

# ระบบควบคุมกระบอกลูบไฮดรอลิกส์ด้วยแรงป้อนกลับ (Hydraulic cylinder control system with force feedback)

วิชญกร จักรครอง, วิลาวัณย์ บุตรศรี, รศ.ดร.วัชรินทร์ โพธิ์เงิน

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1518 ถนนประชาชื่น 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800 โทรศัพท์ : 0-2555-2000 ต่อ 3266

## บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้ เป็นการควบคุมกระบอกลูบไฮดรอลิกส์ด้วยแรงป้อนกลับ มีการควบคุมแบบ ทางไกล คือระบบที่มีตัว Master เป็นตัวที่มีผู้ควบคุมส่งสัญญาณให้ตัว Slave ทำงานตาม และยังมีการป้อนกลับของแรงจาก Slave มายัง Master

วิธีการดำเนินงานให้ AC Servo Motor ทำหน้าที่เป็น Master และกระบอกลูบไฮดรอลิกส์ คือ Slave เขียนโปรแกรมและแสดงผลผ่านโปรแกรม LabVIEW จากนั้นทำการเชื่อมต่อข้อมูลผ่านการ์ด DAQ มีวิธีการทดลอง 2 แบบ แบบที่ 1 คือควบคุมที่ Master ส่งตำแหน่งไปและ Slave ส่งตำแหน่งกลับมายัง Master (Position-Position : P-P) เป็นการให้ความต่างขององศาระหว่างตัว Master และ Slave เป็นตัวส่งสัญญาณป้อนกลับมายัง Master และแบบที่ 2 คือการควบคุมที่ Master ส่งตำแหน่งไปและ Slave ส่งแรงกลับมายัง Master (Position-Force : P-F) เป็นการให้ความดันภายในกระบอกลูบไฮดรอลิกส์ของตัว Slave เป็นแรงป้อนกลับมายัง Master ซึ่งการทดลองทั้งสองแบบนี้ได้ทำการทดลอง ทั้งแบบมีการชดเชยแรงเสียดทานภายในกระบอกลูบไฮดรอลิกส์ และไม่มีการชดเชยแรงเสียดทานภายในกระบอกลูบไฮดรอลิกส์

ผลการทดลองพบว่า การทดลองแบบมีการชดเชยแรงเสียดทานนั้น มีการเริ่มทำงานและเข้าสู่ค่าที่ตั้งไว้ได้เร็วกว่า แบบไม่มีการชดเชยแรงเสียดทาน สรุปได้ว่า การทดลองแบบมีการชดเชยแรงเสียดทาน มีประสิทธิภาพการทำงานดีกว่า แบบไม่มีการชดเชยแรงเสียดทานภายในกระบอกลูบไฮดรอลิกส์

## Abstract

This project concern hydraulics cylinder control system with force feedback that have Tele; Master send command signal to control Slave. For objective, to send a signal command from Slave to Master.

Method of operation, set AC servo motor for Master and hydraulics cylinder for Slave. Use LabVIEW program for control and communicate with DAQ card. This project has 2 experiments; 1. Control by send position from Master and send position feedback by Slave (Position-Position: P-P) that use the different degree between Master and Slave to send command to Master. 2. Control by send position from Master and send force feedback by Slave (Position-Force: P-F) use pressure into the hydraulics cylinder's Slave for send force feedback to Master. For both experiment that have to offset friction force into the hydraulics cylinder and not have to offset.

Operating result found that the experiments, for have offset friction force that start and go to set point faster than not have to offset friction force into the hydraulics cylinder. And summarize, the experiment that offset friction force have efficacy more than not have offset into the hydraulics cylinder.

**Keywords : Hydraulic cylinder control system**

## 1. บทนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีได้เข้ามามีบทบาทสำคัญกับระบบอุตสาหกรรมต่างๆของมนุษย์เป็นอย่างมาก ทั้งนี้จะเป็นการดีถ้ามนุษย์ได้นำเทคโนโลยีใหม่ๆมาประยุกต์ใช้กับเครื่องจักรให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

