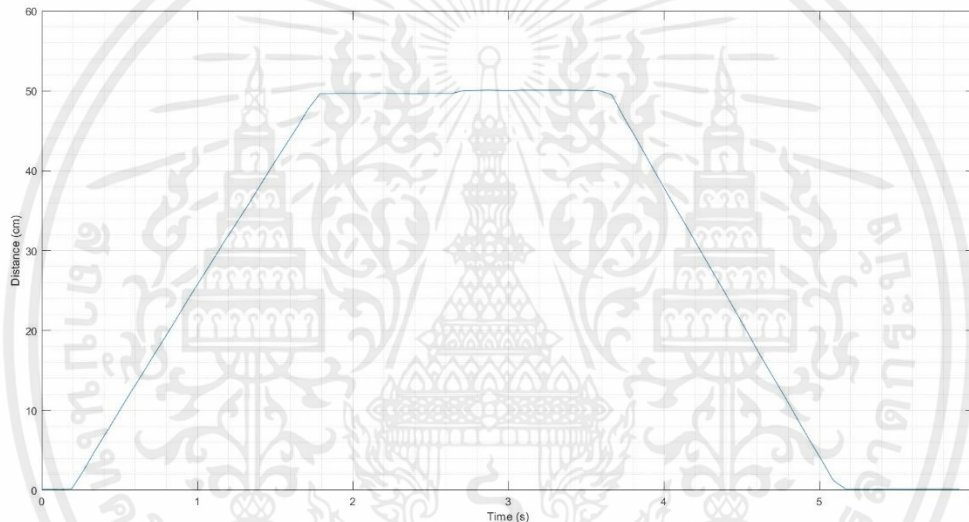


รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเฉลี่ยในแต่ละช่วงและเวลา

ในการทดลอง 1 ระเบิดอกสูบในแนวตั้ง โดยมีมวล 47 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ

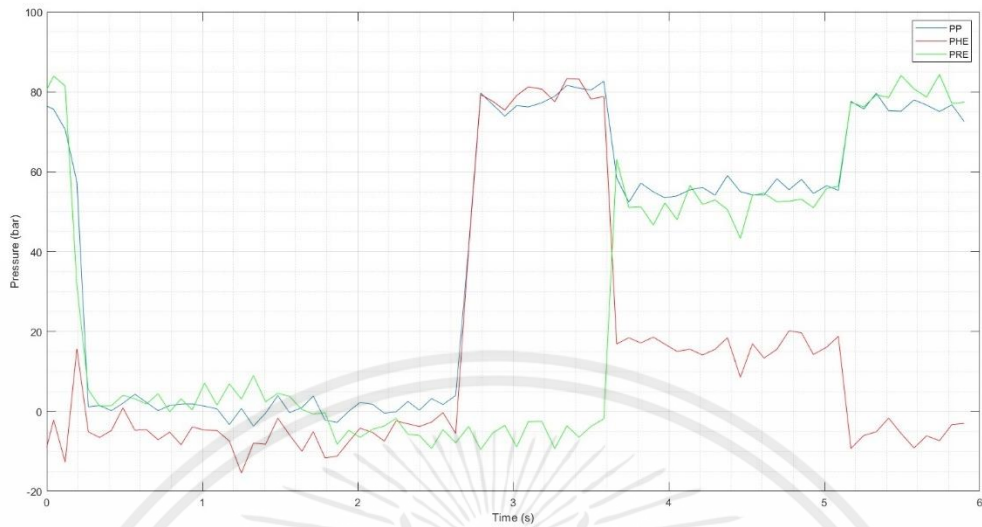
จากรูปที่ 4.10 กราฟแสดงให้เห็นว่ากระบอกสูบยืดออกที่เวลา 0.206103 วินาที หดกลับที่เวลา 4.20994 วินาที และจากรูปที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงของความดันที่เวลานั้นๆ ความเร็วของกระบอกสูบในการยืดออกน้อยกว่าหดกลับ เป็นผลมาจากพื้นที่หน้าตัดด้าน head end ที่มากกว่าพื้นที่หน้าตัดด้าน rod end ซึ่งเป็นไปตามสมการ $v = \frac{Q}{A}$ เมื่อ v คือ ความเร็วของกระบอกสูบ Q คือ อัตราการไหลของน้ำมัน A คือพื้นที่หน้าตัดของกระบอกสูบ

4.1.5 ผลการทดลองเมื่อมีน้ำหนักถ่วง 64.5 กิโลกรัม



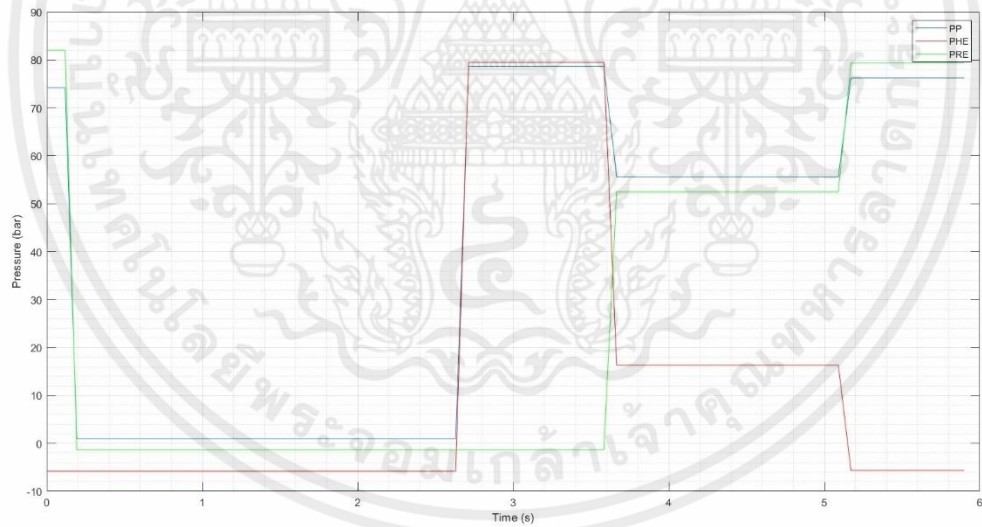
รูปที่ 4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนที่และเวลา

ในการทดลอง 1 กระบอกสูบในแนวตั้ง โดยมีมวล 64.5 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลา

ในการทดลอง 1 กระบอกสูบในแนวตั้ง โดยมีมวล 64.5 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเฉลี่ยในแต่ละช่วงและเวลา

ในการทดลอง 1 กระบอกสูบในแนวตั้ง โดยมีมวล 64.5 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ

จากรูปที่ 4.13 กราฟแสดงให้เห็นว่ากระบอกสูบยืดออกที่เวลา 0.19361 วินาที หดกลับที่เวลา 3.58168 วินาที และจากรูปที่ 4.15 แสดงให้เห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงของความดันที่เวลานั้นๆ ความเร็วของกระบอกสูบในการยืดออกน้อยกว่าหดกลับ เป็นผลมาจากพื้นที่หน้าตัดด้าน head end ที่มากกว่าพื้นที่หน้าตัดด้าน rod end ซึ่ง
 เป็นไปตามสมการ $v = \frac{Q}{A}$ เมื่อ v คือ ความเร็วของกระบอกสูบ Q คือ อัตราการไหลของน้ำมัน A คือพื้นที่หน้าตัด
 ของกระบอกสูบ

ผลการทดลอง 1 กระบอกสูบในแนวตั้ง สรุปลงได้ดังตาราง

ตารางที่ 4.1 ตารางบันทึกผลความเร็วและอัตราการไหลของการต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 1 กระบอก

มวลที่ถ่วง(kg)	ความเร็วกระบอกสูบ(cm/s)		อัตราการไหล(CC/s)	
	ยืดออก	หดกลับ	ยืดออก	หดกลับ
0	19.793	34.981	248.60	224.07
12.0	19.787	34.643	248.53	221.91
29.5	19.884	34.126	249.74	218.60
47.0	19.677	33.478	247.14	214.45
64.5	30.973	33.879	389.02	217.02

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าเมื่อมวลที่ถ่วงมากขึ้นจะส่งผลให้กระบอกสูบยืดออกเร็วขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจาก
 overrunning load แต่ความเร็วในการหดกลับมีค่าใกล้เคียงกันซึ่งเป็นผลมาจากอัตราการไหลของน้ำมันที่คงที่และ
 เป็นไปตามสมการ $v = \frac{Q}{A}$ เมื่อ v คือ ความเร็วของกระบอกสูบ Q คือ อัตราการไหลของน้ำมัน A คือ
 พื้นที่หน้าตัดของกระบอกสูบ

ตารางที่ 4.2 ตารางบันทึกผลความดันของการต่อกระบอกลูกสูบไฮดรอลิก 1 กระบอก

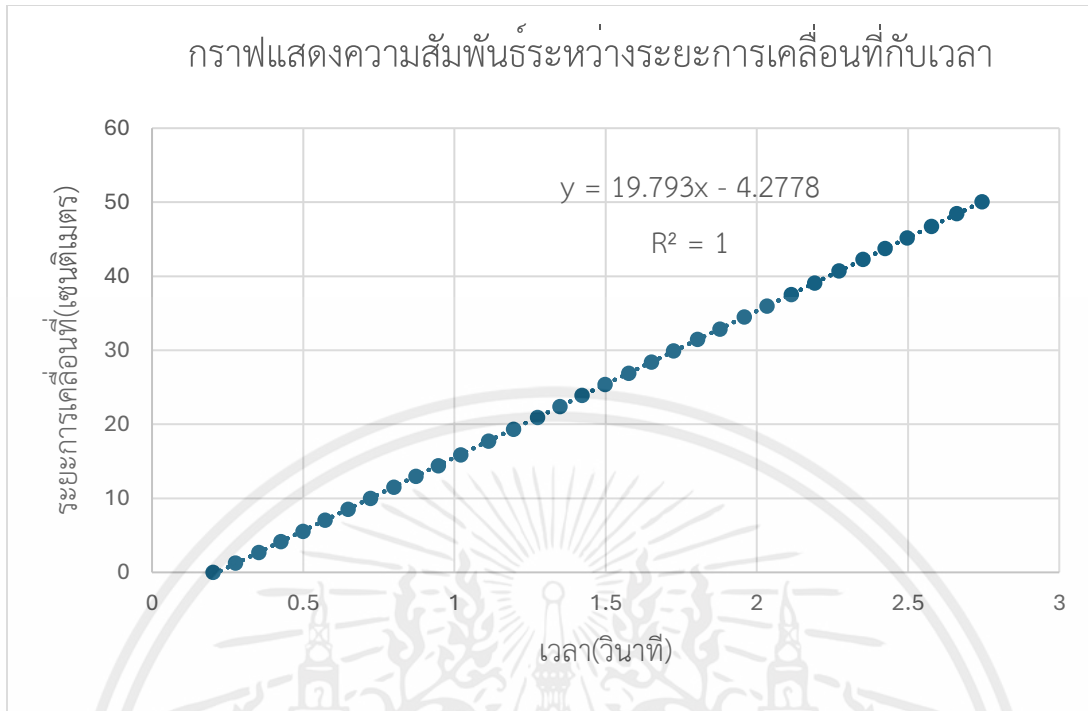
มวลที่ถ่วง(kg)	ความดัน(bar)					
	ยึดออก			หกดกลับ		
	PP	PHE	PRE	PP	PHE	PRE
0	6.174	6.174	-0.370	54.816	19.602	48.073
12	6.387	-3.200	-1.279	54.662	19.811	49.117
29.5	2.428	-4.875	-2.850	52.431	16.966	48.115
47	2.596	-6.562	-3.806	54.577	16.363	49.360
64.5	0.964	-5.801	-1.386	55.616	16.313	52.501

จากตาราง 4.2 เมื่อมวลที่ถ่วงเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่หกดกลับความดันที่ด้าน rod end จะมีค่าเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากต้องเอาชนะโหลดที่เพิ่มมากขึ้น

ตัวอย่างการคำนวณ

หาความเร็วของกระบอกลูกสูบจากการหาความชันของการกราฟระยะการเคลื่อนที่กับเวลาโดยใช้ excel

ชุดข้อมูลการทดลองในช่วงชักออกของกระบอกลูกสูบโดยไม่มีมวลถ่วง



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนที่กับเวลา

จะได้ความชันของกราฟเท่ากับ 19.793 ดังนั้น ความเร็วของกระบอกสูบตอนชักออกเท่ากับ 19.793 เซนติเมตรต่อวินาที

การหาอัตราการไหล

จาก $Q = Av$

เมื่อ Q คืออัตราการไหล

A คือ พื้นที่หน้าตัดของกระบอกสูบ

v คือ ความเร็วของกระบอกสูบ

ตัวอย่างการคำนวณอัตราการไหล ตอนกระบอกสูบชักออกโดยไม่มีมวลถ่วง

กระบอกสูบเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร พื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 12.56 ตารางเซนติเมตร

ความเร็วกระบอกสูบ 19.793 เซนติเมตรต่อวินาที

$$\text{จาก } Q = Av$$

$$Q = 12.56 \times 19.793$$

$$Q = 248.60 \text{ cc/s}$$

ดังนั้นอัตราการไหล ตอนกระบอกสูบซັก โดยไม่มีมวลถ่วง เท่ากับ 248.60 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที

ตัวอย่างการคำนวณอัตราการไหล ตอนกระบอกสูบซັกออกโดยไม่มีมวลถ่วง

กระบอกสูบเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร

ก้านสูบเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.8 เซนติเมตร

พื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 6.41 ตารางเซนติเมตร

ความเร็วกระบอกสูบ 34.981 เซนติเมตรต่อวินาที

$$\text{จาก } Q = Av$$

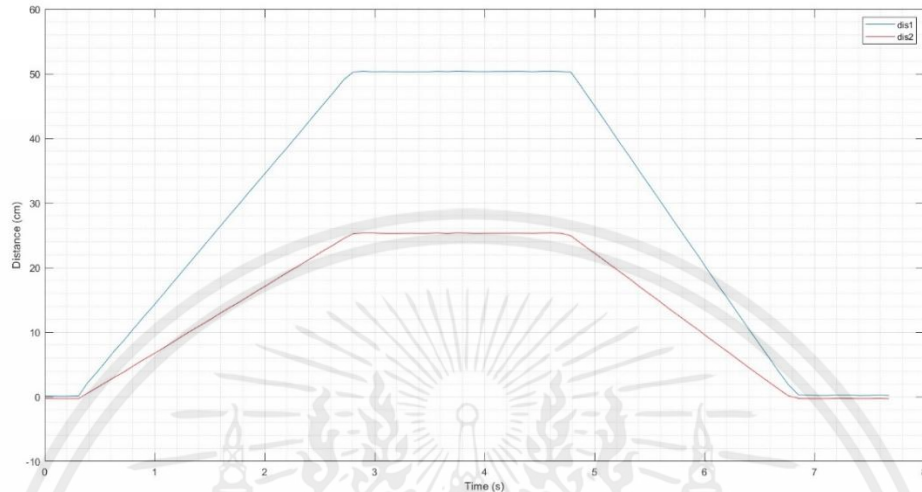
$$Q = 6.41 \times 34.981$$

$$Q = 224.07 \text{ cc/s}$$

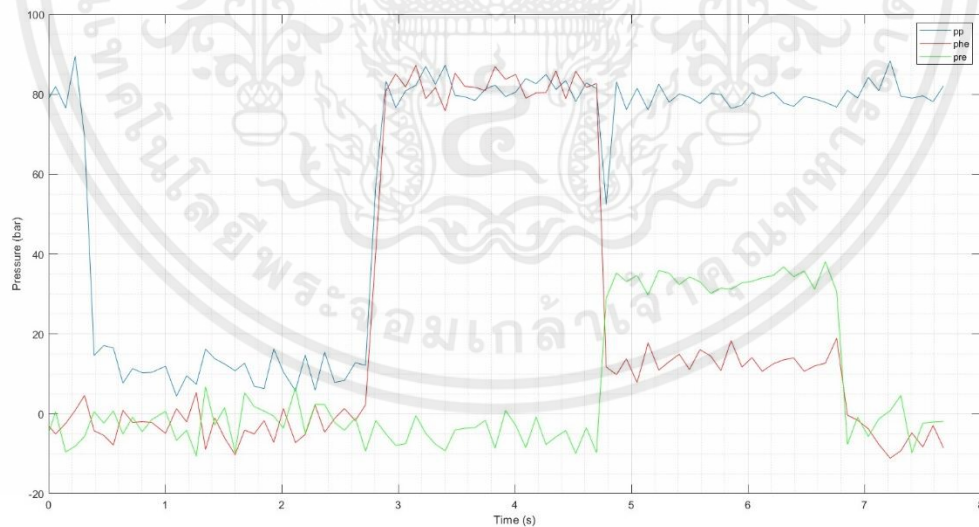
ดังนั้นอัตราการไหล ตอนกระบอกสูบซັกออก โดยไม่มีมวลถ่วง เท่ากับ 224.07 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที

4.2 ผลการทดลอง 2 กระบอกสูบต่อแบบอนุกรม

4.2.1 ผลการทดลองเมื่อมีน้ำหนักถ่วง 0 กิโลกรัม

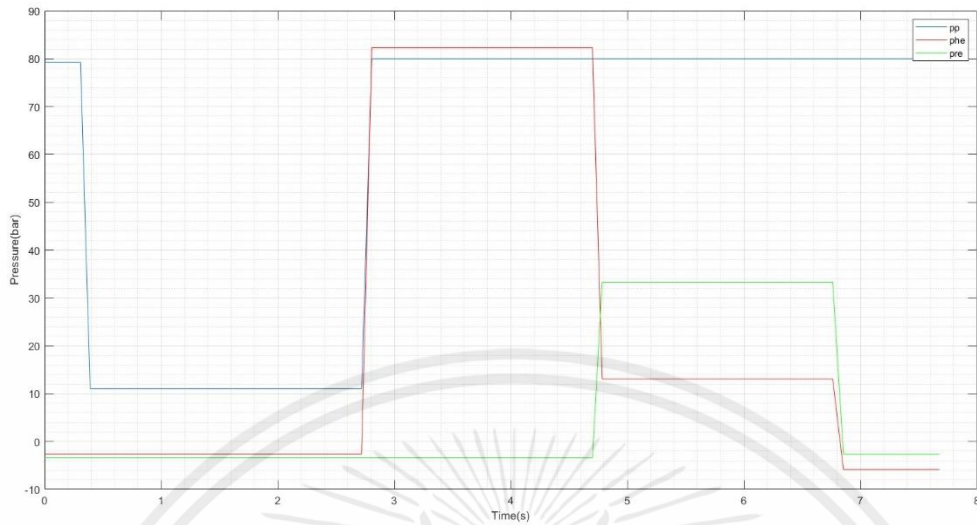


รูปที่ 4.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนที่ของกระบอกที่ 1 และ 2 กับเวลา ในการทดลอง 2 กระบอกสูบที่ต่อกันแบบอนุกรม โดยไม่มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1

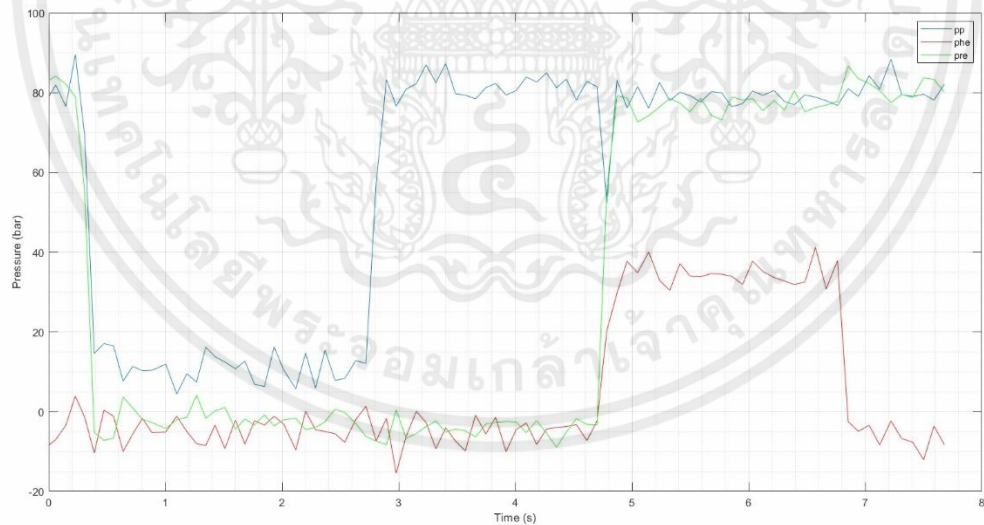


รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาของกระบอกสูบที่ 1

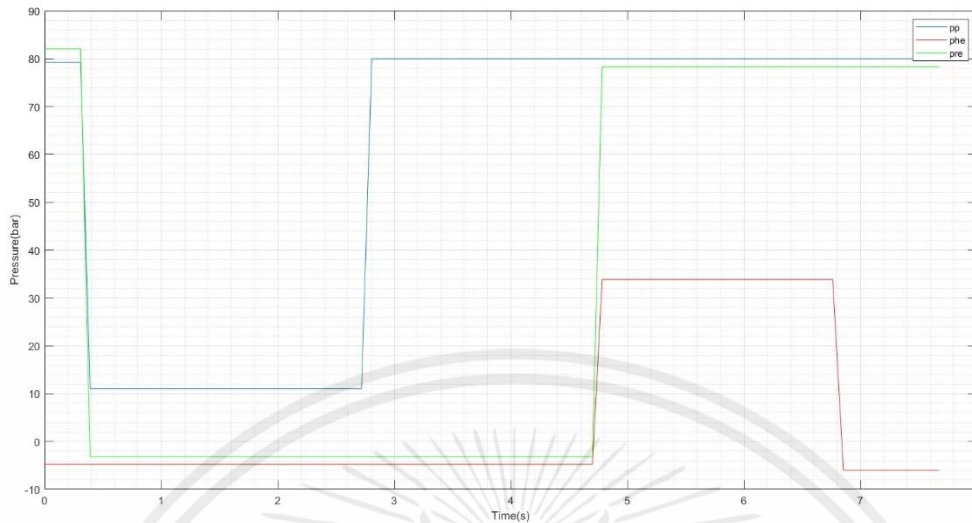
ในการทดลอง 2 กระบอกสูบที่ต่อกันแบบอนุกรม โดยไม่มีมวล ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเฉลี่ยและเวลาของกระบอกสูบที่ 1 ในการทดลอง 2 กระบอกสูบที่ต่อกันแบบอนุกรม โดยไม่มีมวล ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1



รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาของกระบอกสูบที่ 2 ในการทดลอง 2 กระบอกสูบที่ต่อกันแบบอนุกรม โดยไม่มีมวล ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1

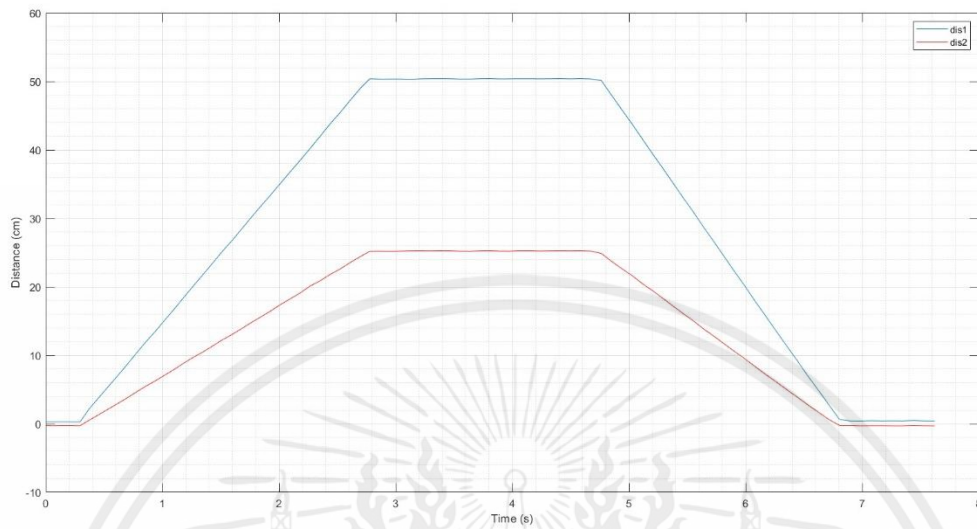


รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเฉลี่ยและเวลาของกระบอกสูบที่ 2

ในการทดลอง 2 กระบอกสูบที่ต่อกันแบบอนุกรม โดยไม่มีมวล ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1

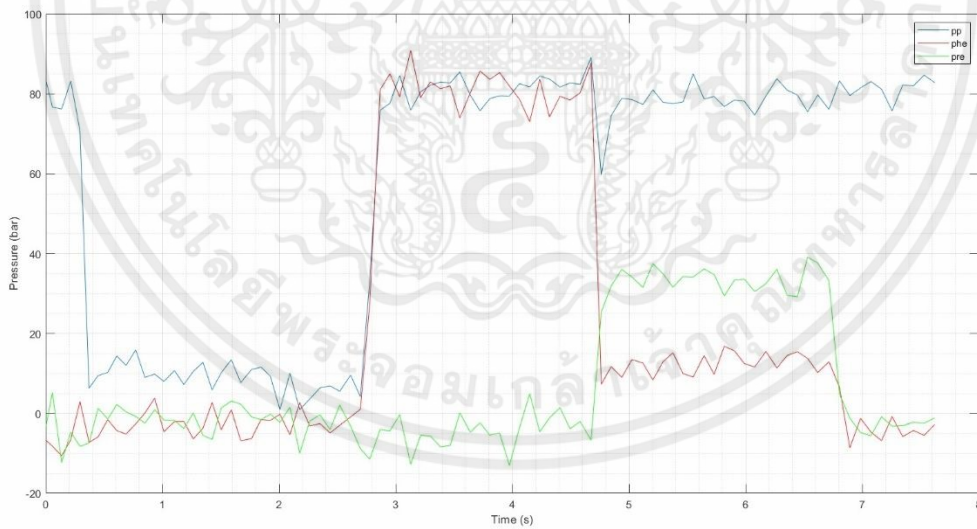
จากรูปที่ 4.17 กราฟแสดงให้เห็นว่ากระบอกสูบที่ 1 และกระบอกสูบที่ 2 ยึดออกพร้อมกันที่เวลา 0.308026 วินาที หดกลับพร้อมกันที่เวลา 4.70049 วินาที และจากรูปที่ 4.20 และ 4.22 แสดงให้เห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงของความดันที่เวลานั้นๆ กระบอกสูบทั้งสองจะเริ่มและหยุดทำงานพร้อมกัน น้ำมันที่ไหลออกจากด้าน head end ของกระบอกสูบที่ 1 จะไหลเข้าไปที่ด้าน rod end ของกระบอกที่ 2 ปริมาตรด้าน rod end น้อยกว่า ปริมาตรด้าน head end (เนื่องจากมีก้านกระบอกสูบ) ทำให้กระบอกที่ 2 ยึดออกไม่สุด