ประเทศไทยได้มีการพัฒนาทางด้านต่างๆไม่ว่าจะเป็น การพัฒนาเชิงเกษตรกรรมและเทคโนโลยีทางด้านอุตสาหกรรม ไม่ต่างจากประเทศต่างๆ ปัจจุบันประเทศไทยมีความเจริญก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็วทั้งในด้านระบบไฟฟ้าและทางกล ซึ่งมีผลต่อการพัฒนาประเทศให้มีความเจริญก้าวหน้าเทียบเท่ากับประเทศต่างๆที่มีเทคโนโลยีที่ทันสมัย ในประเทศไทยพบว่า อุตสาหกรรมภายในประเทศเกือบทุกประเภทจะมีระบบไฮดรอลิกส์ (Hydraulic System) เข้ามามีบทบาทสำคัญในการพัฒนาการอุตสาหกรรมอย่างมาก เครื่องจักรและเครื่องมือกลที่ควบคุมการทำงานด้วยระบบไฮดรอลิกส์ เช่น เครื่องกลึง เครื่องปั๊ม เครื่องเจียระไน เครื่องตัด เครื่องเจาะ เครื่องอัด เครื่องฉีด และ เครื่องป้อนจับยึดชิ้นงานอยู่เป็นจำนวนมาก

รถขุดเจาะก็เป็นรถที่ทำงานด้วยระบบไฮดรอลิกส์ ซึ่งถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมเช่นกันรถขุดเจาะนั้นเป็นการควบคุมแบบTele – Operated ซึ่งเป็นการทำงานแบบมีชุด Master ซึ่งเป็นตัวที่มีมนุษย์เป็นผู้ควบคุมและชุด Slave เป็นชุดที่ทำงานตาม แต่ในงานที่เป็นงานที่ควบคุมแบบ Tele-Operated ตัวอย่างเช่น รถขุดเจาะในขณะที่ผู้ควบคุมสั่งให้ชุด Master ทำงานและชุด Slave ทำงานตาม ถ้าหากชุด Slave ไปชนหรือติดจนไม่มีการขยับ ผู้ควบคุมจะไม่รู้อาจส่งผลให้อุปกรณ์เกิดการเสียหายหรืออาจเกิดอันตรายกับผู้ควบคุมได้



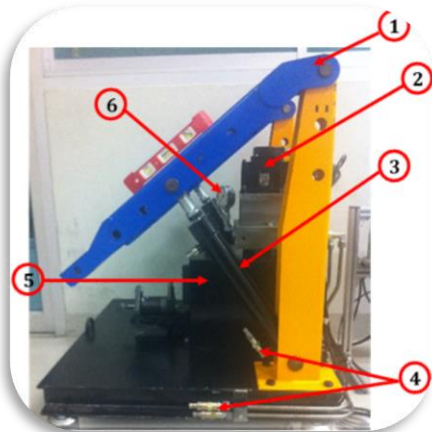
ภาพที่ 1 รถขุดเจาะก็เป็นรถที่ทำงานด้วยระบบไฮดรอลิกส์

อย่างไรก็ตามการควบคุมแรงของกระบอกลูบไฮดรอลิกส์ ถือเป็นเรื่องที่ยาก เพราะระบบไฮดรอลิกส์ถือเป็นระบบที่ซับซ้อนและเป็นระบบที่ไม่เชิงเส้น รวมทั้งยังมีความไม่แน่นอนของตัวแปรต่างๆภายในระบบ เช่น แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในกระบอกลูบไฮดรอลิกส์ ฯลฯ การออกแบบระบบควบคุมกระบอกลูบไฮดรอลิกส์อาจจะได้ผลลัพธ์ที่ไม่แม่นยำนัก

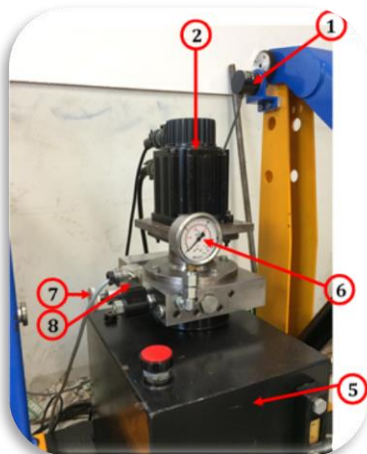
ผู้จัดทำโครงการจึงได้สร้าง ชุดควบคุมตำแหน่งของกระบอบกสูบไฮดรอลิกส์ ให้สามารถควบคุมได้รับรู้ได้ว่าตอนนี้กระบอบกสูบเกิดการชนแล้วหรือไม่มีการยับหรือไม่ให้ระบบมีการส่งผลตอบสนองมายังผู้ควบคุม และให้ระบบมีการชดเชยแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในกระบอบกสูบไฮดรอลิกส์ เพื่อไม่ให้อุปกรณ์เกิดการเสียหาย ซึ่งจากโครงการนี้สามารถเป็นแนวทางเพื่อนำไปพัฒนาเครื่องจักรที่ประกอบด้วยกระบอบกสูบไฮดรอลิกส์ที่ทำงานในรูปแบบเดียวกันนี้

## 2. ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน

### 2.1 ตรวจเช็คระบบไฮดรอลิกส์ของโครงการ



ภาพที่ 2 ระบบไฮดรอลิกส์ของโครงการ



ภาพที่ 3 ระบบไฮดรอลิกส์ของโครงการ

จากภาพที่ 3 และภาพที่ 4 จะเป็นรูปชุดระบบไฮดรอลิกส์เดิมของโครงการที่มีอยู่แล้วซึ่งจะขาด Pressure Sensor เพื่อใช้วัดความดันภายในกระบอบกสูบไฮดรอลิกส์ และขาดสายน้ำมันไฮดรอลิกส์ซึ่งเราต้องหา Pressure Sensor มาติดตั้งเพื่อวัดความดันภายในกระบอบกสูบไฮดรอลิกส์ และหาสายน้ำมันไฮดรอลิกส์มาติดตั้ง

จากภาพที่ 3 และภาพที่ 4 จะเป็นรูปชุดระบบไฮดรอลิกส์เดิมที่มีอยู่แล้ว ซึ่งจะประกอบด้วย

หมายเลข 1 จะเป็น Encoder เพื่อใช้วัดตำแหน่งองศาของกระบอบกสูบไฮดรอลิกส์

หมายเลข 2 จะเป็น AC Servo Motor เพื่อใช้ในการขับเคลื่อนไฮดรอลิกส์

หมายเลข 3 จะเป็น กระบอบกสูบไฮดรอลิกส์

หมายเลข 4 จะเป็นข้อต่อสายน้ำมันไฮดรอลิกส์

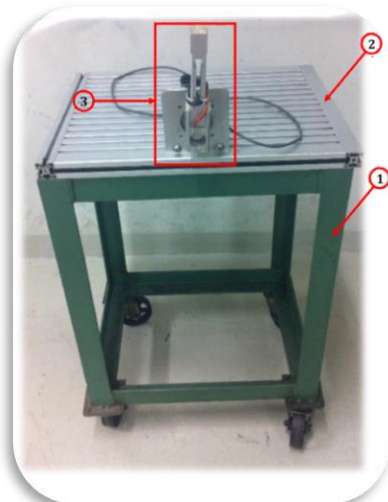
หมายเลข 5 จะเป็นถังพักน้ำมันไฮดรอลิกส์

หมายเลข 6 จะเป็นเกจวัดความดันไฮดรอลิกส์

หมายเลข 7 จะเป็นวาล์วระบายแรงดัน

หมายเลข 8 จะเป็นวาล์วไฮดรอลิกส์

### 2.2 สร้างชุด Master



ภาพที่ 4 ชุด Master ที่ประกอบเสร็จแล้ว

จากภาพที่ 4 จะเป็นภาพรวมของชุด Master ซึ่งจะประกอบด้วย AC Servo Motor เป็นตัวขับเคลื่อน โดยใส่สำหรับยึด AC Servo Motor กันโยกหรือ Load Cell เพื่อกำหนดองศาที่เราต้องการและ มีการวัดแรงที่ป้อนกลับมายังชุด Master ด้วย Load Cell ที่ติดอยู่กับเฟลาของ AC Servo Motor

หมายเลข 1 จะเป็นตัวยึดสำหรับยึดเฟลาเพื่อวางชุด Master

หมายเลข 2 จะเป็นเฟลายึดชุด Master เพื่อให้ความมั่นคง

หมายเลข 3 จะเป็นชุด Master ที่ประกอบเสร็จแล้ว ซึ่งจะประกอบด้วย AC Servo Motor กับ Load Cell เพื่อวัดแรงที่ป้อนกลับ