4.2.2 ผลการทดลองเมื่อมีน้ำหนักถ่วง 12 กิโลกรัม



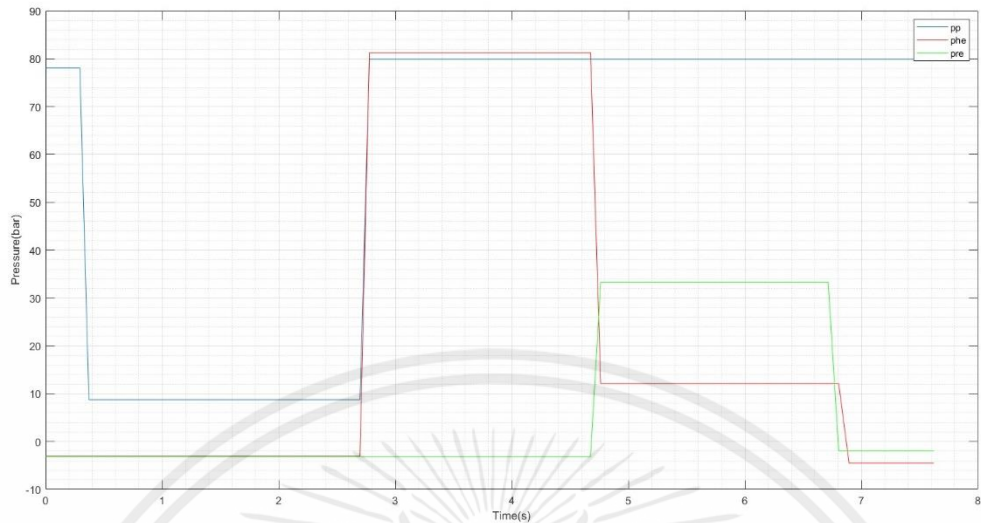
รูปที่ 4.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนที่ของกระบอกที่ 1 และ 2 กับเวลา

ในการทดลอง 2 กระบอกสูบที่ต่อกันแบบอนุกรม โดยมีมวล 12 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1

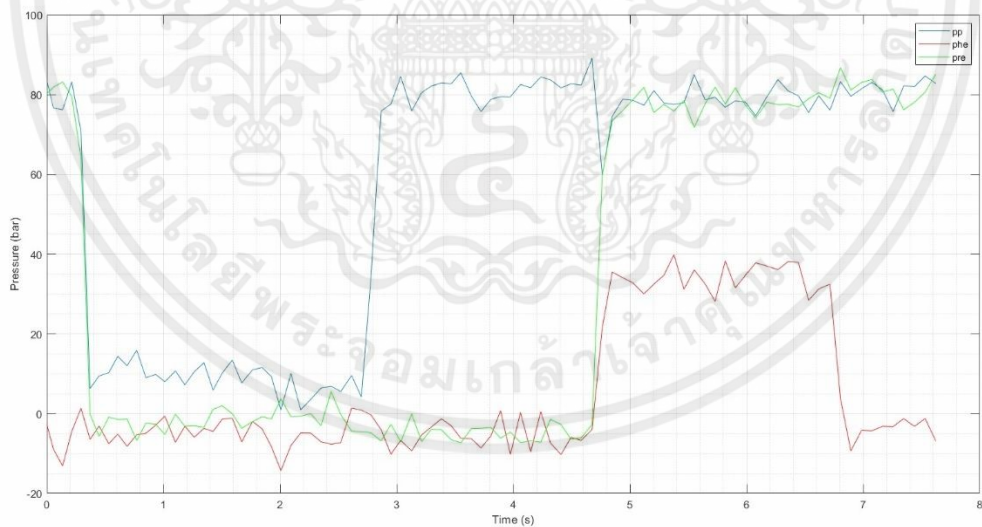


รูปที่ 4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาของกระบอกสูบที่ 1

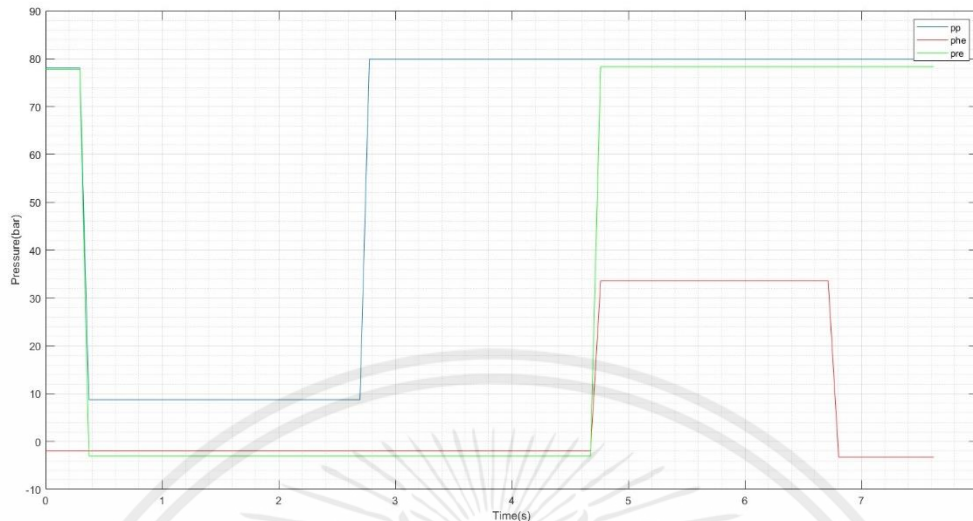
ในการทดลอง 2 กระบอกสูบที่ต่อกันแบบอนุกรม โดยมีมวล 12 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1



รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเฉลี่ยและเวลาของกระบอกสูบที่ 1 ในการทดลอง 2 กระบอกสูบที่ต่อกันแบบอนุกรม โดยมีมวล 12 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1



รูปที่ 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาของกระบอกสูบที่ 2 ในการทดลอง 2 กระบอกสูบที่ต่อกันแบบอนุกรม โดยมีมวล 12 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1

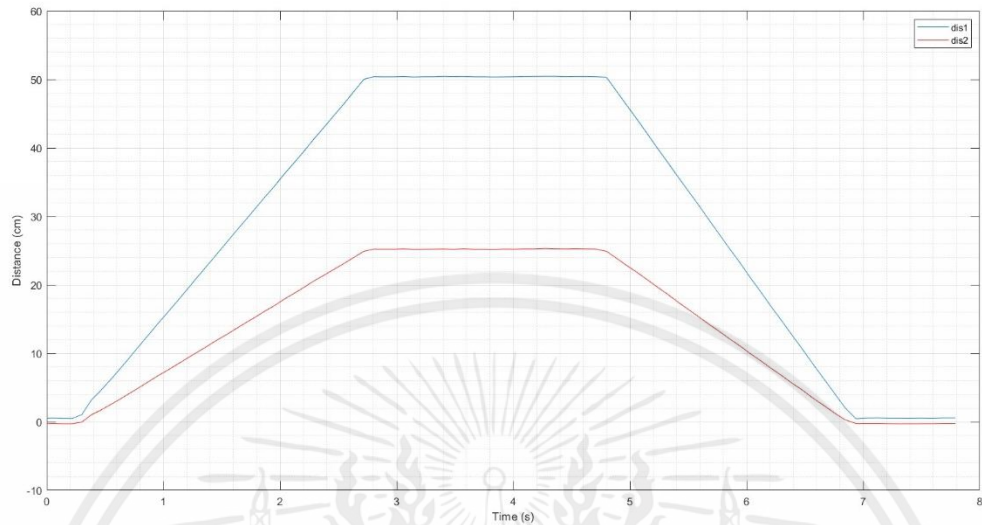


รูปที่ 4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเฉลี่ยและเวลาของกระบอกสูบที่ 2

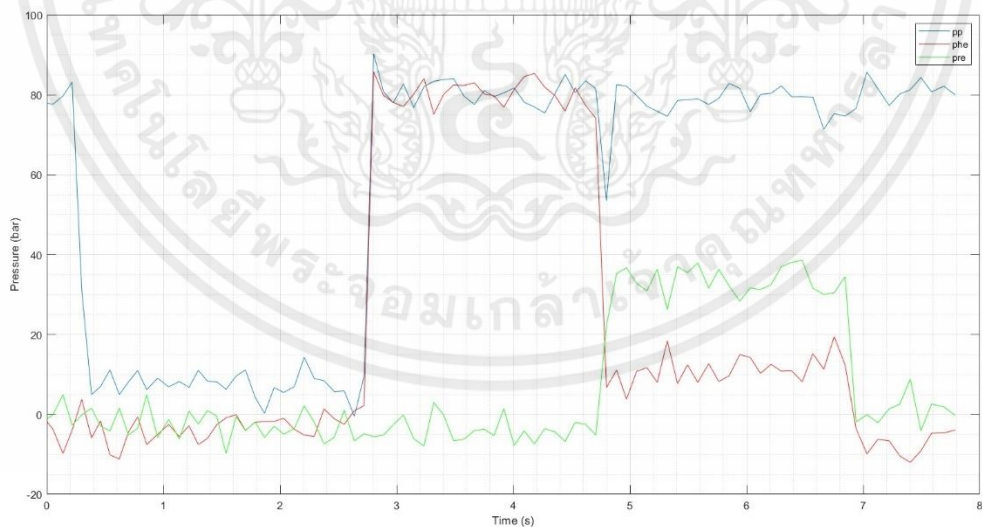
ในการทดลอง 2 กระบอกสูบที่ต่อกันแบบอนุกรม โดยมีมวล 12 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1

จากรูปที่ 4.22 กราฟแสดงให้เห็นว่ากระบอกสูบที่ 1 และกระบอกสูบที่ 2 ยึดออกพร้อมกันที่เวลา 0.293375 วินาที หดกลับพร้อมกันที่เวลา 4.76303 วินาที และจากรูปที่ 4.24 และ 4.26 แสดงให้เห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงของความดันที่เวลานั้นๆ น้ำมันที่ไหลออกจากด้าน head end ของกระบอกสูบที่ 1 จะไหลเข้าไปที่ด้าน rod end ของกระบอกที่ 2 ปริมาตรด้าน rod end น้อยกว่า ปริมาตรด้าน head end (เนื่องจากมีก้านกระบอกสูบ) ทำให้กระบอกที่ 2 ยึดออกไม่สุด

4.2.3 ผลการทดลองเมื่อมีน้ำหนักถ่วง 29.5 กิโลกรัม

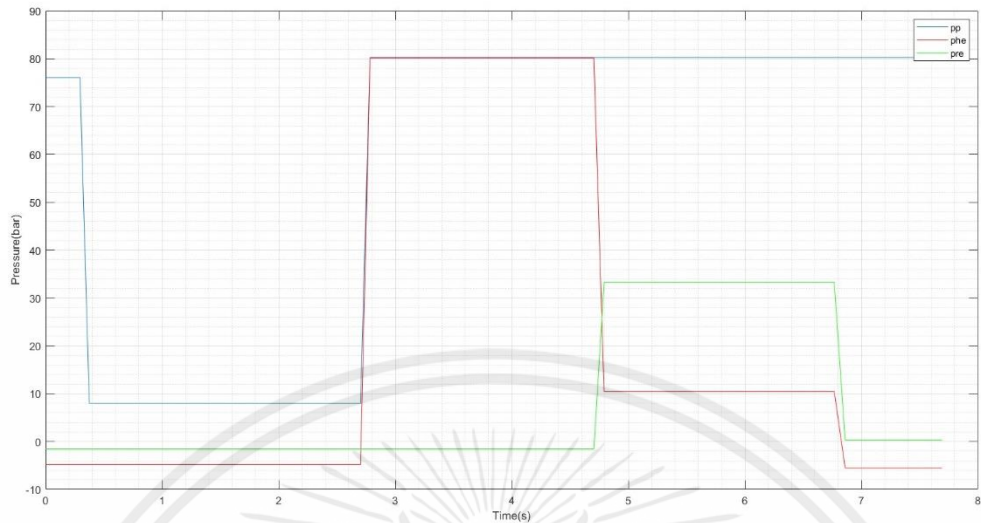


รูปที่ 4.27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนที่ของกระบอกที่ 1 และ 2 กับเวลา ในการทดลอง 2 กระบอกสูบที่ต่อกันแบบอนุกรม โดยมีมวล 29.5 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ

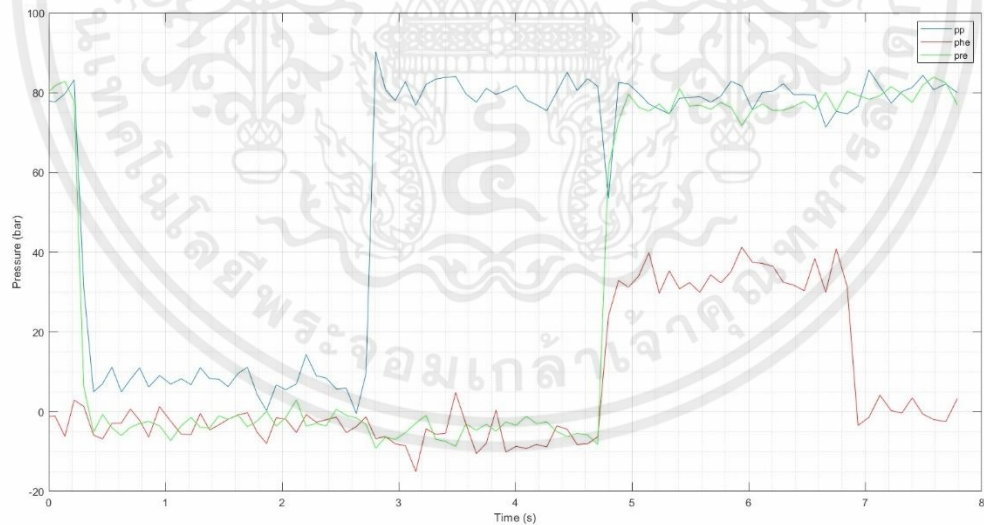


รูปที่ 4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาของกระบอกสูบที่ 1

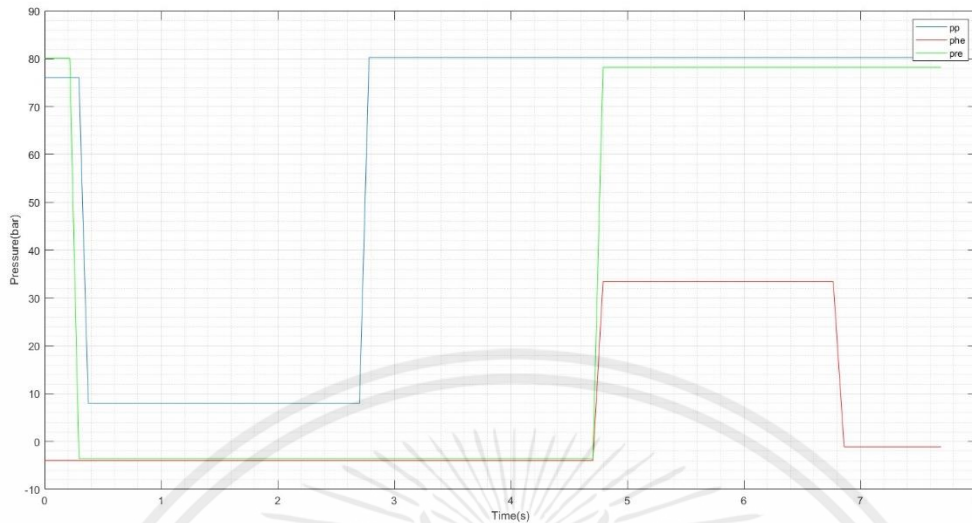
ในการทดลอง 2 กระบอกสูบที่ต่อกันแบบอนุกรม โดยมีมวล 29.5 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1



รูปที่ 4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเฉลี่ยและเวลาของกระบอกสูบที่ 1 ในการทดลอง 2 กระบอกสูบที่ต่อกันแบบอนุกรม โดยมีมวล 29.5 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1



รูปที่ 4.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาของกระบอกสูบที่ 2 ในการทดลอง 2 กระบอกสูบที่ต่อกันแบบอนุกรม โดยมีมวล 29.5 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1

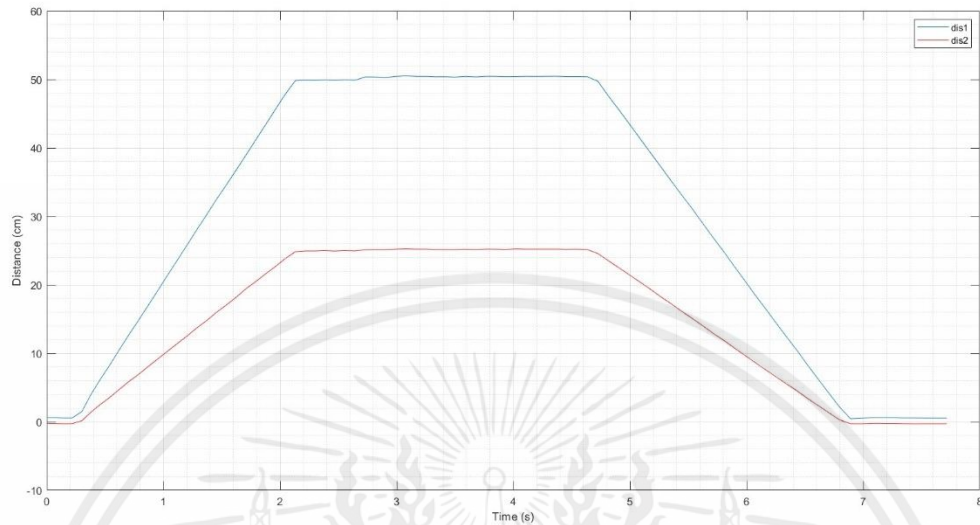


รูปที่ 4.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเฉลี่ยและเวลาของกระบอกสูบที่ 2

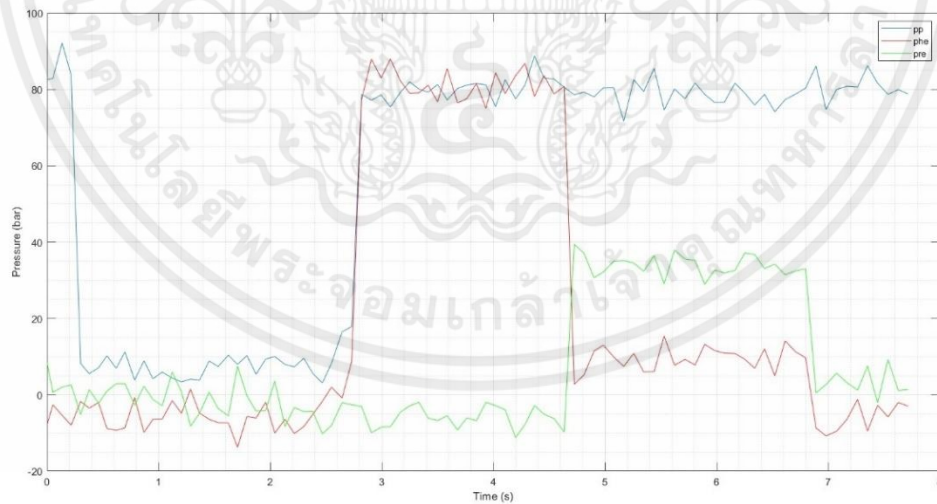
ในการทดลอง 2 กระบอกสูบที่ต่อกันแบบอนุกรม โดยมีมวล 29.5 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1

จากรูปที่ 4.27 กราฟแสดงให้เห็นว่ากระบอกสูบที่ 1 และกระบอกสูบที่ 2 ยึดออกพร้อมกันที่เวลา 0.217503 วินาที หดกลับพร้อมกันที่เวลา 4.79837 วินาที และจากรูปที่ 4.29 และ 4.31 แสดงให้เห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงของความดันที่เวลานั้นๆ น้ำมันที่ไหลออกจากด้าน head end ของกระบอกสูบที่ 1 จะไหลเข้าไปที่ด้าน rod end ของกระบอกที่ 2 ปริมาตรด้าน rod end น้อยกว่า ปริมาตรด้าน head end (เนื่องจากมีก้านกระบอกสูบ) ทำให้กระบอกที่ 2 ยึดออกไม่สุด

4.2.4 ผลการทดลองเมื่อมีน้ำหนักถ่วง 47 กิโลกรัม

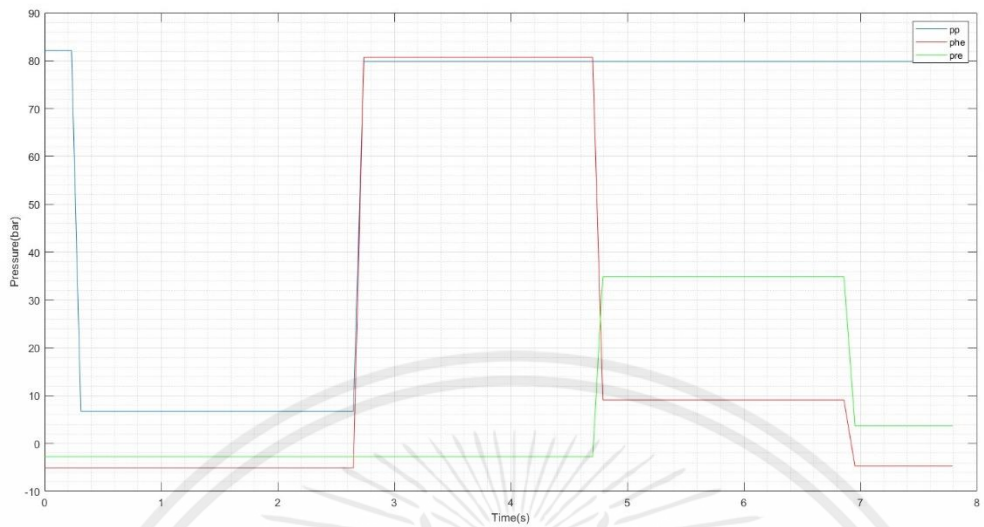


รูปที่ 4.32 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนที่ของกระบอกที่ 1 และ 2 กับเวลา ในการทดลอง 2 กระบอกสูบที่ต่อกันแบบอนุกรม โดยมีมวล 47 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ

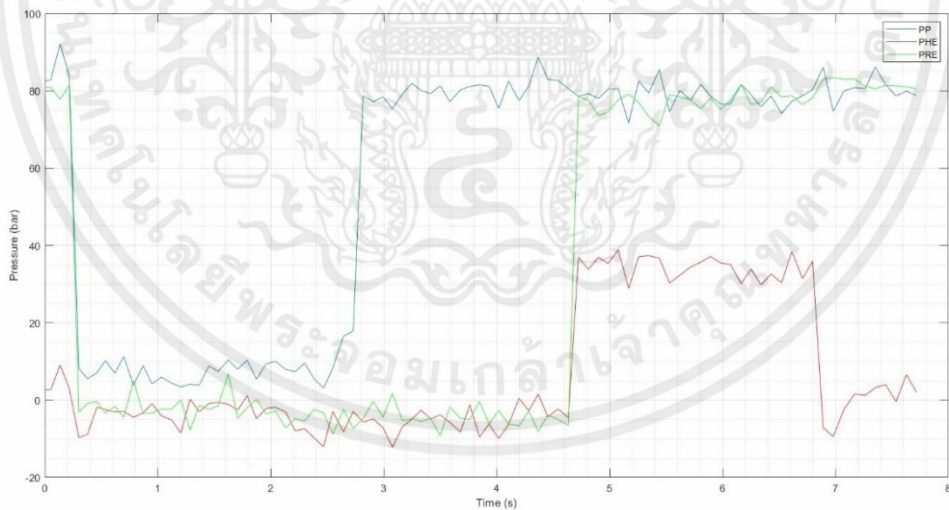


รูปที่ 4.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาของกระบอกสูบที่ 1

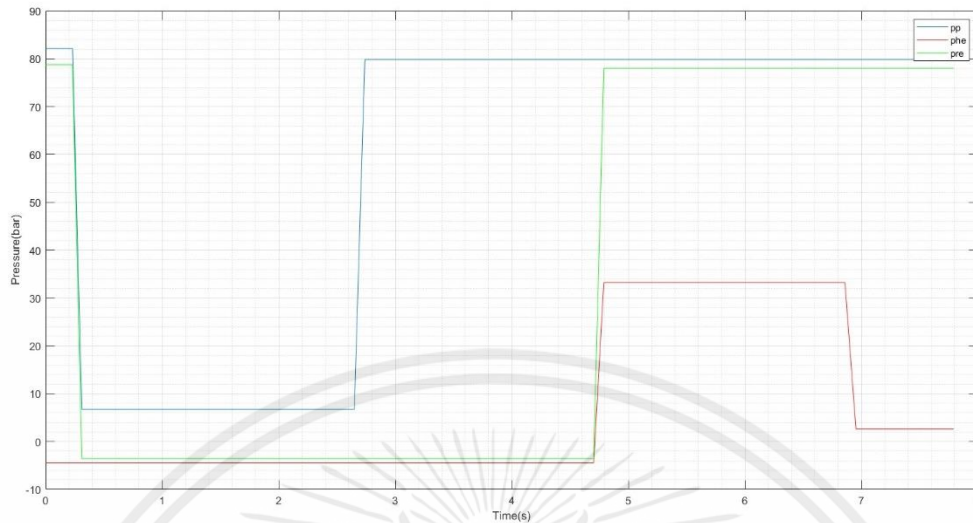
ในการทดลอง 2 กระบอกสูบที่ต่อกันแบบอนุกรม โดยมีมวล 47 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1



รูปที่ 4.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเฉลี่ยและเวลาของกระบอกสูบที่ 1 ในการทดลอง 2 กระบอกสูบที่ต่อกันแบบอนุกรม โดยมีมวล 47 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1



รูปที่ 4.35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาของกระบอกสูบที่ 2 ในการทดลอง 2 กระบอกสูบที่ต่อกันแบบอนุกรม โดยมีมวล 47 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1

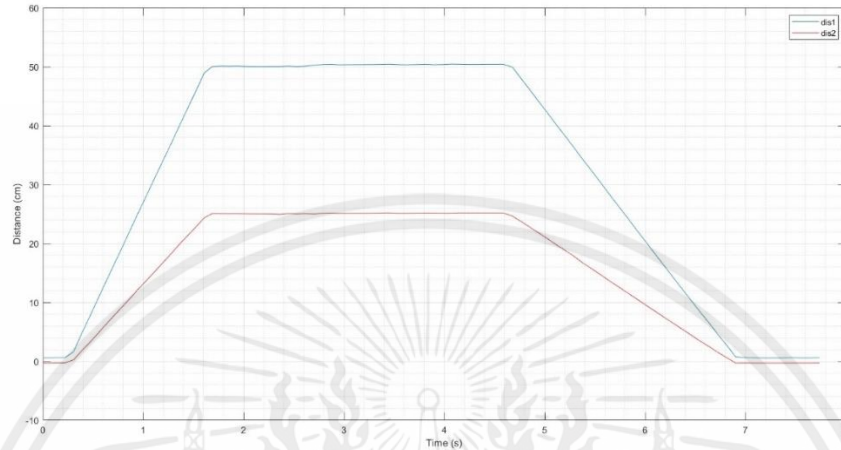


รูปที่ 4.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเฉลี่ยและเวลาของกระบอกสูบที่ 2

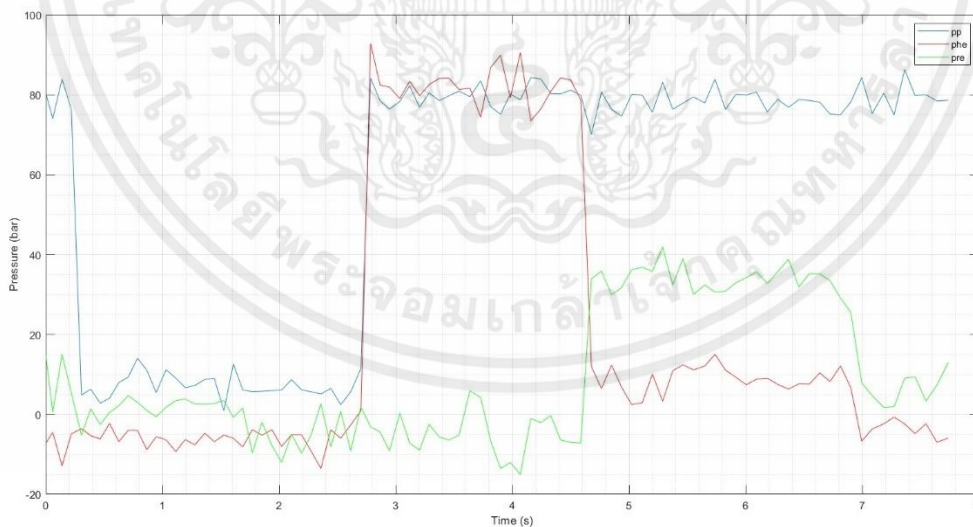
ในการทดลอง 2 กระบอกสูบที่ต่อกันแบบอนุกรม โดยมีมวล 47 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1

จากรูปที่ 4.32 กราฟแสดงให้เห็นว่ากระบอกสูบที่ 1 และกระบอกสูบที่ 2 ยืดออกพร้อมกันที่เวลา 0.216412 วินาที หดกลับพร้อมกันที่เวลา 4.54344 วินาที และจากรูปที่ 4.34 และ 4.36 แสดงให้เห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงของความดันที่เวลานั้นๆ น้ำมันที่ไหลออกจากด้าน head end ของกระบอกสูบที่ 1 จะไหลเข้าไปที่ด้าน rod end ของกระบอกที่ 2 ปริมาตรด้าน rod end น้อยกว่า ปริมาตรด้าน head end (เนื่องจากมีก้านกระบอกสูบ) ทำให้กระบอกที่ 2 ยืดออกไม่สุด

4.2.5 ผลการทดลองเมื่อมีน้ำหนักถ่วง 64.5 กิโลกรัม

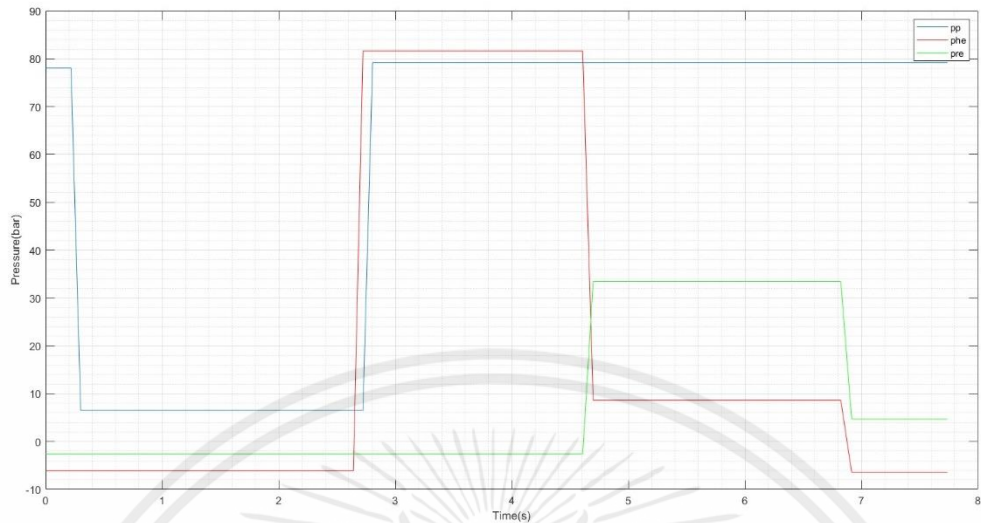


รูปที่ 4.37 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนที่ของกระบอกที่ 1 และ 2 กับเวลา ในการทดลอง 2 กระบอกสูบที่ต่อกันแบบอนุกรม โดยมีมวล 64.5 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบ

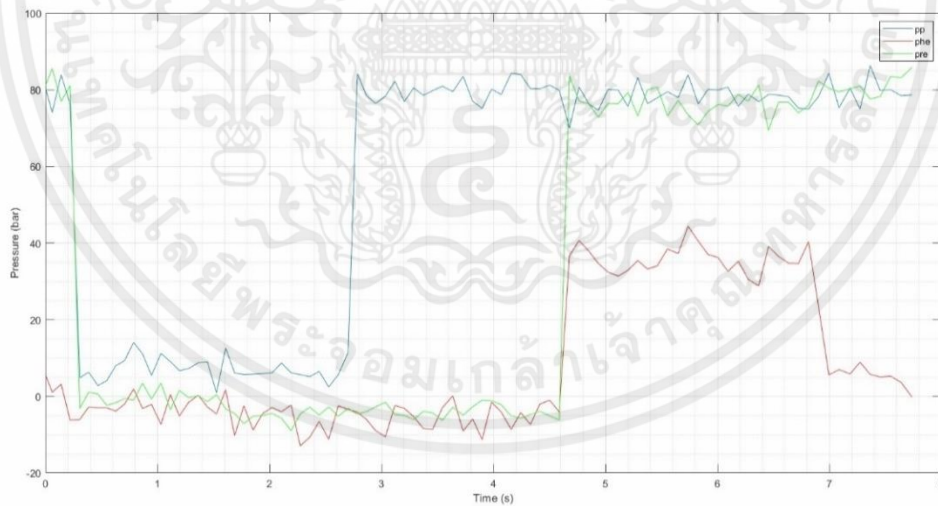


รูปที่ 4.38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาของกระบอกสูบที่ 1

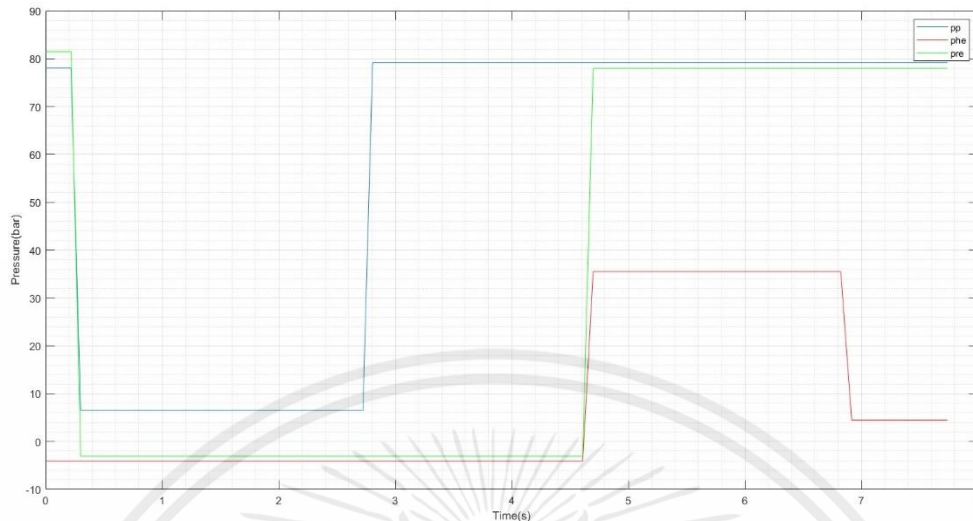
ในการทดลอง 2 กระบอกสูบที่ต่อกันแบบอนุกรม โดยมีมวล 64.5 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1



รูปที่ 4.39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเฉลี่ยและเวลาของกระบอกสูบที่ 1 ในการทดลอง 2 กระบอกสูบที่ต่อกันแบบอนุกรม โดยมีมวล 64.5 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1



รูปที่ 4.40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาของกระบอกสูบที่ 2 ในการทดลอง 2 กระบอกสูบที่ต่อกันแบบอนุกรม โดยมีมวล 64.5 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1



รูปที่ 4.41 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเฉลี่ยและเวลาของกระบอกสูบที่ 2

ในการทดลอง 2 กระบอกสูบที่ต่อกันแบบอนุกรม โดยมีมวล 64.5 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1

จากรูปที่ 4.37 กราฟแสดงให้เห็นว่ากระบอกสูบที่ 1 และกระบอกสูบที่ 2 ยืดออกพร้อมกันที่เวลา 0.219237 วินาที หดกลับพร้อมกันที่เวลา 4.50074 วินาที และจากรูปที่ 4.39 และ 4.41 แสดงให้เห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงของความดันที่เวลานั้นๆ น้ำมันที่ไหลออกจากด้าน head end ของกระบอกสูบที่ 1 จะไหลเข้าไปที่ด้าน rod end ของกระบอกที่ 2 ปริมาตรด้าน rod end น้อยกว่า ปริมาตรด้าน head end (เนื่องจากมีก้านกระบอกสูบ) ทำให้กระบอกที่ 2 ยืดออกไม่สุด

ตารางที่ 4.3 ตารางบันทึกผลความเร็วและอัตราการไหลของการต่อกระบอกลูกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอกแบบอนุกรม
ขณะยืดออก

มวล(kg)	ยืดออก			
	กระบอกลูกสูบ 1		กระบอกลูกสูบ 2	
	ความเร็ว(cm/s)	อัตราการไหล(cm ² /s)	ความเร็ว(cm/s)	อัตราการไหล(cm ² /s)
0	20.122	252.8605	10.286	129.2577
12	20.975	263.5796	10.314	129.6095
29.5	20.123	252.8731	10.305	129.4964
47	26.083	327.7686	13.377	168.1003
64.5	36.516	458.8736	18.675	234.677

จากตาราง 4.3 เมื่อมวลถ่วงที่กระบอกลูกสูบที่ 1 เพิ่มมากขึ้น กระบอกที่ 1 และ 2 จะมีความเร็วยืดออกเพิ่มมากขึ้น เป็นผลมาจาก overrunning load

ตารางที่ 4.4 ตารางบันทึกผลความเร็วและอัตราการไหลของการต่อกระบอกลูกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอกแบบอนุกรม
ขณะหดกลับ

มวล(kg)	หดกลับ			
	กระบอกลูกสูบ 1		กระบอกลูกสูบ 2	
	ความเร็ว(cm/s)	อัตราการไหล(cm ² /s)	ความเร็ว(cm/s)	อัตราการไหล(cm ² /s)
0	24.615	157.7538	12.574	80.58487
12	24.327	155.9081	12.431	79.6684
29.5	23.937	153.4086	12.264	78.59812
47	23.032	147.6086	11.834	75.84232
64.5	22.442	143.8274	11.488	73.62486

จากตาราง 4.4 ความเร็วหดรัดกลับทั้งสองกระบอกมีค่าลดลง จากอัตราการไหลที่ลดลงเนื่องจากการแบ่งอัตราการไหลไปที่ pressure relief valve ถึงแม้ความดันจะยังไม่ถึงค่าที่ตั้งไว้ แต่ pressure relief valve จะมีการเปิดเล็กน้อย โดยจุดที่ pressure relief valve เริ่มเปิดจะเรียกว่า cracking pressure สังเกตได้จากตาราง 4.6 ความดันที่ด้าน rod end ของกระบอกที่ 2 ใกล้เคียงกับความดันที่ตั้ง pressure relief valve

ตารางที่ 4.5 ตารางบันทึกผลความดันของการต่อกระบอกสูบลไฮดรอลิก 2 กระบอกแบบอนุกรมขณะยืดออก

มวล(kg)	ความดันช่วงยืดออก (bar)				
	pp	กระบอกสูบล 1		กระบอกสูบล 2	
		PHE	PRE	PHE	PRE
0	11.05683	0	0	0	0
12	8.747742	0	0	0	0
29.5	7.969227	0	0	0	0
47	6.739257	0	0	0	0
64.5	6.516926	0	0	0	0

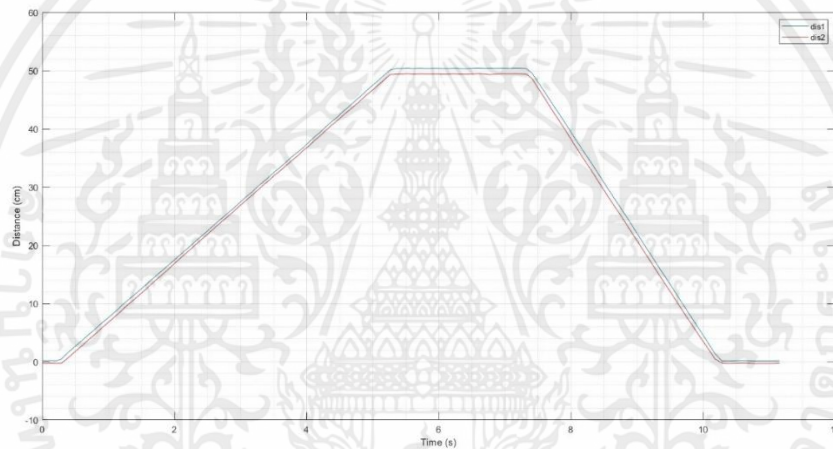
ตารางที่ 4.6 ตารางบันทึกผลความดันของการต่อกระบอกสูบลไฮดรอลิก 2 กระบอกแบบอนุกรมขณะหดรัดกลับ

มวล(kg)	ความดันช่วงหดรัดกลับ(bar)				
	pp	กระบอกสูบล 1		กระบอกสูบล 2	
		PHE	PRE	PHE	PRE
0	80.0029	13.08602	33.32192	33.88921	78.30871
12	79.91648	12.11783	33.33277	33.60068	78.33955
29.5	80.26099	10.4602	33.30701	33.42482	78.21155
47	79.84706	9.125496	34.87479	33.24702	78.01214
64.5	79.16782	8.636373	33.45072	35.51916	77.99731

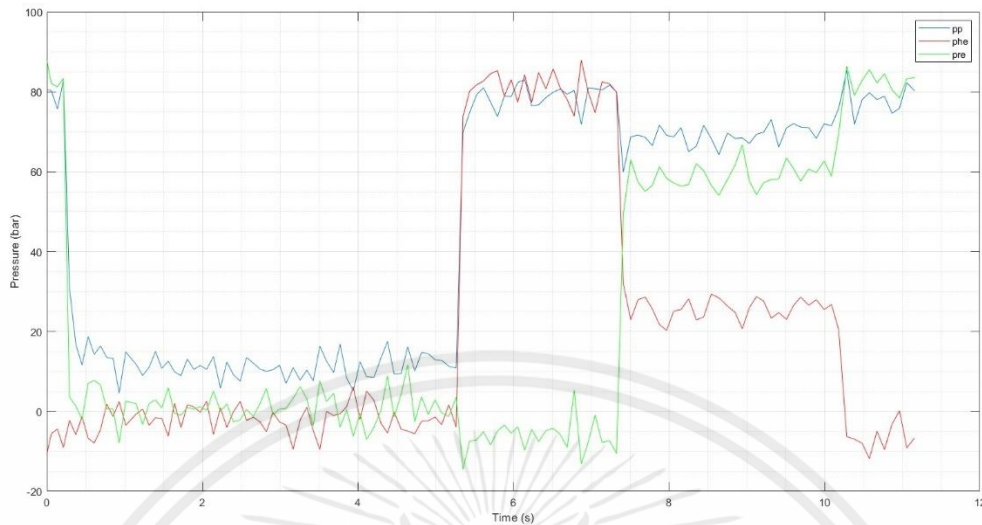
เมื่อเปรียบเทียบที่มวลถ่วงเท่ากันของกระบอกเดียวกับสองกระบอกแบบอนุกรม จะเห็นได้ว่าแบบอนุกรม จะมีความดันที่มากกว่า เพราะการต่อแบบอนุกรมจะต้องเอาชนะโหนดของทั้งกระบอกที่ 1 และกระบอกที่ 2 แต่แบบกระบอกเดียวเอาชนะโหนดเพียงกระบอกเดียว

4.3 ผลการทดลอง 2 กระบอกสูบต่อแบบขนาน

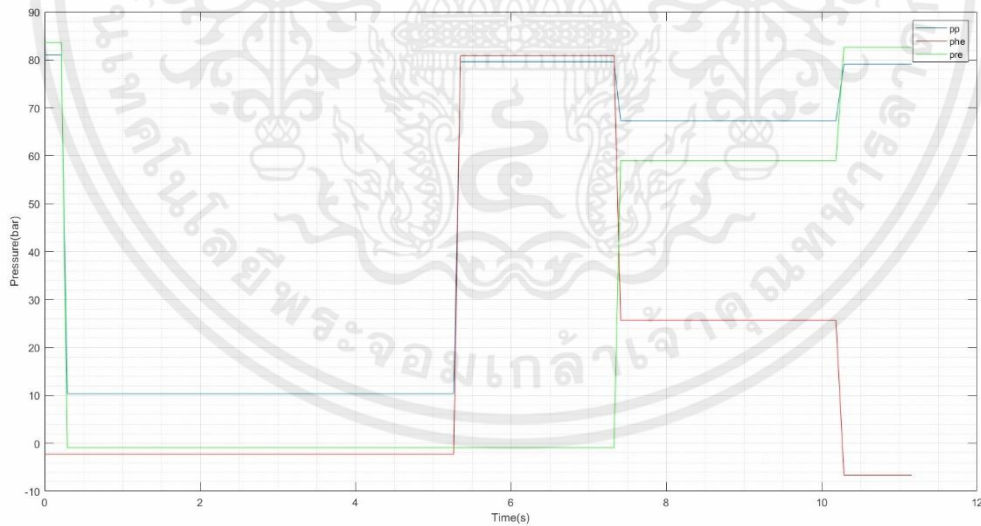
4.3.1 ผลการทดลองเมื่อมีน้ำหนักถ่วง 0 กิโลกรัม



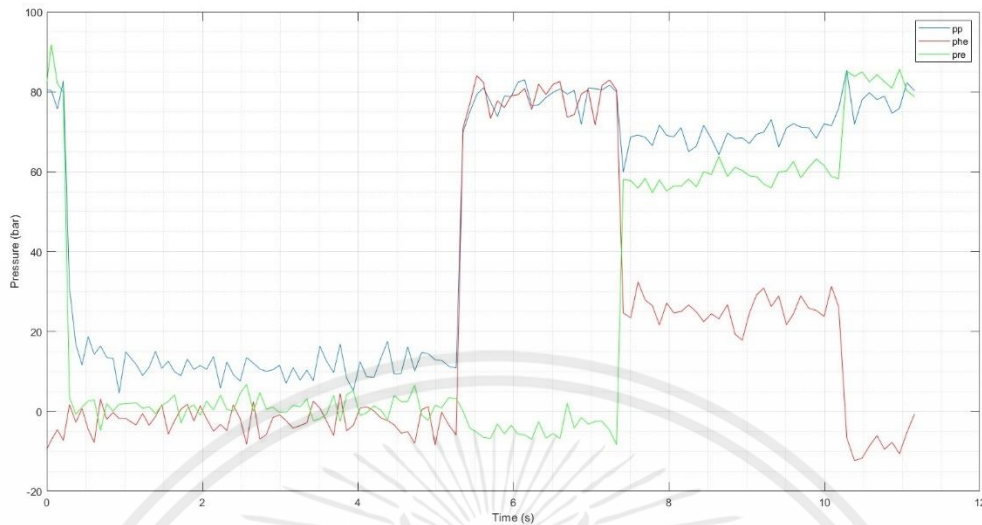
รูปที่ 4.42 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนที่ของกระบอกที่ 1 และ 2 กับเวลา ในการทดลอง 2 กระบอกสูบที่ต่อแบบขนาน โดยไม่มีมวล ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1



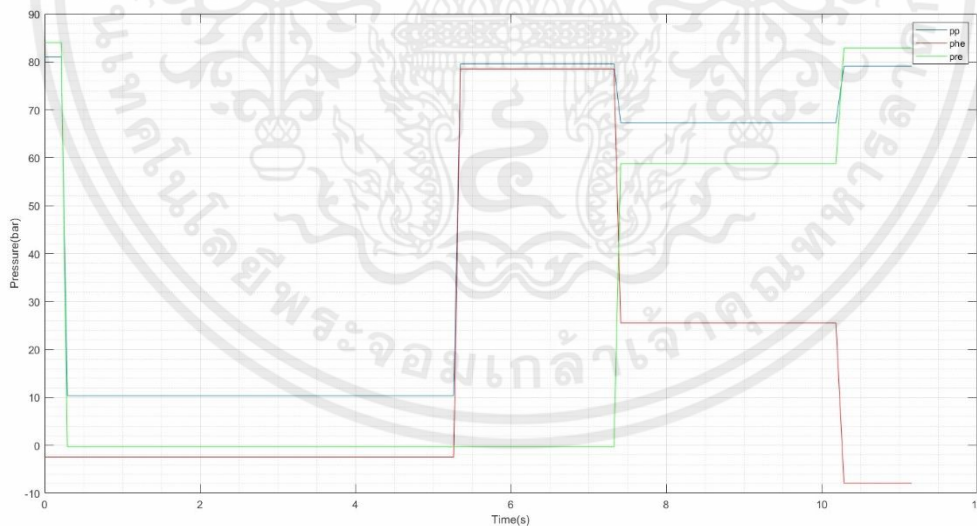
รูปที่ 4.43 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาของกระบอกสูบที่ 1 ในการทดลอง 2 กระบอกสูบที่ต่อแบบขนาน โดยไม่มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1



รูปที่ 4.44 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเฉลี่ยและเวลาของกระบอกสูบที่ 1 ในการทดลอง 2 กระบอกสูบที่ต่อแบบขนาน โดยไม่มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1



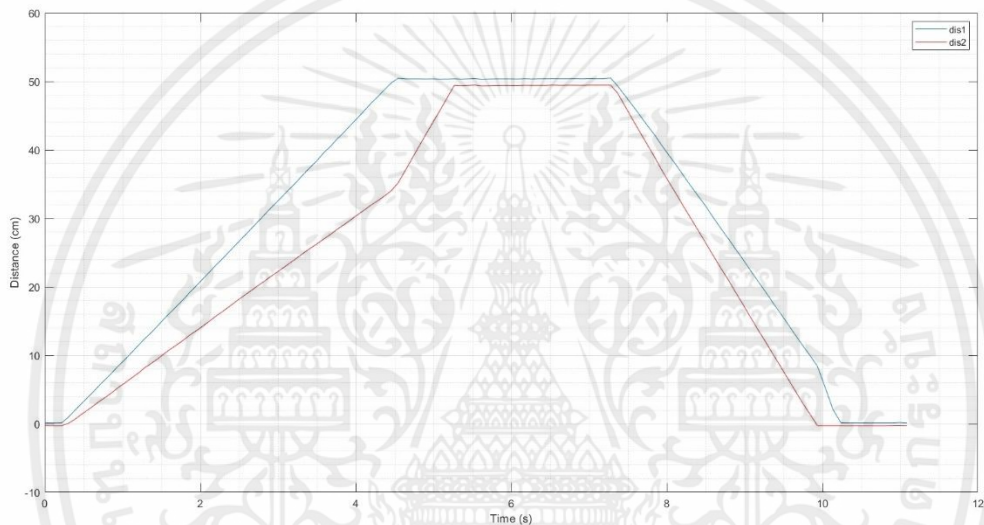
รูปที่ 4.45 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาของกระบอกสูบที่ 2 ในการทดลอง 2 กระบอกสูบที่ต่อแบบขนาน โดยไม่มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1