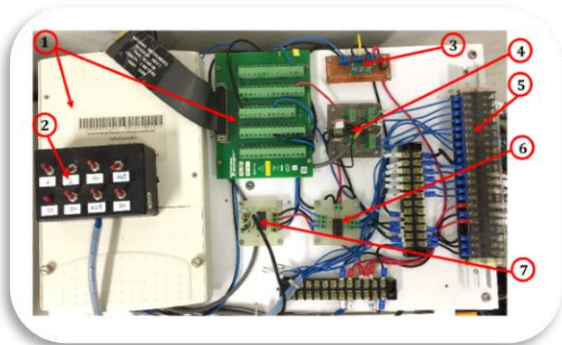
### 2.3 จัดทำอุปกรณ์ควบคุมของโครงการ



ภาพที่ 5 ตู้คอนโทรลของระบบควบคุม AC Servo Motor



ภาพที่ 6 ตัวคอนโทรลของระบบควบคุมปั๊มไฮดรอลิกส์



ภาพที่ 7 แผงควบคุมของโครงการ

จากภาพที่ 7 จะเป็นแผงควบคุมของโครงการ ซึ่งจะประกอบด้วย การ์ด DAQ วงจรรวมสัญญาณ Encoder ก่อนที่จะเข้าการ์ด DAQ วงจรที่ใช้ควบคุมทิศทางการหมุนของ AC Servo Motor หรือวงจร Digital วงจรขยายสัญญาณของ Load Cell วงจรเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดัน ชุด Input\Output ของ AC Servo Drive แล้วก็สวิตช์ที่ใช้สำหรับ เปิด – ปิด เลื่อยยนต์ต่างๆของ AC Servo Drive

หมายเลข 1 จะเป็นการ์ด DAQ

หมายเลข 2 จะเป็นสวิตช์ที่ใช้สำหรับเปิด – ปิด เลื่อยยนต์ต่างๆของ AC Servo Drive

หมายเลข 3 จะเป็นวงจรเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดัน

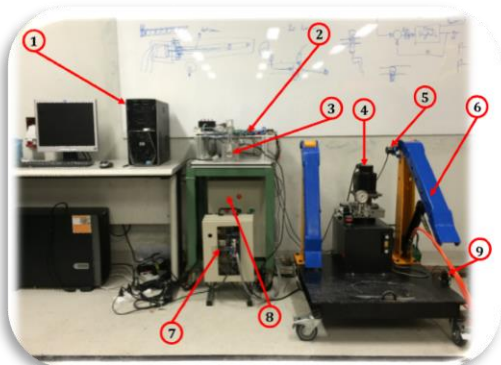
หมายเลข 4 จะเป็นวงจรรวมสัญญาณ Encoder

หมายเลข 5 จะเป็นชุด Input\Output ของ AC Servo Drive

หมายเลข 6 จะเป็นวงจรที่ใช้ควบคุมทิศทางการหมุนของ

AC Servo Motor หรือวงจร Digital

หมายเลข 7 จะเป็นวงจรขยายสัญญาณของ Load Cell



ภาพที่ 8 ภาพรวมของโครงการระบบควบคุมกระบอกสูบไฮดรอลิกส์ ด้วยแรงป้อนกลับ

หมายเลข 1 จะเป็นคอนโทรลเลอร์ที่ตั้งไว้สำหรับควบคุมและ แสดงผลการทดลอง

หมายเลข 2 จะเป็นแผงวงจรรวมทั้งหมดของโครงการ

หมายเลข 3 จะเป็นชุด Master

หมายเลข 4 จะเป็นชุดต้นกำลังไฮดรอลิกส์

หมายเลข 5 จะเป็นEncoderที่ใช้สำหรับวัดตำแหน่งของ ศาของ กระบอกสูบไฮดรอลิกส์

หมายเลข 6 จะเป็นชุด Slave

หมายเลข 7 จะเป็นตัวคอนโทรลของระบบควบคุม

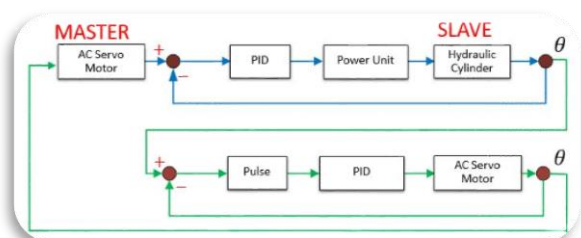
AC Servo Motor

หมายเลข 8 จะเป็นตัวคอนโทรลของระบบควบคุมปั๊มไฮดรอลิกส์

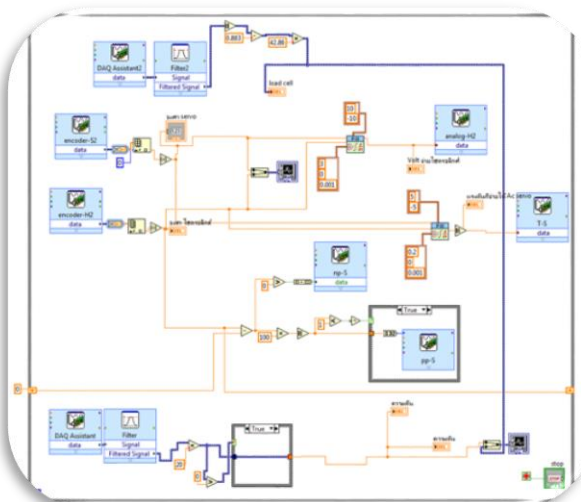
หมายเลข 9 จะเป็น Pressure Sensor สำหรับวัดความดันที่ กระบอกสูบไฮดรอลิกส์