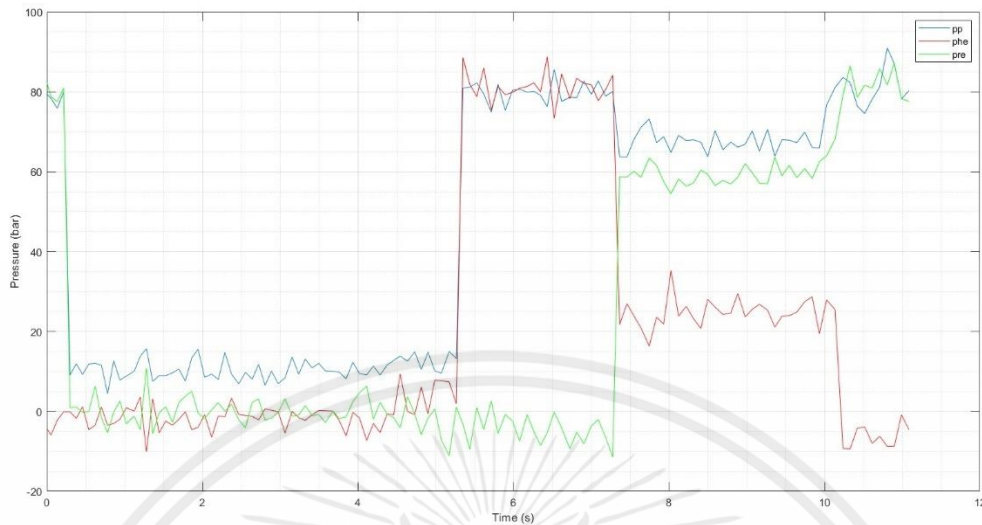
รูปที่ 4.46 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเฉลี่ยและเวลาของกระบอกสูบที่ 2 ในการทดลอง 2 กระบอกสูบที่ต่อแบบขนาน โดยไม่มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1

จากรูปที่ 4.42 กราฟแสดงให้เห็นว่ากระบอกลูกสูบที่ 1 และกระบอกลูกสูบที่ 2 ยึดออกพร้อมกันที่เวลา 0.21329 วินาที หดกลับพร้อมกันที่เวลา 7.23762 วินาที และจากรูปที่ 4.44 และ 4.46 แสดงให้เห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงของความดันที่เวลานั้นๆ ถ้ากระบอกลูกสูบทั้งสองเป็นแบบเดียวกันมีโหลดเท่ากัน ทั้งสองกระบอกลูกสูบจะมีความเร็วและความดันใกล้เคียงกัน

4.3.2 ผลการทดลองเมื่อมีน้ำหนักถ่วง 12 กิโลกรัม

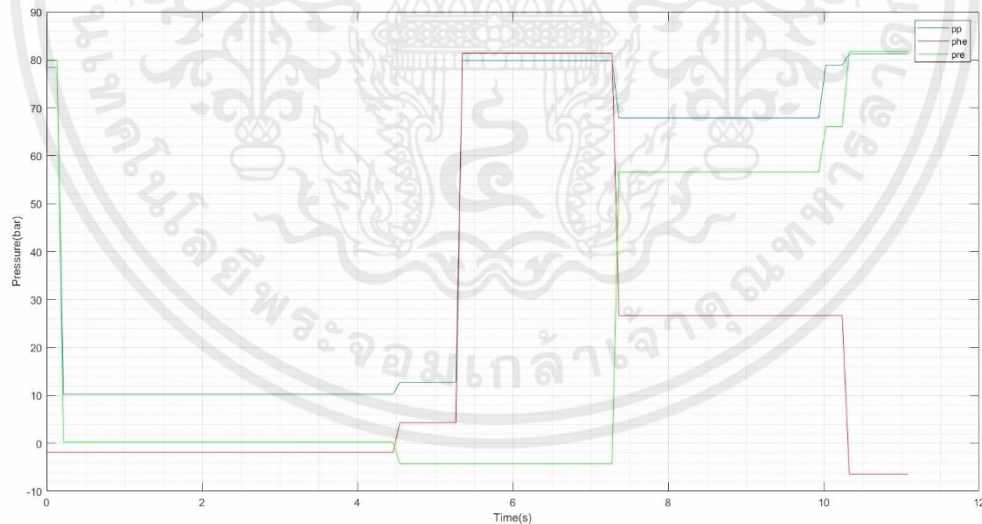


รูปที่ 4.47 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนที่ของกระบอกลูกสูบที่ 1 และ 2 กับเวลา ในการทดลอง 2 กระบอกลูกสูบที่ต่อแบบขนาน โดยมีมวล 12 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกลูกสูบที่ 1



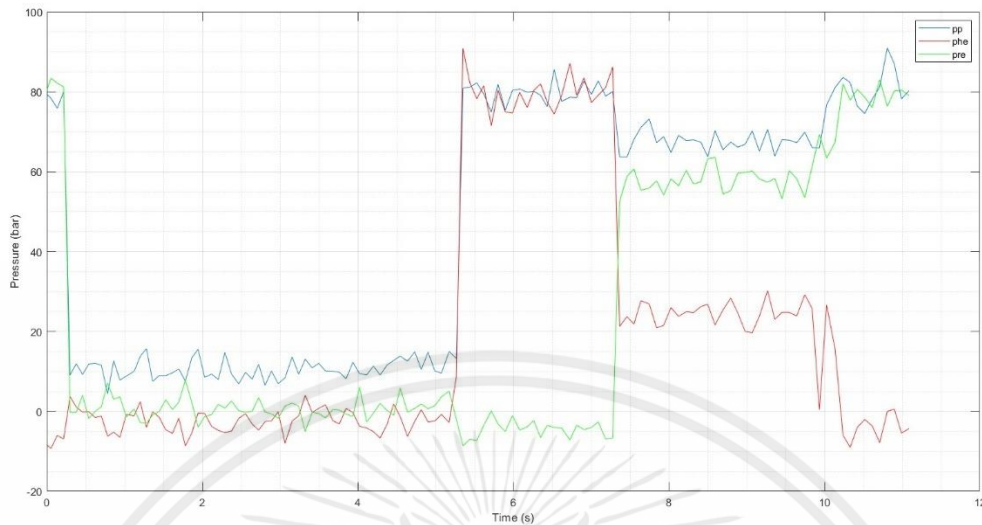
รูปที่ 4.48 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาของกระบอกสูบที่ 1

ในการทดลอง 2 กระบอกสูบที่ต่อแบบขนาน โดยมีมวล 12 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1



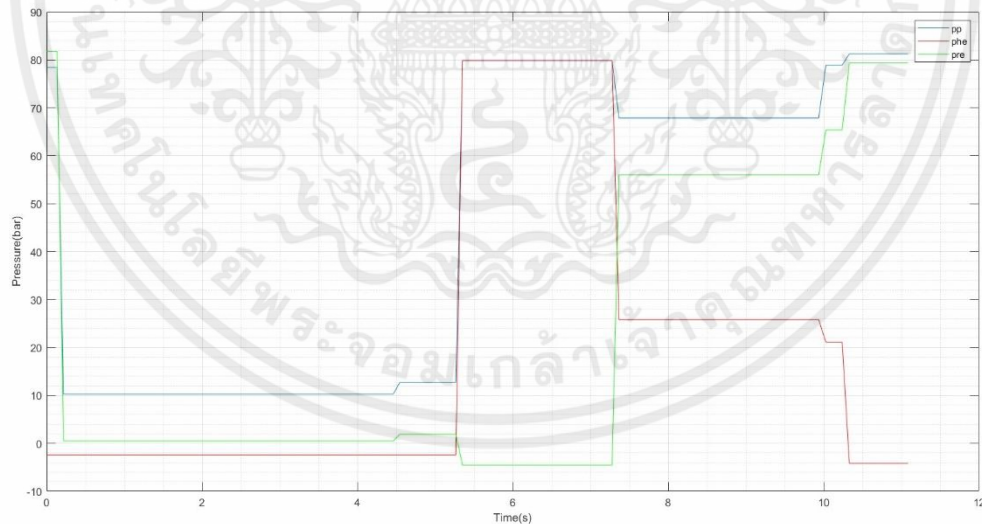
รูปที่ 4.49 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเฉลี่ยและเวลาของกระบอกสูบที่ 1

ในการทดลอง 2 กระบอกสูบที่ต่อแบบขนาน โดยมีมวล 12 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1



รูปที่ 4.50 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาของกระบอกสูบที่ 2

ในการทดลอง 2 กระบอกสูบที่ต่อแบบขนาน โดยมีมวล 12 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1

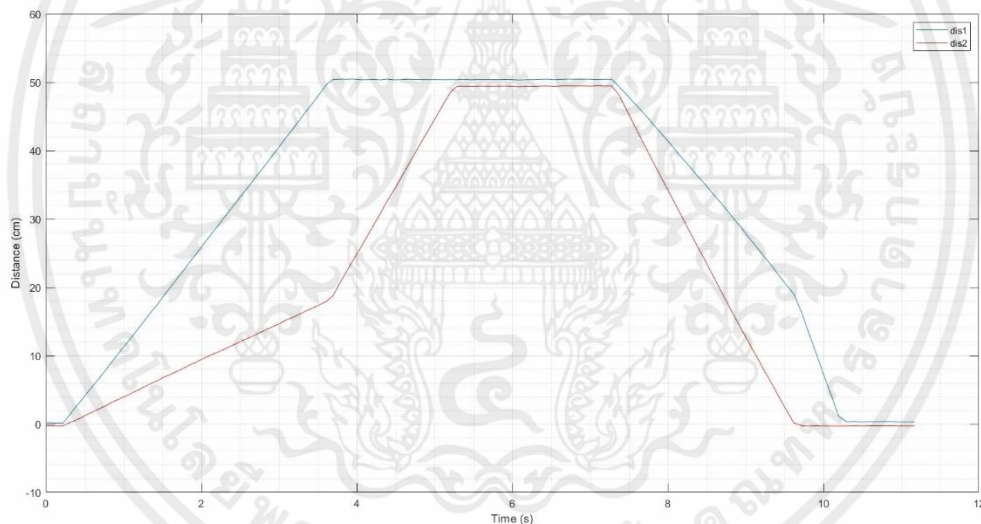


รูปที่ 4.51 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเฉลี่ยและเวลาของกระบอกสูบที่ 2

ในการทดลอง 2 กระบอกสูบที่ต่อแบบขนาน โดยมีมวล 12 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1

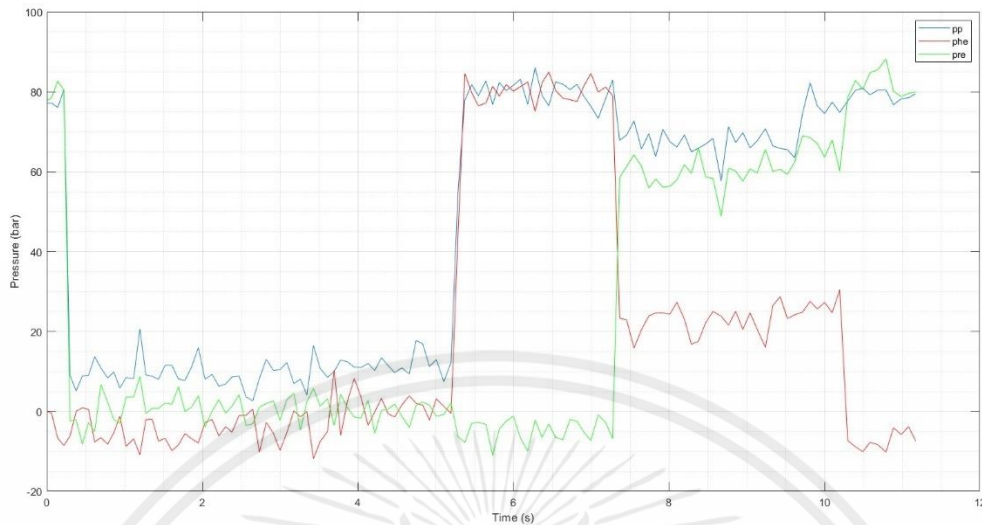
จากรูปที่ 4.47 กราฟแสดงให้เห็นว่ากระบอกสูบที่ 1 และกระบอกสูบที่ 2 ยึดออกพร้อมกันที่เวลา 0.216837 วินาที จากนั้นกระบอกสูบที่ 2 มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วที่เวลา 4.4612 วินาที หดกลับพร้อมกันที่เวลา 7.18753 วินาที จากนั้นกระบอกสูบที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วที่เวลา 9.93654 วินาที และจากรูปที่ 4.49 และ 4.51 แสดงให้เห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงของความดันที่เวลานั้นๆ ขณะยึดออกเมื่อกระบอกที่ 1 ยึดออกสุดความเร็วยึดออกกระบอกที่ 2 เพิ่มมากขึ้นเนื่องจากอัตราการไหลที่ไหลเข้ากระบอกที่ 2 มากขึ้นและไม่มีอัตราการไหลแบ่งไปที่กระบอกที่ 1 ขณะหดกลับกระบอกที่ 2 หดกลับสุดก่อนจากไหลที่น้อยกว่าน้ำมันจะไหลไปกระบอกที่มีความดันหรือไหลน้อยกว่าก่อน เมื่อกระบอกที่ 2 หดกลับสุดความเร็วหดกลับกระบอกที่ 1 เพิ่มมากขึ้นเนื่องจากอัตราการไหลที่ไหลเข้ากระบอกที่ 1 มากขึ้นและไม่มีอัตราการไหลแบ่งไปที่กระบอกที่ 2

4.3.3 ผลการทดลองเมื่อมีน้ำหนักถ่วง 29.5 กิโลกรัม



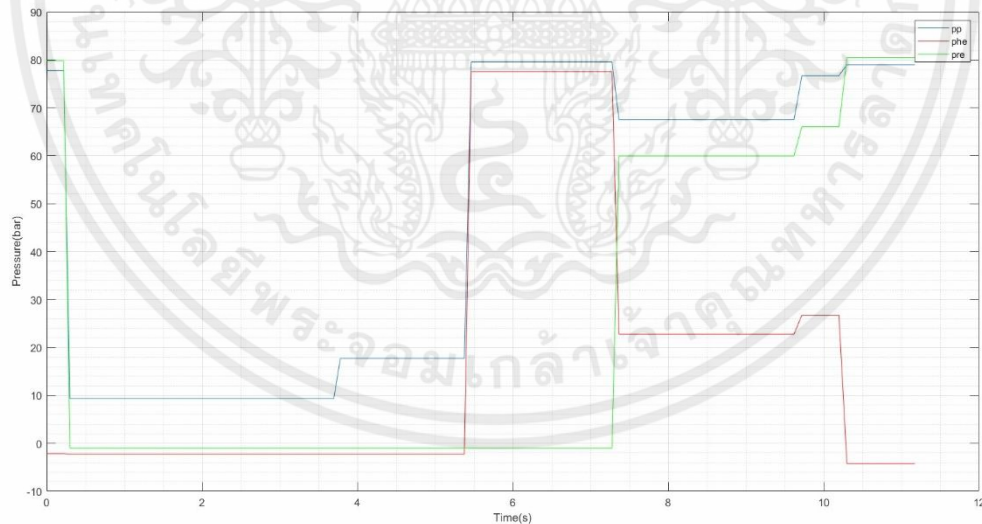
รูปที่ 4.52 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนที่ของกระบอกที่ 1 และ 2 กับเวลา

ในการทดลอง 2 กระบอกสูบที่ต่อแบบขนาน โดยมีมวล 29.5 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1



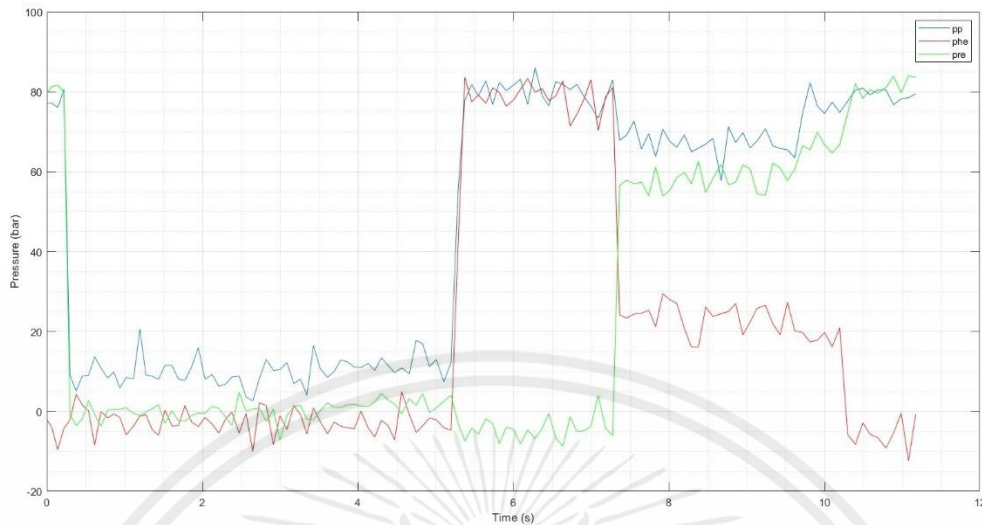
รูปที่ 4.53 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาของกระบอกสูบที่ 1

ในการทดลอง 2 กระบอกสูบที่ต่อแบบขนาน โดยมีมวล 29.5 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1



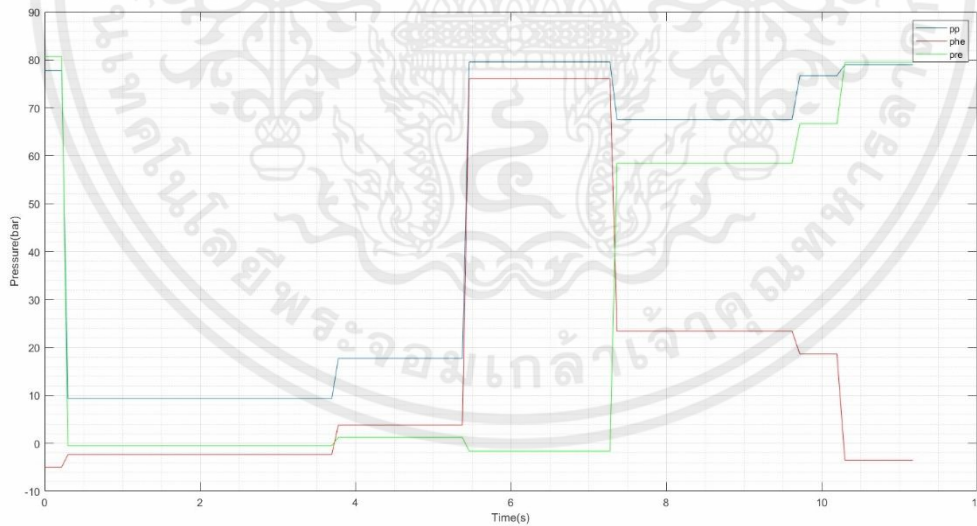
รูปที่ 4.54 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเฉลี่ยและเวลาของกระบอกสูบที่ 1

ในการทดลอง 2 กระบอกสูบที่ต่อแบบขนาน โดยมีมวล 29.5 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1



รูปที่ 4.55 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาของกระบอกสูบที่ 2

ในการทดลอง 2 กระบอกสูบที่ต่อแบบขนาน โดยมีมวล 29.5 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1

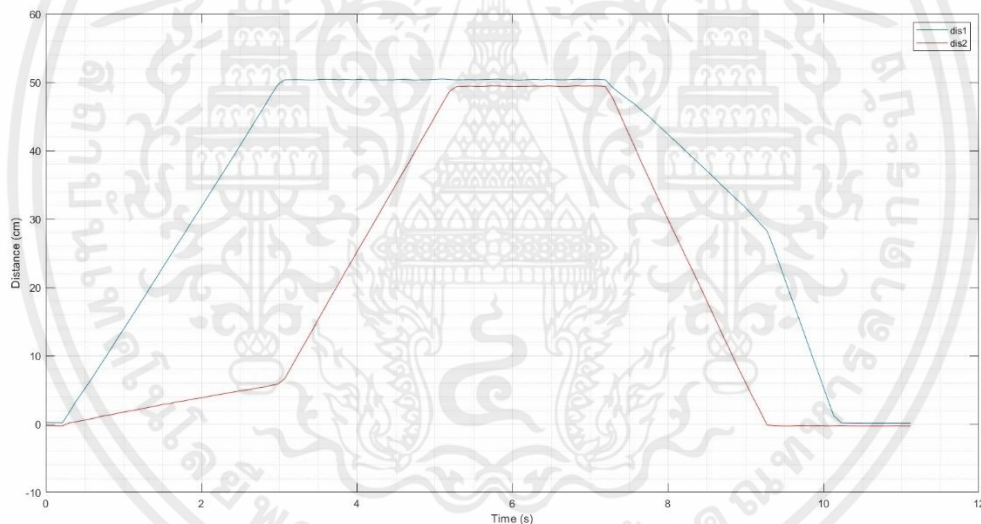


รูปที่ 4.56 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเฉลี่ยและเวลาของกระบอกสูบที่ 2

ในการทดลอง 2 กระบอกสูบที่ต่อแบบขนาน โดยมีมวล 29.5 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1

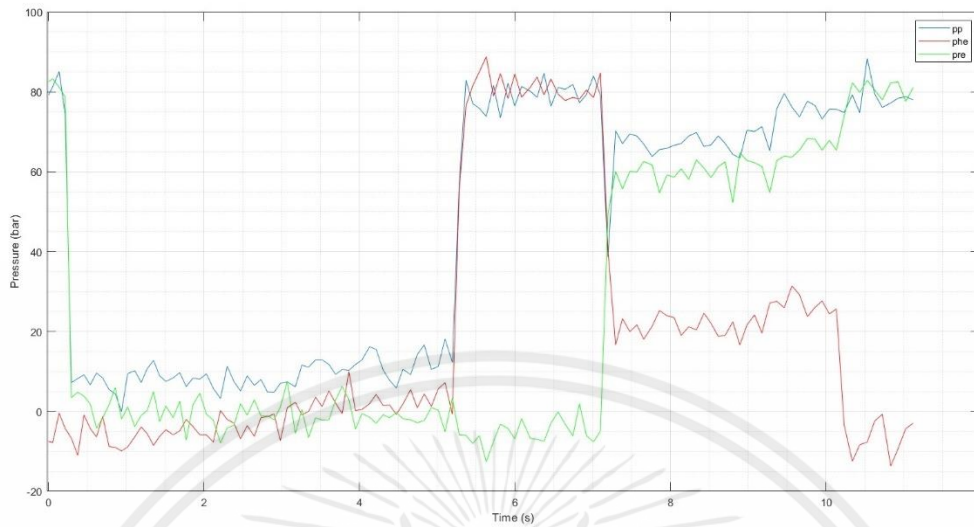
จากรูปที่ 4.52 กราฟแสดงให้เห็นว่ากระบอกลูกสูบที่ 1 และกระบอกลูกสูบที่ 2 ยึดออกพร้อมกันที่เวลา 0.29926 วินาที จากนั้นกระบอกลูกสูบที่ 2 มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วที่เวลา 3.69621 วินาที หดกลับพร้อมกันที่เวลา 7.27664 วินาที จากนั้นกระบอกลูกสูบที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วที่เวลา 9.61896 วินาที และจากรูปที่ 4.54 และ 4.56 แสดงให้เห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงของความดันที่เวลานั้นๆ ขณะยึดออกเมื่อกระบอกลูกสูบที่ 1 ยึดออกสุดความเร็วยึดออกกระบอกลูกสูบที่ 2 เพิ่มมากขึ้นเนื่องจากอัตราการไหลที่ไหลเข้ากระบอกลูกสูบที่ 2 มากขึ้นและไม่มีอัตราการไหลแบ่งไปที่กระบอกลูกสูบที่ 1 ขณะหดกลับกระบอกลูกสูบที่ 2 หดกลับสุดก่อนจากไหลที่น้อยกว่าน้ำมันจะไหลไปกระบอกลูกสูบที่มีความดันหรือไหลน้อยกว่าก่อน เมื่อกระบอกลูกสูบที่ 2 หดกลับสุดความเร็วหดกลับกระบอกลูกสูบที่ 1 เพิ่มมากขึ้นเนื่องจากอัตราการไหลที่ไหลเข้ากระบอกลูกสูบที่ 1 มากขึ้นและไม่มีอัตราการไหลแบ่งไปที่กระบอกลูกสูบที่ 2

4.3.4 ผลการทดลองเมื่อมีน้ำหนักถ่วง 47 กิโลกรัม



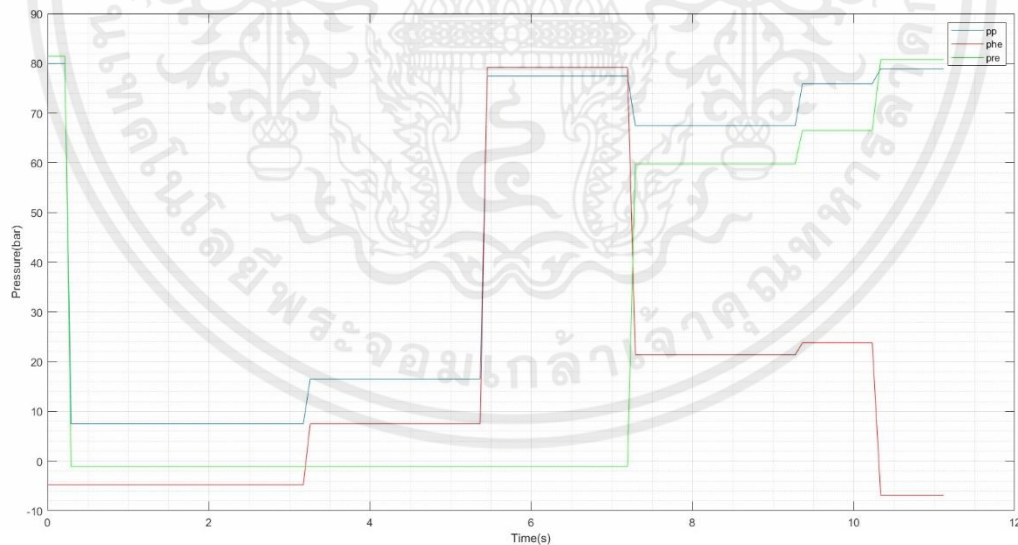
รูปที่ 4.57 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนที่ของกระบอกลูกสูบที่ 1 และ 2 กับเวลา