## 2.4 เขียนโปรแกรมควบคุม

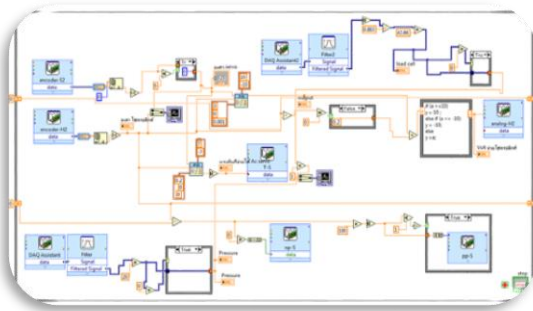
### 2.4.1 โปรแกรมควบคุมแบบส่งตำแหน่งไป – ส่งตำแหน่งกลับ



ภาพที่ 9 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบการควบคุม แบบส่งตำแหน่งไป – ส่งตำแหน่งกลับ (P-P)

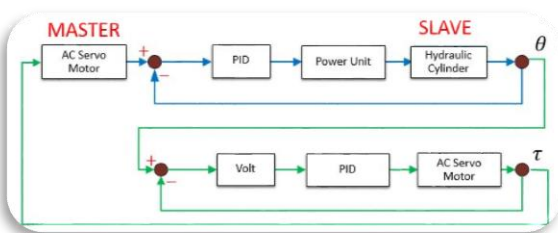


ภาพที่ 10 โปรแกรมควบคุมแบบส่งตำแหน่งไปและส่งตำแหน่งกลับแบบ ที่ไม่มีการชดเชยแรงเสียดทานภายในกระบอกสูบไฮดรอลิกส์ (P-P)

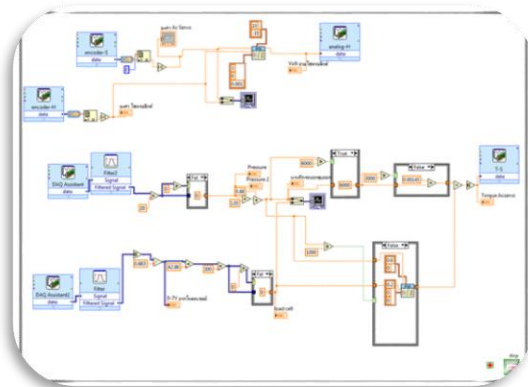


ภาพที่ 11 โปรแกรมควบคุมแบบส่งตำแหน่งไปและส่งตำแหน่งกลับแบบที่มีการชดเชยแรงเสียดทานภายในกระบอกสูบไฮดรอลิกส์ (P-P)

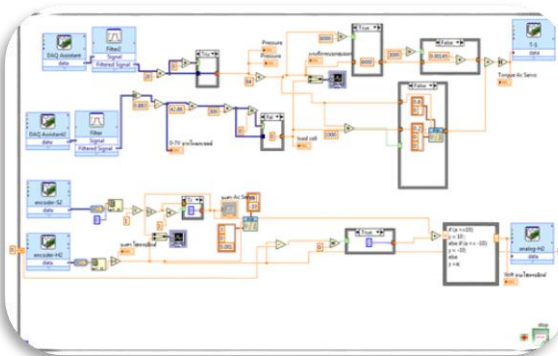
#### 2.4.2 โปรแกรมควบคุมแบบส่งตำแหน่งไป – ส่งแรงกลับ



ภาพที่ 12 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบการควบคุมแบบส่งตำแหน่งไป – ส่งแรงกลับ (P-F)



ภาพที่ 13 โปรแกรมควบคุมแบบส่งตำแหน่งไปและส่งแรงกลับแบบที่ไม่มีการชดเชยแรงเสียดทานภายในกระบอกสูบไฮดรอลิกส์ (P-F)



ภาพที่ 14 โปรแกรมควบคุมแบบส่งตำแหน่งไปและส่งแรงกลับแบบที่มีการชดเชยแรงเสียดทานภายในกระบอกสูบไฮดรอลิกส์ (P-F)

### 3. ผลการดำเนินงาน

ในการทดลอง ระบบควบคุมกระบอกสูบไฮดรอลิกส์ด้วยแรงป้อนกลับนั้น ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือส่วนแรกจะเป็นการควบคุมกระบอกสูบไฮดรอลิกส์ แบบส่งตำแหน่งไปและส่งตำแหน่งกลับ (P-P : Position-Position) ส่วนที่สองจะเป็นการควบคุมกระบอกสูบไฮดรอลิกส์ แบบส่งตำแหน่งไปและส่งแรงกลับ (P-F : Position-Force) โดยการทดลองโดยเราจะทำการใช้โหลด 500 นิวตัน 1000 นิวตัน 1500 นิวตันและความดันของระบบไม่เกิน 40 บาร์ จะเปรียบเทียบกับระหว่าง การทดลองแบบที่ไม่มีการชดเชยแรงเสียดทานภายในกระบอกสูบไฮดรอลิกส์ และแบบที่มีการชดเชยแรงเสียดทานภายในกระบอกสูบไฮดรอลิกส์ โดยจะนำค่าที่ได้มาใส่ลงในตารางเพื่อทำการเปรียบเทียบ โดยค่าที่จะนำมาเปรียบเทียบมีดังนี้

|                |         |                                                                                                                      |
|----------------|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $T_r$          | หมายถึง | ช่วงเวลารั้ง (Rise Time) เป็นเวลาของการตอบสนองเชิงเวลาที่เปลี่ยนแปลงจาก 10 เปอร์เซ็นต์ – 90 เปอร์เซ็นต์ของค่าสุดท้าย |
| $T_s$          | หมายถึง | เป็นเวลาที่ (Setting Time) คือ เวลาที่การตอบสนองมีค่า $\pm 2$ เปอร์เซ็นต์ของค่าสุดท้าย                               |
| $\sum  Error $ | หมายถึง | เป็นค่าความผิดพลาดสะสม ขององศาของชุด Master กับชุด Slave                                                             |
| Dead Time      | หมายถึง | เป็นเวลาที่ กระบอกสูบไฮดรอลิกส์ยังไม่เคลื่อนที่ในตอนเริ่มต้น หรือติดแรงเสียดทานภายในกระบอกสูบไฮดรอลิกส์              |

ตารางที่ 1 ผลการทดลองที่โหลดหนัก 500, 1000, 1500 นิวตัน แบบที่มีการชดเชยแรงเสียดทานภายในกระบอกสูบไฮดรอลิกส์ และแบบที่ไม่มีการชดเชยแรงเสียดทานภายในกระบอกสูบไฮดรอลิกส์ แบบ (P-P)

| การทดลองแบบ (P-P)             | $T_r$<br>(วินาที) | $T_s$<br>(วินาที) | $\sum  Error $<br>(องศา) | Dead Time<br>(วินาที) |
|-------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------------|-----------------------|
| ที่โหลด 500 นิวตัน            |                   |                   |                          |                       |
| - แบบไม่มีการชดเชยแรงเสียดทาน | 6.15              | 8                 | 3.06967                  | 0.6                   |
| - แบบมีการชดเชยแรงเสียดทาน    | 6                 | 7.3               | 3.022551                 | 0                     |
| ที่โหลด 1000 นิวตัน           |                   |                   |                          |                       |
| - แบบไม่มีการชดเชยแรงเสียดทาน | 6.2               | 9.1               | 4.263239                 | 1.4                   |
| - แบบมีการชดเชยแรงเสียดทาน    | 5.6               | 7.2               | 3.198344                 | 0                     |
| ที่โหลด 1500 นิวตัน           |                   |                   |                          |                       |
| - แบบไม่มีการชดเชยแรงเสียดทาน | 8.65              | 11.7              | 5.651423                 | 1.7                   |
| - แบบมีการชดเชยแรงเสียดทาน    | 6.2               | 8.2               | 3.515352                 | 0.2                   |