ในการทดลอง 2 กระบอกลูกสูบที่ต่อแบบขนาน โดยมีมวล 47 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกลูกสูบที่ 1



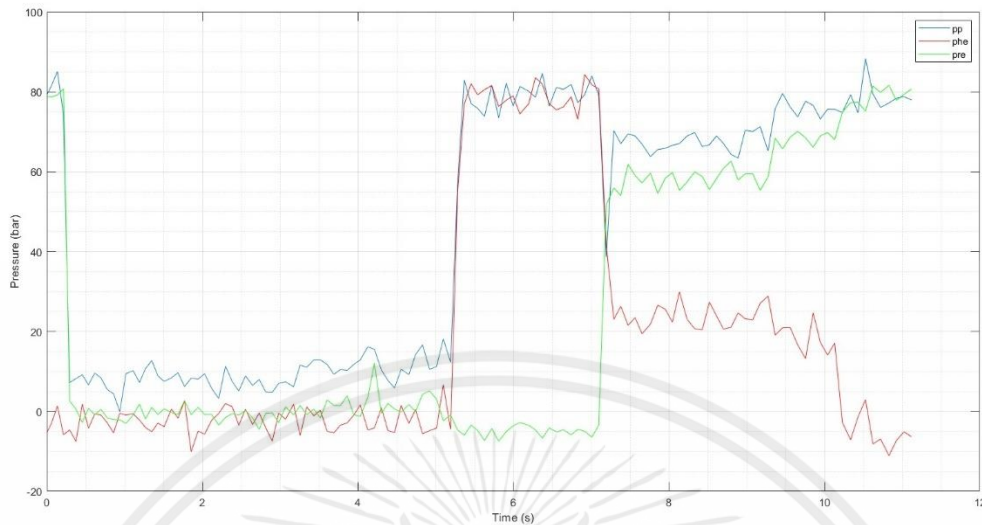
รูปที่ 4.58 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาของกระบอกสูบที่ 1

ในการทดลอง 2 กระบอกสูบที่ต่อแบบขนาน โดยมีมวล 47 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1



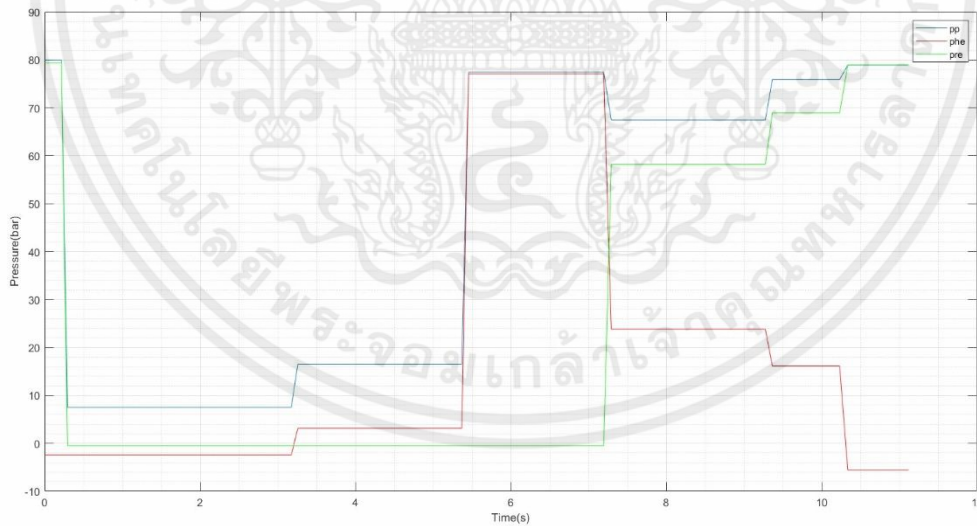
รูปที่ 4.59 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาของกระบอกสูบที่ 1

ในการทดลอง 2 กระบอกสูบที่ต่อแบบขนาน โดยมีมวล 47 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1



รูปที่ 4.60 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาของกระบอกสูบที่ 2

ในการทดลอง 2 กระบอกสูบที่ต่อแบบขนาน โดยมีมวล 47 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1

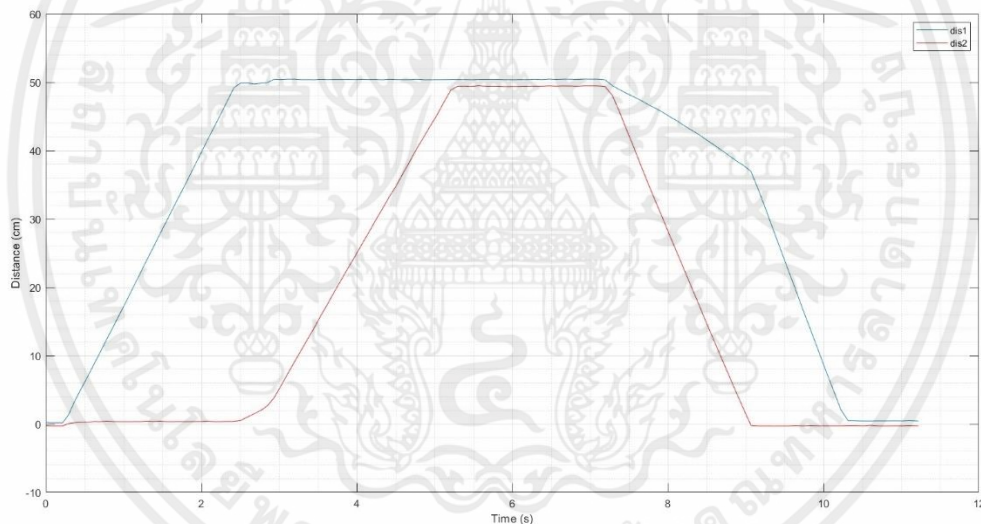


รูปที่ 4.61 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาของกระบอกสูบที่ 2

ในการทดลอง 2 กระบอกสูบที่ต่อแบบขนาน โดยมีมวล 47 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1

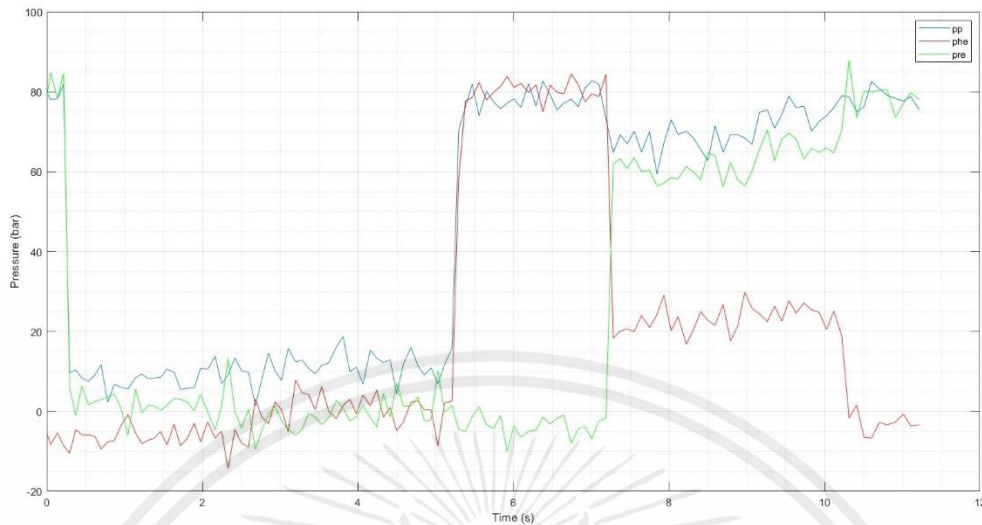
จากรูปที่ 4.57 กราฟแสดงให้เห็นว่ากระบอกลูกสูบที่ 1 และกระบอกลูกสูบที่ 2 ยึดออกพร้อมกันที่เวลา 0.136947 วินาที จากนั้นกระบอกลูกสูบที่ 2 มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วที่เวลา 2.98217 วินาที หดกลับพร้อมกันที่เวลา 7.0983 วินาที จากนั้นกระบอกลูกสูบที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วที่เวลา 9.27606 วินาที และจากรูปที่ 4.59 และ 4.61 แสดงให้เห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงของความดันที่เวลานั้นๆ ขณะยึดออกเมื่อกระบอกลูกสูบที่ 1 ยึดออกสุดความเร็วยึดออกกระบอกลูกสูบที่ 2 เพิ่มมากขึ้นเนื่องจากอัตราการไหลที่ไหลเข้ากระบอกลูกสูบที่ 2 มากขึ้นและไม่มีอัตราการไหลแบ่งไปที่กระบอกลูกสูบที่ 1 ขณะหดกลับกระบอกลูกสูบที่ 2 หดกลับสุดก่อนจากไหลที่น้อยกว่าน้ำมันจะไหลไปกระบอกลูกสูบที่มีความดันหรือไหลน้อยกว่าก่อน เมื่อกระบอกลูกสูบที่ 2 หดกลับสุดความเร็วหดกลับกระบอกลูกสูบที่ 1 เพิ่มมากขึ้นเนื่องจากอัตราการไหลที่ไหลเข้ากระบอกลูกสูบที่ 1 มากขึ้นและไม่มีอัตราการไหลแบ่งไปที่กระบอกลูกสูบที่ 2

4.3.5 ผลการทดลองเมื่อมีน้ำหนักถ่วง 64.5 กิโลกรัม



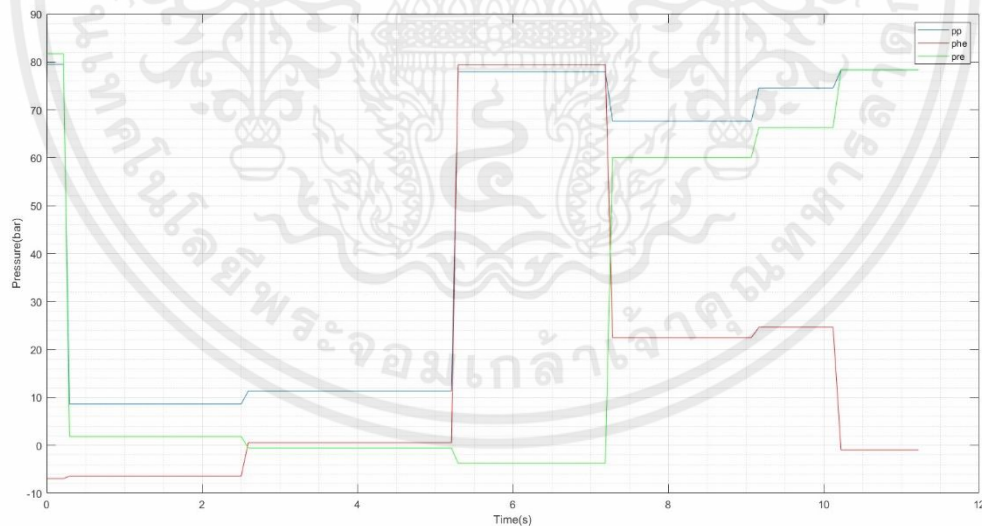
รูปที่ 4.62 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนที่ของกระบอกลูกสูบที่ 1 และ 2 กับเวลา

ในการทดลอง 2 กระบอกลูกสูบที่ต่อแบบขนาน โดยมีมวล 64.5 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกลูกสูบที่ 1



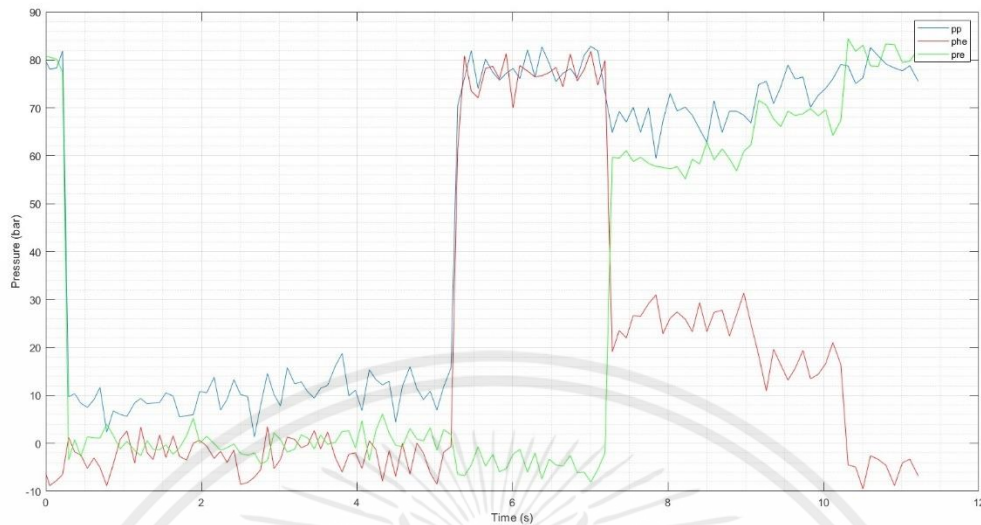
รูปที่ 4.63 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาของกระบอกสูบที่ 1

ในการทดลอง 2 กระบอกสูบที่ต่อแบบขนาน โดยมีมวล 64.5 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1



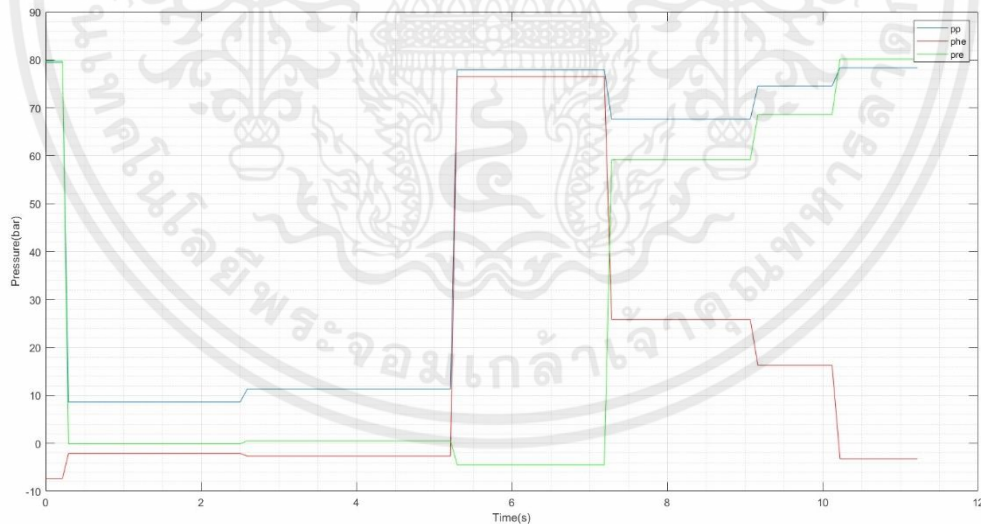
รูปที่ 4.64 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเฉลี่ยและเวลาของกระบอกสูบที่ 1

ในการทดลอง 2 กระบอกสูบที่ต่อแบบขนาน โดยมีมวล 64.5 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1



รูปที่ 4.65 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาของกระบอกสูบที่ 2

ในการทดลอง 2 กระบอกสูบที่ต่อแบบขนาน โดยมีมวล 64.5 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1



รูปที่ 4.66 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเฉลี่ยและเวลาของกระบอกสูบที่ 2

ในการทดลอง 2 กระบอกสูบที่ต่อแบบขนาน โดยมีมวล 64.5 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1

จากรูปที่ 4.62 กราฟแสดงให้เห็นว่ากระบอกสูบที่ 1 ยืดออกที่เวลา 0.216516 วินาที กระบอกสูบที่ 2 ยืดออกที่เวลา 2.41894 หดกลับพร้อมกันที่เวลา 7.0983 วินาที จากนั้นกระบอกสูบที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วที่เวลา 9.06958 วินาที และจากรูปที่ 4.64 และ 4.66 แสดงให้เห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงของความดันที่เวลานั้นๆ ขณะยืดออกเมื่อกระบอกที่ 1 ยืดออกสุดความเร็วยืดออกกระบอกที่ 2 เพิ่มมากขึ้นเนื่องจากอัตราการไหลที่ไหลเข้ากระบอกที่ 2 มากขึ้นและไม่มีอัตราการไหลแบ่งไปที่กระบอกที่ 1 ขณะหดกลับกระบอกที่ 2 หดกลับสุดก่อนจากโหลดที่น้อยกว่าน้ำมันจะไหลไปกระบอกที่มีความดันหรือโหลดน้อยกว่าก่อน เมื่อกระบอกที่ 2 หดกลับสุดความเร็วหดกลับกระบอกที่ 1 เพิ่มมากขึ้นเนื่องจากอัตราการไหลที่ไหลเข้ากระบอกที่ 1 มากขึ้นและไม่มีอัตราการไหลแบ่งไปที่กระบอกที่ 2

ตารางที่ 4.7 ตารางบันทึกผลความเร็วและอัตราการไหลของการต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอกแบบขนาน ขณะยืดออก

มวล(kg)	ยืดออก					
	กระบอกสูบ 1		กระบอกสูบ 2			
	ความเร็ว(cm/s)	อัตราการไหล(cm ² /s)	ความเร็ว(cm/s)		อัตราการไหล(cm ² /s)	
			ช่วง1	ช่วง2	ช่วง1	ช่วง2
0	9.8959	124.3555	10.085	-	126.7318	-
12	11.772	147.9313	8.206	19.668	103.1196	247.1554
29.5	14.635	183.9088	5.3723	19.678	67.51031	247.281
47	17.901	224.9506	2.1038	19.774	26.43713	248.4874
64.5	22.447	282.0773	19.772	-	248.4623	-

ตารางที่ 4.8 ตารางบันทึกผลความเร็วและอัตราการไหลของการต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอก แบบขนาน
ขณะหดกลับ

มวล(kg)	หดกลับ					
	กระบอกสูบ 1				กระบอกสูบ 2	
	ความเร็ว(cm/s)		อัตราการไหล(cm ² /s)		ความเร็ว(cm/s)	อัตราการไหล(cm ² /s)
	ช่วง1	ช่วง2	ช่วง1	ช่วง2		
0	17.452	-	111.847	-	17.577	112.6483
12	15.967	31.504	102.330	201.904	18.89	121.0632
29.5	13.51	31.797	86.5835	203.782	21.364	136.9187
47	10.537	31.731	67.5300	203.359	24.202	155.107
64.5	7.0069	30.468	44.9061	195.264	27.259	174.6988

ตารางที่ 4.9 ตารางบันทึกผลความดันของการต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอกแบบขนาน ขณะยืดออก

มวล(kg)	ความดันช่วงยืดออก (bar)									
	pp		กระบอกสูบ 1				กระบอกสูบ 2			
			PHE		PRE		PHE		PRE	
	ช่วง1	ช่วง2	ช่วง1	ช่วง2	ช่วง1	ช่วง2	ช่วง1	ช่วง2	ช่วง1	ช่วง2
0	10.367	-	0	-	0	-	0	0	0	0
12	10.254	12.729	0	4.311	0.255	0	0	-	0.513	1.909
29.5	9.345	17.697	0	0	0	0	0	3.806	0	1.260
47	7.502	16.532	0	7.515	0	0	0	3.134	0	0
64.5	8.633	11.334	0	0.575	1.831	0	0	0	0	0.557

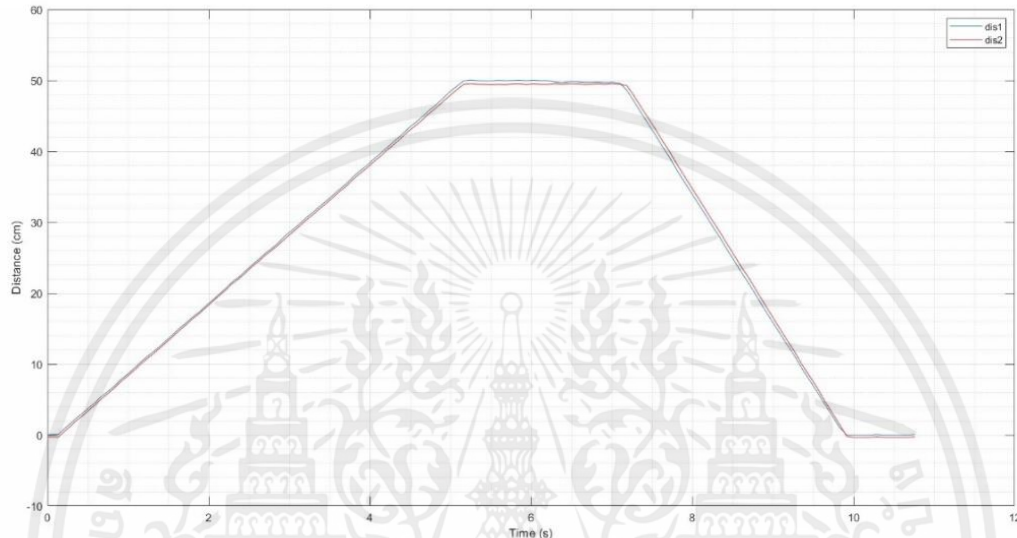
ตารางที่ 4.10 ตารางบันทึกผลความดันของการต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอกแบบขนาน ขณะหดกลับ

มวล(kg)	ความดันช่วงหดกลับ (bar)									
	pp		กระบอกสูบ 1				กระบอกสูบ 2			
			PHE		PRE		PHE		PRE	
	ช่วง1	ช่วง2	ช่วง1	ช่วง2	ช่วง1	ช่วง2	ช่วง1	ช่วง2	ช่วง1	ช่วง2
0	67.307	-	25.667	-	58.988	-	25.539	-	58.771	-
12	67.866	78.902	26.631	-	56.616	66.069	25.808	21.131	56.002	65.389
29.5	67.506	76.720	22.785	26.751	59.974	66.064	23.429	18.635	58.439	66.689
47	67.459	75.854	21.377	23.823	59.809	66.487	23.816	16.122	58.197	68.932
64.5	67.623	74.534	22.471	24.641	60.073	66.324	25.841	16.282	59.154	68.578

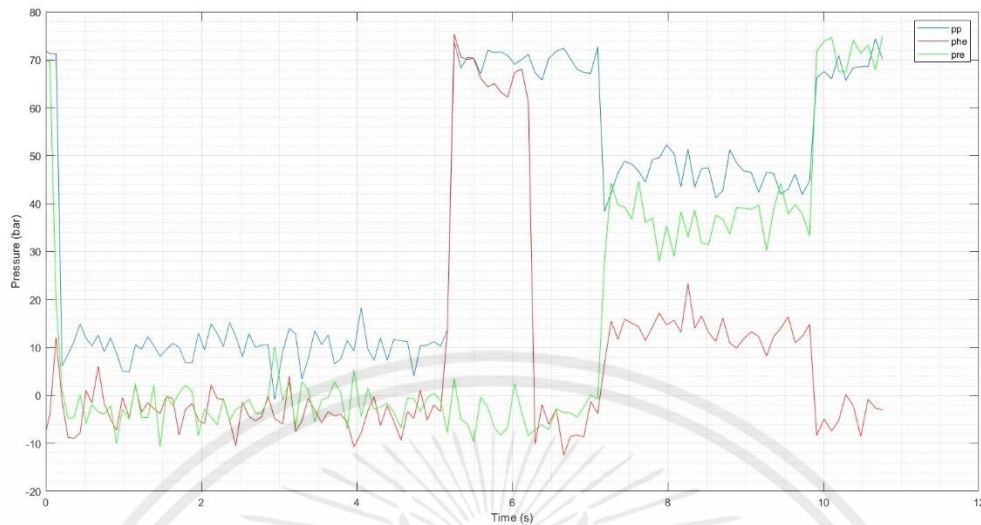
การต่อกระบอกสูบสองกระบอกแบบขนาน น้ำมันจะไหลที่กระบอกที่มีความดันหรือไหลด้นน้อยกว่าก่อน
สังเกตได้จากความเร็วการเคลื่อนที่ของกระบอกสูบที่มากกว่าคือกระบอกนั้นมีอัตราการไหลที่มากกว่า

4.4 ผลการทดลอง 2 กระจบokusต่อแบบขนาน โดยการใช Flow divider แทนข้อต่อสามทาง

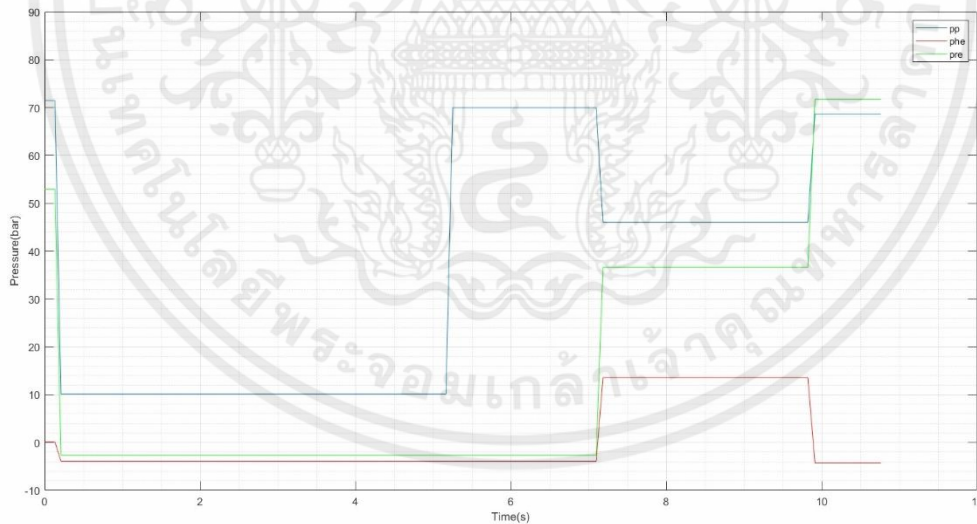
4.4.1 ผลการทดลองเมื่อมีน้ำหนักถ่วง 0 กิโลกรัม