**ตารางที่ 2** ผลการทดลองที่โหลดหนัก 500, 1000, 1500 นิวตัน แบบที่มีการชดเชยแรงเสียดทานภายในกระบอกลูกสูบไฮดรอลิกส์ และแบบที่ไม่มีการชดเชยแรงเสียดทานภายในกระบอกลูกสูบไฮดรอลิกส์ แบบ (P-F)

| การทดลองแบบ (P-F)             | $T_r$<br>(วินาที) | $T_s$<br>(วินาที) | $\Sigma \text{Error} $<br>(องศา) | Dead Time<br>(วินาที) |
|-------------------------------|-------------------|-------------------|----------------------------------|-----------------------|
| <b>ที่โหลด 500 นิวตัน</b>     |                   |                   |                                  |                       |
| - แบบไม่มีการชดเชยแรงเสียดทาน | 6.9               | 9.4               | 4.507052                         | 0.7                   |
| - แบบมีการชดเชยแรงเสียดทาน    | 6.8               | 9                 | 3.379592                         | 0                     |
| <b>ที่โหลด 1000 นิวตัน</b>    |                   |                   |                                  |                       |
| - แบบไม่มีการชดเชยแรงเสียดทาน | 7.6               | 10.1              | 5.035443                         | 0.8                   |
| - แบบมีการชดเชยแรงเสียดทาน    | 7                 | 9.4               | 4.056511                         | 0                     |
| <b>ที่โหลด 1500 นิวตัน</b>    |                   |                   |                                  |                       |
| - แบบไม่มีการชดเชยแรงเสียดทาน | 8.4               | 11.4              | 4.133262                         | 1.8                   |
| - แบบมีการชดเชยแรงเสียดทาน    | 7.5               | 9.7               | 3.647544                         | 0.5                   |

#### 4. สรุป

การจัดทำโครงงานนี้เพื่อศึกษา ระบบควบคุมกระบอกลูกสูบไฮดรอลิกส์ด้วยแรงป้อนกลับ โดยจะทำการทดลอง 2 แบบ คือ การควบคุมแบบส่งตำแหน่งไป – ส่งตำแหน่งกลับ (P-P) คือจะใช้ความต่างขององศาระหว่างชุด Master และชุด Slave เป็นแรงที่ป้อนกลับมายังชุด Master และการควบคุมแบบส่งตำแหน่งไป – ส่งแรงกลับ (P-F) คือจะใช้ความดันภายในกระบอกลูกสูบไฮดรอลิกส์ของชุด Slave เป็นแรงที่ป้อนกลับมายังชุด Master การทดลองระบบควบคุมกระบอกลูกสูบไฮดรอลิกส์ด้วยแรงป้อนกลับทั้ง 2 แบบนั้นเราจะทดลอง แบบที่ไม่มีการชดเชยแรงเสียดทานภายในกระบอกลูกสูบไฮดรอลิกส์ และแบบที่มีการชดเชยแรงเสียดทานภายในกระบอกลูกสูบไฮดรอลิกส์ โดยจะทำการควบคุมและแสดงผลผ่านโปรแกรม LabVIEW การรับส่งสัญญาณจะผ่านการวัด DAQ

ผลการทำโครงงาน ระบบควบคุมกระบอกลูกสูบไฮดรอลิกส์ด้วยแรงป้อนกลับ ได้ดังนี้

##### แบบ P – P

ผลที่ได้จากการทดลอง สรุปได้ว่าการทดลองแบบที่ไม่มีการชดเชยแรงเสียดทานภายในกระบอกลูกสูบไฮดรอลิกส์นั้น ในการเริ่มทำงานจะมีความช้ามากกว่าแบบที่มี การชดเชยแรงเสียดทานภายในกระบอกลูกสูบไฮดรอลิกส์ ส่งผลให้การเข้าสู่ค่าที่ตั้งไว้ของแบบไม่มีการชดเชยแรงเสียดทานภายในกระบอกลูกสูบไฮดรอลิกส์ ช้ามากกว่า แบบที่มีการชดเชยแรงเสียดทานภายในกระบอกลูกสูบไฮดรอลิกส์ สรุปได้ว่าการทดลองแบบที่มีการชดเชยแรงเสียดทานภายในกระบอกลูกสูบไฮดรอลิกส์จะมีประสิทธิภาพดีกว่า แบบที่ไม่มีการชดเชยแรงเสียดทานภายในกระบอกลูกสูบไฮดรอลิกส์