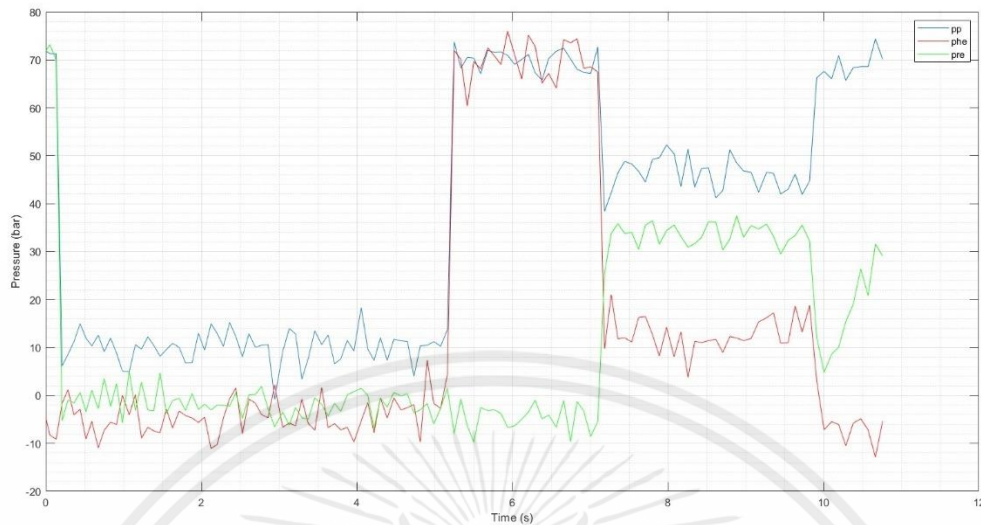
รูปที่ 4.67 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนที่ของกระจบokusที่ 1 และ 2 กับเวลา ในการทดลอง 2 กระจบokusต่อแบบขนาน โดยการใช Flow divider แทนข้อต่อสามทาง โดยไม่มีมวลถ่วงที่ปลายกระจบokusที่ 1



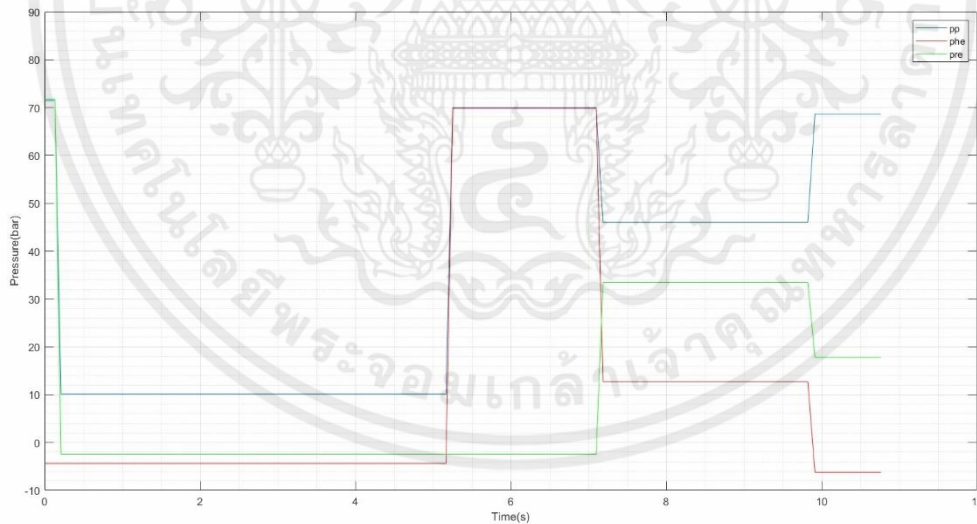
รูปที่ 4.68 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาของกระบอกสูบที่ 1 ในการทดลอง 2 กระบอกสูบ ต่อแบบขนาน โดยการใช้ Flow divider แทนข้อต่อสามทาง โดยไม่มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1



รูปที่ 4.69 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเฉลี่ยและเวลาของกระบอกสูบที่ 1 ในการทดลอง 2 กระบอก สูบต่อแบบขนาน โดยการใช้ Flow divider แทนข้อต่อสามทาง โดยไม่มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1



รูปที่ 4.70 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาของกระบอกสูบที่ 2 ในการทดลอง 2 กระบอกสูบ ต่อแบบขนาน โดยการใช้ Flow divider แทนข้อต่อสามทาง โดยไม่มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1

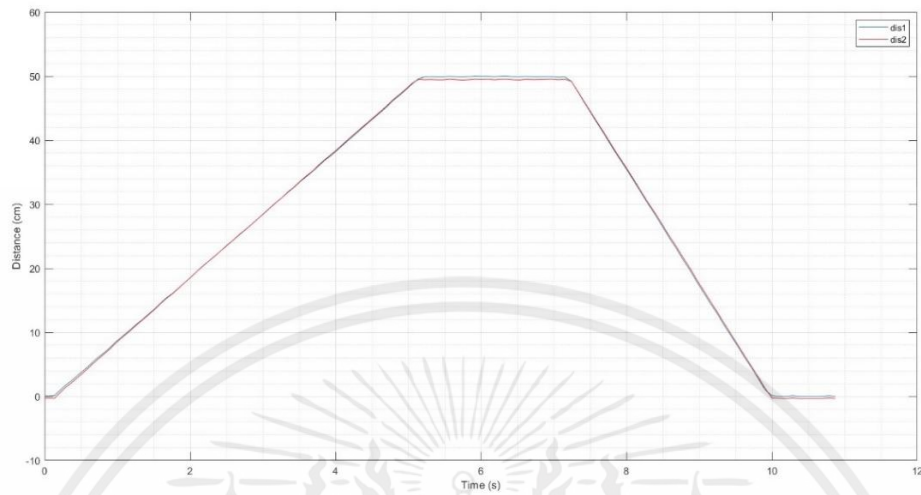


รูปที่ 4.71 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเฉลี่ยและเวลาของกระบอกสูบที่ 2 ในการทดลอง 2 กระบอกสูบ ต่อแบบขนาน โดยการใช้ Flow divider แทนข้อต่อสามทาง โดยไม่มีมวลถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1

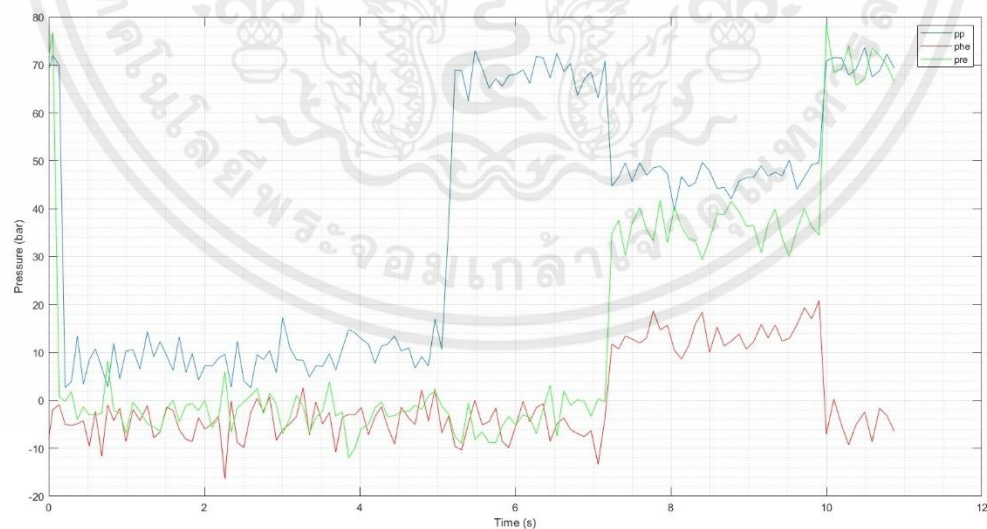
จากรูปที่ 4.67 กราฟแสดงให้เห็นว่ากระบอกสูบที่ 1 และกระบอกสูบที่ 2 ยืดออกพร้อมกันที่เวลา 0.210189 วินาที หดกลับพร้อมกันที่เวลา 7.09828 วินาทีและจากรูปที่ 4.69 และ 4.71 แสดงให้เห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงของความดันที่เวลานั้นๆ การยืดออกและหดกลับพร้อมกันเกิดจาก flow divider แบ่งอัตราการไหลไปยังกระบอกที่ 1 และ 2 ได้เท่ากัน



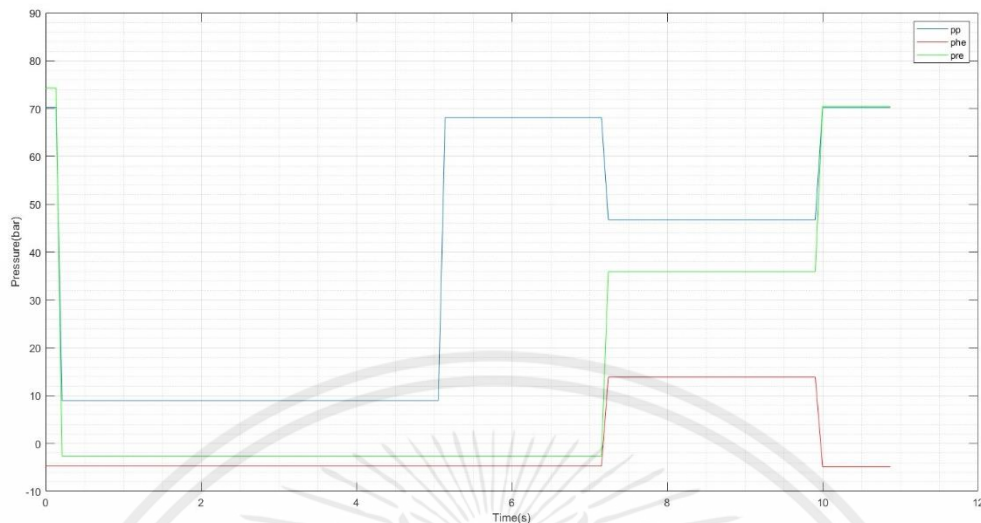
4.4.2 ผลการทดลองเมื่อมีน้ำหนักถ่วง 12 กิโลกรัม



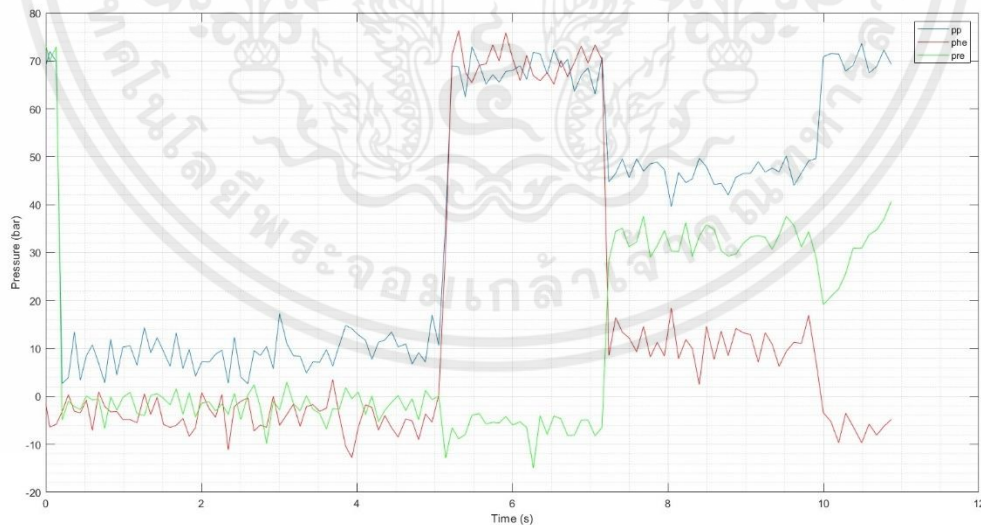
รูปที่ 4.72 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนที่ของกระบอกที่ 1 และ 2 กับเวลาในการทดลอง 2 กระบอกสูบต่อแบบขนาน โดยการใช้ Flow divider แทนข้อต่อสามทาง โดยมีมวล 12 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1



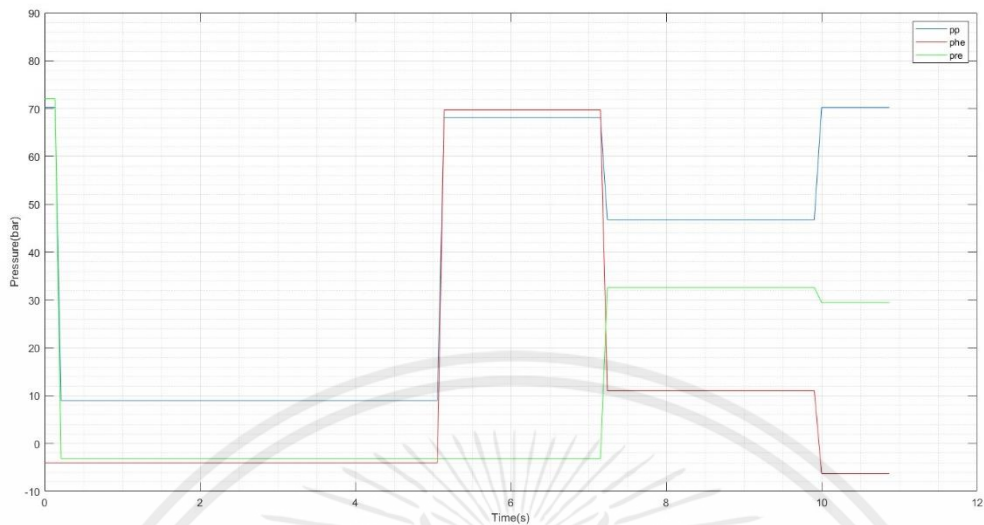
รูปที่ 4.73 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาของกระบอกสูบที่ 1 ในการทดลอง 2 กระบอกสูบต่อแบบขนาน โดยการใช้ Flow divider แทนข้อต่อสามทาง โดยมีมวล 12 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1



รูปที่ 4.74 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเฉลี่ยและเวลาของกระบอกสูบที่ 1 ในการทดลอง 2 กระบอกสูบต่อแบบขนาน โดยการใช้ Flow divider แทนข้อต่อสามทาง โดยมีมวล 12 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1



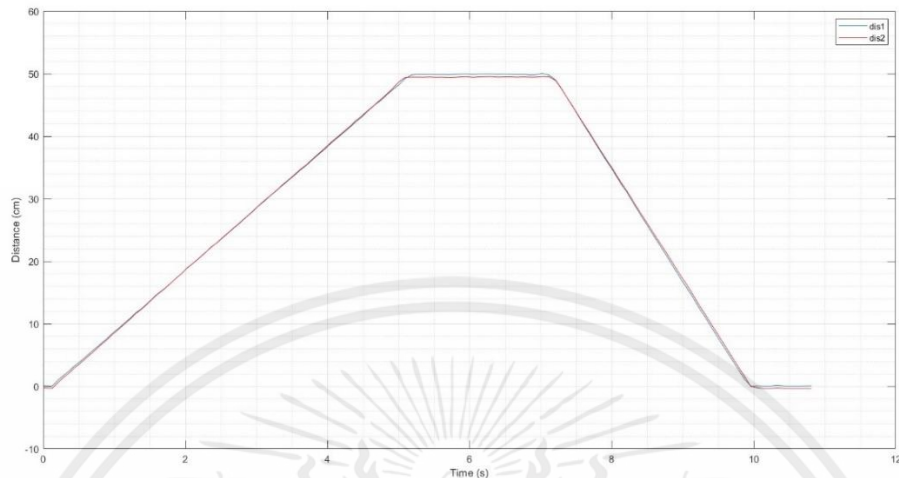
รูปที่ 4.75 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาของกระบอกสูบที่ 2 ในการทดลอง 2 กระบอกสูบต่อแบบขนาน โดยการใช้ Flow divider แทนข้อต่อสามทาง โดยมีมวล 12 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1



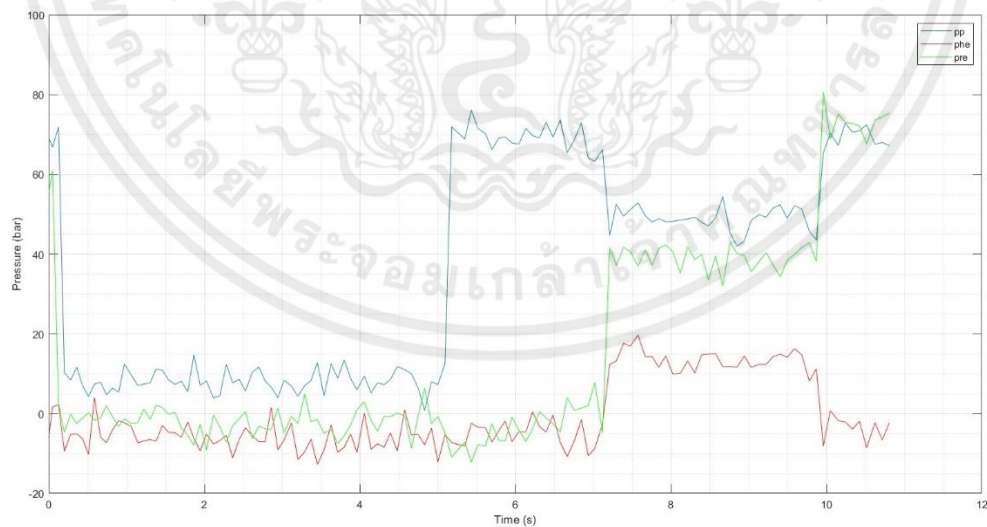
รูปที่ 4.76 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเฉลี่ยและเวลาของกระบอกสูบที่ 2 ในการทดลอง 2 กระบอกสูบต่อแบบขนาน โดยการใช้ Flow divider แทนข้อต่อสามทาง โดยมีมวล 12 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1

จากรูปที่ 4.72 กราฟแสดงให้เห็นว่ากระบอกสูบที่ 1 และกระบอกสูบที่ 2 ยึดออกพร้อมกันที่เวลา 0.134246 วินาที หดกลับพร้อมกันที่เวลา 7.15374 วินาทีและจากรูปที่ 4.74 และ 4.76 แสดงให้เห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงของความดันที่เวลานั้นๆ การยึดออกและหดกลับพร้อมกันเกิดจาก flow divider แบ่งอัตราการไหลไปยังกระบอกที่ 1 และ 2 ได้เท่ากัน

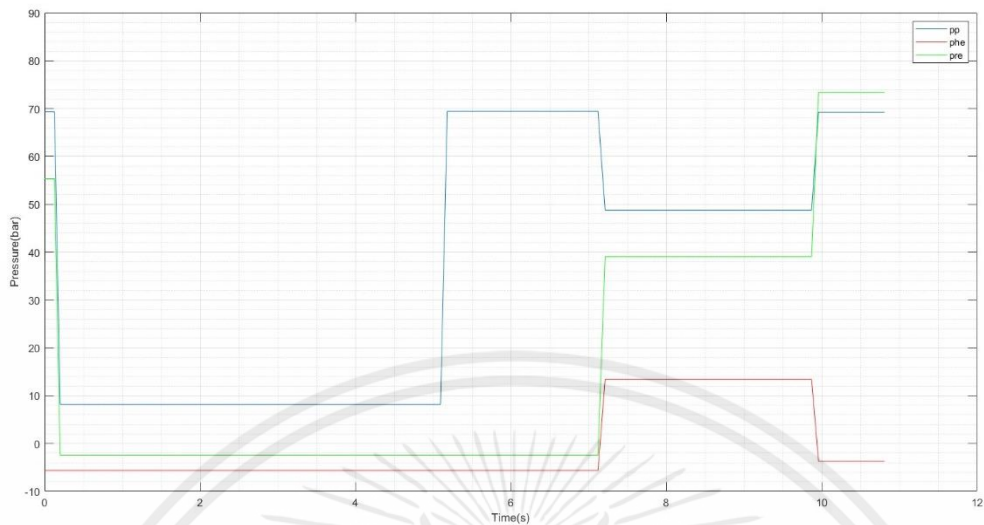
4.4.3 ผลการทดลองเมื่อมีน้ำหนักถ่วง 29.5 กิโลกรัม



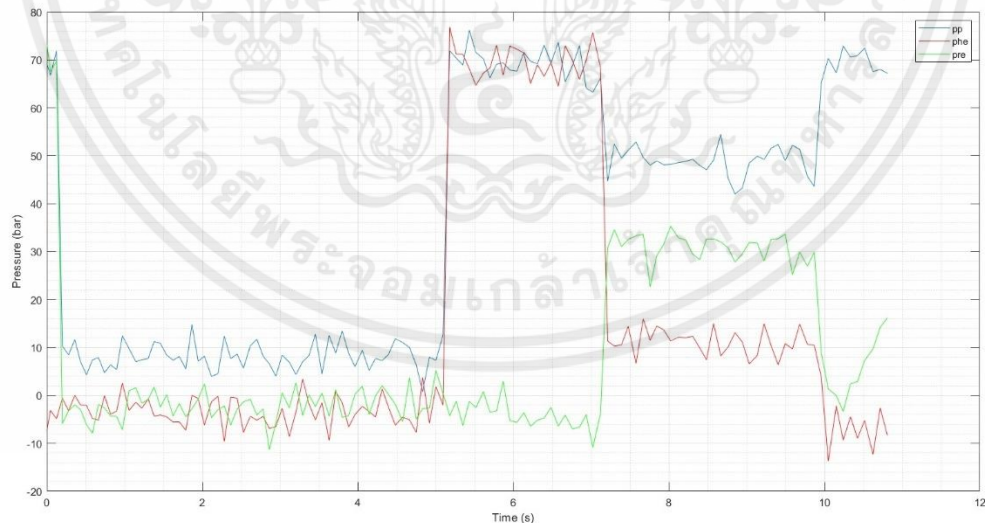
รูปที่ 4.77 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนที่ของกระบอกที่ 1 และ 2 กับเวลา ในการทดลอง 2 กระบอกสูบต่อแบบขนาน โดยการใช้ Flow divider แทนข้อต่อสามทาง โดยมีมวล 29.5 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1



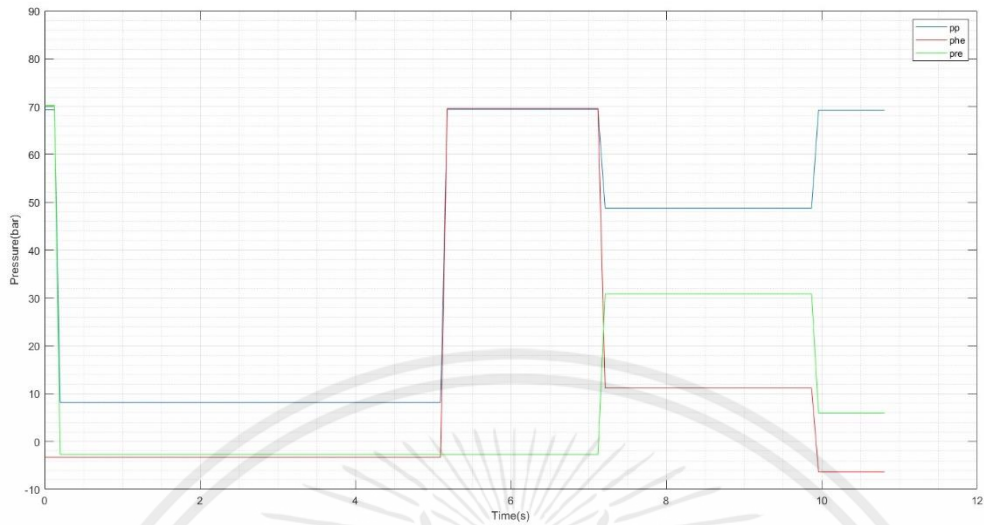
รูปที่ 4.78 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาของกระบอกสูบที่ 1 ในการทดลอง 2 กระบอกสูบ ต่อแบบขนาน โดยการใช้ Flow divider แทนข้อต่อสามทาง โดยมีมวล 29.5 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1



รูปที่ 4.79 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเฉลี่ยและเวลาของกระบอกสูบที่ 1 ในการทดลอง 2 กระบอกสูบต่อแบบขนาน โดยการใช้ Flow divider แทนข้อต่อสามทาง โดยมีมวล 29.5 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1



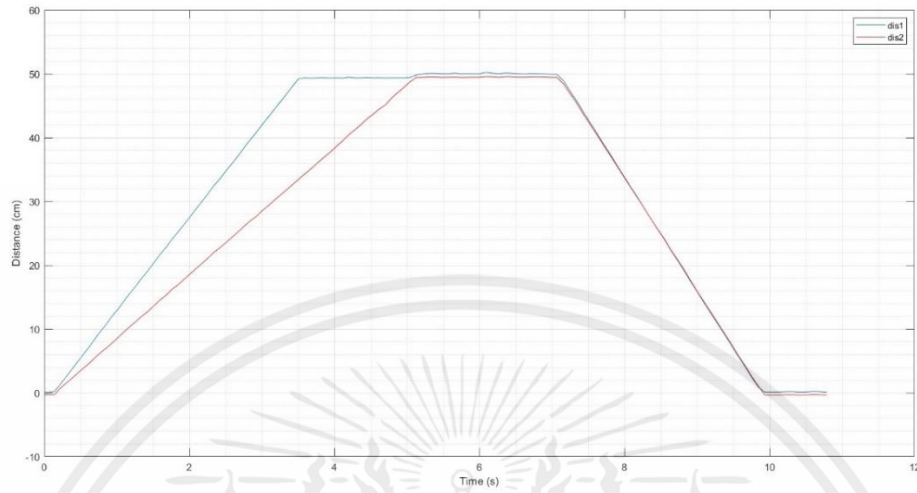
รูปที่ 4.80 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาของกระบอกสูบที่ 2 ในการทดลอง 2 กระบอกสูบต่อแบบขนาน โดยการใช้ Flow divider แทนข้อต่อสามทาง โดยมีมวล 29.5 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1



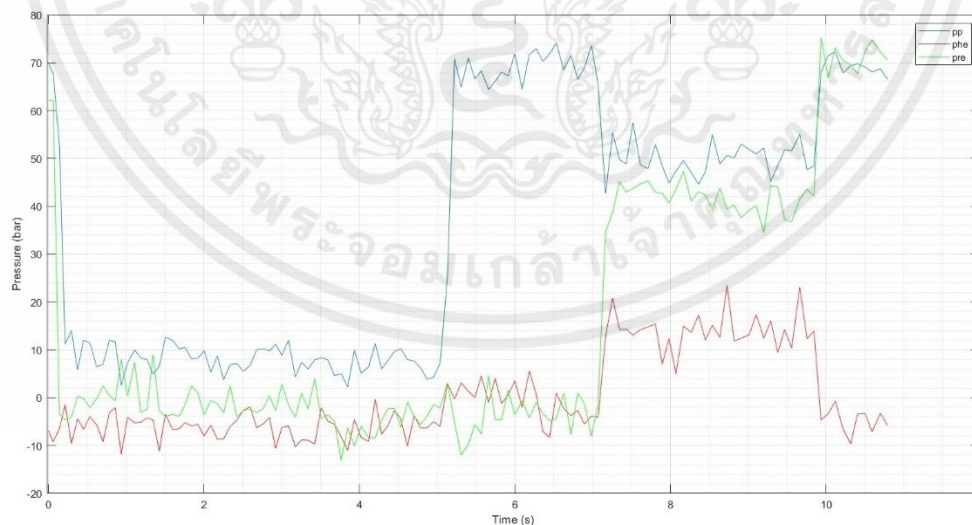
รูปที่ 4.81 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเฉลี่ยและเวลาของกระบอกสูบที่ 2 ในการทดลอง 2 กระบอกสูบต่อแบบขนาน โดยการใช้ Flow divider แทนข้อต่อสามทาง โดยมีมวล 29.5 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1

จากรูปที่ 4.77 กราฟแสดงให้เห็นว่ากระบอกสูบที่ 1 และกระบอกสูบที่ 2 ยึดออกพร้อมกันที่เวลา 0.125614 วินาที หดกลับพร้อมกันที่เวลา 7.02245 วินาทีและจากรูปที่ 4.79 และ 4.81 แสดงให้เห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงของความดันที่เวลานั้นๆ การยึดออกและหดกลับพร้อมกันเกิดจาก flow divider แบ่งอัตราการไหลไปยังกระบอกที่ 1 และ 2 ได้เท่ากัน

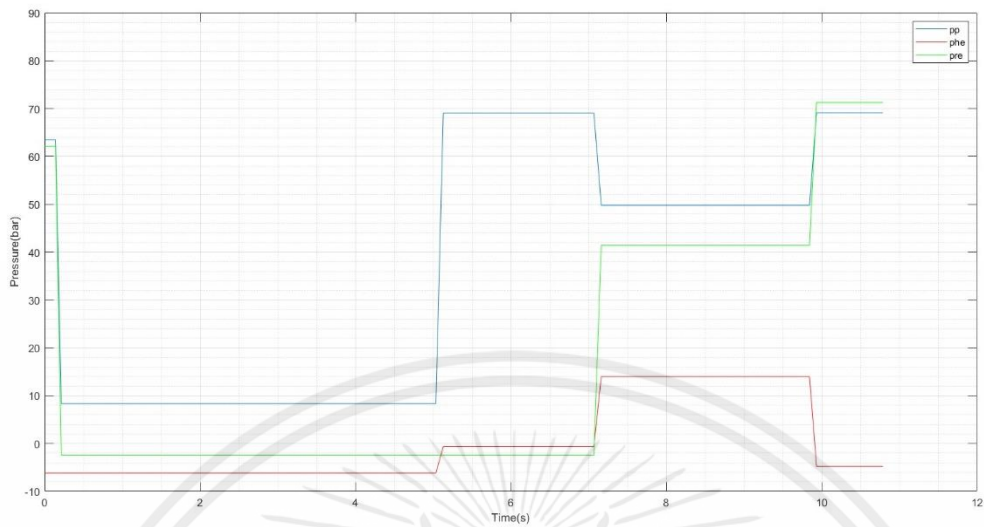
4.4.4 ผลการทดลองเมื่อมีน้ำหนักถ่วง 47 กิโลกรัม



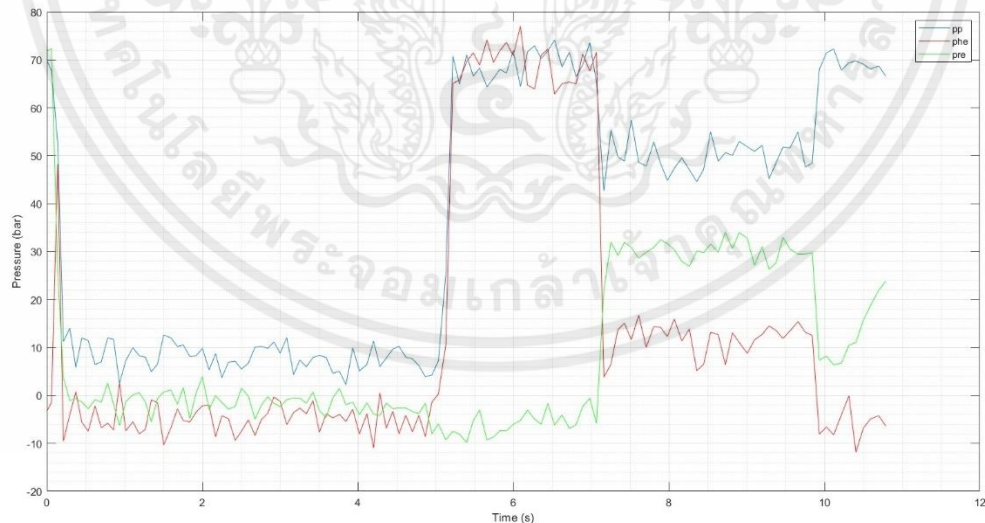
รูปที่ 4.82 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนที่ของกระบอกที่ 1 และ 2 กับเวลา ในการทดลอง 2 กระบอกสูบต่อแบบขนาน โดยการใช้ Flow divider แทนข้อต่อสามทาง โดยมีมวล 47 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1



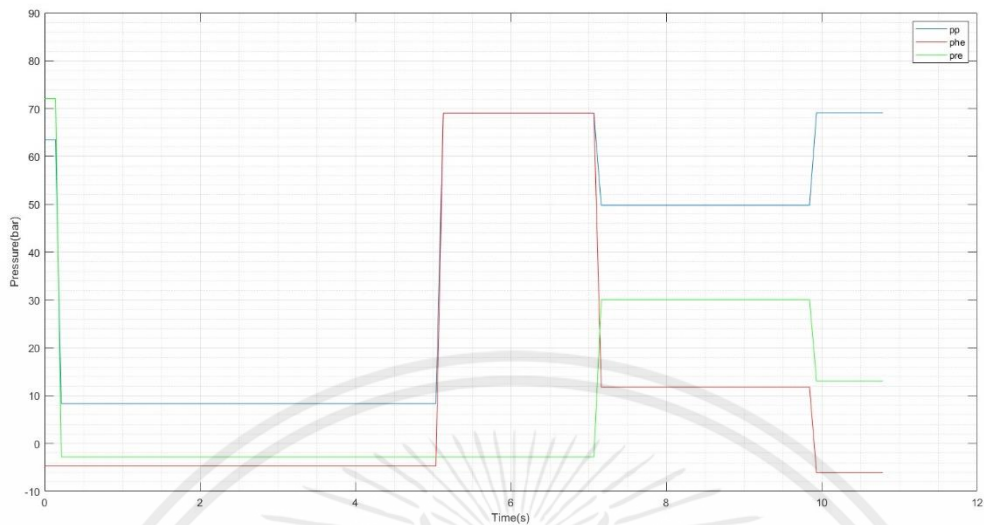
รูปที่ 4.83 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาของกระบอกสูบที่ 1 ในการทดลอง 2 กระบอกสูบ ต่อแบบขนาน โดยการใช้ Flow divider แทนข้อต่อสามทาง โดยมีมวล 47 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1



รูปที่ 4.84 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเฉลี่ยและเวลาของกระบอกสูบที่ 1 ในการทดลอง 2 กระบอกสูบต่อแบบขนาน โดยการใช้ Flow divider แทนข้อต่อสามทาง โดยมีมวล 47 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1



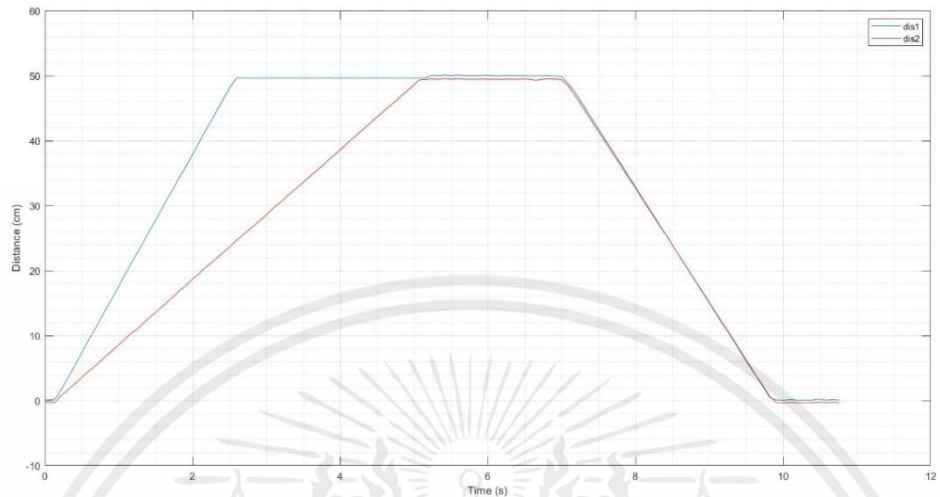
รูปที่ 4.85 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาของกระบอกสูบที่ 2 ในการทดลอง 2 กระบอกสูบต่อแบบขนาน โดยการใช้ Flow divider แทนข้อต่อสามทาง โดยมีมวล 47 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1



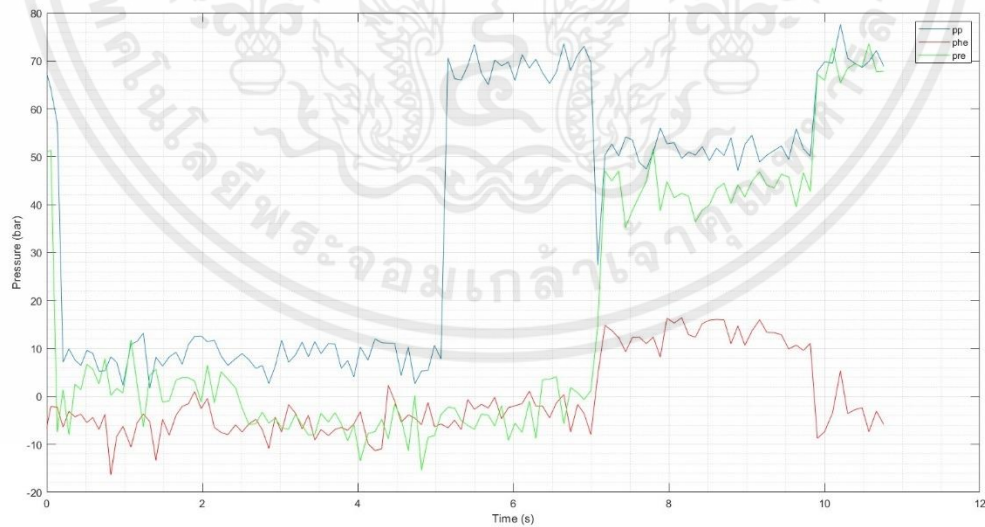
รูปที่ 4.86 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเฉลี่ยและเวลาของกระบอกสูบที่ 2 ในการทดลอง 2 กระบอกสูบต่อแบบขนาน โดยการใช้ Flow divider แทนข้อต่อสามทาง โดยมีมวล 47 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1

จากรูปที่ 4.82 กราฟแสดงให้เห็นว่ากระบอกสูบที่ 1 และกระบอกสูบที่ 2 ยึดออกพร้อมกันที่เวลา 0.140675 วินาที แต่กระบอกที่ 1 ยึดออกเร็วกว่ากระบอกที่ 2 หดกลับพร้อมกันที่เวลา 7.06902 วินาทีและจากรูปที่ 4.84 และ 4.86 แสดงให้เห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงของความดันที่เวลานั้นๆ จากมวลถ่วงที่มากขึ้น overrunning load ที่มากขึ้น ทำให้ flow divider ไม่สามารถแบ่งอัตราการไหลให้เท่ากันได้ในการยึดออก แต่ในการหดกลับเมื่อไม่มีผลจาก overrunning load flow divider ยังสามารถแบ่งอัตราการไหลให้เท่ากันได้ทำให้หดกลับพร้อมกัน

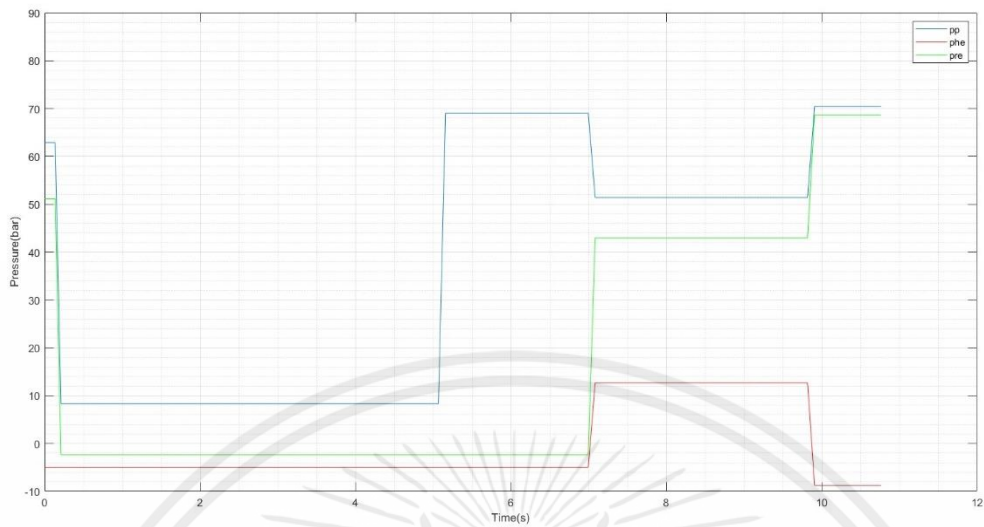
4.4.5 ผลการทดลองเมื่อมีน้ำหนักถ่วง 64.5 กิโลกรัม



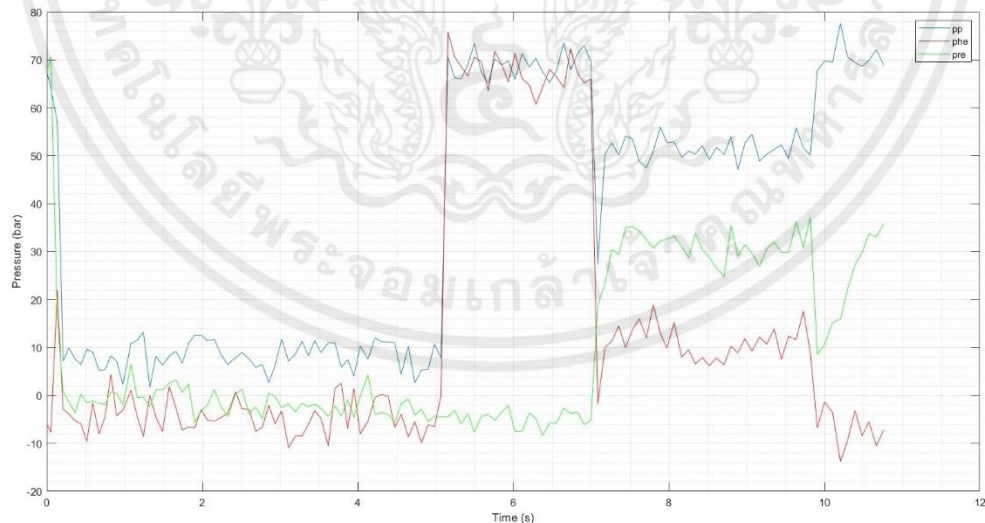
รูปที่ 4.87 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนที่ของกระบอกที่ 1 และ 2 กับเวลาในการทดลอง 2 กระบอกสูบต่อแบบขนาน โดยการใช้ Flow divider แทนข้อต่อสามทาง โดยมีมวล 64.5 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1



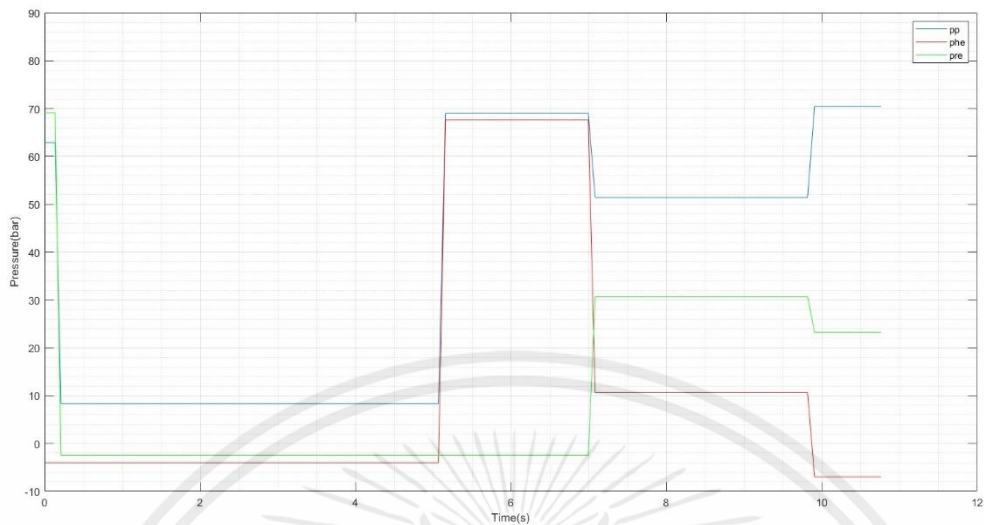
รูปที่ 4.88 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาของกระบอกสูบที่ 1 ในการทดลอง 2 กระบอกสูบต่อแบบขนาน โดยการใช้ Flow divider แทนข้อต่อสามทาง โดยมีมวล 64.5 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1



รูปที่ 4.89 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเฉลี่ยและเวลาของกระบอกสูบที่ 1 ในการทดลอง 2 กระบอกสูบต่อแบบขนาน โดยการใช้ Flow divider แทนข้อต่อสามทาง โดยมีมวล 64.5 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1



รูปที่ 4.90 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาของกระบอกสูบที่ 1 ในการทดลอง 2 กระบอกสูบต่อแบบขนาน โดยการใช้ Flow divider แทนข้อต่อสามทาง โดยมีมวล 64.5 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1



รูปที่ 4.91 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเฉลี่ยและเวลาของกระบอกสูบที่ 1 ในการทดลอง 2 กระบอกสูบต่อแบบขนาน โดยการใช้ Flow divider แทนข้อต่อสามทาง โดยมีมวล 64.5 กิโลกรัม ถ่วงที่ปลายกระบอกสูบที่ 1

จากรูปที่ 4.87 กราฟแสดงให้เห็นว่ากระบอกสูบที่ 1 และกระบอกสูบที่ 2 ยึดออกพร้อมกันที่เวลา 0.135425 วินาที แต่กระบอกที่ 1 ยึดออกเร็วกว่ากระบอกที่ 2 หดกลับพร้อมกันที่เวลา 6.99729 วินาทีและจากรูปที่ 4.89 และ 4.91 แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของความดันที่เวลานั้นๆ จากมวลถ่วงที่มากขึ้น overrunning load ที่มากขึ้น ทำให้ flow divider ไม่สามารถแบ่งอัตราการไหลให้เท่ากันได้ในการยึดออก แต่ในการหดกลับเมื่อไม่มีผลจาก overrunning load flow divider ยังสามารถแบ่งอัตราการไหลให้เท่ากันได้ทำให้หดกลับพร้อมกัน

ตารางที่ 4.11 ตารางบันทึกผลความเร็วและอัตราการไหลของการต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอก แบบ
ขนาน ขณะยืดออก

มวล(kg)	ยืดออก						
	กระบอกสูบ 1			กระบอกสูบ 2			
	ความเร็ว(cm/s)		อัตราการไหล(cm ² /s)	ความเร็ว(cm/s)		อัตราการไหล(cm ² /s)	
	ช่วง1	ช่วง2		ช่วง1	ช่วง2		
0	9.922	-	124.6835	9.8917	-	124.3028	
12	9.8708	-	124.0401	9.9637	-	125.2075	
27.5	9.8711	-	124.0439	9.9742	-	125.3395	
47	14.558	-	182.9412	9.9887	-	125.5217	
64.5	20.321	-	255.3612	10.012	-	125.8145	

ตารางที่ 4.12 ตารางบันทึกผลความเร็วและอัตราการไหลของการต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก2 กระบอก แบบขนาน
ขณะหดกลับ

มวล(kg)	หดกลับ					
	กระบอกสูบ 1			กระบอกสูบ 2		
	ความเร็ว(cm/s)		อัตราการไหล(cm ² /s)	ความเร็ว(cm/s)		อัตราการไหล(cm ² /s)
	ช่วง1	ช่วง2		ช่วง1	ช่วง2	
0	18.036	-	115.59	-	18.178	116.5001
12	18.055	-	115.711	-	17.978	115.2183
27.5	18.031	-	115.558	-	17.826	114.2441
47	17.925	-	114.878	-	17.682	113.3213
64.5	17.811	-	114.148	-	17.543	112.4304

ตารางที่ 4.13 ตารางบันทึกผลความดันของการต่อกระบอกลูกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอกแบบขนาน ขณะยืดออก

มวล(kg)	ความดันช่วงยืดออก (bar)									
	pp		กระบอกลูกสูบ 1				กระบอกลูกสูบ 2			
			PHE		PRE		PHE		PRE	
	ช่วง1	ช่วง2	ช่วง1	ช่วง2	ช่วง1	ช่วง2	ช่วง1	ช่วง2	ช่วง1	ช่วง2
0	10.127	-	0	-	0	-	0	-	0	-
12	8.993	-	0	-	0	-	0	-	0	-
29.5	8.189	-	0	-	0	-	0	-	0	-
47	8.329	-	0	-	0	-	0	-	0	-
64.5	8.309	-	0	-	0	-	0	-	0	-

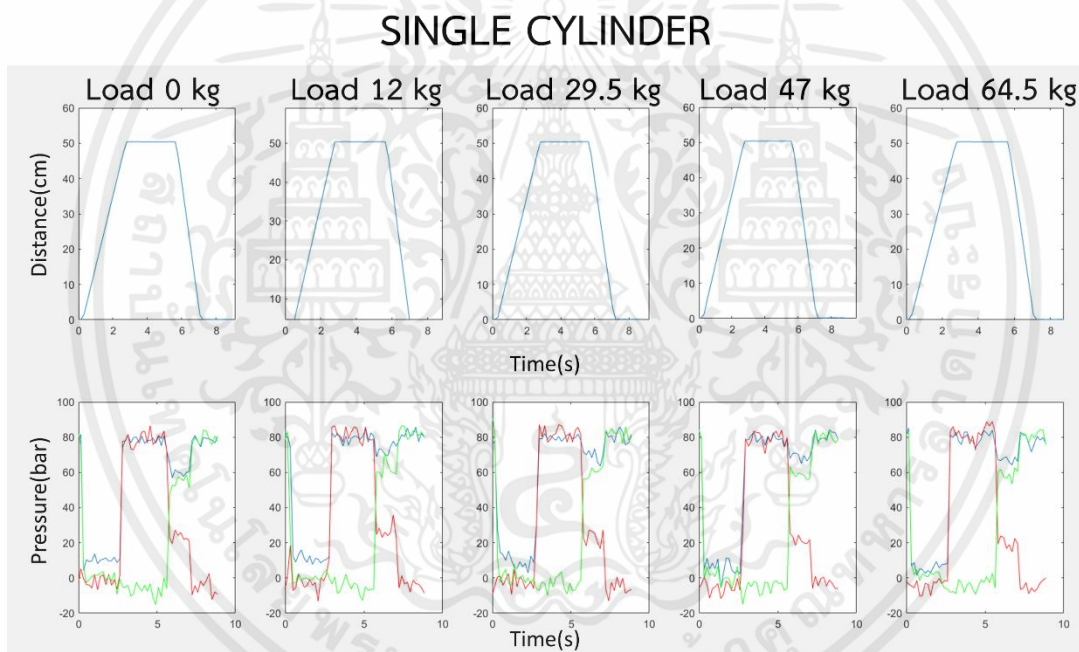
ตารางที่ 4.14 ตารางบันทึกผลความดันของการต่อกระบอกลูกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอกแบบขนาน ขณะหดกลับ

มวล(kg)	ความดันช่วงหดกลับ (bar)									
	pp		กระบอกลูกสูบ 1				กระบอกลูกสูบ 2			
			PHE		PRE		PHE		PRE	
	ช่วง1	ช่วง2	ช่วง1	ช่วง2	ช่วง1	ช่วง2	ช่วง1	ช่วง2	ช่วง1	ช่วง2
0	46.014	-	13.574	-	36.624	-	12.736	-	33.446	-
12	46.771	-	13.888	-	35.930	-	11.045	-	32.592	-
29.5	48.764	-	13.421	-	39.050	-	11.163	-	30.861	-
47	49.778	-	13.986	-	41.418	-	11.834	-	30.648	-
64.5	51.441	-	12.712	-	43.000	-	10.646	-	30.685	-