##### แบบ P – F

ผลที่ได้จากการทดลอง สรุปได้ว่าการทดลองแบบที่ไม่มีการชดเชยแรงเสียดทานภายในกระบอกลูกสูบไฮดรอลิกส์ นั้นในการเริ่มทำงานจะมีความช้ามากกว่า แบบที่มีการชดเชยแรงเสียดทานภายในกระบอกลูกสูบไฮดรอลิกส์ ส่งผลให้การเข้าสู่ค่าที่ตั้งไว้ของแบบไม่มีการชดเชยแรงเสียดทานภายในกระบอกลูกสูบไฮดรอลิกส์ช้ามากกว่า แบบที่มีการชดเชยแรงเสียดทานภายในกระบอกลูกสูบไฮดรอลิกส์และการทดลองแบบ P – F นั้นมีการส่งแรงกลับมายังตัวหลักด้วย จากการหาค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ Percent Error (%Error) แสดงให้เห็นว่ามีค่าความ

คลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ไม่เกิน  $\pm 10$  เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแบบมีการชดเชยแรงเสียดทานภายในกระบอกลูกสูบไฮดรอลิกส์ มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ที่น้อยกว่า แบบที่ไม่มีการชดเชยแรงเสียดทานภายในกระบอกลูกสูบไฮดรอลิกส์ สรุปได้ว่า การทดลองแบบที่มีการชดเชยแรงเสียดทานภายในกระบอกลูกสูบไฮดรอลิกส์ จะมีประสิทธิภาพดีกว่า แบบที่ไม่มีการชดเชยแรงเสียดทานภายในกระบอกลูกสูบไฮดรอลิกส์

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้โดย ได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก รศ.ดร.วัชรินทร์ โพธิ์เงิน ผู้เป็นที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำข้อคิดเห็น อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำโครงงาน ตลอดจนแนวทางในการทำงานและการแก้ไขปัญหาข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นด้วยความเอาใจใส่มาโดยตลอดการทำปริญญานิพนธ์ครั้งนี้ ขอขอบพระคุณ อาจารย์ประจำสาขาวิชา วิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ทุกท่านที่ให้ความปรึกษาพร้อมแนะแนวการทำโครงงาน ขอขอบคุณ รุ่นพี่ และ เพื่อนๆ ทุกคนที่ได้ช่วยเหลือ ให้คำแนะนำดีๆ นอกจากนี้ต้องขอขอบพระคุณภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำโครงงานจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ทางผู้จัดทำโครงงานจึงขอขอบพระคุณทุกท่านเป็นอย่างสูง

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำโครงงาน จึงขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา พี่ น้อง ที่ได้ให้การสนับสนุน ในทุกด้าน และยังเป็นแรงบันดาลใจให้ตั้งใจทำโครงงานนี้ ผู้จัดทำโครงงานจึงขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ มาไว้ ณ โอกาสนี้

#### 6. เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

- [1] ขวัญชัย ลินทิพย์สมบูรณ์. ปานเพชร ชินนิทร. **ไฮดรอลิกส์ อุตสาหกรรม**. กรุงเทพมหานคร : บริษัท ซีอีดี ยูเคชั่น จำกัด, 2539.
- [2] พรจิต ประทุมสุวรรณ. **ระบบไฮดรอลิกส์ และการควบคุม**. กรุงเทพมหานคร : เรือนแก้วการพิมพ์, 2550.
- [3] มีโชค ตั้งตระกูล. **การใช้งาน LabVIEW เบื้องต้น**. มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรเวศน์ : วิทยาเขตขอนแก่น, 2548.
- [4] เจริญ เพชรมุณี. **เรียนลัด LabVIEW**. กรุงเทพมหานคร : บริษัท ซีอีดี ยูเคชั่น จำกัด, 2547.
- [5] ทีมงานสมาร์ทเลิร์นนิ่ง. **เริ่มต้นใช้งานโปรแกรม LabVIEW**. กรุงเทพมหานคร : ทางหุ้นส่วนสามัญสมาร์ทเลิร์นนิ่ง, 2554
- [6] กิจไพบูลย์ ชิวพันธุ์ศรี. **LabVIEW ซอฟต์แวร์เพื่อการพัฒนา ระบบการวัดและควบคุม**. กรุงเทพมหานคร : บริษัท ซีอีดี ยูเคชั่น จำกัด, 2554.

ภาษาอังกฤษ

- [7] Richard C. Dorf, Robert H. Bishop(1998), **Modern Control Systems**. 8th ed.

## 7. ประวัติ

วิษณุกร จักร์ครอง      ปริญญาตรีครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต  
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม      จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า  
พระนครเหนือ

วิลาวัณย์ บุตรศรี      ปริญญาตรีครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต  
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม      จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า  
พระนครเหนือ

รศ.ดร.วัชรินทร์ โพธิ์เงิน      อาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์  
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม      จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า  
พระนครเหนือ