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

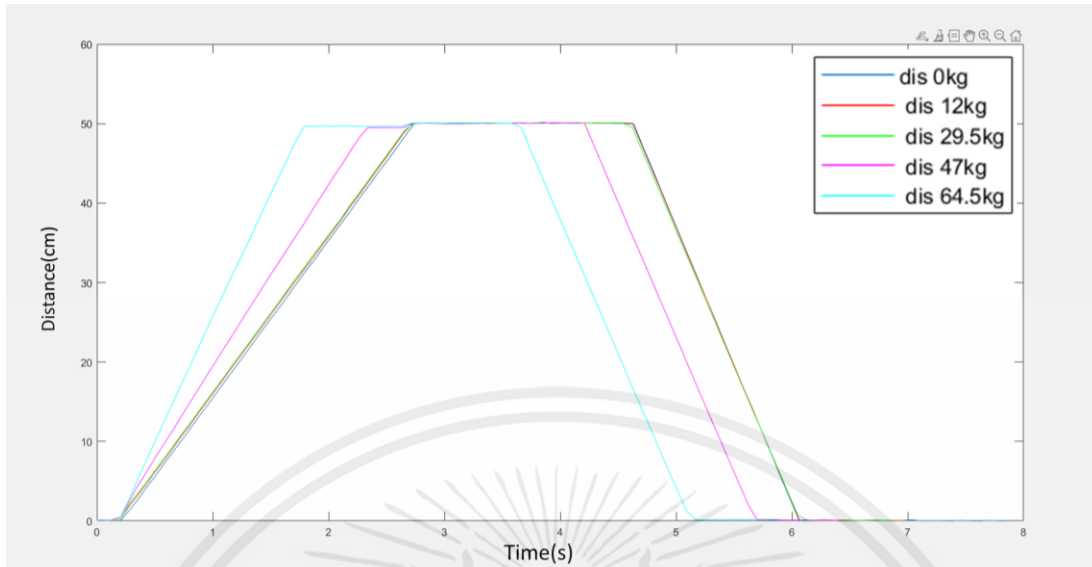
5.1 การทดลองที่ 1 การทดลองกระบอกสูบเดียว



รูปที่ 5.1 กราฟผลการทดลองกระบอกสูบเดียวที่ load ต่างกัน

(กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนที่กับเวลา และ ความดันกับเวลา)

- ความดันปั๊ม
- ความดัน head end
- ความดัน rod end



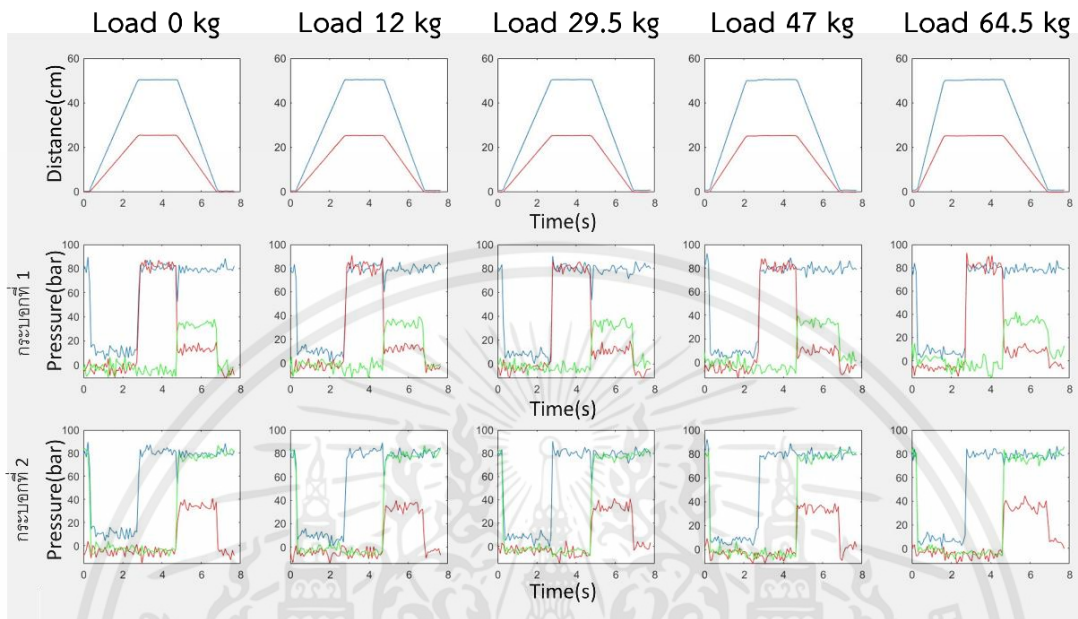
รูปที่ 5.2 กราฟผลแสดงการเคลื่อนที่การทดลองกระบอกสูบเดี่ยวที่ load ต่างกัน

ในขณะที่ดอออกแบบไม่มีมวลถ่วง,มวลถ่วง12kg และ 29.5kg มีความเร็วในการยืดออกใกล้เคียงกัน ความดันด้าน head end ใกล้เคียง 0 bar เกิดจากโพลดที่มีค่าน้อยและมีมวลที่ถ่วงดึงให้ก้านกระบอกสูบเคลื่อนที่ลง ความดันด้าน rod end ใกล้เคียง 0 bar ความดันที่ด้านนี้เกิดจากความดันที่ถังน้ำมันซึ่งมีค่าเป็น 0 bar รวมกับ pressure drop ของสายน้ำมันกับอุปกรณ์ต่างๆจากทางด้าน rod end ของกระบอกสูบไปถึงถังน้ำมันซึ่งมีค่าที่น้อย ความดันของปั๊มสูงกว่าความดันด้าน head end เกิดจาก pressure drop ของสายน้ำมันกับอุปกรณ์ต่างๆจากปั๊มไปถึง head end ของกระบอกสูบ แบบมีมวลถ่วง 47kg และ 64.5kg จะมีความดันของปั๊มที่ต่ำลงตามลำดับ และมีความเร็วยืดออกที่มากขึ้นตามลำดับเป็นผลมาจาก over running load

ในขณะที่หกดกลับความเร็วในทุกกรณีมีค่าเท่ากัน ความดันของปั๊มสูงกว่าความดันด้าน rod end เกิดจาก pressure drop ของสายน้ำมันกับอุปกรณ์ต่างๆจากปั๊มไปถึง rod end ของกระบอกสูบ ความดันด้าน Rod end สูงกว่าความดันด้าน head end เนื่องจากพื้นที่หน้าตัดทางด้าน rod end ที่น้อยกว่าด้าน head end และเมื่อมวลมากขึ้นจะทำให้ความดันของปั๊มและความดันด้าน rod end สูงขึ้น แต่ในการทดลองนี้ที่มวล 29.5kg , 47kg และ 64.5kg มีค่าลดลงเนื่องจากความดันสูงกว่า cracking pressure ของ pressure relief valve ทำให้ pressure relief valve เริ่มเปิดมีการแบ่งการไหลของน้ำมัน

5.2 การทดลองที่ 2 การต่อกระบอสูบไฮดรอลิก 2 กระบอก แบบอนุกรม

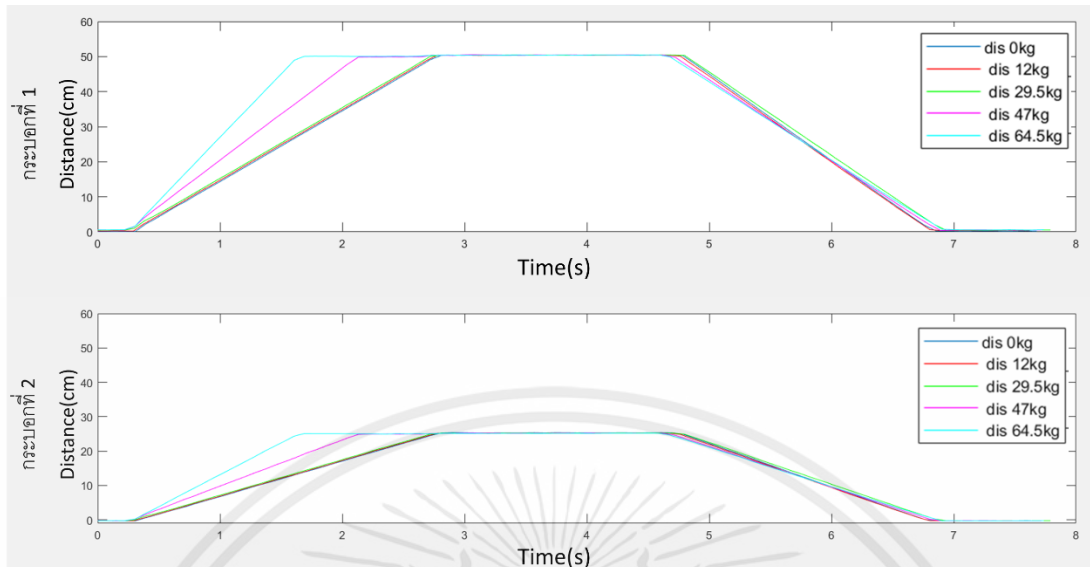
TWO CYLINDERS IN SERIES CIRCUIT



รูปที่ 5.3 กราฟผลการทดลองต่อกระบอสูบไฮดรอลิก 2 กระบอก แบบอนุกรมที่ load ต่างกัน

(กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนที่กับเวลา และ ความดันกับเวลา)

- การเคลื่อนที่ของกระบอสูบที่ 1
- การเคลื่อนที่ของกระบอสูบที่ 2
- ความดันปั๊ม
- ความดัน head end
- ความดัน rod end



รูปที่ 5.4 กราฟแสดงผลการเคลื่อนที่การทดลองต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอกแบบอนุกรมที่ load ต่างกัน การต่อกระบอกสูบ 2 กระบอกแบบอนุกรม กระบอกทั้งสองจะทำงานพร้อมกัน คือ เริ่มและหยุดพร้อมกัน

ระยะยืดของกระบอกที่ 1 จะยืดออกสุด(50 cm) ส่วนกระบอกที่ 2 จะยืดออกเท่ากับอัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัดด้าน rod end ของกระบอกสูบที่ 1 ต่อพื้นที่หน้าตัดด้าน head end ของกระบอกสูบที่ 2 คูณด้วยระยะยืดของกระบอกสูบที่ 1 โดยในการทดลองนี้กระบอกสูบที่ 2 ยืดออกเป็นระยะทางครึ่งหนึ่งของระยะยืดกระบอกสูบที่ 1 (25.5 cm)

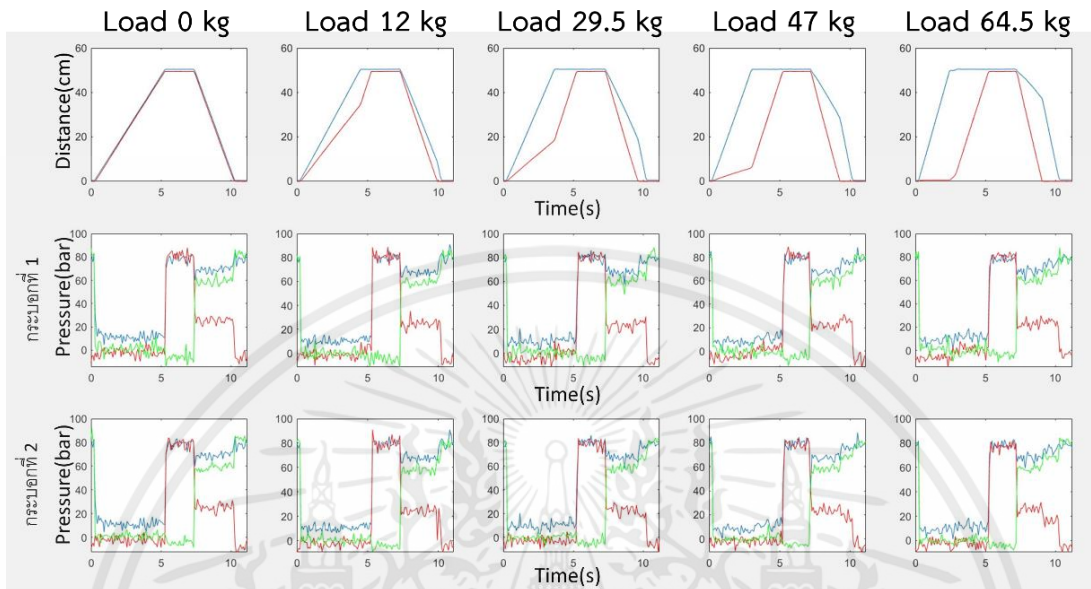
ในขณะที่ยืดออกแบบไม่มีมวลถ่วง,มวลถ่วง12kg และ มวลถ่วง29.5kg มีความเร็วในการยืดออกใกล้เคียงกัน แบบมีมวลถ่วง 47kg และ 64.5kg จะความเร็วยืดออกที่มากขึ้นตามลำดับเป็นผลมาจาก over running load

ในขณะที่หดกลับความเร็วในทุกกรณีที่มีมวลไม่เท่ากัน ความเร็วหดกลับของกระบอกสูบที่ 1 และ กระบอกที่ 2 ยังคงมีค่าเท่าเดิมเนื่องจากอัตราการไหลที่คงที่ อัตราส่วนความเร็วของกระบอกสูบที่ 1 ต่อกระบอกสูบที่ 2 เท่ากับระยะยืดของกระบอกสูบที่ 1 ต่อกระบอกสูบที่ 2

เนื่องจากการต่อแบบอนุกรมทำให้ความดันที่ด้าน rod end ของกระบอกสูบที่ 1 ใกล้เคียง ความดันที่ด้าน head end ของกระบอกสูบที่ 2

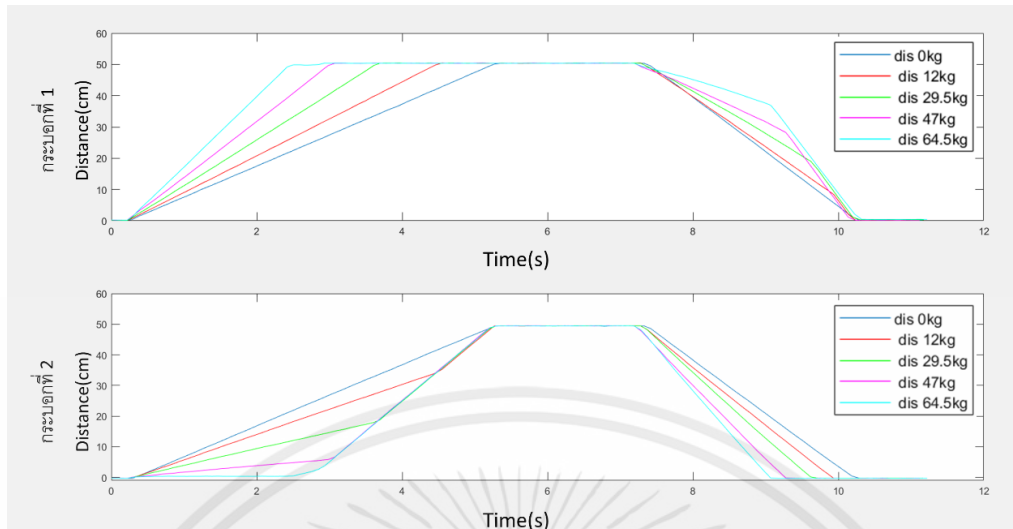
5.3 การทดลองที่ 3 การต่อกระบอสูบไฮดรอลิก 2 กระบอก แบบขนาน

TWO CYLINDERS IN PARALLEL CIRCUIT



รูปที่ 5.5 กราฟผลการทดลองต่อกระบอสูบไฮดรอลิก 2 กระบอก แบบขนานที่ load ต่างกัน

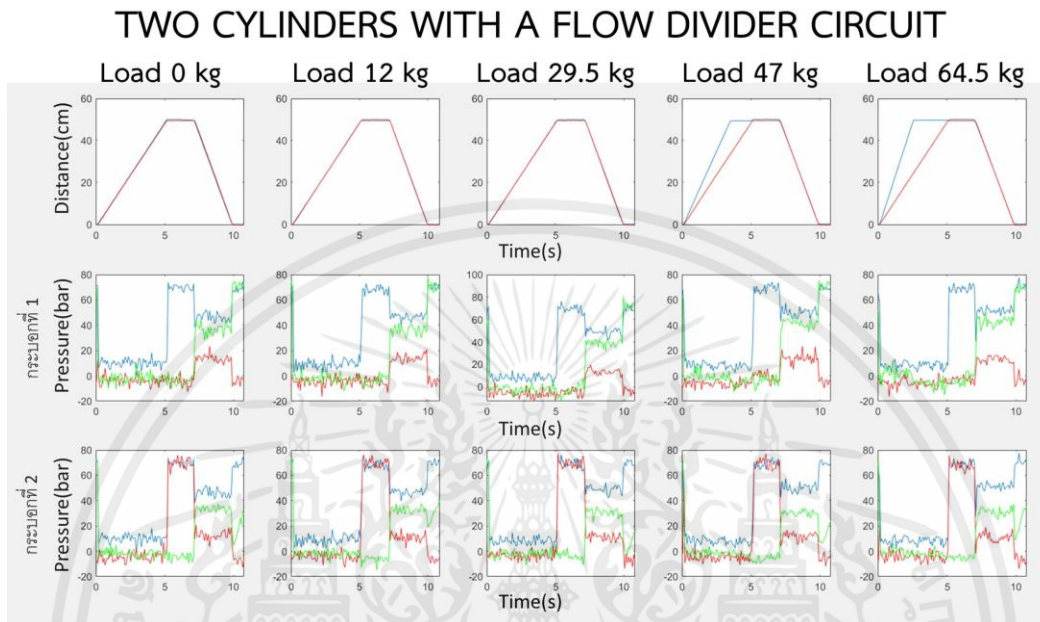
- การเคลื่อนที่ขวกระบอสูบที่ 1
- การเคลื่อนที่ขวกระบอสูบที่ 2
- ความดันปั้ม
- ความดัน head end
- ความดัน rod end



รูปที่ 5.6 กราฟแสดงผลการเคลื่อนที่การต่อกระบอกสูบไฮดรอลิก2 กระบอกแบบขนาน load ต่างกัน

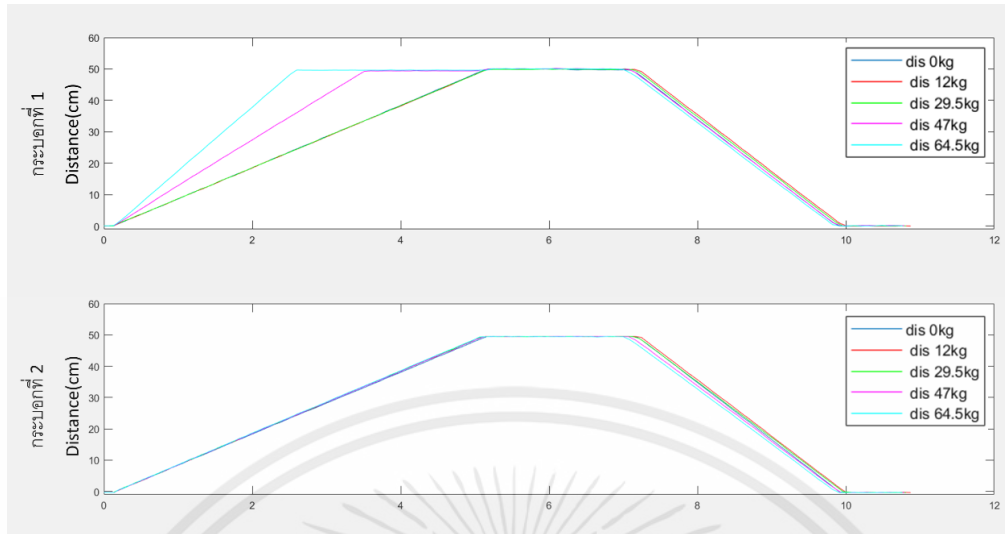
ในขณะที่ยืดออกถ้าทั้งสองกระบอกมีมวลถ่วงเท่ากันจะมีความเร็วยืดออกเท่ากัน เมื่อมวลที่ถ่วงที่กระบอกสูบที่ 1 เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้กระบอกสูบที่ 1 ยืดออกเร็วขึ้น กระบอกสูบที่ 2 จะยืดออกช้าลง เพิ่มมวลไปถึงค่าหนึ่งกระบอกสูบที่ 1 จะยืดออกสุดก่อนที่กระบอกสูบที่ 2 จะยืดออก ซึ่งเป็นผลมาจาก over running load และ อีกเหตุผลคือ มีการแบ่งอัตราการไหลไปยังทั้งสองกระบอกโดยจะไหลไปยังกระบอกสูบที่มีโหลดหรือความดันที่ต่ำมากกว่า เมื่อกระบอกสูบที่ 1 ยืดออกสุดกระบอกสูบที่ 2 จะมีความเร็วที่มากขึ้นเนื่องจากอัตราการไหลทั้งหมดไหลไปยังกระบอกที่ 2 โดยความเร็วกระบอกที่ 2 หลังจากกระบอกที่ 1 ยืดสุดมีค่าเท่ากันทุกกรณีที่มีมวลถ่วงไม่เท่ากัน เกิดจากอัตราการไหลมีค่าคงที่ ในขณะที่หดกลับถ้าทั้งสองกระบอกมีมวลถ่วงเท่ากันจะมีความเร็วหดกลับเท่ากัน กรณีถ่วงมวลที่กระบอกที่ 1 กระบอกสูบที่ 2 ซึ่งมีโหลดต่ำกว่าใช้ความดันต่ำกว่าจะมีความเร็วหดกลับที่มากกว่า เมื่อกระบอกที่ 2 หดกลับสุดความเร็วกระบอกที่ 1 จะเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากอัตราการไหลทั้งหมดไหลไปยังกระบอกที่ 1 ในขณะเดียวกันความดันด้าน rod end ของกระบอกที่ 1 และ 2 ก็เพิ่มขึ้นเพื่อเอาชนะโหลดที่มากขึ้น มวลถ่วงที่กระบอกสูบที่ 1 ที่มากขึ้นส่งผลให้อัตราการไหลที่แบ่งมาที่กระบอกสูบที่ 1 น้อยลงเปรียบเทียบความดันขณะหดกลับของการต่อแบบขนานและอนุกรมโดยมีมวลที่ถ่วงเท่ากัน ความดันของการต่อแบบอนุกรมจะสูงกว่าแบบขนานเนื่องจากการต่อแบบอนุกรมจะต้องเอาชนะโหลดของทั้งกระบอกที่ 1 และ 2 แต่แบบขนานจะมีทางเลือกให้ไหลไปที่กระบอกที่มีโหลดน้อยกว่าก่อนเมื่อหดสุดแล้วความดันจะเพิ่มขึ้นเอาชนะโหลดของกระบอกสูบที่มีโหลดมากกว่า ดังนั้นความดันสูงสุดของการต่อแบบขนานคือความดันที่เอาชนะโหลดสูงสุดเพียงกระบอกเดียว

5.4 การทดลองที่ 4 การทดลองต่อกระบอกลูกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอก แบบขนานโดยใช้ Flow divider



รูปที่ 5.7 กราฟผลการทดลองต่อกระบอกลูกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอก แบบขนานโดยใช้ Flow divider ที่ load ต่างกัน

- การเคลื่อนที่ของกระบอกลูกสูบที่ 1
- การเคลื่อนที่ของกระบอกลูกสูบที่ 2
- ความดันปัม
- ความดัน head end
- ความดัน rod end



รูปที่ 5.8 กราฟแสดงผลการเคลื่อนที่การต่อกระบอกลูกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอก แบบขนาน load ต่างกัน

ในขณะที่ยึดออกแบบไม่มีมวลถ่วง, มวลถ่วง 12 kg และ มวลถ่วง 29.5 kg กระบอกลูกสูบที่ 1 มีความเร็วในการยึดออกเท่ากัน แบบมวลถ่วง 47kg และ 64.5kg มีความเร็วในการยึดออกเพิ่มมากขึ้นตามลำดับซึ่งเป็นผลมาจาก over running load กระบอกที่ 2 จะยึดออกด้วยความเร็วที่เท่ากันทุกกรณีเนื่องจากอัตราการไหลที่ flow divider แบ่งไปยังกระบอกลูกสูบที่ 1 กับ 2 เท่ากัน

ในขณะที่หดรัดถึงแม้ไหลของทั้งสองกระบอกลูกสูบจะไม่เท่ากันแต่ความเร็วหดรัดของทั้งสองกระบอกลูกสูบเท่ากัน เกิดจาก flow divider ที่แบ่งอัตราการไหลให้ไหลเท่ากันทั้งสองฝั่ง ความดันด้าน rod end ของกระบอกลูกสูบที่มีไหลมากกว่าจะมีความดันมากกว่าด้าน rod end ของกระบอกลูกสูบที่มีไหลต่ำกว่า

เปรียบเทียบการต่อขนานแบบใช้ข้อต่อสามทางและ flow divider ในขณะยึดออกแบบไม่มีมวลถ่วง, มวลถ่วง 12kg และ มวลถ่วง 29.5kg แบบที่ใช้ flow divider มีความเร็วยึดออกทั้งสองกระบอกลูกสูบเท่ากัน ส่วนแบบที่ใช้สามทาง(การทดลองที่ 3 การต่อกระบอกลูกสูบไฮดรอลิก 2 กระบอก แบบขนาน) มีความเร็วในการยึดออกไม่เท่ากัน โดยเมื่อมวลมากขึ้นความเร็วจะมากขึ้นเป็นผลมาจาก over running load มวลถ่วง 47kg และ 64.5kg ทั้งการต่อที่ใช้สามทางและ flow divider จะมีความเร็วมากขึ้นตามมวลที่มากขึ้น เป็นผลมาจาก over running load เมื่อกระบอกลูกสูบที่ 1 เคลื่อนที่ออกสุดแบบที่ใช้สามทางกระบอกลูกสูบที่ 2 จะมีความเร็วเพิ่มมากขึ้น แบบที่ใช้ flow divider ความเร็วของกระบอกลูกสูบที่ 2 จะคงที่เท่าเดิม ในขณะที่หดรัดแบบที่ใช้ flow divider กระบอกลูกสูบที่ 1 และ

กระบอกสูบที่ 2 มีความเร็วหดกลับที่เท่ากัน และเมื่อมวลที่กระบอกสูบที่ 1 เพิ่มมากขึ้นความเร็วกระบอกสูบที่ 1 และ กระบอกสูบที่ 2 ยังคงเท่าเดิม แบบที่ใช้สามทางกระบอกสูบทั้งสองจะมีความเร็วในการหดกลับไม่เท่ากัน

